



## COMITATO SCIENTIFICO

---

### **Commissione per la Storia dell'Ingegneria della CoPI:**

Franco Angotti (Università di Firenze), Virginio Cantoni (coordinatore, Università di Pavia), Vito Cardone (presidente CoPI, Università di Salerno), Salvatore D'Agostino (Università Federico II di Napoli), Vittorio Marchis (Politecnico di Torino), Edoardo Rovida (Politecnico di Milano), Andrea Silvestri (Politecnico di Milano).

### **Esperti cooptati:**

Ovidio Mario Bucci (Università Federico II di Napoli), Gabriele Falciasecca (Università di Bologna), Giuseppe Pelosi (Università di Firenze), Giancarlo Prati (Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa), Guido Tartara (Politecnico di Milano), Guido Vannucchi (OTA-Italia, Organismo dell'Autorità per le Telecomunicazioni).

# STORIA DELLE TELECOMUNICAZIONI

---

a cura di *Virginio Cantoni, Gabriele Falciasecca, Giuseppe Pelosi*

VOLUME I

Firenze University Press  
2011

Storia delle telecomunicazioni I / a cura di Virginio Cantoni,  
Gabriele Falciasecca, Giuseppe Pelosi. – Firenze : Firenze  
University Press, 2011.

<http://digital.casalini.it/9788864532455>

ISBN 978-88-6453-243-1 (print)

ISBN 978-88-6453-245-5 (online)

In copertina: Antenna di Marconi per la stazione di Poldhu (Gran Bretagna). La foto, dei primi mesi del 1901, ritrae l'antenna progettata e costruita ma mai utilizzata, poiché distrutta da una tempesta nell'estate 1901.

Coordinamento editoriale di Alessandra Setti

© 2011 Firenze University Press

Università degli Studi di Firenze  
Firenze University Press  
Borgo Albizi, 28, 50122 Firenze, Italy  
<http://www.fupress.com>

Printed in Italy

Il volume è stato realizzato con il contributo del «Comitato Nazionale per le manifestazioni per il bicentenario della nascita di Antonio Meucci» del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali – Direzione Generale per i Beni Librari, gli Istituti Culturali ed il Diritto d'Autore.



C'è stato inoltre il contributo dell'Associazione per la Tecnologia dell'Informazione e delle Comunicazioni (AICT), di FASTWEB, di GEM elettronica, di Rai Way, di SIELTE e di Space Engineering.



L'iniziativa ha avuto inoltre il patrocinio della CoPI – Conferenza Presidi delle Facoltà di Ingegneria, dell'Università degli Studi di Bologna, dell'Università degli Studi di Firenze, dell'Università degli Studi di Pavia, della Fondazione Guglielmo Marconi, dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e della Società Italiana di Elettromagnetismo (SIEM).



CoPi

Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria





# INDICE

---

- IX Vito Cardone  
*Premessa*
- XI Franco Angotti  
*Presentazione*
- XIII Virginio Cantoni, Gabriele Falciasecca, Giuseppe Pelosi  
*Introduzione*

## **Le origini**

---

- 3 Ovidio Mario Bucci  
*Dall'elettromagnetismo alle onde elettromagnetiche: le basi scientifiche dello sviluppo delle telecomunicazioni nell'Ottocento*
- 33 Adriano Paolo Morando  
*Dalle costanti concentrate alle costanti distribuite*
- 73 Stefano Maggi  
*La telegrafia elettrica e i suoi sviluppi: facsimile e telescrivente*
- 101 Enrico Del Re  
*La nascita della telefonia: da Antonio Meucci al successo globale*
- 111 Gabriele Falciasecca  
*Pragmatica di un'invenzione. Guglielmo Marconi e le comunicazioni radio*
- 139 Vincenzo Carulli, Giuseppe Pelosi, Stefano Selleri, Paolo Tiberio  
*Il contributo della Marina Militare Italiana allo sviluppo delle radiocomunicazioni*

## **Gli sviluppi tecnico/scientifici**

---

- 181 Fabio Rocca  
*L'elaborazione numerica dei segnali*
- 197 Silvano Pupolin, Sergio Benedetto, Umberto Mengali, Carlo Giacomo Smeda  
*La trasmissione: dalla coppia telefonica ai ponti radio ed alle fibre ottiche*
- 239 Marco Ajmone Marsan, Franco Guadagni, Luciano Lenzini  
*Le reti a pacchetto*
- 281 Giancarlo Prati  
*La fotonica nelle telecomunicazioni*
- 315 Francesco Fedi e Alberto Morello  
*La ricerca nelle istituzioni: i casi ISPT, FUB, CRIT e l'attività COST*

- 347 Cesare Mossotto  
*Centro studi e laboratori telecomunicazioni (CSELT)*

### **I settori applicativi**

---

- 407 Guido Vannucchi e Franco Visintin  
*Radiofonia e televisione: era analogica*
- 481 Guido Vannucchi e Franco Visintin  
*Radiofonia, televisione e cinema: era digitale*
- 533 Raulo Maestrini e Eugenio Costamagna  
*Le comunicazioni militari*
- 589 Gaspare Galati  
*Lo sviluppo del radar in Italia ed all'estero*
- 637 Guido Tartara e Franco Marconicchio  
*Telecomunicazioni spaziali*

### **L'organizzazione dei servizi e il ruolo dell'industria**

---

- 657 Salvatore Randi  
*Successi e decadenza delle industrie di telecomunicazioni*
- 705 Antonio Caroppo e Roberto Gamberro  
*Le infrastrutture delle telecomunicazioni*
- 735 Giuseppe Gerarduzzi  
*Il ruolo dei gestori nelle comunicazioni nazionali*
- 763 Gabriele Falciasacca e Decio Ongaro  
*Reti, servizi cellulari e wireless*
- 809 Guido Vannucchi  
*Cinquant'anni di telecomunicazioni digitali ed uno sguardo al futuro: la convergenza informatica-telecomunicazioni e le nuove architetture di rete fissa*

### **La formazione e la divulgazione**

---

- 851 Aldo Roveri  
*Formazione universitaria sulle telecomunicazioni: evoluzione normativa e profili professionali*
- 869 Giuseppe O. Longo  
*Aspetti sociali e culturali delle telecomunicazioni*
- 897 Carlo Crespellani Porcella  
*Nuove prospettive e paesaggi dall'attico e superattico delle TLC*
- 939 Leonardo Lucci, Antonio Savini, Massimo Temporelli, Barbara Valotti  
*Musei, collezioni e fonti documentali per la storia delle telecomunicazioni in Italia*
- 963 Elenco degli acronimi
- 975 Indice degli argomenti
- 985 Autori

## PREMESSA

---

Con questo libro sulla *Storia delle telecomunicazioni* prende davvero corpo la collana tematica sulla storia della tecnologia italiana, promossa dalla CoPI, la Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria. L'obiettivo, esplicitamente dichiarato nella presentazione della collana, è quello di colmare una grave lacuna nella letteratura – già significativa, dal punto di vista quantitativo e qualitativo – sulla storia dell'ingegneria: la carenza, cioè, di pubblicazioni dedicate alle varie branche nelle quali si è progressivamente articolata l'ingegneria italiana.

Un obiettivo ambizioso, difficile da perseguire, per il quale si è rivelata quanto mai felice l'idea della Commissione per la storia dell'ingegneria della CoPI di far nascere ogni volume da alcuni convegni o seminari connessi al tema, nei quali intervengono i maggiori studiosi dell'argomento, appartenenti alle varie facoltà di ingegneria italiane. La successiva ulteriore riflessione, la contestualizzazione a scala mondiale, lo sviluppo degli spunti emersi negli incontri, consentono poi di delineare un quadro sufficientemente ampio, che per ogni campo oggetto di studio va dalle origini alle prospettive future, esaminando i temi dell'evoluzione nel campo della ricerca scientifica e tecnologica, delle applicazioni e dello sviluppo industriale, dell'impatto sulla società, dell'insegnamento universitario.

Così, dopo il successo del primo volume, dedicato alla *Storia della tecnica elettrica*, nato a valle delle giornate di celebrazione dei 40 anni della Facoltà di Ingegneria di Pavia, questo secondo libro prende le mosse dai convegni per il bicentenario della nascita di Antonio Meucci e per il centenario del Nobel a Guglielmo Marconi, tenuti a Firenze e a Bologna nel 2008.

Per la concezione e la genesi dell'opera, ogni libro raccoglie soprattutto saggi di ingegneri, ossia di coloro che l'hanno effettivamente fatta la storia della tecnologia, almeno dalla metà del XIX secolo. Ciò è reso possibile dall'esistenza, nell'ambito di molte facoltà di ingegneria, di veri e propri gruppi di ricerca sulla storia dell'ingegneria – affrontata nei suoi vari aspetti: dalla formazione dell'ingegnere all'impatto delle opere di ingegneria sull'evoluzione della società – che operano già come una nascente vera e propria comunità scientifica. Una comunità in formazione, per cui permane ancora il costante pericolo della deriva acritica, se non proprio agiografica; del compiacimento per il virtuosismo tecnologico e dell'ignoranza pressoché assoluta delle pratiche di buon senso tecnico che in molti campi e in molti casi costituirono e tuttora costituiscono l'essenza vera dell'operare diffuso; dell'esaltazione dei successi e della sottovalutazione, se non proprio della rimozione, degli insuccessi, che pure non mancarono e furono

spesso drammatici, con conseguenze a volte pesantissime. Qualche scivolone in tal senso di tanto in tanto si nota, ma il risultato nel suo complesso è quanto mai soddisfacente e gli artefici della storia della tecnologia iniziano a mostrare un necessario approccio critico e autocritico.

L'auspicio è che si continui in questa direzione, magari accentuando gli aspetti connessi a un'adeguata divulgazione delle nuove conoscenze e delle loro conseguenze sulla società. In un'epoca in cui il tradizionale algoritmo ingegneristico si mostra sempre più inadeguato per affrontare e risolvere i problemi della società contemporanea, questo sforzo è fondamentale. Per indirizzare le scuole e le facoltà nella definizione dei piani di studio degli allievi ingegneri, che non possono prescindere dal ruolo degli ingegneri nella società civile e dalla consapevolezza che il loro operato talvolta può comportare fortissime contraddizioni. Così come per un corretto orientamento di coloro che intendono intraprendere gli studi di ingegneria – e in Italia i nuovi iscritti ai corsi di studio di ingegneria sono ormai il 13% di tutti coloro che ogni anno si immatricolano all'università – ai quali deve essere chiaro che l'ingegneria, in tutti i campi, è ben altra cosa che semplicemente matematica applicata e che le sue conseguenze sulla società sono sempre più rilevanti: nel bene come, purtroppo, pure nel male.

Per questi motivi la Conferenza, in quanto associazione di organizzazioni deputate alla formazione degli ingegneri, è particolarmente interessata allo sviluppo della collana e alla sua diffusione anche al di fuori dei circoli di addetti ai lavori. Ed è grata a Virginio Cantoni e ai colleghi della Commissione per la storia dell'ingegneria della CoPI, che egli presiede, per il lavoro svolto.

VITO CARDONE  
*Presidente della Conferenza dei Presidi  
delle Facoltà di Ingegneria*

## PRESENTAZIONE

---

La conclusione delle celebrazioni per il bicentenario della nascita di Antonio Meucci non poteva avere migliore conclusione: la pubblicazione di questo volume dedicato alla storia delle telecomunicazioni.

Si tratta di una di quelle felici congiunture che il Comitato ha voluto cogliere per sottolineare la presenza di Antonio Meucci, genio fiorentino generalmente dimenticato, nella storia delle telecomunicazioni. Di ciò sono particolarmente grato a Virginio Cantoni oltre che naturalmente agli autori del volume.

L'obiettivo del Comitato non era tanto quello di arricchire la conoscenza della figura di Meucci già sufficientemente ricca anche di aneddotica, quanto quella di indagare sul periodo storico nel quale il Nostro si è formato ed ha operato. La Storia quindi alla base delle celebrazioni, nella consapevolezza che essa oltre ad essere "magistra vitae" rappresenta per la collettività ciò che la memoria è per l'individuo, come amava ripetere Arthur Schlesinger. In questo caso gli individui sono gli ingegneri che, ricevendo nel nostro paese una formazione nella quale la storia è pressoché totalmente assente, rischiano di essere privi di memoria (storica) e perciò disorientati e senza riferimenti. Questo volume ha quindi anche il grande merito di contribuire a colmare questo deficit formativo e in ciò il Comitato trova piena corrispondenza con gli obiettivi prefissati.

Per tutti questi motivi il Comitato è lieto di contribuire alla stampa di questo volume.

FRANCO ANGOTTI

*Presidente del Comitato Nazionale del Ministero per i Beni e le Attività Culturali  
per le celebrazioni del bicentenario della nascita di Antonio Meucci*



## INTRODUZIONE

---

La serie della CoPI sulla Storia della Tecnologia Italiana fornisce lo scenario dello sviluppo tecnologico e della scienza applicata negli ultimi secoli nel nostro paese. Con riferimento al contesto internazionale, vengono presentate le attività di ricerca, le invenzioni e le loro applicazioni, le organizzazioni e l'industria italiana, insieme all'evoluzione dell'attività formativa e universitaria.

L'obiettivo è di promuovere oggi, nella società detta post industriale e dell'informazione, le discipline scientifiche e in particolare quelle applicate, che singolarmente non sono popolari come in passato. Un secondo obiettivo è di sostenere, attraverso l'evidenza dell'apporto dato dalla tecnologia al progresso civile, l'ispirazione e la creatività degli ingegneri verso soluzioni innovative e la rinascita di un'impresoria industriale che sembra essersi dissolta.

L'iniziativa è concepita in modo corale. Tutte le sedi universitarie sono sollecitate a contribuire organizzando gli eventi e le conseguenti monografie tematiche. Il contenuto cooperativo per questo genere di lavori di ampio respiro è indispensabile, nonostante le potenziali disomogeneità che tale scelta comporta.

Il primo volume dedicato alla "Storia della tecnica elettrica" è stato abbinato alla celebrazione dei 40 anni della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pavia (1967-2007). Questo secondo volume è dedicato alla "Storia delle telecomunicazioni" che ha visto l'Italia fino ad oggi in primo piano nello sviluppo internazionale. Infatti, l'occasione del volume è offerta da due anniversari che celebrano due italiani protagonisti assoluti della nascita delle telecomunicazioni: il bicentenario della nascita di Antonio Meucci (Firenze, 13 aprile 1808) protagonista con l'invenzione del telefono della nascita della comunicazione su rame (*wired*) e il centenario dell'assegnazione del Premio Nobel (in fisica, ricevuto il 10 dicembre 1909) a Guglielmo Marconi, protagonista della nascita delle trasmissioni *wireless*.

Ma il successo dell'iniziativa italiana non è confinato agli albori delle telecomunicazioni, si è protratto felicemente fino a tempi recenti, sia nel settore applicativo, dove alle organizzazioni, industriali e non, avviate da Marconi si sono accompagnate altre imprese che hanno raccolto primati importanti (ad esempio, la Telettra o l'Italtel), sia nel settore dello sviluppo scientifico-tecnico che in quello della ricerca applicata (ad esempio, lo CSELT o la Fondazione Ugo Bordoni).

A testimoniare la qualità dell'attività svolta e dei successi ottenuti anche nel recente passato, abbiamo chiamato a presentare lo sviluppo e l'evoluzione italiana molti dei protagonisti dell'ultimo mezzo secolo. Oltre ad accogliere con entusiasmo la proposta, i nostri 'protagonisti' hanno descritto con sereno rigore i momenti critici e spesso tormentati degli ultimi decenni. Anche per questo

noi riteniamo che il presente volume sia unico nel suo genere e costituisca un documento importante per un'analisi delle scelte strategiche, delle scelte intempestive e anche, purtroppo, delle occasioni mancate.

C'è da dire che i ritmi dell'evoluzione tecnologica del settore sono stati impressionanti, caratterizzati da accelerazioni improvvise e da sviluppi spesso imprevedibili, in particolare negli ultimi venti anni. Le possibilità offerte dalle nuove tecnologie sono però eccezionali e la presenza della tecnologia nella vita di ogni giorno è diventata sempre più necessaria, la sua distribuzione sempre più capillare e non sempre così 'trasparente' come si vorrebbe. Di fatto, la tecnica delle comunicazioni ha trasformato il mondo, ha cambiato le forme del nostro vivere.

Ogni innovazione importante (ad esempio, la stampa) ha operato più o meno direttamente un cambiamento nel modo di pensare, ma oggi la sovrapposizione costante di innovazioni non consente di sedimentare i nuovi paradigmi e rende a noi difficile adattarci e seguire i tempi. L'avvento del digitale rappresenta un problema per i meno giovani e anche una volta acquisito l'accesso, le generazioni che si sono formate sui libri tendono ad usare internet come una megaenciclopedia, mentre le nuove generazioni, e ancor più i 'nativi digitali', fanno della rete un uso sempre più attivo ed interattivo.

In passato il "digital divide", poi "cultural divide", era avvertito come un pericolo per i paesi e le realtà che non innovavano. Ora anche nei paesi più avanzati si sente l'effetto del citato impatto sociale differenziato per generazioni: la realtà quotidiana ci pone davanti allo strappo generazionale derivante dall'utilizzo delle tecnologie, che è divenuto fattore abilitante o fattore inibitore nella vita della società d'oggi.

In ogni nuovo scenario ad una fase di esplorazione delle potenzialità e dei limiti, segue una fase di sviluppo progressivo di nuove aree applicative e nuove possibilità di interazione, che consentono di affrontare i problemi da sempre centrali per l'uomo, ripensati e rivissuti alla luce delle nuove opportunità. In conclusione: a nessuna età si è inadatti alle diverse prospettive emergenti dalle nuove tecnologie e in particolare a quelle offerte dai nuovi media.

La presente opera – in due volumi – si articola in diverse sezioni:

*Le origini.* Questa prima parte, dedicata alle origini delle telecomunicazioni, ha in sé due anime: un'anima scientifica rappresentata dai primi due contributi, un'anima tecnologica contenuta nei seguenti quattro. Nei primi due capitoli vengono analizzati, parallelamente ed in modo complementare, gli sviluppi del pensiero scientifico che portarono alla rivoluzione della teoria dei Campi e, da qui, alla comprensione profonda di quei fenomeni ondulatori, sia guidati sia in spazio libero, che sono alla base delle telecomunicazioni moderne. Il gruppo successivo di capitoli analizza la nascita delle prime tre, fondamentali, forme di comunicazione, nell'ordine in cui sono apparse: il telegrafo, il telefono e la radio. Sebbene per tutte e tre queste invenzioni il contributo da parte di italiani sia stato rilevante – si pensi solo ai citati Meucci e Marconi – l'ultimo capitolo della sezione è esplicitamente dedicato al contributo dell'Italia allo sviluppo delle telecomunicazioni. Nell'orizzonte temporale i primi quattro capitoli si focalizzano essenzialmente sul XIX secolo. Il quinto, dedicato a Guglielmo Marconi, si concentra sui quarant'anni

della sua attività, tra la fine dell'800 e i primi trent'anni del '900, mentre l'ultimo capitolo, dedicato alla Marina Militare Italiana, copre il periodo che va dall'inizio del XX secolo fino a poco dopo il termine della Seconda Guerra Mondiale.

*Gli sviluppi tecnico/scientifici.* La seconda parte del volume è volta a illustrare come si sono sviluppate nel tempo le tecnologie più moderne che hanno consentito il progredire poderoso delle telecomunicazioni italiane nel secolo scorso e i cui riflessi sono ancor oggi presenti. Poiché il fenomeno che abbiamo sperimentato è di natura globale – e in realtà già era così ai tempi di Marconi – nei vari contributi presenti lo scenario italiano è inquadrato nel più vasto ambiente mondiale globalizzato. I primi quattro capitoli sono dedicati a linee scientifico-tecnologiche molto caratterizzate: l'elaborazione numerica dei segnali, la trasmissione, la fotonica, le reti a pacchetto. A seguire sono invece presentate le iniziative di ricerca coordinate che più hanno segnato l'avanzamento delle conoscenze tecniche. Esse sono raggruppate in due capitoli: nel primo si fa riferimento all'attività che si è sviluppata ed è stata stimolata per iniziativa dell'allora monopolista STET/SIP, con particolare riguardo per il centro di ricerca CSELT, che per un certo periodo di tempo ha costituito anche un riferimento più generale, per esempio per il mondo universitario. L'ulteriore filone si concentra invece sull'altro grande riferimento che il nostro paese ha avuto: la Fondazione Ugo Bordoni. In esso sono anche succintamente descritte alcune iniziative internazionali, come i progetti COST, che, oltre alla loro importanza intrinseca, hanno avuto una diretta influenza sulle vicende nazionali.

*I settori applicativi.* Nella terza parte vengono analizzati i principali settori applicativi delle moderne telecomunicazioni. In un intervallo temporale più prossimo a noi la telegrafia è andata sparendo lasciando come settore preponderante in campo civile la radio e, soprattutto la televisione. A tali mezzi di comunicazione, e alla loro recente migrazione dall'analogico al digitale, sono dedicati i primi due capitoli di questa sezione. Il terzo capitolo tratta invece delle telecomunicazioni in ambito militare, sia dal punto di vista tecnico, sia dal punto di vista logistico. Dopo una breve introduzione sul periodo anteriore alla Seconda Guerra Mondiale, il contributo è dedicato quasi interamente agli anni seguenti il conflitto. Il quarto capitolo, ancora di carattere principalmente – ma non esclusivamente – militare, è dedicato allo sviluppo del radar. Tale strumento, sebbene previsto a livello teorico fin dagli inizi del XX secolo, divenne tecnicamente possibile – e necessario – allo scoppio della Seconda Guerra Mondiale. Questo capitolo copre principalmente il periodo che va dagli anni '30 ad oggi. Il quinto capitolo è infine dedicato al settore più recente delle comunicazioni spaziali, stazioni base a terra e satelliti in orbita. Concentrato principalmente sugli sviluppi italiani ed europei, copre l'arco temporale che va dagli anni '60 ad oggi.

*L'organizzazione dei servizi e il ruolo dell'industria.* È questa forse la parte più delicata del volume. Anzitutto perché va a toccare vicende cui il tempo non ha ancora consentito la dovuta decantazione, e inoltre impone di descrivere non soltanto ciò che era evidente a tutti perché sopra la superficie, ma anche di dare di ciò delle motivazioni che non sono mai state realmente di pubblico dominio, perché legate a temi di consiglio di amministrazione, o a convinzioni di persone e gruppi dirigenti. Nei contributi sono poi presenti alcune inevitabili

sovrapposizioni e in queste il lettore potrà anche rendersi conto di come ancor oggi sono possibili interpretazioni alternative degli stessi fatti. Si noti anche come già alcuni titoli sono problematici: “Successi e decadenza delle industrie di telecomunicazioni” o “Il ruolo dei gestori nelle comunicazioni nazionali”. Argomenti che sono addirittura presenti nel dibattito politico del paese. Lo stesso testo: “Reti, servizi cellulari e *wireless*” di per sé abbastanza normale, cela in realtà la descrizione e l’interpretazione di uno dei fenomeni più impattanti dal punto di vista sociale del secolo scorso, il passaggio della telefonia da mezzo per connettere luoghi, a mezzo per mantenere in comunicazione costante le persone. Che cosa sia diventato oggi – alla data di uscita di questo libro – uno *smart phone* è sotto gli occhi di tutti, ma ciò è avvenuto attraverso momenti di evoluzione graduale e momenti di discontinuità, con continui scontri tra diverse scuole di pensiero e non sempre con la piena consapevolezza degli stessi attori sulla scena. La sezione si conclude infine con un contributo di scenario, che mette in evidenza le tendenze più significative che si sono manifestate nello sviluppo delle tecnologie e dei servizi di telecomunicazione.

*La formazione e la divulgazione.* La quinta e ultima parte del volume è dedicata alla formazione tecnico/scientifica ed alla divulgazione. In particolare il primo capitolo è dedicato allo sviluppo del corso di laurea in ingegneria delle telecomunicazioni a livello nazionale ed alla sua attuale organizzazione; copre il periodo dall’introduzione di tale corso ad oggi, ovvero circa vent’anni. Il secondo ed il terzo capitolo analizzano l’impatto delle telecomunicazioni moderne – digitali – nella società. Nel primo si analizza a fondo la nascita della nuova generazione digitale, i giovani nati dopo il *world wide web*, con attenzione al singolo individuo e ai suoi mutamenti sia a livello psicologico e comportamentale che biochimico. Il secondo contributo è invece più focalizzato sulle nuove tecnologie di realtà virtuale messe a disposizione degli individui dalle moderne telecomunicazioni digitali. L’ultimo capitolo è – temporalmente – un passo indietro e si ricollega ai contributi delle prime parti. Tratta infatti delle collezioni di storia delle telecomunicazioni conservate nei musei italiani e spazia, inevitabilmente, sull’intero arco di due secoli oggetto di questo volume.

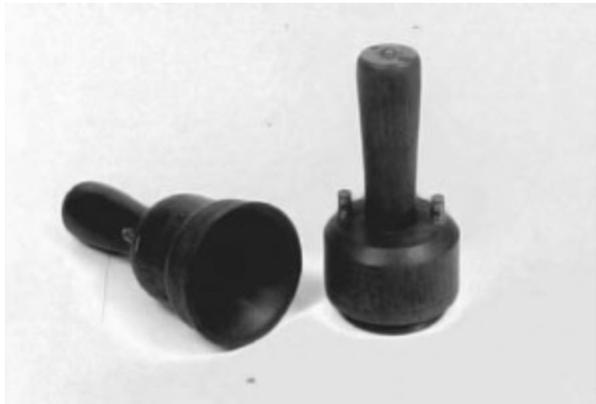
### *Ringraziamenti*

Siamo grati alla CoPI per aver promosso il volume, e alla Commissione della CoPI sulla Storia della Ingegneria per l’azione costante con cui ha seguito l’iniziativa. Un ringraziamento particolare va ad Alessandra Setti per la competenza e la pazienza dimostrata e per l’infaticabile assistenza a curatori e autori. Il progetto del libro è stato definito con un comitato di esperti cui va tutta la nostra gratitudine: Franco Angotti, Ovidio Mario Bucci, Vito Cardone, Salvatore D’Agostino, Vittorio Marchis, Edoardo Rovida, Andrea Silvestri, Guido Tartara e Guido Vannucchi. Non ultimi sono da ringraziare gli autori tutti per l’entusiasmo dimostrato nell’iniziativa.

VIRGINIO CANTONI  
GABRIELE FALCIASECCA  
GIUSEPPE PELOSI

# LE ORIGINI

---



Il modello di telefono di Antonio Meucci fatto ricostruire da Marconi presso le Officine Galileo di Firenze, conservato presso il Museo della Tecnica Elettrica di Pavia.

## Dall'elettromagnetismo alle onde elettromagnetiche: le basi scientifiche dello sviluppo delle telecomunicazioni nell'Ottocento

### Introduzione

Nell'Ottocento la nascita e la diffusione del telegrafo e del telefono, contestualmente allo sviluppo della rete elettrica, e poi, sul volgere del secolo, del fonografo, del cinema e della radio cambiarono profondamente i modi e le forme della comunicazione. Tale cambiamento indusse una vera rivoluzione tecnologica e sociale, innescando il processo culminato nella globalizzazione economica e culturale che noi oggi viviamo.

Tra le trasformazioni vissute dalle società industriali dell'epoca vittoriana e quelle dell'ultimo quarto del secolo appena trascorso ci sono notevoli analogie.

La prima è la presenza di un elemento unificante forme e strumenti di comunicazione fortemente eterogenei: la rete. Nell'Ottocento il ruolo delle odierne reti globali fu svolto, oltre che dalle reti telegrafiche e telefoniche, dalla rete elettrica. Quest'ultima ebbe un'influenza sia diretta, in quanto permise lo sviluppo e la penetrazione degli apparati, sia indiretta, in quanto contribuì a modificare gli orari ed i tempi della vita pubblica e privata.

In secondo luogo, nell'Ottocento, così come nel Novecento, non si ebbe solo una lunga serie di innovazioni tecnologiche, bensì una vera svolta di sistema, che modificò in profondità il modo stesso di concepire la comunicazione. In particolare, alla comunicazione orale fu data la possibilità di abbattere le barriere dello spazio e del tempo, sino ad allora privilegio della comunicazione scritta.

Una terza, e forse più importante analogia, è che, in entrambi i casi, lo sviluppo dei mezzi di telecomunicazione è stato il mezzo ed il motore di un assai più vasto processo di trasformazione economica e tecnologica. Lo sviluppo di tecnologie innovative di comunicazione fornì non tanto (almeno all'inizio) prodotti per la nuova industria, quanto strumenti per la razionalizzazione (ed il controllo) produttivo e sociale. Da questo punto di vista si è sostenuto, non senza ragione, che la cosiddetta società dell'informazione e della comunicazione nasce nel cuore del XIX secolo, come risposta alla necessità di controllare una produzione potenzialmente illimitata ed un mercato sempre più lontano dalla produzione.

Ma, al di là delle analogie, la nascita delle telecomunicazioni evidenzia in modo esemplare la caratteristica fondamentale di uno sviluppo economico basato su un'applicazione intensiva della conoscenza scientifica: la stretta interconnessione tra ricerca scientifica, innovazione tecnologica e realtà socio-economica, che rese, e rende, la ricerca e l'educazione scientifica un prerequisito essenziale dello sviluppo economico.

Nella Tabella 1 sono riportati gli eventi più significativi legati allo sviluppo delle telecomunicazioni nel corso del XIX secolo, nell'ambito della ricerca scientifica, delle innovazioni tecnologiche e delle ricadute socioeconomiche, rispettivamente.

Al fine di evidenziare, anche visivamente, la suddetta interconnessione, sono indicati con carattere diverso (normale, grassetto e corsivo) gli eventi legati da una relazione di interdipendenza.

**Tabella 1.** Quadro sinottico degli eventi più significativi legati allo sviluppo delle telecomunicazioni nel XIX secolo.

Anno	Scienza	Tecnica	Società
1819	Scoperta degli effetti magnetici della corrente elettrica (Hans Christian Oersted)		
1820	<i>Scoperta degli effetti meccanici tra correnti elettriche (André-Marie Ampère)</i>		
1825		Primo telegrafo elettromagnetico (Pavel Lvovitch von Schilling)	
1827	Formalizzazione dell'elettrodinamica da parte di Ampère		
1831	<i>Scoperta dell'induzione elettromagnetica (Michael Faraday)</i>		
1833		Carl Friedrich Gauss e Wilhelm Eduard Weber realizzano la prima linea telegrafica stabile	
1837		William Fothergill Cooke e Charles Wheatstone brevettano il telegrafo a 5 aghi Samuel Morse presenta un <i>caveat</i> brevettuale per il suo telegrafo e relativo codice	
1838			Primo impianto telegrafico Wheatstone. Prima dimostrazione pubblica del telegrafo Morse
1844			Collegamento Washington-Baltimora con telegrafo Morse

1846	<i>Formalizzazione dell'elettromagnetismo in termini di azione a distanza (Weber)</i> <b>Faraday introduce i concetti di polarizzazione e di linea di forza</b>	Primo servizio di telegrafia pubblica tra Londra e Dover. Fondazione della "Electric Telegraph Company"
1851		Costituzione della "New York and Mississippi Valley Printing Telegraph Company" (dal 1856 "Western Union Telegraph Company"). Posa in opera del primo cavo sottomarino tra Dover e Calais
1854-55	William Thomson pone le basi per la teoria matematica della trasmissione di segnali elettrici via cavo	
1856	<b>Prima memoria di James Clerk Maxwell sull'elettromagnetismo</b>	Fondazione della "Atlantic Telegraph Company"
1857	Gustav Robert Kirchhoff estende e completa la teoria di Thomson	
1858		Posa in opera del primo cavo transatlantico
1860	Philipp Reis inventa un apparecchio per la trasmissione elettrica dei suoni, cui dà il nome di telefono	<i>Antonio Meucci effettua una dimostrazione pubblica del suo "teletrofono"</i>
1861-62	<b>Seconda memoria di Maxwell: teoria elettromagnetica della luce</b>	La Western Union completa il collegamento telegrafico da costa a costa negli Stati Uniti
1864	<b>Terza memoria di Maxwell: equazioni del campo e previsione dell'esistenza delle onde elettromagnetiche</b>	
1871		<i>Antonio Meucci costituisce la "Teletrofono Company" e sottopone un caveat per l'invenzione del "sound telegraph"</i>
1876		<i>Alexander Graham Bell deposita domanda di brevetto per il suo telefono, poche ore prima del caveat di Elisha Gray</i>

1877		<i>Fondazione della “Bell Telephone Company”</i>
1878		<i>Entra in funzione a New Haven (NY) il primo centralino telefonico</i>
1879		<i>Accordo tra Bell e Western Union e inizio del monopolio Bell. Primo centralino telefonico a Londra su licenza Bell</i>
1885		<i>Fondazione della “American Telephone and Telegraph Company” (AT&amp;T)</i>
1887	<b>Heinrich Rudolf Hertz dimostra sperimentalmente l’esistenza delle onde elettromagnetiche</b>	
1895	<b>Guglielmo Marconi dimostra la possibilità di comunicare a distanza mediante le onde elettromagnetiche</b>	
1896	<b>Marconi brevetta in Inghilterra la sua invenzione</b>	<i>Fondazione della “Wireless Telegraph and Signal Company”, dal 1900 “Marconi’s Wireless Telegraph Company”</i>
1901		<b>Primo collegamento radio transatlantico</b>

La prima cosa che emerge con evidenza è che, a differenza di quanto era accaduto all’inizio della rivoluzione industriale, *tutte* le innovazioni tecnologiche fondamentali furono innescate da risultati della ricerca scientifica.

Il tempo intercorrente tra scoperta scientifica ed innesco dell’innovazione tecnologica fu, comprensibilmente, diverso da caso a caso.

Nel caso del telegrafo, nome coniato da Claude Chappe (1763-1805)<sup>1</sup>, inventore dell’omonimo sistema di comunicazione ottica e del relativo codice, linee telegrafiche ottiche erano in funzione sin dal 1794, ed all’epoca della scoperta di Oersted avevano raggiunto un’estensione assai notevole (Fig. 1). Fu quindi naturale, non appena scoperta la possibilità di azionare meccanicamente un ago (o un avvolgimento) mediante la corrente elettrica, pensare a sostituire il segnale ottico con uno elettrico.

Viceversa, nel caso della telefonia, si trattava di un sistema di telecomunicazione totalmente nuovo e rivoluzionario, la cui esigenza poté manifestarsi solo

<sup>1</sup> Si veda, in questo stesso volume, il capitolo “La telegrafia elettrica e i suoi sviluppi: facsimile e telescrivente” di Stefano Maggi.

a valle della piena diffusione della telegrafia con le relative reti, del manifestarsi dei limiti di quest'ultima e, quindi, dell'esistenza di un mercato, potenzialmente vastissimo, per la nuova tecnologia.

Ancora diverso è il caso della radio. Qui il ritardo fu dovuto agli oltre venti anni intercorsi tra la previsione teorica dell'esistenza delle onde elettromagnetiche e la dimostrazione sperimentale della loro effettiva esistenza e della conformità delle loro proprietà con le previsioni teoriche. Compiuto tale passo cruciale, l'idea di utilizzare le onde elettromagnetiche in luogo delle reti fisiche non tardò a manifestarsi.

Una volta innescato, il percorso dell'innovazione tecnologica risulta tutt'altro che lineare e spesso intessuto di false partenze e vicoli ciechi, ed ancor più complesso è il processo di traduzione della nuova tecnologia in prodotti e mercato.

Senza volersi soffermare su tali aspetti, che saranno esaminati, con particolare riguardo all'Italia, in altri capitoli di questo volume, ci si limita ad evidenziare due punti.

Il primo è, ancora una volta, il ruolo determinante della ricerca scientifica, non solo come motore dell'innovazione tecnologica, ma anche e soprattutto come strumento per affrontare e risolvere le sfide ed i problemi posti dalla sua traduzione in realtà socio-economica. In tutti i casi, infatti, tale passaggio richiede non solo spirito imprenditoriale e capacità di anticipare (od anche condizionare) il mercato, bensì anche la compresenza sinergica delle necessarie competenze scientifico-tecnologiche. Esemplari in tal senso, sono lo sviluppo delle reti telegrafiche a grande distanza, in particolare la posa dei primi cavi transatlantici, la ben nota vicenda Meucci-Bell<sup>2</sup> e lo sviluppo della telefonia, per non parlare del caso della telegrafia senza fili, in cui le suddette caratteristiche si assommarono in una sola persona.

Il secondo punto è il pesante impatto che il contesto sociale ed i condizionamenti economici ed ideologici hanno avuto (ed hanno) sulla diffusione delle nuove tecnologie.

Ad esempio, la preesistenza della rete telegrafica *ottica*, che in Francia raggiunse la sua massima estensione nel 1852, coprendo complessivamente con 556 stazioni ed oltre 3000 addetti la distanza di 4800 chilometri, ritardò la diffusione del telegrafo elettromagnetico. Rapida fu, viceversa, la sostituzione del telegrafo ad aghi (che, malgrado il nome, richiedeva in realtà un operatore per l'effettiva 'scrittura' del messaggio) con quello Morse.

Analogamente, pregiudizi di vario genere e gli interessi delle società telegrafiche, quasi sempre statali ed operanti in regime di monopolio, ritardarono notevolmente



Figura 1. La rete telegrafica ottica in epoca post napoleonica.

<sup>2</sup> Catania 1994; Catania 1996; Schiavo 1958.

la diffusione del telefono in Europa: si pensi che la Commissione incaricata di organizzare l'*Esposizione Universale di Parigi* del 1878, bocciò il telefono, ritenendolo poco più di un giocattolo, non degno di esposizione pubblica e senza futuro! Ancora nel 1881 alla *Mostra Internazionale dell'Elettricità di Parigi*, la lampada ad incandescenza di Edison ricevette molta più attenzione del telefono. Solo all'inizio del nuovo secolo, quando negli Stati Uniti gli abbonati avevano superato i tre milioni, il telefono cominciò a diffondersi significativamente in Europa.

Alla luce di quanto sopra, sembra pertanto opportuno, in apertura di un volume dedicato alla storia delle telecomunicazioni in Italia, ripercorrere brevemente le principali tappe scientifiche che sono state alla base della nascita e dello sviluppo delle telecomunicazioni.

Tra l'altro, ciò fornisce anche una chiara illustrazione della dinamica del progresso scientifico e dei tre fattori che lo promuovono: la scoperta di nuovi fenomeni, i cambi di "paradigma" (nel senso di Thomas Kuhn<sup>3</sup>), che portano a vedere ed interpretare gli stessi fenomeni in modo diverso, e la necessità di rispondere alle sfide poste dall'applicazione della conoscenza scientifica.

## L'elettromagnetismo prima di James Clerk Maxwell



**Figura 2.** Hans Christian Ørsted (1777-1851).

Alla fine del 1819 un professore, allora poco noto, dell'Università di Copenhagen, Hans Christian Ørsted (Fig. 2), eseguì un'esperienza che cambiò completamente il corso successivo dello studio dei fenomeni elettrici e magnetici. In tale esperienza Ørsted osservò la deflessione di un ago magnetico posto in vicinanza di un filo percorso da corrente, individuando un legame tra effetti elettrici e magnetici.

Ecco come lui stesso, circa un anno dopo i fatti, racconta gli avvenimenti:

[...] pertanto la mia vecchia convinzione sull'identità delle forze elettriche e magnetiche si sviluppò con maggiore chiarezza e decisi di verificare le mie ipotesi con un'esperienza. La preparazione fu fatta un giorno in cui dovevo tenere una lezione pomeridiana [...]

Ørsted teneva un corso su Elettricità, Galvanismo e Magnetismo. È interessante notare la denominazione del corso, che indica come all'epoca per elettricità si intendesse l'elettrostatica mentre i fenomeni legati alle correnti elettriche erano detti galvanici, in quanto non c'era ancora nessuna chiara idea sulla relazione tra cariche e correnti elettriche;

<sup>3</sup> Kuhn 1962.

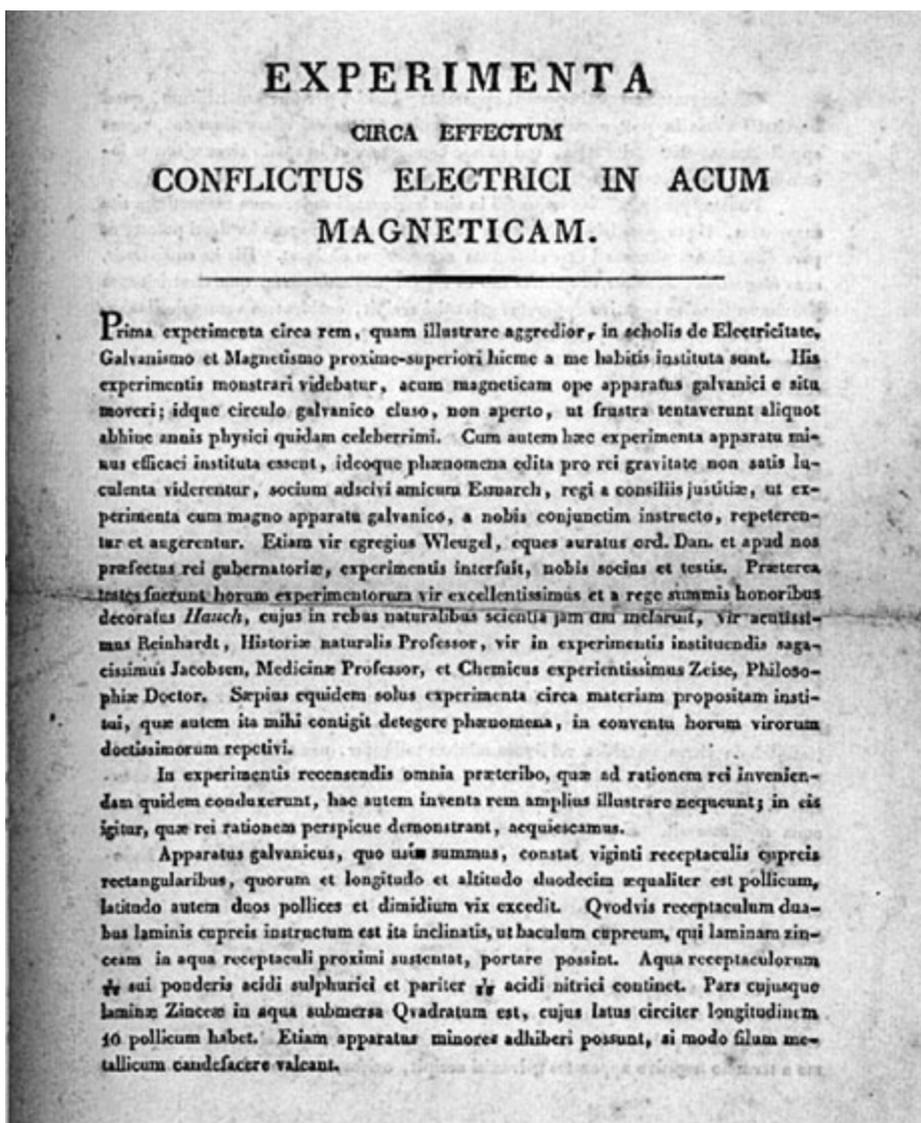


Figura 3. La pubblicazione di Ørsted.

[...] poiché mi aspettavo che l'effetto fosse meglio osservabile nel caso di una scarica tale da produrre incandescenza, inserii nel circuito un filo di platino molto sottile al di sopra dell'ago: l'effetto fu certamente inequivocabile. All'inizio di luglio ripresi gli esperimenti e li continuai fino a quando giunsi ai risultati che sono stati pubblicati.

La pubblicazione cui Ørsted fa riferimento (Fig. 3) si intitola: *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam* (Copenhagen, 1820). Come a segnare il passaggio da un'epoca all'altra, questa è l'ultima memoria importante nel



Figura 4. André-Marie Ampère (1775-1836).

campo dell'elettricità e del magnetismo scritta in latino, e fornisce un'idea della personalità di Ørsted, che era ancora legato alla tradizione settecentesca.

Immediatamente dopo la pubblicazione di questo articolo gli esperimenti furono ripetuti in tutta Europa e lo stesso articolo fu tradotto, nel giro di pochissimi mesi, in tedesco, in inglese e in francese.

All'epoca era abitudine dell'Accademia di Francia tenere una riunione ogni mercoledì, per comunicare e discutere i risultati scientifici più importanti. François Arago (1786-1853), presidente dell'Accademia, l'11 settembre 1820 presentò, ripetendola in pubblico, l'esperienza di Ørsted. A questa riunione dell'Accademia era presente André-Marie Ampère<sup>4</sup> (Fig. 4).

Ampère fu estremamente colpito dall'esperienza e immediatamente pensò alla possibilità che oltre che tra correnti e magneti, ci potesse essere un effetto di interazione fra le correnti. Appena una settimana dopo, egli presentò e dimostrò l'esistenza degli effetti mutui fra le correnti in due successive sedute, il 18 e il 25 settembre.

Subito dopo questa presentazione, Ampère iniziò una serie molto raffinata di esperienze, lavorando a ritmi serrati per pervenire ad una sistematizzazione teorica soddisfacente del fenomeno scoperto. Nel frattempo, Jean-Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841), il 30 ottobre, comunicarono, e immediatamente dopo pubblicarono, la legge quantitativa del fenomeno scoperto da Ørsted che, viceversa, si era limitato ad una semplice illustrazione qualitativa.

I risultati del lavoro sperimentale e teorico condotto da Ampère tra il 1820 ed il 1825 furono codificati nel 1827 nella famosa *Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamique uniquement déduite de l'expérience*, che ebbe risonanza e diffusione immediata e gli valse l'appellativo di "Newton dell'elettrologia".

In tale lavoro Ampère riuscì a descrivere quantitativamente tutti i fenomeni in termini di interazione a distanza tra elementi di corrente, introducendo la famosa legge elementare che porta il suo nome. Nella stessa memoria pose inoltre le fondamenta della cosiddetta interpretazione ampèriana del magnetismo,

<sup>4</sup> Ampère era già membro dell'Accademia e professore famoso. Figlio di un ricco commerciante lionese, estremamente precoce, a 12 anni aveva letto tutta la biblioteca paterna, compresa l'intera *Encyclopédie*, di cui conservava ancora memoria da grande. Fu professore di matematica, di filosofia e di fisica. All'epoca della presentazione dell'esperienza di Ørsted da parte di Arago era professore di astronomia all'università di Parigi.



**Figura 5.** Michael Faraday (1791-1867).



**Figura 6.** Il laboratorio di Faraday alla Royal Institution.

ovvero l'ipotesi che tutti i fenomeni magnetici fossero dovuti esclusivamente all'interazione tra correnti.

A dispetto del titolo della memoria, in realtà i risultati ottenuti non erano stati dedotti *unicamente* dall'esperienza, in quanto Ampère introdusse l'ipotesi, tanto naturale nell'ambito di una visione newtoniana da essere considerata ovvia, che la forza fosse diretta lungo la congiungente gli elementi di corrente. Anche se oggi sappiamo che ciò non è vero, nello studio condotto da Ampère era un'ipotesi lecita, poiché fin quando si opera con circuiti chiusi, esistono infinite leggi elementari che conducono allo stesso risultato.

Era stato ormai dimostrato che una corrente genera quello che noi oggi chiamiamo un campo magnetico e quindi agisce sia sulle altre correnti sia sull'ago magnetico. Era abbastanza naturale pensare che ci dovesse essere una simmetria e quindi che dovesse esistere un effetto dei campi magnetici sulle correnti elettriche.

Ampère dal 1827 in poi andò alla ricerca, inutilmente, di tale effetto, che, come ben noto, fu infine trovato da un fisico inglese, Michael Faraday<sup>5</sup> (Fig. 5).

Faraday, direttore del laboratorio alla Royal Institution dal 1825 (Fig. 6), è stato forse il più grande, certamente fra i più grandi, scienziati sperimentali di

<sup>5</sup> Faraday era figlio di un maniscalco. Autodidatta, ebbe la fortuna di essere messo a bottega dal padre in una legatoria. Il giovane Faraday oltre a rilegare i libri, li leggeva. In tal modo acquisì una preparazione scientifica di base. Ciò fu notato da un cliente, il quale gli procurò dei biglietti per assistere a delle lezioni alla Royal Institution, a Londra. A quell'epoca il presidente della Royal Institution era un famosissimo chimico, nominato baronetto per i suoi meriti scientifici, Sir Humphry Davy (1778-1829). Faraday seguì con attenzione tutte le serie di lezioni di Davy e ne compilò degli appunti, che rilegò e presentò allo stesso. L'accuratezza di questi appunti, che mostravano le capacità di comprensione di Faraday, colpirono Davy, che gli offrì un posto di assistente. L'anno successivo, il 1813, Davy portò Faraday con sé in un viaggio in Europa che durò quasi due anni. Questa esperienza permise a Faraday di entrare in contatto con la scienza europea, istituendo una serie di relazioni scientifiche. Successivamente Faraday entrò a far parte della Royal Institution e fu eletto alla Royal Society nel 1824.

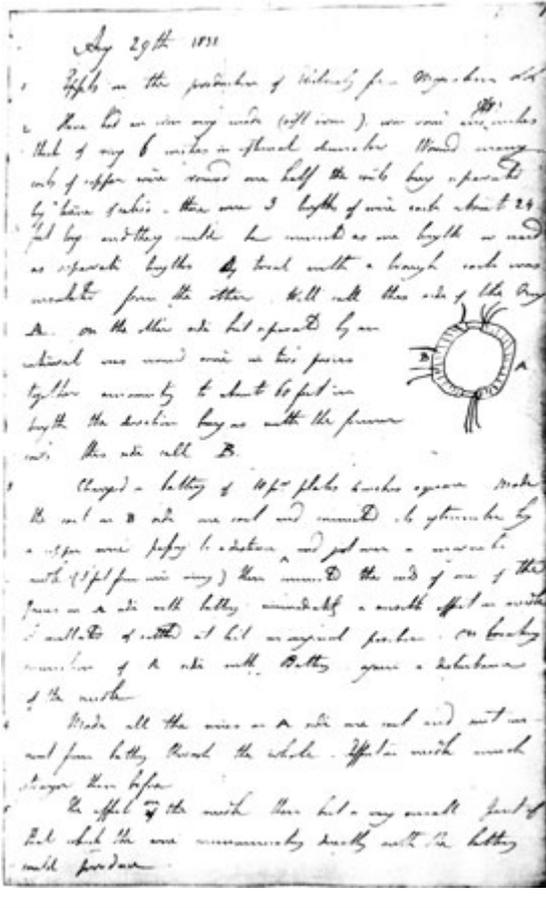


Figura 7. Pagina del diario di laboratorio di Faraday del 29 agosto 1831.

tutti i tempi. L'insieme dei suoi appunti di laboratorio, tenuti con scrupoloso ordine, sono il resoconto di oltre 17.000 esperienze accuratamente registrate, che furono la base di un famoso insieme di pubblicazioni, le *Experimental Research in Electricity*<sup>6</sup>, che ebbe un'influenza notevolissima su tutto lo sviluppo dell'elettromagnetismo e in particolare, come vedremo, su Maxwell.

Il 29 agosto del 1831, Faraday scoprì il fenomeno dell'induzione elettromagnetica. La figura 7 mostra la pagina del suo diario di laboratorio in cui è riportata l'esperienza.

È rappresentato un anello di metallo con due avvolgimenti. Faraday notò che variando la corrente elettrica in uno dei due, e quindi il corrispondente campo magnetico, si induceva una corrente nell'altro. Il motivo per cui non si era riuscito ad individuare tale effetto era che tutti, fino ad allora, avevano effettuato esperimenti con campi stazionari; la chiave, viceversa, era proprio quella della *variazione* della corrente.

In realtà il fenomeno dell'induzione elettromagnetica era stato scoperto pressoché contemporaneamente in America da Joseph Henry (1797-1878), il quale però pubblicò i suoi

risultati con un anno di ritardo su una rivista americana<sup>7</sup>. All'epoca pubblicare su una rivista americana significava non essere letti dalla scienza che contava, e la sua scoperta rimase pertanto praticamente sconosciuta, anche se trova oggi un riconoscimento nel nome dell'unità di misura dell'induttanza.

Questa scoperta fondamentale, di cui fra l'altro Faraday non enunciò le leggi quantitative, dette inizio agli sviluppi successivi dell'elettromagnetismo teorico ed applicato.

Un ulteriore contributo importante che Faraday apportò fu la dimostrazione della identità tra i vari tipi di correnti elettriche, fossero esse prodotte da pile, dalla scarica di un condensatore o da effetti di induzione. Inoltre, sulla base dei suoi studi sull'elettrolisi, ipotizzò che esse fossero dovute a spostamenti di cariche

<sup>6</sup> Faraday 1839, 1844, 1855.

<sup>7</sup> Henry 1832.

elettriche. Ciò apriva la strada alla possibilità di interpretare, sulla base dell'ipotesi ampèriana, tutti i fenomeni elettromagnetici in termini di mutua interazione tra cariche in riposo o in moto relativo, offrendo la possibilità di sviluppare una teoria unitaria dell'elettromagnetismo.

Successivamente lo stesso Faraday scoprì l'effetto giromagnetico, cioè l'esistenza di un effetto del campo magnetico sulla polarizzazione della luce, ed affrontò lo studio dei fenomeni di polarizzazione elettrica e magnetica. Ciò lo portò ad elaborare quel concetto di *campo* come insieme di linee di forza che in qualche modo riempiono lo spazio e trasmettono le azioni, che sarà cruciale per gli sviluppi successivi.

La concezione di

Faraday modificava completamente la prospettiva con cui vedere le azioni elettromagnetiche: invece che *azioni a distanza* fra cariche in quiete o in moto, *azioni trasmesse dal mezzo*, attraverso tubi di flusso che riempiono tutto lo spazio esercitando un'azione sulle cariche. Probabilmente, l'origine di questa concezione è il ben noto esperimento delle linee di forza visualizzate con la limatura di ferro, riportato in Figura 8.

In realtà, la capacità immaginativa di Faraday andò ben oltre, arrivando fino a formulare l'ipotesi che la luce fosse un fenomeno elettromagnetico dovuto alla perturbazione del campo, e addirittura a sperimentare la possibilità di individuare degli effetti gravito-elettrici, cioè effetti del campo gravitazionale sui fenomeni elettrici, effetti in realtà previsti dalla teoria della relatività generale, ma ben al di là delle possibilità sperimentali del tempo.

Nonostante i contributi dati, lo sviluppo immediatamente successivo dell'elettromagnetismo non seguì la via proposta da Faraday, basata sul concetto di campo.



Figura 8. Pagina del diario di laboratorio di Faraday: linee di forza magnetiche tracciate con limatura di ferro.

La ragione fondamentale di ciò risiede da un lato nell'assoluto dominio del paradigma newtoniano nella fisica del tempo, dall'altro nel fatto che Faraday, non avendo una profonda base matematica, non fu capace di formulare le sue idee in un modo accettabile secondo i criteri elaborati per la fisica matematica, portati a sommi livelli dalla scuola continentale europea. La teoria dei fenomeni elettromagnetici fu sviluppata, pertanto, in termini di azioni a distanza.

Nel 1846 Wilhelm Eduard Weber (Fig. 9) pubblicò la prima<sup>8</sup> delle famose *Elektrodynamische Maassbestimmungen*, una serie di sette lunghe memorie condotte a termine tra il 1846 ed il 1878.

In tale lavoro veniva elaborata una teoria completa dell'elettrodinamica e dell'induzione elettromagnetica in termini di azione a distanza tra cariche e correnti, intese come cariche in moto.

La legge di forza introdotta da Weber è ancora di tipo centrale, ma, rispetto alla meccanica classica, presenta la sostanziale differenza di dipendere non solo dalla *distanza* tra le particelle, ma anche dalla *velocità* (cosa che, una volta interpretate le correnti come moto di cariche, era già implicita nell'elettrodinamica ampèriana) e dall'*accelerazione* relative. Inoltre, nella legge di forza compare una costante, per l'appunto denominata costante di Weber, pari al rapporto tra le unità di misura della carica elettrica nei sistemi CGS elettromagnetico ed elettrostatico, una quantità delle dimensioni di una velocità, destinata a giocare, come vedremo, un ruolo cruciale.

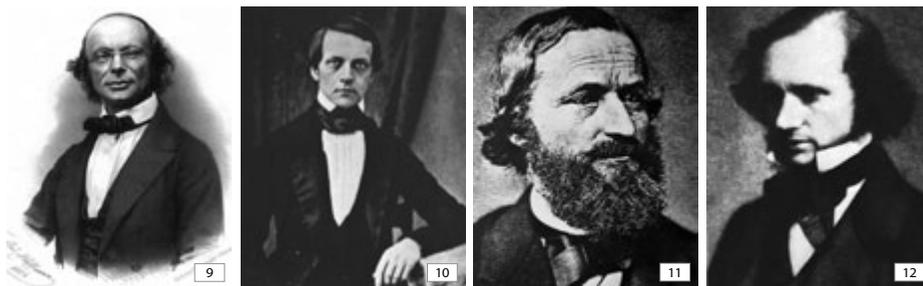
Un'altra peculiarità della teoria di Weber è l'assunzione, fatta per la prima volta da un professore dell'Università di Lipsia, Gustav Theodor Fechner (1801-1887), che le correnti elettriche consistano di flussi di cariche di *eguale* ampiezza, viaggianti in direzioni opposte con *eguale* velocità. Questa ipotesi piuttosto artificiale, ed in definitiva falsa, è inevitabile se si assume che le forze dipendano dalle velocità relative, come aveva fatto Weber in omaggio al principio di relatività galileiano.

La dipendenza della forza dalla velocità e dall'accelerazione pose subito dei problemi di principio, in quanto appariva in contrasto con il principio di conservazione dell'energia, così come formulato dal giovane Hermann von Helmholtz<sup>9</sup> (Fig. 10) nel 1847<sup>10</sup>. Per quanto l'anno successivo Weber dimostrasse che la sua forza poteva essere derivata da un potenziale (ovviamente, dipendente dalla velocità), fu solo nella sesta *Elektrodynamische Maassbestimmungen*,

<sup>8</sup> Weber 1846.

<sup>9</sup> Helmholtz, vero *homo universalis*, è stato uno dei maggiori e più influenti scienziati dell'Ottocento. Appassionato di fisica sin da quando era studente nel Ginnasio di Potsdam, grazie ad una borsa governativa studiò medicina all'istituto medico-chirurgico "Friedrich-Wilhelm" di Berlino, seguendo corsi di filosofia, fisica e fisiologia e approfondendo lo studio della fisica matematica sui grandi classici francesi. Laureatosi nel 1842, durante il servizio come chirurgo presso l'esercito prussiano, si occupò delle connessioni tra calore e lavoro muscolare, che lo portarono alla memoria del 1847 e, l'anno successivo, ad occupare la cattedra di fisiologia a Königsberg. Dopo aver ricoperto varie posizioni nello stesso campo a Bonn ed Heidelberg, nel 1871 ottenne la cattedra di fisica a Berlino, facendo del suo laboratorio uno dei centri di ricerca più importanti, se non il più importante, del tempo.

<sup>10</sup> von Helmholtz 1847.



**Figura 9.** Wilhelm Eduard Weber (1804-1891).

**Figura 10.** Hermann von Helmholtz (1821-1894) nel 1847.

**Figura 11.** Gustav Kirchhoff (1824-1887).

**Figura 12.** William Thomson (1824-1907).

pubblicata nel 1871, che egli riuscì a provarne la consistenza con il principio di conservazione dell'energia.

Malgrado tali limiti, Weber era riuscito a dare un'interpretazione generale di tutti i fenomeni elettromagnetici noti al suo tempo, nell'ambito di un quadro teorico newtoniano dall'eccellente potere predittivo, che fu, in effetti, usato e sviluppato sino alla verifica sperimentale da parte di Hertz della più sorprendente conseguenza delle equazioni di Maxwell: l'esistenza delle onde elettromagnetiche.

In particolare, la legge di forza di Weber venne utilizzata nel 1857<sup>11</sup> da Gustav Kirchhoff (Fig. 11) per estendere i risultati ottenuti da William Thomson, futuro Lord Kelvin<sup>12</sup>, (Fig. 12) e formulare una teoria capace di dare una risposta soddisfacente ad uno dei più pressanti problemi posti dalla telegrafia a lunga distanza: lo studio della propagazione dei segnali elettrici lungo cavi metallici.

Tale teoria mostrava che i segnali si propagano con velocità *finita*, che, nel caso di conduttori di resistenza trascurabile, era pari alla costante di Weber. Tale costante era stata sperimentalmente determinata da Weber e Friedrich Wilhelm Georg Kohlrausch l'anno precedente<sup>13</sup>, ed era risultata pari alla *velocità della luce* nel vuoto. Sia Weber che Kirchhoff notarono tale coincidenza, ma la considerarono puramente accidentale e priva di significato fisico.

Il contrasto con l'atteggiamento di Maxwell, che appena quattro anni dopo proprio su questa coincidenza baserà l'ipotesi della natura elettromagnetica dei fenomeni luminosi, non potrebbe essere più stridente, ed evidenzia in modo esemplare l'influenza dei paradigmi sullo sviluppo della Scienza.

Guardando ai fenomeni elettromagnetici ed ottici alla luce di paradigmi *differenti*, quello newtoniano (azione a distanza tra particelle nel vuoto) e car-

<sup>11</sup> Kirchhoff 1857.

<sup>12</sup> Thomson, anch'egli uno dei maggiori scienziati dell'Ottocento, è un caso esemplare di coesistenza in una sola persona delle tre qualità menzionate nell'Introduzione. Capace di affrontare le maggiori sfide teoriche poste dalla fisica del suo tempo, si impegnò con estrema efficacia nella traduzione in applicazioni dei risultati scientifici, curando sia gli aspetti tecnologici sia quelli economici. Determinante fu, in particolare, la sua partecipazione ad una delle più grandi imprese del suo tempo, la posa dei primi cavi transatlantici, che gli valse, a parte ritorni economici assai significativi, il titolo di Baronetto. Altrettanto importante fu la sua influenza su Maxwell.

<sup>13</sup> Kohlrausch e Weber 1857.

tesiano (azione per contatto tramite un mezzo interposto) rispettivamente, una coincidenza numerica tra proprietà ottiche ed elettromagnetiche appare fortuita. Viceversa, se li si osserva sotto lo stesso paradigma, come fece Maxwell, la coincidenza diviene fisicamente rilevante, e mostra la possibilità di svelare una sostanziale unità tra i fenomeni, aprendo la via ad una rivoluzione scientifica.

Per la sua rilevanza e le conseguenze che ebbe, è quindi opportuno esaminare, anche se sommariamente, il percorso che condusse Maxwell alla elaborazione del concetto di campo elettromagnetico e delle relative equazioni, che implicavano l'esistenza di quelle onde elettromagnetiche che avrebbero rivoluzionato il mondo delle telecomunicazioni<sup>14</sup>.

## Maxwell e la genesi del concetto di campo elettromagnetico

Maxwell<sup>15</sup> è considerato una delle maggiori figure nella storia della Scienza non tanto per il numero e la rilevanza dei suoi contributi scientifici, quanto per la loro natura. Come Newton prima e Einstein dopo di lui, egli introdusse nuovi modi di guardare ai fenomeni, aprendo orizzonti concettuali (e pratici) completamente nuovi e modificando il corpo delle concezioni fisiche (e metafisiche), i "paradigmi" appunto.

Per apprezzare la rilevanza rivoluzionaria, sempre nel senso di Kuhn, della sua opera, basta notare che gli elementi costitutivi dell'odierna visione di un mondo costituito da particelle interagenti tramite campi hanno il loro fondamento concettuale nei due contributi principali di Maxwell: la teoria cinetica dei gas e la teoria del campo elettromagnetico.

Lo sviluppo di ambedue le teorie non fu motivato da nuove scoperte sperimentali non inquadrabili nel paradigma esistente, come avvenuto per la Relatività (ristretta) e la Meccanica Quantistica. In particolare, nel caso dell'Elettromagnetismo, come abbiamo visto tutti i fenomeni noti avevano ricevuto un soddisfacente inquadramento teorico nell'ambito del paradigma newtoniano.

La motivazione principale dello sforzo di Maxwell fu piuttosto di natura filosofica, o, se si vuole, metafisica: la sua insoddisfazione per il paradigma dominante e la sua adesione ad una "visione" alternativa del mondo fisico, quella introdotta da Faraday in connessione con i suoi studi sull'induzione elettromagnetica e sulla polarizzazione.

<sup>14</sup> Per un'analisi più approfondita di tale percorso e dell'evoluzione del pensiero di Maxwell si rinvia a "The genesis of Maxwell Equations" in Bucci 2006.

<sup>15</sup> Nato ad Edimburgo nel 1831, morto a Cambridge nel 1879, James Clerk Maxwell apparteneva ad una famiglia della piccola nobiltà scozzese, i Clerk, che acquisì l'ulteriore cognome di Maxwell a seguito di un'eredità che il padre aveva ricevuto. Maxwell visse la sua infanzia in un possedimento di campagna che i Clerk avevano a Glenlair, 100 Km circa a sud di Glasgow, fino all'età di 12 anni. Studiò all'Università di Edimburgo, quindi a Cambridge. Quivi, nel 1854 si laureò in matematica, classificandosi *second wrangler*, cioè secondo tra i migliori, e l'anno successivo venne eletto Fellow del Trinity College e della Royal Society di Edimburgo. Dal 1856 al 1860 fu professore ad Aberdeen, in Scozia, quindi sino al 1865 al King's College di Londra e dal 1871 alla morte all'Università di Cambridge.

La costruzione di una teoria coerente e soddisfacente basata su tale concezione alternativa richiese dieci anni, ed uno sforzo intellettuale eccezionale, che condusse alla teoria elettromagnetica della luce, all'introduzione del concetto di campo elettromagnetico ed alla formulazione di quelle equazioni che tutt'oggi adottiamo per la descrizione dei fenomeni elettromagnetici.

Maxwell era stato introdotto allo studio del magnetismo da Thomson quando era ancora studente a Cambridge, ma il suo esplicito interesse per l'elettromagnetismo si manifestò subito dopo la laurea<sup>16</sup> (Fig. 13).

Fece rapidi progressi nei suoi studi, manifestando subito una forte insoddisfazione per l'approccio continentale in termini di azione a distanza. In una lettera a Thomson del 13 novembre 1854<sup>17</sup> si legge:



Figura 13. Maxwell negli anni di Cambridge.

Ho tentato di venire a capo della teoria dell'attrazione tra correnti, ma per quanto possa ben vedere come gli effetti possano essere [correttamente] determinati, non sono rimasto soddisfatto della teoria in termini di correnti elementari e loro reciproche attrazioni [...] Ora, ho sentito che voi parlate di "linee di forza magnetiche" e Faraday sembra fare un gran uso di esse, ma altri sembrano preferire la nozione di attrazione diretta tra elementi di corrente. Ora, io ho pensato che se ogni corrente generasse linee [di forza] magnetiche e fosse soggetta ad un'azione determinata dalle linee che l'attraversano, allora qualcosa potrebbe essere ottenuto considerando la "polarizzazione magnetica" come una proprietà di un "campo magnetico" e sviluppando le idee geometriche secondo un tal punto di vista.

Queste righe dimostrano che sin dall'inizio Maxwell fu fortemente influenzato dalla concezione di Faraday che la trasmissione di forze tra corpi carichi o magnetizzati avvenga per contiguità, tramite l'azione di linee di forza nello spazio, e ciò lo spinse a tentare di costruire, come scrive in un'altra lettera a Thomson il 15 maggio 1855:

<sup>16</sup> All'epoca per laurearsi a Cambridge bisognava superare i cosiddetti "Mathematics Tripos", esami di eccezionale difficoltà, della durata di una settimana. Il termine derivava da un'antica tradizione, consistente nel sottoporre il candidato ad un esame farsesco da parte di uno studente anziano laureato, seduto, per l'appunto, su uno sgabello a tre piedi. La prova fu in seguito abolita a causa dell'incidenza di suicidi tra i candidati respinti.

<sup>17</sup> Harmon 1990.

[...] due teorie matematicamente equivalenti, una delle quali sia basata sulla concezione di particelle che si attraggono a distanza mentre nell'altra si considerano (matematicamente) solo stati di polarizzazione, tensione, etc., esistenti nei vari punti dello spazio.

La costruzione di tale teoria avvenne nell'estate e nell'autunno dello stesso anno, e portò alla prima delle tre memorie fondamentali sull'elettromagnetismo, dal titolo *On Faraday Lines of Force*, che fu letta alla Cambridge Society in due parti, il 10 dicembre del 1855 e l'11 febbraio del 1856, e subito dopo pubblicata<sup>18</sup>.

Dopo un attacco *tranchant*:

Il presente stato della scienza dell'elettricità appare particolarmente sfavorevole alla speculazione.

Maxwell chiarisce immediatamente il suo scopo:

[...] mostrare come, mediante una stretta applicazione delle idee e dei metodi di Faraday, la connessione tra gli assai differenti ordini di fenomeni da lui scoperti può essere posta con chiarezza davanti alla mente matematica.

In altre parole, l'obiettivo è dimostrare che le concezioni di Faraday non erano delle idee, più o meno qualitative, di un genio sperimentale privo di capacità matematiche, ma potevano essere formalizzate in un modo matematicamente ineccepibile e, quindi, accettabile come descrizione possibile delle interazioni elettromagnetiche.

A tal fine, nella prima parte della memoria utilizza un'analogia con il moto di un fluido incompressibile, di massa trascurabile, soggetto a delle forze che lo mettono in moto e a delle forze resistenti proporzionali alla velocità. Il fluido può entrare o uscire mediante sorgenti o pozzi, ovvero attraverso la frontiera dalla regione di spazio considerato. Nell'ambito del modello, le linee di forza ed i tubi di flusso di Faraday corrispondono, ovviamente, alle linee ed ai tubi di flusso del moto del fluido.

Applicando a questo modello le leggi del moto dei fluidi con opportune identificazioni delle velocità e delle forze, Maxwell ritrova le leggi dell'elettricità, del magnetismo e della conduzione elettrica.

Ad esempio, nel caso del magnetismo, la velocità viene identificata con l'induzione magnetica, mentre le forze che mettono in moto il fluido sono rappresentate dal campo magnetico. Ne consegue che le forze sono conservative, mentre il vettore di induzione magnetica risulta essere solenoidale, in quanto il fluido è incompressibile.

Nel caso elettrostatico la velocità è identificata con l'induzione elettrica e la forza con il campo. Le forze risultano ancora conservative, mentre il campo non è più a divergenza nulla ma la divergenza (ovvero, l'intensità delle sorgenti o dei pozzi) è legata alle densità di cariche che danno origine al campo.

<sup>18</sup> *Trans. Camb. Phil. Soc.*, X, 1856.

La seconda parte della memoria, dedicata all'elettrodinamica ed all'induzione elettromagnetica, ha un livello matematico assai più elevato, in quanto Maxwell non ha possibili analogie da utilizzare, e deve sfruttare appieno tutti gli strumenti analitici a sua disposizione.

Nel caso dell'elettrodinamica, dopo aver esplicitamente evidenziato che l'ipotesi di forze elementari centrali non è deducibile da esperienze su circuiti chiusi, dimostra che tutta la formulazione di Ampère è equivalente a quella che noi oggi chiamiamo (impropriamente) legge della circuitazione di Ampère, ovvero che la circuitazione del campo magnetico intorno ad un conduttore fornisce la corrente che fluisce attraverso il conduttore.

Maxwell nota esplicitamente che da questa equazione consegue che le correnti devono essere sempre "chiusure", ovvero a divergenza nulla, affermando:

Le nostre indagini sono quindi allo stato limitate alle correnti chiuse; di fatto conosciamo poco sugli effetti magnetici delle non chiuse.

Venendo all'induzione elettromagnetica, al fine di dare significato ad un altro concetto, in verità piuttosto vago, introdotto da Faraday, quello di "stato elettro-nico", Maxwell introduce un vettore (che oggi chiamiamo potenziale vettore) direttamente legato all'induzione magnetica, e dimostra che la forza elettromotrice indotta è esprimibile in forma locale come la derivata temporale di questo vettore.

Per quanto abbia conseguito il suo scopo, Maxwell è cosciente del carattere puramente matematico della sua costruzione, ed al termine della memoria, quasi a prevenire le possibili obiezioni, scrive:

Io non credo che [il mio lavoro] contenga anche l'ombra di una vera teoria fisica; infatti il suo merito principale come strumento temporaneo di ricerca è che esso non spiega nulla, neanche in apparenza.

Mentre esiste una teoria, quella di Weber:

[...] che soddisfa le condizioni di una teoria veramente fisica meglio di ogni altra sinora inventata, ed è stata sviluppata da un filosofo le cui ricerche sperimentali costituiscono il fondamento delle sue investigazioni matematiche.

Pertanto:

Perché immaginarsi uno stato elettro-tonico, di cui non abbiamo nessuna chiara concezione fisica, invece di una formula di attrazione che possiamo facilmente comprendere?

Maxwell fornisce due risposte.

La prima è quella già menzionata nel precedente paragrafo: l'apparente contrasto della teoria di Weber con il principio di conservazione dell'energia.

La seconda è di tipo generale e metodologico:

Risponderei che è bene avere due modi diversi di guardare allo stesso fatto, e di ammettere che effettivamente *vi sono* [corsivo nel testo] due vie diverse.

Non credo che, al momento, si abbia alcun diritto di dire di comprendere l'azione dell'elettricità, e ritengo che il merito principale di una teoria temporanea sia quello di indirizzare gli esperimenti, senza ostacolare l'emergere di una vera teoria.

Emerge con chiarezza da quest'ultima frase (ed ancor più dall'analisi della corrispondenza con Thomson di quel periodo) la convinzione di Maxwell che, al di là degli enfatici apprezzamenti, la teoria di Weber sia in realtà insoddisfacente (e quindi "temporanea"), non tanto per il punto di debolezza esplicitamente enunciato ma per il fatto di essere una teoria basata sull'azione a distanza, mentre la strada verso una "teoria vera" è quella indicata da Faraday.

Tuttavia, per sviluppare una teoria accettabile, la matematica non basta: una tale teoria deve poggiare su ferme basi fisiche, ovvero, per quei tempi, meccaniche. Pertanto, Maxwell conclude la memoria con una frase che è insieme una speranza ed un programma:

Io spero, mediante un attento studio delle leggi del moto dei solidi elastici e dei fluidi viscosi, di scoprire un modo per sviluppare una concezione meccanica dello stato elettro-tonico, adatta ad un ragionamento di carattere generale.

Perché tale auspicio potesse realizzarsi occorsero circa sei anni, un tempo lungo per gli standard di Maxwell. In questo periodo egli non pubblicò nulla sull'elettromagnetismo, bensì, tra l'altro, cinque lavori sulla teoria dei colori, una famosissima memoria sugli anelli di Saturno (in cui dimostrò che dovevano essere costituiti da un insieme di particelle solide), nonché la prima delle sue memorie epocali sulla teoria cinetica dei gas.

Tuttavia, non cessò mai di riflettere sull'elettromagnetismo, e l'evoluzione del suo pensiero può essere rintracciato nella corrispondenza scientifica.

Questo lungo lavoro di elaborazione si concretizzò nella seconda memoria, intitolata *On Physical Lines of Force*, pubblicata in più parti nel 1861 e nel 1862<sup>19</sup>.

Ancora una volta, lo scopo del lavoro è chiaramente enunciato sin dall'inizio:

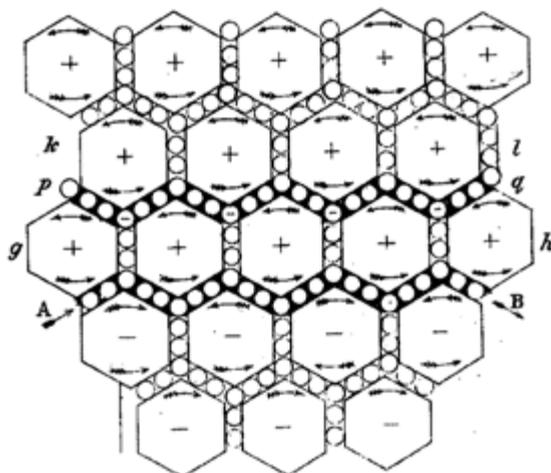
Il mio scopo in questo lavoro è sgombrare la via in questa direzione [il punto di vista di Faraday] investigando le conseguenze meccaniche di certi stati di tensione e moto in un mezzo, paragonandole con i fenomeni osservati in magnetismo ed elettricità. Evidenziando le conseguenze meccaniche di tali ipotesi, io spero di essere di una qualche utilità per coloro che considerano questi fenomeni dovuti all'azione di un mezzo, ma sono in dubbio in merito alla relazione di quest'ipotesi con le leggi sperimentali già stabilite, generalmente espresse nel linguaggio di altre ipotesi [azione a distanza].

Il modello meccanico utilizzato deriva da un suggerimento di Thomson, che sulla scorta dei su ricordati effetti giromagnetici, aveva proposto di associare al magnetismo una rotazione.

<sup>19</sup> *Phil. Mag.*, XXI, 1861 e *Phil. Mag.*, XXIII, 1862.



**Figura 14.** Maxwell all'epoca della seconda memoria.



**Figura 15.** Schema del modello meccanico adottato nella seconda memoria.

Maxwell (Fig. 14) concepisce quindi il campo magnetico come dovuto a vortici “molecolari” (ovvero di dimensioni macroscopicamente trascurabili), la cui velocità periferica è proporzionale all'intensità del campo, mentre l'asse è diretto secondo la direzione dello stesso, come mostrato nella figura 15, estratta dalla memoria. La densità di massa dei vortici è assunta proporzionale alla permeabilità del mezzo.

L'avere tutti questi vortici paralleli pone immediatamente un problema meccanico: come fanno i vortici a ruotare nello stesso verso se nelle zone di contatto devono muoversi in senso opposto?

Per permettere ai vortici di girare nella stessa direzione, Maxwell inserisce tra di essi delle sferette, che possono rotolare senza strisciare. Come in un differenziale, nel caso in cui tutti i vortici ruotano con la stessa velocità le sferette rimangono ferme, altrimenti vi sarà uno slittamento reciproco.

Analizzando matematicamente questo modello, Maxwell dimostra immediatamente l'esistenza di una relazione puramente cinematica fra la velocità dei vortici (cioè il campo magnetico) e il numero di sferette che passa attraverso l'unità di superficie nell'unità di tempo (ovvero, la loro densità di flusso), in particolare che quest'ultima risulta proporzionale al rotore del primo.

Interpretando il moto delle sferette come corrente elettrica si ottiene immediatamente la legge di circuitazione di Ampère sotto forma locale.

Maxwell analizza quindi il comportamento dinamico dei vortici, e mostra che, qualora essi non ruotino a velocità costante nel tempo (ovvero, il campo magnetico vari nel tempo), a causa della loro massa essi esercitano una forza sulle sferette. Interpretando questa forza come forza elettromotrice indotta, si ottiene la legge dell'induzione elettromagnetica nella forma locale, che oggi chiamiamo prima equazione di Maxwell e che egli dimostra essere equivalente a quella in termini di potenziale vettore ottenuta nella prima memoria.

Maxwell aveva raggiunto il suo scopo: costruire un modello meccanico che, per quanto indubbiamente artificioso, fosse in grado di predire correttamente tutti i fenomeni riguardanti il magnetismo e le correnti indotte. È quindi probabile che egli pensasse alla sua memoria come consistente di queste sole prime due parti.

Nel corso dell'estate del 1861, però, a Glenlair egli sviluppò ulteriormente la sua teoria, con conseguenze rivoluzionarie ed inaspettate, che formano l'oggetto della terza e quarta parte della memoria.

Per descrivere i fenomeni elettrostatici, Maxwell, nella terza parte, suppone che i vortici abbiano proprietà elastiche, in modo tale che se si agisce con una forza sulle particelle interposte senza far girare i vortici (cioè, senza campo magnetico), questi si deformano fino a quando la forza di richiamo elastica non equilibra la forza applicata. Interpretando la forza che agisce come campo elettrostatico e la deformazione elastica come induzione elettrica, Maxwell ottenne le leggi dell'elettrostatica.

Ma che cosa accade *durante* lo spostamento, ad esempio supponendo che, dopo averlo deformato, si lasci il sistema libero di evolvere? Ovviamente i vortici, che sono elastici, tendono a ritornare nella posizione di equilibrio e quindi producono uno spostamento *transitorio* delle sferette.

Qui Maxwell fa una osservazione di importanza fondamentale:

Questo spostamento non costituisce una corrente perché quando raggiunge un certo valore [quello di equilibrio] rimane costante, ma è l'inizio di una corrente e le sue variazioni costituiscono una corrente, nel senso positivo o negativo a seconda che lo spostamento aumenti o diminuisca.

Poiché, come prima visto, moto delle sferette e velocità di rotazione dei vortici sono legati per ragioni cinematiche, ne consegue che anche queste *correnti di spostamento* devono avere degli effetti magnetici e devono essere incluse nella legge di Ampère, ottenendo quella che oggi chiamiamo la seconda equazione di Maxwell.

Maxwell effettua questo passaggio cruciale, ma non sembra rendersi pienamente conto della sua rilevanza. In effetti, egli utilizza l'equazione ottenuta solo per determinare la relazione tra costante elastica del mezzo e proprietà elettromagnetiche.

Viceversa, si concentra sullo studio della dinamica del suo mezzo, determinando la velocità di propagazione delle perturbazioni al suo interno, che risulta essere pari, ancora una volta, alla costante di Weber, cioè alla *velocità di propagazione della luce*.

Immediatamente conclude:

La velocità di propagazione delle oscillazioni trasverse nel nostro ipotetico mezzo, calcolata a partire dagli esperimenti dei Signori Kohlrausch e Weber, si accorda così perfettamente con la velocità della luce calcolata a partire dagli esperimenti ottici del Signor Fizeau, che si può difficilmente evitare di inferire che *la luce consista in ondulazioni trasverse dello stesso mezzo che è la causa dei fenomeni elettrici e magnetici* [corsivo nel testo]

Fin dall'inizio, Maxwell non ebbe dubbi sulla correttezza della sua ipotesi, tant'è che la terza parte si conclude con la derivazione della relazione tra indice

di rifrazione e costanti elettromagnetiche del mezzo, mentre la quarta è dedicata all'applicazione della teoria dei vortici molecolari allo studio dell'effetto Faraday.

Tuttavia, a parte la necessità di verifiche sperimentali della sua ipotesi, almeno due punti andavano affrontati, prima che la teoria potesse considerarsi soddisfacente.

Innanzitutto, le equazioni del campo elettromagnetico ed il ruolo delle correnti di spostamento dovevano ancora essere chiaramente stabiliti e formalizzati.

In secondo luogo, le proprietà delle onde elettromagnetiche (ed ottiche) andavano derivate dalle equazioni stesse, e non da un modello così artificioso e complicato da essere considerato "immaginario" dallo stesso Maxwell.

Questo non significava rinunciare ad una spiegazione meccanica dei fenomeni, che sarebbe stato inconcepibile ai suoi tempi, ma costruire una teoria meccanica senza tutte le suddette artificiali impalcature. In altre parole, la teoria doveva limitarsi ad assumere l'esistenza di un mezzo soggetto alle leggi generali della meccanica e capace di trasmettere le azioni da un punto all'altro, ma senza alcuna ipotesi esplicita sulla sua costituzione e struttura.

La difficoltà di portare a termine un tale compito è evidente, e richiese a Maxwell tre anni di lavoro intenso, durante i quali pubblicò un solo lavoro minore di carattere geometrico, che si concluse con la sua terza memoria, *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*, letta alla Royal Society l'8 dicembre 1864 e pubblicata l'anno successivo<sup>20</sup>.

In apertura, dopo aver manifestato ancora una volta apprezzamento per l'opera di Weber, insieme alle sue perplessità per le teorie basate sull'azione a distanza, chiarisce la natura della sua teoria:

La teoria che propongo può essere chiamata una teoria del *Campo Elettromagnetico* [corsivo nel testo] perché ha a che fare con lo spazio circostante i corpi elettrici o magnetici, e può essere detta *Dinamica* [corsivo nel testo] perché assume che in tale spazio vi sia materia in moto, da cui sono prodotti i fenomeni elettromagnetici osservati.

Il campo elettromagnetico è quella parte di spazio che contiene e circonda i corpi elettrizzati o magnetizzati. Può essere riempito di qualsivoglia tipo di materia, o praticamente vuoto e privo di materia evidente, come nel caso dei tubi di Geisslers o gli altri cosiddetti "vacua".

Che Maxwell attribuisca al campo una realtà fisica materiale è del tutto naturale e coerente con la visione, allora universalmente accettata, che la propagazione della luce e del calore radiante consistesse in ondulazioni di un onnipervasivo "etere luminifero". Da questo punto di vista, egli non fa altro che postulare che lo stesso mezzo sia responsabile sia dei fenomeni ottici sia di quelli elettromagnetici.

Coerentemente con lo scopo perseguito, nella memoria vengono utilizzate le leggi della dinamica nella loro forma più generale, quella che noi oggi chiamiamo lagrangiana.

Partendo dalle leggi dell'induzione elettromagnetica, Maxwell determina le coordinate ed i momenti generalizzati del sistema meccanico in termini di quantità elettromagnetiche, e quindi la sua energia.

<sup>20</sup> *Phil. Trans. Roy. Soc.*, vol. 155, 1865.

Dalle leggi della dinamica, *insieme* all'ipotesi che per ottenere la corrente totale alle correnti vere vanno sommate quelle di spostamento, deriva quindi le equazioni, che, espresse in notazione vettoriale moderna, sono riportate nella Tabella 2, con la denominazione data da Maxwell.

**Tabella 2.** Le equazioni della terza memoria.

A)	$C = K + \partial D / \partial t$	eq. delle correnti totali
B)	$\mu H = \nabla \times A$	eq. della forza magnetica
C)	$\nabla \times H = C$	eq. delle correnti
D)	$E = v \times B - \partial A / \partial t - \nabla \Phi$	eq. della forza elettromotrice
E)	$E = kD$	eq. dell'elasticità elettrica
F)	$E = \rho K$	eq. della resistenza elettrica
G)	$\nabla \times D = e$	eq. dell'elettricità libera
H)	$\nabla \times K = -\partial e / \partial t$	eq. di continuità

A parte la presenza in D) di un termine legato all'eventuale moto di convezione, è immediato riconoscere l'equivalenza tra le equazioni A)-D) e G) e la formulazione odierna, dovuta a Hertz ed Heaviside. Si noti, inoltre, la persistenza nell'uso dei potenziali, in particolare il potenziale vettore  $A$ , probabilmente dovuto al suo impegno nel cercare di dare interpretazioni matematiche e fisiche a tutte le idee di Faraday (e quindi voler conservare un senso fisico allo stato elettro-tonico).

Dopo tre parti dedicate alle azioni meccaniche del campo, al calcolo delle capacità e dei coefficienti di mutua induzione, Maxwell passa a sviluppare a fondo la teoria elettromagnetica della luce (Fig. 16), deducendo direttamente dalle equazioni del campo elettromagnetico le proprietà delle onde elettromagnetiche, analizzandone la propagazione in mezzi isotropi (anche con perdite) ed anisotropi e paragonandola con le proprietà delle onde luminose.

Ciò gli permette di concludere:

Quindi, la scienza dell'elettromagnetismo conduce esattamente alle stesse conclusioni dell'ottica in relazione alle perturbazioni che si possono propagare attraverso il campo; ambedue affermano che le vibrazioni sono trasverse ed ambedue forniscono la stessa velocità di propagazione.

Pertanto:

L'accordo dei risultati sembra mostrare che luce e magnetismo sono perturbazioni della stessa sostanza, e che la luce è una perturbazione elettromagnetica che si propaga attraverso il campo secondo le leggi dell'elettromagnetismo.

## Dalle equazioni di Maxwell alla radio

Le idee di Maxwell stentarono ad essere accettate al di fuori dell'Inghilterra. Nel continente continuò l'approccio all'elettromagnetismo in termini di azioni a distanza.

Come già menzionato, nel 1871 Weber mostrava la compatibilità della sua legge di forza con il principio di conservazione dell'energia. Successivamente, mentre Maxwell pubblicava il suo famoso *Trattato*<sup>21</sup>, Helmholtz, diventato lo scienziato più famoso dell'epoca nell'ambiente europeo, e poi Rudolf Clausius (1822-1888), svilupparono ulteriormente la teoria di Weber, e, considerando le velocità *assolute* invece che *relative*, riuscirono ad eliminare l'artificiosa ipotesi di Fechner sulle correnti elettriche.

Tali lavori erano tutti basati sul concetto di azione a distanza, e continuavano a rifiutare l'approccio in termini di campo e anche alcune delle conclusioni che da questo approccio conseguivano, come l'esistenza della pressione di radiazione, cui Maxwell fa cenno nel *Trattato*<sup>22</sup>.

Ma anche in Inghilterra, dove l'opera di Maxwell fu ripresa e sviluppata dai cosiddetti "Maxwelliani", in particolare Oliver Joseph Lodge (1851-1940), George Francis FitzGerald (1851-1901) ed il già ricordato Oliver Heaviside (1850-1925), l'attenzione fu rivolta non tanto all'elettrodinamica ed ai fenomeni propriamente elettromagnetici, quanto alla reinterpretazione dell'ottica in termini elettromagnetici ed allo sviluppo di modelli dell'etere.

<sup>21</sup> Maxwell 1873.

<sup>22</sup> Quando nel 1874 William Crookes (1832-1919) pubblicò i risultati delle esperienze effettuate con il "radiometro" da lui inventato, con cui riteneva di aver mostrato l'esistenza della pressione di radiazione, questi furono ritenuti un problema per la teoria ondulatoria classica della luce, che, a differenza di quella corpuscolare, non sembrava prevederla. Lo stesso Maxwell, che aveva assistito alla presentazione di tali esperienze alla Royal Society, rimase sconcertato, in quanto l'effetto risultava molto più grande di quanto da lui previsto. Ben presto fu dimostrato che esso era in realtà dovuto all'impatto con le residue molecole d'aria, mentre l'effettiva dimostrazione dell'esistenza della pressione di radiazione da parte del fisico russo Lebedev avvenne solo nel 1899, ben dopo la dimostrazione sperimentale dell'esistenza delle onde elettromagnetiche.

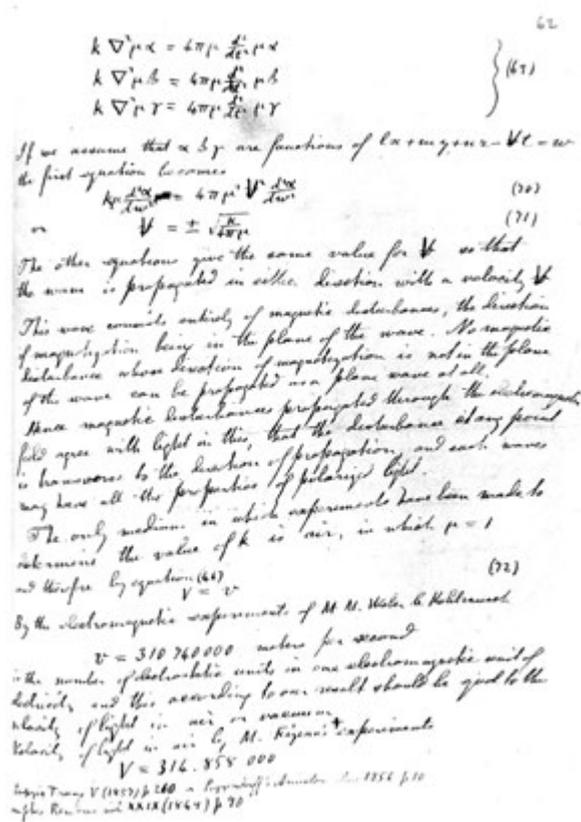


Figura 16. Manoscritto di Maxwell sulla teoria elettromagnetica della luce.

Per quanto sia Lodge che Fitzgerald si fossero posti il problema della generazione di onde elettromagnetiche diverse da quelle luminose, e quest'ultimo ne avesse addirittura descritto un possibile modo<sup>23</sup>, il conseguimento di tale risultato cruciale dovette attendere che le idee di Maxwell si facessero finalmente strada nel continente.

L'incapacità di Maxwell e dei Maxwelliani di affrontare il problema della generazione delle onde elettromagnetiche riflette probabilmente la loro attitudine in relazione alla natura delle cariche e delle correnti elettriche.

Malgrado Maxwell, nel *Trattato*, avesse sposato l'ipotesi di Faraday che le correnti elettriche fossero dovute al moto delle cariche e nel 1876 il fisico americano Henry Augustus Rowland (1848-1901) avesse verificato sperimentalmente, presso il laboratorio di Helmholtz a Berlino, l'identità degli effetti magnetici delle correnti di conduzione e di convezione, l'enfasi sul ruolo del mezzo li portava a considerare le cariche e le correnti non come *sorgenti* del campo, quanto piuttosto come una *conseguenza* di esso.

In altre parole, il campo elettromagnetico era considerato l'unica entità fisica (ovvero, meccanica) fondamentale, e la descrizione dei fenomeni doveva, pertanto, essere ottenuta da un'appropriata caratterizzazione delle sue proprietà dinamiche.

Un tale approccio era inevitabilmente destinato al fallimento, poiché le cariche elettriche e le correnti costituiscono un sistema dinamico *indipendente*, anche se *accoppiato* al campo elettromagnetico.

Inoltre, se da un lato l'introduzione della "corrente totale" era stata cruciale (non a caso essa è la prima delle equazioni della Tabella 2), dall'altro il concentrarsi su di essa tende ad oscurare la differenza altrettanto significativa tra corrente dovuta alle cariche elettriche, la cosiddetta "elettricità libera", e la "corrente di spostamento", come è chiaramente evidenziato dal fatto che l'equazione C) è scritta in termini di corrente totale ed è formalmente identica a quella che Maxwell aveva derivata nella prima memoria per il caso stazionario di correnti chiuse.

È chiaro da quanto sopra che per potere affrontare con successo il problema della generazione delle onde elettromagnetiche era necessario superare, in qualche modo, ambedue le visioni: quella continentale, tutta concentrata sul sistema dinamico costituito dalle sole sorgenti, in cui il problema delle onde elettromagnetiche neanche si poneva, e quella maxwelliana, tutta concentrata su campi senza sorgenti.

Iniziatore di tale processo di sintesi, che avrebbe condotto all'elaborazione della teoria dell'elettone di Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) ed alla concezione moderna di corpi costituiti, a livello microscopico, da particelle cariche interagenti tramite il campo elettromagnetico, fu Helmholtz, unico tra i fisici continentali di rilievo a considerare con ammirazione l'opera dei fisici inglesi (intrattenne sempre rapporti di stretta amicizia con Thomson ed aveva personalmente incontrato Maxwell, con cui nel 1864 aveva condotto esperimenti sulla visione dei colori), favorendone la diffusione in Germania.

Si occupò in prima persona di elettromagnetismo, ed in una serie di memorie pubblicate tra il 1870 ed il 1875 cercò di elaborare una teoria generale che comprendesse, come casi particolari, tutte quelle sino ad allora note.

<sup>23</sup> Hunt 1991.

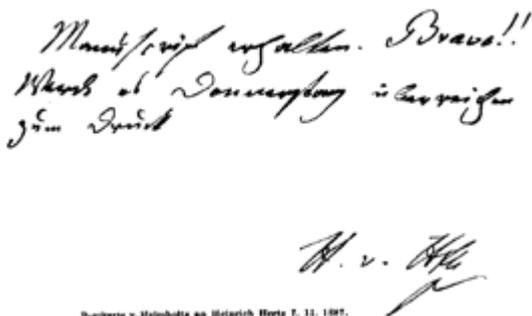


Figura 17. Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894).

Figura 18. Cartolina di Helmholtz a Hertz.

Quando, nel 1879, l'Accademia delle Scienze di Berlino bandì un premio per chi avesse fornito prove decisive a favore o contro l'esistenza degli effetti elettrodinamici dovuti alle variazioni di polarizzazione dielettrica e viceversa, come previsti da Maxwell, Helmholtz immediatamente suggerì al suo più brillante allievo, Heinrich Rudolf Hertz (Fig. 17)<sup>24</sup>, di affrontare il problema.

Hertz iniziò subito a pensare al miglior modo per affrontare i quesiti posti dall'Accademia, approfondendo nel contempo l'elettrodinamica di Helmholtz, ma nei tre anni seguenti si occupò di altri argomenti, ritornando sul problema solo dopo aver pubblicato<sup>25</sup> nel 1884 un lavoro che suscitò immediata risonanza ed ammirazione, in cui, partendo dal principio di "unitarietà delle forze elettriche", ovvero dell'identità delle azioni elettriche di origine elettrostatica ed induttive, con un insieme di considerazioni estremamente ingegnose (anche se non prive di qualche debolezza) derivò le equazioni di Maxwell nella forma odierna, senza più alcun riferimento ai potenziali.

Ormai professore all'Università di Karlsruhe, nell'autunno del 1886 iniziò una serie di esperienze che in passi successivi gli consentirono di generare e rilevare oscillazioni a frequenze molto elevate e di dare l'anno seguente risposta affermativa ai quesiti dell'Accademia, fornendo la prima prova sperimentale della correttezza delle previsioni dalle equazioni di Maxwell.

Inviò il manoscritto sui risultati ottenuti a Helmholtz, che rispose con la cartolina datata 7 novembre e riportata in figura 18, che dice: "[...] ho ricevuto il manoscritto. Bravo!! [in italiano] Mi affretterò a passarlo al tipografo giovedì".

<sup>24</sup> Hertz era di origine ebraica e, pertanto, pur essendo figlio di un senatore, non poteva accedere alla carriera militare. Indirizzato inizialmente verso la professione di architetto, manifestò subito la sua inclinazione verso la scienza pura. Dopo aver studiato a Dresda e Monaco, passò a Berlino, dove nel 1880 conseguì il dottorato con Kirchhoff ed Helmholtz, che immediatamente lo nominò suo assistente. Nel 1883 diventò Libero Docente a Kiel, e quindi nel 1885 professore all'Università di Karlsruhe. Hertz fu uomo di intelligenza e cultura eccezionali; conosceva e parlava sette lingue, compreso arabo, italiano, greco, latino e sanscrito, era un'escursionista (amava recitare Dante durante le escursioni sulle Alpi), ed esperto egittologo. Alla sua morte ad appena 36 anni, di cancro come Maxwell, Helmholtz commentò: "nei tempi dell'antichità classica si sarebbe detto che egli sia stato sacrificato all'invidia degli dei".

<sup>25</sup> *Ann. D. Phys.*, vol. XXIII, 1884.

Lo storico lavoro, dal titolo *Sugli effetti elettromagnetici prodotti da perturbazioni elettriche negli isolatori*, fu in effetti immediatamente pubblicato sugli Atti dell'Accademia delle Scienze di Berlino.

Nei due anni successivi, Hertz dimostrò l'effettiva esistenza delle onde elettromagnetiche e la conformità delle loro proprietà alle previsioni di Maxwell.

La figura 19, estratta da una delle memorie del 1888, mostra il generatore, il famoso oscillatore, il rivelatore a scintilla, gli specchi parabolici e l'apparato sperimentale utilizzato per mostrare che le onde elettromagnetiche si comportavano come le onde luminose.

Successivamente, usò la sua formulazione delle equazioni di Maxwell per calcolare i campi irradiati da una sorgente elementare, il dipolo *hertziano* per l'appunto, disegnandone, con l'aiuto della moglie, gli andamenti (Fig. 20).

L'impatto delle scoperte di Hertz<sup>26</sup> fu immediato, ed entro il 1889 molti fisici europei ripeterono le esperienze, confermandone i risultati. Nel frattempo, come sempre avviene nelle "ripetizioni", gli apparati venivano migliorati e le esperienze estese.

In particolare, in Italia, Temistocle Calzecchi Onesti (Fig. 21), allora professore presso il Liceo di Fermo, tra il 1884 ed il 1885 aveva sviluppato un dispositivo molto più efficiente per la rivelazione delle onde elettromagnetiche: il *coesore*. Perfezionato in Francia da Eugène È.D. Branly (1844-1940) intorno al 1890 e denominato poi *coherer* da Lodge, si rivelerà fondamentale per lo sviluppo della radio.

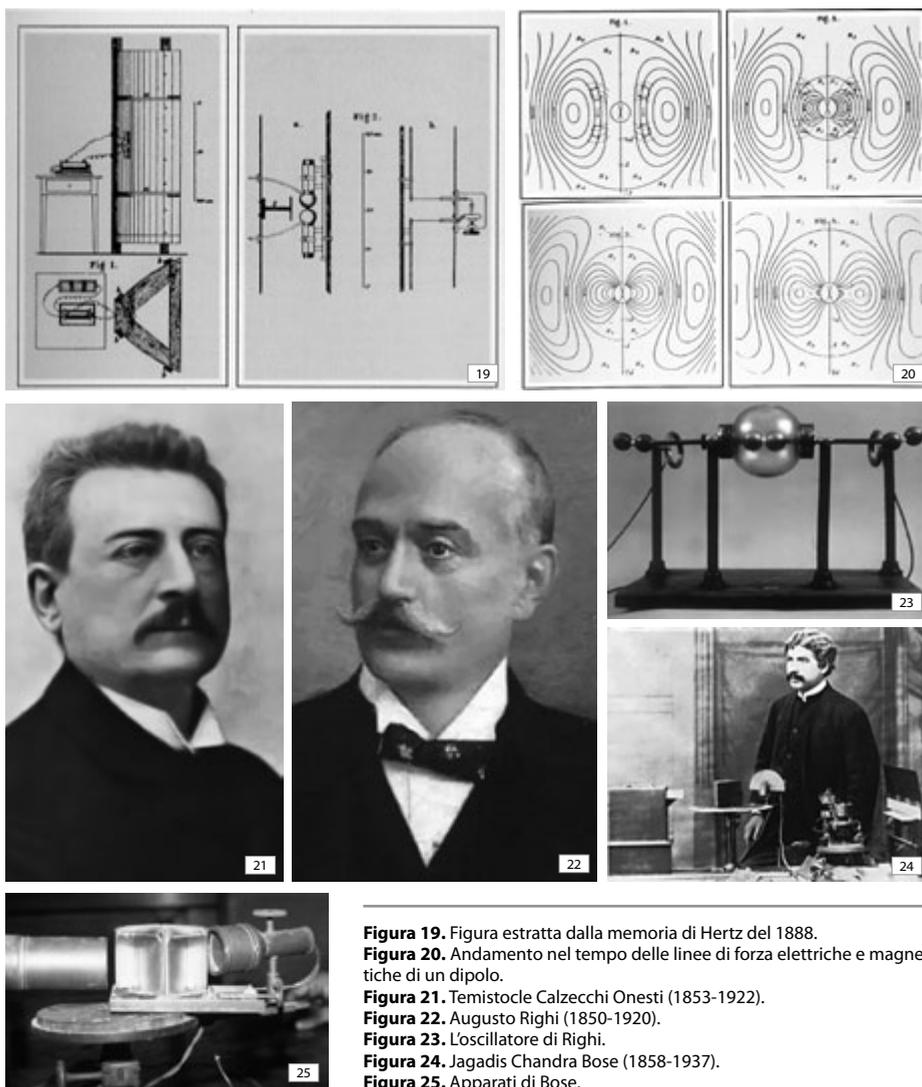
Esso funzionava sfruttando la proprietà delle polveri metalliche di diminuire la resistività di vari ordini di grandezza se soggette ad un campo elettromagnetico, variazione che poteva quindi essere sfruttata per rilevare le onde elettromagnetiche.

Augusto Righi (Fig. 22), professore dell'ateneo bolognese, fu fra gli scienziati europei che maggiormente ripresero e svilupparono l'opera di Hertz. Perfezionando l'oscillatore, ed in particolare circondando lo spinterometro di gas ad alta pressione (Fig. 23), ottenne frequenze e potenze significativamente più elevate di quelle di Hertz.

Negli stessi anni, a Calcutta, Jagadis Chandra Bose (Fig. 24) riusciva a generare onde con lunghezza d'onda sino a 5 mm, studiandone la riflessione, diffrazione e polarizzazione. Nel 1897 presentò alla *Royal Institution* i risultati dei suoi esperimenti, in cui venivano usati per la prima volta antenne a tromba e guide d'onda, nonché un rivelatore a galena (Fig. 25).

In tutto questo fervore di attività, l'attenzione era completamente concentrata sul significato e le implicazioni fisiche della nuova scoperta. Forse per l'enfasi

<sup>26</sup> A conferma del già evidenziato influenza dei paradigmi sull'interpretazione dei risultati, è interessante notare che Hertz, ovviamente a sua insaputa, era stato preceduto da David Edward Hughes (1830-1900), l'inventore del microfono a carbone, che oltre sette anni prima aveva mostrato che segnali emessi da un trasmettitore a scintilla potevano essere rilevati fino a quasi 500 metri, utilizzando un rivelatore a carbone. Egli sostenne, giustamente, che la trasmissione era dovuta ad onde elettromagnetiche, ma il presidente della Royal Society e l'Ingegnere Capo delle poste inglesi, presenti all'esperimento, giudicarono che il fenomeno fosse spiegabile in termini dell'ordinaria induzione elettromagnetica, e Hughes, scoraggiato, non pubblicò nulla sui suoi esperimenti sino al 1899.



**Figura 19.** Figura estratta dalla memoria di Hertz del 1888.

**Figura 20.** Andamento nel tempo delle linee di forza elettriche e magnetiche di un dipolo.

**Figura 21.** Temistocle Calzecchi Onesti (1853-1922).

**Figura 22.** Augusto Righi (1850-1920).

**Figura 23.** L'oscillatore di Righi.

**Figura 24.** Jagadis Chandra Bose (1858-1937).

**Figura 25.** Apparatì di Bose.

posta sull'analogia tra onde elettromagnetiche e luce o per il prevalere tra i fisici coinvolti di una concezione "platonica" della scienza<sup>27</sup>, l'idea di possibili applicazioni pratiche era completamente assente.

<sup>27</sup> Esempari in tal senso sono le parole pronunciate da Righi al Convegno della Società Italiana per il Progresso delle Scienze del 1911: "La fisica che occupa un posto eminentissimo nella storia del pensiero umano è la fisica pura o filosofia naturale, cioè quella scienza che non troppo si ferma alle pratiche applicazioni dei suoi trovati, e non si cura dei vantaggi materiali che possono derivarne per chi di quei trovati è autore, ma sopra ogni cosa si propone il nobile compito di stabilire le grandi leggi che regolano i fenomeni del mondo inanimato e di scoprirne una plausibile spiegazione".

Come è ben noto, colui che per primo intravide con chiarezza le rivoluzionarie implicazioni applicative della scoperta di Hertz e le tradusse in pratica fu Guglielmo Marconi (1874-1937).

Per quanto frequentasse, anche se in modo saltuario, l'Istituto di Fisica di Righi a Bologna e conoscesse i risultati ottenuti da Hertz, Branly e Righi, Marconi si teneva piuttosto al corrente degli sviluppi nell'ambito dell'elettromagnetismo grazie ad una rivista che era stata fondata alla fine degli anni '80: *L'Elettricità*, cui era abbonato.

In questa rivista, nell'autunno del 1893, apparve un articolo sulle onde elettromagnetiche, in cui, tra l'altro, si diceva:

[...] L'elettricità pare destinata a sovraneggiare non solo nel dominio dell'ottica, ma anche in quello della termodinamica. I raggi luminosi non possono traversare i muri e nemmeno una spessa nebbia; ma i raggi elettrici colla ondulazione da 30 a 60 cm attraverserebbero facilmente muri, nubi e nebbie, i quali, così diverrebbero trasparenti.

Le vibrazioni lente dell'etere permetterebbero la meravigliosa concezione della telegrafia senza fili, senza cordoni sottomarini, senza nessuna delle costose installazioni dei nostri giorni.

Non sappiamo se questo sia stato uno spunto per Marconi, certo è che nel novembre dello stesso anno una fattura di una società produttrice di materiale elettrico testimonia l'inizio delle sue esperienze in elettricità.

Il punto di svolta si ebbe nell'estate dell'anno successivo, mentre il giovane Marconi era in villeggiatura sulle Alpi biellesi, ad Oropa. Egli stesso ricorda:

[...] Mi parve che se l'irradiazione avesse potuto essere aumentata, sviluppata e controllata sarebbe stato possibile lanciare segnali attraverso lo spazio, e a distanze considerevoli.

La mia preoccupazione maggiore era che nessun altro avesse mai pensato di mettere in pratica un'idea tanto elementare, semplice e logica. [...] Sin dal primo momento l'idea mi apparve così attuabile, che non potevo concepire come ad altri la teoria potesse apparire del tutto fantastica [...]

Si noti come Marconi abbia un atteggiamento del tutto diverso rispetto a quelli che sino ad allora avevano studiato le onde elettromagnetiche: mentre gli altri si erano concentrati sulle loro proprietà, egli si domanda come mai non fosse così evidente il loro uso, e com'è che essi non ci avessero pensato.

L'idea diventò ossessiva, come egli stesso dice, e subito, di ritorno a Bologna, nella villa di famiglia, cominciò a sperimentare in quelle famose due stanze della soffitta che tutt'oggi si possono visitare:

[...] L'idea mi ossessionava sempre di più e tra quei monti del Biellese la elaboravo nell'immaginazione. Non azzardai alcun esperimento finché non tornammo a Villa Griffone, in autunno, e allora mia madre mi mise a disposizione due ampie stanze sotto i tetti. Là cominciai seriamente gli esperimenti.

Dopo aver rivisitato le esperienze fatte in precedenza, Marconi individuò subito i punti cruciali perché l'*immaginazione* potesse tradursi in realtà: la necessità di avere ricevitori sensibili e sistemi di radiazione efficienti.

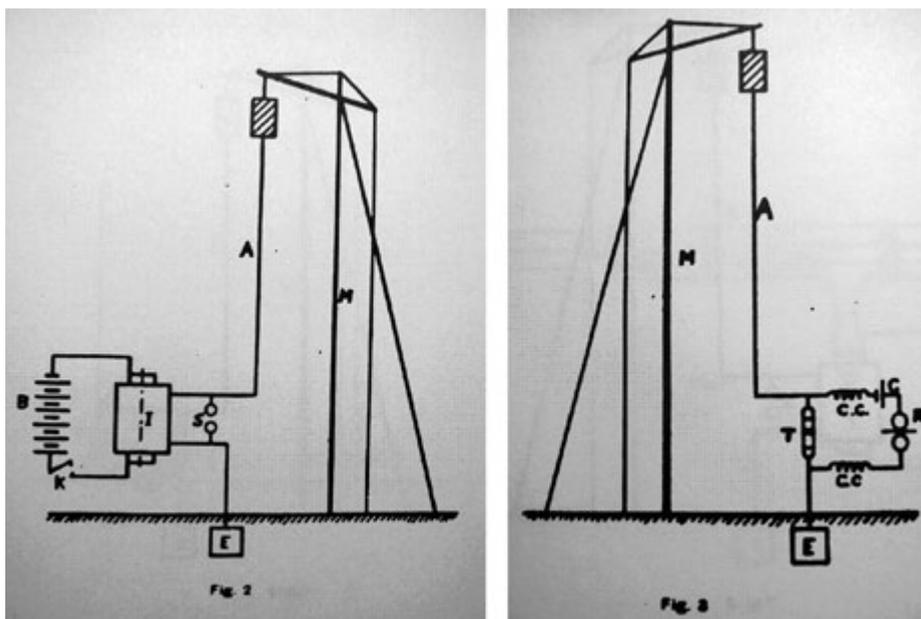


Figura 26. Estratto dal dattiloscritto del discorso di accettazione del premio Nobel.

Come egli stesso ricorda nel discorso di accettazione del premio Nobel del dicembre 1909 (Fig. 26), si adoperò, quindi, per migliorare e perfezionare il ricevitore, inserendolo in un circuito accordato, in modo tale da aumentarne notevolmente la sensibilità. Infine, nell'estate del 1895, andò, come dice testualmente, a "sbattere" sull'idea fondamentale, la creazione di quella che noi oggi chiamiamo antenna marconiana, cioè il passaggio dal piccolo oscillatore di Hertz a un'antenna, costituita da un filo verticale alimentato dal generatore, connesso a terra dall'altro capo, che permetteva un'irradiazione molto più efficiente.

Il risultato di tutto ciò furono gli esperimenti della collina di Celestini nel settembre del 1895, in cui dimostrò la possibilità di collegarsi con un ricevitore posto a circa 2500 metri, dietro un *ostacolo*, il che rappresentava la novità cruciale: sino ad allora, con l'enfasi posta sulle proprietà ottiche delle onde elettromagnetiche, nessuno aveva pensato che con esse si potessero effettuare collegamenti non a vista.

Ad appena 21 anni (Fig. 27) e a circa sette anni dalla scoperta delle onde elettromagnetiche, Marconi aveva aperto l'era delle telecomunicazioni che tutt'ora viviamo: quella delle comunicazioni *wireless*.



Figura 27. Marconi nel 1895.

## Bibliografia

- Ann. D. Phys.*, vol. XXIII, p. 84, 1884.
- Bucci Ovidio Mario, 2006, “The genesis of Maxwell Equations”, in T.K. Sarkar et alii (eds.), *History of Wireless*, New Jersey, Wiley & Sons.
- Catania Basilio, 1994, *Antonio Meucci – L’Inventore e il suo Tempo – Da Firenze a L’Avana*, vol. 1, Roma, Seat - Divisione STET, Editoria per la Comunicazione,.
- Catania Basilio, 1996, *Antonio Meucci – L’Inventore e il suo Tempo – New York 1850-1871*, vol. 2, Torino, Seat - Divisione STET.
- Faraday Michael, 1839, 1844, 1855, *Experimental Researches in Electricity*, 3 vols., London, Taylor & Francis.
- Harmon Peter M. (ed.), 1990, *The scientific letters and papers of James Clerk Maxwell*, Cambridge, Cambridge University Press, vol. I.
- Henry Joseph, 1832, “On the Production of Currents and Sparks of Electricity from Magnetism”, *American Journal of Science*, vol. 22, pp. 403-408.
- Hunt Bruce J., 1991, *The Maxwellians*, Ithaca & London, Cornell University Press.
- Kirchhoff Gustav, 1857, “Über die Bewegung der Electricitat in Drahten”, *Ann. Phys.*, vol. 100, 1857, pp. 193-217.
- Koholraush R. and Weber W.E., 1857, “Elektrodynamische Maassbestimmungen insbesondere Zuruckfuhurung der Stromintensitatsmessungen auf mechanishes Maass”, in *Abhandlungen Der Konigl. Sachsischen Gesellschaft der Wissenschaften, math.-phys. Klasse*, vol. III, pp. 219-292.
- Kuhn Thomas S., 1962, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, The University of Chicago Press,.
- Maxwell J. Clerk, 1873, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford.
- Phil. Mag.*, XXI, pp. 161-175, 281-291, 338-348, 1861 (Parts I and II); *Phil. Mag.*, XXIII, pp. 12-25, 85-95, 1862 (Parts III and IV).
- Phil. Trans. Roy. Soc.*, vol. 155, 1865, pp. 459-512.
- Schiavo Giovanni E., 1847, *Antonio Meucci: Inventor of the Telephone*, New York, The Vigo Press, 1958.
- von Helmholtz Hermann L., *Über die Erhaltung der Kraft*, Berlin, G.A. Reimer. *Trans. Camb. Phil. Soc.*, X, pp. 27-83, 1856.
- Weber Wilhelm E., 1846, *Elektrodynamische Maassbestimmungen, uber ein allgemeines Grundgesetz der Elektrischen Wirkung*, Leipzig Abhandl., pp. 211-378.

## Dalle costanti concentrate alle costanti distribuite

Esaminatore: “Che cos’è l’elettricità?”

Candidato: “Oh signore, sono sicuro di avere imparato cos’è.

Sono sicuro che lo sapevo. Ma l’ho dimenticato”.

Esaminatore: “Che sfortuna! Solo due persone sapevano cos’è l’elettricità.

Il Creatore e lei...E adesso uno dei due se n’è dimenticato”.

(Università di Oxford, 1890. Durante un esame di Elettromagnetismo).

## Preparativi per un lungo viaggio: dalla pila voltiana alle onde hertziane

*Tra Illuminismo e Romanticismo*

La nozione originaria di *circuito elettrico*, cioè di dominio monodimensionale nel quale un contatto bimetallico attiva un trasporto stazionario di carica libera, prende vita, con l’inizio del diciannovesimo secolo, dalla scoperta del *campo elettromotore voltiano*. Essa evolve poi, con ben altre potenze disponibili, grazie alla successiva invenzione pacinottiana del collettore a lamelle. Strettamente vincolate all’impiego della pila e della dinamo, le prime applicazioni circuitali non valicano dunque i limiti concettuali e tecnici propri della “corrente continua”.

La transizione al successivo regime variabile, peraltro già implicita nell’induzione faradiana, si colloca invece nella seconda metà dell’Ottocento e pone fin da subito problematiche, sia concettuali che tecniche, di tutt’altro spessore. Ad esigerla, in modo perentorio, è la II Rivoluzione Industriale, la quale, prese definitivamente le distanze da una *puissance motrice du feu* giudicata ormai inadeguata, ravvisa proprio nell’elettricità quel nuovo vettore energetico di cui essa, per il suo sviluppo applicativo, abbisogna.

Con tali aspettative, *tout par l’électricité*: dall’acqua dei bacini idroelettrici e dal fuoco delle caldaie, lungo elettrodotti di rame percorsi alla velocità della luce, fino agli opifici, alle fattorie ed alle case, l’elettricità viene chiamata ad assumersi il non facile compito di svelare e di dominare tutti quei ‘misteriosi’ processi di generazione, trasmissione, conversione ed irradiazione della potenza di cui il nuovo secolo, ormai alle porte, abbisogna. Difficile, in questo caso, non citare il capitano Nemo quando esalta l’elettricità – forza motrice del suo *Nautilus*: “Il est un agent puissant, obéissant, rapide, facile, qui se plie à tous les usages et qui règne en maître à mon bord. Tout se fait par lui. Il m’éclaire, il m’échauffe, il est l’âme de mes appareils mécaniques. Cet agent, c’est l’électricité”.

Nel combattere questa ardua battaglia, l’analisi elettrica risulta inizialmente isolata e del tutto empirica. Solo in una fase successiva essa risulta invece in grado di avvicinarsi, con la dovuta consapevolezza, alla *Dynamical Theory*. Fino a trarne

tutti quei chiarimenti metodologici di base di cui, ai fini della sua evoluzione, essa abbisogna. Formalizzata da James Clerk Maxwell (1831-1879) nel 1864 e convalidata sperimentalmente da Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) nel 1888, questa filosofia scientifica<sup>1</sup> riassume in sé, sotto forma di quattro arcigne equazioni ai vortici ed alle sorgenti, tutto il sapere elettromagnetico fino a quel momento accumulato dall'uomo. E ne sa anche indagare, almeno sulla carta, tutte le implicazioni teoriche ed i possibili sviluppi applicativi che possono derivarne. In uno scenario che, dopo le iniziali riserve da parte della scienza ufficiale, appare del tutto rinnovato e consapevole: i tempi in cui la *displacement current* risultava relegata al rango di semplice metafora scientifica e lo stesso *Treatise* era visto solo come una *paper theory* sono ormai definitivamente archiviati. Quanto alle 'esoteriche' onde elettromagnetiche, dopo il 'gran rifiuto' iniziale, esse vengono definitivamente vissute come una realtà tangibile che, etere permettendo, vede nei vortici e nelle sorgenti del campo la propria fonte.

In questo rinnovato sentire, la "Scienza è un'equazione differenziale e la Natura una semplice condizione al contorno": nel rapido volgere del secolo, a seguito di un lavoro critico e capillare, i fisici matematici e gli epistemologici approdano ad una sensibilità condivisa che non tarda a dare gli attesi frutti concreti. Fino a riflettersi in modo tangibile su quegli stessi ingegneri che, chiamati a fare dell'elettromagnetismo teorico una quotidiana realtà applicativa, si accingono ad elaborare, in una moderna ottica industriale enfatizzata dal positivismo, le *design equations*. E gli esiti via via conseguiti risultano sempre più tangibili e probanti. Messi a punto metodi di integrazione e di misura adeguati, sembra quasi che, nella progressiva elaborazione dei *connecting links between pure science and practical work*, accantonato il sogno antico della scoperta inattesa e geniale, ad attendere il tecnico ci sia ormai solo un'elaborazione applicativa quotidiana, frutto essenzialmente di perseveranza e di metodo: "Attempts of ordinary mortals to do better than Maxwell did – admonishes Michael Pupin (1858-1935) – must be discouraged. Let us follow Maxwell as long as we can, then when someone is born who is more profound than Maxwell, we will bow him".

Entrate ormai nel nuovo secolo, il Novecento, le equazioni di Maxwell appaiono dunque dotate di ogni potere. Al punto tale che, accantonato dai fisici teorici e dai filosofi della scienza, il gioco sembra addirittura passare in altre mani: ormai un matematico infinitamente abile, a tavolino, imponendo le condizioni iniziali ed al contorno, accertate preliminarmente le condizioni di esistenza ed unicità, potrebbe facilmente prevedere e dominare, senza alcuna altra conoscenza, ogni fenomeno elettromagnetico. Tanto teorico quanto applicativo. Tutto sembra dunque divenire agnosticamente una semplice condizione di calcolo.

Sempre che un matematico infinitamente abile, soprattutto nell'assillo quotidiano della produzione industriale, effettivamente possa esistere. E che la

<sup>1</sup> Difficile non citare, come sintesi filosofica del pensiero maxwelliano, la seguente riflessione, contenuta nel suo *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrische Kraft*, di Hertz: "Auf die Frage: Was ist die Maxwell'sche Theorie?" wüsste ich also keine kürzere und bestimmtere Antwort als diese: die Maxwell'sche Theorie ist das System der Maxwell'schen Gleichungen".

matematica – in questo caso davvero infinitamente abile – fatti i conti con le leggi ai rotori ed alle divergenze, sappia concretamente aver la meglio sulle non linearità e sulle eventuali ploidromie presenti in legami costitutivi bruti, per lo più desunti, in modo non esplicativo ma solo descrittivo, per via sperimentale, a partire da misure integrali.

### *L'auspicato approdo all'ingegneria*

In quegli anni le frequentazioni tra la fisica matematica e la nascente ingegneria elettromagnetica non sono così assidue e ravvicinate come forse converrebbe. Non a caso, riflettendoci, Charles Proteus Steinmetz (1865-1923), matematico tedesco passato all'ingegneria, annoterà nel suo diario la seguente perplessità: “at present all mathematical and analytical theories [of AC circuits] especially if they have to start from solution of differential equations, are still of very little value for the practical engineer, who is not yet generally expected to master the powerful weapons of mathematics”. Inoltre, anche nell'ambito della preparazione di base, almeno secondo la “benevola” opinione dei colleghi meccanici e civili di più lunga e consolidata esperienza, la situazione non è delle migliori visto che: “electrical engineering was born yesterday and had no long – standing tradition, no professional culture”.

Con tale precisa consapevolezza, a Darmstadt, nel 1882, nasce il primo Corso di Laurea in Ingegneria Elettrica. “With the eye of a mathematical physicist who was becoming an engineer”, ad insegnare questa nuova disciplina, “the most mathematical of all engineering disciplines”, è chiamato Erasmus Kittler (1882-1929), un fisico matematico in seguito passato all'ingegneria. Qualche anno dopo, nel 1886, a seguito di un accordo commerciale, la *German Edison Company* e la *Siemens & Halske* introducono in Germania il Sistema Edison. Per esplicita decisione del Kaiser, il prof. Kittler è allora incaricato di scrivere l'*Handbuch der Elektrotechnik*, il primo trattato di *Theoretische Elektrotechnik* della storia dell'ingegneria.

Ad affiancarlo, tra l'85 e l'87, è il suo assistente, Mikhail Osipovic von Dolivo – Dobrowolski (1862-1919), il futuro direttore tecnico dell'AEG di Emil Rhatenau (1832-1915). A lui, nel 1891, in collaborazione con Charles Eugene Lancelot Brown (1863-1924), in seguito cofondatore della Brown Boveri, si deve il primo esperimento di generazione – trasmissione – conversione a tecnologia polifase con il quale gli studi teorici di Galileo Ferraris (1847-1897) divengono definitivamente una concreta realtà.

Con grande lungimiranza, Kittler suddivide il suo *Handbuch* in due tomi distinti e metodologicamente contigui: lo *Starstromtechnik* (teoria delle correnti forti) e lo *Schwachstromtechnik* (teoria delle correnti deboli). Tale partizione, di esplicita valenza maxwelliana, costituisce, sul piano ingegneristico-metodologico, una pietra miliare nei riguardi del futuro Elettromagnetismo Applicato.

È il 1889, braccato dalla polizia prussiana per le sue idee socialiste, Steinmetz deve abbandonare il Politecnico Federale di Zurigo e fuggire. Lascia dunque l'Europa e, a Le Havre, si imbarca su *La Champagne*, alla volta della ‘terra pro-

messa': gli Stati Uniti. Matematico e filosofo tedesco di rigorosa formazione, egli ha deciso di dedicarsi a quelle nascenti tecnologie elettriche nelle quali intravede una forte, e per lui imprescindibile, ricaduta di impegno sociale. Forse anche per questo, dopo aver preso i primi contatti con la giovane cultura americana, egli invia al padre, in Prussia, un telegramma con una richiesta precisa ed emblematica: la spedizione simultanea, dalla vecchia Europa, del *Treatise* di Maxwell e dell'*Handbuch* di Kittler. Scienza e tecnica si fondono: a pochi anni dalla teoria postmaxwelliana di Galileo Ferraris relativa al trasformatore e al campo rotante, è questo, in modo definitivo, l'atto fondante della moderna ingegneria elettromagnetica scientifica.

Nel 1909, mentre, perfezionando i lavori di Oliver Heaviside (1850-1925), Joseph John Thomson (1856-1940) ha ormai conferito alla *Dynamical Theory* il suo assetto definitivo, la trilogia sarà completata con la pubblicazione di *Theory and Calculation of Transient Electric Phenomena and Oscillations*, il *magnum opus* dello stesso Steinmetz nel quale l'analisi dinamica dei circuiti riceve il suo assetto scientifico definitivo.

A partire da quegli anni, il percorso evolutivo non sarà comunque immediato. Esso si concluderà infatti, sia in senso computazionale che fondazionale, solo negli anni '60 del Novecento. Per parte loro, anche le equazioni di Maxwell, scontrandosi con la complessità delle condizioni al contorno proprie delle applicazioni e misurandosi con la realtà espressa sia dai legami costitutivi non lineari e talvolta polidromi, che dai flussi dispersi e dalle tempo-varianze in gioco, riveleranno sempre più la loro dipendenza da quell'intuizione e da quel potere evocativo che dagli ingegneri è maturato ed affinato nel loro quotidiano contatto con i *factory methods*. Ma la strada, quella espressa dalla trilogia succitata, è ormai definitivamente tracciata.

### *Verso una possibile nozione di "spazio circuitale"*

Scoperta la pila, occorre da quel momento concepire e razionalizzare quell'idea di circuito che ne è conseguenza diretta. Nella sua prima incerta elaborazione, in modo quasi obbligato, la teoria si rifà esplicitamente, con un approccio che risulta puramente descrittivo, all'idraulica. Quale che ne sia la natura più intima, la conduzione impressa dalla pila è misurata da una corrente stazionaria  $I$  interpretabile come la portata volumetrica di un non meglio identificato fluido incomprimibile. Con tali premesse, la sua densità areolare  $I/A=J$  risulta formalmente riguardabile come una "velocità" espressione e misura del cimento cui risulta sottoposto il mezzo sede della conduzione.

Quanto al "fluido" convogliato dal "circuito", esso, esattamente come accadrebbe nel caso di una conduttura d'acqua, risulta intubato. Esito di un'operazione di rigido *contenimento spaziale*, è cioè identificato e delimitato dalla stessa frontiera fisica che circoscrive materialmente l'insieme dei suoi stessi componenti. A seguito di tale ipotesi, il "fluido elettrico" non dialoga in alcun modo con lo spazio nel quale formalmente risulta immerso. Lo considera cioè di tipo puramente geometrico: nulla di più che un semplice "contenitore di oggetti" che, del tutto assente sotto l'aspetto dinamico, non si compromette in alcun modo con l'evento in atto.

In tali condizioni, le interazioni che si svolgono nello spazio sono necessariamente del tipo cosiddetto *attraverso*, cioè newtoniano a distanza. Risultano cioè espressione di perturbazioni che migrano con celerità infinita. Come se lo spazio vuoto, già illimitatamente rigido, non avesse in sé, per sovrapprezzo, alcuna inerzia. Con tali premesse, le semplificazioni analitiche e concettuali che, agli effetti dell'analisi circuitale, ne conseguono risultano cruciali: assenti sia lo spazio che il tempo, il circuito risulta governato da equazioni algebriche a variabili reali.

Il successivo passaggio al regime variabile modifica lo scenario in modo essenziale. Lo spazio abbandona la sua inerte natura geometrica iniziale e, 'dialogando' direttamente con il circuito che vi è immerso, diviene invece, a tutti gli effetti, fisico. Si connota cioè dinamicamente attraverso la sua rigidità  $1/\epsilon_0$  e la sua inerzia  $\mu_0$  e risulta pertanto direttamente compromesso con l'evento in atto. Il fenomeno assume dunque la connotazione meccanica propria di una propagazione ondosa in un mezzo elastico. Naturalmente questo, propagando onde di tipo trasversale, deve essere a pieno titolo riguardato come un solido. È il minimo che gli si possa chiedere.

In questo mutato spazio, al progredire del fenomeno nel tempo, le linee di forza da cui esso è solcato – e per il cui tramite il circuito si protende in modo naturale verso il mondo che gli sta d'intorno – si incurvano e si modificano da istante a istante. Il nuovo compito del mezzo diviene allora quello di supportare e di guidare, con una celerità finita che ora risulta dipendere dalla sua rigidità finita e dalla sua inerzia non nulla, le perturbazioni che vi si producono e vi si propagano. In tali condizioni, lo stazionario *attraverso* lascia il posto al ben più complesso e dinamico *attraverso e mediante* proprio dell'azione per contatto. Dalla lettura newtoniana si passa cioè a quella faradiana. Con il risultato immediato che, da algebriche, le equazioni chiamate a dominare il fenomeno divengono differenziali a derivate parziali. Appaiono cioè espresse, a pieno titolo, nel dominio spazio-temporale proprio dei fenomeni ondosi in un mezzo elastico. Con l'uso delle derivate parziali, la nuova lettura fisica riesce cioè a vedere materia laddove quella precedente, di indole puramente matematica, aveva visto solo spazio.

Sul piano circuitale la conseguenza, che la *Dynamical Theory* provvede subito a chiarire, è immediata: associato a potenziali elettromagnetici divenuti di tipo ritardato, ora il circuito, per sua intrinseca natura, irradia, sotto forma di onde elastiche nel vuoto, potenza nello spazio fisico "esterno" nel quale è immerso. Viene dunque meno l'originario "naturale contenimento" proprio del regime stazionario. E così, non più semplicisticamente circoscritto dalla materialità stessa dei suoi componenti, il circuito, prolungandosi attraverso le sue linee di forza fisiche, si "espande" nello spazio circostante. Da "energeticamente introflesso", esso diviene cioè "energeticamente estroflesso". Fino a risultare, con modalità che dipendono strettamente dall'ordine di grandezza delle frequenze in gioco e dalle dimensioni geometriche del "circuito", evanescente. E a perdere di conseguenza, in modo progressivo, quella sua stessa identità che, in prima lettura, sembrava formalmente derivargli – in modo automatico – dalla sua stessa materialità costruttiva. Da quel momento, il circuito perde cioè, le secondo i dettami fissati dalla teoria maxwelliana, la sua identità ed assume il ruolo "astratto" proprio di un *analytical tool* finalizzato alla formulazione del bilancio spazio-temporale

dei contributi dinamici di inerzia  $\mu$  e di elasticità  $\epsilon$  presenti. È emblematica al riguardo, la riflessione di Sergei Shelkunoff (1897-1992): “Circuit theory is a mathematical method and it should not be confused with circuits. Empty space is neither a circuit nor a network”.

Inizialmente, date le modeste frequenze e le contenute estensioni geometriche in gioco, la presenza dei possibili fenomeni propagativi appare solo un irrilevante dato teorico, del tutto ininfluenza sul piano applicativo più diretto. Ciò consente, seppur in una forma semplificata da verificarsi preliminarmente di volta in volta, di tornare ad assimilare, come già nella Meccanica Newtoniana, lo spazio fisico ad uno spazio geometrico. Con una conseguenza, di grande importanza analitica e concettuale, che è immediata: in tali condizioni le equazioni dei circuiti elettrici possono assumere la forma differenziale ordinaria nella sola variabile tempo già propria dell’approccio langragiano. Lo spazio torna dunque newtonianamente ad essere solo “spazio” e rinuncia a voler essere faradianamente interpretato come materia.

Con la successiva comparsa, imposta dalle Comunicazioni Elettriche, di cavi di grande lunghezza, riguardabili – negli effetti parassiti delle capacità proprie dei loro isolanti – come delle “gigantesche bottiglie di Leida”, l’analisi dei circuiti, complice il progressivo aumento delle frequenze in gioco e dei disperdimenti dielettrici laterali, impone invece il passaggio forzato alle costanti distribuite. Si ritorna dunque all’originaria analisi differenziale a derivate parziali nella quale il tempo risulta affiancato, in questo particolare caso sotto forma di una sola coordinata spaziale longitudinale, dallo spazio.

Inizialmente l’approccio pone in evidenza il drenaggio trasversale, in termini di spostamento, della corrente longitudinale di conduzione. Il modello che se ne deriva riporta allora all’equazione di diffusione. In seguito, conteggiando amperianamente anche il simultaneo effetto magnetico delle conduzione longitudinale, la dinamica risulta assai più correttamente espressa da un’equazione di propagazione. Dalle leggi del calore si finisce dunque col passare a quelle della fune vibrante. Con un dilemma impreveduto: ora i parametri dinamici propri della fune lasciano il posto a quelli specifici del vuoto nel quale il conduttore è immerso.

Da quel preciso momento, il *particellare* di origine newtoniana espresso dalle costanti concentrate, intrinsecamente estraneo al regime variabile e momentaneamente riconfermato *sub conditione* nei primi circuiti “lentamente variabili”, deve lasciare il posto, in modo definitivo, al *continuum* maxwelliano identificato dalle costanti distribuite.

A seguito di tale progressivo avvicendamento, una Fisica Matematica già del tutto consolidata ed un’Ingegneria Elettromagnetica ancora incerta, ma comunque già vista come dai più come *the most mathematical of all engineering disciplines*<sup>2</sup>, avrebbero cercato di coniare, da posizioni diverse ma tuttavia sempre

<sup>2</sup> In realtà le difficoltà e le complicazioni che si frapposero furono, almeno alla luce delle naturali aspettative odierne, inimmaginabili. È sufficiente ricordare che nel 1858, per trasmettere, con il primo cavo sottomarino, la lettera “E” occorrevano 4 secondi. Con 100 parole il tempo necessario diveniva addirittura di un’ora. E non basta: la spedizione di un telegramma di congratulazioni del presidente degli Stati Uniti alla Regina Vittoria richiese un tempo di 30 ore.

più complementari, un lessico familiare comune. Con il risultato che ad una *dynamical philosophy* sempre più accreditata si sarebbe progressivamente affiancato il potere evocativo concretamente maturato dall'ingegnere.

Il prezzo da pagare sarebbe stato il tempo necessario per giungere ad un assetto scientifico e progettuale sufficientemente consolidato. Oggi, a certificare le difficoltà di tale percorso, rimangono allo storico della scienza le annotazioni e le riflessioni che gli studiosi del tempo raccolsero nei loro *quadernucci*.

È questo, tra i molti altri, il caso delle riflessioni puntualizzate in quegli anni da Steinmetz, nelle quali si può cogliere in modo nitido il senso del non facile percorso evolutivo compiuto da un'ingegneria perennemente alla ricerca di se stessa. Maxwell, nella sua *Dynamical Theory*, aveva già lagrangianamente elaborato le equazioni del mutuo induttore. Ferraris, nel 1885, le aveva usate per formalizzare la prima teoria scientifica del trasformatore. In seguito, Gisbert Kapp (1852-1922), con chiari intendimenti progettuali, avrebbe puntato ad una possibile rilettura "interna", cioè finalizzata ad una partizione del flusso nelle due distinte componenti comune e disperso, del modello lagrangiano iniziale di Maxwell. Ma questi risultati, pur innegabili, non avrebbero in seguito affrancato Steinmetz da tutta una serie di dubbi e di riserve metodologiche che avrebbero stigmatizzato i limiti stessi del metodo: "the maxwellian theory of the transformer- egli scrive nel suo quadernuccio – described a device that does not exist in practise, but merely haunts as a phantom transformers the text-books and mathematical treatise on transformers". E poi, a valle del trasformatore, proseguendo su queste riflessioni, egli, per le stesse ragioni, non avrebbe mancato di osservare che "most theories of the induction motor were written only by theorist who never constructed a motor themselves and who have never seen a motor taken apart".

### *L'influenza del pensiero di Fourier sull'approccio circuitale*

In Francia, agli inizi dell'Ottocento, Jean Baptiste Fourier (1768-1830) – il cui cognome è una contrazione di *fourrier*, al tempo stesso furriere in senso militare e "precursore di idee" in senso filosofico – elabora la sua *Théorie analytique de la Chaleur*. Con un intendimento quanto mai chiaro: "on déterminera pour les substances solides ou liquides, pour les vapeurs et pour les gaz permanents, toutes les qualités spécifiques relatives à la chaleur, et les variations des coefficient [...]".

E la sua teoria – *the invention of the devil*, secondo Niels Henrik Abel (1802-1829) – cui spesso viene rimproverato un difetto di rigore scientifico, è quanto di più geniale ed innovativo si possa immaginare in quel momento. Da un lato perché, per la prima volta, la ricerca fisica viene finalmente sospinta verso orizzonti del tutto autonomi rispetto a quelli, ormai 'angusti', propri della Meccanica Razionale. Dall'altro perché, in modo conseguente, si sottolinea, in una forma esplicita, il ruolo direttamente conoscitivo che, nella spiegazione del "sistema mondo", spetta all'indagine matematica.

Padre indiscusso della fisica matematica dell'*École*, per Fourier "l'analisi matematica è estesa quanto la natura stessa". E, lungi dal costituire, come invece con Carl Guster Jacob Jacobi (1804-1851), un'"astratta ricerca della verità per il puro

piacere dello spirito”, rappresenta il migliore linguaggio razionale di cui l’uomo disponga nel suo rapporto con l’Universo. Ciò deriva dal fatto che, secondo la sua visione del mondo, “l’analisi matematica ha rapporti necessari con i fenomeni sensibili; il suo oggetto non è creato dall’intelligenza dell’uomo, ma è un elemento preesistente dell’ordine universale, e nulla ha di contingente e di casuale; esso è impresso entro tutta la natura”. Non è dunque, secondo la sua lettura, un semplice strumento per fare calcoli o previsioni, ma è invece un riflesso della natura stessa delle cose.

A partire da tale convinzione, egli rifiuta ogni controversia preliminare sulla natura intima del calore e, nella sua *Théorie*, annota la seguente riflessione: “Le cause prime ci sono del tutto sconosciute, ma esse risultano soggette a leggi semplici e costanti che possono essere scoperte dall’osservazione ed il cui studio forma l’oggetto della filosofia naturale”. Acquisiti, per via sperimentale diretta, i dati osservativi, non occorre dunque che esprimere, in una forma matematica appropriata, le relazioni che, all’interno del fenomeno indagato, li correlano. Vera essenza della ricerca è dunque, a partire dal rigoroso dato sperimentale oggettivo, la *mise en équation d’un problème*, cioè la messa a punto del modello matematico in grado di interpretare fedelmente i legami tra i dati acquisiti dall’osservazione.

In tal modo, nella ricostruzione della *marche naturelle* del fenomeno, le questioni fisiche “primarie” vengono a ridursi a “puri” problemi di analisi. Dopo di che, elaborate in modo appropriato le equazioni, non resta che dedurre gli integrali e, con essi, la dinamica del fenomeno. Naturalmente con tutta la correlata necessità di una successiva messa a punto di metodi di calcolo e di teoremi che ne deriva. E con un senso assoluto di rigore da certificarsi ineludibilmente, *a posteriori*, mediante la verifica sperimentale dell’accordo tra gli esiti del calcolo stesso e quelli resi dall’esperimento.

“Et ignem regunt numeri”. Proprio così, ritornando a Platone, Fourier avrebbe enfatizzato l’indiscusso valore paradigmatico implicito nel suo studio analitico degli effetti del calore. Un valore paradigmatico che, in fisica matematica, valicando i limiti contingenti legati alla diffusione del calore, avrebbe ben presto finito con l’influencare, in un modo sempre più ampio e sistematico, tutte le altre ricerche del tempo. E dal quale, oltre che comunque l’imminente *Teoria dei Campi*, non sarebbe certo risultata esente neppure la non più prorogabile *Teoria dei Circuiti*.

Anche per i circuiti, in quegli anni, sotto la precisa influenza dell’“*ignem regunt numeri*”, si sarebbe trattato infatti proprio di una *Théorie Analytique*. Dopo tutto, all’indomani della scoperta della pila, per le conoscenze di cui poteva disporre, la Scienza non era certo in grado di addentrarsi sulle possibili controversie preliminari e di base riguardanti la natura intima dell’elettricità. In quel momento, a partire da osservazioni sperimentali acquisite da più o meno incerte misure integrali, solo un’agnostica *mise en équation* avrebbe potuto far tornare in qualche modo i conti relativamente a quei presunti circuiti. Tanto più che, date le modeste frequenze in gioco, essi apparivano fortunatamente ancora ben lontani dal dover essere severamente declassati al semplice rango di un *analytical tool*.

A partire da un approccio di questo tipo, che fisici come il francese Marie Alfred Cornu (1841-1902) avrebbero bollato di empirismo, alla luce di una sensibilità in seguito sempre più vicina all’identità concetto – operazioni di Percy

Williams Bridgman (1882-1961), con John Perry (1850-1920) e successivamente con Giovanni Giorgi (1871-1950), ne sarebbe derivata, in modo innovativo, una ben precisa scuola di pensiero. Accantonato il *metodo storico*, in cui tutto iniziava dalla pallina di sambuco e dalla bilancia di torsione, l'elettromagnetismo, secondo il *metodo logico*, sarebbe stato direttamente proposto a partire da misure integrali. Queste, in particolare, sarebbero state eseguite fin dal principio avvalendosi di tensiometri e di reometri operando su domini di dimensione finita. Successivamente, con un processo al limite, la progressione avrebbe teso verso dimensioni sempre più ridotte. Fino a “simulare” il punto. In modo analogo, partendo da un regime lentamente variabile, si sarebbe progressivamente passati verso frequenze sempre elevate. Era esattamente l'opposto dell'approccio adottato in quel periodo, sintetizzato in particolare da trattati come quello di Eleuthère Elie Nicolas Mascart (1837-1908) e Jules François de Sales Joubert (1824-1907).

### *Le linee elettriche fanno la loro apparizione*

Nate e sviluppatasi, seppur in una forma del tutto rudimentale, nella prima metà dell'Ottocento, le linee elettriche avrebbero inizialmente riguardato il solo trasporto della potenza. In seguito, in forme sempre più complesse ed evolute, esse sarebbero state impiegate anche per le Comunicazioni Elettriche.

Complici i dielettrici presenti, le accresciute estensioni geometriche avrebbero messo in discussione la validità di una solenoidalità della conduzione sulla quale, fino a quel momento, sulla base di inoppugnabili riscontri sperimentali, sembrava poggiare la nozione stessa di circuito. Conteggiando le “fughe laterali di corrente nel dielettrico”, ne sarebbe allora derivata la necessità di un abbandono immediato delle costanti concentrate. Con tutti gli oneri concettuali e computazionali impliciti sia nel passaggio dalle equazioni ordinarie a quelle a costanti distribuite che nel calcolo delle capacità.

La presenza di frequenze sempre più elevate avrebbe a sua volta posto in discussione la validità dell'irrotazionalità del campo elettrico. Il che avrebbe richiesto la capacità, in accordo con il teorema di Alfred Clebsch (1833-1872), la capacità di saperne preliminarmente individuare, per via sperimentale, la parte conservativa. Così da poter collocare i tensiometri in “zona protetta” e farli corrispondentemente diventare, come esige la teoria delle reti, voltmetri. Occorreva poi, in modo analogo, essere in grado di calcolare con il dovuto dettaglio le induttanze. Fino a giungere, nella simultanea presenza delle due induzioni, la faradiana e la hertziana, alle onde guidate dal conduttore.

Incalzate da un approccio maxwelliano sempre più rigoroso e stringente, sarebbero stati allora conseguiti i risultati più probanti. Ma, almeno inizialmente, pur nel loro indiscusso rigore e nella loro genialità, molti esiti sarebbero rimasti circoscritti al rango di contributi cartacei ed accademici. Con conseguenze immediate in ambito applicativo.

Ancora una volta, ben consapevole di tutto questo, Steinmetz, nel suo quadernuccio, avrebbe annotato le sue perplessità di sempre: “Phantom transmission lines circuit of uniformly distributed capacity and inductance was very different from the circuit existing in practice”.

## Le tappe delle costanti concentrate

### *Il regime stazionario*

Direttamente associabile, come già è stato ricordato, alla scoperta del campo elettromotore voltiano, la nascita della *Teoria dei Circuiti Elettrici* può farsi risalire ai primissimi anni dell'Ottocento.

Più di mezzo secolo dopo, a seguito dei contributi recati dalla *Dynamical Theory* maxwelliana, il ruolo svolto dalla pila nel processo di conduzione sarebbe risultato interpretabile con tutta quella consapevolezza e tutto quel rigore fisico – matematico che ad esso erano dovuti. Da quel momento, formalizzando il fenomeno conduttivo stazionario con le leggi campistiche ai vortici ed alle sorgenti che ad esso competono:

$$\begin{cases} \nabla \times \mathbf{E} = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mathbf{E} = -\nabla V \\ \mathbf{J} = \nabla \times \mathbf{T} \end{cases}$$

V essendo il potenziale scalare proprio del campo elettrico E conservativo e T il potenziale vettore associabile al campo di conduzione J solenoidale, si sarebbe giunti – senza eccezione alcuna e per l'intero spazio  $\tau_\infty$  – ad una condizione energetica di annullamento del tipo seguente:

$$\int_{\tau_\infty} \mathbf{E} \cdot \mathbf{J} d\tau = 0$$

a seguito della quale, in un circuito elettrico chiuso, dalla sola presenza di un campo elettrico conservativo non sarebbe risultato possibile ottenere alcun processo stazionario di trasporto netto di carica. A fronte di tale consapevolezza, la “corrente continua” sarebbe stata correttamente vista come l'esito della necessaria sovrapposizione di due campi tra loro distinti. Il primo, di natura conservativa, legato alla posizione delle cariche, sarebbe stato il campo coulombiano  $\mathbf{E}_p$  di origine elettrica; il secondo, di tipo vorticale, sarebbe stato invece, con Oliver Heaviside, il cosiddetto campo elettromotore  $\mathbf{E}^*$ , di differente indole, impresso dall'esterno. In termini di bilancio energetico, ciò avrebbe comportato la relazione seguente:

$$\int_{\tau_\infty} \mathbf{E}_{tot} \cdot \mathbf{J} d\tau = \int_{\tau_\infty} (\mathbf{E}_p + \mathbf{E}^*) \cdot \mathbf{J} d\tau = \int_{\tau_\infty} \mathbf{E}^* \cdot \mathbf{J} d\tau = \int_{\tau_\infty} \frac{|\mathbf{J}|^2}{\sigma} d\tau > 0$$

grazie alla quale, in regime stazionario, data la presenza delle perdite conduttive, solo a seguito dell'intervento di un “generatore esterno”, la pila voltiana per l'appunto, può di fatto instaurarsi un processo permanente di conduzione. Quanto all'integrale primo dell'energia, in tal caso l'approccio campistico avrebbe infine condotto alla ben nota relazione circuitale seguente:

$$\iint_{\Sigma_r} \mathbf{E} \times \mathbf{H} \cdot \mathbf{n} dS = \iint_{\Sigma_r} V \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} dS = \sum_k V_k I_k = [V]^T [I]$$

Ma per ora, mentre, in maniera febbrile si percorrono quegli anni eroici di *galvanismo* che assisteranno al definitivo declino dell'*École*, il chiarimento derivante da un simile rigore non può che risultare remoto. E, alla luce delle conoscenze matematiche del tempo, forse anche impensabile. Per parte sua l'Elettrologia si limita ad affidarsi incondizionatamente alla pila. E, grazie al campo di "forza"  $\mathbf{E}^*$  di cui questa, quasi inconsapevolmente, è sede, ne deriva la possibilità di disporre di un "esoterico" flusso di cariche elettriche su cui compiere sperimentazioni. Ne sortirà l'Elettrodinamica amperiana.

Comunque, a conferma dell'evoluzione in atto, già negli scritti voltiani emerge una prima intuitiva nozione di tensione. Ad essa, e non senza incertezze e contraddizioni iniziali, faranno ben presto seguito i concetti "successivi" di differenza di potenziale e di forza elettromotrice.

Sul piano parallelo della Filosofia Naturale l'impatto della pila voltiana risulta non meno rilevante. Inizialmente collocata all'interno di una Fisica Illuministica nella quale i diversi "fluidi" presenti in Natura – il termico, l'elettrico ed il magnetico – si adattano a vivere in mondi stabilmente separati, il suo funzionamento si rivela invece basato, in modo inoppugnabile, proprio sull'interazione diretta tra fluidi distinti.

Di lì a qualche anno, correttamente riletto, l'"enigma inatteso", costituito dall'esperimento di Hans Christian Oersted (1777-1851), saprà far giustizia sommaria del preteso modello newtoniano: non solo le forze in gioco non risulteranno più di tipo centrale, ma nemmeno potranno più semplicisticamente considerarsi di natura posizionale. Sarà infatti – in modo esplicito – proprio la velocità delle particelle elettriche (cioè il loro movimento), e non più, semplicisticamente, la loro posizione attuale, a condizionare, in termini di corrente, il fenomeno indagato.

### *L'approccio teorico: tipologia, topologia ed equivalenza*

Il 1827 è poi *annus mirabilis* per gli studiosi di galvanismo. Proprio in quell'anno, infatti, Georg Simon Ohm (1789-1854), sotto la diretta influenza degli studi di Fourier relativi alla diffusione del calore, enuncia la sua famosa legge. Con essa, in una forma ormai già del tutto consistente, prende finalmente il via, a tutti gli effetti, la moderna *Teoria dei circuiti elettrici*.

In seguito, nel 1841, James Prescott Joule (1818-1889) perviene all'omonima legge sulla dissipazione legata ai fenomeni conduttivi. Da questa, con un contributo del tutto innovativo, egli deriva in seguito la classica espressione stazionaria  $P=VI$  della potenza elettrica.

È, nel contempo, la volta di Gustav Kirchhoff (1824-1887), il quale, ancora allievo a Königsberg, rispettivamente nel 1845 e nel 1847, deduce sperimentalmente, inserendole in seguito nel tema stesso del suo dottorato, le leggi ai nodi e le leggi alle maglie.

Successivamente le due leggi, rispettivamente espressione della conservazione della carica elettrica e dell'energia, sarebbero risultate un "semplice" corollario delle Equazioni di Maxwell relativo al caso, del tutto particolare, di regime stazionario:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Equazioni di} \\ \text{Maxwell} \\ \\ \nabla \times \mathbf{E} = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \\ \\ \text{Regime} \\ \text{stazionario} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{campi} \\ \\ \oint_{\text{ciclo}} \mathbf{E} \cdot \mathbf{t} \, ds = 0 \\ \\ \oiint_{\text{superficie} \\ \text{gaussiana}} \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} \, dS = 0 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{corollari} \\ \text{di Kirchhoff} \\ \\ \sum_{\text{maglia}} V = 0 \\ \\ \sum_{\text{grafi}} I = 0 \\ \\ \text{insieme} \\ \text{di taglio} \\ \\ \text{teoria delle reti} \end{array} \right.$$

Ma già fin d'ora, ancorché esclusivamente descrittivo (ed assolutamente non esplicativo) del fenomeno fisico in atto, il contenuto dei due asserti si rivela quanto mai cruciale: per suo tramite, infatti, allorché si *connettono elettricamente* tra loro più "componenti" in modo tale da costituire una *rete* di generatori e di resistori, si vengono a stabilire, in base alla particolare configurazione realizzata, vincoli algebrici linearmente indipendenti, rispettivamente di *maglia* e di *nodo*, fra le tensioni e le correnti in gioco. Non resta allora che aggiungervi il *legame tensione-corrente*  $f(V, I) = 0$  proprio di ciascun singolo "dispositivo" presente. Si perviene in tal modo, secondo il linguaggio attuale, al *modello matematico algebrico della rete*.

Impostate le equazioni, la prima difficoltà da superare è rappresentata dall'individuazione preliminare, ove esista, della condizione di esistenza ed unicità della soluzione. In anni successivi, inquadrata rigorosamente la *Teoria dei Circuiti* nella più generale *Dynamical Theory*, il superamento di tale problema sarebbe rientrato a pieno titolo nella formulazione del Teorema di Hermann von Helmholtz (1821-1894). In base a questo, assegnate esplicitamente, quali funzioni note dello spazio:

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \times \mathbf{E} = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{J} = \nabla \cdot (\sigma \mathbf{E}) = \sigma \nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \end{array} \right. \Rightarrow \mathbf{E} = -\nabla V \Rightarrow \nabla^2 V = 0$$

le leggi ai vortici ed alle sorgenti del campo di conduzione  $\mathbf{J} = \sigma \cdot \mathbf{E}$ , la condizione di esistenza ed unicità della soluzione sarebbe risultata scontata *a priori*. L'approccio fondazionale, concettualmente caratterizzato da una forte valenza fenomenologica ed esplicativa del processo di conduzione, sarebbe stato dunque di tipo deduttivo. Per ora, invece, e non senza una qualche possibile incertezza iniziale, tale condizione si limita ad essere accreditata, in modo sistematico, dalla "sola" evidenza sperimentale. Risulta dunque supportata da una semplice valenza descrittiva di tipo induttivo: a fronte di una sempre più ampia casistica acquisita per via operativa diretta, relativamente ai circuiti non si conoscono eccezioni possibili all'esistenza ed unicità della loro soluzione in tensione e corrente. L'esordio della Teoria delle Reti è dunque limitato al Principio (quando addirittura non al Postulato) di esistenza ed unicità. Ma, in attesa della *Dynamical Theory*, tutto questo è già quanto basta per poter imprimere il necessario sviluppo alla nascente teoria. In modo analogo, dall'uso combinato delle leggi di Kirchhoff e della formula di Joule, sempre in accordo con la *Erhaltung der Kraft* di von Helmholtz, deriva la conservazione della potenza elettrica in una rete in regime stazionario. Detti  $\{[V], [I]\}$  i vettori colonna delle tensioni e delle corrente misurabili ai singoli

lati della rete, l'uso combinato delle leggi delle tensioni e delle correnti consente infatti, senza eccezione alcuna, di affermare che:

$$P = \sum_k P_k = \sum_k V_k I_k = [V]^T [I]$$

Per ora tale conservazione, geometricamente legata a maglie e nodi, assume una valenza esclusivamente topologica ed induttiva. Nel seguito, con la progressiva affermazione della *Dynamical Theory*, l'integrale primo dell'energia delle equazioni di Maxwell in regime stazionario:

$$\begin{array}{l} \text{integrale primo} \\ \text{dell'energia} \\ \oint_{\Sigma} \mathbf{E} \times \mathbf{H} \cdot \mathbf{n} \, dS \\ \text{Poynting-Heaviside} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} \nabla \times \mathbf{E} = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \oint_{\text{singolo}} V \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} \, dS = V_1 I_1 + V_2 I_2 = V_1 I - V_2 I = VI \quad \text{joule} \\ \oint_{\text{singolo}} V \mathbf{J} \cdot \mathbf{n} \, dS \quad \begin{array}{l} \text{Erhaltung der Kraft} \\ \text{von Helmholtz} \end{array} = [V]^T [I] = 0 \end{array} \right.$$

avrebbe invece mostrato deduttivamente – con tutta la consapevolezza esplicativa del caso – la conservazione dell'energia per una rete isolata: data l'assenza di fenomeni irradiativi, il lavoro scambiato, in termini di conversione, con i sistemi fisici interagenti non può che cumularsi nei processi di accumulo energetico e di dissipazione in calore. Comunque già fin d'ora, grazie ad un insieme di relazioni induttivamente ricostruite attraverso l'osservazione sperimentale, risulta possibile – anche se descrittivamente e non esplicitamente – prendere atto dell'accordo che sussiste tra l'elettricità stazionaria ed il I Principio della Termodinamica. Lo schema in tal modo ottenuto evidenzia poi due altri aspetti, tra loro del tutto indipendenti, peraltro già affioranti dagli scritti voltiani: la struttura delle connessioni tra componenti e la caratterizzazione di ciascuno di questi. Della prima, traendo spunto, in termini di *Algebra Combinatoria*, dalla *Teoria dei Grafi*, si sarebbe in seguito occupata la cosiddetta *Topologia delle Reti*; dalla seconda, a partire dal parallelo sviluppo – nel corso del Novecento – dell'energetica, dell'elettromeccanica, dell'automatica, etc., sarebbe derivata invece la *Tipologia delle Reti*.

Così impostata, la *Teoria delle Reti Stazionarie* progredisce poi rapidamente. Nel 1853 von Helmholtz enuncia il *Principio di Sovrapposizione* e quello, ad esso legato, del *Generatore Equivalente*. Nel frattempo, sostituendo in modo univoco al sistema “fisico” delle tensioni e delle correnti misurabili in rete, un opportuno insieme trasformato di tensioni e di correnti “fittizie indipendenti”, nel 1873, nel suo *Treatise*, Maxwell supera l'approccio di Kirchhoff ed elabora l'attuale metodo delle *correnti cicliche* e dei *potenziali nodali*. Avviene così, nella messa a punto dei metodi di analisi propri della moderna Ingegneria Scientifica, la prima transizione formale dal *problema reale*, nel quale si fa riferimento alla *grandezza misurabile*, al *problema immagine* corrispondente nel quale, con grande agevolazione concettuale e computazionale, si assume invece come incognita un'opportuna *grandezza matematica trasformata* di tipo simbolico.

Ben presto l'adozione sistematica di un percorso concettuale di tale tipo si traduce, nell'elaborazione dei metodi generali di analisi di rete, in un progressivo affinamento della “sensibilità topologica” con cui la rete elettrica oggetto di indagine viene vista dagli studiosi. Accade così che, alle nozioni – intuitive

e da sempre riguardate come primitive – di *nodo*, *lato* e *maglia*, vadano successivamente ad affiancarsi quelle – assai più complesse ed evolute – di *grafo*, *albero*, *coalbero*, *anello* ed *insieme di taglio*. Ciò si traduce, rispetto all’iniziale rilettura di Kirchhoff compiuta da Maxwell, in formalismi sempre più rigorosi e potenti. E soprattutto, giovandosi della corrispondenza tra grafi e matrici di incidenza nel frattempo formalizzata, immediati e diretti. Nasce così, direttamente basato sulla teoria dei grafi, il moderno approccio topologico alle reti elettriche.

Il primo contributo al riguardo, legato al noto problema del ponte di Königsberg, risale al 1736 e riporta a Leonhard Euler (1707-1783). Ad esso fa poi seguito Arthur Cayley (1821-1895) che, nel 1857, introduce il concetto topologico di “albero”. Il quadro sintetico coerente attuale, basato sulla corrispondenza tra i grafi e le matrici di incidenza ad essi associate, viene poi elaborato da H. Poincaré (1854-1912) nel 1895, con la sua *Analysis situs*.

Nel caso specifico delle reti elettriche, l'impostazione su una base topologica del tipo attualmente adottato risale al 1934 e si deve a K.T. Wang (1902-1977). Ad essa, nel 1938, espresso nel dominio tensoriale, fa infine seguito il fondamentale contributo tensoriale di Gabriel Kron (1901-1968).

### *Una prima progressione verso il regime variabile: la bassa frequenza e le costanti concentrate in uno spazio geometrico*

In seguito, con le sperimentazioni condotte sui fenomeni di induzione, il regime stazionario, proprio del campo elettromotore voltiano, lascia progressivamente il suo posto ad un più generale – e concettualmente assai più complesso – regime variabile.

Almeno inizialmente, nessuna difficoltà metodologica sembra però frapporsi a quella che, spontaneamente, viene in fondo vissuta solo come un'estensione del tutto scontata dell'approccio algebrico iniziale. In modo automatico, la transizione – ed è ancora una volta l'evidenza sperimentale ad accreditare *a posteriori* tale procedura – viene infatti semplicisticamente vissuta come un immediato “prolungamento analitico”, nel dominio del tempo, delle leggi topologiche già elaborate in regime stazionario.

Nella formulazione del modello di rete le grandezze, costanti tensione e corrente  $\{V, I\}$  associate alla porta dei singoli componenti vengono dunque direttamente sostituite dalle funzioni temporali  $\{v(t), i(t)\}$  ad esse corrispondenti. Nel compiere tale operazione, il loro carattere univoco rispetto alla coppia ordinata di punti che definiscono la porta – requisito topologico, quest'ultimo, essenziale per la validità dei Principi di Kirchhoff – viene dato *a priori* per scontato o risulta comunque un dato descrittivamente convalidato *a posteriori* dall'esperienza: istante per istante, in una successione di regimi stazionari contigui e tra loro distinti, le leggi topologiche alle maglie ed agli insiemi di taglio valgono come se, voltianamente, si trattasse ancora di “corrente continua”.

In tali condizioni, sempre secondo le indicazioni emergenti dall'evidenza sperimentale, la potenza elettromagnetica  $p_{\Sigma^*}(t)$  globalmente scambiata da ogni singolo componente attraverso la sua frontiera  $\Sigma^*$  si riduce ancora alla sola

parte  $p_{\sigma}(t)$ , di natura elettrica, associata alla conduzione ed espressa, come già in regime stazionario, dal prodotto  $p(t) = v(t)i(t)$  tra le sue variabili intensive di porta. Data la validità, istante per istante, delle proprietà topologiche di maglia e di nodo, la potenza elettrica  $p(t) = \sum_n v_n(t)i_n(t)$  complessivamente messa in gioco sull'intera rete risulta, come già in regime stazionario, identicamente nulla.

Quanto alla tipologia dei singoli componenti di rete, essa si limita a correlare, in termini di grandezze intensive ed estensive di porta, l'ingresso con l'uscita attraverso leggi di tipo integro – differenziale. Ciò è ottenuto sovrapponendo, nella classica legge di Ohm, ai termini algebrici dissipativi, già comunque propri del regime stazionario, quelli dinamici associati invece, rispettivamente in termini di accumulo energetico cinetico e potenziale, ai fenomeni magnetici e dielettrici presenti. L'approccio adottato, regolato dalle corrispondenze di Maxwell e di Firestone, è dunque quello, già ben collaudato, della Meccanica Razionale.

Il punto di partenza assunto in questa analisi è costituito dalle due distinte nozioni di capacità e di induttanza, di per sé espressione, come già l'elasticità e la massa in Meccanica, del carattere intrinsecamente differenziale, e dunque dinamico nel senso di memoria dell'evoluzione trascorsa, proprio del fenomeno cumulativo indagato. La prima riporta, in larga misura, agli studi voltiani. Quanto alla seconda, essa, in attesa di essere rigorosamente e definitivamente formalizzata da Heaviside, appare comunque già ben introdotta nei successivi studi di elettrodinamica di Franz Ernst Neumann (1798–1895) e di Wilhelm Eduard Weber (1804–1891).

Elemento comune dei distinti approcci è lo studio, di natura geometrica attraverso integrali di campo, dell'interazione tra le correnti e le cariche nei circuiti e l'energia accumulata nei campi magnetico ed elettrico ad esse corrispondenti.

### *L'elaborazione finale dell'approccio: l'elettrodinamica delle equazioni di Lagrange-Maxwell*

Sotto l'aspetto fondazionale è tuttavia ancora una volta Maxwell, il padre della *Dynamical Theory* e dunque della Teoria dei Campi, a mettersi direttamente in gioco e ad elaborare così quello che, di fatto, può oggi considerarsi come l'atto fondante della moderna teoria scientifica delle reti elettriche in regime variabile.

Come già in precedenza, anche nel suo approccio il dato fondamentale, costituito dalla validità istantanea delle leggi topologiche alle maglie e ai nodi, è preliminarmente assunto come scontato.

Non si percepiscono dunque ancora i non semplici problemi metodologici che, in seguito, condurranno alla complessa e a tutt'oggi ancora problematica nozione di regime quasi-stazionario.

Nel suo formalismo, lo spazio, relegato al ruolo di semplice “contenitore di circuiti”, si conferma dunque senza eccezioni di tipo geometrico. Ne deriva pertanto una lettura circuitale collocata su una posizione del tutto distinta dalla visione che, in quegli stessi anni, all'interno di uno spazio di tipo fisico, Maxwell concepisce e riserva invece ai campi.

Malgrado l'assoluta specificità dei contributi circuitali in tal modo elaborati, tale indagine non viene pubblicata da Maxwell, in una forma convenientemente

separata, come articolo monotematico a sé stante, ma compare invece proprio come capitolo facente parte della *Dynamical Theory* stessa. L'opera campistica per eccellenza, quella nella quale, concludendo la trilogia delle sue indagini elettromagnetiche sulle *Physical Lines of Force*, lo Scozzese definisce postfaradianamente sia i fondamenti fisico-matematici che quelli filosofici della moderna *teoria dei campi*, ospita dunque simultaneamente anche i fondamenti di una neonata teoria lagrangiana delle reti elettriche.

Oggi, riletta *a posteriori*, questa "simultaneità" nella pubblicazione dei due "distinti" approcci appare del tutto naturale. Per l'Ingegnere, innanzitutto, cui lo Scozzese, esplicitamente, dedicherà in seguito il *Treatise*. Ed in egual misura anche per lo stesso Filosofo della Scienza, cui l'epistemologo Maxwell affida fin d'ora, proprio in quelle pagine dense di *Faraday's Lines* ormai comprese e metabolizzate, la sua evoluta visione campistica dello spazio, dell'etere luminifero che lo occupa e del meccanicismo che lo interpreta. Nel seguito, a cento anni dalla legge di Ohm, un matematico ed ingegnere elettrotecnico americano, John Renshaw Carson (1886-1940), avrebbe definitivamente ricordato le due "distinte" letture: i potenziali attuali, propri della teoria delle reti, sarebbero risultati il termine fondamentale dello sviluppo in serie dei potenziali ritardati soluzione delle equazioni di Maxwell. L'approccio circuitale sarebbe stato dunque semplicemente riguardato come la Teoria del Primo Ordine, riferita ad uno spazio geometrico, dell'approccio campistico, solidale invece con uno spazio fisico.

Non certo in modo casuale, uno dei circuiti di base scelti da Maxwell per lo svolgimento della sua analisi circuitale è proprio quello del mutuo induttore, l'archetipo stesso, cioè, di quegli effetti trasformatorici e mozionali sui quali, già a breve, con Ferraris, la *Theoretische Elektrotechnik* avrebbe basato la propria teoria generale della conversione elettromeccanica.

Nella *Dynamical Theory*, in uno spazio declassato al semplice rango di contenitore passivo di corpi tra loro estranei, estendendo accuratamente ad essi i metodi che in precedenza Joseph Louis Lagrange (1736-1813) aveva già elaborato per i modelli meccanici classici, le equazioni dei circuiti, nel seguito denominate *equazioni di Lagrange-Maxwell*, assumono dunque la loro classica forma attuale.

In base a tale lettura, il *continuum* fisico reale proprio della teoria dei campi, solcato a celerità finita da linee di forza che "si incurvano dinnanzi all'evento", accetta dunque di discretizzarsi in uno spazio geometrico nel quale i fronti d'onda, non più compromessi con l'evento, si propagano invece con la celerità infinita propria di un modello differenziale ordinario. Per ora, nell'eterno dualismo di sempre, il *continuum* delle equazioni alle derivate parziali lascia dunque posto al particellare delle equazioni ordinarie. Quanto al necessario accredito dell'evidenza sperimentale, complice ancora inconsapevole la bassa frequenza in gioco, i conti tornano.

Ma, ancora una volta, il contributo del genio universale di Maxwell non si sarebbe fermato a questi "esordi". Superata la fase iniziale della deduzione formale, il suo modello lagrangiano del mutuo induttore, al fine di essere legittimato, viene infatti da lui stesso accuratamente "visualizzato" con un sistema meccanico "interpretativo" atto a certificarne quella che in quegli anni era rite-

nuta essere l'indispensabile condizione di intelligibilità. Pubblicati in quella prima metà degli anni '60 dell'Ottocento, quegli "scritti lagrangiani" di Maxwell esprimono dunque ancora la presenza di quell'"ansia meccanicista" dalla quale lo Scozzese – con Ludovico Geymonat (1908-1991) "l'ultimo dei meccanicisti ed il primo dei non meccanicisti" – non si sarebbe liberato mai.

Maxwell prosegue poi su questa direzione ed evolve così la teoria dell'approccio circuitale. Nel 1867, avvalendosi dello stesso schema concettuale già adottato per il mutuo induttore, egli elabora la teoria scientifica della dinamo ad eccitazione derivata. Nel 1868, infine, imposta una prima teoria dei circuiti risonanti.

Il primo contributo, relativo ad un circuito induttivo del primo ordine, risale al 1851 ed è dovuto a von Helmholtz. L'approfondimento del caso duale, proprio della dinamica del circuito capacitivo, è del 1857 e riporta a Ernst Werner von Siemens (1816-1892).

Sono questi gli anni nel corso dei quali, con le affermazioni dei primi impianti di telegrafia e di telefonia e con la successiva realizzazione sia delle dinamo che delle prime linee elettriche di trasmissione, si vanno compiendo, anche se in modo certo non sistematico, le prime concrete indagini sulla dinamica dei circuiti elettrici.

In quest'ottica, William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907) approfondisce, sulla scia delle riflessioni compiute in precedenza da George Gabriel Stokes (1819-1893), le analogie formali che collegano le leggi dei circuiti elettrici con quelle della Meccanica Razionale. Nel 1853, egli, a seguito di tali indagini, teorizzando nel contempo gli studi sperimentali di Joseph Henry (1797-1878) sui circuiti a *due energie*, formalizza lagrangianamente<sup>3</sup> un'equazione circuitale induttivo-capacitiva.

I risultati da lui conseguiti avvalendosi di tale modello si rivelano subito di estrema importanza. Sia sul piano teorico e metodologico, sia su quello pratico. In tale ambito, in particolare, le relazioni dedotte dallo studio analitico dei fenomeni transitori si riflettono in modo immediato sulle applicazioni tecniche in corso.

Negli anni successivi, condotta da altri studiosi, l'evoluzione di tale ricerca si sviluppa poi in modo costante. A supportarla sono, di giorno in giorno, le numerose evidenze sperimentali che provengono dai telegrafi e dalle neonate dinamo. In tal modo, divenuto ormai quasi un *analytical tool* non più bisognoso di una parallela "visualizzazione fisica", l'approccio circuitale, sempre più stimolato dalle richieste dello sviluppo in atto nelle tecnologie elettriche, si afferma definitivamente come uno strumento concettuale irrinunciabile nello studio dei fenomeni di natura elettrica.

Ormai la strada maestra indicata da Maxwell appare precisa e diretta: si tratta soltanto di elaborare lagrangianamente, sulla base delle grandezze concrete misurabili ai morsetti, i modelli dei vari componenti che via via si incontrano nelle applicazioni. Ben presto, intrinsecamente agnostico, nella sua lettura integrale, rispetto alla costituzione puntuale interna dei singoli componenti, tale

<sup>3</sup> Nei termini seguenti:

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{L}{2} \dot{q}^2 + \frac{1}{2C} q^2 \right] = -R \dot{q}^2$$

Nella notazione originale di Kelvin (1853), in ossequio a Lagrange.

approccio avrebbe finito per essere pragmaticamente vissuto come un insieme di ipotesi *ad hoc* legate al risultato approssimato che si vuole ottenere.

In quei primi anni '80 i dubbi inattesi che saranno in seguito generati dall'esperienza di Hertz appaiono ancora lontani. Tutto, per ora, sembra dunque procedere per il meglio...

*Verso uno spazio circuitale che, al crescere delle frequenze, si appropria del suo carattere fisico ...*

In realtà, con il progressivo affinamento dei contenuti della *Dynamical Philosophy*, i primi inequivocabili segni premonitori di una crisi fondazionale prossima ventura non tardano, anche se in modo inizialmente quasi impercettibile, a farsi sentire. E a mettere così in discussione, a livello fondazionale, la legittimità stessa, quale contenitore dei circuiti, della nozione “primaria” di spazio geometrico. A fronte delle incertezze che si vanno via via accumulando, la teoria dei campi, considerata, nella stessa *Dynamical Theory*, “estranea” rispetto alla “parallela” teoria dei circuiti, torna dunque a ricomparire sulla scena. Fino a presentarsi a pieno titolo, quale lettura della Natura legata al concetto di *continuum* compromesso con l'evento, come l'unico tipo di approccio esplicativo in grado di dar ragione di fenomeni altrimenti inesplicabili. Reti elettriche comprese.

Non a caso, si direbbe anzi in modo quasi inevitabile, i primi segnali di “disagio” giungono proprio dai *Maxwellians* – John Ambrose Fleming (1849-1945), Oliver Joseph Lodge (1851-1940), George Francis FitzGerald (1851-1901), J.J. Thompson, John Henry Poynting (1852-1914), O. Heaviside e Hector Munro Mac Donald (1865-1935) (e naturalmente, in Germania, H.R. Hertz) – da quei giovani studiosi cioè che, più di altri, hanno avuto, a vario titolo, il privilegio di essere vicini al Maestro, ne hanno subito tutto il fascino e l'influenza intellettuale. E, soprattutto, ne hanno progressivamente studiato e meditato a fondo la non facile Opera. Fino a cogliere in essa, proprio all'interno di quella *Dynamical Philosophy* che ne costituisce la premessa, tutti gli inevitabili “limiti” impliciti in una ricerca rivoluzionaria e di ampio respiro che, per molti aspetti, con la prematura scomparsa di Maxwell, è rimasta innegabilmente inconclusa. E ad avvertire così, per primi, l'esigenza di proseguire e sviluppare, al Cavendish o a Cambridge, a Dublin o a Birmingham, i concetti introdotti dallo scienziato scozzese<sup>4</sup>.

In questo senso, a proposito della lagrangiana teoria dei circuiti di Maxwell, le riflessioni “critiche” maturate da sir Fleming sono esplicithe: “Maxwell, by a process of extraordinary ingenuity, extended this reasoning [the method of Lagrange] from materio-motive force, quantities, currents, and electrokinetic energies of electrical matter, and in so doing obtained a similar equation of great generality for attacking electrical problems”.

Ma ancor più significativo e tangibile, al riguardo, è il contributo recato da O. Lodge e da G.F. FitzGerald. Nel loro caso l'approdo ad una più evoluta formulazione del concetto di circuito è addirittura il risultato diretto di una rilettura

<sup>4</sup> Cfr. Appendice A-I: Maxwell ed il fenomeno ondoso.

fondazionale della stessa *Dynamical Theory* Nel compierla<sup>5</sup>, essi si domandano, ponendosi in tal modo un quesito lasciato del tutto in ombra da Maxwell, se e con quali metodi sia concretamente possibile generare onde elettromagnetiche nell'etere. Inizialmente, commettendo alcuni errori concettuali, essi negano la possibilità di una generazione d'onda per via circuitale. Ma in seguito, approfondendo il tema ed affinando le proprie conoscenze, la conclusione cui essi giungono è che, non solo sia possibile, ma che – secondo una lettura postmeccanicisticamente oggi data come del tutto ovvia e scontata – addirittura questa irradiazione di potenza possa effettuarsi per via circuitale diretta. Dopo di che, seppur con riferimento ad un caso assai elementare, essi calcolano la potenza effettivamente irradiata. Il risultato in tal modo ottenuto è di importanza cruciale: certificando un'immissione di energia nell'etere, esso supera il concetto, implicito nella formulazione delle equazioni di Lagrange-Maxwell, di spazio circuitale di tipo geometrico e lo sostituisce finalmente con quello di spazio fisico. L'universo circuitale si allontana dunque definitivamente dalla Meccanica Razionale e diviene parte integrante della *Dynamical Theory*.

La definitiva collocazione della teoria dei circuiti nella *Dynamical Theory* avviene in seguito, nel 1883, quando FitzGerald, in quello che, tra i lavori fondanti della scienza, può oggi essere certamente considerato il più breve, prevede formalmente la generazione per via circuitale dell'onda elettromagnetica e giunge a calcolarne anche la potenza irradiata. Per la prima volta, mediante un circuito elettrico in regime periodico ad alta frequenza, nello spazio nel quale il circuito è immerso si “riversano” onde elettromagnetiche. E, con esse, si trasmette nel “vuoto” una potenza  $P$  che, con FitzGerald stesso, nel caso particolare di una spira di raggio  $a$ , percorsa da una corrente sinusoidale di ampiezza  $i_0$  e di periodo  $T$ , risulta così esprimibile:

$$P = (\pi a i_0)^2 \frac{8\mu\pi^4}{3T^4 c^3}$$

L'idea stessa di un circuito completamente “isolato e a sé stante”, immerso in uno spazio geometrico che assolve esclusivamente al ruolo di semplice contenitore di apparecchiature e di conduttori di connessione non risulta dunque più sostenibile. Riguardato fino a quel momento come puramente geometrico, ora lo spazio, solcato da linee di forza che, incurvandosi dinnanzi all'evento, lo trasmettono con celerità finita, diviene, a tutti gli effetti, fisico. Con un comportamento che risulta fortemente caratterizzato dall'ordine di grandezza delle frequenze in gioco.

Tale risultato, collocando i circuiti, quali emettitori o ricettori di onde, nella *Dynamical Theory*, impone però ora una radicale rilettura dei fondamenti concettuali e metodologici sui quali essi fino a quel momento si basavano. Immerso in uno spazio fisico nel quale poteva anche irradiare o captare onde, il circuito poteva anche non accettare più, *a priori*, una semplice lettura lagrangiana classica. E l'adottarla invece, come era consuetudine, senza riserve poteva realmente costituire *a process of extraordinary ingenuity...*

<sup>5</sup> Cfr. Appendice A-II: il contributo di FitzGerald.

In anni successivi, tornando – in una lettera inviata all'amico carissimo Heaviside – sulla sua analisi iniziale, ormai del tutto consapevole dell'errore inizialmente compiuto, FitzGerald giunge a definire testualmente la sua posizione iniziale “more or less idiotic”. In seguito, ancora in una lettera ad Heaviside, giungerà finalmente ad affermare in modo esplicito che, per lui, “[...] equations on Maxwell's Theory certainly lead to the conclusions... Energy is gradually transferred to the medium [...]”. Dal canto suo, nel 1891, sempre riferendosi a questo risultato cruciale, l'amico Oliver avrebbe scritto la seguente definitiva osservazione: “Maxwell's theory is no longer entirely a paper theory, bristling with unproved possibilities. The reality of electromagnetic waves has been thoroughly demonstrated by experiments [...]”.

Nel 1888, dopo aver approfondito per ben quattro anni il pensiero di Maxwell, Hertz, l'allievo prediletto di Helmholtz, dà finalmente la piena conferma sperimentale della visione teorica elaborata dallo scienziato scozzese. Ne indaga in particolare, approfondendone ogni dettaglio, tutte le implicazioni fenomenologiche proprie del fenomeno ondulatorio in atto. Da quel preciso momento la “metafora scientifica” dell'effetto magnetico della corrente di spostamento diviene, in modo definitivo, una precisa ed inconfutabile realtà. Dopo di che, in pochissimi anni, la ricerca e lo sviluppo delle onde elettromagnetiche si affermano e si espandono.

La risposta ai quesiti indotti, in termini di meccanismo della trasmissione dell'energia nello spazio, dai risultati ottenuti da FitzGerald non si fa attendere. E, già nel 1885, quale integrale primo dell'energia delle equazioni di Maxwell, essa giunge direttamente espressa sotto forma di teoria dei campi. Ad elaborarla, in maniera del tutto autonoma e pressoché contemporanea, sono, ancora una volta, due *Maxwellians*: Heaviside e Poynting. Ben presto, grazie ai loro risultati, superate tutte le riserve metodologiche iniziali, soprattutto quelle avanzate da McDonald, l'energetica dei fenomeni elettromagnetici, sotto forma della cosiddetta relazione di Poynting-Heaviside, diviene, più volte ‘rimaneggiata’, una parte dominante dell'Elettromagnetismo classico.

In seguito, nella più espressiva forma data da Joseph Slepian (1891-1969), l'integrale primo dell'energia delle equazioni di Maxwell avrebbe assunto l'impostazione adatta alla teoria dei circuiti: l'*elemento bipolare*, componente di base della rete elettrica, delimitato da una frontiera elettromagnetica e accessibile per sola via elettrica conduttiva solo attraverso la coppia ordinata di morsetti che ne definiscono la porta, sarebbe diventato il *bipolo in senso elettrico* fondamento della teoria matematica delle reti.

La formulazione della teoria dei circuiti, sostenuta e stimolata dai risultati ottenuti da FitzGerald e da Poynting-Heaviside, va dunque progressivamente evolvendosi. Ma la piena esigenza di una severa e rigorosa revisione fondazionale dei concetti elaborati si sarebbe manifestata in tutta la sua ampiezza solo in seguito. Ad imporla sarebbe stata la sensibile comparsa, sul piano applicativo, di frequenze sempre più elevate. A fronte di queste le equazioni differenziali ordinarie dei circuiti, espressione di un'azione a distanza non più sistematicamente confermata dall'evidenza sperimentale, avrebbero condotto ad esiti non sempre in adeguato accordo con le misure compiute nel “circuit”.

Tuttavia, almeno per ora, la *Teoria delle reti* prosegue – e anche con eccellenti risultati concreti – nella propria evoluzione. Anche se, in effetti, ciò sembra accadere in una forma che risulta sempre meno immune dai “paradossi” con i quali una nascente ingegneria elettromagnetica, del tutto ancora alla ricerca di una propria identità culturale e metodologica, paga il prezzo della propria disinvolta estraneità agli *Electrical Papers* di Heaviside.

Se “electrical engineering was born yesterday and had no long-standing tradition, no professional culture”, il matematico – ingegnere – filosofo Joseph Slepian, sottolineando i paradossi che si incontrano nel calcolare, in regime variabile, la potenza elettrica come prodotto tensione per corrente, parlerà in seguito – ironicamente – di “postulato  $vj$  degli ingegneri”. Ed anche per la teoria del mutuo induttore, una delle colonne portanti dell'elettrotecnica, le cose non andranno meglio: nel 1930, avvalendosi di una bobina di Helmholtz, il fisico matematico ed ingegnere viennese E. Weber (1901-1996) mostrerà, proprio perché basata su misure integrali, tutti i limiti propri della teoria maxwelliana del mutuo induttore. Giustificando così la definizione di “procusterian bed” in seguito data da P. Moon e D. Spencer alla teoria dei circuiti.

Ma questi “spiacevoli imprevisti” si presenteranno, in tutta la loro impegnativa gravità, solo con il nuovo secolo. Ora conviene invece tornare in tutta fretta all'Ottocento: stanno finalmente per fare la loro comparsa le costanti distribuite.

## Le tappe delle costanti distribuite

### *La linea di comunicazione elettrica*

Mentre l'analisi circuitale lentamente variabile va progressivamente consolidandosi nei propri fondamenti metodologici legati alle costanti concentrate, fanno la loro prima comparsa, sul finire della prima metà del secolo, le prime linee di comunicazione elettrica. Dapprincipio, malgrado la loro particolare struttura, esse, alla luce delle conoscenze elettriche del tempo, non sembrano introdurre modifiche di rilievo e vengono pertanto assimilate ai circuiti studiati fino quel momento. Ben presto, in ragione dell'estensione, delle guaine isolanti e della frequenza in gioco, esse finiscono però col differenziarsi fenomenologicamente in modo sempre più netto dagli schemi precedenti. Fino a richiedere la messa a punto innovativa di modelli matematici del tutto diversi da quelli fino a quel momento utilizzati.

La prima linea di comunicazione elettrica viene realizzata negli Stati Uniti, nel 1844. Essa viene costruita per collegare, per via telegrafica, Washington con Baltimora. Ben presto, con un impatto immediato sulle comunicazioni<sup>6</sup>, tale

<sup>6</sup> È rimasto famoso al riguardo, per l'enorme rilievo datogli dalla stampa, l'episodio avvenuto nel 1845 nei pressi di Londra. Una donna era stata assassinata a Slough ed il sospetto assassino fu visto salire su un treno diretto a Paddington. Il telegrafo che univa le stazioni ferroviarie permise di trasmettere a quella località un allarme per la polizia ed una precisa descrizione della persona, così che, all'arrivo del treno, il colpevole fu riconosciuto, arrestato ed in seguito giustiziato.

sistema si diffonde anche in Europa. Si tratta di linee elettriche aeree collocate sulla sola terra ferma<sup>7</sup>. Costituite da semplicissimi conduttori metallici nudi, esse mettono in gioco frequenze al di sotto della decina di hertz e coprono distanze assai brevi, in genere non superiori alla decina di chilometri. L'effetto combinato della loro lunghezza contenuta e del regime lentamente variabile proprio della frequenza telegrafica fa sì che le semplici connessioni elettriche adottate non evidenzino particolari proprietà elettromagnetiche. La loro modellizzazione risulta dunque scontata e di immediata soluzione: per esse l'uso della classica legge di Ohm è già del tutto sufficiente.

Ben presto la realizzazione dei primi cavi, rendendo possibile la stesura dei conduttori sui fondali marini, consente il superamento, in termini di connessione elettrica, di distanze progressivamente crescenti. Il primo esperimento di posa di un cavo sotto il mare viene effettuato già nel 1845, all'interno della baia di Portsmouth. Si tratta di un cavo lungo un miglio isolato con guttaperca. Si ha poi, nel 1851, la Calais – Dover. Nel 1856, sul Mar Nero, su una distanza di 741 chilometri, una linea unisce Varna con Balaclava. Negli anni seguenti si sviluppa una rete di cavi tra le coste europee e mediterranee, sotto i canali, tra le isole ed anche sotto alcuni grandi fiumi<sup>8</sup>. Degna di menzione è in particolare la tratta sottomarina Londra-Bombay, via Porhcurno, Gibilterra, Malta e Suez.

### *Circuits in the sea*

Manca tuttavia ancora il tassello fondamentale in grado di rivoluzionare le fondamenta stesse della neonata scienza delle Comunicazioni Elettriche: il collegamento, attraverso l'Oceano Atlantico, tra l'Europa ed il Nord America. Si tratta, a tutti gli effetti, di un'impresa epocale la cui estrema complessità risulta essere di ordine sia tecnico che amministrativo.

Il primo tentativo è compiuto nel 1858, tra l'Irlanda e Terranova; riguarda 2200 chilometri di cavo posato da due navi salpate dalle due coste opposte e destinate ad incontrarsi a metà strada. I lavori, pur ostacolati ed interrotti più volte da mille difficoltà, hanno alla fine esito positivo. Da quel momento, le comunicazioni risultano stabilmente possibili: al costo di cinque dollari la parola, viene infatti inviata una media di ben 3.000 messaggi giornalieri.

Non resta dunque che far crescere l'analisi matematica dei fenomeni propagativi di pari passo con la tecnologia che vi è sottesa.

<sup>7</sup> Giunto sulla costa, il messaggio telegrafico veniva trascritto su carta e, tramite un battello, per "posta ordinaria", veniva condotto sulla costa opposta dove, nuovamente, era inviato telegraficamente come segnale elettrico. Solo in seguito, con la costruzione di cavi in grado di essere stesi sui fondali marini, risultò possibile connettere in modo diretto, anche su distanze oceaniche, le stazioni trasmittente e ricevente. In quel momento le telecomunicazioni concretamente fruiro- no di tutte le loro potenzialità.

<sup>8</sup> Nel contempo migliorò sensibilmente la tecnologia dei conduttori e dei rivestimenti, nonché quella relativa alla posa ed alla riparazione. Vengono inoltre realizzate alcune navi speciali espressamente destinate alla posa, al ripescaggio ed alla riparazione *in loco* dei cavi.

## Il simultaneo sviluppo delle linee di potenza

In anni successivi, in concomitanza con l'affermazione dell'*AC System*, si sviluppano, parallelamente a quelle di comunicazione, già in fase avanzata di evoluzione, le linee di potenza.

Tra queste, va innanzitutto citata, per il significato che essa assume nella storia dell'Elettrotecnica, la Torino-Lanzo del 1884: 1400 watt ad una frequenza di 160 Hz. Per suo tramite, Galileo Ferraris sperimentò la sua teoria post-maxwelliana del trasformatore e accertò nel contempo la connessa fattibilità dell'*AC System*.

La prima linea di grande importanza fu però, sette anni dopo, la Frankfurt-Laufen, con la quale, su una distanza di 175 km e con una tensione di 15+25kV, si trasmise potenza elettrica in alternata. A parte la distanza, tutto sommato modesta, e la tensione, comunque contenuta, l'esperimento fu cruciale perché per la prima volta, a partire dall'originaria configurazione bifase adottata da Ferraris, l'elettrotecnica si cimentava con la tecnologia trifase. Tale particolare schema era stato concepito in precedenza da John Hopkinson (1849-1898), il quale ne aveva subito enfatizzato i vantaggi energetici consistenti in una sensibile riduzione, a parità di rame impiegato, della potenza dissipata per la trasmissione. Ma solo a Laufen, prendendo finalmente le debite distanze dall'originaria configurazione bifase suggerita a Ferraris dall'ottica ondulatoria di Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), fu possibile accertare, in termini di campo magnetico rotante, la parallela e assai più vantaggiosa fattibilità trifase.

Il primo elettrodotto commerciale fu però quello di *Niagara Falls* del 1896, realizzato dalla collaborazione tra George Westinghouse (1846-1914), l'astuto imprenditore, e Nikola Tesla (1856-1943), il geniale inventore. Si trattava di 80 km di distanza, sotto una modesta tensione di 40 kV; niente di più. Ancora una volta, i limiti dell'impianto risiedevano dunque nell'uso di isolatori di possibilità assai modeste, sostanzialmente non dissimili da quelli già usati nelle linee telegrafiche e telefoniche, i quali erano in grado di sostenere tensioni di valore assai limitato. Nel 1907 Harold Winthrop Buck, della Niagara Falls Power Company, ed Edward M. Hewlett (1866-1934), della General Electric, inventano l'isolatore composto moderno e risolvono definitivamente il problema. Da quel momento, adottando un numero conveniente di componenti connessi tra loro in cascata, risulta possibile far fronte a qualsiasi livello di tensione. Con il risultato che i trasformatori, in precedenza limitati nelle potenzialità del loro avvolgimento elevatore proprio dai problemi di isolamento, possono finalmente esprimere tutte le loro possibilità.

Quanto alle linee, rimossi finalmente i vincoli nella tensione di ingresso e di uscita, esse possono coprire distanze prima impensabili. Le costanti distribuite si affacciano dunque, con tutti i loro enigmi, anche sulla potenza.

Nate in sordina, le linee di potenza coprono dunque distanze confrontabili con quelle delle linee di comunicazione. Risentono pertanto degli stessi problemi dinamici di tipo propagativo. Aggravati per di più dalla presenza di strutture magliate di ben altra complessità topologica. E con tensioni, e dunque con campi elettrici, di ben altro livello.

*L'enigma delle costanti distribuite*

Con il crescere progressivo della lunghezza e successivamente, in ragione del passaggio al caso telefonico, delle frequenze in gioco, la linea di telecomunicazione si allontana sempre più da quel possibile schema elementare – la “linea corta di terra a fili metallici in aria” – per il quale, inizialmente, era parso sufficiente il semplice ricorso alla legge di Ohm. Ben presto l’utilizzo perfezionato, nell’ambito delle costanti concentrate, di modelli più evoluti si rivela del tutto inadeguato: sottoposta ad indagine sperimentale, la linea non tarda infatti a rivelare un sensibile disaccordo tra il calcolo, basato su tali approcci, e le successive misure. In particolare, a fronte di sperimentazioni sempre più attente, non sfugge agli studiosi l’intrinseca indole propogativa del fenomeno. E dunque, in ciò stesso, la sua precisa estraneità nei riguardi di una lettura newtoniana certificata, su base differenziale ordinaria, dalle costanti concentrate. Con il tempo, tale disaccordo appare poi sempre più percettibile. Ciò accade, in particolare, con riferimento alle linee sottomarine di una qualche importanza; quelle, cioè, per le quali il tempo di ritardo nella trasmissione risulta concretamente misurabile. E sempre meno trascurabile... Con la progressiva diffusione dei collegamenti transoceanici, le costanti concentrate sarebbero dunque risultate improponibili.

Inoltre, superando le migliaia di chilometri proprie della lunghezza di un cavo atlantico, il segnale, oltre che sensibilmente ritardato, risultava anche fortemente “disturbato”: non solo le ampiezze in gioco erano quanto mai attenuate, ma addirittura gli impulsi, temporalmente oltremodo “dilatati e confusi”, apparivano fortemente distorti e dunque non riconoscibili a livello della informazione trasmessa. La ricezione, limitatamente peraltro a quei casi particolarissimi nei quali una procedura di tale tipo risultava di fatto ancora possibile, doveva essere pertanto compiuta con l’ausilio di apparecchiature oltremodo sensibili e costose.

In tali condizioni, mentre la tecnologia della posa e della messa in servizio dei cavi progrediva, si avvertiva in modo sempre più netto la precisa esigenza di una “scienza nuova” – di una ben più evoluta “fisica matematica dei circuiti elettrici” – che, finalmente con cognizione e consapevolezza, sapesse rendere conto di tutto quanto la lagrangiana estensione su base ordinaria della legge di Ohm non sapeva certificare. Occorreva dunque aggiungere, nei modelli, lo spazio al tempo e passare così alle derivate parziali. Per altra via, senza saperlo, ci si stava dunque avvicinando a quei campi dai quali, già nella *Dynamical Theory*, ci si era lagrangianamente posti a distanza di sicurezza. Dopotutto, seppur su scala monodimensionale, la presenza della variabile longitudinale  $z$  sarebbe stata comunque il segno preciso ed inequivocabile di una “filosofia naturale dei circuiti” nella quale, accoppiandosi col tempo in termini di fenomeno ondosio, lo spazio assumeva finalmente quel ruolo fisico che gli era dovuto.

Ma in quello scorcio postfaradano che prelude a Maxwell, i tempi non sono certo ancora criticamente maturi per consapevolezza metodologiche di tale tipo. Di fronte all’inequivocabile urgenza del fare, non resta allora che ripiegare su un più diretto approccio euristico con il quale, seppur in modo agnostico, risulti possibile procedere per semplice analogia formale rispetto ad altre e già consolidate discipline. Come, ad esempio, quella relativa al calore.

Il legame tra calore ed elettricità non è affatto nuovo per gli uomini del tempo. Non a caso, la stessa legge di Ohm, per la quale la conduzione risultava algebricamente contrassegnabile tramite una legge di attrito viscoso, fu dedotta dal fisico tedesco proprio a partire da una precisa analogia con la precedente legge di Fourier.

In Inghilterra, in quegli anni immediatamente premaxwelliani, ad occuparsi di metafore scientifiche relative all'elettromagnetismo è lord Kelvin. Nei suoi numerosi studi su tale tema, egli ha approfondito i legami che, in termini di corrispondenza formale, possono euristicamente correlare l'elettricità ed il calore: temperatura – tensione, capacità termica – capacità dielettrica, potenza termica – corrente di conduzione, etc. Inoltre, proprio nel suo Paese, a seguito dei suoi severi e geniali studi, egli gode della meritata reputazione di massimo conoscitore della *Theorie Analytique*. Una teoria che, in particolare, ha già completamente studiato la diffusione longitudinale del calore lungo un cilindro omogeneo sorprendentemente assomigliante allo sviluppo longitudinale del rame in un cavo. I risultati fisico-matematici sono dunque già lì, del tutto fruibili. E le grandezze da mettere in conto, tutto sommato, sono facilmente misurabili: ancora una volta, *et ignem regunt numeri*.

Mentre i segnali Morse valicano con baldanzosa sicurezza gli oceani, le “costanti distribuite elettriche”, descrittive e non esplicative ma saldamente legate ad una *Theorie Analytique* del tutto affermata, fanno dunque il loro ingresso ufficiale in teoria delle reti.

### *La marche naturelle dell'elettricità in cavo: la K-R law kelviniana e la dinamica diffusiva*

Nel 1853, direttamente coinvolto nell'ingegneria delle comunicazioni transoceaniche, Kelvin formalizza dunque una prima lettura dinamica spazio-temporale del cavo telegrafico. Trascurando drasticamente gli effetti magnetici associabili alla corrente longitudinale circolante, egli conteggia la presenza di una capacità  $K$  e di una resistenza  $R$  per unità di lunghezza. In tal modo, seguendo pedissequamente Fourier, egli, innovativamente, adotta per i fenomeni elettrici un modello a costanti distribuite.

Giunge così, sottoforma di “equation of electric excitation in a submarine telegraph wire perfectly insulated”, alla sua famosa “K-R law”<sup>9</sup>, espressione, trattandosi di un'equazione parabolica, di una dinamica del segnale-Morse di tipo diffusivo fortemente distorto. Grazie a Fourier, l'integrazione del modello può dirsi immediata<sup>10</sup>.

$${}^9 \frac{\partial^2}{\partial z^2} v(z,t) = KR \frac{\partial}{\partial t} v(z,t)$$

<sup>10</sup> Ad esempio, impressa la tensione  $v_0(t)$ , nel caso indefinito si ottiene la relazione seguente:

$$\left\{ \begin{array}{l} v(z,t) = \int_0^t v_0(t-\xi) \frac{z\sqrt{KR}}{2\xi\sqrt{\pi\xi}} e^{-\frac{z^2KR}{4\xi}} d\xi \\ i(z,t) = \sqrt{\frac{R}{K}} \int_0^t v_0(t-\xi) \left( \frac{z^2KR}{2\xi} - 1 \right) \frac{e^{-\frac{z^2KR}{4\xi}}}{2\xi\sqrt{\pi\xi}} d\xi \end{array} \right.$$

A Cambridge, da studente, Kelvin aveva approfondito con estremo impegno la teoria di Fourier. Fino ad arrivare, definendola “a mathematical poem”, ad impraticarsene più di chiunque altro. Per lui, integrato il modello, “this equation agrees with the well-known equation of the linear motion of the heat in a solid conductor and various forms of solution which Fourier has given are perfectly adapted for answering practical question regarding the use of the telegrapher wire”.

Pur concettualmente “inesatta” per via della innaturale ipotesi preliminare di assenza del contributo dinamico del campo amperiano, la “K-R law” del suo “cavo non induttivo” dava finalmente ciò che occorreva in quel momento alla tecnologia elettromagnetica: la tanto attesa percezione della possibile governabilità analitica del sistema di comunicazione elettrica. Recava pertanto grande impulso alle costruzioni in quel momento in corso.

### *Verso risultati inattesi...*

Che la schematizzazione euristicamente adottata da Kelvin fosse in un certo senso a tempo determinato era sicuramente un dato di fatto. Vi giocavano contro troppi elementi: la precisa consapevolezza del ruolo assunto dall’induzione faradiana sul fenomeno, una sempre più precisa nozione di induttanza ed infine, con il progressivo passaggio alla telefonia, il sensibile accrescimento delle frequenze in gioco. Era solo questione di tempo, ma l’elaborazione di un modello circuitale a costanti distribuite di tipo perfezionato, compendioso, in termini di legge alle maglie, del simultaneo contributo induttivo – serie, non avrebbe potuto tardare. Né, confermate preliminarmente, con più di una qualche disinvoltura, le leggi ai nodi ed alle maglie, costituiva una seria difficoltà il formalizzarlo.

Quanto poi agli esiti derivabili da questo ‘aggiornamento’, essi sarebbero stati immediati e cruciali: l’accrescimento dell’ordine del modello conseguente al conteggio dell’energia magnetica accumulata avrebbe comportato la transizione da un’equazione diffusiva ad una propagativa. Il modello avrebbe dunque evidenziato – e forse anche quantificato – quel misterioso ritardo nella migrazione dei segnali che le misure avevano già inequivocabilmente rivelato. Restava un solo problema: che ruolo avrebbe avuto, agli effetti della propagazione, lo spazio nel quale la linea era immersa? Il fenomeno diffusivo all’interno di quella gigantesca bottiglia di Leida che era il cavo poteva trovare anche una possibile spiegazione meccanicista legata ad una prima lettura del dielettrico come mezzo elastico? Ma se la linea era immersa nel vuoto? Chi giocava il ruolo di mezzo guida? Si sarebbe riconfermato l’eterno dualismo tra la materia e un etere luminifero visto da Faraday come un inutile duplicato della materia stessa?

Solo la *Dynamical Theory*, prendendo le distanze dal maxwelliano *molecular vortex*, avrebbe potuto dare le necessarie indicazioni. Ma quei tempi erano ancora lontani: Maxwell, in quegli anni, era ancora uno studente, viveva il suo amore giovanile per la cugina Elizabeth e certamente non aveva ancora pensato di chiedere a Kelvin l’autorizzazione ad occuparsi di fisica matematica faradiana.

In quel breve volgere di anni, con Fourier, la matematica supererà la fisica e fornirà il necessario modello esatto. Ma la fisica, non sorretta dalla filosofia della natura, non saprà come viverlo e come accoglierlo. Nella perenne ricerca del suo

*ubi consistam*, sarebbe stata l'ingegneria a classificare il risultato e a indicarne l'uso possibile. Ma lo avrebbe fatto però senza alcun inquadramento metodologico. Questo sarebbe giunto in seguito. E sarebbe stato uno dei compiti dei grandi pensatori di fine secolo, da Maxwell ad Einstein.

Nel 1857, Weber e, autonomamente da lui, Kirchhoff, modellizzano la linea mettendo per la prima volta in conto anche il famigerato contributo induttivo – serie in precedenza lasciato in ombra da Kelvin. Integrando il modello in tal modo dedotto, si rimuove l'ipotesi diffusiva precedente e si perviene così, più propriamente, ad un fenomeno di tipo ondoso. Fino a qui l'approccio è del tutto classico. E, a parte qualche difficoltà metodologica intermedia, esso rientra a pieno titolo nella prassi della meccanica dei corpi elastici, una branca appositamente approfondita e rigorosamente formalizzata dopo che l'ottica corpuscolare di Isaac Newton (1643-1727) aveva dovuto farsi da parte e lasciare il posto all'ottica ondulatoria di Christiaan Huyghens (1629-1695). In quell'occasione l'esperimento aveva però rivelato la natura trasversale delle onde luminose. Solo un mezzo solido poteva dunque reggerle e guidarle.

A quel punto, mentre i segnali varcano gli oceani, si ha un inatteso colpo di scena cui la scienza non sa far fronte. Trascurando la resistenza serie propria dei conduttori, i fronti d'onda TEM identificati da Kirchhoff risultano propagarsi con una celerità pari a quella propria della luce nel vuoto. Avviene dunque un superamento dei mezzi (matematici) sui metodi (filosofici): la lettura circuitale di Kirchhoff e Weber anticipa, in termini di coinvolgimento dello spazio nel fenomeno in atto, i futuri contenuti della *Dynamical Theory* maxweliana.

Ma, nella maturazione del pensiero filosofico-scientifico, i tempi non sono ancora maturi. Incredibilmente, malgrado gli inequivocabili risultati conseguiti, la lettura data dai due fisici matematici tedeschi rimane rigidamente subordinata all'idea originaria di azione a distanza: lo spazio, rigidamente di tipo geometrico, non deve in alcun modo risultare affetto da compromissioni dinamiche di tipo propagativo. In base all'integrazione del modello, il fenomeno evolve inequivocabilmente per onde; per contro, lo spazio nel quale esso si svolge non appare ancora, secondo le conoscenze del tempo, dotato dei requisiti fisici necessari per supportare processi dinamici di tale tipo.

Per tale ragione, ancorché concettualmente “inadeguato”, il modello diffusivo di Kelvin, risultando più facilmente interpretabile e dominabile negli esiti diffusivi cui conduce, riceve inizialmente una maggior accettazione ed una più ampia affermazione rispetto a quello, strettamente propagativo, di Kirchhoff e Weber. Questo, bisognoso com'è di ben altre, e ben più “compromettenti”, interpretazioni fisiche, rimane invece per anni ancora in ombra. La tecnica non sa che farsene, la fisica lo vede come un corpo estraneo e la filosofia, prudentemente, lo chiude nelle segrete del suo castello. Sia esso fisico o matematico, l'esperimento non è dunque mai teoricamente neutro: il suo accoglimento e la sua lettura dipendono infatti da sensibilità altre e da “aspettative” già maturate in precedenza.

In seguito, nell'Italietta Umbertina, sarà un ingegnere civile, presto convertito alla *Dynamical Theory* e, con Helmholtz, alla Fisica Matematica, a riportare alla luce il contributo di Kirchhoff, ad accoglierlo con la dovuta consapevolezza ed a riabilitarlo: Galileo Ferraris. Nel 1883, nell'ambito del suo concorso universi-

tario per conseguire l'idoneità a matematica (non ad ingegneria), egli, in un suo magistrale contributo, riprenderà la linea dello scienziato tedesco, ne riporterà in luce tutte le anticipazioni di cui era stata espressione e la collocherà, finalmente con tutta la dovuta correttezza, nella giusta ottica.

### *Entra in scena Oliver Heaviside*

Negli anni successivi l'analisi delle linee elettriche passa ad Oliver Heaviside. Inizialmente, tra il 1874 ed il 1881, pubblicando i suoi contributi su *Philosophical Magazine*, egli mantiene in modo sistematico lo schema già adottato da Kelvin: cavo non induttivo ed analisi dettagliata, secondo Fourier, dei fenomeni diffusivi conseguenti. Ma nel 1881, dopo aver rigorosamente approfondito il *Treatise* ed aver parallelamente affinato le proprie conoscenze fisico-matematiche, egli introduce nuovamente nel modello, in analogia con Kirchhoff e Weber, l'induttanza serie. In tal modo, con specifico riferimento al caso canonico di due conduttori rettilinei e paralleli, egli, approfondendo preventivamente i due distinti fenomeni in atto di induzione dielettrica e magnetica, è in grado finalmente di dimostrare, per via analitica diretta, una premessa cruciale: se, e solo se, i due processi di induzione sono simultaneamente presenti, può determinarsi un fenomeno di onde migranti.

Agli "effetti esterni", lo schema circuitale elaborato da Heaviside, compendioso dell'induttanza serie, è ancora quello di Kirchhoff e Weber; ora, però, a differenza di quanto in precedenza accadeva con i due fisici tedeschi, respinta definitivamente, ed in piena consapevolezza, l'azione a distanza, la lettura è finalmente diventata quella propria dell'azione per contatto: nella trasmissione lungo la linea, grazie ad una *Dynamical Theory* ormai del tutto acquisita, l'"attraverso" lascia definitivamente il posto all'"attraverso e mediante". Non a caso, con Heaviside l'integrale generale delle equazioni diviene infatti, con piena consapevolezza, la "travelling wave solution". A fronte di tali risultati, con riferimento al caso di linea conservativa, egli approfondisce poi la risposta al gradino e ne analizza, in particolare, i complessi fenomeni di riflessione e rifrazione. Mette infine in conto lo smorzamento legato alla resistenza dei conduttori.

Rigorosamente inquadrata nella *Dynamical Theory*, ora la teoria scientifica delle linee, correttamente basata sull'ipotesi maxwelliana di azione per contatto, inizia ad affermarsi. E di conseguenza, compreso finalmente il ruolo giocato dallo spazio ed il meccanismo che regge il fenomeno delle onde, la kelviniana "K-R law", esplicitamente colta nel suo disaccordo con l'evidenza sperimentale, inizia ad essere progressivamente messa da parte.

A seguito di tali risultati, nel 1885 Heaviside è invitato a proseguire la sua ricerca pubblicandone gli esiti sulla prestigiosa rivista *Electrician*. Sulla base di questo accordo, tra il 23 aprile 1886 ed il 30 dicembre 1887, ripartendola su 46 puntate successive, egli dà alle stampe una serie di lavori compendiosamente raccolti sotto il titolo "Electromagnetic Induction and Its Propagation" ed in seguito ripubblicati nei suoi *Electrical Papers*.

In tali indagini ampio spazio è preliminarmente riservato alla riformulazione, per via vettoriale, delle equazioni di Maxwell.

Nella forma originaria espressa dallo scienziato scozzese, il modello assomava a venti equazioni differenziali scalari di Lagrange applicate al particolare sistema anolonomo nel quale si identificava l'etere. Cristallizzate in tale formulazione, esse avrebbero finito per costituire per l'uomo attuale, sempre più bisognoso di sintesi, di unificazione e di trasparenza, un approccio concettuale proibitivo ed in parte anche infecondo. Fu proprio Heaviside invece che, risentendo in prima persona, in quanto non accademico, di tale "disagio", seppe fare dell'edificio maxwelliano, a prima vista così astruso, un'"idea quotidianamente possibile", visibile e compendiosa di tutte le implicazioni ontologiche ed applicative che vi erano sottese.

Per far questo, nella sua *Electromagnetic Theory*, egli dovette innanzitutto "riscrivere" e dettagliare il *Treatise*. L'incontro con il trattato maxwelliano avvenne già nel 1873 e fu una folgorazione. Negli anni della maturità, egli sarebbe ritornato a quell'emozione annotando il seguente ricordo: "I remember my first look at the great treatise of Maxwell's when I was a young man [...] I saw that it was great, greater and greatest, with prodigious possibilities in its power [...] I was determined to master the book and set to work. I was very ignorant. I had no knowledge of mathematical analysis (having learned only school algebra and trigonometry which I had largely forgotten) and thus my work was laid out for me. It took me several years before I could understand as much as I possibly could. Then I set Maxwell aside and followed my own course. And I progressed much more quickly [...] It will be understood that I preach the gospel according to my interpretation of Maxwell".

L'esito conseguito fu cruciale perché in tal modo egli riuscì a compattare le "ostiche e dispersive relazioni matematiche" presenti nel lascito maxwelliano nell'incredibile forma, ridotta a sole due equazioni ai rotori, giunta a noi. In particolare, rigettato quel formalismo maxwelliano dei quaternioni di cui fu sempre nemico dichiarato, egli formulò le equazioni elaborando appositamente il formalismo vettoriale attuale. E a tali leggi ai vortici, dalle quali dedusse subito dopo quelle corrispondenti alle sorgenti, egli stesso recò in seguito, a conferma della interiorizzazione propria della sua rilettura, contributi cruciali.

Commentando il risultato ottenuto, l'amico suo di sempre, G. FitzGerald, annoterà la seguente riflessione: "Il Trattato di Maxwell è ingombro dei detriti delle sue brillanti idee di assalto, dei suoi campi trincerati, delle sue battaglie. Oliver Heaviside ha sgomberato il campo, ha aperto una via di accesso diretta, ha costruito una strada ampia e ha esplorato una parte considerevole della regione".

Anche Hertz si occuperà della rilettura del lascito maxwelliano e, pur seguendo un percorso diverso, giungerà comunque alla medesima formulazione delle equazioni. Ma, cavallerescamente, affermerà pubblicamente (nelle sue *Electric Waves*) che "la priorità spetta al Signor Heaviside"<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> In realtà le interazioni di Hertz con Heaviside risulteranno anche più ravvicinate. Gli esperimenti condotti dallo scienziato tedesco sulle onde elettromagnetiche furono severamente criticate da Poincaré. Secondo lo scienziato francese l'uso delle formule di Nemann, di per sé proprie del solo regime stazionario, nel calcolo delle capacità e delle induttanze impiegate nella determinazione della frequenza naturale di oscillazione del circuito emettitore, dava esiti metodologicamente non accettabili. Sarà proprio Heaviside a salvare la legittimità dell'esperimento hertziano. In una lettera ad Hertz dell'agosto 1889, egli, a seguito dei suoi studi sulla propagazione, porrà in luce come, nel caso in cui il diametro della sfera contenente l'emettitore sia sensi-

Per qualche anno, così formulate, le leggi di Maxwell furono chiamate di Hertz-Heaviside. Con Einstein (1879-1955) esse divennero invece di Maxwell-Hertz, per tornare successivamente, e definitivamente, equazioni di Maxwell.

Con il parlato, nacquero ben presto problemi insormontabili: se non si attenuavano del tutto, le armoniche di ordine più elevato presenti, “cammin facendo”, giungevano a destinazione rendendo il segnale così distorto da non risultare più riconoscibile. La telefonia diventava dunque impossibile.

Tale effetto reattivo di distorsione, essendo ricondotto al passaggio dal modello diffusivo a quello propagativo, fu imputato prioritariamente all'induttanza. Essa, da quel momento, apparve pertanto ai “comunicazionisti” come la causa di tutti i possibili mali. Per questo motivo, al fine di debellarla, negli anni successivi, scienza e tecnica, congiunte in uno sforzo comune, si dedicarono al progetto di linee a bassissima induttanza. Fautore principale di tale strategia fu Sir William Henry Preece (1834-1913), direttore tecnico del *General Post Office*.

Heaviside era di opinione diametralmente opposta. E, in tale ottica, giunse alla soluzione completa del problema mostrando come l'assenza di distorsione risultasse di fatto ottenibile imponendo al circuito di comunicazione la condizione  $RC=LG$ . In conformità con tale lettura, andando in tal modo contro l'opinione corrente, egli, anziché attenuare l'induttanza, propose ereticamente addirittura di accrescerla collocando all'uopo, lungo la linea, opportune “bobine di carico”. L'inevitabile scontro con W.H. Preece, potente fautore della parte avversa, fu frontale. E senza esclusione di colpi. Se da una parte c'era il potere dell'imprenditore ottuso, dall'altra c'era la veemenza suicida dello scienziato sapiente: sulla stessa rivista *Electrician*, Heaviside, senza mezzi termini, giunse addirittura a definire il Preece uno “scenziatucolo”.

La soluzione indicata da Oliver, tecnicamente affidata al fratello Arthur, anch'egli telefonista, si dimostrò ovviamente vincente e rese alla fine possibile la telefonia. Ad Heaviside, lo scienziato incauto e saccente, fu comunque presentato il prezzo della sua intransigenza e della sua derisione verso il ben più potente e molto meno preparato W.H. Preece: la proibizione di concretizzare la sua idea vincente.

Dall'agosto '86 al settembre '87 Heaviside pubblica, in sette parti complessive, una serie di lavori dal titolo compendioso “On the Self-Induction of Wires”. Tra questi, di particolare importanza risulta l'ultima parte del contributo, dal titolo espressivo “The Transmission of Electric Waves along Wires without Distortion”, che si occupa della linea non distorta. Non a caso, essa, nel 1887, non gli viene però pubblicata. Le ritorsioni, legate alla sua tenzone cavalleresca con il Preece, non si sono fatte dunque attendere. Di lì a poco, per sovrapprezzo, la sua collaborazione con *Electrician* viene forzatamente interrotta. A motivare l'interruzione delle pubblicazioni sarebbe stato, secondo l'editore della rivista, il carattere estremamente complesso, e per alcuni versi (al punto da risultare non gradito ai lettori della rivista) anche “involuta”, delle sue pubblicazioni.

bilmente minore della lunghezza d'onda emessa, l'errore numerico compiuto possa considerarsi del tutto accettabile. Era la nascita della moderna nozione di regime quasi-stazionario.

Ma, come sua abitudine, Oliver non si dà per vinto e, tra l'88 e l'89, torna su *Philosophical Magazine*, dove inizia ad occuparsi a tempo pieno di propagazione e di irradiazione.

Nell'88, frettolosamente revocato l'esilio, Heaviside viene invitato dalla rivista *Electrician* a riprendere la serie di pubblicazioni in precedenza forzatamente interrotta. In particolare, gli viene finalmente offerta la possibilità di raccogliere organicamente in volume i suoi contributi.

Nascono così, nel '92, i due volumi di *Electrical Papers* e, tra il 1891 ed il 1912, i tre ponderosi tomi della sua *Electromagnetic Theory*.

Nel frattempo, nel 1894, la seconda edizione di *The Theory of Sound* di Lord Rayleigh (1842-1919) raccoglie, in un apposito capitolo dal titolo *Electrical Vibrations*, l'intera teoria maxwelliana delle linee elettriche svolta di Oliver Heaviside.

Sul piano editoriale, la sua opera mirabile, pur dai suoi contemporanei non riconosciuta, non capita e non apprezzata, è dunque salva e può fiduciosamente guardare al responso dei *posterì*. Solo col tempo, il suo genio illuminato ed il dono dei suoi irrinunciabili contributi alla scienza ed alla tecnica, sarebbero stati – frutto di una sensibilità e di un'interiorità umbratile pari al prodigioso talento – finalmente compresi ed apprezzati. Per ora, a rendersene conto con al dovuta consapevolezza, è un altro genio: Giovanni Giorgi.

Da quel momento, ormai inserita a pieno titolo nella *Dynamical Theory*, l'heavisidiana analisi dinamica delle linee elettriche evolve dunque rapidamente e perviene in breve, per quanto riguarda il settore delle comunicazioni elettriche, allo stato attuale.

### *La linea viene maxwellianamente sottoposta all'analisi campistica*

Dopo Heaviside, il primo ad occuparsi della linea, già nel 1892, è J.J. Thomson. Sul finire del secolo, risulta ormai possibile integrare, sulla base delle condizioni al contorno imposte dai conduttori stessi, le equazioni di Maxwell relative al campo elettromagnetico associato ad una linea. Ciò conduce a modelli matematici ed a reti a costanti distribuite che, anche a fronte di frequenze che divengono sempre più elevate, risultano sempre più perfezionati. E, come tali, portatori di nuove problematiche.

Evolvendo, la ricerca ha infatti ormai evidenziato (con Shelkunoff) che “This representation [la rete associata al modo TEM] is good only at low frequencies because it depends on the assumption that the electric displacement is only in one direction, namely at right angles to the transmission line. In effect, this representation neglects the capacitance between different parts of the same conductor and includes only the capacitance between the opposite segments of different conductors”. A fronte di queste insorgenti difficoltà, non resta allora che affinare ulteriormente, per via campistica diretta, l'indagine.

In questa precisa ottica, nel 1899, A. Sommerfeld (1868-1951) porta alle estreme conseguenze l'analisi elettromagnetica relativa alla configurazione più semplice possibile per una linea: il conduttore singolo, indefinito, a sezione circolare, in presenza di terra. Su questo tema egli ritornerà in seguito e fornirà così

quella che, a tutt'oggi, nella sua essenza fondazionale, può considerarsi l'analisi maxwelliana scientificamente più evoluta della linea elettrica. In tale indagine, per la prima volta, una particolare attenzione è riservata alla individuazione degli eventuali contributi irradiativi legati alla presenza di possibili componenti del vettore di Poynting non diretti, così come sarebbe previsto dal modo TEM, secondo l'asse dei conduttori stessi.

Un ulteriore e cruciale contributo in questo senso, nel 1900, è dovuto infine a Gustav Mie (1869-1957). Grazie al suo contributo, l'uso del formalismo maxwelliano fa definitivamente giustizia degli "incerti" approcci iniziali.

L'importanza dell'indagine compiuta da Mie con il preciso intendimento di evidenziare la presenza di eventuali contributi radiativi è sintetizzata proprio dalle sue stesse parole: "Not the slightest trace of radiation passes out into the surrounding space even at the highest frequencies and at entirely arbitrary distances from wire".

La ricerca sui possibili contributi radiativi tuttavia non si arresta però qui. Nel 1919 C.P. Steinmetz, avvalendosi espressamente della teoria delle onde migranti, pubblica una sua indagine su tale questione. In essa egli evidenzia una presenza, lungo le linee elettriche, di contributi irradiati durante la fase di regime transitorio. A seguito di tali risultati, alla Bell Telephone, J.R. Carson sottopone a revisione i fondamenti stessi della teoria, ormai classica, delle linee e svolge anche una prima analisi critica dei risultati presentati da Steinmetz. Sulla base dei risultati ottenuti, si giunge in seguito anche ad una confutazione della teoria stessa del fisico matematico ed ingegnere tedesco. Infine ancora Carson ritorna sulla questione con un suo nuovo ed importante contributo. Le conclusioni cui egli perviene sono in questo caso chiarissime e definitive: "In our usual engineering formulas for the propagation of alternating currents along wires, the attenuation of the current depend upon the dissipation in the wire and in the surrounding dielectric when leakage is present, and vanishes in the ideal case of perfecting conducting wires in a perfectly non conducting medium". Con Carson, i contributi irradiativi, pur presenti e sperimentalmente rilevabili, sono dunque da imputarsi alla lunghezza finita della linea ed alle condizioni al contorno ad essa corrispondentemente associate. Di lì a poco, un suo ulteriore contributo consolida definitivamente la teoria delle linee.

### *Il contributo finale: l'elaborazione e la messa a punto degli algoritmi matematici necessari per l'analisi circuitale*

Sorretta da una rapida evoluzione sotto l'aspetto fondazionale, ancora sul finire del secolo la nascente teoria dei circuiti non risulta però in grado di mettere a punto tutte quelle metodologie generali di analisi che, concettualmente consolidate sotto l'aspetto formale, risultino poi in grado di essere ricorsive nei criteri applicativi. Pur di indubbio rilievo, i vari risultati fino a quel momento ottenuti, anziché essere parte di un più ampio ed organico disegno evolutivo, costituiscono invece ancora delle semplici tappe intermedie tra di loro del tutto separate. Più che l'espressione di un'evoluzione in atto, esse risultano invece singole soluzioni *ad hoc* tra loro del tutto isolate e distinte.

Non passa inoltre inosservato il fatto che, proprio in quegli stessi anni, la ricerca parallelamente condotta in analisi funzionale sta invece conseguendo risultati cruciali. Inoltre, soprattutto negli USA, in quanto maggiormente coinvolti nell'espansione delle tecnologie elettriche, va progressivamente consolidandosi la profonda convinzione che molto, in questa ritardata evoluzione della analisi dinamica dei circuiti, dipenda anche dall'inadeguata formazione fisico-matematica impartita in quegli anni ai nuovi tecnici. La matematica evolve, ma, al presente, l'ingegneria, sul parallelo piano applicativo, non sa adeguatamente avvalersene per mettere a punto a sua volta una propria metodologia di indagine.

Dal 1886, Heaviside, spinto dalla complessità propria delle equazioni delle linee a costanti distribuite di cui stava occupandosi, aveva iniziato a sviluppare dei nuovi ed "eccentrici" metodi di calcolo. L'idea su cui si basava il suo approccio era quella – apparentemente "fantasiosa" – di leggere formalmente, in un'equazione differenziale ordinaria, l'espressione della derivata  $df/dt$  di una funzione come il prodotto della funzione stessa  $f(t)$  per un operatore  $d/dt$  da lui stesso indicato con la lettera  $p$  (sinonimo di pulsazione) e di estendere poi ad esso, pedissequamente, le regole ordinarie dell'Algebra.

Accettando tale lettura, la modellizzazione differenziale ordinaria di una rete lineare tempo-invariante a costanti concentrate diveniva algebrica, per cui la corrente incognita risultava esprimibile in una forma polinomiale del tipo seguente:  $i(t)=e(t)/z(p)$ . In modo analogo, un'equazione a derivate parziali nello spazio  $z$  e nel tempo  $t$  diventava ordinaria. Quasi a dire che lo spazio, non più compromesso con l'evento, diventava geometrico.

Il procedimento era dunque, nella sua semplicità apparente e nella sua immediatezza, quanto mai allettante perché sembrava promettere, con il superamento di tutte le complessità proprie del metodo classico, l'atteso approdo a quei metodi diretti ed unificati di cui, con l'espansione delle reti di potenza, l'ingegneria sentiva sempre di più il bisogno. Tale approccio, come aveva mostrato lo stesso Heaviside, potendo poi estendersi alle equazioni a derivate parziali, pareva inoltre prospettare un'analogia ed ancor più cruciale semplificazione concettuale anche per la teoria delle reti a costanti distribuite. Immediata era poi l'estensione formale ad altri ambiti applicativi, dal calore all'idraulica.

Heaviside procedette per la sua strada, per tentativi ed errori ed in modo agguerrito: "Forse – osservava – perché non conosco il meccanismo della digestione dovrei rinunciare a cibarmi?". Quando poi i suoi contemporanei obbiettavano che le regole dettate da lui conducevano a risultati erranei, Heaviside rispondeva: "quando le applicate voi, questo accade; quando le applico io, no". Ed era vero.

Osservava al riguardo, nel '34, Giovanni Giorgi, che di Heaviside fu grande ammiratore: "Mal compresa da principio, la sua opera desta ammirazione sempre di più ogni anno che passa". Nel 1940, però, tornando sull'argomento, egli avrebbe meglio chiarito il suo punto di vista osservando che "Certo, il calcolo operatorio non deve essere preso nella forma di Heaviside: per giganteschi che siano stati i contributi del sommo autore inglese nelle applicazioni di quel calcolo all'elettrotecnica, resta il fatto che essi erano scompagnati da una teoria. E si può anche aggiungere che le formule da lui date si limitano a risolvere problemi in cui la funzione operanda è la funzione telegrafica".

Non era facile però interpretare in modo coerente espressioni di tale tipo, nelle quali, dopo tutto, funzioni del tempo rappresentative di ingressi noti erano associate a niente di più che ad un puro e semplice simbolo grafico. Per tale motivo, ancora una volta, le critiche a carico del fisico – matematico inglese piovvero numerose, e durissime, da ogni parte. Per fortuna, Heaviside le ignorò totalmente e proseguì indisturbato per la sua strada: egli aveva infatti intuito che, pur innegabilmente “eccentrico”, il suo metodo doveva comunque celare qualcosa di veramente cruciale. Sia nelle premesse metodologiche e fondazionali, sia nei successivi sviluppi applicativi. Dopo tutto, proprio grazie a questo suo “strano simbolo grafico”, l’equazione algebrica  $z(p)=0$  conduceva esattamente alle stesse costanti di tempo del sistema già calcolabili con l’analisi classica. Inoltre, restringendo la sua indagine alla sola funzione telegrafica da lui stesso introdotta, egli era stato anche in grado di calcolare<sup>12</sup> la risposta di un sistema inizialmente scarico.

In seguito, grazie al contributo di numerosi studiosi, l’approccio di Heaviside avrebbe finalmente avuto la sua necessaria evoluzione grazie ai contributi di alcuni studiosi. Tra questi debbono essere innanzitutto ricordati G. Giorgi e Ernst Julius Berg (1871-1941)<sup>13</sup>.

Noto oggi con il nome di Trasformata di Laplace, l’approccio di Oliver viene oggi comunemente usato nell’analisi dinamica dei sistemi lineari tempo-invarianti. E, con una particolare efficacia derivante dal fatto che per suo tramite, “cancellando il tempo”, le equazioni differenziali ritornano ad essere newtonianamente ordinarie nel solo spazio, proprio nell’ambito delle costanti distribuite e delle telecomunicazioni.

## Conclusioni

*Tout par l’ectricité*: quel propulsore misterioso che aveva consentito al Nautilus del capitano Nemo di esplorare i fondali oceanici, incanalato in cavi sommersi nelle profondità del mare, era alla fine riuscito ad accorciare le distanze tra gli uomini. Dapprima, in maniera incerta e rabberciata, con una legge diffusiva copiata dal calore, in seguito, e propriamente, con le leggi stesse della fune vibrante... E le costanti distribuite, l’algoritmo con il quale l’uomo aveva cercato un accordo tra il *continuum* della filosofia ed il corpuscolare dell’ingegneria, avevano seguito docilmente le prescrizioni di una matematica troppo adulta per le capacità evocative di chi indagava e progettava con l’assillo della produzione. Da allora di tempo ne è passato e tutto sembra scontato. Il vascello “Città di Milano” e la bicicletta di Oliver Heaviside sono lontane...

<sup>12</sup> In una forma del tipo seguente:

$$i(t) = \frac{e(t)}{z(p)|_{p=0}} + e(t) \sum \frac{e^{p^*t}}{p^* \frac{dz}{dp}}$$

$p^*$  essendo gli zeri dell’equazione  $z(p)=0$ , ed essendo  $e$  la forza elettromotrice, nella notazione originale di Heaviside (1886).

<sup>13</sup> Berg 1929.

Oggi le comunicazioni, del tutto sottratte all'immediatamente sensibile di Fourier, sono sempre più astratte e non a misura di uomo. Ed i libri che le trattano, vicinissimi ai moderni calcolatori, non colloquiano più con quelle immagini lontane, così tanto strane e così affettivamente vicine ai personaggi di Dickens. Heaviside – così si narra – non abitò forse, negli anni della sua infanzia, nella casa di Mr. Micawber, l'amico di David Copperfield? Della barba di Kelvin, così come delle mani di Heaviside lunghe, affusolate e vulnerabili come quelle di A. Beardsley quando fece i disegni per la Salomè di Oscar Wilde, si è perso il ricordo. E quel che è rimasto, se è rimasto, è ormai diventato dominio dello storico della scienza, di un uomo strano che, apparentemente non incide sul reale e non ha rapporti con il presente.

Dinnanzi ad una Dynamical Theory ormai metabolizzata nell'inconscio collettivo, anche le costanti distribuite, presentate *ab initio* come un dato scontato, sembrano ormai aver perso tutta la loro magia. Per diventare alla fine solo un algoritmo.

### *Appendice I* *Maxwell e le onde elettromagnetiche*

Nel 1862, lavorando per via puramente teorica sul suo meccanicistico vortice molecolare, Maxwell prevede formalmente l'esistenza delle onde elettromagnetiche. E proprio a questo fenomeno, come caso particolare conseguente alla presenza di altissime frequenze, egli riconduce anche i fenomeni luminosi. In seguito (1879), a fronte di una teoria che da molti viene per il momento vissuta come una semplice *paper theory*, l'Accademia delle Scienze di Berlino mette a concorso un cospicuo premio da assegnarsi allo scienziato che, sperimentalmente, sappia finalmente confermare o smentire, in modo definitivo, la *Dynamical Theory*. Per parte sua, pur pienamente consapevole delle riserve che, in modo anche esplicito, sono avanzate in quegli anni dalla comunità scientifica, Maxwell non cerca in alcun modo di risolvere la questione tentando di riprodurre fisicamente le onde da lui stesso previste. È significativa al riguardo, ancora una volta, un'affermazione di sir J.A. Fleming: "It was always a matter of surprise to me that Maxwell never seems to have attempted to obtain any experimental proof of the existence of the electromagnetic waves". Direttore del più prestigioso centro di ricerca del mondo, il *Cavendish Laboratory*, egli assolutamente non avverte mai, a differenza di quanto al suo posto, ad esempio, avrebbe invece fatto Faraday, l'esigenza di certificare sperimentalmente la veridicità della sua rivoluzionaria teoria. Tant'è vero che quando, nel 1879, la prematura morte lo coglie, egli, attendendo alla II edizione del suo *Treatise* (poi pubblicata postuma nel 1882 a cura di J.J. Thomson), sta occupandosi della parte tipografica. Né, tutto sommato, di onde elettromagnetiche, egli scrive più che tanto nelle sue pubblicazioni. O ne parla, a Cambridge e al Cavendish, con discepoli e colleghi.

Allo stato attuale, risulta assai difficile ravvisare le motivazioni che, relativamente ad un tema così cruciale, sono proprie, da parte sua, di un silenzio così esplicito, voluto e durevole. Due, al riguardo, sono, a tutt'oggi, le spiegazioni ritenute più plausibili. La prima ritiene che Maxwell fosse del tutto estraneo allo studio delle onde elettromagnetiche e che il suo reale interesse fosse costituito invece dall'ottica. Addirittura, secondo tale lettura, per lui l'elettricità ed il magnetismo altro non sarebbero stati che uno strumento supplementare per ancor meglio esplorare e comprendere, nell'etere,

l'essenza stessa dei fenomeni luminosi. L'obiezione ad una lettura di tale tipo è, di per sé, ovvia e diretta: Maxwell iniziò ad occuparsi di elettricità e magnetismo molto tempo prima di quando non iniziò invece ad indagare l'ottica. Inoltre, guardando la sua produzione scientifica, è immediato constatare come in lui i contributi sul tema dell'ottica siano relativamente pochi. Lo stesso *Treatise*, in fondo, riserva pochissimo spazio a tale disciplina. Per contro, secondo altri, Maxwell, come già in precedenza Faraday, si sarebbe addirittura servito dell'ottica per ancor meglio comprendere proprio l'elettricità ed il magnetismo. Difficile, a questo punto, riuscire a conciliare due posizioni così opposte. Tanto più che, data la mancanza oggettiva di una qualunque concreta documentazione al riguardo, di fatto entrambe le interpretazioni non possono considerarsi che una semplice congettura.

Un dato 'singolare' rimane comunque assolutamente certo e non tralasciabile: Maxwell non cercò mai, magari anche solo realizzando un 'semplice' circuito oscillante, di generare onde elettromagnetiche per via elettromagnetica diretta. Per quale motivo? Anche in tal caso, nel cercare una possibile risposta, trattandosi nuovamente di una congettura, la prudenza non può che rimanere assolutamente d'obbligo. Il dato certo, alla luce dei fatti oggettivi, è comunque che per lui luce ed onde elettromagnetiche altro non furono che manifestazioni "distinte" di uno medesimo stato elastico di sforzo e di moto in atto all'interno dell'etere. In quest'ottica, appare ragionevole ritenere che egli, tralasciando *a priori* ogni possibile valenza elettromagnetica, possa aver pensato di generare onde per via meccanica diretta. Abbia ritenuto cioè di innescare, espressamente in senso meccanico, processi vibratorii nelle molecole stesse dell'etere. In altri termini, l'onda, luce compresa, è incontestabilmente di natura elettromagnetica, ma la sua genesi, avvenendo nell'etere, non può che essere meccanica...

Nessun circuito elettrico, all'interno del suo laboratorio, appare dunque necessario per il meccanicista Maxwell. Il quale, se in seguito, meditando da epistemologo sul portato conoscitivo del suo Grande Disegno della Natura, avrebbe finito con il considerare l'etere nient'altro che "un nome inventato per dare un soggetto al verbo ondulare", per ora continua però a coglierlo nel suo senso meccanico più immediato, onde luminose comprese. Del resto è ben noto come la presenza dell'aggettivo *Dynamical* accanto alla sua *Theory* fosse strettamente legato alla sua più che ferma necessità di esser preso sul serio quando, a proposito dell'energia cinetica e potenziale in gioco, egli pretendeva di considerarla di natura strettamente meccanica.

Maxwell, da meccanicista, lascia dunque del tutto irrisolto uno degli aspetti dominanti della sua teoria: la possibilità di produrre onde elettromagnetiche per via elettromagnetica diretta, con l'ausilio cioè, in laboratorio, di un semplice circuito. In effetti, come è già stato ricordato, è solo dopo la sua prematura morte che la sua "congettura teorica" può essere approfondita, sperimentata e chiarita in modo concreto e definitivo. Fino a giungere, non molti anni dopo, alla "telegrafia senza fili".

## *Appendice II*

### *Il contributo di FitzGerald*

La fase iniziale di ricerca scientifica sulla generazione e ricezione delle onde elettromagnetiche risulta complessivamente collocabile tra il 1879 ed il 1883 ed è interamente dovuta a due *Maxwellians*: Oliver Lodge e George FitzGerald. Il loro lungo e paziente lavoro risulta non di rado contrassegnato anche da inevitabili errori concettuali. In particolare, esso lascia intuire come, ancora nel 1879, nel momento dell'imatura scomparsa, a 48 anni, del Grande Scozzese, il suo lascito sia ancora ben

lontano dall'essere chiaro, evoluto e consolidato. In questo senso, è proprio il lavoro appassionato di questi due grandi scienziati ad aprire la strada alle successive indagini sperimentali di Hertz. Relativamente alle quali si deve anche tener ben presente come la teoria maxwelliana che il fisico matematico tedesco sottopone a sperimentazione non sia esattamente proprio quella che Maxwell stesso, alla sua morte, implicitamente aveva lasciato.

Lodge e FitzGerald si incontrano, ventisetenni, nel 1878, al Convegno di Dublino della *British Association*. Seguaci entrambi di Maxwell, il primo ha anche avuto il privilegio di udire il Maestro nel 1873, in occasione di un seminario da questi tenuto a Bradford. Affascinato da quella lezione, egli acquista subito una copia del *Treatise*. Anche se di fatto poi, e comunque riservando una prevalente attenzione al primo tomo, egli la approfondirà solo nel 1876, durante una sua permanenza ad Heidelberg per motivi di studio. Meccanicista convinto, egli cerca subito, sulla scia dell'insegnamento del Maestro, di elaborare modelli meccanici dell'etere che meglio consentano di svelarne le intrinseche proprietà. E, con esse, i possibili meccanismi di generazione e captazione delle onde sui quali sta indagando. Ne sortiscono in particolare, accanto a due pubblicazioni su *Philosophical Magazine*, una lettera a Maxwell. Cui lo scienziato scozzese non manca di rispondere con un messaggio da Lodge stesso in seguito giudicato "humorous and quite long".

Legati da una fraterna e reciproca amicizia testimoniata dalla loro fitta corrispondenza, i due *Maxwellians* portano avanti la loro ricerca sulle onde elettromagnetiche per oltre una ventina d'anni. Apprendo in tal modo per primi, concretamente ed in modo decisivo, la strada alle future telecomunicazioni. Ed influenzando nel contempo, in modo decisivo, sulla nuova scienza britannica.

In effetti, affrontando tali tematiche, O. Lodge giunge vicinissimo alla generazione di onde elettromagnetiche mediante un circuito elettrico. Egli ottiene però tali perturbazioni lungo i conduttori e non nello spazio vuoto circostante. Il suo risultato viene pertanto giudicato non probante: solamente in seguito, infatti, i due risultati, grazie ad una più evoluta acquisizione del senso della *Dynamical Theory*, saranno considerati concettualmente e fisicamente equivalenti.

La conseguenza più immediata del lavoro svolto da Lodge è tuttavia rappresentata dall'opera di coinvolgimento da lui in seguito compiuta sull'amico FitzGerald. Questi, probabilmente solo dopo aver letto proprio una delle pubblicazioni di Lodge, incomincia concretamente ad interrogarsi su come generare onde elettromagnetiche nell'etere.

Inizialmente egli commette però un errore di analisi campistica che lo conduce a conclusioni improprie: studiando Maxwell, egli giunge addirittura ad auto convincersi che una generazione di onde per via elettromagnetica diretta non sia assolutamente concepibile. Sorretto da queste idee, nel 1879, rende pubbliche le sue conclusioni: la generazione per via circuitale di onde elettromagnetiche deve considerarsi inattuabile.

Negli anni immediatamente successivi egli rivede però ed approfondisce la teoria fisico-matematica della propagazione per onde. Le nuove conoscenze cui in tal modo, in una forma ormai più matura, egli approda lo inducono progressivamente a rivedere ed infine, nel 1882, a ritrattare radicalmente la sua posizione iniziale. Sorretto da queste nuove conoscenze e proseguendo nella sua analisi, egli giunge così ad additare concretamente un metodo per generare perturbazioni nel campo elettromagnetico. Ciò che occorre, secondo lui è: "[...] discharging condensers through circuits of small resistance...to obtain sufficiently rapid alternating currents [...]". Prende vita così il suo famoso "magnetic oscillator", il primo generatore di onde elettromagnetiche: la corrente iniettata in un piccolo *loop* veniva fatta variare con legge sinusoidale mediante

la scarica oscillante di un condensatore chiuso su un resistore. Compito del condensatore, in questa particolare configurazione, era quello di costituire un “serbatoio” di energia. Al *loop* era invece affidato il ruolo di “generatore” di onde. Il circuito, estroflesso verso uno spazio divenuto fisico, perdeva la sua identità: conduzione e flusso, in ragione dei potenziali ritardati, non erano più in fase.

L'induttanza diveniva in tal modo un numero complesso:

$$\bar{L} = L' + jL'' \Rightarrow \bar{Z} = j\omega\bar{L} = j\omega L' - \omega L''$$

Con il risultato che, essendo in modo conseguente<sup>14</sup>,

$$\bar{S} = \bar{V} \cdot \bar{I} = P + jQ = -\omega L'' I^2 + j\omega L' I^2$$

il circuito puramente induttivo assorbe un attivo negativo, eroga cioè una potenza media necessaria per alimentare l'impedenza d'onda propria dello spazio vuoto in cui è immerso. Da a geometrico, lo spazio è diventato dunque fisico.

## Bibliografia

- Baird D., Hughes R.I., Nordmann A., 1998, *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*, London, Kluwer Academic Publisher.
- Bellone E., 1973, *I modelli e la concezione del mondo nella fisica moderna: da Laplace a Bohr*, Milano, Feltrinelli.
- Berg E. J., 1929, *Heaviside's Operational Calculus as Applied to Engineering and Physics*, New York, McGraw-Hill.
- Berkson W., 1974, *Fields of force*, New York, John Wiley & Sons.
- Bottani E., Sartori R., 1941, *Lezioni sopra i fondamenti della Elettrotecnica*, Milano, Libreria Editrice Politecnica Tamburini.
- Bridgman P.W., 1927, *The Logic of Modern Physics*, New York, Mc Millan.
- Buchwald J.Z., 1985, *From Maxwell to Microphysics*, Chicago, The University of Chicago Press.
- Caldecott E., Alger P.L., 1965, *Steinmetz, The Philosopher*, Schenectady, Mohawk Development.
- Carson J.R., 1926, *Electrical Circuit Theory and Operational Calculus*, New York, McGraw-Hill.
- D'Agostino S., Rossi A., 1998, “Galileo Ferraris e il suo tempo”, *Physis*, vol. XXXV n.s., n. 2.
- Ferraris G., 1899, *Fondamenti scientifici dell'elettrotecnica*, Torino, Roux Frassati.
- Ferraris G., 1902, *Opere*, Milano, Hoepli, 3 voll.
- Finzi B., 1958, *Teoria dei campi*, Milano, Libreria Editrice Politecnica Tamburini.
- FitzGerald G.F., 1902, *The Scientific Writing of the Late George Francis FitzGerald*, ed. by J. Larmor, London, Hodges, Figgis and Co.

<sup>14</sup> Nella notazione di Kraus (Electromagnetics, McGraw Hill, New York, 1953).

- Fourier J.B., 1822, *Theorie analytique de la chaleur*, Paris, Firmin Didot, père et fils.
- Giorni G., 1928, *Lezioni di Fisica Matematica*, Roma, Tipografia A. Sampaolesi, 2 voll.
- Giorni G., 1949, *Verso l'Elettrotecnica Moderna*, Milano, Libreria Editrice Politecnica Tamburini.
- Giusti-Doran B., 1975, *Origins and Consolidation of Field Theory in Nineteenth-Century Britain: From the Mechanical to the Electromagnetic View of Nature*, New York, Hist. Stud. Phys. Sci.
- Hammond P., 1986, *Energy Methods in Electromagnetism*, Oxford, Clarendon Press.
- Harmann P., 1998, *The Natural Philosophy of James Clerk Maxwell*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Heaviside O., 1893-1912, *Electromagnetic Theory*, London, The Electrician Publishing Company, 3 voll.
- Heller B., Veverka A., 1968, *Surge Phenomena in Electrical Machines*, London, Iliffe.
- Hertz H., 1962, *Electric Waves*, New York, Dover.
- Hesse M., 1961, *Forces and Fields: A Study of Action at a Distance in the History of Physics*, London, Thomas Nelson and Sons.
- Jackson J.D., 1962, *Classical Electrodynamics*, New York, Wiley.
- Jungnickel C., McCormack R., 1990, *Intellectual Mastery of Nature. Theoretical Physics from Ohm to Einstein*, Chicago, The University of Chicago Press, 2 voll.
- Kapp G., 1893, *Dynamos, Alternators, and Transformers*, London, Biggs and Co..
- Kelvin W.T., 1969, *Opere*, a cura di E. Bellone, Torino, UTET.
- King R., 1955, *Transmission-line Theory*, New York, McGraw-Hill.
- Kittler E., 1886-1890, *Handbuch der elektrotechnik*, Stuttgart, F. Enke, 3 voll.
- Kline R.R., 1992, *Steinmetz, Engineer and Socialist*, London, Johns Hopkins.
- Kron G., 1938, *Tensor Analysis of Networks*, New York, J. Wiley & Sons.
- Mahon B., 2003, *The Man Who Changed Everything: the Life of James Clerk Maxwell*, New York, Wiley.
- Mahon B., 2009, *Oliver Heaviside: Maverick Mastermind of Electricity*, London, The Institution of Engineering and Technology.
- Mascara E., Joubert J., 1882-1886, *Leçons sur l'électricité et le magnétisme*, Paris, G. Masson Editeur, 2 voll.
- Maxwell J.C., 1954, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, New York, Dover.
- Maxwell J.C., 1996, *A Dynamical Theory of Electromagnetic Field*, ed. by T.F. Torr, Oregon, Wipf and Stock Publishers.
- Maxwell J.C., 2003, *Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, 2 voll., New York, Dover.
- Moon P., Spencer D.E., 1960, *Foundations of Electrodynamics*, Princeton, Van Nostrand Company.
- Nahin P.J., 2002, *Oliver Heaviside: the Life, Work, and Times of an Electrical Genius of the Victorian age*, London, JHU Press.
- Pearce Williams L., 1966, *The Origins of Field Theory*, New York, Random House.
- Perry J., 1912, *Applied Mechanics, a Treatise for the Use of Students Who Have Time to Work Experimental, Numerical, and Graphical Exercises Illustrating the Subject*, London, Cassell.
- Persico E., 1976, *Introduzione alla fisica matematica*, Bologna, Zanichelli.
- Pupin M., 1924, *From Immigrant to Inventor*, New York Charles Scribner's Sons.

- Purrrington R.D., 1997, *Physics in the Nineteenth Century*, New York, Rutgers University Press.
- Seely S., 1982, *Electrical Engineering*, Beaverton, Matrix Publisher.
- Shelkunoff S., 1963, *Electromagnetic Fields*, New York, Blaisdell Publishing Company.
- Sommerfeld A., 1964, *Electrodynamics: Lectures on Theoretical Physics*, New York, Academic Press, vol. 3.
- Steinmetz C.P., 1909, *Theory and Calculation of Transient Electric Phenomena and Oscillations*, New York, McGraw Publishing.
- Steinmetz C.P., 2003, *Lectures on Electrical Engineering*, New York, Dover, 3 voll.
- Steinmetz C.P., Berg E.J., 1897, *Theory and Calculation of Alternating Current Phenomena*, New York, The W.J. Johnstone Company.
- T.K. Sarkar A., *History of Wireless*, New York, John Wiley and Sons.
- Thomson J.J., 1931, *James Clerk Maxwell: a Commemoration Volume, 1831-1931*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Thomson J.J., 1895, *Elements of the Mathematical Theory of Electricity and Magnetism*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Verne J., 1870, *Vingt mille lieues sous les mers*, Paris, Pierre-Jules Hetzel.
- von Helmholtz H.L.F., 1967, *Opere*, a cura di V. Cappelletti, Torino, UTET.
- Weaire D. 2009, *George Francis Fitzgerald*, Pöllaurberg, Living Editon.
- Weber E., 1950, *Electromagnetic Fields: Theory and Applications*, New York, John Wiley and Sons.
- Weber E., 1954, *Linear Transient Analysis*, New York, J. Wiley & Sons.
- Weber E., Nebeker F., 1994, *The Evolution of Electrical Engineering*, New York, IEEE Press.
- Whittaker E., 1951, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, London, Thomas Nelson and Sons Ltd.
- Yavetz I., 1995, *From Obscurity to Enigma: the Work of Oliver Heaviside, 1872-1889*, Basel, Birkhäuser Verlag.

## La telegrafia elettrica e i suoi sviluppi: facsimile e telescrivente

### Comunicare a distanza: dai tamburi al telegrafo ottico

Macchina a Ordine di segni visibili da lontano, con cui si può far notizia a coloro che si trovano in grandissima lontananza.

*Telegrafo elettrico* o solamente *Telegrafo* dicesi oggi particolarmente quello che, per mezzo della elettricità serve a trasmettere le notizie da un luogo a un altro, sia pure quanto si vuole lontano, e ciò si fa tirando un filo di ferro galvanizzato da luogo a luogo, che serve a far passare la corrente elettrica; e quel che si scrive con una macchinetta da ciò in un luogo, si vede scriversi immediatamente nella macchinetta simile che è nell'altro luogo, ove si manda la notizia<sup>1</sup>.

Il vocabolario della “lingua parlata” pubblicato nel 1880 definiva con queste parole la voce “telegrafo”, contrapponendo il concetto tradizionale (“segni visibili da lontano”), alle recenti applicazioni dovute agli apparecchi elettrici. Il termine “telegrafo” viene dal greco *téle* = lontano e *grapho* = io scrivo, richiamando un apparecchio che serviva a inviare messaggi a notevoli distanze. Il termine *télégraphe* entrò in uso nella Francia di fine Settecento per definire il telegrafo ottico a bracci snodati, inventato dall'abate Claude Chappe (1763-1805), che fu installato a partire dal 1793, avviando una vera e propria rete, la cui costruzione andò avanti fino a metà Ottocento.

La comunicazione aveva un suo peso anche nelle società pre-tecnologiche: si pensi ai segnali di fumo degli indiani nelle praterie, o al tam-tam dei tamburi nella foresta, legati i primi alla possibilità di avvistare il fumo su ampie distese pianeggianti, i secondi ai rumori, unico metodo di segnalazione in zone dove non si vedeva quanto si levava nel cielo per la presenza di alberi e vegetazione di tutti i tipi. Altre civiltà usavano strumenti a fiato, come i corni, per comunicazioni a distanza, mentre i mezzi sonori erano impiegati anche a breve raggio per dare indicazioni importanti: dai rintocchi delle campane della chiesa per chiamare a raccolta i fedeli o dare notizia di nascite e morti, ai segnali per il movimento delle navi nei porti, alle sirene delle fabbriche per definire l'entrata, l'uscita, la pausa pranzo.

La comunicazione con mezzi visivi o sonori rendeva necessario un codice, cioè una sorta di linguaggio del fumo o del suono, che fosse conosciuto sia

<sup>1</sup> Rigutini e Fanfani 1880, pp. 1516-1517.

dal mittente sia dai destinatari, e che non potesse essere decifrato da eventuali nemici in situazioni di guerra.

Furono proprio le esigenze belliche, nei convulsi avvenimenti della rivoluzione francese, a far progettare e attuare il telegrafo ottico Chappe, un sistema di comunicazioni rapide a lungo raggio, dotato di infrastrutture, cioè una serie di torri per la trasmissione e ripetizione del segnale, situate a distanza visiva l'una dall'altra.

La prima linea telegrafica fu inaugurata fra Parigi e Lille nell'agosto 1794, seguì la Parigi-Strasburgo che fu aperta nel 1798. Quest'ultima linea dimostrò l'utilità del nuovo mezzo di comunicazione, consentendo a Napoleone, nel 1805, al tempo della terza coalizione, di spostare efficacemente le truppe verso il Danubio contro l'Austria, le cui staffette erano ben più lente nella trasmissione di ordini utili alla strategia bellica.

Le torri del telegrafo Chappe avevano in alto dei bracci mobili e snodati di dimensioni tali da essere visti tramite cannocchiale dal telegrafista della torre precedente e dal telegrafista della successiva. In questo modo, il segnale veniva ritrasmesso fra una torre e l'altra giungendo a destinazione in maniera molto più veloce di qualsiasi sistema postale.

Il telegrafo aereo – come fu detto all'inizio – era composto da tre aste mobili colorate in nero per un migliore contrasto con la luce: un'asta principale di quattro metri, denominata “regolatore”, e due aste piccole lunghe un metro, chiamate “indicatori” o “ali”. Il regolatore era fissato nel suo centro a un albero che si elevava sopra il casotto della stazione. L'insieme dei tre pezzi formava un sistema unico sollevato dall'albero attorno al quale poteva girare. I tre pezzi si muovevano con l'aiuto di corde metalliche che comunicavano nel casotto con un altro telegrafo, riproduzione in piccolo di quello esterno. Era l'apparecchio interno che veniva manovrato dal telegrafista, il telegrafo al di sopra del tetto non faceva altro che ripetere i movimenti comunicati dalla macchina inferiore.

Il regolatore poteva prendere quattro posizioni: verticale, orizzontale, obliqua da destra a sinistra, obliqua da sinistra a destra. Le ali potevano formare con il regolatore angoli retti, acuti, ottusi. I segnali erano valutabili solo con regolatore in posizione obliqua seguita da una posizione orizzontale o verticale che serviva da conferma.

Con le diverse posizioni, regolatore e ali davano 49 diversi segnali, con 98 significati secondo se la conferma era in orizzontale o in verticale, arrivando a 196 con l'uso dell'obliqua di sinistra o di destra. Fu composto un vocabolario delle parole corrispondenti a ciascun segno e anche un vocabolario delle frasi ricorrenti con cui i telegrafisti trasmettevano i messaggi di servizio.

Per avere un'idea della velocità di trasmissione, si può ricordare che le notizie da Calais arrivavano a Parigi in 3 minuti attraversando 33 torri telegrafiche; le notizie da Lille in 2 minuti tramite 22 torri telegrafiche; le notizie da Strasburgo in 6 minuti e mezzo attraverso 44 torri; le notizie di Toulon, situata a circa 800 km di distanza, con 120 torri di ripetizione intermedie, impiegavano circa 20 minuti.

Naturalmente si trattava di un segnale trasmesso in condizioni climatiche favorevoli di massima visibilità: ben diverso era trasmettere in giornate non limpide. Nebbia, pioggia fitta, fumo, raggi solari, vapori del mattino paralizzavano il servizio dei telegrafi aerei, ma il difetto peggiore era il buio. Secondo i calcoli

di Chappe, in media il telegrafo funzionava per 2190 ore in un anno, cioè per 6 ore al giorno: “sopra 12 dispacci inviati dai Ministeri o dalle Autorità alla Amministrazione telegrafica, o ai Direttori del telegrafo in provincia, 6 restavano nei cartoni o erano trasmessi per mezzo della Posta, 3 pervenivano al loro destino 6, 12 o 24 ore dopo la consegna, e 3 solamente giungevano il più presto possibile”<sup>2</sup>.

L’attrezzatura del telegrafo ottico è citata in un capitolo del noto romanzo di Alexandre Dumas, *Il conte di Montecristo*, nel quale il protagonista corrompe un impiegato della torre telegrafica, facendogli trasmettere un segnale falso. Interessante il dialogo fra i due, nel quale si descrive il funzionamento dell’apparato:

Rassicuratevi, amico – disse il conte – non sono un ispettore che venga a sorvegliarvi, ma un semplice viaggiatore condotto dalla curiosità.

Eravate forse venuto per vedere il telegrafo? – disse questi.

Sì, signore, se però i regolamenti non lo vietano.

Volete salire con me?

Vi seguo.

Montecristo entrò difatti nella torre.

Ci vuol molto a studiare la telegrafia? – chiese Montecristo.

Non è lo studio che sia lungo, ma la pratica.

[...]

Salirono al terzo piano; era la stanza del telegrafo. Montecristo esaminò le impugnature di ferro con le quali l’impiegato faceva lavorare la macchina.

[...]

È molto interessante. E non intendete assolutamente nulla dei vostri segnali?

Nulla affatto.

Non avete mai cercato di comprendere?

Mai; e per farne che?

Vi sono però segnali che s’indirizzano a voi direttamente. E dicono?

Nulla di nuovo [...] avete un’ora libera [...] a domani.

Guardate, non vedete il vostro corrispondente che si mette in moto? Cosa vi dice?

Mi domanda se sono pronto.

E voi gli rispondete?

Col medesimo segno, che indica nel tempo stesso al mio corrispondente a destra ch’io sono pronto, e invita il mio corrispondente a sinistra di prepararsi egli pure.

È assai ingegnoso.

Vedete, fra cinque minuti parlerà<sup>3</sup>.

Essendo nato in periodo di guerra, il telegrafo ottico era usato per esigenze militari, con una stretta distinzione tra semantica e segnaletica: il significato dei messaggi non era noto ai telegrafisti che li trasmettevano e ripetevano. Questi dovevano conoscere soltanto la meccanica della trasmissione: movimento dei bracci, velocità del movimento stesso, sosta e avvio, in modo da rendere efficiente il meccanismo.

<sup>2</sup> Figuiet 1860, pp. 53-56.

<sup>3</sup> Dumas 1961, pp. 315-316.

La rete del telegrafo ottico fu costruita a raggiera come la rete stradale, collegando Parigi con le grandi piazzeforti strategiche lungo il mare e lungo la frontiera, estendendosi pure a livello internazionale, fino a Mainz, Anversa, Amsterdam, e in Italia fino a Torino, Milano e Venezia, quest'ultima raggiunta nel 1810. Da qui iniziò l'estensione verso Trieste e verso la costa adriatica, fino a San Benedetto del Tronto<sup>4</sup>. Il telegrafo Chappe venne inoltre realizzato nel sud della penisola e fu definitivamente superato soltanto con l'unità d'Italia. Il servizio telegrafico ottico-aereo nelle province napoletane e siciliane fu soppresso con regio decreto 14 novembre 1861 n. 332, collocando in pensione gli addetti che ne avevano diritto e gli altri in "disponibilità", con metà dello stipendio.

Sistemi simili a quello francese furono adottati in Gran Bretagna, Stati Uniti e anche in Russia, dove nel marzo 1838, per ragioni strategiche di controllo della Polonia, fu aperta una linea telegrafica fra San Pietroburgo e Varsavia con 148 stazioni intermedie, la più lunga d'Europa.

In Francia, la *Sécurité nationale* mantenne sempre il telegrafo sotto il suo controllo, fino a quando nel 1851 iniziò la liberalizzazione, consentendo alle compagnie ferroviarie, alle borse di scambio e alle agenzie di stampa l'accesso al servizio telegrafico<sup>5</sup>.

A tale data era però in corso di diffusione un mezzo tecnico molto più potente ed efficiente per la comunicazione: il telegrafo elettrico, messo a punto, dopo numerosi esperimenti di diversi inventori, da Samuel Morse (1791-1872) negli Stati Uniti e da William Cooke (1806-1879) e Charles Wheatstone (1802-1875) in Gran Bretagna<sup>6</sup>.

## Il telegrafo elettrico

### *Tecnica e progresso*

Il primo utilizzo pratico dell'elettricità riguardò proprio il campo delle comunicazioni con la creazione del telegrafo, nel quale furono unite le recenti scoperte sulla circolazione di particelle elettriche alle antiche codificazioni dei messaggi.

Gli esperimenti iniziali si concentrarono sull'impiego dell'elettricità statica e fin dal 1753 fu pubblicato uno studio in cui si spiegava la possibilità di collegare con tanti fili elettrici quante erano le lettere dell'alfabeto una trasmittente a una ricevente, dove le lettere dell'alfabeto potevano essere riportate su leggeri pezzi di carta attratti da una pallina elettrizzata tramite il cavo che veniva dalla trasmittente. Il sistema richiedeva 26 fili metallici e non poteva coprire grandi distanze, non ebbe dunque alcun risvolto pratico, ma segnò l'avvio di un'idea meglio sviluppata dopo che nel 1820 André Marie Ampère cominciò ad applicare il cosiddetto effetto Oersted, che consisteva nella deviazione di un ago magnetico

<sup>4</sup> Beck 2001, p. 38.

<sup>5</sup> Mattelart 1998, pp. 63-64.

<sup>6</sup> Garratt 1994, pp. 670-674.

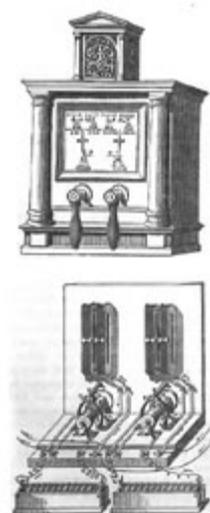
sottoposto all'influenza di una corrente elettrica. Erano le basi dell'elettromagnetismo che avrebbe prodotto i primi telegrafi elettrici funzionanti.

All'inizio degli anni '30, il barone russo Pavel Schilling, già addetto all'ambasciata di Monaco di Baviera, fece diversi esperimenti a San Pietroburgo con un apparecchio formato da 5 fili di platino isolati per mezzo di gomma-lacca e avvolti in una corda di seta. Questi fili univano due stazioni, la trasmittente e la ricevente, in ciascuna delle quali si trovavano 5 aghi calamitati. Con il passaggio di corrente, si formavano 10 movimenti, che segnalavano le 10 cifre della numerazione, le quali con l'aiuto di un dizionario rappresentavano vari segni telegrafici. Nel 1836 lo zar Nicola di Russia nominò una commissione per installare un telegrafo fra San Pietroburgo e il palazzo imperiale a Peterhof, ma Schilling morì l'anno dopo senza aver potuto attuare il progetto.

Nel frattempo, nel 1833 i tedeschi Carl Friedrich Gauss e Wilhelm Eduard Weber avevano realizzato un telegrafo a due fili di rame fra l'osservatorio e l'istituto di Fisica di Gottingen, su una distanza di oltre 2 km. La loro novità consisteva nella costruzione di un galvanoscopio ad ago e a specchio. L'ago dotato di uno specchietto reagiva sulla base delle differenze nell'intensità di corrente, e lo specchio osservato a distanza consentiva di valutare le variazioni angolari anche minime dell'ago, le cui combinazioni servivano a trasmettere un codice alfabetico.

Numerosi altri scienziati e inventori si dedicarono alla novità del telegrafo elettrico, tanto che nel 1838 Charles Wheatstone, autore di uno dei primi telegrafi realmente utilizzati, sosteneva di aver raccolto i nomi di ben 62 pretendenti scopritori del telegrafo elettrico<sup>7</sup>. Nel 1834, lo stesso scienziato aveva misurato la velocità di trasmissione dell'elettricità in 333.800 km al secondo, una rapidità enorme, che unita alla scoperta della calamitizzazione temporanea del ferro, la quale cessa non appena termina il passaggio di corrente, dava la possibilità di ripetere un gran numero di volte l'alternativa fra magnetismo e stato naturale. Risultava così possibile trasmettere tanti segnali in un minuto, la cui limitazione era dovuta soltanto allo strumento con il quale manualmente si inviava il segnale stesso.

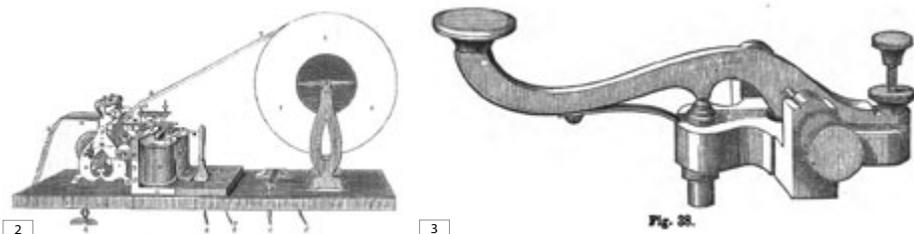
Nel 1838, a cura di Wheatstone e William Fothergill Cooke, riprendendo come sistema di trasmissione i 5 fili di Schilling, fu impiantata una linea telegrafica a Londra fra la stazione di Paddington e West Drayton (21 km poi prolungati a Slough). Si trattava di un'applicazione tanto affascinante che nella cabina telegrafica di Paddington veniva ammesso il pubblico a pagamento<sup>8</sup>.



**Figura 1.** Telegrafo Wheatstone a due aghi (H. Higton, *The Electric Telegraph: Its History and Progress*, London, 1852).

<sup>7</sup> Figuiet 1860, pp. 77-78.

<sup>8</sup> Quintavalle 1915, p. 52.



**Figura 2.** Ricevitore Morse (T.P. Shaffner, *The Electric Manual: a Complete History and Description of the Semaphoric, Electric and Magnetic Telegraphs of Europe, Asia, Africa and America, Ancient and Modern*, New York, 1859).

**Figura 3.** Tastierino Morse per la trasmissione del segnale con impulsi elettrici (G.B. Prescott, *History, Theory and Practice of the Electric Telegraph*, Boston, 1860).

Questo apparecchio fu poi perfezionato tramite un sistema a quadrante con un solo ago: due quadranti circolari alle due estremità della linea avevano riportate in un cerchio le 24 lettere dell'alfabeto e le 10 cifre della numerazione. I movimenti prodotti in un quadrante – per mezzo della corrente stabilita o interrotta – erano ripetuti uguali nell'altro dall'ago, che girando indicava le varie lettere. Il telegrafista ricevente decifrava i movimenti guardando lo spostamento del quadrante e riproducendo così la frase trasmessa.

Ma il successo maggiore fu ottenuto da Samuel Morse, il quale riuscì a brevettare la sua invenzione negli Stati Uniti e a ottenere un aiuto dal governo, che consentì di realizzare il 24 maggio 1844 la prima trasmissione ufficiale fra Washington e Baltimore, la cui linea fu poi prolungata a Filadelfia e New York.

Morse inventò un apparato telegrafico nel quale usava un solo filo e un codice, detto poi “alfabeto Morse”, impiegando per trasmettere le lettere dell'alfabeto un sistema di impulsi elettrici più o meno lunghi, corrispondenti convenzionalmente a un linguaggio di linee e punti. L'apparato telegrafico era composto da una linea di fili, da una batteria per l'invio di corrente lungo la linea, da un trasmettitore con il quale la linea veniva collegata, da un ricevitore costituito da un dispositivo elettromagnetico in grado di tracciare segnali su carta secondo gli impulsi in codice provenienti dal trasmettitore.

La conversione del testo nell'alfabeto Morse veniva operata da un addetto, il telegrafista, che arrivava a digitare con il tastierino fino a 80-100 caratteri al minuto, mentre un altro telegrafista provvedeva all'arrivo a decifrare il messaggio riportandolo nel linguaggio delle lettere.

Mentre in partenza il messaggio era “battuto” su una levetta (tastierino) che collegava o interrompeva un circuito elettrico ad opera del telegrafista, in arrivo il messaggio veniva trascritto su una striscia di carta direttamente dall'apparecchio telegrafico: la corrente agiva su un magnete che attirava una specie di penna, la quale incideva linee e punti su una striscia di carta fatta muovere lentamente da un idoneo dispositivo. Sulla base del linguaggio di linee e punti inciso sulla carta, il telegrafista ricostruiva le parole del messaggio.

La linea telegrafica era formata da un filo di ferro o di rame teso lungo pali in legno, in alto rispetto al terreno, e agganciati al palo stesso mediante isolatori in vetro o ceramica. Si riusciva così a far percorrere distanze considerevoli a un

debole segnale generato da batterie, superando i problemi del rumore elettrico grazie al fatto che si trattava di un segnale molto semplice del tipo acceso/spento, mentre ben più complessa risultava la trasmissione della voce umana, che si sarebbe affermata soltanto mezzo secolo dopo con il telefono, grazie ai progressi nello studio della trasmissione delle onde.

Il circuito del telegrafo era formato dal generatore di corrente (batteria), da un tasto pulsante per collegare la batteria al circuito stesso, dal filo di trasmissione e dal rivelatore del segnale in arrivo, che poteva consistere in una lampadina o in un campanello. Il filo di ritorno era costituito dalla “terra”, con due elettrodi fissati al suolo nelle due stazioni, la trasmittente e la ricevente.

Di grande importanza per la comunicazione era il tastierino, necessario per dare origine all’impulso elettrico collegando la fonte di energia alla linea, mentre in posizione di riposo l’apparecchio trasmittente era automaticamente collegato al ricevente. I tasti del telegrafo furono sempre più perfezionati, anche con l’adozione di due levette in grado di generare una il punto e l’altra la linea dell’alfabeto Morse con una durata precisa, dato che un unico tastierino poteva generare confusione riguardo alla lunghezza dell’impulso, confondendo linea e punto e quindi rendendo problematica la trasmissione del messaggio.

Con l’estensione a grande distanza delle linee, il semplice impulso di corrente dato dalla batteria non fu più sufficiente per la trasmissione e divenne necessario amplificare la corrente tramite relè – inventati nel 1835 da Joseph Henry – che immettevano nel circuito impulsi supplementari. In alcuni casi si doveva addirittura ritrasmettere il segnale: il telegrafista intermedio riceveva il messaggio da una tratta di linea e lo digitava di nuovo sulla successiva.

Nelle stazioni di ripetizione del segnale cominciarono poi a essere impiegati trasmettitori automatici nei quali veniva inserito un nastro perforato con inciso il messaggio. Si otteneva una maggiore velocità di trasmissione e si evitavano errori nella ridigitazione manuale del testo. Furono infine inventati dei rigeneratori, in grado di ricostruire il segnale deteriorato dopo un lungo percorso e ritrasmetterlo con gli impulsi originari.

Gli sviluppi successivi del telegrafo videro la possibilità di mandare contemporaneamente messaggi sulla stessa linea in senso opposto (sistema *duplex*), di trasmettere due dispacci insieme nello stesso senso (sistema *diplex*); di scrivere a inchiostro sulla carta anziché incidere, rendendo più agevole la lettura ai telegrafisti in arrivo. Ma soprattutto fu importante la telegrafia multipla, inventata da Jean Maurice Baudot (1845-1903), nella quale un solo apparato di trasmissione poteva mandare in successione impulsi provenienti da diverse tastiere, aumentando così la potenzialità del sistema.

Il telegrafo elettrico terrestre cominciò a diffondersi in Europa dopo il 1845, a partire da Gran Bretagna e Belgio, paesi più industrializzati, seguiti dagli Stati tedeschi, dall’Impero austriaco, dalla Svizzera<sup>9</sup>.

A partire dal 1849, furono stipulati accordi fra gli Stati che permettessero comunicazioni telegrafiche oltre i confini. Nel 1865 si registrò la nascita dell’Unione

<sup>9</sup> Calvo 2004, p. 18.

telegrafica internazionale, la quale vide la partecipazione di 20 paesi, con il compito di stabilire regole commerciali comuni e di uniformare gli standard tecnologici.

I maggiori paesi europei prevedevano l'esercizio di Stato dei telegrafi. Soltanto in Inghilterra rimase per un certo periodo l'esercizio privato, ma un'inchiesta parlamentare, ordinata dalla Camera dei Comuni, portò a stabilire nell'agosto 1868 l'esercizio statale del telegrafo e il riscatto delle linee impiantate da imprese<sup>10</sup>.

Lo sviluppo delle reti telegrafiche fu dovuto alla costruzione delle ferrovie e ai bisogni militari, fattori che spinsero i governi ad adottare la nuova tecnologia di comunicazione, mentre minori furono gli stimoli commerciali, a causa delle alte tariffe del telegrafo, che lo resero nei primi anni poco utilizzabile per inviare notizie private<sup>11</sup>. Le tariffe erano inizialmente legate al numero delle parole e alla distanza di trasmissione, mentre il progresso degli impianti elettrici consentì di eliminare la tassazione della distanza all'interno degli Stati, continuando a pagare costi differenziati relativi soltanto al numero di parole trasmesse.

### *I cavi sottomarini*

Il telegrafo con i fili aerei sorretti dai pali telegrafici, il primo realizzato, fu ben presto accompagnato dal telegrafo sottomarino, nel quale il segnale era convogliato in appositi cavi attraverso mari e oceani. Per ottenere la trasmissione degli impulsi attraverso l'acqua, fu necessario realizzare cavi resistenti e rivestiti da un fascio di fili di piccolo diametro, in modo da evitare discontinuità nella trasmissione per la rottura del cavo principale.

Ma soprattutto si dovette risolvere il problema dell'isolamento, dato che l'acqua è un ottimo conduttore di elettricità e ogni rottura dell'isolamento causava la dispersione del segnale, rendendo il cavo inutilizzabile: dapprima si tentò il rivestimento dei cavi con gomma e catrame, poi si cominciò a sfruttare la guttaperca, una resina ricavata da un albero orientale<sup>12</sup>.

La guttaperca era meno elastica della gomma e aveva la caratteristica di conservare la plasticità, sebbene sottoposta alla forte pressione e alle basse temperature del fondo marino. La qualità migliore di guttaperca veniva dalla Malesia e dall'arcipelago indonesiano su rotte controllate dalla Gran Bretagna, cosa che si rivelò fondamentale per il predominio nella fabbricazione dei cavi telegrafici da immergere in mare<sup>13</sup>.

Il cavo conduttore andava sia isolato dall'acqua sia protetto dalla fauna marina che, essendo attratta dai segnali elettrici, aveva tarlato i cavi di prima generazione, i quali erano solamente isolati e non difesi da una sorta di armatura. I cavi di rame furono dunque ricoperti con uno strato di guttaperca, poi con un nastro di ottone per proteggerli dall'attacco dei molluschi, quindi fasciati con canapa incatramata per attutire i colpi e alla fine protetti con un'armatura esterna di fili d'acciaio<sup>14</sup>.

<sup>10</sup> Mazziotti 1914, p. 334.

<sup>11</sup> Paoloni Giuntini 2004, pp. 114-115.

<sup>12</sup> Giuntini 2004, p. 77.

<sup>13</sup> Hugill 2005, p. 44.

<sup>14</sup> Headrick 1991, p. 127.

Un primo cavo sottomarino fu posato nel 1850 attraverso il canale della Manica tra Francia e Inghilterra, ma subì quasi subito un'interruzione. L'anno successivo, "il soddisfacente funzionamento di un secondo cavo più robusto, rivestito da un'armatura in filo di ferro zincato, convinse le aziende e gli investitori che il collegamento tra le due sponde dell'Atlantico era possibile"<sup>15</sup>.

Il cavo fra Dover e Calais fu inaugurato nel novembre 1851 e qualche mese dopo furono eliminate le stazioni di ripetizione del segnale mettendo in comunicazione diretta Londra e Parigi. Nel giugno 1852 fu steso il cavo tra Inghilterra e Irlanda e nel giugno '53 fra Inghilterra e Olanda. Gli investimenti furono poi dedicati al tentativo di collegare Europa e America.

I cavi erano però molto pesanti e delicati oltre che lunghissimi e si dovettero impiegare apposite navi "posacavi" al fine di immergerli attraverso l'oceano. La più nota fu il piroscafo inglese *Great Eastern* dell'armatore Isambard Brunel (1806-1859), una nave a vapore gigantesca costruita fra il 1854 e il 1858 con propulsione sia a elica sia a ruote e con sei alberi che potevano ospitare una velatura ausiliaria di 5500 mq. Il *Great Eastern* poteva imbarcare circa 4000 passeggeri con 400 uomini di equipaggio. Ne descriveva le funzioni Jules Verne nel romanzo intitolato *Una città galleggiante*:

Dopo una ventina di traversate fra l'Inghilterra e l'America, una delle quali fu segnalata da incidenti gravissimi, il servizio del *Great Eastern* era stato momentaneamente sospeso. Sembrava che questo enorme piroscafo, costruito per il trasporto dei viaggiatori, non dovesse più servire e fu disertato dai passeggeri d'oltre oceano che non avevano molta fiducia nelle possibilità della nave. Ma quando i primi tentativi della posa del cavo transatlantico nel suo letto fallirono – insuccesso dovuto tra l'altro alle dimensioni insufficienti delle navi che lo trasportavano – gli ingegneri pensarono al *Great Eastern*. Esso solo poteva caricare a bordo quei 3.400 km di filo metallico, del peso di 4.500 tonnellate. Esso solo poteva, grazie alla sua assoluta indifferenza al mare, svolgere ed immergere quel lunghissimo gherlino. Ma per stivare tale cavo nei fianchi della nave, fu necessario apportare delle modifiche particolari. Vennero tolte due delle sei caldaie e uno dei tre fumaioli della macchina dell'elica. Al loro posto furono sistemati vasti recipienti per collocarvi il cavo, che una superficie d'acqua preservava dalle alterazioni dell'aria. Il filo passava così da quei laghi galleggianti al mare senza subire il contatto dell'atmosfera<sup>16</sup>.

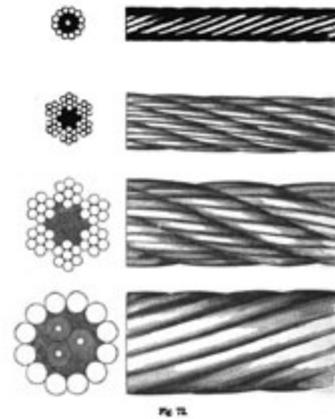


Figura 4. Cavi sottomarini (G.B. Prescott, *History, Theory and Practice of the Electric Telegraph*, Ticknor and Fields, Boston, 1860).

<sup>15</sup> Hugill 2005, p. 43.

<sup>16</sup> Verne 1970, p. 15.



**Figura 5.** Posa dei cavi sottomarini, trasportati nella stiva di apposite navi (T.P. Shaffner, *The Electric Manual: a Complete History and Description of the Semaphore, Electric and Magnetic Telegraphs of Europe, Asia, Africa and America, Ancient and Modern*, New York, 1859).

Il primo cavo attraverso l'Atlantico fu posato nel 1857 fra l'Irlanda e Terranova, ma il tentativo fallì. Il secondo cavo del 1858 durò 20 giorni. Nel 1865 fu adibita alla posa la nave *Great Eastern*, ma anche in questo caso non si riuscì nell'impresa per varie rotture. Si riprovò però con successo nel 1866, mettendo definitivamente in comunicazione le due sponde dell'oceano. La nave aveva trasportato e disteso una matassa di cavo della lunghezza di 4200 km e del peso di 9000 tonnellate.

Il cattivo funzionamento dei cavi fu dovuto non solo all'isolante ma anche alle correnti inviate. I primi cavi avevano un ritmo di trasmissione di 3 parole e 4 lettere al minuto, troppo lenti per le

esigenze. Si pensò così che per velocizzare la trasmissione fosse opportuno aumentare la tensione, arrivando a 2000 Volt, una tensione tanto elevata da danneggiare i cavi, deteriorando lo strato isolante di guttaperca. Lo sviluppo degli studi permise di ridurre la tensione e di mandare una corrente più intensa in cavi di grande diametro nei quali la resistenza elettrica era minore. Ulteriore problema tecnico fu la scarsa conoscenza della forma dei fondali oceanici: in assenza di esplorazioni adeguate, si credeva che i fondali fossero abbastanza piatti, perciò i primi cavi rimasero talvolta tesi sul fondo roccioso del mare, rompendosi in breve tempo<sup>17</sup>.

I cavi sottomarini ebbero un veloce sviluppo dopo la metà dell'Ottocento: nel 1850-58 iniziò la posa sperimentale di cavi che ebbero una breve durata, dal 1865 al 1869 si ottennero cavi affidabili con velocità di trasmissione sempre maggiore. La velocità fu quadruplicata nel giro di pochi anni, il che corrispondeva non solo a una migliore efficienza, ma anche a un minore costo delle parole trasmesse, portando un uso sempre più consistente del telegrafo, la cui rete arrivò a fine Ottocento a coprire le rotte principali di gran parte del pianeta.

Intanto il telegrafo terrestre si era esteso dalle città ai piccoli centri, in modo da creare una rete nazionale e internazionale di comunicazioni elettriche.

### *Il telegrafo negli Stati italiani preunitari*

Il primo Stato della penisola italiana ad aprire una linea di telegrafo elettrico fu il Granducato di Toscana fra Pisa e Livorno, nel giugno 1847. Seguirono gli impianti in Lombardia (1850), in Piemonte (1851), in Veneto (1852), nel Ducato di Parma (1852), nella zona di Napoli del Regno delle Due Sicilie (1852), nello Stato Pontificio (1853), in Sicilia (1857).

<sup>17</sup> Hugill 2005, p. 46.

Sotto la dinastia dei Lorena, la Toscana era all'avanguardia nella scienza con l'Università di Pisa. Il granduca Leopoldo II aveva avviato i congressi italiani degli scienziati, la cui prima riunione si tenne appunto a Pisa nel 1839, la terza si svolse a Firenze nel 1841<sup>18</sup>.

Carlo Matteucci (1811-1868), docente a Pisa, fu il primo italiano a costruire un apparato telegrafico. Egli chiese al granduca la licenza per impiantare la telegrafia elettrica, ricevendo la concessione per stendere i fili lungo la ferrovia Firenze-Pisa-Livorno, allora in costruzione, con l'obbligo di mettere il telegrafo a disposizione per gli ordini della compagnia ferroviaria. Matteucci aveva conseguito la laurea in Matematica all'Università di Bologna nel 1829 e nel 1840 era stato chiamato alla cattedra di Fisica a Pisa, dove nel '44 aveva fondato la rivista *Il Cimento*, dedicata ai progressi delle scienze fisiche e naturali. Nella biografia celebrativa, scritta pochi anni dopo la sua morte, si legge:

Con quanto zelo egli non si adoperò onde spingere il Governo del Granduca Leopoldo II a fornire alla ferrovia toscana il sussidio indispensabile del telegrafo elettrico! Sin dal 1846, quasi solo sulla breccia, a furia di sforzi personali era pervenuto a piantare i primi pali, a tirare i primi fili, ad istruire i primi ufficiali telegrafici in Italia. Per il corso di 15 anni, egli fu poi l'anima del servizio telegrafico in Toscana, e sino agli ultimi giorni della sua vita dedicò una parte non piccola del suo tempo e delle sue fatiche a questo importantissimo servizio pubblico<sup>19</sup>.

Matteucci era uno studioso dei fenomeni dell'elettricità, in particolare dell'elettro-chimica, con le ricerche sul comportamento dei gas, e dell'elettrofisiologia, con le ricerche sulle correnti elettriche nei muscoli e sul magnetismo terrestre legato alle cariche atmosferiche. Per quest'ultimo filone di ricerca, egli utilizzò i fili del telegrafo appena costruito a fini di osservazione scientifica. Riprendendo le sue parole,

fu a Pisa nella notte del 17 novembre 1847 che chi scrive ebbe la fortuna di vedere per la prima volta una forte circolazione di elettricità nei fili telegrafici precedere e accompagnare l'apparizione dell'aurora boreale. Era una notte serena, d'aria asciutta e molto fredda. All'imbrunire della sera, uno strato di nubi leggiere si distendeva verso nord sull'orizzonte per un'altezza di 15 a 20 gradi, e di una densità sempre minore verso l'alto. Alle ore 9 e 30 minuti, le macchine telegrafiche, colle quali gli impiegati avevan lavorato sino a quel momento come al solito, cessarono di servire, e nel medesimo istante lo stesso avvenne alle macchine della stazione di Firenze. Le àncore dell'elettro-calamita erano aderenti ai poli dell'elettro-calamita con tanta forza da non poter sentire l'effetto delle correnti interrotte, e come se fosse stata usata una corrente troppo forte e costante. L'ago della bussola era agitato da grandi oscillazioni, ed il telegrafo a quadrante, che allora si usava nei nostri uffizi, dava di tanto in tanto segnali bruschi e frequenti, e poi cessava. Nello stesso tempo, tutto il cielo dalla parte del nord era illuminato da un vivissimo color rosso [...] Verso la mezzanotte, la luce era quasi dissipata, ed erano cessati i disturbi degli apparati telegrafici<sup>20</sup>.

<sup>18</sup> Casalena 2007, pp. 123-207.

<sup>19</sup> Bianchi 1874, p. 526.

<sup>20</sup> Ivi, pp. 521-22.

Il conte di Cavour apprezzò in Matteucci “una mente perspicace e pratica, unita ad una moderatezza di opinioni così rara, quanto preziosa nei tempi delle rivoluzioni”<sup>21</sup>. Nominato senatore del Regno, dal marzo al dicembre 1862 Matteucci fu ministro della Pubblica istruzione nel primo governo Rattazzi, rimanendo poi nell’amministrazione della scuola come vice-presidente del Consiglio superiore della pubblica istruzione. Inoltre continuò l’attività nel campo delle comunicazioni elettriche. Dopo essere stato direttore dei telegrafi granducali, divenne ispettore generale dei telegrafi italiani.

Il telegrafo arrivò di solito insieme alla ferrovia, perché la potenza e la velocità del treno, fino allora sconosciuti, resero necessario un sistema di comunicazione tale da consentire di trasmettere in tempo reale gli ordini sul movimento dei convogli, allo scopo di evitare i disastri ferroviari.

Il binomio ferrovia-telegrafo fu colto da Giovanni Pascoli nei versi de *La via ferrata*, in cui il telegrafo che correva lungo i binari era definito “immensa arpa sonora”. Nella prima stesura, tale poesia era però intitolata *Il telegrafo*, definito “argentea lira”<sup>22</sup>.

Tra gli argini su cui mucche  
tranquillamente pascono, bruna si difila  
la via ferrata che lontano brilla;

e nel cielo di perla dritti, uguali,  
con loro trama delle aree fila  
digradano in fuggente ordine i pali.

Qual di gemiti e d’ululi rombando  
cresce e dilegua femminil lamento?  
I fili di metallo a quando a quando  
squillano, immensa arpa sonora, al vento<sup>23</sup>.

Realizzato con il fine della trasmissione veloce di ordini ferroviari, il telegrafo mostrò fin dall’inizio la sua utilità per il governo, durante i moti del 1848. Leopoldo II ricordava nelle sue memorie di aver appreso dal nuovo mezzo di comunicazione le notizie sui disordini di fine luglio:

Il 26 venuto io in Palazzo Vecchio, ché lì le notizie tutte si raccoglievano ed i telegrafi parlavano, si discutevano e prendevano le misure [...] Nella notte venendo il 31 si seppe per i telegrafi Livorno occupato tranquillamente<sup>24</sup>.

Il 25 luglio 1848, nell’ambito della prima guerra d’indipendenza, si era infatti registrata la decisiva sconfitta delle truppe piemontesi a Custoza ed era scoppiata una rivolta repubblicana a Livorno. Il Parlamento toscano costrinse il governo

<sup>21</sup> De La Rive 1867, p. 388.

<sup>22</sup> Ceserani 1993, p. 100.

<sup>23</sup> Pascoli 1978, pp. 100-101.

<sup>24</sup> Pesendorfer 1987, pp. 351-352.

a dimettersi il 31 luglio, accusandolo di non aver fatto tutto il possibile per la guerra, ma il 5 agosto un comitato segreto diede di nuovo la fiducia al governo.

Due risoluzioni sovrane dell'11 novembre 1848 e del 15 giugno 1849 stabilirono l'organizzazione dei telegrafi nel Granducato. Le linee telegrafiche furono previste lungo tutte le ferrovie in costruzione.

L'accordo del giugno 1852 con il Ducato di Modena permise di collegare la rete toscana a quella del Lombardo-Veneto, tramite il territorio modenese, garantendo agli Asburgo-Lorena la comunicazione "elettrica" reciproca, visto che la stessa dinastia regnava sia in Toscana, sia nell'Impero austriaco, sia nel Ducato di Modena con il ramo d'Asburgo-Este.

Dal settembre 1852, proprio in seguito alla convenzione con il Ducato di Modena, il telegrafo toscano fu aperto anche ai privati per le operazioni commerciali.

Come già accennato, le tariffe di spedizione dei telegrammi erano calcolate sulla base del numero di parole e della distanza percorsa. Il messaggio telegrafico aveva un costo molto superiore a quello delle lettere postali, oltre dieci volte tanto. In Toscana, per distanze entro le 20 miglia si pagavano 2 lire fino a 20 parole, 4 lire da 20 a 30 parole e 6 lire da 30 a 100 parole. La tariffa raddoppiava per distanze fino a 50 miglia e triplicava oltre le 50 miglia. Nel 1859 si abbassarono le tariffe e fu abolito il criterio della distanza, arrivando a una tariffa interna unica, che cresceva soltanto sulla base della lunghezza del telegramma<sup>25</sup>.

L'articolazione degli uffici toscani si caratterizzava per la differenza tra prima e seconda classe. Firenze Palazzo Vecchio, Livorno Palazzo del Governo, Lucca, Pisa e Siena avevano uffici di prima classe, aperti 24 ore al giorno, mentre gli uffici delle altre località, ubicati in genere presso le stazioni ferroviarie, prestavano servizio soltanto per gli orari nei quali vi erano movimenti dei treni.

In Piemonte nel 1852 fu aperta la linea telegrafica Torino-Genova e l'anno successivo il Regno di Sardegna introdusse la privativa di Stato per il telegrafo, ponendo la relativa amministrazione alle dipendenze del Ministero dell'Interno, trasferendola poi nel 1858 al Ministero dei Lavori Pubblici, sotto la Direzione generale delle strade ferrate<sup>26</sup>. Al momento dell'unità d'Italia, la situazione nei vari territori era assai differenziata, sia per il tipo di impianti sia per la diffusione della rete.

Nel frattempo si era inoltre iniziato a posare i cavi sul fondo del mare per collegare le isole. Ad esempio, nel 1854, una società britannica cercò di realizzare un collegamento tra la Francia e l'Algeria, passando per l'Italia, con l'immersione di un cavo tra la foce del fiume Magra presso La Spezia e la Corsica, e da questa alla Sardegna. L'ultimo tratto fra la Sardegna e la costa algerina presso Bona fu un disastro tecnico e finanziario, che provocò in Inghilterra la nomina di una commissione di scienziati per stabilire la causa del mancato funzionamento<sup>27</sup>.

Nel 1858 fu posato un cavo sullo stretto di Messina per congiungere la Sicilia alla Calabria, ma si ruppe dopo 9 mesi, per le correnti dello Stretto e le difficili condizioni del fondale. Un altro cavo importante venne posato nel Mezzogiorn-

<sup>25</sup> Alfani 2010; Paoloni Castronovo 2004, p. 28.

<sup>26</sup> Paoloni Castronovo 2004, p. 29.

<sup>27</sup> Melillo 2005, pp. 22-23.

no fra Otranto in Puglia e Valona nel territorio ottomano dell'Albania (1859), rappresentando un tratto dell'itinerario "elettrico" verso l'Oriente<sup>28</sup>.

Al momento dell'unità d'Italia, dunque, la Sardegna risultava collegata con il continente, mentre la Sicilia era ancora isolata dalla rete della penisola, avendo peraltro soltanto linee telegrafiche costiere, che non si estendevano nell'interno. Le vicende successive, caratterizzate da numerose rotture, nuove pose di cavi, e accordi internazionali per il collegamento delle isole, dimostrano quanta importanza stesse assumendo la comunicazione telegrafica nel nuovo Stato nazionale<sup>29</sup>.

### *Il telegrafo nell'Italia unita*

Al tempo della proclamazione del Regno d'Italia, nel marzo 1861, vi erano nella penisola soltanto 8243 km di linee telegrafiche e 12.412 km di fili, con 248 uffici e 370 apparati telegrafici, che determinavano una spesa annua di circa 2 milioni di lire, a fronte di un introito di 1,5 milioni, con un disavanzo che si aggirava dunque sulle 500 mila lire annue. Va anche ricordato quanto erano alte le tariffe telegrafiche: occorre 20 lire per inviare un telegramma da Torino a Napoli<sup>30</sup>, mentre una lettera di 10 grammi costava 20 centesimi.

La prima tariffa telegrafica italiana, in vigore fino al 1864, prevedeva una tassazione differenziata in base al percorso (oltre alla lunghezza del telegramma), con una divisione in 7 zone: ad esempio, la zona 1 riguardava le distanze da 1 a 100 km, la zona 2 da 100 a 250 km, la zona 3 da 250 a 450 km ecc., fino alla zona 7 da 1350 a 1750 km. Nel 1864 le zone si ridussero a due e dal 1870 fu adottata la tariffa unica nazionale, variabile soltanto sulla base delle parole trasmesse.

Ritenendo che il servizio del telegrafo fosse una fonte indispensabile di progresso, alla rete fu dato un notevole sviluppo, arrivando nel 1900 ad avere oltre 40.000 km di linee telegrafiche, con 4267 uffici e 6695 apparati (Tabella 1).

**Tabella 1.** Sviluppo della rete telegrafica sotto il Regno d'Italia.

Anno	numero uffici	numero apparati	km linee terrestri	km cavi sottomarini
1861	315	600	9.100	-
1870	649	1268	17.700	178
1880	1565	2514	24.663	175
1890	2748	4341	34.875	146
1900	4267	6695	40.759	147
1910	5736	10.371	49.633	2.618

Fonte: elaborazione da E. Melillo, *Ordinamenti postali e telegrafici degli antichi Stati italiani e del Regno d'Italia*, a cura di S. Fari, Tomo VIII, Quaderni di Storia Postale, n. 29, dicembre 2005, pp. 78-79.

<sup>28</sup> Giuntini 2004, pp. 72-73.

<sup>29</sup> Fari 2008, pp. 70-80.

<sup>30</sup> Majorana 1911, p. 5.

Il primo passo per la creazione di un servizio telegrafico unitario fu la fusione delle amministrazioni preesistenti all'interno di un unico quadro normativo. I principi della legislazione piemontese, progressivamente estesa nel 1860-61 e poi nel 1866 ai nuovi territori annessi, rispettivamente con la seconda e con la terza guerra d'indipendenza, si basarono sul telegrafo considerato come monopolio pubblico. Un monopolio sancito dalla legge del Regno di Sardegna del giugno 1853, secondo la quale era "riservato al governo lo stabilimento e l'esercizio delle linee telegrafiche, salvo le convenzioni speciali stipulate dal governo con le società concessionarie delle strade ferrate".

A parte gli impianti telegrafici concessi alle compagnie ferroviarie, cui in seguito si aggiunsero per analogia quelle tranviarie, non si fecero deroghe sulla concessione a privati fino ai primi anni del Novecento, quando la questione si ripresentò per le compagnie elettriche che furono anch'esse previste nella possibilità di concessione dell'esercizio telegrafico.

Il servizio dei telegrafi del Regno fu all'inizio assegnato a una Direzione generale del Ministero dei Lavori Pubblici, di cui facevano parte anche le ferrovie. Successivamente si creò la Direzione generale dei telegrafi, il cui responsabile era affiancato da un consiglio tecnico-amministrativo. Tale direzione fu istituita ai sensi del regio decreto 18 settembre 1865 n. 2504, con il compito di dare impulso agli impianti per rendere il telegrafo rispondente alle esigenze del nuovo Stato nazionale.

Si cercò innanzitutto di standardizzare il materiale, adottando gli apparecchi di tipo Morse e unificando le pile, i fili, i pali e gli isolatori. Le prime installazioni non avevano infatti uniformità tecnica: gli apparati telegrafici erano stati prodotti con brevetti diversi: Morse, Wheatstone, Bréguet, Henley<sup>31</sup>.

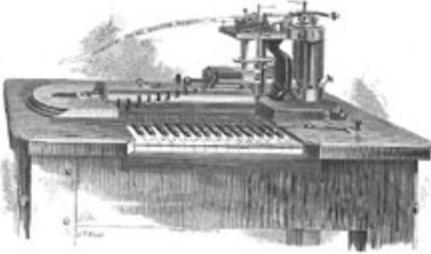
Si passava dal telegrafo Morse con l'omonimo alfabeto, con il tastierino per battere linee e punti e con la striscia di carta in arrivo, ai telegrafi a quadrante di Wheatstone e Breguet, per arrivare al telegrafo ad aghi di William Thomas Henley.

Nell'Italia preunitaria, gli apparati Morse erano stati adottati nel Lombardo-Veneto, nei Ducati di Modena e di Parma, nello Stato Pontificio, nel Regno delle Due Sicilie, dove inizialmente si era impiegato il tipo Henley simile ai



**Figura 6.** Telegrafo Wheatstone a due aghi adottato nel Regno di Sardegna.

<sup>31</sup> Majorana 1911, p. 5.



**Figura 7.** Telegrafo Hughes con la tastiera per digitare le lettere (G.B. Prescott, *History, Theory and Practice of the Electric Telegraph*, Boston, 1860).

telegrafi di Cooke e Wheatstone, ma con un generatore magneto-elettrico anziché una pila per dare gli impulsi. I telegrafi a quadrante di Cooke e Wheatstone furono adottati nel Regno di Sardegna, gli apparati Breguet nel Granducato di Toscana.

Il Granducato, primo Stato italiano ad adottare il telegrafo elettrico, aveva scelto il sistema sperimentato in Francia, dove si era creato un apparato che riuscisse a recuperare l'esperienza del telegrafo Chappe, proposto dal direttore

delle linee telegrafiche ottiche Alphonse Foy e da un costruttore parigino di strumenti, Abraham Louis Breguet. Il sistema si basava su un manipolatore analogo a quello del telegrafo ottico Chappe, anche per non dover riconvertire il personale già addestrato con il vecchio sistema. L'apparecchio era però complesso e delicato per la frequente perdita di sincronia fra trasmettitore e ricevente, inoltre non registrava i messaggi. Il sistema di Wheatstone in uso in Piemonte era invece abbastanza semplice ma risentiva dei disturbi elettrici atmosferici, che spostavano l'ago dalla posizione di riposo, falsando le indicazioni.

Dopo la costituzione del Regno d'Italia, si decise dunque di adottare gli apparati Morse, sebbene dal 1862 si acquistassero pure apparati di David Hughes, telegrafi scriventi che consentivano di stampare su un nastro di carta i messaggi, con caratteri alfanumerici anziché con il linguaggio di linee e punti. I messaggi venivano battuti su una tastiera simile a quella di un pianoforte ma più piccola. Assai rapido, l'apparecchio era però molto costoso e fu dunque impiegato soltanto nei maggiori uffici telegrafici delle grandi città<sup>32</sup>.

L'altro problema importante nel Regno d'Italia appena formato fu la necessità di estendere la rete dei fili, raggiungendo i Comuni più importanti nel sud Italia, dove le linee erano molto carenti. A questo proposito fu promulgata la legge 30 marzo 1862 n. 523, "colla quale è approvata la spesa occorrente per la costruzione di varie linee telegrafiche nelle Province Meridionali".

Infine fu necessario lavorare per velocizzare la rete. Prima del 1870, soltanto 14 capoluoghi di provincia avevano un collegamento diretto con Roma, mentre per gli altri occorreva la riproduzione del telegramma in uno o più uffici di deposito<sup>33</sup>.

La rete telegrafica di Stato era infatti divisa in "circuiti diretti", che collegavano fra loro soltanto due uffici di primaria importanza (consentendo così una comunicazione rapida), "semidiretti" che collegavano fra loro tre uffici, "omnibus" che ne collegavano fino a sei. Il funzionamento era il seguente:

<sup>32</sup> Brenni 2009, pp. 124-130.

<sup>33</sup> Ivi, p. 9.

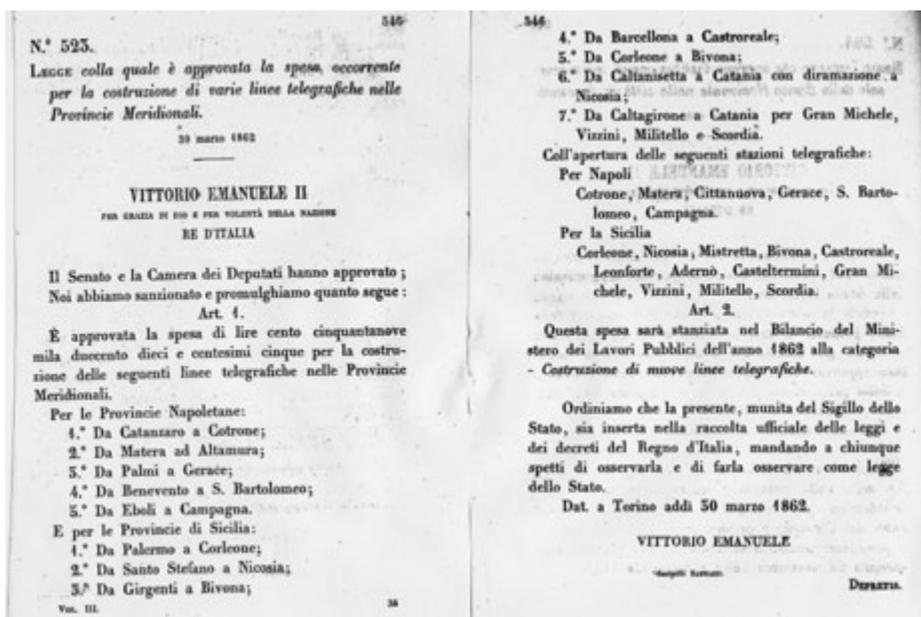


Figura 8. Legge del 1862 sull'estensione dei telegrafi (*Raccolta leggi e decreti del Regno d'Italia*, 1862, vol. I).

Ricevuto il testo da trasmettere, l'ufficio di partenza chiama l'ufficio ricevente, se vi è comunicazione diretta, o l'opportuno ufficio intermedio, eseguendo, mediante il manipolatore [tasto Morse], il segnale convenzionale, che consiste nel ripetere parecchie volte le due iniziali delle città da cui parte ed a cui deve arrivare il telegramma. Se l'ufficio in comunicazione riceve esso stesso il dispaccio (circuito diretto-ufficio di ritrasmissione) esso risponde semplicemente di essere pronto a ricevere; se invece vi è un ufficio intermedio, che deve dare la comunicazione ritirandosi dal circuito, la trasmissione si inizia appena esso ha indicato di aver data la comunicazione e si è certi che questa è stabilita<sup>34</sup>.

L'estensione dei collegamenti diretti portò nel 1882 ad avviare la diramazione contemporanea dei resoconti parlamentari a 25 capoluoghi di provincia.

Per quanto concerne la diffusione territoriale, fu data al governo la facoltà di stipulare convenzioni con i Comuni e con privati per la gestione di apparecchi del telegrafo pubblico. Il regolamento per il servizio telegrafico approvato nel 1875 (regio decreto 11 aprile 1875 n. 2442), agli articoli 50 e 51, prevedeva a carico dei Comuni la spesa di impianto dell'ufficio di lire 300 (costo dell'apparecchio telegrafico) e il reperimento del locale e dei mobili per l'ufficio. Se era necessaria la linea di collegamento, i Comuni dovevano pagare 100 lire per ogni km di palificazione e 30 lire per ogni km di filo.

La legge 28 giugno 1885 n. 3200 prevedeva poi l'impianto dei telegrafi nei capoluoghi di Mandamento e nei Comuni di frontiera; per questi ultimi fu lo

<sup>34</sup> Quintavalle 1915, p. 73.

Stato a pagare integralmente gli impianti, mentre nei capoluoghi di Mandamento essi vennero realizzati con il contributo statale del 50% e la cifra rimanente era a carico di Comuni e Province interessate.

I contributi da pagare furono diminuiti con le modifiche al regolamento telegrafico approvato nel marzo 1895 (regio decreto 14 marzo 1895 n. 357), che prevedevano anche una maggiore sinergia con gli uffici postali. Il nuovo art. 50 del regolamento stabiliva:

Se nella località, ove deve impiantarsi il nuovo ufficio, esiste un ufficio postale, l'ufficio telegrafico verrà senz'altro unito ad esso. In caso diverso, tanto il Comune quanto il privato dovranno, a senso dell'art. 3 della legge 28 giugno 1885 n. 3.200, obbligarsi a fornire e mantenere un adatto locale mobiliato, per uso dell'ufficio telegrafico, a meno che vi provveda lo stesso commesso, che assumerà il servizio telegrafico.

Per quanto riguarda i collegamenti con le isole, al momento dell'unità funzionava ancora il già ricordato cavo per la Sardegna, mentre nel 1861 si posarono due nuovi cavi per la Sicilia, che però furono interrotti quasi subito. Nel 1862 venne quindi steso un cavo nello stretto di Messina, costruito con una pesante e robusta armatura; ciò nonostante, l'anno successivo, dopo una prima interruzione riparata, anche questo cavo rimase inutilizzabile, ma se ne posò un altro su un percorso più lungo fra Bagnara Calabria e Torre di Faro in Sicilia<sup>35</sup>.

Nella difficile vicenda del cavo sottomarino per la Sicilia, si inserì una questione di rilievo internazionale, quella della comunicazione tra la madrepatria Inghilterra e la popolosa colonia delle Indie britanniche. Dato che il collegamento interamente sottomarino non era per il momento attuabile a livello tecnico e che il telegrafo terrestre continentale doveva passare dagli infidi territori dell'Impero ottomano, la regina Vittoria preferiva un collegamento attraverso l'“amico” Regno d'Italia.

Facendo perno sull'isola di Malta, gli inglesi promossero l'attraversamento della penisola italiana e un cavo dalla Sicilia verso Malta, da dove il telegrafo diventava di nuovo sottomarino fino al canale di Suez. La Telegraph Construction and Maintenance Company realizzò dunque, in accordo con il governo italiano, una linea tra la Sicilia e il Piemonte, posando fra il 1867 e il 1868 ben 4 cavi sullo stretto di Messina. Questa linea rappresentò la principale comunicazione occidente-oriente fino al 1870, quando fu inaugurato il cavo sottomarino che collegava direttamente la Cornovaglia con Malta via Gibilterra<sup>36</sup>.

La posa dei cavi sottomarini riguardò anche i territori d'oltremare. La Ditta Pirelli fu incaricata della posa e manutenzione di due cavi nella prima colonia italiana, l'Eritrea, per agganciare la colonia stessa alla rete telegrafica britannica. I cavi andavano da Massaua ad Assab (524 km), e da Assab a Perim (103 km). Tale posa fu terminata nel marzo 1887, portando all'inaugurazione del servizio telegrafico con la Colonia Eritrea<sup>37</sup>.

<sup>35</sup> Majorana 1911, p. 6; Fari 2008, p. 80.

<sup>36</sup> Melillo 2005, p. 41.

<sup>37</sup> Maggi 1996, pp. 30-31.

Il processo di crescita delle comunicazioni trovò il suo sbocco nell'istituzione di un apposito Ministero delle Poste e Telegrafi, staccando le due Direzioni generali delle Poste e dei Telegrafi dal Ministero dei Lavori Pubblici. Il nuovo ministero fu istituito nel marzo 1889 (regio decreto 10 marzo 1889 n. 5973), frutto di un dibattito secondo il quale le poste e i telegrafi rappresentavano “due amministrazioni irresponsabili che in gran parte sfuggivano a un vero controllo e sindacato parlamentare, due veri e propri dicasteri di fatto, ai quali era dunque opportuno preporre un apposito ministro”, almeno secondo la visione del presidente del consiglio Francesco Crispi, volta a rafforzare l'esecutivo<sup>38</sup>.

Tra gli scopi, vi era il risparmio ottenuto dalla fusione fra il servizio postale e quello telegrafico, con economie che potevano derivare dall'ottenere in molti centri un uso promiscuo degli spazi e del personale. A tale fine, nel 1895 si istituì una direzione unica delle poste e telegrafi in ogni capoluogo di provincia<sup>39</sup>.

### *Il telegrafo come servizio pubblico*

Qualunque persona ha diritto di corrispondere per mezzo dei telegrafi ad uso del pubblico.

I telegrammi devono essere possibilmente presentati dal mittente in persona o da un suo rappresentante, che sia in grado di dare schiarimenti all'ufficio e di prestarsi, occorrendo, a rendere regolari i telegrammi stessi [...]

Ogni telegramma si scrive possibilmente sui modelli che fornisce l'Amministrazione. Se è scritto sopra altro foglio, questo s'incolla sopra il modello [...]

Il telegramma deve essere scritto leggibilmente ed in caratteri latini, che abbiano il loro equivalente nel quadro regolamentare dei segni telegrafici<sup>40</sup>.

Le *Norme generali per la corrispondenza telegrafica dei privati nell'interno del Regno e coll'estero* si aprivano con queste disposizioni, continuando poi con altre istruzioni, ad esempio il computo delle parole tassabili, tra le quali non erano compresi “segni d'interpunzione, apostrofi e tratti d'unione”. Il telegramma poteva essere trasmesso in “linguaggio chiaro” o in “linguaggio segreto”, purché anche in quest'ultimo caso i caratteri fossero codificabili nel linguaggio Morse. Le eventuali indicazioni nei telegrammi per l'estero dovevano essere scritte in lingua francese.

Il telegramma poteva essere inviato a un destinatario all'interno delle città, indicando l'indirizzo nella maniera più precisa possibile, oppure al “fermo posta” o al “fermo telegrafo”: in questo caso sarebbe stato consegnato al destinatario rispettivamente presso l'ufficio postale o l'ufficio telegrafico. Il telegramma poteva essere spedito come urgente pagando il triplo della tassa.

Era inoltre possibile far recapitare il telegramma con “espresso o staffetta”, nel caso che occorresse la consegna al di là dei centri serviti da linee telegrafiche, ad esempio nei bastimenti, oppure nelle case isolate di campagna, o comunque

<sup>38</sup> Giannetto 1992, p. 164.

<sup>39</sup> Paoloni Giuntini 2004, p. 128.

<sup>40</sup> Ministero delle Poste e dei Telegrafi 1896, *Indicatore postale-telegrafico*, p. 121.

nei sobborghi attorno alle città, con un supplemento di 20 centesimi per ogni chilometro di distanza a partire dall'ufficio. Le tariffe nazionali sono riportate nella Tabella 2.

Le tariffe per l'estero variavano a seconda del paese di destinazione. Mandare un telegramma nella Colonia Eritrea, ad esempio, costava 2 lire per ciascuna parola per i telegrammi privati e 1,85 lire per i telegrammi di Stato. Un costo minore avevano invece i telegrammi per i paesi europei e per quelli del bacino mediterraneo: 14 centesimi a parola si pagavano per la Francia, la Germania e l'Austria-Ungheria, 19 per il Belgio, 22 per la Spagna, 23 per i Paesi Bassi, 24 per l'Algeria, la Tunisia e l'Isola di Malta, 26 per la Gran Bretagna e la Svezia, 27 per il Portogallo<sup>41</sup>.

Tabella 2. Tariffa telegrafica interna al Regno d'Italia (1896).

Qualità del telegramma	Tassa fino a 15 parole	Aumento di tassa per ciascuna parola oltre le 15
Telegramma ordinario	lire 1	cent. 5
Telegramma urgente	lire 3	cent. 15
Telegramma contenente i resoconti delle sedute del Parlamento diretto ai giornali	lire 0,50	cent. 5
Telegramma nell'interno della città	lire 0,50	cent. 5
Telegramma per vaglia telegrafico ordinario	lire 1	cent. 5
Telegramma per vaglia telegrafico urgente	lire 3	cent. 5

Fonte: Ministero delle Poste e dei Telegrafi, *Indicatore postale-telegrafico del Regno d'Italia per l'anno 1896*, seconda edizione, Roma, Tip. dell'Unione cooperativa editrice, 1896, p. 133.



Figura 9. Interno di un ufficio telegrafico (T.P. Shaffner, *The Telegraph Manual: a Complete History and Description of the Semaphoric, Electric and Magnetic Telegraphs of Europe, Asia, Africa and America, Ancient and Modern*, New York, 1859).

Si poteva pure consegnare il telegramma alle persone che viaggiavano sui treni, purché l'indirizzo specificasse il numero del treno e la stazione nella quale effettuare la consegna, che veniva curata dal capo stazione. Il legame tra i due mezzi di comunicazione era rimasto molto forte a fine secolo, tanto che gli uffici della ferrovia esercitavano il servizio pubblico, come dimostra la seguente norma.

<sup>41</sup> Ivi, p. 134.

Se il mittente di un telegramma diretto a un luogo ove siavi tanto l'ufficio telegrafico governativo quanto quello ferroviario, intende che, in caso di chiusura dell'ufficio governativo, il telegramma sia recapitato dall'ufficio ferroviario, quand'anche fosse necessaria una spesa di espresso, dovrà nell'indirizzo far seguire al nome dell'ufficio destinatario le parole: *eventualmente scalo*, che sono soggette a tassa<sup>42</sup>.

Gli uffici telegrafici erano di prima categoria se spedivano "annualmente più di 10.000 telegrammi" o se "per ragioni tecniche, politiche o militari" avevano una particolare importanza. Gli altri uffici erano di seconda categoria ed erano aperti con orario limitato<sup>43</sup>. I criteri di apertura sono indicati nella Tabella 3.

**Tabella 3.** Criteri per la determinazione degli orari degli uffici.

Orario	Numero giornaliero telegrammi in accettazione e recapito
Limitato	da 0 a 29
Completo di giorno	da 30 a 70
Completo di giorno, prolungato fino a mezzanotte	da 71 a 200
Completo di giorno, prolungato fino a mezzanotte e servizio speciale dalla mezzanotte alle 7 antimeridiane	da 201 a 500
Permanente	501 e oltre

Fonte: Ministero delle Poste e dei Telegrafi, *Ordinamento del servizio telegrafico*, Roma, Tip. Naz. G. Bertero, 1896, p. 96.

Il problema della diffusione capillare del telegrafo era però lontano da una soluzione, come osservava nel 1889 sulla *Nuova Antologia* – la rivista di cultura allora più diffusa – Maggiore Ferraris, futuro ministro delle Poste e Telegrafi nel terzo governo Crispi:

raffrontando la cifra di circa 3.600 uffici con quella degli 8.257 Comuni esistenti nel Regno, si scorge a primo aspetto che malgrado i suoi lodevoli sforzi, l'Amministrazione dei telegrafi è ancora lontana dal raggiungere quella diffusione e moltiplicazione d'uffici indispensabile ad un pubblico servizio. Il che è tanto più evidente, qualora si osservi che non poche località sono dotate di due o più uffici telegrafici governativi e ferroviari: donde ne viene che il numero dei Comuni sprovvisti del servizio telegrafico è in realtà assai superiore alla cifra di circa 4.600 che si ottiene deducendo il numero degli uffici da quello totale dei Comuni del Regno. Si ricordi per di più che oltre 5.800 Comuni sono sprovvisti di uffici telegrafici governativi, i soli che assicurino un servizio regolare e celere!<sup>44</sup>.

<sup>42</sup> Ivi, p. 124.

<sup>43</sup> Ministero delle Poste e dei Telegrafi 1896, *Ordinamento del servizio telegrafico*, p. 85.

<sup>44</sup> Ferraris 1889, p. 118.

Per raggiungere con il telegrafo i centri più sperduti, si dovettero istituire uffici di terza categoria, esercitati da incaricati (Tabella 4), i quali dovevano possedere per proprio conto altri mezzi di sussistenza, dato che per svolgere il servizio telegrafico ricevevano una retribuzione molto modesta. Il ruolo degli incaricati fu inizialmente previsto con l'art. 17 del regio decreto 18 settembre 1865 n. 2504, che approvava il regolamento per il servizio telegrafico:

Pel servizio degli uffizi di 3<sup>a</sup> categoria, saranno destinati degli incaricati provvisori da scegliersi fra Impiegati di altre Amministrazioni con l'annuenza delle medesime, o anche fra estranei con retribuzione da fissarsi caso per caso con Decreto Ministeriale, entro il limite di lire 600 annuali, ed avuto riguardo al prodotto dell'Ufficio.

**Tabella 4.** Incaricati telegrafici al 30 giugno 1888.

Condizioni sociali degli incaricati telegrafici	Uomini	Donne
Impiegati telegrafici in riposo	12	–
Commessi e supplenti postali	626	49
Esercenti altro impiego governativo	24	–
Insegnanti	40	25
Impiegati comunali	147	–
Farmacisti	47	–
Sacerdoti	5	–
Esercenti professioni diverse	51	3
Esercenti mestieri diversi	19	11
Possidenti sprovvisti di altra occupazione	632	135
Totale	1.063	223

*Fonte: Relazione statistica sui telegrafi del Regno d'Italia nell'anno finanziario 1887-88, Roma, Tip. Cecchini, 1889, p.VII.*

Gli uffici di terza categoria ebbero in assoluto la maggiore diffusione (Tabella 5), dovuta alla necessità di ramificare gli impianti, pur contenendo le spese di un servizio che era tanto indispensabile per il progresso quanto costoso per l'apparato statale.

**Tabella 5.** Consistenza degli uffici telegrafici governativi (1870-1889).

Anno	1870	1875	1880	1885	1889
Uffici di 1° cat.	66	84	89	100	123
Uffici di 2° cat.	205	176	186	211	226
Uffici di 3° cat.	259	820	1235	1620	2050

*Fonte: Elaborazione dalle Relazioni statistiche dei telegrafi del Regno d'Italia, prodotte dalla Direzione generale dei telegrafi.*

## Svilupi della comunicazione scritta: pantelegrafo e telescrivente

Come si è visto, il telegrafo si sviluppò a metà Ottocento insieme alla ferrovia, con i fili che correvano spesso parallelamente ai binari.

La legge sui Lavori Pubblici, allegato F alla Legge per l'unificazione amministrativa del Regno d'Italia (legge 23 marzo 1865 n. 2248), prescriveva all'art. 226: "Per la trasmissione dei dispacci e segnali necessari alla sicurezza e regolarità dell'esercizio, dovranno su qualsivoglia ferrovia pubblica stabilirsi gli occorrenti uffici ed apparati telegrafici". Nel 1884 una circolare ministeriale ordinò che anche tutte le tramvie a vapore fossero munite di fili del telegrafo e che i loro uffici espletassero servizio pubblico, essendo aperti per più ore rispetto a quelli governativi. Inoltre, nel 1885 fu disposto che le linee telegrafiche lungo le strade ordinarie fossero spostate ovunque possibile lungo le linee ferroviarie, per la maggiore sicurezza e regolarità del tracciato dei binari, che peraltro facilitava la manutenzione dei fili<sup>45</sup>.

Sebbene a metà anni '80 si stessero espandendo le prime reti telefoniche, le compagnie ferroviarie, fedeli alla vecchia massima "verba volant, scripta manent", continuarono a lungo a utilizzare esclusivamente il telegrafo, che lasciava una testimonianza degli ordini trasmessi, e a non fidarsi delle comunicazioni verbali telefoniche.

Soltanto nel 1926 si cominciò a sperimentare l'uso del telefono per il movimento ferroviario<sup>46</sup>, ma esclusivamente sulle linee secondarie, prevedendo in ogni caso un sistema di trasmissione degli ordini che lasciasse una traccia scritta. I dialoghi relativi alla partenza, agli incroci dei convogli, alle manovre, venivano infatti trascritti in appositi registri come "fonogrammi".

La traccia scritta era utile non solo alle ferrovie ma anche al governo, che aveva affidato la diffusione dei propri telegrammi, per esempio quelli diretti alle prefetture, all'Agenzia di stampa Stefani, la quale sotto Francesco Crispi divenne un ente a servizio del governo, pubblicando tutto ciò che il governo stesso diramava e tenendo informato l'esecutivo delle notizie ricevute prima di divulgarle<sup>47</sup>.

Sulla rete telegrafica viaggiavano infatti le notizie per i giornali. Anzi, le agenzie di stampa si formarono proprio grazie alla presenza del telegrafo che consentiva di diffondere velocemente le novità, portando una rivoluzione nella carta stampata. I giornali potevano per la prima volta trasmettere notizie "fresche" anche a notevole distanza, grazie al collegamento fra le redazioni assicurato dal telegrafo.

Gli apparati telegrafici inviavano soltanto linee e punti, che necessitavano delle scomode operazioni di codifica e decodifica del linguaggio Morse. Si trattava di una grande conquista, ma poteva essere perfezionata per consentire di mandare qualcosa di più di un semplice codice, al fine di arrivare alla trasmissione di immagini, cioè di fac-simile.

<sup>45</sup> Paoloni Giuntini 2004, p. 117; Fari 2004, pp. 151-152.

<sup>46</sup> Maggi 2007, p. 168.

<sup>47</sup> Canosa 2002, p. 11.



**Figura 10.** Telegrafo di Alexander Bain, che scriveva il Codice Morse su carta elettrochimica, precedente il suo modello di fax (T.P. Shaffner, *The Telegraph Manual: a Complete History and Description of the Semaphoric, Electric and Magnetic Telegraphs of Europe, Asia, Africa and America, Ancient and Modern*, New York, 1859).

Lo scozzese Alexander Bain realizzò nel 1843 un telegrafo elettrochimico in grado di effettuare scansioni e di stampare immagini grazie a una soluzione di ferro-cianuro; il meccanismo non raggiunse tuttavia un impiego pratico. Quattro anni dopo, il fisico britannico Frederick Bakewell brevettò il suo telegrafo chimico. Tale dispositivo fu presentato alla Grande esibizione di Londra del 1851 e rappresentò la prima realizzazione di un fax, cioè un telegrafo in grado di mandare immagini. Utilizzava due cilindri ruotanti sincronizzati e le immagini venivano riprodotte in negativo. Fu tuttavia un fallimento perché veniva facilmente perso il sincronismo fra i cilindri e si creavano strisce sovrapposte.

Primo progetto importante di sviluppo del fax fu il “pantelegrafo”, realizzato dall’abate italiano Giovanni Caselli (1815–1891), che aveva studiato a Firenze, diventando sacerdote, quindi si era trasferito a Parma come precettore dei figli di un nobile locale. Nel 1850 tornò nella capitale del Granducato e avviò una serie di esperimenti, tra i quali “un telegrafo universale atto alla spedizione autografica di ogni scritto o disegno”<sup>48</sup>.

Si trattava di un sistema in grado di riprodurre a distanza qualunque segno: caratteri, linee o tratti di immagini. L’importanza di questo apparecchio pionieristico, che all’epoca fu misconosciuto in Italia, si è compresa in pieno soltanto quando nell’ultimo ventennio del Novecento è entrato nell’uso comune il fax.

Il sistema inventato da Caselli era in grado di riprodurre immagini facendo una scansione delle stesse, come in seguito realizzato con la televisione, sebbene a una velocità notevolmente inferiore.

Il disegno che si voleva inviare veniva tracciato nell’apparato trasmittente su un foglio metallico con inchiostro isolante, che si lasciava poi essiccare. A questo punto un pennino collegato alla linea telegrafica percorreva il foglio riga per riga chiudendo il circuito dove l’inchiostro era assente e inviando in questo caso il segnale alla ricevente, mentre il segnale stesso non veniva mandato quando il pennino percorreva l’immagine isolata dall’inchiostro. L’apparato ricevente riproduceva le righe scansionate su un foglio di carta trattato con ferrocianuro di potassio: laddove si aveva il passaggio di corrente elettrica una reazione elettrochimica faceva annerire la carta, riproducendo alla fine del processo il disegno originale.

<sup>48</sup> Comune di Siena 1992, p. 36.

I due apparati erano entrambi in grado di funzionare sia come trasmittente sia come ricevente, ma dovevano muoversi in sincronia, tramite due pendoli uguali lunghi un metro, sospesi ciascuno sopra un asse orizzontale e caricati con un peso di 20 Kg consistenti in elettrocalamite rettilinee.

Dopo che il “Monitore Toscano” del 2 giugno 1856 ebbe comunicato al pubblico l’invenzione,

molti scienziati ed altri personaggi ragguardevoli assistevano alle esperienze, che per due mesi si ripeterono quasi giornalmente nel gabinetto fisico dell’inventore, situato al primo piano del palazzo detto dello Strozzino, in Firenze; e lo stesso Granduca volle un giorno onorarle della sua presenza. La nuova scoperta venne annunciata dai giornali di tutti i paesi e molti discorsero più specialmente della sua originalità e del suo merito scientifico<sup>49</sup>.

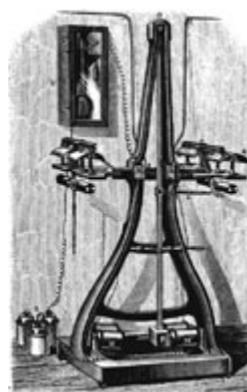


Figura 11. Pantelegrafo di Giovanni Caselli.

Il già citato vocabolario della lingua parlata (1880) registrava la presenza del nuovo sistema con questa descrizione: “Apparecchio telegrafico, inventato dall’abate Caselli, per mezzo del quale si mandano mediante la elettricità i telegrammi autografi, i ritratti, i disegni ecc.”<sup>50</sup>.

Le scarse possibilità applicative offerte dal Granducato spinsero Caselli a emigrare in Francia, dove le prospettive dell’impero di Napoleone III erano ben più allettanti. L’apparecchio telegrafico fu perfezionato presso l’officina Froment di Parigi che costruiva motori elettrici. Qui, nel gennaio 1860, Napoleone III visitò il pantelegrafo, assistendo “con grande interesse alla riproduzione del *fac-simile* di vari dispacci” e congratulandosi con l’autore<sup>51</sup>.

Un mese dopo iniziarono gli esperimenti sulla rete francese fra Parigi e Amiens su una distanza di 140 km. Le variazioni dell’intensità della corrente su lunghe distanze, dovute anche semplicemente alle condizioni atmosferiche, scombinavano però “il sincronismo dei pendoli, e quindi i caratteri dei dispacci, ne riescono spesso talmente alterati da render questi difficilmente leggibili”<sup>52</sup>.

Pur demoralizzato, Caselli non si diede per vinto e riuscì a superare l’inconveniente anche su distanze molto più lunghe di quella da Parigi ad Amiens.

Il pantelegrafo fu portato nel settembre 1861 all’esposizione nazionale di Firenze, dove mostrò agli spettatori meravigliati le immagini trasmesse da Livorno. Dal settembre 1863 al gennaio 1864, fu sperimentato fra Londra e Liverpool e nel frattempo iniziarono trattative con la Russia.

Il 16 febbraio 1865 iniziò il servizio pubblico fra Parigi e Lione, ma il costo dei “dispacci autotelegrafici” – come furono definiti – era così alto che questi si utilizzavano soltanto per gli ordini di borsa, dato che avevano “il pregio di

<sup>49</sup> Pagni 1887, pp. 10-11.

<sup>50</sup> Rigutini e Fanfani 1880, p. 1094.

<sup>51</sup> Pagni 1887, p. 31.

<sup>52</sup> Ivi, p. 33.

assicurare l'identità della firma di chi spedisce"<sup>53</sup>. L'ampia differenza con il prezzo dei dispacci ordinari impedì il propagarsi nell'uso del pantelegrafo, che rimase un mezzo di comunicazione privilegiato per i soli grandi affari.

Le nuove linee promesse non furono aperte e tutto si perse nella sconfitta di Sedan e nella Comune parigina. La linea Parigi-Lione, unica attivata, rimase in esercizio fino all'agosto 1870.

La mancata diminuzione del prezzo dei dispacci del pantelegrafo, dovuta alla volontà di non danneggiare gli altri sistemi, non ne consentì dunque il decollo.

I dirigenti della società pantelegrafica,

non considerarono le difficoltà che hanno sempre incontrato le più belle ed utili innovazioni prima di essere riconosciute e accettate, gli ostacoli che lor sempre oppongono le abitudini, l'invidia, gl'interessi offesi o minacciati; non videro (senza uscire dal campo della telegrafia) che presso i Wheatstone, i Bréguet, gli Hughes stava sempre l'uomo d'affari, il negoziante avveduto che, con la borsa aperta, cercava di guadagnarsi protettori e amici presso le Società e i Governi<sup>54</sup>.

Ulteriore sviluppo degli apparati telegrafici fu la telescrivente, nella quale l'operatore digitava il testo da inviare non più con il codice di linee e punti, bensì con le lettere su una tastiera simile alla macchina per scrivere.

Inventata nel 1906 negli Stati Uniti, la telescrivente era appunto un incrocio fra il telegrafo e la macchina per scrivere, quest'ultima in commercio dal 1867. I suoi organi mobili, cioè i tasti e il rullo, erano comandati da impulsi elettrici trasmessi da un altro apparato analogo. I caratteri digitati venivano codificati automaticamente con un codice a 5 bit, il codice Baudot. I segnali erano cioè formati da 5 impulsi di corrente, la cui diversa combinazione permetteva di trasmettere lettere, numeri e segni d'interpunzione. La trasmissione veniva effettuata mediante l'abbassamento dei tasti, cui corrispondeva l'invio sulla linea degli impulsi in partenza, ricevuti in arrivo da un elettromagnete, che metteva in funzione un motore a meccanismo scrivente. La velocità di trasmissione era di almeno 400 parole al minuto.

Negli anni '30, a partire dalla Germania, si sviluppò un sistema di comunicazione specifica per telescriventi, connesse fra loro con la rete telex; una rete che veniva utilizzata per la stampa, ma anche per commercio e industria, nonché per i servizi di polizia. La maggiore diffusione si registrò durante la seconda guerra mondiale.

Grazie alla telescrivente, è rimasto fino ai giorni nostri l'uso del telegramma, che da tempo non viene più trasformato in codice Morse, ma conserva immutato il linguaggio stringato tipico delle prime comunicazioni telegrafiche, che erano molto costose e con il prezzo legato alla lunghezza del messaggio. Anche in questo caso, la forza è quella del messaggio scritto, che ha fatto assumere al telegramma un carattere di ufficialità, utilizzandolo per convocazioni

<sup>53</sup> Ivi, p. 57.

<sup>54</sup> Ivi, p. 69.

urgenti, o per celebrazioni e occasioni particolari come i matrimoni, le nascite e soprattutto i decessi.

## Bibliografia

- Alfani Vanni, 2003, “I telegrafi in Toscana in periodo granducale”, in [www.ilpostalista.it/unico2003pag10.htm](http://www.ilpostalista.it/unico2003pag10.htm), consultazione del 10 gennaio 2010.
- Beck Wilhelm, 2001, “I telegrafi Chappe sulla costa adriatica”, *Archivio per la Storia Postale. Comunicazioni e Società*, anno III, n. 7-9.
- Bianchi Nicomede, 1874, *Carlo Matteucci e l'Italia del suo tempo*, Torino, Fratelli Bocca.
- Brenni Paolo, 2009, “Telegrafia e apparecchi telegrafici nell'Italia di metà Ottocento”, in Franco Angotti e Giuseppe Pelosi (a cura di), *Antonio Meucci e la città di Firenze. Tra scienza, tecnica e ingegneria*, Firenze, Firenze University Press.
- Calvo Angel, 2004, “Reti di comunicazione e sviluppo economico”, in Andrea Giuntini (a cura di), *Sul filo della comunicazione. La telegrafia nell'Ottocento fra economia, politica e tecnologia*, “Quaderni di Storia Postale”, n. 28.
- Canosa Romano, 2002, *La voce del duce. L'Agenzia Stefani: l'arma segreta di Mussolini*, Milano, Mondadori.
- Casalena Maria Pia, 2007, *Per lo Stato, per la Nazione. I congressi degli scienziati in Francia e in Italia*, Roma, Carocci.
- Ceserani Remo, 1993, *Treni di carta. L'immaginario in ferrovia: l'irruzione del treno nella letteratura moderna*, Torino, Marietti.
- Comune di Siena, 1992, *Giovanni Caselli 1815-1891*, Siena, Circoscrizione n. 3.
- De La Rive Auguste, 1867, “Carlo Matteucci”, *Il Nuovo Cimento. Giornale di Fisica, Chimica e Storia Naturale*, tomo XXVIII, Pisa, Tip. Pieraccini.
- Dumas Alexandre, 1961, *Il conte di Montecristo*, vol. I, Milano, Editoriale Lucchi.
- Fari Simone, 2008, *Una penisola in comunicazione. Il servizio telegrafico italiano dall'Unità alla Grande Guerra*, Bari, Cacucci.
- Ferraris Maggiorino, 1889, “La riforma telegrafica esaminata ne' suoi vari aspetti”, *Nuova Antologia di Scienze, Lettere ed Arti*, terza serie, vol. XIX, fasc. I.
- Figuiet Louis Guillaume, 1860, *Esposizione e storia della telegrafia*, versione italiana di Giuseppe Carloni, Montepulciano, Tip. Fumi.
- Garratt Gerald R.M., 1994, “Telegrafia”, in Charles Singer, Eric John Holmyard, A. Rupert Hall, Trevor I. Williams (a cura di), *Storia della tecnologia*, vol. IV, tomo II, *La rivoluzione industriale, circa 1750-1850*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Giannetto Marina, 1992, “Introduzione”, in Guido Melis (a cura di), *L'amministrazione centrale dall'Unità alla Repubblica. Le strutture e i dirigenti*, IV, Patrizia Ferrara, Marina Giannetto (a cura di), *Il Ministero della cultura popolare. Il Ministero delle poste e telegrafi*, Bologna, Il Mulino.
- Giuntini Andrea, 2004, “Il potere dei cavi. Le telecomunicazioni sottomarine nel Mediterraneo”, in Andrea Giuntini (a cura di), *Sul filo della comunicazione. La telegrafia nell'Ottocento fra economia, politica e tecnologia*, Quaderni di Storia Postale, n. 28.

- Headrick Daniel R., 1991, *I tentacoli del progresso: il trasferimento tecnologico nell'età dell'imperialismo (1850-1940)*, Bologna, Il Mulino.
- Hugill Peter J., 2005, *Le comunicazioni mondiali dal 1844. Geopolitica e tecnologia*, Milano, Feltrinelli.
- Maggi Stefano, 1996, *Colonialismo e comunicazioni. Le strade ferrate nell'Africa Italiana (1887-1943)*, Napoli, Esi.
- Maggi Stefano, 2007, *Le ferrovie*, Bologna, Il Mulino.
- Majorana Quirino, 1911, "Posta, telegrafo, telefono", in *Cinquanta anni di storia italiana*, vol. I, Milano, Hoepli.
- Mattelart Armand, 1998, *L'invenzione della comunicazione. Le vie delle idee*, Milano, Il Saggiatore.
- Mazziotti Matteo, 1914, *La posta, il telegrafo, il telefono*, in Orlando Vittorio Emanuele (a cura di), *Primo trattato completo di Diritto amministrativo italiano*, vol. VII, parte seconda, Milano, Società Editrice Libreria.
- Melillo Enrico, 2005, *Ordinamenti postali e telegrafici degli antichi Stati italiani e del Regno d'Italia*, a cura di Fari Simone, Tomo VIII, Quaderni di Storia Postale, n. 29.
- Ministero delle Poste e dei Telegrafi, 1896, *Indicatore postale-telegrafico del Regno d'Italia per l'anno 1896*, seconda edizione, Roma, Tip. dell'Unione cooperativa editrice.
- Ministero delle Poste e dei Telegrafi, 1896, *Ordinamento del servizio telegrafico*, Roma, Tip. Nazionale G. Bertero.
- Pagni Giuseppe, 1887, *Il telegrafo universale del prof. Giovanni Caselli*, Firenze-Roma, Tipografia dei Fratelli Bencini.
- Paoloni Giovanni, 2004, "Il servizio dei telegrafi nell'Italia post-unitaria. Aspetti istituzionali", in Andrea Giuntini (a cura di), *Sul filo della comunicazione. La telegrafia nell'Ottocento fra economia, politica e tecnologia*, Quaderni di Storia Postale, n. 28.
- Paoloni Giovanni, 2004, "Origini e sviluppi della rete telegrafica", in Valerio Castronovo (a cura di), *Le Poste in Italia. Da amministrazione pubblica a sistema d'impresa*, Roma-Bari, Laterza.
- Pascoli Giovanni, 1978, "La via ferrata", in Giovanni Pascoli, *Myricae*, a cura di Nava Giuseppe, Roma, Salerno Editrice.
- Pesendorfer Franz (a cura di), 1987, *Il governo di famiglia in Toscana. Le memorie del granduca Leopoldo II di Lorena (1824-1859)*, Firenze, Sansoni.
- Quintavalle Umberto, 1915, *La posta, il telegrafo, il telefono*, Milano, Federazione italiana delle biblioteche popolari.
- Rigutini Giuseppe, Fanfani Pietro, 1880, *Vocabolario italiano della lingua parlata*, Firenze, Barbera Editore.
- Salimbeni Leonardo, 1869, *Il telegrafo elettro-magnetico. Lezione popolare tenuta nella sala del Circolo cittadino di Modena il 16 marzo 1868*, Milano, Treves.
- Verne Jules, 1970, *Una città galleggiante. Avventure di tre russi e tre inglesi nell'Africa australe*, Milano, Mursia.

## La nascita della telefonia: da Antonio Meucci al successo globale

### L'invenzione

Esempi di telefonia, cioè della trasmissione a distanza della voce tra due punti prescelti, una delle aspirazioni connaturate con la civiltà umana, si hanno almeno nell'antica Grecia, in epoca romana e in Cina prima dell'anno 1000. Tutti, basati sul trasporto del suono attraverso l'aria, impiegavano tubi o canalizzazioni artificiali o naturali, in grado anche di amplificare il suono originario: l'*orecchio di Dionisio* presso Siracusa è forse l'esempio più famoso. La distanza raggiungibile rimaneva ovviamente il loro limite intrinseco.

La telefonia a qualunque distanza, come oggi la conosciamo, si basa sull'utilizzo dei fenomeni elettrici o, più esattamente, elettromagnetici. La sua origine è della metà del secolo XIX e ha beneficiato del contributo fondamentale, internazionalmente riconosciuto, di invenzioni e intuizioni italiane, anche se il loro sfruttamento industriale e commerciale è stato fatto in altri paesi.

La storia e la cronaca di quel periodo attestano che due italiani hanno avuto, indipendentemente l'uno dall'altro, l'intuizione innovativa e geniale di trasmettere la voce mediante l'elettricità: Antonio Meucci (Firenze, 1808 – Staten Island, New York, 1889) e Innocenzo Manzetti (Aosta, 1826 – Aosta, 1877), il primo emigrato da Firenze prima a Cuba nel 1835 e poi a New York nel 1850, il secondo nato e vissuto ad Aosta.

A chi si può attribuire la paternità dell'invenzione del telefono? Ripercorriamo le vicende delle loro invenzioni<sup>1</sup>.

Nel 1849 Meucci, durante alcuni esperimenti di elettrologia ed elettroterapia, ottiene casualmente la trasmissione della parola per via elettrica ed osserva:

Pensai che avessi udito il suono più distintamente del naturale, quindi posi la parte in rame del mio strumento vicino all'orecchio, e sentii il suono della sua voce attraverso il filo. Questa fu la mia impressione, e l'origine della mia idea della trasmissione della voce umana tramite l'elettricità.

Dopo il suo trasferimento a New York Meucci continua a lavorare molto alla sua scoperta del 1849 (chiamata da lui "telettrofono") sperimentando una grande varietà di telefoni, che impiega per il collegamento tra il suo laboratorio e la stanza in cui sua moglie Ester è costretta a letto, a partire dal 1854, a causa dell'artrite reumatoide.

<sup>1</sup> Respighi 1930; Catania 1994, 1996, 2003; <http://www.innocenzomanzetti.it>.

In un appunto del 1857 di Meucci descrive così il telefono:

[...] consiste in un diaframma vibrante e in un magnete elettrizzato da un filo a spirale che lo avvolge. Vibrando, il diaframma altera la corrente del magnete. Queste alterazioni di corrente, trasmesse all'altro capo del filo, imprimono analoghe vibrazioni al diaframma ricevente e riproducono la parola.

Lo strumento usato in questi esperimenti è mostrato nella Figura 1.

Negli anni 1858-60 ottiene un primo soddisfacente risultato usando un nucleo magnetico permanente ed una bobina. Questo apparecchio ha già tutti i requisiti di un moderno telefono, ad eccezione del diaframma di pelle animale con un bottone di ferro al centro, e funziona correttamente. Dal 1860 inizia a cercare finanziatori per la sua invenzione, che egli pensa ormai pronta per essere messa a disposizione della comunità, ma non riesce a trovare i finanziamenti, nemmeno in Europa, necessari per l'ingegnerizzazione e la commercializzazione del suo "telettrofono".

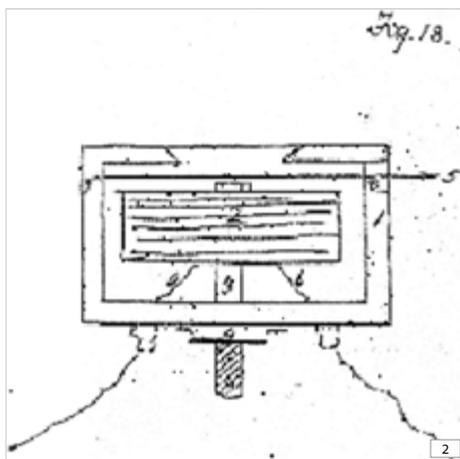
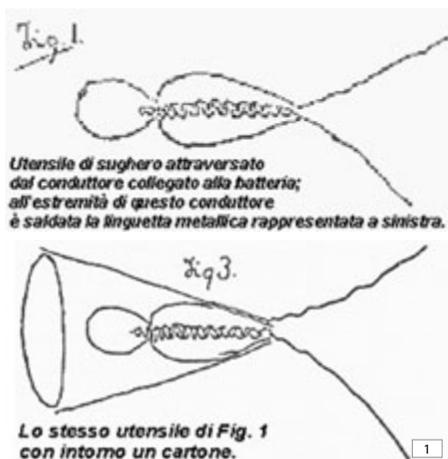
Riesce anche a perfezionare l'apparecchio telefonico (Fig. 2), che lui definirà successivamente in uno degli *affidavit* (dichiarazione giurata): "[...] Questo fu il miglior strumento che mai feci per trasmettere e ricevere le parole [...]"

Finalmente il 28 dicembre 1871, Meucci, con ammirevole coraggio e perseveranza, riesce a fondare la "Telettrofono Company", con l'obiettivo di rendere operativa la sua invenzione, e a depositare presso l'Ufficio Brevetti statunitense, a Washington, il *caveat* (preliminare di brevetto) n. 3335 dal titolo "Sound Telegraph", che descrive sommariamente la sua invenzione, in attesa di trovare altro denaro (circa 250 dollari) per depositare un brevetto regolare e più dettagliato sul telettrofono. Nel 1874 purtroppo la "Telettrofono Company" si scioglie nel giro di pochi mesi per la morte di un socio e la partenza per l'Europa degli altri due, e Meucci non riesce a trovare le risorse economiche per rinnovare il *caveat*.

A partire da questa data l'invenzione del telefono prende una strada completamente diversa e coronata da indubbi e meritati successi. Nel 1876 Alexander Graham Bell (Edimburgo, 1847 – Cape Breton Island, Canada, 1922) deposita il suo brevetto n. 174.465, primo brevetto sul telefono definito "Improvement in telegraphy", e nel 1877 fonda la Bell Telephone Company, che in pochissimi anni diviene un vero e proprio impero economico. Fu nello stesso anno che Bell dimostra in un consesso di scienziati la validità del suo brevetto e che viene installato il primo telefono negli Stati Uniti (Figg. 3 e 4).

Meucci cerca ripetutamente di rivendicare almeno la paternità della sua invenzione e intenta una causa, ma, in pieno dissesto economico, la perde anche grazie a qualche falsa testimonianza contraria. Secondo il giudice, con sentenza emessa nel 1887, Meucci avrebbe infatti inventato un telefono meccanico, mentre quello oggetto del brevetto di Bell è elettrico. Meucci muore povero e angustiato, ma anche risolutamente consapevole del grande valore della sua invenzione. Solo l'11 giugno 2002 con la risoluzione 269 il Congresso degli Stati Uniti riconosce finalmente Meucci come l'inventore del telefono:

[...] the life and the achievements of Antonio Meucci should be recognized, and his work in the invention of the telephone should be acknowledged.



**Figura 1.** Terminazione dei due conduttori utilizzati da Antonio Meucci nei suoi esperimenti di elettroterapia del 1849; in basso l'utensile, dopo la scoperta sulla trasmissione della voce, è racchiuso, per motivi di sicurezza, in un cono di cartone (disegni originali).

**Figura 2.** Il prototipo di apparecchio telefonico, realizzato con una scatola di sapone da barba, con dentro una bobina e un diaframma completamente metallico, è già strutturato in tutte le sue parti come il telefono commercializzato da Alexander Graham Bell.

**Figura 3.** Alexander Graham Bell dimostra il funzionamento della sua invenzione in collegamento telefonico con un gruppo di scienziati a Boston (1877).

**Figura 4.** Il primo telefono commercializzato dalla Bell Telephone Company fu installato per collegare l'ufficio di un banchiere di Boston con la propria abitazione a Somerville, Massachusetts (1877).

Più o meno negli stessi anni della metà del XIX secolo un altro italiano, Innocenzo Manzetti, arriva indipendentemente all'invenzione del telefono, da lui chiamato "telegrafo parlante". Inventore eclettico e prolifico, e anche sfortunato, realizza la prima automobile a vapore (probabilmente 16 anni prima di quella 'ufficiale' di Bollé), la macchina per fare la pasta in casa (brevettata nel 1857 e sfruttata commercialmente da una azienda inglese) e soprattutto il "suonatore di flauto", automa a grandezza naturale esempio di primo motore pneumatico al mondo, capace di muoversi e di suonare numerosi brani musicali. Proprio per dotare della parola il suonatore di flauto Manzetti si occupa della trasmissione a



**Figura 5.** Disegno che propone la "cornetta" telefonica inventata dal Manzetti e presentata al pubblico nel 1865<sup>2</sup>.

distanza della voce, realizzando un telefono basato sul fenomeno dell'induzione elettromagnetica (Fig. 5).

La notizia di questa invenzione, riportata con rilievo nel 1865 dalla stampa nazionale e dalla stampa americana in lingua italiana, giunge anche a Meucci, il quale, dopo una verifica tramite amici italiani della non conoscenza della sua invenzione da parte del Manzetti, pur continuando a rivendicare la sua primogenitura, riconosce con scientifica obiettività<sup>3</sup>.

[...] Io non posso negare al sig. Manzetti la sua invenzione, ma soltanto voglio far osservare che possono trovarsi due pensieri che abbiano la stessa scoperta, e che unendo le due idee si potrebbe più facilmente arrivare alla certezza di una cosa così importante. Se mai per combinazione vi trovaste col detto sig. Manzetti o con qualche suo amico, vi prego di comunicargli quanto vi ho detto e ve ne anticipo i miei ringraziamenti [...].

L'invenzione del Manzetti ottiene una certa risonanza anche in Europa (*Le petit journal* di Parigi e la *Electrical Review* di Londra) e, ceduta dagli eredi dopo la sua morte a due stranieri (uno dei quali sembra fosse il presidente della Bell Telephone Company del Missouri), prende la via degli Stati Uniti e di tutti i relativi documenti se ne perdono le tracce. Come dice il Respighi<sup>4</sup>:

[...] Una tale invenzione, non desunta da altri, pur essendo stata preceduta ed essendosi incrociata con le analoghe altre prime invenzioni del Telefono, precedente però in ogni caso al Bell, costituisce un grande titolo d'onore pel Manzetti ed un'altra indiscutibile documentazione del Genio inventivo Italiano. Anche il Manzetti, come Meucci, non ebbe fortuna, né poté trarre applicazioni industriali e vantaggi economici dalla sua invenzione ed alcune trattative avanzate da ditte americane per la cessione dei diritti della invenzione non ebbero esito [...].

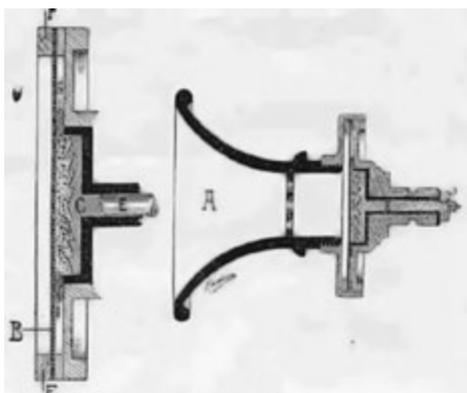
È giusto riconoscere che Meucci e Manzetti sono arrivati indipendentemente alla invenzione del telefono e prima di altri: evidentemente l'idea era matura come è dimostrato da analoghe invenzioni proposte in altri paesi in quel periodo<sup>5</sup>. Pare altresì altrettanto doveroso riconoscere a Meucci la definitiva paternità dell'invenzione del moderno telefono basandosi sulla cronologia della documentazione disponibile della sua invenzione e sull'esito successivo della vicenda della sua rivendicazione.

<sup>2</sup> Catania 1994.

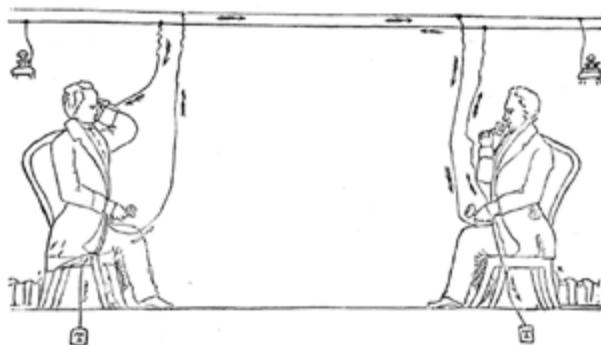
<sup>3</sup> Da una lettera di Meucci al *Commercio* di Genova, 1865.

<sup>4</sup> Respighi 1930.

<sup>5</sup> Respighi 1930.



**Figura 6.** Uno dei primi modelli di microfono a capsula di carbone di Thomas Alva Edison.



**Figura 7.** Trasmissione telefonica a 4 fili proposta da Meucci.

## Lo sviluppo successivo

Fin da quando nel 1849 si accorge che la voce può essere trasmessa per via elettrica, Meucci stesso capisce che per poter passare dal prototipo del teletrofono alla ingegnerizzazione di un sistema funzionante e commerciabile molti sarebbero stati i problemi da affrontare e risolvere.

In effetti la nascita e l'evoluzione prima del telegrafo e poi del telefono e la realizzazione dell'attuale sistema telefonico internazionale hanno proposto e stimolato fin dall'inizio numerose sfide tecniche e tecnologiche, che hanno interessato ed interessano tutt'oggi molti settori della scienza e dell'ingegneria.

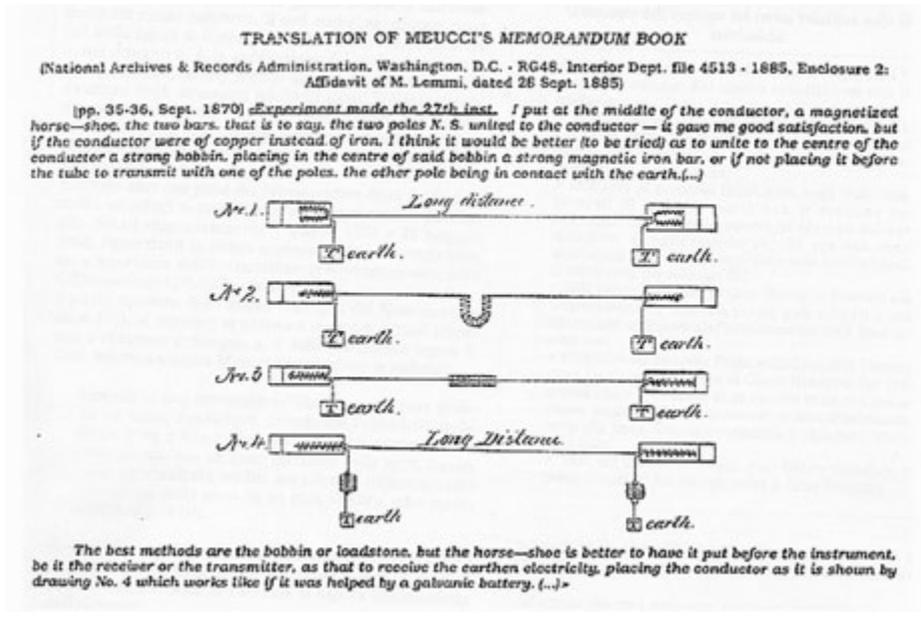
Uno dei primi problemi che Meucci affronta è quello del trasduttore per la conversione della voce in segnale elettrico. Il primo esempio di microfono è un diaframma di pelle animale con un bottone metallico, che funziona abbastanza bene in ricezione ma presenta qualche limite in trasmissione. Questa stessa struttura sarà praticamente impiegata anche nei primi telefoni di Bell.

Solo nel 1877 Thomas Alva Edison inventa il microfono a carbone (Fig. 6), poi perfezionato dall'inglese Henry Hunnings nel 1878, e da allora la tecnologia per la realizzazione dei microfoni si è evoluta incessantemente e oggi esistono diverse tipologie di microfoni ottimizzate per le più svariate applicazioni, che vanno ben oltre l'impiego negli apparecchi telefonici.

Fin dal 1857 Meucci inizia ad interessarsi al problema del cosiddetto "effetto locale", ovvero il passaggio diretto della voce del parlatore e del rumore ambientale dal microfono al proprio ricevitore. Come si deduce da un disegno eseguito nel 1858 dall'amico pittore Nestore Corradi, la soluzione "antilocale" adottata da Meucci è quella che oggi viene denominata "circuito a quattro fili" con separazione completa delle due direzioni di trasmissione (Fig. 7).

A partire dai primi anni del 1900 le reti Bell adottano i primi dispositivi antilocali.

L'attività di Meucci fin dal 1870, come emerge dall'*affidavit* in lingua inglese dell'avvocato Michael Lemmi, con gli appunti e i disegni dell'inventore



**Figura 8.** Schema di Meucci per collegamento a grande distanza.

fiorentino, si concentra anche sul problema dei collegamenti a grande distanza (Fig. 8).

Meucci per primo concepisce la teoria del carico induttivo, che sarebbe stata formalizzata da Oliver Heaviside nel 1887 e che soltanto nel 1889 Michael Pupin, della Columbia University, e George Campbell, della AT&T, in maniera indipendente, sviluppano ulteriormente al fine di garantire un buon livello di qualità del collegamento telefonico su linee di elevata lunghezza (la cosiddetta *pupinizzazione* delle linee).

Le linee telefoniche richiedono prestazioni migliori rispetto alle linee telegrafiche, già largamente diffuse a partire dagli anni quaranta del 1800. Meucci compie numerosi esperimenti al fine di individuare materiali e soluzioni nuove per aumentare le prestazioni dei cavi elettrici. Egli già nel 1870 propone l'impiego di cavi di rame anziché di ferro, di sezione maggiore rispetto a quelli usati per il telegrafo, eventualmente realizzati intrecciando un certo numero di fili a sezione inferiore. Un grande risultato della tecnica di quel periodo fu la posa dei cavi telegrafici intercontinentali sottomarini fra l'Europa e l'America. Questo evento meritò per i contemporanei l'appellativo di "ottava meraviglia del mondo" (Fig. 9).

I cavi sottomarini richiedono in particolare:

- la minimizzazione dell'attenuazione per unità di lunghezza, richiedendo, oltre a opportune scelte tecnologiche per la realizzazione del cavo, la presenza di un certo numero di amplificatori lungo la tratta;
- l'elevata robustezza meccanico-strutturale (campate di elevata lunghezza, correnti marine, morfologia del fondale, ecc.);

- la resistenza agli agenti ambientali (salinità dell'acqua, temperatura, attacco di animali marini, ecc.);
- procedure complesse e poco affidabili per il trasporto e la posa.

Per il telefono, anche se si iniziano a sviluppare cavi sottomarini a partire dal 1920, il primo cavo transatlantico, il TAT-1, è posato con successo soltanto nel 1956 (con una capacità iniziale di 36 circuiti). Nel 1988 viene

posato il primo cavo transatlantico TAT-8 in fibra ottica, che rispetto al rame presenta maggiore immunità ai disturbi elettromagnetici, attenuazione minore e maggiore larghezza di banda.

Il dispositivo di chiamata ha il compito di richiamare l'attenzione dell'utente chiamato (o dell'operatore in centrale prima dell'avvento delle centrali di commutazione automatiche). Nel 1871 nel suo *caveat* Meucci descrive un sistema di chiamata di tipo telegrafico. Nel 1878 Thomas Watson, giovane aiutante di Bell, inventa un sistema di chiamata con generatore magnetico a manovella (noto in inglese col nome di *magneto call*), sistema che diviene di uso quasi generale a partire dal 1880, rimanendo in servizio attivo, sia pure con qualche modifica, per oltre 15 anni. È del 1882 il primo apparecchio telefonico da parete costruito per la Bell System dalla Western Electric con manovella laterale per l'azionamento del dispositivo di chiamata, celebrato in molti film successivi.

Il servizio di commutazione nelle centrali è inizialmente svolto manualmente, generalmente da donne, che lavorano di fronte a speciali banchi, ognuno dei quali controlla una cinquantina di abbonati, ciascuno individuato da una piastrella di legno riportante il suo numero. Quando un abbonato si mette in comunicazione con la centrale la sua piastrella si ribalta, l'operatrice si accorge così della richiesta e procede alle necessarie commutazioni per metterlo in contatto con il destinatario. Il rapido incremento degli utenti, soprattutto negli Stati Uniti, pone presto notevoli problemi di gestione delle centrali manuali di commutazione. Nel 1888 Almon Brown Strowger inventa il primo commutatore automatico per la telefonia, brevettato il 30 ottobre del 1891 e l'anno successivo nasce a La Porte, Indiana, la prima centrale automatica elettromeccanica con 75 utenti e la capacità di 99. Nel 1896 tre impiegati di Strowger (Alexander E. Keith e i fratelli John e Charles Erickson) depositano il brevetto del disco combinatorio che venne usato per decenni fino alla sua



**Figura 9.** Litografia del 1866, per commemorare la posa del primo cavo telegrafico transatlantico per il collegamento tra gli Stati Uniti e il Regno Unito.



**Figura 10.** Il satellite per telecomunicazioni Anik di Telesat in orbita dal 1991.

sostituzione con gli apparecchi a tastiera. Dal 1919 la Bell System inizia ad installare apparecchi telefonici muniti di disco combinatore, anche se per le chiamate a grande distanza l'assistenza dell'operatore rimane necessaria ancora per molto tempo. A partire dalla prima metà degli anni '70 del secolo scorso inizia il processo di digitalizzazione della rete telefonica dapprima nell'ambito della trasmissione e, successivamente, anche nella commutazione. L'intero processo si concluse nella seconda metà degli anni '90.

Agli inizi degli anni '60 del secolo scorso iniziano ad essere lanciati i primi satelliti geostazionari per le telecomunicazioni, prima militari e nel 1965 commerciali da parte del consorzio internazionale Intelsat. È interessante ricordare che la paternità dell'idea di un satellite geostazionario (cioè con un'orbita sincrona con il movimento di rotazione della Terra in modo da apparire fissa rispetto alla superficie terrestre) è dello scrittore di fantascienza Arthur C. Clarke (più noto come autore del famoso film *2001: Odissea nello spazio*) che la propone per primo nel 1945. Sono occorsi venti anni per la sua realizzazione pratica. Un tipico satellite moderno per applicazioni commerciali è mostrato nella figura 10.

Infine negli ultimi venti anni la grande evoluzione da telefonia fissa a telefonia mobile con i telefoni cellulari, ormai più diffusi degli apparecchi fissi, sintesi di

due scoperte italiane, il telefono di Meucci e la radio di Guglielmo Marconi, e la convergenza in atto tra rete telefonica e Internet.

## La diffusione del telefono

Come molte nuove invenzioni che toccano un aspetto concreto della vita di tutti i giorni, il telefono suscita subito interesse, dibattiti, aspettative nella pubblica opinione, sia pure ristretta in quel periodo ad una *élite* che legge i giornali. È curioso però ricordare che alcuni ‘addetti ai lavori’ non condividono la stessa opinione. Come quel Direttore Generale del British Post Office che, messo al corrente della invenzione del telefono di Bell, commenta di non vedere un futuro per quel dispositivo nel Regno Unito poiché quel paese ha una efficiente rete di messaggeri. Oppure come il suo collega americano che, più ottimisticamente, prevede, un giorno, la possibilità di un telefono in ogni città degli Stati Uniti. O ancora per rimanere in casa nostra come un ministro italiano dell’epoca che ritiene l’invenzione di Manzetti inutile, destinata all’insuccesso e persino pericolosa per la sicurezza nazionale (l’assenza del funzionario pubblico, presente invece nel telegrafo, permetterebbe comunicazioni tra la gente senza alcun controllo!).

Invece il telefono inizia la sua diffusione, molto accelerata dopo la prima guerra mondiale, prima negli Stati Uniti e poi in Europa. Nel 1885, a soli nove anni dal primo brevetto Bell, la American Telephone and Telegraph Company (AT&T) completa il collegamento tra New York e Philadelphia e già nel 1915 la rete sviluppata a partire da New York raggiunge San Francisco. Nel 1890 solo negli Stati Uniti esistono più di 200.000 apparecchi telefonici, mentre in Europa verso la fine del diciannovesimo secolo solo a Berlino risultano installati più di 16.000 apparecchi. Negli anni 1900–1915 gli Stati Uniti vedono crescere il numero di installazioni telefoniche da poco più di un milione a più di sette milioni (circa 1 ogni 12 abitanti). In Italia gli utenti sono quasi ottantamila nel 1911 e circa centomila nel 1915. Nel 1940 nel mondo risultano installati circa cinquanta milioni di apparecchi, di cui poco meno della metà negli Stati Uniti. Nel 1976 si superano i dieci milioni di linee fisse in Italia. Nel 1988, all’alba della rivoluzione cellulare, le utenze telefoniche in Italia superano i venti milioni. Oggi nel mondo la telefonia fissa ha una penetrazione di 20 utenti ogni 100 abitanti, prevista sostanzialmente stabile o in leggera crescita, e la telefonia mobile supera la soglia di 50 utenti per 100 abitanti, prevista ancora in rapida crescita<sup>6</sup>.

Se riflettiamo per un momento sulla funzionalità, oggi considerata scontata, della rete di telecomunicazione globale di offrire connessioni multiple, sempre disponibili, simultanee e praticamente istantanee fra utenti comunque ubicati, sembra appropriato concludere, come è stato osservato, che l’invenzione del telefono ha prodotto il sistema distribuito più complesso mai realizzato nella storia dell’umanità.

<sup>6</sup> International Telecommunication Union, [www.itu.int](http://www.itu.int)

## Bibliografia

- Catania Basilio, 1994, *Antonio Meucci – L'Inventore e il suo Tempo – Da Firenze a L'Avana*, vol. 1, Roma, Seat - Divisione STET, Editoria per la Comunicazione.
- Catania Basilio, 1996, *Antonio Meucci – L'Inventore e il suo Tempo – New York 1850-1871*, vol. 2, Torino, Seat - Divisione STET.
- Catania Basilio, 2003, "Antonio Meucci. Una vita per la scienza e per l'Italia," Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie per l'Informazione (ISCT), Roma, aprile 2003 ([http://meucci.ing.unifi.it/goodies/Biografia\\_Meucci.pdf](http://meucci.ing.unifi.it/goodies/Biografia_Meucci.pdf)).
- <http://www.innocenzomanzetti.it>
- International Telecommunication Union, [www.itu.int](http://www.itu.int)
- Respighi Luigi, 2008, *Per la priorità di Antonio Meucci nell'invenzione del telefono*, a cura del Comitato Nazionale per il bicentenario della nascita di Antonio Meucci, Firenze University Press (Ristampa della relazione presentata al Consiglio Nazionale delle Ricerche nel 1930).

## Pragmatica di un'invenzione. Guglielmo Marconi e le comunicazioni radio

In un discorso pronunciato all'Augusteo di Roma il 21 novembre 1926, alla presenza dei Sovrani d'Italia, Guglielmo Marconi chiarisce che ha scelto come titolo la parola "Radiocomunicazioni" anziché Radiotelegrafia o Telegrafia senza fili "poiché, al giorno d'oggi, l'impiego delle onde elettriche irradiate attraverso lo spazio non è affatto limitato a soli scopi telegrafici". Al che fa seguire una breve ricognizione, includente: telefonia senza fili, broadcasting, trasmissione di immagini e fac-simili, visione a distanza. Inoltre, più avanti, descrive esperimenti che prefigurano chiaramente il radar.

Risulta abbastanza sorprendente, per i non specialisti, constatare che – più di 80 anni fa – si potesse disegnare un profilo già così preciso e articolato delle radiocomunicazioni, un profilo in buona parte corrispondente agli sviluppi che ci hanno accompagnati, senza soluzione di continuità, fino all'attuale onnipresenza del *wireless*. Per quella ormai numerosa famiglia Marconi era il nume, il capostipite, l'indiscusso patriarca, che per di più continuava imperterrito a progettare nuove applicazioni (Fig. 1).

Era davvero un "mago", come lo si definiva agli esordi della sua avventura? Naturalmente no, anche se il suo essere dotato di fortissima personalità e di una capacità quasi magnetica di ottenere l'attenzione delle persone, lo rendeva già a prima vista singolare. Non gli venne però riconosciuto fin dall'inizio quel talento specifico traboccante che suscita ammirazione immediata e stupita come per un Leonardo o un Mozart. Il suo era un talento poliedrico, sfaccettato, composto da numerose tessere che contribuirono tutte, in vario modo, a portare a piena realizzazione un programma che nessun altro aveva osato concepire. Per questo è opinione comune che Marconi sia stato una figura-chiave del passaggio alla modernità, non solo per l'efficacia e la longevità della sua invenzione ma anche per il modo in cui la propose e quasi la impose, coltivandola e facendola crescere per oltre quarant'anni. All'inizio "fu la telegrafia senza fili", ma poi si comprese che più che un nuovo individuo era apparsa sulla scena del mondo tecnologico una nuova specie i cui individui si differenziavano via via per dar luogo a nuove applicazioni e nuove avventure (Fig. 2).

È chiaro di conseguenza che in un libro sulla storia delle telecomunicazioni non poteva mancare un saggio su Guglielmo Marconi. Ma proprio per la sua capacità di dare contributi originali un po' dovunque si utilizzasse la tecnologia *wireless*, un saggio con pretesa di completezza avrebbe invaso praticamente tutti i settori o quasi di cui parla questo libro. È sembrato più conveniente lasciare che il contributo di Marconi apparisse nei singoli saggi tematici ove opportuno.



1



2



3



4

**Figura 1.** Foto di gruppo della famiglia Marconi, con il giovane Guglielmo in piedi al centro. Guglielmo nacque a Bologna il 25 aprile 1874, secondogenito di Giuseppe Marconi, possidente terriero, e dell'irlandese Annie Jameson. Il fratello Alfonso aveva nove anni più di lui (Fondazione Marconi, Collezione Cassoli).

**Figura 2.** Villa Griffone e Mausoleo Marconi. La Villa, all'epoca residenza della famiglia Marconi e oggi sede del Museo Marconi, si trova in località Pontecchio, a circa 15 km da Bologna. Il Mausoleo, eretto ai piedi della Villa su progetto di Marcello Piacentini, ospita la salma dell'inventore dal 1941 (Fondazione Marconi).

**Figura 3.** Il prof. Vincenzo Rosa (1848-1908) che Guglielmo Marconi ha più volte indicato come il suo maestro, in particolare nella Nobel Lecture. La frequentazione del laboratorio di Rosa e le lezioni teoriche seguite permisero al giovane Guglielmo di proseguire la sua formazione individualmente.

**Figura 4.** La rivista *L'elettricità* alla quale Guglielmo Marconi era abbonato, come è dimostrato da manoscritti di famiglia e nella quale egli poté leggere la descrizione degli esperimenti fondamentali di Hertz.

Nello stesso tempo sul grande inventore sono state già scritte molte biografie, da storici, famigliari, collaboratori e aggiungere un ulteriore tentativo di questo tipo non sarebbe stato molto produttivo. Si doveva dunque seguire una via diversa, a costo di dare una visione parziale. La via scelta affronta il percorso che ha portato il giovane Guglielmo alla invenzione, accennando allo scenario presente ai suoi tempi, e lumeggiando lo sviluppo applicativo dallo stesso Marconi intuito. Dote eccezionale di Marconi fu infatti la capacità di immaginare una scenografia dove gli altri nemmeno vedevano un nudo palcoscenico. E non solo immaginarla ma trasformarla a poco a poco, con somma determinazione, in realtà. Questo è ciò che s'intende – in estrema sintesi – quando si parla di innovazione, e questo è ciò che esattamente fece, a più riprese, Guglielmo Marconi, aiutato in questo dalle diverse “anime” che componevano la sua complessa personalità; illuminare questi aspetti utilizzando parte della sua avventura è lo scopo di questo saggio.

## L'invenzione

È noto che Marconi non ebbe un curriculum di studi regolare, e men che meno universitario. Durante una permanenza a Livorno la famiglia lo spinse a raggiungere il diploma di perito industriale, cosa che non gli riuscì. Questo soggiorno fu utile nondimeno per le lezioni private che a Guglielmo vennero impartite dal matematico Giotto Bizzarrini e dal fisico Vincenzo Rosa (Fig. 3), che Marconi definisce più volte il suo “maestro”. Nello scenario scientifico del momento i presupposti teorici – le equazioni di Maxwell – e anche, in parte, sperimentali – i fondamentali esperimenti di Hertz – per avviare un nuovo modo di comunicare a distanza erano a disposizione di tutti. Infatti al giovane bolognese bastò l'assidua frequenza di un ottimo insegnante, il già citato Vincenzo Rosa, e l'abbonamento a una rivista scientifica importante (*L'Electricità*) (Fig. 4) per familiarizzarsi con l'argomento fino al punto di decidere che poteva provare per conto suo, privilegiando l'esperienza diretta rispetto ad un ulteriore approfondimento teorico, come qualcuno, tra cui forse Augusto Righi, il più grande scienziato italiano dell'epoca sull'elettromagnetismo, sembrerebbe avergli consigliato. Il rapporto tra Marconi e Righi ci fu certamente – lo stesso Marconi dichiara già nel discorso del Nobel che era al corrente del suo lavoro, come di quello di altri fisici dell'epoca, Edouard Branly, Oliver Lodge ecc. – ma fu episodico tanto che Righi non si considerò mai il maestro di Marconi, se non in modo assai lato, come ebbe a dichiarare in una intervista sul giornale di Bologna “Il Resto del Carlino”. Ora: che un ragazzo con la tendenza a vivere quasi sempre isolato sia in grado di formarsi in breve tempo un armamentario tecnico-scientifico di rilievo – la lettura dell'*Electricità* richiedeva solide basi – è già un segno di indubbio talento. A partire da questo, il fatto che Marconi fosse indiscutibilmente un *outsider* non deve però far dimenticare il contesto, lo sfondo in cui mosse i primi passi, contesto di cui fu comunque consapevole. Se il contesto è maturo, allora può sorgere un individuo particolarmente ricettivo e intraprendente capace di accendere quella scintilla che fa partire il nuovo processo. Così si ritiene che accada assai spesso per invenzioni e scoperte, e così accadde, in buona parte, anche per la telegrafia senza fili.

Tuttavia il senno di poi non aiuta di per sé a capire come mai proprio allora e come mai proprio quell'individuo: lo stesso Marconi si domandò più volte all'inizio della carriera come mai i più eminenti scienziati dell'epoca non lo avessero anticipato. A proposito dell'invenzione di Marconi (Premio Nobel per la Fisica 1909) ecco cosa affermò l'altro Premio Nobel Enrico Fermi, mettendo in evidenza l'intreccio tra esperienza e teoria che fu alla base del successo di Marconi:

È noto a tutti che le scoperte di Marconi furono in un primo tempo accolte con un certo scetticismo negli ambienti scientifici. Lo scetticismo era basato sulla convinzione che non fosse possibile la trasmissione delle radioonde tra stazioni situate una oltre l'orizzonte dell'altra. Si ragionava, infatti, press'a poco nel modo seguente: le onde elettromagnetiche usate nelle trasmissioni radio sono sostanzialmente analoghe alle onde luminose, dalle quali si differenziano solo per la grande lunghezza d'onda; e la terra, grazie alla sua conducibilità elettrica, si comporta per esse come un corpo opaco. Le radiazioni emesse da

una stazione, propagandosi in linea retta, debbono lasciare in ombra tutte le stazioni situate al di sotto dell'orizzonte della stazione trasmittente; e ciò salvo una non grande correzione dovuta a fenomeni di diffrazione. Fu una fortuna per l'umanità che queste argomentazioni, che a priori potevano sembrare ragionevoli e ben fondate, non abbiano distolto Marconi dagli esperimenti a grande distanza. La storia di questi primi successi delle radio trasmissioni, costituisce una riconferma del fatto che nello studio dei fenomeni naturali, teoria ed esperimento devono andare di pari passo. Raramente l'esperienza, non guidata da un concetto teorico, può raggiungere risultati di larga portata. È certo uno dei più significativi successi per la teoria che l'esistenza stessa e le proprietà essenziali delle onde elettromagnetiche fossero state previste matematicamente dal Maxwell, prima della verifica sperimentale della loro esistenza e prima che esse, attraverso la geniale intuizione di Marconi, trovassero il loro terreno di pratica applicazione; d'altra parte una fiducia eccessivamente spinta nelle previsioni teoriche avrebbe sconsigliato di insistere in esperimenti che erano destinati a rivoluzionare la tecnica delle comunicazioni.

Nel caso di Marconi dunque, quello che di norma costituisce un forte handicap (trovarsi alla periferia, non interagire con potenziali colleghi) risultò addirittura un vantaggio, perché lo preservò da un eccessivo condizionamento nella sua prima fase creativa e "coraggiosa" di attività. Il che, naturalmente, non bastava: occorreva uno spirito speciale per uscire dal "quadro mentale" e nel contempo tenere ben presenti la direzione e l'obiettivo, uno spirito che spinse appunto Marconi a insistere là dove non solo nessuno si aspettava qualcosa proprio da lui ma dove nessuno, eventualmente, avrebbe saputo cosa aspettarsi (Fig. 5).

Quest'ultimo rilievo va forse sottolineato. Vale a dire: è vero che il contesto era maturo, è vero che una serie di circostanze favorevoli (una certa qual fortuna che premia l'audace, il sostegno economico della famiglia, i legami con l'ambiente londinese grazie ai parenti della madre inglese) accompagnarono i suoi primi anni di pioniere delle radiocomunicazioni. Ma è altrettanto vero che Marconi, in particolare nel biennio 1894-1895 a Pontecchio, operò quasi completamente "al buio", senza avere cioè alcun riferimento autorevole con cui poter interloquire né mete o modelli da mutuare, una volta allontanatosi, per sua stessa decisione, anche da Augusto Righi, che non assecondava a sufficienza il suo anelito a una sperimentazione immediata.

Ecco quindi la prima tessera del composito talento marconiano: l'intuito, un furibondo intuito che – lungi dal proporsi con sfrontatezza o supponenza – non si lascia però scoraggiare né dalle difficoltà pratiche né dal vuoto pneumatico in cui è costretto a muoversi; un intuito che trova conforto sufficiente nella sicurezza tutta interiore di aver individuato l'obiettivo e che si regge sulla genuina fiducia nel fatto che, se l'obiettivo è giusto, deve esserci per forza una strada per raggiungerlo. Un intuito che non lo abbandonerà mai e che fu anche alla base del coraggio e della tenacia, le altre doti che contraddistinsero l'uomo.

In una simile prospettiva, non sono tanto e solo i pur notevoli ed essenziali accorgimenti tecnici introdotti nel 1895 (in primis il sistema antenna-terra) a fare di Marconi l'autentico iniziatore della radiotelegrafia, bensì il precoce strutturarsi di un'idea (attraverso l'aumento progressivo della distanza, il superamento di

un ostacolo naturale, la trasmissione di un segnale decodificabile) che risulta perfettamente definita già in occasione del primo celebre esperimento di Villa Griffone, quando il segnale “scavalcò” la Collina dei Celestini. È alla realizzazione di questa idea che Marconi lavorerà nel periodo 1895-1901 con coraggio e tenacia fino alla dimostrazione pratica conclusiva sull’Atlantico. Con quell’esperimento termina una prima fase: Marconi ha messo a punto tutta la strumentazione essenziale per costruire un radiosistema efficiente ed ha dimostrato al mondo la potenzialità pratica della sua idea originaria.

Dunque la ricorrente controversia sulla priorità e sui meriti dell’uno o dell’altro (che peraltro apparenta, quasi come uno schema, numerose e disparate invenzioni) perde buona parte del suo valore al cospetto di quell’idea completa, di quel progetto non solo realizzabile e realizzato ma migliorabile praticamente all’infinito, che né Nikola Tesla né Oliver Lodge né Aleksander Popov né Edouard Branly né altri seppero formulare prima di Marconi e che anzi, per qualche tempo, faticarono perfino a comprendere nelle sue più profonde implicazioni.

Si noti infine che, se il primo Marconi si giovò dell’isolamento per focalizzare meglio l’idea, il Marconi successivo, dal soggiorno a Londra in poi, si giovò invece della capacità di sfruttare al meglio uomini e conoscenze disponibili per individuare i passi da compiere per giungere all’obiettivo prefissato e i mezzi necessari. Questa attitudine continuerà ad accompagnarlo successivamente quando dalla radiotelegrafia si passerà alle altre straordinarie applicazioni delle onde elettromagnetiche.

## In pubblico

La nuova idea di Marconi, piccola ma già potenzialmente grande, doveva trovare al più presto un avallo ufficiale, un riscontro tecnico-istituzionale che la mettesse in grado di avviare il motore. Non trattandosi infatti di una “semplice” trovata geniale, bensì di un sistema che andava costantemente collaudato e modificato, la telegrafia senza fili abbisognava sia di un pubblico riconoscimento sia di un supporto logistico ed economico adeguato. Lo sbarco a Londra nel 1896 era la scelta più oculata, e si sa che a Londra, in poco più di un anno, Marconi ottenne due formidabili risultati: fu presentato al mondo nientemeno che dal Direttore del General Post Office e diede vita a una Società per lo sfruttamento commerciale della sua invenzione. Londra fu la scelta corretta, non solo per le entrate materne e per la sua importanza industriale, ma anche perché la più



**Figura 5.** Tavolo da lavoro del giovane Guglielmo Marconi, che aveva attrezzato il suo laboratorio nella “stanza dei banchi”, al piano alto di Villa Griffone. Proprio all’esterno della Villa, nel 1895, Marconi realizzò i primi esperimenti di radiotelegrafia oltre la distanza ottica e oltre un ostacolo naturale – la Collina dei Celestini (Museo Marconi, Collezione Bigazzi).



**Figura 6.** Esperimento effettuato da Guglielmo Marconi presso La Spezia nell'estate 1897. Fin dai primi anni, Marconi intuì l'immediata utilità applicativa del sistema *wireless* per le navi che si trovavano in alto mare (Fondazione Marconi).

diretta delle applicazioni della telegrafia senza fili era in campo navale e la Gran Bretagna di allora possedeva un'ingente flotta militare ed era il terminale europeo della maggior parte dei traffici commerciali con il nordamerica.

Questo salto dalla stanza dei banchi (il "laboratorio" di Villa Griffone) al cuore della City avvenne in maniera così repentina che 99 persone su 100 ne sarebbero state travolte.

Il poco più che ventenne Marconi, invece, non tremò. Assistito dalla madre Annie Jameson, che fin da subito credette in lui, e dal padre Giuseppe, che dopo un iniziale scetticismo fu prodigo di consigli e supporto economico, Marconi bruciò le tappe: diede con successo diverse dimostrazioni pratiche, depositò – grazie a una consulenza legale di alto livello – un brevetto inattaccabile, rispose prontamente all'invito italiano di replicare anche in patria le nuove esperienze radiotelegrafiche. Fu decisivo nel percorso londinese l'apporto del cugino, per parte di madre, Henry Jameson Davis che, esperto di innovazione e brevetti lo guidò passo passo introducendolo presso gli ambienti scientifici ed economici più qualificati della capitale (Fig. 6).

Infine il poco più che ventenne Guglielmo dovette affrontare il grande dilemma: fermarsi o andare avanti? Qui si giocava la sua vocazione e la sua vocazione, evidentemente, era quella di andare avanti. Per il momento, infatti, la sua creatura pareva un prodotto tutt'altro che sicuro a livello commerciale. Con pazienza e oculatezza, probabilmente avrebbe potuto ottenere una buona rendita vendendo il brevetto e/o accordandosi con il Post Office o con la Marina per una forma di consulenza. Tuttavia, dopo qualche esitazione, incoraggiato dal padre ed appoggiato dal cugino Henry, optò per la strada più difficile: la Società per azioni.

Oggi si direbbe che fece una *start up company* con *venture capital*, ovvero la forma imprenditoriale più idonea per chi ha in cantiere qualcosa di veramente nuovo. E un parallelo del genere sarebbe addirittura riduttivo, perché allora le incognite erano tantissime, e tali rimasero per diversi anni: il rischio che si assunsero i *venture capitalist* di allora difficilmente sarebbe accettato nell'ottica moderna. È certo comunque che la seconda tessera del suo multiforme talento – il fiuto imprenditoriale – si rivelò quasi altrettanto presto della prima e trovò subito un prezioso alleato nella terza: l'abilità nel comunicare, nel dare la migliore pubblicità possibile al proprio lavoro.

Le cronache delle regate, trasmesse in diretta radiotelegrafica dal mare (Royal Yachting Club, Irlanda 1898; Coppa America, Usa 1899), sono infatti una delle tante “prima volta nella storia” che portano la firma di Marconi e che poi saranno imitate fino a diventare consuetudine. Con esse Marconi amplifica la popolarità della sua invenzione e nel contempo sensibilizza le istituzioni, in particolare



**Figura 7.** Visita dei Reali d'Inghilterra alla stazione di Poldhu, Cornovaglia. Fin dal 1896 Marconi stabilì a Londra la sua centrale operativa e per i successivi 40 anni mantenne con il Regno Unito un rapporto privilegiato, secondo solo a quello con il Regno d'Italia (Marconi Archives, Bodleian Library, University of Oxford).

aprendo loro gli occhi sull'estrema utilità del *wireless* per tutte le imbarcazioni che si trovano in mare aperto. Non concepisce quindi solo una indovinata forma di “réclame”, ma traccia nuovi confini, riscrive la mappa delle applicazioni tecnologiche, e, così facendo, consolida le basi del notevole lavoro che lo aspetta.

Per chiarire: Marconi non ha mai venduto fumo. Il suo talento nell'accendere la fantasia del pubblico e suscitare l'interesse dei potenti non lo portò mai a promettere l'impossibile né a muoversi in maniera incoerente rispetto all'indomabile impeto con cui cercava un'efficacia sempre maggiore e allo sforzo di scoprire le potenzialità del mezzo che lui stesso aveva progettato. Quindi: bravo, bravissimo con i giornalisti, perfetto gentleman internazionale in grado di dialogare con sovrani e primi ministri, non però compiaciuto di tale dote. Ovvero: le ottime relazioni che seppe intrattenere per alcuni decenni non furono mai fini a se stesse, né d'altra parte ebbero l'unico scopo di procurargli guadagni e potere; ovviamente sia l'una che l'altra componente erano presenti, ma quel che più conta è che Marconi considerò sempre le pubbliche relazioni parte integrante del suo operare per l'innovazione nei sistemi comunicativi, e conseguentemente si comportò per tutta la vita. Ottocentesco e impeccabile con i notabili, novecentesco e dinamico con i media, Marconi seppe interpretare con grande finezza la figura dell'uomo pubblico a cavallo tra due secoli, ammirevole cerniera tra due modi di concepire l'esistenza (Fig. 7).

Per tornare al Marconi ventitreenne che fonda la sua compagnia, ha probabilmente giocato in modo decisivo anche la sua esigenza interna di mostrare a tutti quanto si poteva fare con le onde elettromagnetiche: una sorta di spinta interna che vedeva nella commercializzazione dell'invenzione la propria realizzazione personale ed assieme il mezzo per dare veste reale ad un oggetto che, per mostrare appieno la sua validità aveva bisogno di un utilizzo globale e non limitato a pochi o a ristretti ambiti. In questo anticipò la filosofia della innovazione di Henry Ford (una innovazione è tale solo quando è per tutti).

## L'azzardo

Inventore-imprenditore è dunque la coppia di aggettivi con cui, ormai da tempo, si qualifica la peculiarità marconiana. Come le due “anime” abbiano dialogato tra loro, e cioè quando e quanto l’una abbia influenzato l’altra e viceversa, non si può stabilire se non con grande approssimazione. C’è però un primo episodio chiave: la radiotrasmissione transatlantica, effettuata per la prima volta il 12 dicembre 1901. Sia la data che la grandiosità dell’impresa sembrano suggerire che quello fu il momento fondante del mondo “come lo conosciamo noi” (Fig. 8).

In effetti, il segnale, la lettera S, inviato da Poldhu e ricevuto a St. John’s alle 12 e 30 istituì una sorta di spartiacque nella storia delle comunicazioni, poiché da allora si poté progettare di trasmettere messaggi a distanza (a qualsiasi distanza) e, nel contempo, in movimento (già Marconi lo aveva dimostrato su diverse imbarcazioni). Vittoria sulla distanza dunque e assieme l’inizio della ricerca delle prestazioni in mobilità che avrebbe visto l’apice nella telefonia cellulare sviluppata alla fine del XX secolo. Il fiume di critiche, polemiche, incredulità che accompagnò l’annuncio dato da Marconi testimonia del cosiddetto orizzonte d’attesa entro cui l’esperimento si svolse: ad un orizzonte rigorosamente fisico – perché era convinzione diffusa che le onde elettromagnetiche trovassero nella curvatura della Terra un limite invalicabile alla loro propagazione – corrispondeva infatti un orizzonte di diffuso scetticismo dovuto alla ancora limitata capacità di utilizzare le enormi potenzialità del modello fisico-matematico costituito dalle equazioni di Maxwell, come messo in evidenza da Enrico Fermi.

Marconi, da innovatore di razza, realizzò l’inopinato collegamento procedendo, come suo costume, sistematicamente all’insegna del “contro”. Contro l’inventore, perché, pur ottenendo risultati incoraggianti con esperimenti di progressiva estensione della distanza – fino a 300 km –, era molto distante dal conforto, seppur parziale, dei dati empirici su una distanza di 3000 km. Contro l’imprenditore, perché la sua Società ancora non produceva utili e impegnarla in un ulteriore, onerosissimo sforzo poteva comportarne l’immediato fallimento. Contro, infine, lo scienziato, perché Marconi, scienziato anche se “fuori dal coro” quanto a formazione, a mentalità, a modo di agire, sempre attento a non commettere l’imprudenza di polemizzare con i colleghi sul piano teorico – anzi ne tene in gran conto l’opinione e ne cercò (e pagò) spesso la collaborazione – decise quasi sempre affidandosi al proprio intuito, anche quando, come nel caso dell’Atlantico, andava contro il parere della scienza ufficiale (Fig. 9).

La terza “anima” di Marconi che qui si ipotizza – quella dello scienziato – è senza dubbio la più controversa, tant’è che l’esitazione dell’Accademia di Svezia nel concedere a Marconi il Premio Nobel per la Fisica viene spiegata, in buona parte, con la riluttanza a riconoscere la più prestigiosa patente scientifica a chi autentico scienziato non era da tutti considerato. Solo l’assommarsi, negli anni, di clamorosi successi (ultimo dei quali il salvataggio del *Republic*) avrebbe infine persuaso la Commissione ad attribuirgli il premio nel 1909. Uno dei motivi – non il solo certamente – della condivisione del Nobel con Ferdinand Braun fu l’esigenza di affiancare al “creatore della comunicazione *wireless*” – così è



8



9



10

**Figura 8.** Signal Hill, St. John's (Terranova), dicembre 1901: Marconi e gli assistenti preparano un cervo volante per l'antenna che riceverà il primo segnale transatlantico senza fili. Dopo alcuni anni di ulteriore sperimentazione, la Marconi Company inaugurerà, nell'ottobre 1907, il primo servizio pubblico radiotelegrafico tra l'Europa e l'America (Marconi Archives, Bodleian Library, University of Oxford).

**Figura 9.** Prototipo di detector magnetico, ricevitore ideato da Guglielmo Marconi nel 1902 e realizzato utilizzando una scatola di sigari. Assai note erano l'abilità manuale di Marconi e la sua capacità di assemblare congegni da materiali eterogenei (Museo Marconi, Collezione Bigazzi).

**Figura 10.** Guglielmo Marconi in un ritratto di inizio Novecento. Non ancora trentenne, era già considerato da molti il pioniere del *wireless*, per le sue ripetute esperienze radiotelegrafiche in Europa, nel Nord America e tra i due continenti. I clamorosi salvataggi in mare dovuti alla radio (quello del *Republic*, 1909, e quello – parziale – del *Titanic*, 1912) ne accrebbero la popolarità al punto che dire "Marconi" era come dire "radio", e viceversa (Marconi Archives, Bodleian Library, University of Oxford).

definito Marconi nei verbali dell'Accademia svedese – uno scienziato indiscusso perfettamente integrato nell'Università dell'epoca (Fig. 10).

Tutto vero, indiscutibile. Però, un secolo dopo, ci si potrebbe domandare come può un uomo sperimentare senza interruzione per quarant'anni e aprire periodicamente nuovi fronti di ricerca senza avere, anche, una attitudine alla ricerca scientifica; come può un naif, seppur geniale, governare la nascita e lo sviluppo di una nuova tecnologia e intravederne le future implicazioni senza essere, per l'appunto, un naif molto particolare. Il fatto che Marconi avesse sempre costantemente in mente come obiettivo fondamentale la "realizzazione", il

Marconi inventore, non gli impedì di impostare in modo corretto una grande quantità di esperimenti atti a produrre nuova conoscenza, a suscitare nuovi dubbi, a stimolare nuove ricerche teoriche, a cominciare dalla prima trasmissione transatlantica. Nel 1947, a più di quarantacinque anni dal primo esperimento transatlantico, il neo Premio Nobel per la Fisica, Edward Appleton, che scoprì le proprietà riflettenti di una regione della ionosfera, detta poi appunto “strato di Appleton”, riconosce a Marconi esattamente questo nel suo discorso del Nobel. La rigida alternativa tra “inventore” e “scienziato” può essere quindi abbandonata, riconoscendo a Marconi una “terza anima”. Fu questa un’ anima “minore”? Forse, ma fu probabilmente determinante in diverse occasioni, nel caso dell’Atlantico come nell’episodio del passaggio alle onde corte. In quel caso infatti questa terza anima fu decisiva per comprendere che gli sparsi dati sperimentali che emergevano da più parti, soprattutto dai collegamenti radioamatoriali, sulla propagazione ad onde corte, indicavano una nuova strada per le comunicazioni ionosferiche. E convinse l’anima imprenditoriale a ridisegnare i prodotti della compagnia secondo il nuovo paradigma, affrontando l’ennesima sfida. Fu insomma lo “scienziato” Marconi a calibrare la valutazione del rischio.

Motivi per forzare la mano e tentare il grande colpo ce n’erano comunque sia per il Marconi-inventore che per il Marconi-imprenditore. Da una parte, cresceva il numero dei rivali, ognuno rivendicando la sua piccola o grande porzione di merito. Dall’altra, la telegrafia senza fili cominciava a profilarsi come un affare e quindi muoveva forze, soprattutto in Germania, che presto avrebbero fatto una dura concorrenza alla Marconi Company. Negli Stati Uniti Tesla si era finalmente reso conto delle potenzialità di business delle onde elettromagnetiche nelle comunicazioni ed aveva raccolto ingenti somme per validare la sua via al *wireless*. Poiché tuttavia Marconi non era un giocatore di poker, il grande rischio che affrontò si dovette anche all’imponderabile influenza del Marconi-scienziato sperimentale, che evidentemente percepì, benché teoricamente ancora in maniera confusa e imprecisa, quello che più tardi prima Heaviside ed infine e conclusivamente il già citato Edward Appleton riconobbero con chiarezza. Emblematico è il fatto che ancora nel discorso del Nobel del 1909 Marconi offra una interpretazione dell’esperimento del 1901, che non è quella corretta; nonostante ciò due anni prima, nel 1907, egli era già stato in grado di aprire il collegamento commerciale regolare di telegrammi verso il nordamerica dalla stazione irlandese di Clifden.

La giusta conclusione è il Discorso di presentazione in onore dello stesso Appleton, tenuto dal professor Erik Hulthén, membro del Comitato Nobel per la Fisica, la cui frase di apertura recita: “On 12th December 1901, Marconi succeeded in establishing wireless communication between the Old World and the New”.

Dopo mezzo secolo, nessuno più esitava a collegare Marconi alle più alte conquiste della Scienza.

## Il *business*

La fortuna economica di Marconi non fu immediata ma fu duratura, solida. I semi piantati quasi con furore nei primi anni cominciarono a dare frutti, uno

dopo l'altro: grandi accordi di installazione e gestione di impianti radiotelegrafici, fornitura in serie alle navi di cabine radio e di addestratissimi "marconisti", officine a pieno ritmo in Inghilterra e in Italia. La Prima Guerra Mondiale rallentò solo in parte la tendenza, offrendo in compenso nuove prospettive di applicazione (sui velivoli, ad esempio).

Per un certo periodo, l'imprenditore prevalse; e non poteva essere altrimenti, considerati gli interessi in gioco, la complessità delle vicende economiche e politiche. Marconi doveva fare innanzitutto il direttore, il capo. Non perse però la presa sulla ricerca, che allora più che mai fiorì rigogliosa. Con la consueta duttilità (altra tessera del suo talento), Marconi esaminava i nuovi prodotti sperimentali, senza chiusure preventive e senza facili entusiasmi. Non importava chi fosse l'autore: se il dispositivo o l'accorgimento gli pareva un passo avanti, ne acquistava il brevetto oppure stabiliva accordi specifici, in modo da incorporarlo nel ciclo di progettazione e produzione della sua Company. Così fu nel 1904 per la valvola termoionica di John Ambrose Fleming, peraltro suo consulente e collaboratore. Così fu, soprattutto, per la radiodiffusione o broadcasting, che, dopo una lunga incubazione, venne prepotentemente alla ribalta negli anni successivi alla Prima Guerra Mondiale.

Mentre sull'una e sull'altra sponda dell'Atlantico vari ingegni e ingegneri si affannavano per approntare un sistema radio che trasmettesse circolarmente suoni e voci, Marconi era impegnato su parecchi fronti, incluso quello diplomatico – fu membro della commissione italiana alla conferenza di pace di Parigi dopo la Prima Guerra Mondiale. Non partecipò quindi in prima persona al complicato parto del broadcasting, benché avesse avuto parte rilevante nella messa a punto della radiotrasmissione sonora (detta allora telefonia senza fili). Quando, tuttavia, venne il momento di collaudare ufficialmente il nuovo strumento, Marconi arrivò per primo, come sempre. Numerose trasmissioni sperimentali, negli Stati Uniti e in Inghilterra, rimasero nei confini ristretti del test tecnico-scientifico o amatoriale, finché Marconi, dalle sue officine di Chelmsford e con strumentazione ivi realizzata, non trasmise un concerto della cantante Dame Nellie Melba (15 giugno 1920) che fu ascoltato in mezza Europa, essendo stati preventivamente avvertiti i possessori di apparecchi adeguati alla ricezione.

Non si può immaginare debutto migliore. E infatti la Marconi Company divenne grande produttrice di quelle "scatole" sonore che ancor oggi chiamiamo semplicemente "radio". E infatti lo stesso Marconi, con le sue diverse Società, partecipò alla fondazione sia della British Broadcasting Corporation (BBC) sia del sistema radiofonico italiano.

Qui non c'entra solo il fiuto imprenditoriale. È quell'ampiezza di visione, quella padronanza del quadro complessivo di cui si finisce sempre per parlare quando si parla di Marconi. Anche dove il suo intuito era distratto e non ha anticipato gli altri, Marconi non si difende, non circoscrive, non minimizza, ma sa fare tesoro delle nuove acquisizioni. In un certo senso è nella vicenda della radiodiffusione che si vede la preponderanza del Marconi imprenditore. Egli infatti non apprezzava inizialmente l'uso della sua invenzione per motivi futili, come trasmettere musica o notizie sportive, e temeva, come nel 1937 espresse chiaramente, l'uso politico per irraggiungere le masse. Tuttavia come non esitò

agli albori del *wireless* ad impegnarsi nelle regate di Kingson e America's Cup, non appena ritenne che l'iniziativa meritava il suo impegno, lo fece in modo completo e in parte originale. E questo non solo per l'evidente prospettiva commerciale, ma perché amava il *wireless* come e più di un figlio, e inoltre apprezzava il lavoro ben fatto, chiunque ne fosse l'artefice.

In effetti, benché i successi non lo lasciassero certo indifferente, benché anzi la ricerca del successo abbia costantemente accompagnato la sua opera, ancor più costante in Marconi è stata l'esigenza, quasi il bisogno di subordinare ogni novità al vaglio più severo: quello del risultato, della riuscita, della prova dei fatti.

## Il ripensamento

L'anima dell'inventore (e l'anima minore dello scienziato) si presero infine una clamorosa rivincita. Proprio quando tutto cominciava a girare per il verso giusto, Marconi, invece di assestarsi e accomodarsi, ripartì.

Grazie – ancora una volta – all'osservazione sul campo, si accorse che una progressiva riduzione della lunghezza d'onda avrebbe migliorato sensibilmente il funzionamento degli apparati *wireless*. Dopo numerose sessioni sperimentali (tra la fine degli anni '10 e i primi anni '20), stabilì di riprogrammare per intero il sistema trasmittente/ricevente, il che significava uno smantellamento di gran parte delle strutture esistenti. Un'operazione che, a un imprenditore puro, avrebbe potuto sembrare un semi-suicidio. Un'operazione che, per di più, obbligava a una delicata revisione dei contratti con grandi istituzioni come Marine Militari o addirittura Stati nazionali. Un'operazione che, non va trascurato, rischiava di minare l'autorevolezza proprio di colui che la proponeva, perché lo metteva contro se stesso, contro la persona che aveva impostato il sistema esistente. Quanti avrebbero osato un passo del genere (Fig. 11)?

Si dice che Marconi ebbe coraggio e che il suo coraggio fu premiato. È vero. Ma – come già per l'Atlantico – la valutazione del rischio seguì un iter tutt'altro che canonico, e la decisione che infine ne sortì non fu tanto l'esito di una nuova intuizione quanto la conseguenza di un lavoro più che ventennale.

Che cosa in effetti Marconi ha perseguito per tutta la vita? "Improvements", miglioramenti, come recita il suo primo brevetto londinese. Per cui no, non poteva accontentarsi, non c'era un traguardo definito oltrepassato il quale rallentare la corsa. Lo spirito della sua invenzione gli imponeva di procedere, di alimentare la ricerca, di moltiplicare le forze, per realizzare infine – espressione premonitrice – la "rete radiotelegrafica mondiale" (Fig. 12). Per tale motivo anche negli ultimi anni, completata la transizione dalle onde lunghe alle onde corte, Marconi non smise di fare esperimenti: non poteva, non era la sua natura; tant'è che (Fig. 13) lasciò in bozza – morendo improvvisamente – alcuni progetti di cui poi, alla prova dei fatti, fu dimostrata la validità (Fig. 14).

Qui si dovrebbe interrompere l'agiografia marconiana, che d'altronde potrebbe giovare di numerosi altri argomenti a sostegno. A nessuno sfugge, tuttavia, che Marconi non era né santo né eroe, che commise diversi errori, che non sempre uscì vincitore, che lasciò una grande eredità ma nessun erede (nel



**Figura 11.** Radiotelegrafisti dell'Esercito italiano durante la Prima Guerra Mondiale. Marconi prestò servizio presso l'Istituto Radiotelegrafico, che faceva capo alla Marina Militare, ricoprendo incarichi di coordinamento e ricerca. Durante il periodo bellico, maturò l'idea di abbandonare la tecnologia a onde lunghe e di "ritornare" alle onde corte (Fondazione Marconi).

**Figura 12.** Il panfilo acquistato nel 1919 e ribattezzato "Elettra", vero e proprio laboratorio viaggiante di Marconi, grazie al quale poté abbinare una notevole libertà di movimento e la possibilità di mettere alla prova i nuovi progetti cui si dedicava (Fondazione Marconi).

**Figura 13.** Guglielmo Marconi con Gaston Mathieu a Santa Margherita Ligure, negli anni '30, presso l'antenna direttiva a resca di pesce da lui ideata per la trasmissione a microonde. Nonostante i molteplici impegni organizzativi e diplomatici, Marconi continuò per tutta la vita a effettuare esperimenti, spesso anticipando le future applicazioni del sistema *wireless* (Fondazione Marconi).

**Figura 14.** Oxford, 1904: ritratto di gruppo in occasione del conferimento della laurea ad onorem a Guglielmo Marconi (in alto a destra) da parte della locale università. Oltre al Premio Nobel per la Fisica nel 1909, Marconi ricevette 16 lauree honoris causa e 13 cittadinanze onorarie (Fondo privato Paresce Marconi).

senso stretto di allievo, perché in senso generale tutti coloro che lavorano nelle comunicazioni radio sono allievi di Marconi) – e così via. Allo stesso modo, il cittadino del mondo nel XXI secolo sa che deve qualcosa a Marconi come a molti altri, sa che il tripudio tecnologico in cui vive ha avuto una genesi policentrica, che è il prodotto di molte teste e di molto, moltissimo lavoro dei tanti che, faticando oscuramente, hanno permesso a quelle teste di realizzare le loro idee. Perché quindi ricordare proprio Marconi, e cioè attribuirgli un ruolo centrale nelle moderne comunicazioni, al di là dei doverosi tributi storici? Una possibile risposta sta nell'ultimo radiomessaggio di Marconi, prodotto nel marzo 1937, poco prima di morire, una sorta di ampio testamento spirituale dove egli delinea con estrema lucidità lo scenario delle future telecomunicazioni. Un breve estratto significativo è il seguente:

Noi abbiamo raggiunto nella scienza ed arte delle radiocomunicazioni uno stadio in cui le espressioni dei nostri pensieri possono essere istantaneamente trasmessi e ricevuti dai nostri simili, praticamente in ogni parte del globo [...].

La radiodiffusione comunque, con tutta la sua importanza che ha raggiunto ed i campi inesplorati che restano ancora aperti, non è – secondo me – la parte più significativa delle moderne comunicazioni in quanto è solo una comunicazione “a senso unico”.

Una molto maggiore importanza è legata – a mio avviso – alla possibilità data dalla radio di scambiare comunicazioni, ovunque i corrispondenti possano essere situati sia nel mezzo dell’oceano, o sul pack ghiacciato del polo, o nelle piane del deserto, oppure sopra le nuvole in aeroplano! [...]

La peculiarità dell’uomo, la caratteristica che segna la sua differenza e la sua superiorità sugli altri esseri viventi, a parte la divinità della sua origine e del suo ultimo fine, è costituita, penso, dalla capacità di scambiare con i suoi simili, i suoi pensieri, i suoi desideri, i suoi ideali, le sue preoccupazioni ed anche le sue lamentele! Ogni cosa che faciliti e sviluppi questa veramente superiore capacità deve essere – ardisco proporre – salutata come il vero mezzo per il progresso dell’umanità e la via per potenziare la tipica peculiarità dell’uomo.

E nell’ambito di questo mondo di comunicazioni globali, uno dei gesti più frequenti e automatici, in ogni angolo della Terra, è oggi l’invio di un SMS (Short Message Service). Milioni di SMS ogni minuto vengono spediti e ricevuti e (quasi sempre) letti. L’SMS corrisponde in maniera impressionante all’idea-madre su cui Marconi ha costruito la sua grande avventura: è un messaggio, scritto, in codice, breve e sintetico, che viene affidato alle onde radio e raggiunge il destinatario quasi istantaneamente, a prescindere da dove si trovi, praticamente oggi su tutto il globo terracqueo, utilizzando una molteplicità di tecnologie e reti. È diventata per i più giovani la forma principe per uno scambio di informazioni. E all’origine di tutto vi fu una prima semplice S, il messaggio inviato dal giovane Guglielmo al fratello Alfonso, che da Villa Griffone, a cavallo di un’onda elettromagnetica, varcò la Collina dei Celestini.

## Bibliografia essenziale

Enrico Fermi, *Guglielmo Marconi e la propagazione delle onde elettromagnetiche nell’alta atmosfera*, in Società Italiana Progresso delle Scienze, *Guglielmo Marconi: omaggio degli scienziati d’Italia nel primo anniversario della morte*, Supplemento al fascicolo di luglio 1938 degli *Atti della S. I. P. S.*; Guglielmo Marconi, “Nobel Lecture” 11 dicembre 1909. Il testo di Guglielmo Marconi *Le radio-comunicazioni ad onde corte e a fascio* si può leggere nella ristampa anastatica a cura della Federazione Nazionale dei Cavalieri del Lavoro, Roma, Servizi Tipografici Carlo Colombo, 2009. Per la formazione del giovane Marconi si veda Barbara Valotti, “Alle origini delle radiocomunicazioni: Guglielmo Marconi inventore e imprenditore”, in Virginio Cantoni e Andrea Silvestri (a cura di), *Storia della tecnica elettrica*, Milano, Cisalpino, 2009. Per l’ingresso di Marconi nel mondo degli affari si veda Anna Guagnini, “Dall’invenzione al brevetto. Guglielmo Marconi e i ‘tessitori invisibili’ della proprietà intellettuale”, in AA.VV., *Guglielmo Marconi*.

*Un Nobel senza fili*, Bologna, Bononia University Press, 2009. Per lo stile di Marconi nelle pubbliche relazioni si veda Susan J. Douglas, *Inventing American Broadcasting 1899-1922*, Baltimore e London, The Johns Hopkins University Press, 1987. Per la prima trasmissione transatlantica si veda Hong Sungook, *Wireless. From Marconi's Black Box to the Audion*, Cambridge, MASS., MIT Press, 2001. Per le vicende della Marconi Company si veda William J. Baker, *A History of the Marconi Company*, London, Methuen, 1970.

## Cronologia

### 1874

Guglielmo Marconi nasce a Bologna il giorno 25 del mese di aprile.

Il padre, Giuseppe Marconi, è un cinquantenne possidente terriero, originario di Capugnano nell'Appennino tosco-emiliano. Da tempo risiede ed è attivo a Bologna. Ha sposato in prime nozze Giulia de' Renoli (mancata nel 1858), da cui ha avuto un figlio, Luigi.

La madre, Annie Jameson, poco più che trentenne, è nata nel Sud dell'Irlanda da un'illustre famiglia scozzese (i Jameson possiedono una fiorente distilleria di whisky). Ha conosciuto Giuseppe durante un prolungato soggiorno a Bologna per studiare il "bel canto".

Si sono sposati avventurosamente, nel 1864, dandosi appuntamento a Boulogne-sur-Mer, nel nord della Francia, per poi stabilirsi a Bologna (appartamento di città) e nella casa di campagna dei Marconi, Villa Griffone, in località Pontecchio.

Al momento della nascita di Guglielmo, Annie e Giuseppe hanno già un figlio, Alfonso, di nove anni.

### 1875-1883

Villa Griffone diviene la residenza di elezione per la famiglia.

In un paio di occasioni, Annie conduce i figli in Inghilterra (a Bedford). Prende inoltre l'abitudine di trascorrere con loro l'inverno in Toscana: nei primi tempi a Firenze, poi a Livorno (dove risiede una delle sorelle Jameson). Frequenti – e in stagioni diverse – sono anche i viaggi a Porretta, per via delle rinomate acque termali.

Guglielmo, che nei primi anni pare di salute cagionevole, apprende quindi in casa a leggere e scrivere l'italiano (dal maestro Germano Bollini) e l'inglese (dalla madre) nonché, più tardi, a suonare il pianoforte (dalla madre).

### 1884-1890

Tra i dieci e quindici anni, a causa dei numerosi spostamenti tra l'Emilia e la Toscana, Guglielmo viene iscritto a diversi istituti scolastici. Per lo stesso motivo, si adatta con fatica alla prospettiva di studi regolari. In compenso, cresce perfettamente bilingue (il che gli procura canzonature da parte dei compagni, per via del suo strano accento, ma gli sarà molto utile in futuro). Inoltre si appassiona ai fenomeni naturali e, a partire dai quattordici anni, mostra interesse per l'elettricità: legge diversi libri sull'argomento e si applica, solo e di sua iniziativa, a riprodurre gli esperimenti in essi descritti.

Intanto la vita di mare, a Livorno, tonifica il suo fisico e il suo spirito.

## 1891-1892

Per assecondarne le attitudini tecniche, la madre conduce Guglielmo da Vincenzo Rosa, professore di fisica presso il Liceo Niccolini di Livorno.

Rosa, che si occupa di elettrotecnica e s'interessa alle onde elettromagnetiche rivelate da Hertz, gli dà lezioni private, lo accoglie nel suo laboratorio e si mantiene in corrispondenza con lui anche quando viene trasferito ad altra sede. Sarà l'unico insegnante ricordato dall'inventore bolognese nel discorso ufficiale per il Premio Nobel.

L'incontro con il professor Rosa consolida gli interessi di Guglielmo, che legge avidamente *L'Elettricità*, settimanale scientifico, e decide di partecipare a un concorso indetto dalla stessa rivista per una nuova pila elettrica. È il suo primo progetto tecnologico, un progetto che tuttavia abbandonerà, dopo ripetuti tentativi, probabilmente perché non soddisfatto dei risultati.

Sempre grazie alla madre, Guglielmo ha modo di incontrare Augusto Righi, celebre docente di fisica dell'Università di Bologna, che con pazienza lo ascolta espone le sue idee, gli fornisce alcune spiegazioni e chiarimenti ma soprattutto lo esorta a formarsi una base teorica, e quindi a completare gli studi per iscriversi all'università.

## 1893

S'interrompe la consuetudine di trascorrere l'inverno in Toscana.

Guglielmo ignora il consiglio di Righi e intensifica invece le ricerche e gli esperimenti personali. Contatta costruttori di strumenti scientifici e fornitori di materiale elettrico a Firenze, Livorno, Bologna e Milano per richiedere dettagliatamente tutto ciò che gli occorre. Il padre copre le spese. A poco a poco una stanza del piano alto di Villa Griffone diviene il suo laboratorio permanente.

Non trascura di far visita al professor Righi, presso la villa di Sabbiuino, e probabilmente assiste da "uditore" ad alcune lezioni universitarie.

## 1894-1895

Durante una villeggiatura ad Andorno, nel biellese, incontra nuovamente il professor Rosa. Giorno dopo giorno comprende sempre meglio le potenzialità delle onde hertziane. Nel corso di una passeggiata al Santuario di Oropa, gli si chiarisce alla mente l'obiettivo da perseguire: la trasmissione a distanza di segnali senza l'ausilio di alcun filo.

Guglielmo concentra gli sforzi e si applica a una sperimentazione sistematica. Più tardi confesserà il suo stupore: come mai non ci aveva ancora pensato nessuno? In realtà, molti in quegli anni fanno tentativi analoghi, ma nessuno ha l'ardire di progettare trasmissioni a distanze chilometriche, oltre gli ostacoli naturali.

Intuito, ostinazione e grande abilità manuale gli permettono di modificare i dispositivi da lui ricostruiti e di provarne, di volta in volta, gli effetti. Perfeziona il rivelatore di onde elettromagnetiche (coherer), introduce l'uso dell'antenna e della terra sia nel sistema di trasmissione che in quello di ricezione, sostituisce il voltmetro con un apparecchio Morse, infine esce dal laboratorio e comincia a sperimentare all'aperto. Lo assistono il fratello Alfonso, il colono Magnani, il falegname Vornelli e il custode Marchi. Grazie alle antenne, riesce progressivamente ad aumentare la distanza. Finché non decide il grande passo: spedisce Alfonso e gli altri oltre la collina dei Celestini, che fronteggia Villa Griffone. Sono circa due chilometri, fuori dalla portata della vista, e in mezzo c'è un grande ostacolo. Guglielmo trasmette un segnale Morse via etere e un colpo di fucile, dall'altra parte della collina, conferma l'avvenuta ricezione.

L'eccezionalità del risultato coinvolge l'intera famiglia. Padre, madre e amici intimi s'interrogano su come procedere. Si fanno diverse ipotesi e infine si valuta che Londra è la destinazione ideale, sia perché si trova al centro del vastissimo Impero britannico (particolarmente interessato al potenziamento delle reti di comunicazione), sia perché là vivono gli influenti parenti della madre, i Jameson.

## 1896

In febbraio Guglielmo giunge a Londra accompagnato dalla madre. Lo accoglie il cugino Henry Jameson Davis, ingegnere, il cui apporto sarà prezioso. Prende contatto con l'ambasciatore italiano, generale Annibale Ferrero, conoscente dei Marconi. Poco dopo ottiene di incontrare William Preece, direttore tecnico del General Post Office, che gli offre ospitalità per una prima dimostrazione: un'antenna collocata sul tetto del Post Office comunica con un'antenna collocata sul tetto di un palazzo distante più di un chilometro.

Nel frattempo Guglielmo ha presentato una domanda di brevetto per "Miglioramenti nella trasmissione di segnali a impulsi elettrici, e nei relativi apparati".

Una nuova dimostrazione, nella piana di Salisbury (circa quattro chilometri di trasmissione), convince definitivamente Preece, che tiene due conferenze sull'argomento, dopo le quali l'invenzione di Guglielmo attira l'interesse dei giornali e in breve tempo il nome "Marconi" viene automaticamente associato, presso il pubblico di mezzo mondo, ai portentosi sviluppi che la radiotelegrafia sembra promettere.

## 1897

In maggio, nel canale di Bristol, si effettuano trasmissioni sperimentali fino a 14 km, a cui assiste anche il noto studioso tedesco Adolph Slaby.

Su invito del ministro Benedetto Brin, Marconi torna in Italia per eseguire a Roma alcune dimostrazioni, prima al Ministero della Marina, poi in Quirinale, alla presenza del re Umberto e della regina Margherita, e infine a Montecitorio. Nel mare di La Spezia, riesce a trasmettere fino a 18 km (da terra alla corazzata San Martino). Gli esperimenti italiani si concludono il 18 luglio suscitando grandi entusiasmi.

Il cugino Davis ha proposto di fondare una compagnia. Marconi, che ha già rifiutato alcune offerte private e sembrava orientato a consolidare il rapporto diretto con il General Post Office, dopo un'elaborata trattativa si persuade: il 20 luglio viene costituita ufficialmente la Wireless Telegraph and Signal Company (che dal 1900 includerà il nome dell'inventore e si chiamerà Marconi's Wireless Telegraph Co.). Marconi detiene la maggioranza azionaria e viene nominato direttore tecnico. Il direttore amministrativo è lo stesso Henry Jameson Davis che, grazie ai legami di conoscenza con imprenditori appartenenti come lui alla rete dei commercianti di cereali, ha raccolto i fondi per il capitale sociale: 100.000 sterline in azioni da una sterlina.

## 1898

In maggio Marconi fa domanda di brevetto per i primi circuiti sintonizzati.

Parte del capitale della nuova Compagnia viene impiegato per avviare il perfezionamento e la commercializzazione dell'invenzione: si apre una fabbrica a Chelmsford. In giugno viene trasmesso il primo "marconigramma" a pagamento, ma per diversi anni le entrate della Compagnia non pareggeranno le uscite, il che preoccuperà non poco gli azionisti.

Intanto, grazie a un avvenimento sportivo, il nuovo sistema ottiene una notevole popolarità. In Irlanda Marconi segue, a bordo di un piroscampo, le regate indette dal Royal Yachting Club, trasmettendo telegraficamente le fasi della gara al Daily Express di Dublino, che quindi riesce a pubblicare i risultati prima del rientro delle stesse imbarcazioni. Pochi giorni dopo la regina Vittoria riceve Marconi e lo incarica di mantenere in collegamento la sua residenza dell'isola di Wight col panfilo reale su cui trascorre la propria convalescenza il principe di Galles, infortunato ad un ginocchio. In 16 giorni vengono trasmessi regolarmente ben 150 messaggi.

## 1899

Marconi inizia la collaborazione con John Ambrose Fleming, professore di ingegneria elettrica all'University College di Londra.

I primi naufraghi soccorsi grazie alla radio sono i marinai di un piroscampo che il 3 marzo, navigando nella nebbia della Manica, urta un battello faro. Il 27 marzo ha luogo il primo collegamento radio attraverso la Manica, dalla Francia all'Inghilterra, a una distanza di circa 50 km. In luglio due navi della marina britannica si scambiano messaggi fino a circa 140 km.

Invitato negli Stati Uniti, Marconi, al seguito delle regate della Coppa America, radiotelegrafa ogni tre minuti dal piroscampo Ponce ai giornali di New York l'andamento della gara. Successo e riconoscimenti. Sul piroscampo che lo riporta in Europa, fa stampare il primo notiziario di bordo con i messaggi ricevuti dalla terraferma.

## 1900

Primo contratto importante: l'Armiraagliato inglese commissiona alla Compagnia impianti radiotelegrafici e relativa manutenzione per 26 navi e 8 stazioni a terra.

Ormai si trasmette regolarmente al di sotto dell'orizzonte, anche se la scienza ufficiale sembra non accorgersene (si continua a ritenere la curvatura della terra un limite invalicabile per la propagazione delle onde radio). Nel frattempo, al di qua e al di là dell'Oceano, si progettano e si realizzano sistemi radiotelegrafici alternativi, in concorrenza con quello del già celebre bolognese. Marconi decide allora di tentare l'impresa più ardua, il balzo attraverso l'Atlantico.

Il 25 aprile si costituisce la Marconi International Marine Communication Co., allo scopo di gestire una licenza esclusiva per tutti gli usi marittimi. Il giorno dopo Marconi deposita il brevetto 7777 sulla sintonia dei circuiti trasmettenti e riceventi, grazie alla quale è possibile ottenere l'indipendenza di funzionamento tra più stazioni.

S'inaugurano i lavori per una grande stazione trasmittente a Poldhu, sulla punta della Cornovaglia, sotto la direzione di Fleming.

## 1901

In febbraio Marconi cede ai ministeri militari italiani l'uso gratuito dei suoi brevetti.

In estate riceve la medaglia Matteucci, prestigioso premio per la fisica della Società Italiana delle Scienze, detta dei XL, primo riconoscimento del mondo accademico italiano alla sua attività di ricerca.

La riuscita trasmissione dall'isola di Wight alla punta della Cornovaglia (circa 300 km di mare) consolida la determinazione di Marconi, che – a dispetto dello scetticismo dei più – si prepara in gran segreto a tentare l'impresa transatlantica.

Inizialmente stabilisce la stazione ricevente a Cape Cod (Stati Uniti), poi deve trasferirla a St. John's (San Giovanni di Terranova, oggi Canada, allora territorio bri-

tannico). Dopo un anno di lavoro frenetico, e dopo una serie di incidenti (a causa soprattutto delle avverse condizioni atmosferiche) che ritardano l'inizio delle prove, il 12 dicembre un debole segnale proveniente da Poldhu – i tre punti indicanti la lettera S nel codice Morse – viene captato da Marconi sull'altro lato dell'Atlantico: nasce così l'era delle radiocomunicazioni a grande distanza. Dei molti che hanno contestato a Marconi, fin dal 1895, la paternità dell'invenzione della radio (tra i quali il geniale e vulcanico Nikola Tesla), nessuno potrà mai vantare un sia pur minimo tentativo di comunicazione tra le due sponde dell'Oceano. E infatti quel momento sarà ricordato da Marconi come il più importante della sua lunga carriera.

## 1902

Nonostante l'esultanza dei giornali, molti esperti dubitano che il collegamento sia realmente avvenuto. Dall'Inghilterra, dov'è rientrato, Marconi parte allora per New York a bordo del piroscafo americano Philadelphia e durante la traversata riceve messaggi – a migliaia di km. di distanza da Poldhu – in presenza del comandante o del primo ufficiale. Nello stesso viaggio, scopre l'”effetto notte”, fenomeno per cui la trasmissione dei segnali è più agevole di notte che di giorno.

Le Società dei cavi telegrafici, che impiegano ogni mezzo legale per arginare l'espansione del nuovo sistema, costringono Marconi e i suoi ad abbandonare St. John's. Marconi non si perde d'animo e decide di impiantare una nuova stazione a Glace Bay, Nova Scotia, in territorio canadese.

A giugno Marconi, su invito della Marina italiana, s'imbarca sull'incrociatore Carlo Alberto, in viaggio dall'Inghilterra a Kronstadt (Pietroburgo) per consentire a re Vittorio Emanuele III di partecipare al matrimonio del figlio dello zar Nicola II. Durante la crociera effettua diversi esperimenti. A Kronstadt viene presentato allo Zar e al grande scienziato Popov, che lo definisce “padre della radio”. Nel viaggio di ritorno, superato lo stretto di Gibilterra, la Carlo Alberto, che naviga a ridosso delle coste europee, riceve i segnali trasmessi dalla stazione di Poldhu, ottenendo la conferma che le onde attraversano grandi regioni continentali e non vengono frenate dalle catene montuose.

In settembre Marconi torna finalmente a Bologna: viene ricevuto in Archiginnasio con tutti gli onori e parla per la prima volta, con un po' di emozione, al cospetto delle autorità cittadine. Ma è un periodo di impegni frenetici e Marconi non si ferma: in ottobre intraprende una seconda campagna di esperimenti a bordo della Carlo Alberto, al termine della quale sbarca in Canada. E il 21 dicembre trasmette i primi radiotelegrammi intercontinentali tra la stazione di Glace Bay e quella di Poldhu. Destinatari dei messaggi inviati da Marconi sono il Re d'Italia e il Re d'Inghilterra.

## 1903

S'inaugura a Cape Cod la prima stazione a grande potenza degli Stati Uniti, realizzata dalla Marconi Co. Nell'occasione viene inviato dal presidente Theodor Roosevelt al re Edoardo VII il primo messaggio radio tra Stati Uniti e Gran Bretagna.

In maggio Marconi è a Roma, dove riceve la cittadinanza onoraria e tiene una conferenza in Campidoglio di fronte ai Reali. Si decide di costruire un impianto radiotelegrafico di grande potenza a Coltano (Pisa).

Il crescendo di successi e riconoscimenti sembra inarrestabile, ma parallelamente si moltiplicano le insidie. Marconi deve districarsi tra delicati rapporti sovranazionali e vertenze con le Società dei cavi, deve tranquillizzare i propri azionisti, deve portare avanti estenuanti dispute sui brevetti; e soprattutto deve affrontare l'offensiva indu-

striale dei sistemi alternativi al suo. Il governo tedesco promuove la costituzione di Telefunken, per l'integrazione tecnica e commerciale tra il sistema Slaby-Arco (AEG) e il sistema Braun (Siemens-Halske), il che provoca appunto una battaglia commerciale tra la Marconi Co. e la Telefunken, accompagnata da un'intensa attività diplomatica dei governi interessati. Marconi riesce comunque a stipulare contratti con il Ministero delle Poste e Telegrafi italiano e con l'Ammiraglio inglese.

In agosto si tiene a Berlino la prima Conferenza radiotelegrafica internazionale, in un clima palesemente ostile a Marconi, che non partecipa. Alcuni delegati propongono di limitare a 100 miglia la portata delle stazioni navali e costiere, proprio mentre lui, a bordo del transatlantico *Lucania*, riceve regolari comunicazioni da Poldhu, Glace Bay e Cape Cod, sotto gli occhi di passeggeri di diverse nazionalità.

## 1904

Il 26 marzo muore il padre Giuseppe, a Bologna.

Rientrato brevemente a Bologna, Marconi riceve la laurea honoris causa dalla Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri (assegnatagli nel novembre 1902, ma non ancora ritirata).

In maggio stipula una convenzione con il governo italiano, in base alla quale la cessione dell'uso gratuito dei suoi brevetti è estesa anche al Ministero delle Poste e Telegrafi, in cambio dell'impegno ad accettare nelle proprie stazioni solo messaggi trasmessi attraverso apparecchi Marconi.

A metà novembre Fleming riesce a realizzare la prima valvola termoionica, il diodo. Nessuno comprende esattamente come la si utilizzerà, tuttavia Marconi dà immediate disposizioni perché sia messa in produzione nella fabbrica di Chelmsford quale nuovo rivelatore di onde elettromagnetiche.

## 1905

Il 16 marzo Marconi sposa a Londra l'irlandese Beatrice O'Brien, figlia del quattordicesimo barone di Inchiquin.

La gioia coniugale viene presto turbata dai rinnovati problemi della Compagnia. È sempre più evidente l'ostruzionismo dell'alta finanza internazionale, interessata ai guadagni delle Società dei cavi.

In ottobre iniziano i lavori per una nuova stazione di grande potenza, a Clifden (Irlanda).

## 1906

In febbraio nasce la figlia Lucia, a Londra. La bimba però sopravvive solo poche settimane. È un periodo critico e particolarmente sfortunato: violenti attacchi di malaria, contratta in uno degli innumerevoli viaggi, costringono a letto Marconi per circa tre mesi.

A Berlino, durante la seconda Conferenza radiotelegrafica internazionale, si stipula una convenzione tra i principali Paesi (non tutti) e si mette sotto accusa la Marconi Co., che rifiuterebbe comunicazioni con stazioni di altre compagnie anche in caso di naufragi. Nonostante puntualizzazioni e smentite, le azioni della Marconi Co. subiscono un tracollo.

Compare il triodo, o Audion, di Lee de Forest, evoluzione del diodo di Fleming. L'avvento delle valvole rende possibile un'onda portante continua, che con la sua

modulazione e demodulazione costituisce il presupposto per la trasmissione a distanza della voce e anche dell'immagine.

La sera della vigilia di Natale Reginald A. Fessenden realizza la trasmissione del primo programma radiofonico sperimentale, inviando attraverso l'etere voce e suoni.

### 1907

Il 18 ottobre l'ambizioso programma transatlantico di Marconi viene completato: s'inaugura il primo regolare servizio pubblico radiotelegrafico tra l'Europa e l'America, con uno scambio di messaggi ufficiali fra il re d'Inghilterra (da Londra via Clifden) e il governatore del Canada (da Ottawa via Glace Bay).

### 1908

Entra in vigore un accordo internazionale per le telecomunicazioni, ratificato anche da Gran Bretagna e Germania, in cui tra l'altro si stabilisce, per ragioni tecniche legate all'uso del codice Morse, l'adozione di un nuovo segnale internazionale di pericolo, la combinazione di lettere "SOS". Commercialmente l'accordo restringe i margini di azione della Marconi Co., abituata a operare in regime di quasi monopolio per via della netta predominanza progettuale e tecnologica.

L'11 settembre nasce la figlia Degna, a Londra.

### 1909

Clamoroso salvataggio dovuto all'invenzione di Marconi: il 23 gennaio il Republic, un transatlantico della White Star Line, a causa della nebbia entra in collisione, al largo di New York, con il piroscafo italiano Florida. Il marconista Binns rimane al suo posto lanciando il segnale di soccorso (CQD) per 14 ore filate. Accorrono tre piroscafi che salvano dalla morte i passeggeri e gli equipaggi di entrambe le navi (oltre 1700 persone).

Probabilmente grazie anche alla vicenda del Republic, Marconi, già candidato negli anni 1901, 1902, 1903 e 1908, viene finalmente insignito del Premio Nobel per la Fisica, congiuntamente al tedesco Karl Ferdinand Braun, "a riconoscimento dei contributi dati nello sviluppo della telegrafia senza fili". Tentato in un primo momento di rifiutare un "premio a metà", presto si ricrede (pur essendo un autodidatta, o forse proprio per questo, Marconi ha sempre attribuito notevole importanza ai riconoscimenti ufficiali) e partecipa alla cerimonia di Stoccolma del 10 dicembre.

Il giorno seguente pronuncia la Nobel lecture.

### 1910

La radio conquista ancora una volta le prime pagine dei giornali anglosassoni: si tratta del celebre caso Crippen, uxoricida catturato grazie al marconigramma che il capitano della nave Montrose, in servizio sulla rotta Anversa-Québec, invia alla polizia, segnalando che a bordo si trova proprio il ricercato, che così viene arrestato prima dello sbarco.

Il 31 maggio nasce il figlio Giulio, a Villa Griffone.

In autunno Marconi intraprende un viaggio col transatlantico Principessa Mafalda, diretto a Buenos Aires. I risultati degli esperimenti svolti a bordo sono straordinari: si riesce a trasmettere e ricevere alla distanza di 10.000 km.

## 1911

In gennaio si costituisce la DEBEG, una compagnia tedesca a maggioranza Telefunken ma con la partecipazione della Marconi Co. e della compagnia belga, con il compito di gestire gli impianti radiotelegrafici della marina mercantile tedesca. Finisce l'epoca del divieto di comunicazione fra sistemi diversi.

Il 19 novembre, alla presenza di Vittorio Emanuele II, s'inaugura ufficialmente, dopo anni di ritardi burocratici, il Centro Radio di Coltano con una trasmissione verso Glace Bay. La stazione consente, tra l'altro, di comunicare quotidianamente con le terre dell'Africa Orientale attraverso il deserto, un ostacolo che fino ad allora si riteneva insuperabile.

A bordo del Medina in viaggio per l'India, il re britannico Giorgio V utilizza la radio per allestire un ufficio mobile: riceve informazioni, trasmette decisioni, dirama comunicati e conferisce perfino un'onorificenza.

## 1912

Il transatlantico a compartimenti stagni Titanic, della White Star Line, prima nave assolutamente "sicura", il 14 aprile, durante il viaggio inaugurale dall'Inghilterra a New York, nelle acque dell'Atlantico del Nord urta di striscio un iceberg che lacera una fiancata della nave. L'affondamento è rapido, nel cuore della notte e in pieno oceano. Un piroscafo da carico inglese, sprovvisto di impianti radio, passa vicino al luogo del naufragio senza accorgersi di niente. Tuttavia – grazie all'ostinazione dei marconisti, e in particolare di John Phillips che sacrifica la propria vita – l'SOS e la posizione della nave vengono raccolti da un paio di piroscafi, che arrivano in tempo, il 15 aprile, per mettere in salvo 700 naufraghi (purtroppo solo un terzo, circa, delle persone che erano a bordo). I superstiti, trasportati a New York, si recano in corteo sotto le finestre dell'albergo dove alloggia Marconi, per esprimergli riconoscenza.

Il 12 maggio Marconi, invitato a Lisbona per una conferenza, avvia una trattativa con il governo portoghese per l'installazione di numerosi impianti.

In giugno si tiene a Londra la terza Conferenza radiotelegrafica internazionale, da cui scaturiscono nuovi accordi internazionali e regolamentazioni dettagliate. Ormai i regimi di monopolio o di semi-monopolio non sono più contemplati.

Il 25 settembre, in viaggio con la moglie e un amico da Coltano a Genova, in prossimità del passo del Bracco (La Spezia) Marconi è vittima di un grave incidente automobilistico: perde la vista dell'occhio destro (che gli viene successivamente asportato) e deve affrontare una delicata convalescenza.

La Marconi Co. presenta al governo inglese un dettagliato progetto, "The Imperial Wireless Scheme", per la realizzazione di 18 grandi impianti. Secondo il principio di non favorire i monopoli, il governo britannico decide che le stazioni diventeranno di proprietà dello Stato mentre alla Marconi Co. saranno pagati i relativi diritti. In merito alla vicenda, i giornali inglesi accusano la Compagnia di speculazioni sui mercati finanziari ("Marconi Scandal").

## 1913

La Camera dei Comuni, chiamata a giudicare la Marconi Co. a proposito delle speculazioni, decide per una completa assoluzione.

## 1914

Il 30 dicembre Marconi viene nominato Senatore del Regno d'Italia, per la categoria 20 ("coloro che con servizi o meriti eminenti avranno illustrata la patria"), su

proposta di Francesco Saverio Nitti, che lo coinvolge anche nella costituzione della Banca Italiana di Sconto, organismo finanziario cardine per la mobilitazione industriale in vista della partecipazione italiana alla guerra. Marconi assumerà la presidenza della Banca.

### 1915

L'Italia entra in guerra. Marconi rientra dagli Stati Uniti e si mette a disposizione delle autorità militari. Viene inquadrato come tenente di complemento del Genio dirigibilisti. Benché ufficiale dell'esercito, presta servizio nell'Istituto Radiotelegrafico della Marina, da cui sarà congedato con il grado di Capitano di Corvetta (promosso nel 1920 Capitano di Fregata, nel 1931 Capitano di Vascello e nel 1936 Contrammiraglio "per meriti eccezionali").

Marconi ispeziona le unità mobili di radiotelegrafisti al fronte. Raccoglie fondi per la costruzione di nuove stazioni radio e per l'ammodernamento degli strumenti in dotazione. Si adopera per dare impulso al servizio radio dell'aviazione.

### 1916

Il 10 aprile nasce la figlia Gioia Jolanda, a Londra.

Comincia a maturare in Marconi la necessità di un radicale cambiamento di rotta: il passaggio alle onde corte e il conseguente abbandono della tecnologia a onde lunghe, giunta ormai a una specie di vicolo cieco.

David Sarnoff manda una promemoria al direttore della Marconi Co. americana, per la quale lavora, proponendo l'idea di una "scatola musicale" nelle case. La proposta viene ignorata ma costituisce un primo abbozzo dell'oggetto radio e della sua utilizzazione. Proprio Sarnoff sarà uno dei principali artefici, sul versante americano, della nascita della radio commerciale, a partire dagli anni '20.

Impossibilitato a muoversi dall'Italia, Marconi si fa raggiungere a Roma da moglie e figli, che lasciano una Londra minacciata dalle incursioni degli Zeppelin tedeschi.

### 1917

In primavera Marconi partecipa alla missione italiana negli Stati Uniti guidata da Nitti. Il buon esito della missione induce il Presidente del Consiglio Paolo Boselli a proporgli l'incarico di Alto commissario per l'Italia negli Stati Uniti. Marconi però pone condizioni talmente rigide che il progetto viene lasciato cadere.

### 1918

Il 5 novembre Marconi, che dirige la stazione radio del Gianicolo a Roma, capta personalmente un marconigramma che comunica l'abdicazione del Kaiser.

La guerra ha bloccato o comunque complicato i rapporti tecnico-commerciali con il governo italiano, provocando uno stato di tensione che porterà in seguito a un contenzioso economico.

### 1919

In giugno Marconi viene chiamato dal governo a far parte della Delegazione italiana alla Conferenza della Pace di Parigi.

Marconi acquista un grande panfilo sequestrato durante la guerra e lo rinomina Elettra. Lo yacht, su cui viene installata una moderna stazione a valvole termoioniche, può soddisfare l'innata passione per il mare di Marconi e nel contempo fungere da laboratorio mobile per i suoi esperimenti (in qualunque momento e in qualsiasi parte del mondo).

## 1920

In aprile si dimette dall'incarico di delegato plenipotenziario, per disaccordi con il governo italiano su parecchie questioni, in particolare su quella di Fiume, a causa della quale rompe i rapporti anche con Nitti, il suo mentore politico.

In maggio, dopo la lunga parentesi bellica, Marconi riallaccia i rapporti con il Portogallo: si effettua un esperimento di radiodiffusione tra l'Elettra che naviga nell'Atlantico e la stazione di Monsanto (Lisbona).

Il 3 giugno muore la madre Annie, a Londra.

Il 15 giugno da Chelmsford, con strumentazione Marconi, si manda in onda la prima trasmissione radiofonica della storia, il concerto della cantante Dame Nellie Melba. È l'esordio ufficiale del broadcasting (radiodiffusione circolare).

Il 22 settembre Marconi entra nel porto Fiume sul panfilo Elettra, accolto come un fratello da Gabriele D'Annunzio. Riparte il giorno successivo, senza tentare minimamente di dissuadere il Vate, come invece avrebbe voluto il governo italiano.

Il 15 dicembre si realizza il primo collegamento radiotelegrafico e radiotelefonico tra la Svizzera e l'Inghilterra. La stazione di Ginevra viene montata in 15 giorni e collegata con il palazzo della Società delle Nazioni.

## 1921

Si costituisce la Società Marconi Italia, che avanza la richiesta di concessione di 12 stazioni radiotelegrafiche ma deve affrontare la concorrenza della Società Italia Radio (emanazione della francese C.G.T.S.F.) e della Radio Elettrica (emanazione della Telefunken).

## 1922

Nasce la BBC (British Broadcasting Corporation) che rappresenterà un modello per tutte le emittenti europee.

Si apre un nuovo contenzioso tra Marconi e lo Stato italiano per i provvedimenti adottati in seguito al fallimento della Banca Italiana di Sconto, tra cui il sequestro cautelativo delle proprietà Marconi in Italia.

Il 20 giugno, in un'importante conferenza tenuta a New York presso l'Institute of Radio Engineers, Marconi parla delle trasmissioni a onde corte, dà una dimostrazione pratica e preannuncia con sicurezza il generalizzarsi di questo sistema per le comunicazioni a grandi distanze. Nella stessa occasione, descrivendo una lunga serie di prove effettivamente compiute, prevede la possibilità della radiolocalizzazione attraverso i principi del moderno radar.

Il 14 settembre viene firmato un accordo tra il governo portoghese e la Marconi Co. per coprire la rete radiotelegrafica di Portogallo e colonie (in Africa, Asia e Indonesia).

## 1923

Adesione pubblica di Marconi al Fascismo. Lo spingono a tale decisione un fervente nazionalismo, le delusioni personali in campo politico-diplomatico e un giudizio

positivo sulle trasformazioni avviate da Mussolini nella vita italiana. Marconi diventerà presto un simbolo del “genio italico” e ricoprirà alti incarichi per il Regime, pur mantenendo una qualche forma di indecifrabile distacco, forse perché “uomo di due secoli e due patrie” – come ha osservato la figlia Degna.

Il Ministro delle Poste, Antonio Colonna di Cesarò, assegna una concessione per l'impianto di stazioni radio in Italia alla Italo-Radio, una società alla quale partecipano la compagnia francese e quella tedesca ma non la Marconi Co. Marconi infatti non vuole una posizione minoritaria e inoltre giudica inadeguate le strumentazioni in vista dell'introduzione della sua nuova invenzione, le onde corte a fascio, sperimentate durante una lunga crociera estiva nell'Atlantico del Sud a bordo dell'Elettra.

Marconi e la moglie Beatrice, dopo alcuni anni di tensioni e incomprensioni, decidono di divorziare.

#### 1924

In giugno il governo britannico stipula con la Marconi Co. una convenzione per il collegamento radiotelegrafico e radiotelefonico (Imperial Wireless Chain) fra Londra e le colonie (Canada, Sud Africa, India, Australia), a mezzo del sistema Marconi a onde a fascio. Il 30 maggio, mentre si sta preparando la convenzione, Marconi riesce a trasmettere, per la prima volta, la voce umana fra l'Inghilterra e l'Australia.

In settembre si redige una nuova convenzione per i servizi radiotelegrafici italiani, per opera del Ministro delle Comunicazioni, Costanzo Ciano, che di fatto esclude le compagnie francese e tedesca. Marconi però non vede soddisfatte tutte le sue condizioni e rifiuta la carica di presidente della Italo-Radio.

In dicembre viene concesso in esclusiva alla Compagnia Marconi il servizio trasmissioni radio da parte dell'Unione Radiofonica Italiana (EIAR dal 1927), anch'essa in parte controllata da Marconi.

#### 1925

In febbraio si dimette per motivi di salute Godfrey Isaacs, principale artefice dell'ascesa commerciale e finanziaria della Marconi Co. Di qui in avanti la Compagnia, pur mantenendo una grande presenza nel mercato delle radiocomunicazioni, porterà avanti una politica aziendale non sempre oculata.

#### 1926

In un discorso tenuto in giugno nell'Aula Magna dell'Archiginnasio di Bologna, per il trentesimo anniversario della telegrafia senza fili, Marconi chiarisce che la sua carriera può dividersi in tre periodi, di circa dieci anni ciascuno: 1896-1906, affermazione del sistema radiotelegrafico che porta il suo nome; 1906-1916, perfezionamenti resi possibili dalla valvola termoionica di Fleming; 1916-1926, sostituzione del sistema a onde lunghe con quello a onde corte a fascio, con cui finalmente si risolve il problema di ottenere regolari radiocomunicazioni di giorno e di notte alla massima distanza del globo, e cioè fra gli antipodi.

#### 1927

In aprile il Tribunale della Sacra Rota annulla il matrimonio con Beatrice O'Brien per “vizio di consenso” e Marconi può sposare, il 12 giugno, Maria Cristina Bezzi Scali, appartenente alla nobiltà romana.

Il 1° settembre Marconi viene nominato Presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

In Italia si completa la radicale trasformazione del settore comunicazioni radioelettriche, che diviene un sistema oligopolistico con prevalenza delle società marconiane (Italo-Radio, Radiofono, Radionazionale, SIRM).

A Londra, di ritorno da New York, Marconi è vittima di una grave indisposizione che lo costringe ad una lunga convalescenza.

## 1928

Il dirigibile Italia, al comando di Umberto Nobile, compie una spedizione al Polo Nord. Durante il secondo volo, si schianta sulla banchisa. Il marconista Giuseppe Biagi riesce a improvvisare un'antenna, a rimediare un'alimentazione di fortuna e finalmente a far funzionare un piccolo trasmettitore, procurato e raccomandato alla spedizione personalmente da Marconi. Si trasmette l'SOS che viene raccolto da uno sconosciuto radioamatore, nel nord della Russia. Dopo numerosi tentativi, Biagi riesce poi a orientare un aereo sulla "tenda rossa". Le operazioni di recupero sono complicatissime e costano la vita a sei soccorritori, tra cui il celebre Amundsen, lasciando con il fiato sospeso il pubblico di tutto il mondo, informato costantemente dalla ormai popolare radiodiffusione. L'episodio segna la definitiva affermazione della radio a onde corte nell'aviazione civile e militare.

Si realizza la fusione tra una delle principali Società dei cavi (The Eastern and Associated Telegraph Company) e la Marconi's Wireless Co. Lo scontro trentennale tra le due concezioni si conclude.

## 1929

Il 17 giugno Marconi viene creato Marchese da Sua Maestà il Re d'Italia.  
In settembre visita il Portogallo per la terza e ultima volta.

## 1930

Il 26 marzo, dal panfilo Elettra ancorato al porto di Genova, Marconi accende mediante un radiosegnale – alla distanza di 22.000 km – l'impianto di illuminazione dell'Esposizione radioelettrica, che si tiene a Sydney, Australia.

Coltano diviene il primo grande centro radiotelegrafico a onde corte, per servizio alle navi ovunque ubicate.

Il 20 luglio nasce la figlia Maria Elettra, a Villa Odescalchi presso Civitavecchia.

Il 19 settembre Marconi viene nominato Presidente della Reale Accademia d'Italia e quindi, di diritto, Membro del Gran Consiglio del Fascismo.

È ormai evidente che, anche se la maggior parte delle attività tecnico-industriali e commerciali restano in Inghilterra, sia la vita pubblica che quella privata lo legano sempre di più all'Italia.

## 1931

Il 12 febbraio Pio XI inaugura la stazione radio di Città del Vaticano, progettata e realizzata da Marconi.

Il 12 ottobre Marconi accende da Roma (via Coltano) la statua del Redentore sul Monte Corcovado a Rio de Janeiro.

1932

In agosto s'inaugura il servizio radiotelefonico più esteso mai concepito, fra una nave (piroscafo Conte Rosso, che naviga nei mari della Cina a oltre 10.000 miglia di distanza) e la terraferma (stazione di Coltano), con apparecchi Marconi.

1933

Marconi compie un viaggio intorno al mondo. Tantissimi sono i luoghi visitati (tra cui Chicago, San Francisco, Honolulu, Tokio, la Cina e l'India) e altrettante le onoranze rese al padre della radio.

Il 2 ottobre viene dichiarato "The Marconi's Day" in tutta l'America, per onorare l'inventore italiano.

1934

Marconi viene nominato Presidente dell'Istituto dell'Enciclopedia Italiana.

Marconi compie il primo esperimento di "navigazione cieca": l'Elettra entra nel porto di Sestri Levante guidata unicamente da un radiofaro, senza bussola e senza visibilità della costa.

In maggio Marconi è di nuovo nella sua Bologna: grande festa al Littoriale (oggi Stadio dall'Ara), visita alla Fiera e conferimento della laurea honoris causa in fisica nell'Aula Magna di via Zamboni.

In settembre Marconi, accompagnato dalla moglie, fa visita a Gabriele D'Annunzio, al Vittoriale.

A Venezia, dopo un discorso sulle microonde e su un nuovo settore di applicazione delle radioonde (in seguito denominato "marconiterapia") al Congresso nazionale di elettro radiobiologia, Marconi ha un violento attacco cardiaco.

1935

In vista delle operazioni militari nell'Africa orientale, s'inaugura il collegamento radiotelefonico diretto fra Roma e l'Asmara (Eritrea).

Il 15 aprile Marconi compie alcune esperienze a Torre Chiaruccia (Civitavecchia) sul fenomeno di riflessione delle microonde, esperienze che tra l'altro aprono la strada alla messa a punto del radar da parte degli Inglesi. Dopo le onde lunghe e le onde corte, sono le microonde il nuovo obiettivo di Marconi.

In settembre si reca in Brasile: è il suo ultimo viaggio transoceanico.

Le sanzioni economiche, imposte all'Italia dalla comunità internazionale per via della guerra di Etiopia, colpiscono duramente gli interessi di Marconi, costringendolo a una presa di posizione a favore dell'Italia che danneggia le sue relazioni con il mondo anglosassone e complica i rapporti finanziari con il suo sistema di società, il cui cuore si trova nel Regno Unito. Probabilmente Marconi interviene presso lo stesso Mussolini per scongiurare il pericolo di un conflitto italo-inglese nel Mediterraneo.

A Londra, subisce una grande umiliazione: la BBC, per decisione del direttore generale John Reith, rifiuta di mandare in onda un suo intervento (Marconi si proponeva di spiegare le ragioni dell'Italia nella questione dell'Africa Orientale).

Sul treno che lo riporta a Roma ha un nuovo attacco di cuore.

1936

Su richiesta di J.J. Thompson, Marconi si adopera per la figlia di Hertz, esule in Inghilterra a causa del crescente antisemitismo germanico. Non ha mai condiviso la politica razziale del nazismo (in Inghilterra ha fatto anche donazioni a organizzazioni sioniste) e soffre per l'avvicinamento dell'Italia alla Germania.

Il 24 aprile muore il fratello Alfonso, a Rapallo.

Il 2 novembre viene inaugurato a Londra dalla BBC il primo regolare servizio di televisione al mondo; dopo una breve sperimentazione dei due sistemi (quello a scansione meccanica dello scozzese John Logie Baird e quello elettronico della Marconi-EMI Television), la BBC adotta definitivamente il sistema elettronico Marconi-EMI (dal 1° febbraio 1937).

1937

L'11 marzo Marconi invia al "Chicago Tribune Forum" un radiomessaggio che rappresenta una sorta di testamento scientifico, in cui si prevedono con lucidità alcuni futuri sviluppi tecnici e si sottolinea più volte la vocazione ecumenica delle radiocomunicazioni, strumento innanzitutto di pace e di unione tra i popoli.

Il 20 luglio, nel suo appartamento di via Condotti a Roma, Marconi muore in seguito a un nuovo, fatale attacco cardiaco.

Fra i tanti tributi, spicca un gesto eccezionale: in onore del padre delle radiocomunicazioni, le stazioni radio di tutto il mondo interrompono contemporaneamente le trasmissioni per due minuti. L'etere torna ad essere silenzioso, così come era stato fino all'invenzione di Marconi.

Dopo il solenne corteo funebre, le spoglie di Marconi vengono esposte nel salone d'onore della Farnesina, dove centinaia di migliaia di persone rendono omaggio al feretro. La salma viene poi trasferita a Bologna, nella tomba di famiglia dei Marconi.

1938

In data 7 marzo, per regio decreto, il Comune di "Sasso Bolognese" (fino al 1935 "Praduro e Sasso") è autorizzato a mutare la propria denominazione in "Sasso Marconi" e quella della frazione "Pontecchio" in "Pontecchio Marconi".

In data 28 marzo, per regio decreto, "il giorno 25 aprile, anniversario della nascita di Guglielmo Marconi, è dichiarato, a tutti gli effetti, solennità civile".

1941

Il 6 ottobre la salma di Marconi viene trasportata con una imponente cerimonia dal Cimitero della Certosa al Mausoleo costruito in memoria dell'inventore, su progetto di Marcello Piacentini, ai piedi di Villa Griffone, il luogo appunto dove Marconi aveva avviato a soli 21 anni la straordinaria avventura delle radiocomunicazioni.

## Il contributo della Marina Militare Italiana allo sviluppo delle radiocomunicazioni

### Introduzione

A differenza delle altre Forze Armate la necessità della Marina Militare Italiana di provvedere a grandi mezzi navali ha portato, fino dalla sua costituzione, alla necessità di notevoli infrastrutture portuali e di arsenale, obbligandola quindi allo svolgimento di una propria politica industriale. Si può ricordare, agli albori dell'Unità d'Italia, il piano dell'Ispettore Generale del Genio Navale Benedetto Brin<sup>1</sup>: Costruzione dell'Arsenale Militare di La Spezia (1863), dell'Accademia Navale (1881), dell'Arsenale di Taranto (1884) e la realizzazione del Duilio – corazzata da 12000 tonnellate di dislocamento – di cui la marina americana ebbe a commentare che la relativa capacità di fuoco sarebbe stata sufficiente a distruggere la loro flotta. Per realizzare i cannoni del Duilio – i più grandi dell'epoca, furono realizzate le Acciaierie di Terni. Di conseguenza l'organizzazione della ricerca e sviluppo ha avuto un posto preminente nella Marina Militare.

Sempre per la sua propria natura la Marina Militare ha sentito l'esigenza di mezzi di telecomunicazione più di altre forze armate. Là dove un telegrafo da campo a fili poteva sopperire, già ai tempi dell'Unità d'Italia, alle esigenze dell'esercito, le Unità Navali in navigazione erano ancora legate a comunicazioni tramite bandiere o segnali luminosi, necessariamente a breve distanza.

L'avvento della telegrafia senza fili alla fine del XIX secolo destò immediato interesse ai vertici della Marina Militare Italiana che prima seguì da vicino con grande interesse gli sviluppi delle invenzioni di Guglielmo Marconi<sup>2</sup> e che poi si dotò di un proprio Istituto, l'*Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della R. Marina* (IERT), costituito con decreto luogotenenziale n. 1571 del 26 ottobre 1916. In questo Istituto, successivamente denominato *Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni della Marina* (RIEC) con R. decreto 26 aprile 1928 e quindi *Istituto Radar e delle Telecomunicazioni della M.M.* (MARITELERADAR) in data 1 aprile 1957 si sono svolte ricerche avanzate che hanno contribuito in modo determinante allo sviluppo delle radiocomunicazioni italiane.

In questo capitolo si ripercorre il cammino storico dei contributi della Marina Militare allo sviluppo delle radiocomunicazioni in Italia, con particolare enfasi – ma non limitatamente – a quanto sviluppato all'interno del RIEC. Parte del materiale iconografico qui pubblicato è stato raccolto dagli autori negli anni passati<sup>3</sup>. Il contributo è organizzato nei seguenti percorsi tematici:

<sup>1</sup> Benedetto Brin: Torino, 17 maggio 1833 – Torino, 24 maggio 1898.

<sup>2</sup> Guglielmo Marconi: Bologna, 25 aprile 1874 – Roma, 20 luglio 1937.

<sup>3</sup> Pelosi e Selleri 2001; Bucci et al. 2003; Falciaesca et al. 2004; Pelosi et al. 2004; Abbatangelo et al. 2006a; Abbatangelo et al. 2006b; Cavicchi e Selleri 2006; Giannini et al. 2006.

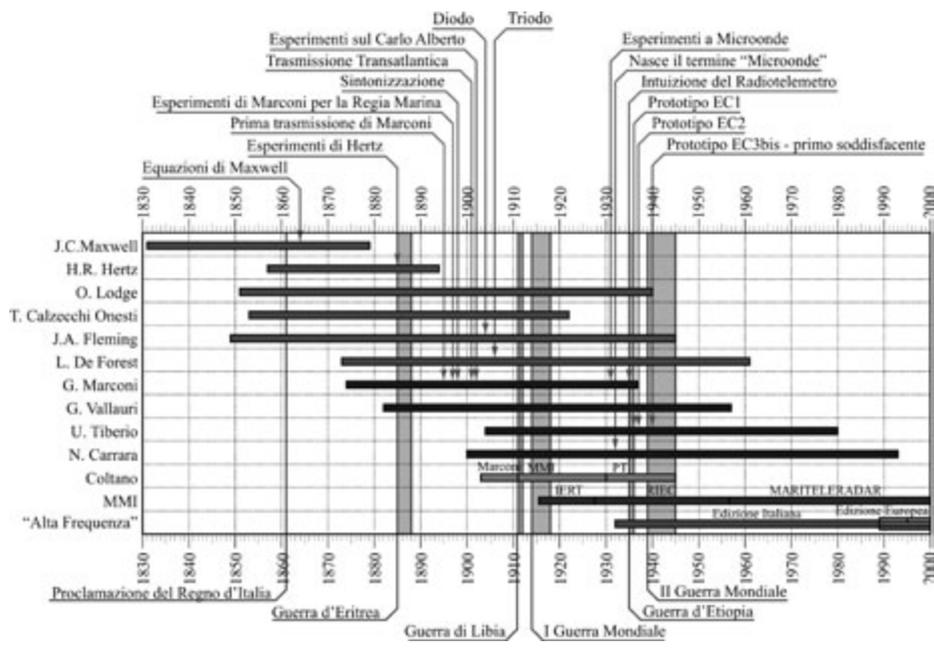


Figura 1. Cronologia degli uomini, delle stazioni e delle istituzioni trattati in questa sede.

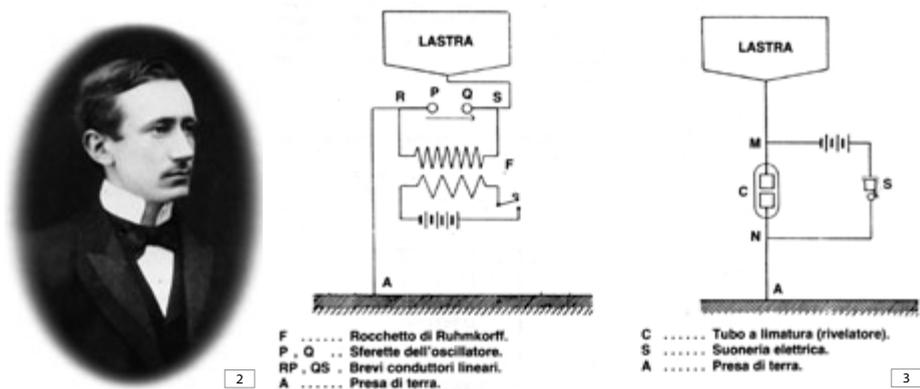
- *Le prime esperienze* – I primi esperimenti di comunicazione via etere svolti alla fine del XIX e all’inizio del XX secolo, soprattutto ad opera di Guglielmo Marconi, all’epoca Ufficiale della M.M.I.;
- *L’Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della R. Marina* – La costituzione dell’Istituto, i primi risultati ivi ottenuti;
- *La Regia Marina e le Telecomunicazioni Militari* – La rete di telecomunicazioni attivata dalla Regia Marina per uso proprio;
- *L’Ultimo Marconi* – Gli esperimenti in navigazione a microonde e l’intuizione del radiotelemetro;
- *Il radar italiano* – Gli sviluppi del radar italiano presso il RIEC durante la Seconda Guerra Mondiale;
- *Divulgazione* – Il contributo della M.M.I. alla divulgazione scientifica.

La Figura 1 riporta uno schema cronologico dei principali personaggi, avvenimenti ed istituzioni trattati in questa sede.

## Le prime esperienze

Nel 1864 James Clerk Maxwell<sup>4</sup> formulò le famose equazioni differenziali che portano il suo nome e che legano tra loro i campi elettrici e magnetici

<sup>4</sup> James Clerk Maxwell: Edimburgo, Scozia, Regno Unito, 13 giugno 1831 - Cambridge, Inghilterra, Regno Unito, 5 novembre 1879.



**Figura 2.** Guglielmo Marconi (25 aprile 1874 - 20 luglio 1937).  
**Figura 3.** Schema del primo trasmettitore (sinistra) e ricevitore (destra) Marconiano.

tempo varianti. Dall'esame delle equazioni di Maxwell divenne presto chiaro che una perturbazione variabile nel tempo di un campo elettromagnetico, nello spazio libero, non poteva restare localizzata ma doveva necessariamente muoversi nello spazio.

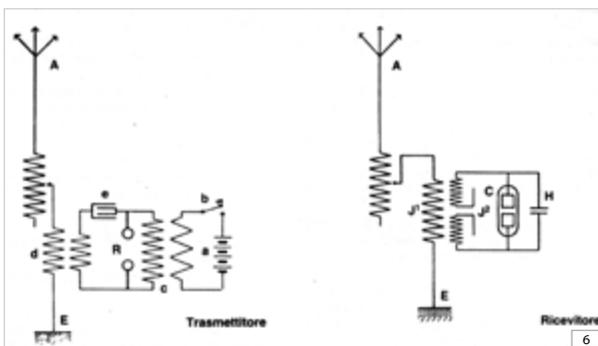
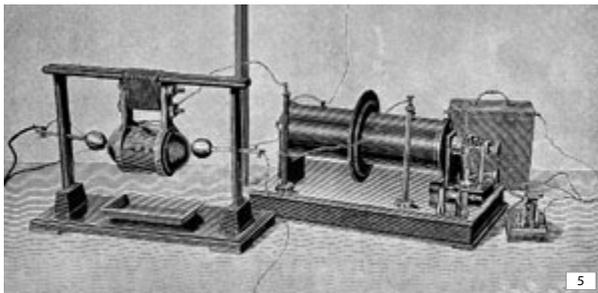
Questa considerazione portò immediatamente al concetto di onda elettromagnetica e, dalla concordanza tra valore teorico della velocità di propagazione di queste onde e la velocità della luce divenne presto chiaro come quest'ultima fosse essa stessa un'onda elettromagnetica.

Heinrich Rudolf Hertz<sup>5</sup> fu il primo a riuscire a produrre e a rilevare in laboratorio onde elettromagnetiche diverse dalla luce visibile con generatori e rivelatori a scintilla (1885-1889). Nel 1892 William Crookes<sup>6</sup> propose per la prima volta di utilizzare le onde elettromagnetiche per trasmettere segnali telegrafici attraverso lo spazio.

Tre anni più tardi, nel 1895, Guglielmo Marconi (Fig. 2) fu il primo a trasmettere con successo segnali telegrafici senza fili dalla propria villa di Pontecchio (BO) a distanze significative. Il primo celebre esperimento su "lunga" distanza fu effettuato con il ricevitore a circa 700 metri, oltre una collina prospiciente la villa. Il primissimo apparato trasmittente (Fig. 3 a sinistra) era costituito da un interruttore, chiudendo il quale si generava un transitorio di corrente nel circuito di alimentazione della prima bobina del rocchetto di Ruhmkorff (F). Tale transitorio generava, ai capi dell'altro avvolgimento, una tensione sufficientemente elevata da generare una scintilla tra le sferette dello spinterometro (P e Q). Questa corrente impulsiva conteneva componenti a frequenza elevata che, tramite l'antenna a lastra metallica, venivano radiate nello spazio. Il ricevitore (Fig. 3 a destra) catturava le onde elettromagnetiche tramite un'analogica antenna a

<sup>5</sup> Heinrich Rudolf Hertz: Amburgo, Germania, 22 febbraio 1857 - Bonn, Germania, 1° gennaio 1894.

<sup>6</sup> William Crookes: Londra, Inghilterra, Regno Unito, 17 giugno 1832 - Londra, Inghilterra, Regno Unito, 4 aprile 1919.



**Figura 4.** Il giovane Marconi, nel 1897, a bordo del rimorchiatore n. 8 nelle acque di La Spezia (in alto) e a San Bartolomeo (La Spezia), (in basso).

**Figura 5.** Riproduzione a stampa d'epoca del trasmettitore di bordo degli esperimenti nel golfo della Spezia (1897).

**Figura 6.** Trasmettitore e ricevitore accordato.

lastra che induceva tensioni oscillanti ai capi di un coesore (C). La presenza di una tensione oscillante, e del relativo campo magnetico, orientava in modo coerente la limatura di ferro all'interno del coesore, limatura che viene quindi a chiudere il circuito di un campanello che, alimentato da una batteria, si metteva a suonare<sup>7</sup>.

Appena due anni dopo, nel 1897, in numerosi esperimenti nella Manica e nel golfo della Spezia Marconi riuscì a coprire la distanza di 30 chilometri, superando così l'orizzonte ottico.

Il legame fra Guglielmo Marconi e la Regia Marina Militare Italiana fu strettissimo. Il 2 luglio 1897, su invito dell'Ispettore Generale del Genio Navale Benedetto Brin, Marconi effettuò una dimostrazione presso il Ministero della Marina (allora nel convento degli Agostiniani, in Via della Scrofa). Sempre in luglio Marconi, nel Golfo della Spezia, effettuò esperimenti tra San Bartolomeo ed il rimorchiatore N.8 (Figg. 4, 5).

È del 1898 l'invenzione della sintonizzazione (Fig. 6). Tramite induttori variabili e condensatori Marconi inserì un circuito risonante nel trasmettitore e nel ricevitore in grado di selezionare una determinata frequenza nell'ampio spettro della scintilla eliminando, tra l'altro, l'eccitazione diretta dell'antenna e permettendo potenze in trasmissione più elevate.

<sup>7</sup> Poli 1985.

A.D. 1900  
No. 7777

D

EDWARD.



BY THE GRACE OF GOD.

Of the United Kingdom of Great Britain and Ireland, King, Defender of the Faith: To all to whom these presents shall come greeting

WHEREAS *Giuglielmo Marconi Electrician and Marconi's Wireless Telegraph Company Limited both of 28 Mark Lane in the City of London*

have declared that they are in possession of an invention for *Improvements in apparatus for wireless telegraphy*

that the said *Giuglielmo Marconi* is the true and first inventor thereof, and that the same is not in use by any other person to the best of their knowledge and belief:

AND WHEREAS the said applicants have humbly prayed that a patent might be granted unto them (together with their executors, administrators, and assigns, or any of them, referred to as the said patentees) for the sole use and advantage of the said invention:

AND WHEREAS the said applicants have by and in their complete specification particularly described the nature of the said invention:

AND WHEREAS We being willing to encourage all inventions which may be for the public good, we graciously pleased to condescend to their request:

KNOW YE, THEREFORE, that We, of our especial grace, certain knowledge, and mere motion do by these presents, for us, our heirs and successors, give and grant unto the said patentees our especial license, full power, sole privilege, and authority, that the said patentees by themselves, their agents, or licensees, and no others, may at all times hereafter during the term of years herein mentioned, make, use, exercise, and vend the said invention within our United Kingdom of Great Britain and Ireland, and Isle of Man, in such manner as to them may seem meet, and that the said patentees shall have and enjoy the whole profit and advantage from time to time arising by reason of the said invention, during the term of fourteen years from the date hereunder written of these presents: AND to the end that the said patentees may have and enjoy the sole use and exercise and the full benefit of the said invention, We do by these presents for us our heirs and successors, strictly command all our subjects whatsoever within our United Kingdom of Great Britain and Ireland, and the Isle of

Man, that they do not at any time during the continuance of the said term of fourteen years either directly or indirectly make use of or put in practice the said invention, or any part of the same, nor in anywise imitate the same, nor make or cause to be made any addition thereto or subtraction therefrom, whereby to prevent themselves the inventors thereof, without the consent license or agreement of the said patentees in writing under their hands and seals, on pain of incurring such penalties as may be justly inflicted on such offenders for their contempt of His our Royal command, and of being answerable to the patentees according to law for their damages thereby sustained:

PROVIDED that these our letters patent are on this condition, that, if at any time during the said term it be made to appear to us, our heirs, or successors, or any six or more of our Privy Council, that the said invention is not a new invention as to the public use and exercise thereof within our United Kingdom of Great Britain and Ireland, and Isle of Man, or that the said *Giuglielmo Marconi* is not the first and true inventor thereof within this realm as aforesaid, then our letters patent shall forthwith determine, and be void to all intents and purposes, notwithstanding anything herein-before contained: PROVIDED ALSO, that if the said patentees shall not pay all fees by law required to be paid in respect of the grant of these letters patent, or in respect of any matter relating thereto at the time or times, and in manner for the time being by law provided; and also if the said patentees shall not supply or cause to be supplied, for our service all such articles of the said invention as may be required by the officers or commissioners administering any department of our service in such manner, at such times, and at and upon such reasonable prices and terms as shall be settled in manner for the time being by law provided, then, and in any of the said cases, these our letters patent, and all privileges and advantages whatsoever hereby granted shall determine and become void notwithstanding anything herein-before contained: PROVIDED ALSO that nothing herein contained shall prevent the granting of licenses in such manner and for such considerations as they may by law be granted: AND lastly, we do by these presents for us, our heirs and successors, grant unto the said patentees that these our letters patent shall be construed in the most beneficial sense for the advantage of the said patentees.

IN WITNESS whereof we have signed these our letters to be made patent and to be sealed as of the *twenty sixth day of April* one thousand nine hundred

C. H. DALTON,

Comptroller General of Patents, Designs and Trade Marks.



Apparati Marconi per la radiotelegrafia sintonica

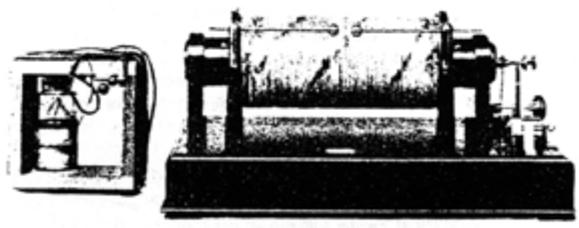
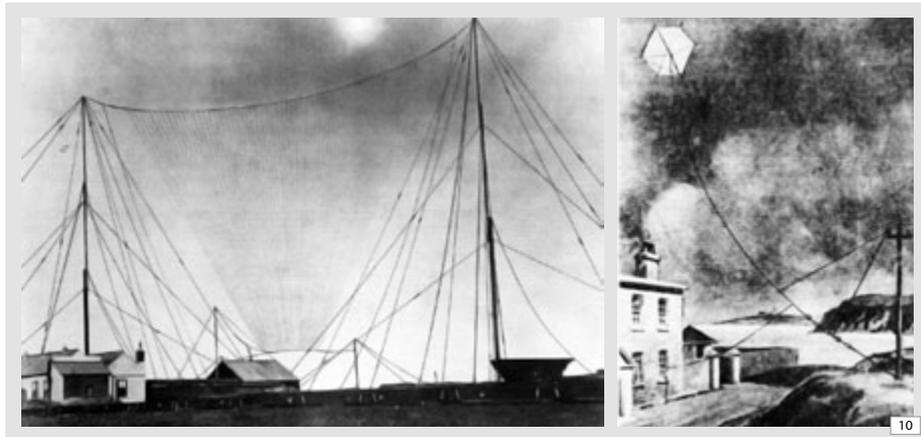
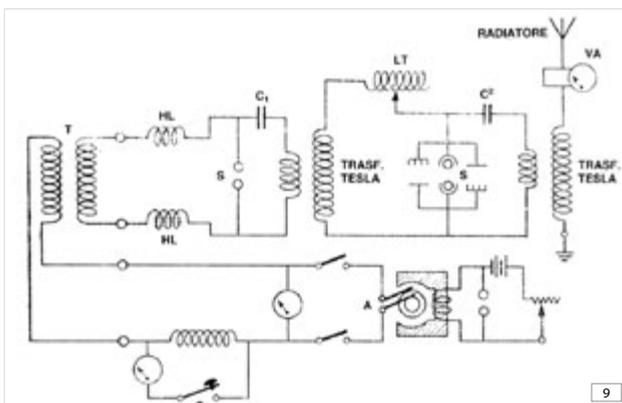


Figura 7. Brevetto 7777 (26 aprile 1900).

È quindi del 26 aprile 1900 il brevetto 7777 registrato da Marconi per il suo sistema per “telegrafia accordata o sintonizzata e multipla su una sola antenna di nuovo tipo”. Su questo brevetto si baserà tutta l’industria delle radiocomunicazioni per molti anni (Fig. 7).

Il coronamento del successo di Marconi è in quel 12 dicembre 1901 nel quale egli effettua la prima trasmissione transatlantica. Marconi a Terranova, in Canada, nonostante le avverse condizioni atmosferiche, ricevette la serie di tre



**Figura 8.** Poldhu, sito europeo, sull'estremo lembo occidentale della Cornovaglia, già teatro di precedenti esperienze di Marconi, e scelto per il tentativo di trasmissione transatlantica del 1901.

**Figura 9.** Schema del Trasmettitore di Poldhu.

**Figura 10.** Antenna trasmittente di fortuna a Poldhu (a sinistra) e ricevente, sempre di fortuna, a Terranova (a destra).

punti (la lettera “S” dell’alfabeto Morse) inviata dai suoi collaboratori a Poldhu, nella Cornovaglia (Fig. 8)<sup>8</sup>.

Il trasmettitore di Poldhu comprendeva un motore a vapore che muoveva un generatore (A in Fig. 9) il quale forniva 2000V ad una frequenza di 50Hz per una potenza complessiva di 15kW. Il trasformatore (T) innalzava la tensione a 20kV. Il circuito risonante generava infine oscillazioni a circa 166kHz (lunghezza d’onda  $\lambda=1800\text{m}$ ).

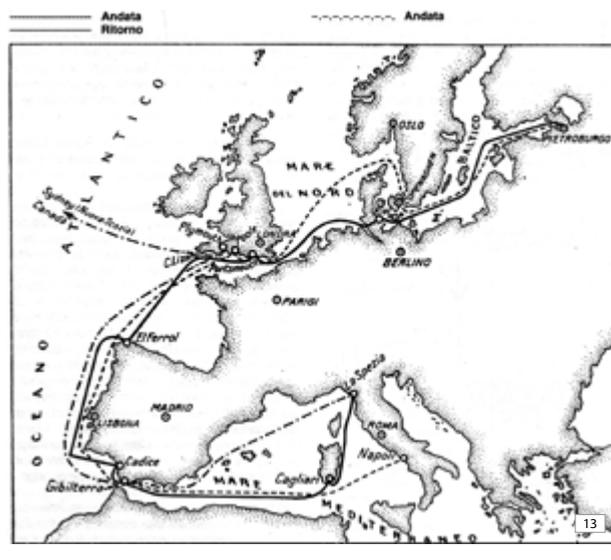
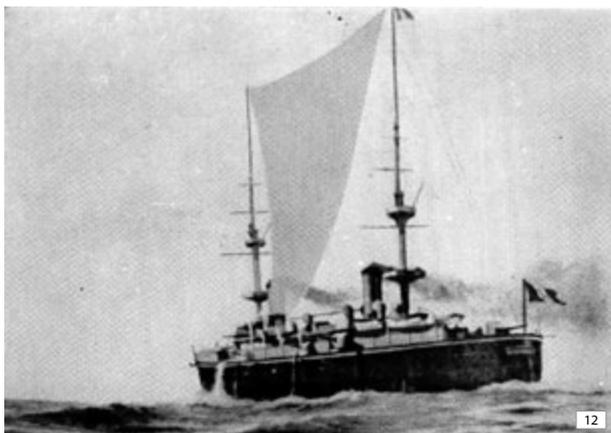
Le antenne riceventi e trasmettenti avrebbero dovuto essere coni rovesciati formati da fili ma il maltempo distrusse entrambe le antenne, trasmettente e ricevente, all’inizio del 1901, per cui la prima trasmissione transatlantica (12 dicembre 1901) avvenne con un’antenna trasmittente di fortuna a ventaglio a Poldhu ed un’antenna ricevente sollevata in aria da un aquilone a Signal Hill (Terranova, Canada) (Fig. 10).

<sup>8</sup> Bussey 2000.



Figura 11. Foglio matricolare di Marconi.

In questo periodo di grande fermento Marconi ebbe legami strettissimi con la Regia Marina. Occorre infatti ricordare che egli, diciottenne, si arruolò volontario nell'esercito il 29 ottobre 1892 "in ferma di un anno" (un modo per ridurre la leva obbligatoria all'epoca ben più lunga) salvo rimandare poi la leva per motivi di studio (Fig. 11). Dopo il periodo inglese il rientro in Italia avrebbe richiesto



**Figura 12.** Dipinto a olio dell'incrociatore Carlo Alberto con l'antenna a ventaglio ben visibile.

**Figura 13.** Rotte dell'incrociatore Carlo Alberto nel 1902.

l'assolvimento dell'obbligo di leva. La Regia Marina provvede quindi al suo trasferimento nei propri ruoli come "comune di seconda classe - operaio" (ovviamente non esisteva la categoria radiotelegrafisti) salvo distaccarlo presso l'ambasciata di Londra per l'anno di leva (dal 1° novembre 1900 al 1° novembre 1901) consentendogli quindi di preparare l'impresa transatlantica.

Nel 1902 inoltre Marconi chiese la disponibilità di una nave da guerra italiana per effettuare collegamenti con la stazione di Poldhu, nella Cornovaglia, dove era installato il trasmettitore da 25 kW. Era intenzione del governo italiano inviare a luglio in Inghilterra, per l'incoronazione di Edoardo VII, il nuovo incrociatore Carlo Alberto, orgoglio della Regia Marina (Figg. 12, 13). Anche per gli

impliciti risvolti propagandistici, la richiesta di Marconi fu accettata e convenuto che egli si imbarcasse sull'incrociatore, al suo arrivo in Inghilterra<sup>9</sup>.

La rivista navale fu però rimandata. L'8 luglio 1902 il Carlo Alberto ricevette così l'ordine di salpare per la base di Kronstadt, in Russia, per una visita ufficiale del Re d'Italia allo Zar Nicola II decisa in tutta fretta. Marconi, preso a bordo a Dover, si dedicò immediatamente alla sintonizzazione degli apparati radio (Fig. 14) e soprattutto alla messa a punto del nuovo ricevitore magnetico (o *detector* Figg. 15, 16), da lui inventato ed impiegato per la prima volta sulla nave da guerra italiana.

<sup>9</sup> Solari 1949.

UNA PAGINA DEL GIORNALE DELLE ESPERIENZE RADIOTELEGRAFICHE A BORDO DELLA CARLO ALBERTO

DATA Anno 1902	Ora	POSIZIONE DELLA NAVI	Stato del tempo	Barometro	Termometro	Vento velocità Altezza N. del S.	Distanza tra due stazioni comunicanti	Radiotelegrammi ricevuti e mandati su Morse (M) su alfabeta (A)	Observazioni
19 luglio	...	S. E. dell'Isola Gotland	Buono	...	...	Quadruplo	...	...	Ricezione negativa.
Notte 19-21 luglio	5.-	Nel Golfo di Finlandia	SS	741,0	16,9	SS	C. R. Poldhu 1200 miglia marine.	Serie di S Morse - Z - (D)	Pronti alla ricezione.
24	1.30	SS	SS	...	...	SS	...	Serie di S Morse - Z - E - (D)	Si riceveva per circa 10 min. dagli S. dattilo ma indistincti.
Notte 21-22 luglio	2.-	SS	SS	248,9	15,8	SS	Kronstadt Poldhu chilometri 1100.	Serie di S Morse - Z - E - Z - (D)	Si riceveva una serie di S ma in modo discontinuo. Si decise di migliorare l'intono della nostra stazione con quella l'ufficiale in un numero di S.
24	1.30	SS	SS	...	...	SS	SS	Serie di S S - (D)	...
21 luglio	3.-	A Kronstadt	SS	...	...	SS	SS	Altezza S ma al punto debole - (D)	Il sistema S Morse fu messo in opera costituito da 50 oscillatori elettrici alimentati da una dinamo di corrente continua che fu collegata all'antenna di marcia e quella di trasmissione. Con tale sistema si ottenne più facilmente la sintonizzazione con l'ufficiale che con un sistema di 100 oscillatori. - di S. posti a ricevere. I segnali della stazione radiotelegrafica di Poldhu (Angliani).
23 luglio	3.-	SS	SS	252,0	14,8	SS	1170 chilometri da Poldhu.	...	Si utilizzò al telefono la stazione di Kronstadt di qualche lavoro. Al lavoro del sole la ricezione diventò del tutto negativa.
14-21 luglio	...	SS	SS	...	...	SS	SS	...	Si utilizzò il filo aereo al ricambio alla ricezione diurna e venne lo difficoltà di ottenere al diavolo con tutto progredendo la ricezione migliore. Il giorno 14 si eseguì una dimostrazione di radiotelegrafia in presenza della L. L. M. M. Imperatore di Russia e fu S Italia.

14



15



16



17

Figura 14. Estratto del libro di bordo del Carlo Alberto relativo al periodo 10-21 luglio 1902.

Figura 15. Primo esemplare di detector magnetico.

Figura 16. Detector magnetico, prototipo del 1902, con dedica di G. Marconi a L. Solari.

Figura 17. Il Carlo Alberto, con il gran pavese, alla fonda nella rada di Kronstadt.

Il detector magnetico, basato sulle non linearità nella magnetizzazione di un filo metallico si rivelò più sensibile del coesore – occorre ricordare che all’epoca non era ancora disponibile alcuna forma di amplificazione – permettendo collegamenti con potenze in trasmissione minori e maggiore chiarezza in ricezione. Ben presto i segnali furono ricevuti sul Carlo Alberto da Poldhu, con una differenza di ricezione che risultò subito evidente: migliore di notte che di giorno.

Questa differenza sarebbe stata rilevata più volte da Marconi e dagli scienziati in tutto il globo ma sarebbe stata spiegata molto più tardi con la scoperta della ionosfera e con la sua interazione col vento solare.

Lasciata Kronstadt il 23 luglio 1902 (Fig. 17) in un clima di festeggiamenti ed apprezzamenti, il Carlo Alberto, al comando dell’Ammiraglio Carlo Mirabello<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Carlo Mirabello: Tortona, Alessandria, 1847 - Milano, 1910.



**Figura 18.** L'ammiraglio Carlo Mirabello, Comandante del Carlo Alberto.

**Figura 19.** Il 9 settembre 1902, appena ripartiti per La Spezia, a 39°40'N, 9°55'E (Cagliari) viene ricevuto il primo telegramma ufficiale attraverso vasti tratti di terreno montuoso: "S.M. il Re - L'ambasciatore di Vostra Maestà manda per mezzo del telegrafo Marconi devoti omaggi - Carignani".

– che divenne l'anno successivo, 1903, Ministro della Marina Militare – (Fig. 18), fece ritorno a Portsmouth il 1° agosto 1902 per l'incoronazione. Finalmente il 25 agosto 1902 il Carlo Alberto iniziò il viaggio di ritorno, con Marconi a bordo intenzionato a collaudare la ricezione dei segnali nel Mediterraneo. In effetti molti messaggi furono scambiati con Poldhu, registrati e stampati.

Il 4 settembre 1902 il Carlo Alberto arrivò nello stretto di Gibilterra. Qui Marconi fece l'esperimento più decisivo di tutta la crociera, di importanza fondamentale per le radiocomunicazioni a grande distanza: tentò infatti di ricevere Poldhu mentre l'incrociatore era in navigazione sotto la costa spagnola, all'"ombra" delle montagne. Ci riuscì nella trasmissione delle tre antimeridiane e ci riuscì nuovamente presso Cagliari, con Francia e Sardegna interposte fra trasmettitore e ricevitore<sup>11</sup> (Fig. 19).

Marconi sbarcò alla Spezia l'11 settembre 1902. Il successo degli esperimenti durante la prima campagna del Carlo Alberto indusse il Ministero della Marina Italiana a mettere nuovamente l'incrociatore a disposizione di Marconi. Lo scienziato infatti aveva intenzione di eseguire esperienze di ricezione attraverso l'Atlantico, dalle stazioni di Glace Bay e di Capo Cod, rispettivamente in Canada e negli Stati Uniti, a quella di Poldhu, distante 4000 km dalla prima e 5000 km dalla seconda.

Partito da La Spezia il 30 settembre 1902, dopo modifiche e perfezionamenti sia alle stazioni radiotrasmettenti che agli alberi ed agli aerei, il Carlo Alberto si recò prima a Portland e poi a Plymouth. Da qui partì il 20 ottobre per il Canada. Durante tutta la traversata atlantica i segnali di Poldhu furono ricevuti con regolarità e chiarezza, nonostante si verificassero forti burrasche. Giunto a Sidney (Nuova Scozia, Canada) il 30 ottobre 1902, Marconi iniziò i lavori di costruzione della stazione di Glace Bay, dove fu installato un trasmettitore della potenza di 75 kW.

<sup>11</sup> "L'Unione Sarda", 7 e 8 settembre 1902.

Il 20 dicembre 1902 furono inviati i primi radiotelegrammi augurali, diretti ai reali d'Italia e d'Inghilterra. In seguito alla ricezione di nuovi ordini il Carlo Alberto ripartì da Sidney il 21 dicembre diretto a La Guayra, nel Sud America, terminando così il suo compito di assistenza a Marconi. In ogni caso le due campagne radiotelegrafiche avevano ampiamente dimostrato la possibilità di ricevere segnali, purché di sufficiente potenza, a qualsiasi distanza sulla superficie della terra.

Marconi, rimase solo con l'amico e futuro biografo Luigi Solari<sup>12</sup> e, il 14 gennaio 1903 lasciò Glace Bay per sovrintendere alla stazione di Capo Cod, appena terminata. L'inaugurazione dell'impianto trasmittente, della potenza di soli 10 kW, avvenne il 18 gennaio 1903. Alla fine dello stesso mese Marconi fece ritorno in Inghilterra.

È significativa l'analisi della rapida evoluzione degli apparati trasmittenti e riceventi che permisero questi successi. I primi trasmettitori usati furono del tipo a scintilla: ai capi del rocchetto di Ruhmkorff si generava una tensione sufficientemente elevata da generare una scintilla nello spinterometro, ovvero un conduttore formato da due aste metalliche allineate, terminanti con due sferette separate da un breve spazio vuoto. La scintilla emetteva onde smorzate che potevano essere radiate nello spazio con un'antenna a lastra metallica. La frequenza delle scintille era inizialmente di qualche centinaio al secondo, ma quando invalse l'uso di ricevere segnali telegrafici ad udito – ovvero con cuffie direttamente dall'operatore piuttosto che tramite coesore – essa fu aumentata fino a 600-1000 Hz. Le scintille musicali, ovvero accordate, furono un primo passo verso un aumento dell'efficienza del trasmettitore e furono ottenute con vari sistemi: ad esempio nel 1904 Marconi brevettò lo spinterometro rotante a scintilla strappata.

Il rendimento di trasmissione con onde smorzate generate da scintille era però molto basso. Fu quindi avviata la ricerca di generatori ad onde continue o "persistenti". Il primo di questi, ad arco elettrico, fu brevettato nel 1903 da Valdemar Poulsen<sup>13</sup>. Nel 1908 Ernst Alexanderson<sup>14</sup> propose invece l'impiego di alternatori ad alta frequenza. La frequenza raggiunta era bassa, 15-20 kHz, ma l'applicazione successiva di moltiplicatori di frequenza, statici o rotanti, permise di portarla a circa 1 MHz (onde medie).

Dal lato del ricevitore invece, i primi usati furono i coesori, o *coherer*, ideati nel 1884 dall'italiano Temistocle Calzecchi Onesti<sup>15</sup> che aveva dimostrato come la limatura di ottone o rame contenuta in un tubetto di vetro diventava conduttrice se sottoposta a un campo elettrostatico. Successivamente, nel 1890, il francese Édouard Branly<sup>16</sup> usò il dispositivo di Calzecchi Onesti, come rivelatore di campi tempovarianti, utilizzando nel dispositivo la limatura di ferro.

<sup>12</sup> Luigi Solari: Torino, 27 maggio 1873 - Roma, 7 febbraio 1957.

<sup>13</sup> Valdemar Poulsen: Copenhagen, Danimarca, 23 novembre 1869 - Copenhagen, Danimarca, 23 luglio 1942.

<sup>14</sup> Ernst Alexanderson: Uppsala, Svezia, 25 gennaio 1878 - Schenectady, New York, USA, 14 maggio 1975.

<sup>15</sup> Temistocle Calzecchi Onesti: Lapedona, Fermo, 14 dicembre 1853 - Monterubbiano, Fermo, 25 novembre 1922.

<sup>16</sup> Édouard Branly: Amiens, Francia, 23 ottobre 1844 - Parigi, Francia, 24 marzo 1940.

Nel 1894 l'inglese Oliver Lodge<sup>17</sup>, nei suoi pionieristici esperimenti sulle onde elettromagnetiche usò in laboratorio il tubo di Branly, leggermente perfezionato, dandogli il nome definitivo di *coherer*. Come è noto però Lodge utilizzò correnti troppo deboli ed a frequenza troppo bassa, non riuscendo quindi a effettuare collegamenti a distanze soddisfacenti.

Anche Marconi modificò e perfezionò il coesore: vi praticò il vuoto, ne cercò le dimensioni ottimali, ne setacciò la limatura, infine ne variò la composizione (95% di nichel e 5% di argento) (il cosiddetto *coherer* marconiano). Famoso è anche il coesore della Marina Militare Italiana autodecoherizzante, a goccia di mercurio tra due elettrodi di carbone, ideato da Paolo Castelli ed utilizzato anche da Marconi nel collegamento transatlantico del 1901.

Negli anni 1904-1908 nuovi ricevitori infine sostituirono il coesore, sensibile ma inaffidabile. Furono infatti costruiti ricevitori magnetici, da Ernest Rutherford<sup>18</sup> e da Marconi, quest'ultimo molto usato in Marina dal 1902, nonostante la ricezione solo in cuffia, perché robusto, affidabile e capace di consentire una trasmissione molto veloce.

Il successivo passo in avanti avvenne con l'introduzione del diodo da parte di John Ambrose Fleming<sup>19</sup> nel 1904. Tali tubi a vuoto furono adottati da Marconi nelle sue apparecchiature già alla fine del 1904, parallelamente ai ricevitori a cristallo (per esempio a galena – solfuro di piombo). Si deve però attendere la diffusione del triodo, completata dopo la Prima Guerra Mondiale, per assistere al rapido sviluppo delle radiocomunicazioni.

## L'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della Regia Marina

Come detto nella sezione precedente furono i tubi a vuoto a portare al rapido sviluppo delle comunicazioni senza fili.

Già Marconi alla fine del 1904 aveva fatto uso dei diodi nei suoi apparati, ma il ricevitore a diodo, che era ed è tuttora il più compatto e robusto, per essere efficace ha bisogno sia di un segnale di potenza sufficiente, sia di un'onda ausiliaria generata localmente, da far battere con il segnale a radiofrequenza.

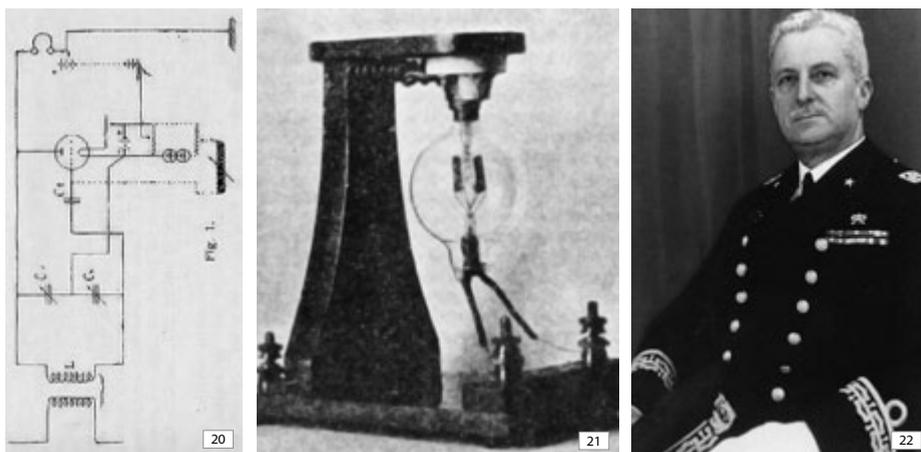
L'audion, o triodo, inventato nel 1906 da Lee de Forest<sup>20</sup> ha il pregio sul diodo di assolvere non solo alle funzioni di amplificatore, in quanto trasforma una tensione variabile in un'altra che varia con la stessa legge ma di ampiezza maggiore, ma anche di generatore di frequenza ausiliaria, in quanto, se opportunamente caricato, trasforma tensioni continue in tensioni oscillanti. Infine, come

<sup>17</sup> Oliver Lodge: Penkhull, Inghilterra, Regno Unito, 12 giugno 1851 - Lake, Inghilterra, Regno Unito, 22 agosto 1940.

<sup>18</sup> Ernest Rutherford: Brightwater, Nuova Zelanda, 30 agosto 1871 - Cambridge, Inghilterra, Regno Unito, 19 ottobre 1937.

<sup>19</sup> John Ambrose Fleming: Lancaster, Inghilterra, Regno Unito, 29 novembre 1849 - 18 Sidmouth, Inghilterra, Regno Unito, 18 aprile 1945.

<sup>20</sup> Lee de Forest: Council Bluffs, Iowa, USA, 26 agosto 1873 - Hollywood, California, USA, 30 giugno 1961.



**Figura 20.** Schema di uno dei primi ricevitori a triodo.

**Figura 21.** Triodo prodotto presso l'IERT di Livorno.

**Figura 22.** L'Ammiraglio Giancarlo Vallari (19 ottobre 1882 - 7 maggio 1957).

il diodo, può essere usato come rivelatore in quanto in grado di raddrizzare, e quindi demodulare, un segnale (Fig. 20).

Il nome audion è quello usato originariamente dal suo inventore Lee de Forest, per ricordarne la funzione rivelatrice. Furono introdotti comunque anche i nomi di *pliotron* (Irving Langmuir<sup>21</sup>) per accennare alla funzione amplificatrice, e di valvola ionica, già applicato ai diodi, per esprimerne quella raddrizzatrice. Oggi l'audion è però meglio noto come triodo, per la presenza di tre elettrodi.

Prodotto all'estero, le necessità sorte con la dichiarazione di guerra fatta dall'Italia all'Austria-Ungheria imposero che fosse prodotto rapidamente in serie anche sul suolo nazionale.

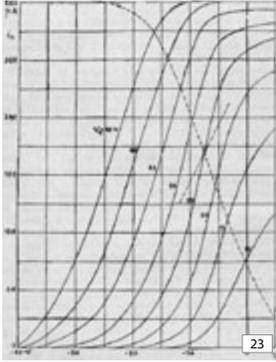
Di questa produzione, in attesa che l'industria riuscisse ad avviarsi, venne incaricato l'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico (IERT) della Regia Marina, fondato a Livorno nel 1916, che arrivò in breve a produrne 400 pezzi al mese (Fig. 21). Per questa produzione l'Istituto ricevette anche un pubblico elogio.

La produzione degli audion presso l'IERT cessò con la fine della Prima Guerra Mondiale, passando all'industria.

Della fondazione dell'IERT fu incaricato il Professor Giancarlo Vallauri<sup>22</sup>. Vallauri, era entrato in Accademia Navale nel 1900, dalla quale uscì nel 1903 come guardiamarina, promosso con il massimo dei voti e sciatola d'onore (Fig. 22). Lasciata nel 1906 la Marina, a cui rimase sempre legatissimo, laureatosi in ingegneria elettrotecnica nel 1907, Giancarlo Vallauri si dedicò all'insegnamento universitario. Insegnò presso le Università di Padova e di Napoli per poi tornare in Toscana, prima all'Accademia Navale di Livorno poi alla Scuola d'Ingegneria di Pisa (1923 -1926), infine al Politecnico di Torino (1926-1952), di cui divenne direttore nel 1933.

<sup>21</sup> Irving Langmuir: Brooklyn, New York, USA, 31 gennaio 1881 - Woods Hole, Massachusetts, USA, 16 agosto 1957.

<sup>22</sup> Giancarlo Vallauri: Roma, 19 ottobre 1882 - Torino, 7 maggio 1957.



**Figura 23.** Caratteristica del triodo (da lavoro originale di G. Vallauri).

**Figura 24.** Foto di gruppo del Convegno Internazionale "Giornate sui Triodi" organizzate nel Regio Istituto per le Telecomunicazioni nel 1924 (Giancarlo Vallauri è in primo piano, secondo da sinistra).

Scienziato, professore universitario, ammiraglio di divisione per meriti eccezionali, Giancarlo Vallauri fu anche un ottimo organizzatore. Lo testimoniano due eventi in particolare. Il primo fu la fondazione di cui si fece promotore a Livorno – nel 1916 – dell'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della R. Marina. Del secondo si parlerà più diffusamente nella sezione dedicata al radar italiano. La radiotecnica era allora una materia poco conosciuta, quasi pionieristica, anche se la Prima Guerra Mondiale in corso evidenziava sempre di più la necessità per la Marina, costretta a mandare i suoi Ufficiali ad apprenderne i primi rudimenti all'estero, di disporre di una scuola in Italia. Il prof. Vallauri era all'epoca la massima autorità in materia. A lui si rivolse dunque la Regia Marina per fondare a Livorno, dentro il comprensorio dell'Accademia Navale, l'IERT ed affidargli la prima direzione, dal 1916 al 1926.

Nonostante l'esiguità dell'organico e dei mezzi a disposizione, il prof. Vallauri riuscì da subito a far raggiungere all'IERT risultati scientifici di risonanza internazionale, sia teorici che pratici: tra i primi, la cosiddetta "equazione di Vallauri", di importanza fondamentale per la trattazione analitica dei triodi (Fig. 23), alla quale egli giunse resosi ben presto conto della necessità di passare dai criteri empirici fino allora seguiti in laboratorio ad una teoria rigorosa degli audion.

L'equazione del triodo, nota anche come equazione di Vallauri è:

$$\Delta i_a = \frac{1}{r_u} (\Delta v_a + \mu \Delta v_g)$$

Dove  $\Delta i_a$  è la variazione della corrente d'anodo,  $\Delta v_a$  la variazione della tensione d'anodo e  $\Delta v_g$  la variazione della tensione di griglia,  $r_u$  è la resistenza di carico. L'equazione di Vallauri è valida nella zona di caratteristica lineare dell'audion, e mostra che una variazione della tensione di griglia produce un effetto  $\mu$  volte più grande di quello prodotto da una uguale variazione della tensione all'anodo.

Il risultato giustifica il nome di coefficiente di amplificazione dato a  $\mu$  e l'impiego diffuso dell'audion, proprio per la sua funzione fra l'altro di amplificatore, nella tecnica delle radiocomunicazioni. Il rapido sviluppo della radiofo-

nia dopo la Prima Guerra Mondiale fu infatti merito soprattutto dell'audion.

Il contributo del IERT alle telecomunicazioni non si esaurisce, in quegli anni, alla fabbricazione dei triodi ed alla ricerca scientifica ad essi legata (Fig. 24). Occorre ricordare come, negli anni precedenti alla Grande Guerra, Marconi avesse dato inizio alla costruzione di una stazione radiotrasmettente intercontinentale Italiana a Coltano (Fig. 25).

La località, a 10 km a sud di Pisa ed a 15 km a nord-est di Livorno, fu indicata da Marconi al Re, che concesse gratuitamente l'uso di una parte del terreno della tenuta reale di Coltano. Il lavoro di costruzione della stazione fu affidato dall'Amministrazione dei Telegrafi alla Compagnia Marconi nel 1903 ma, per difficoltà tecniche e burocratiche le operazioni di installazione si trascinarono fino al 1911 quando, all'inizio della guerra libica, la Regia Marina assunse il controllo della stazione e la mise in esercizio.

Il passaggio della stazione alla Marina ed al RIEC si lega anche alla storia personale di Marconi che, allo scoppio della Grande Guerra, rischiava di essere richiamato alle armi come soldato semplice della Milizia territoriale di Bologna. Con un'interpretazione un po' forzata di alcuni decreti, Marconi venne nominato prima ufficiale di complemento del genio dirigibilisti nel 1916 e poi Maggiore del Genio Navale nel 1916, distaccato a Livorno in quell'istituto di radiotelegrafia dell'Accademia Navale da cui si sarebbe poi originato l'IERT.

Durante la Prima Guerra Mondiale la Regia Marina aveva intanto costruito Radio Roma (S. Paolo) per il servizio con le colonie del Mar Rosso e dell'Oceano Indiano e con il Nord America, ma subito dopo la guerra essa decise di dotarsi di un impianto più potente.

La scelta cadde su Coltano, sia per la concessione reale di altro terreno, sia per la posizione geografica della località, equidistante da Roma e dalla zona industriale del Nord Italia, sia per la presenza della "Stazione Marconi" già operativa, sia, infine, per la vicinanza dell'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della Regia Marina, fondato da poco a Livorno, che si occupò del progetto e dei lavori con competenza e senza spesa aggiuntiva.

La nuova stazione transcontinentale ebbe sede in un edificio a pianta rettangolare di metri 43x20, che venne costruito a circa mezzo chilometro dalla vecchia stazione Marconi e ad essa collegato tramite una strada rettilinea, lungo la quale furono allineati tre fabbricati di abitazione ed uno di servizio.

Nel nuovo edificio, costruito nel 1920-1921, furono ospitati al piano terreno gli uffici, la sala per esperimenti e conferenze, l'officina meccanica, il magazzino

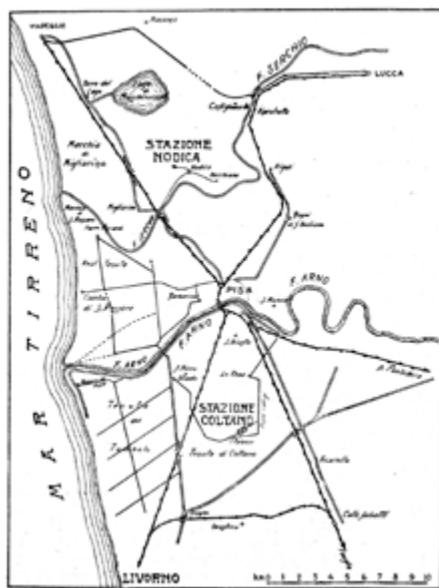
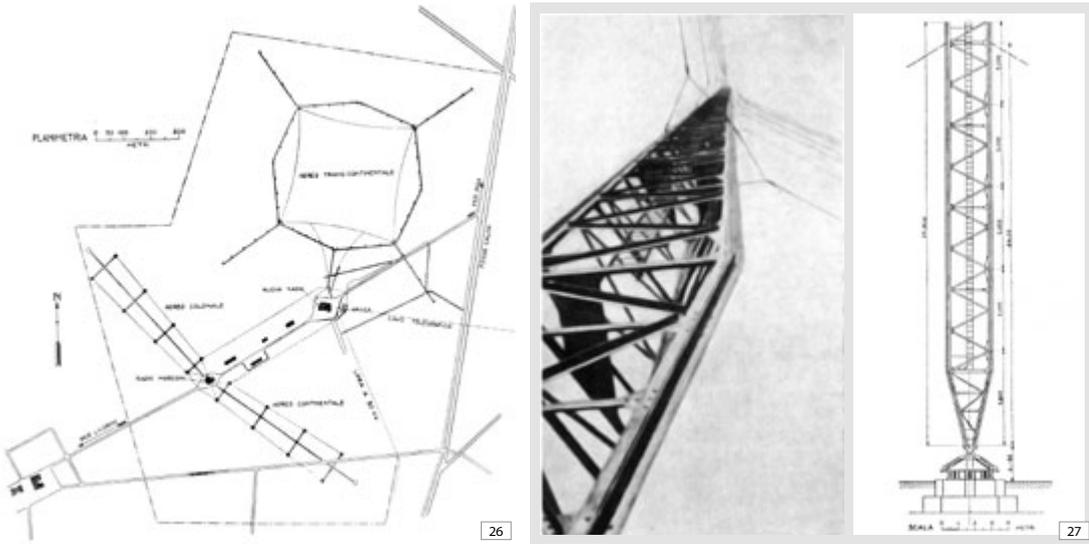


Figura 25. Sito della stazione di Coltano.



**Figura 26.** Planimetria della stazione sperimentale di Coltano (Pisa).  
**Figura 27.** Torri metalliche (alte 250m) della successiva antenna transcontinentale.

e la cabina di trasformazione principale nella parte anteriore, i saloni dei macchinari e degli apparati di trasmissione nella parte posteriore, infine, al primo piano, (un corpo di metri 20x8 sopraelevato sulla parte centrale), l'ufficio telegrafico e gli apparati di manipolazione radio.

La parte più interessante di Coltano è comunque il padiglione aereo o antenna, montato nel 1922. Fu adottata per esso la forma di un grande reticolo quadrilatero, di 420 metri di lato, collegato alla parete nord della stazione per mezzo di una discesa a ventaglio, formata da 19 fili distanziati da anelli di rame (Fig. 26). Per il reticolo fu usata, come a Radio Roma, corda di bronzo fosforoso ad alta conducibilità, del diametro di circa 3,5 mm. Quattro piloni uguali, a struttura triangolare, alti ognuno 250 metri e con un peso proprio di circa 80 tonnellate, sostenevano il quadrilatero (Fig. 27). A sua volta ogni pilone era sostenuto da 36 controventi (stralli), più uno speciale al vertice per controbilanciare lo sforzo di antenna.

Le stazioni minori, coloniale e continentale, trovarono invece posto nella vecchia stazione Marconi, dotata di due antenne direzionali ad onde lunghe rivolte una verso il Canada, l'altra verso l'Eritrea. Ogni antenna aveva uno sviluppo orizzontale di 530 metri, era composta da 24 fili sostenuti da draglie orizzontali, ed era tenuta su da un sistema di otto alberi, a coppie. Ogni albero era costituito per 45 metri da un robusto traliccio convergente e per 30 metri da un albero ed un alberetto in legno<sup>23</sup>.

Le prime prove di trasmissione furono eseguite felicemente nei giorni 10, 11 e 12 aprile 1923; il 15 aprile 1923 infine la nuova Radio iniziò regolarmente i

<sup>23</sup> Vallauri 1924.



**Figura 28.** Ponte radio Coltano-Massaua (Eritrea). Fu il primo collegamento Europa-Africa dell'Est. Nella piantina a sinistra, posizione relativa delle stazioni, nella foto a destra la stazione di Afgoi presso Massaua.

**Figura 29.** Coltano continuò a essere la stazione trasmittente più potente del mondo per lungo tempo inaugurando inoltre, nel 1932, il servizio radio pubblico su maggiore distanza. Infatti da Coltano si tenevano comunicazioni con la base italiana di Tientsin, in Cina.

**Figura 30.** La stazione di Coltano era in grado di comunicare con la nave Conte Rosso (nella foto in uscita dal porto di Shanghai) nel Mar Cinese, a più di 10.000 miglia di distanza, e con tutta l'Asia frapposta.

servizi: Massaua (Fig. 28) e Mogadiscio, Bollettino ARTI e telegrammi circolari, Estremo Oriente e navi lontane, Levante, Canada e Stati Uniti.

I record di distanza per la stazione di Coltano riguardano i collegamenti con il territorio concesso all'Italia nella città cinese di Tientsin (Fig. 29) e con le navi, tra cui, per esempio, il Conte Rosso, in navigazione nel mar cinese (Fig. 30)

Radicalmente trasformato, il Centro Radiotelegrafico di Coltano passò nel 1930 alla gestione diretta del Ministero delle Poste e Telegrafi. La Seconda Guerra Mondiale lo ha distrutto in buona parte, lasciando quasi intatta la palazzina Marconi. Dal 1952 è utilizzato dalla RAI per servire la zona di Pisa.

Il contributo descritto fin qui alle radiocomunicazioni dovuto all'IERT, che nel 1928 prese, come già accennato, la denominazione di RIEC, e focalizzato

soprattutto sulla figura di Vallauri, non deve far dimenticare altri grandi ricercatori quali Mario Boella<sup>24</sup>, Francesco Vecchiacchi<sup>25</sup>, Ugo Ruelle<sup>26</sup> e Sante Malatesta attivi nel campo della generazione di frequenze-campione, della stabilizzazione della frequenza, degli oscillatori piezoelettrici ed, in generale, della costruzione di strumenti di misura<sup>27</sup>.

## La Regia Marina e le telecomunicazioni militari

La Prima Guerra Mondiale aveva dato la più evidente dimostrazione della importanza delle comunicazioni radio nelle operazioni navali. Le principali potenze marittime, tra cui anche l'Italia, avevano perciò dedicato molte energie al perfezionamento degli apparati radio. I problemi, ai quali veniva dedicata l'attenzione della Marina Italiana erano<sup>28</sup>:

- i collegamenti terra-nave;
- i collegamenti di squadra, cioè fra navi a piccola distanza;
- i collegamenti aero-navali;
- i collegamenti fra continente ed isole;
- l'assistenza alla navigazione.

Per i collegamenti *terra-nave* si era avuta una serie di perfezionamenti. Fra i principali: la stabilizzazione della frequenza dei trasmettitori e l'impiego di ricevitori ad alta selettività a più bande, imposti dal progressivo aumento del numero di collegamenti. Vi era infatti la tendenza a guidare da terra le azioni navali, e la necessità di evitare interferenze con i collegamenti civili.

È anche da segnalare l'aumento della potenza dei trasmettitori, richiesta dalla necessità di soverchiare i disturbi prodotti dal nemico.

Fu infatti realizzato un tipo di trasmettitore telegrafico da 1 kW, semplice e pratico, ed un tipo di ricevitore ad alta selettività, che diedero ottimi risultati e furono riprodotti in un numero sufficiente di esemplari. Furono inoltre realizzati, per i centri a terra e per le corazzate, trasmettitori da 2 a 5 kW, a onde medie e corte, i quali diedero sempre ottimi risultati. Presso il RIEC di Livorno fu costituito un laboratorio per il controllo delle lunghezze d'onda, che merita di essere qui particolarmente ricordato, poiché, oltre a disciplinare efficacemente la distribuzione delle frequenze, sviluppò importanti ricerche in particolare nel campo delle microonde. Uno sforzo notevole fu necessario per far fronte alle nuove richieste di materiale a seguito della progressiva centralizzazione dei Comandi e della costituzione di Supermarina. Tale sforzo fu coronato da successo, poiché i collegamenti in questione riuscirono sempre a dar corso al traffico anche nelle fasi più movimentate del conflitto (Fig. 31). Alla fine della guerra risultava completata una grande centrale radio sotterranea, sita nelle vicinanze di

<sup>24</sup> Mario Boella: Genova, 31 gennaio 1905 - Loranze Canavese, Torino, 16 febbraio, 1989.

<sup>25</sup> Francesco Vecchiacchi: Filicaia, Camporignano, Lucca, 9 ottobre 1902 - Torino 20 novembre 1955.

<sup>26</sup> Ugo Ruelle: Pisa, 19 maggio 1892 - Pisa 29 settembre 1957.

<sup>27</sup> Leschiutta 2006.

<sup>28</sup> Tiberio 1946.

Roma e dotata di molti impianti di grande potenza operanti su svariate lunghezze d'onda.

Le onde impiegate per questi servizi erano parte nella gamma media e parte in quella corta, a seconda della distanza. Non era possibile l'uso delle ultracorte, poiché queste erano limitate dall'orizzonte ottico.

I collegamenti di squadra avevano invece subito una profonda trasformazione proprio per l'avvento delle onde ultracorte, che si prestano bene ad effettuare un grande numero di collegamenti telefonici

senza grave pericolo di intercettazione da parte del nemico, anche senza cifratura.

Di radio-segnalatori di squadra erano stati realizzati due tipi: uno per diffusione circolare, nella banda da 4 a 6 metri, costruiti su prototipo del RIEC (progetto Magg. Mario Boella) dotato di stabilizzatore a quarzo; ed uno direttivo, per collegamenti particolarmente riservati, nella gamma delle microonde da 50 a 80 centimetri. La trasmissione, in questi casi, era sempre effettuata con triodi a griglia negativa, anche se importanti ricerche erano state condotte dal prof. Nello Carrara<sup>29</sup> al fine di impiegare triodi a griglia positiva e magnetron.

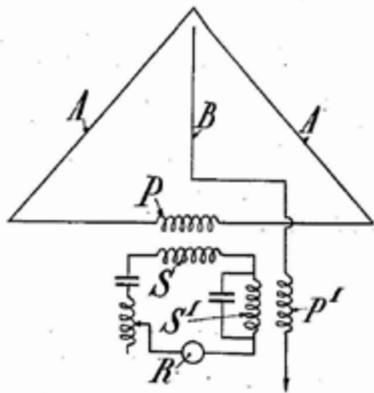
All'inizio del conflitto erano allo studio l'impiego della modulazione di frequenza per questo genere di collegamenti, e la realizzazione di apparati a trasmissione e ricezione multipla su molti canali funzionanti insieme su una medesima portante: ciò per far fronte alla sempre maggiore richiesta di collegamenti telefonici diretti da parte dei comandi.

Per i collegamenti aeronavali, non vi era in pratica niente di fatto. Le forze aeree e quelle navali erano riunite in due organizzazioni indipendenti, concepite come operanti quasi sempre in modo autonomo. È questa una delle penose conseguenze del non aver dotato la Marina di una propria aviazione quale esisteva invece presso le flotte inglesi, americane e giapponesi. A quel minimo di comunicazione che era indispensabile si provvedeva con soluzioni di ripiego, in sostanza il Comandante in mare inviava le richieste a Roma (Supermarina) che provvedeva a inviarle al



Figura 31. Mappa dei radiotrasmittitori costieri della Regia Marina da Zammarchi 1904.

<sup>29</sup> Nello Carrara: Firenze, 19 febbraio 1900 - Firenze, 5 giugno 1993.



**Figura 32.** Schema dell'antenna con pattern a cardioidie del radiogoniometro di Bellini e Tosi, dal loro brevetto del 1910.

comando dell'Aviazione (Superaereo) il quale a sua volta le diramava agli aeroporti o ai capisquadriglia in volo. Nel corso della guerra questo portò a comprensibili inefficienze ed errori.

Bisogna rilevare come in questo stesso periodo nelle marine inglesi ed americana si erano adottati due tipi di apparati: uno telegrafico ad onde medie e corte per gli aerei da ricognizione, i quali devono allontanarsi dalle navi ben oltre i limiti ottici, ed uno telefonico ad onde ultracorte, tra i 5 ed i 10 metri, per gli aerei da caccia e per gli aerosiluranti, che operano in prevalenza senza allontanarsi molto dalle navi portaerei. L'impiego delle ultracorte è in questo caso assai agevolato dal fatto

che l'aereo è in genere assai alto sul mare e quindi l'orizzonte ottico si allarga.

I collegamenti fra continente ed isole avevano potuto utilizzare gli importantissimi progressi verificatisi nelle antenne direttive e nella tecnica dei così detti ponti radio in genere. Di tali collegamenti si erano largamente sviluppati due tipi: uno a microonde per punti aventi fra loro visione ottica, funzionante in telefonia, ed uno ad onda corta (10÷15 metri) con antenne fortemente direzionali, per telegrafia e telefonia, ad esempio quello fra Roma e la Sardegna, a 10m.

La radio-assistenza alla navigazione si appoggiava essenzialmente ai due apparecchi classici, il radiogoniometro ed il radiofaro, ai quali erano state dedicate molte ricerche. Nel contesto della Radionavigazione ricordiamo come Ettore Bellini<sup>30</sup>, assunto nella Regia Marina nel 1901 e dal 1906 capo del "Laboratorio elettrico navale" a Venezia fu responsabile delle ricerche sulle applicazioni delle onde radioelettriche a navi da guerra e sottomarini.

In Francia, insieme al Capitano delle Regia Marina Alessandro Tosi<sup>31</sup>, applica le idee sulla radiolocalizzazione di Alessandro Artom<sup>32</sup> – che aveva inventato le prime antenne a telaio effettivamente direttive, e quindi in grado di rilevare la direzione della stazione trasmittente – inventando il telaio Tosi-Bellini, successivamente brevettato nel 1908 e che divenne, all'acquisto nel 1912 da parte di Marconi del brevetto, la base del radiogoniometro Marconi-Bellini-Tosi (Fig. 32) in uso alla Regia Marina<sup>33</sup>.

Non si era però giunti, per questa via, ad una soluzione del tutto soddisfacente, sia per la scarsa precisione insita nel metodo e sia per la difficoltà di eliminare

<sup>30</sup> Ettore Bellini, detto Etonie: Foligno, Perugia, 13 aprile 1876 – Ray-sur-Saône, Franca Contea, Francia, 1943.

<sup>31</sup> Alessandro Tosi: 1866–1936.

<sup>32</sup> Alessandro Artom: Asti, 6 maggio 1867 – Roma, 10 maggio 1927.

<sup>33</sup> Simion 1927.

le molte cause di errore che si manifestano nella gamma delle onde corte. Non venne però mai investigato alcuno dei nuovi tipi di radiolocalizzazione di tipo iperbolico (quali il LORAN).

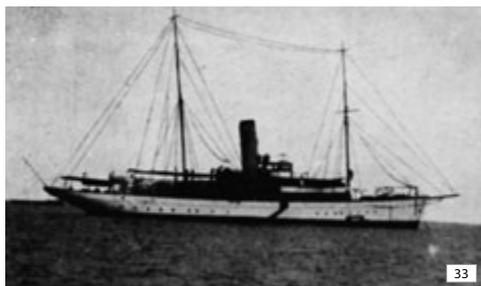
Si può dire quindi che il problema generale della radioassistenza alla navigazione era in crisi, ed erano in atto indagini per la ricerca di soluzioni nuove. Le principali potenze marittime avevano comunque allestito una estesa rete di radiofari, ed avevano dotato tutte le navi e tutti gli aerei di radiogoniometri ben costruiti.

Bisogna infine aggiungere che, sia per quanto riguarda i singoli componenti, sia per quanto riguarda i processi di fabbricazione, l'Italia si era sempre appoggiata in prevalenza agli USA; quindi l'interruzione dei rapporti mise la produzione radiotecnica italiana in condizioni di particolare difficoltà. Fu necessario pertanto appoggiarsi alla tecnica tedesca la qual cosa non avrebbe presentato troppe difficoltà, se vi fosse stato disponibile un sufficiente numero di tecnici ben preparati. La Germania d'altra parte, impegnata in uno sforzo tecnico-industriale ingentissimo, era in grado di inviare personale e componenti propri, soltanto in misura molto limitata. In vista di tale situazione, la Marina dovette limitarsi a proseguire quel ciclo di costruzioni che aveva avviato, lasciando da parte lo studio dei nuovi apparati. Ciò era peraltro in armonia con l'opinione dell'autorità politica, la quale confidava in una soluzione rapida del conflitto, e riteneva inutile quindi l'impegnarsi in cose che potevano dare frutto solo a lunga scadenza. Questo medesimo criterio condusse inoltre il governo a non concedere alcun finanziamento straordinario di guerra agli istituti scientifici universitari, a differenza di quanto veniva fatto in America ed in Inghilterra anzi ritenne che il personale di istituti sarebbe riuscito più utile nelle file delle Forze Armate in linea, e lo richiamò quindi in buona parte alle armi.

## L'ultimo Marconi

Nel 1919 le nuove ricerche di Marconi sulle onde corte necessitavano di prove su distanze sempre maggiori, simili a quelle condotte nel 1902 sulle onde lunghe a bordo del Carlo Alberto. Fu così che Marconi, spinto dall'amore per il mare e convinto dell'utilità di un laboratorio mobile per i futuri esperimenti, acquistò dall'Ammiragliato inglese lo yacht "Rovenska", costruito in Scozia nel 1904 per l'Arciduca d'Austria Carlo Stefano, quindi acquistato da un nobile inglese, militarizzato durante la Prima Guerra Mondiale, e che alla fine del conflitto venne messo in disarmo e venduto all'asta.

Lo yacht, mosso da un motore a vapore a triplice espansione e tre cilindri, ad un'elica e due alberi e capace di una velocità di 12 nodi aveva una lunghezza fuori tutto di 67,40 metri ed una stazza lorda pari a 632,81 tonnellate. Dopo le necessarie riparazioni e modifiche effettuate a Birkenhead, la nave fu consegnata a Marconi a fine febbraio 1920 ed iscritta al compartimento marittimo di Genova il 27 ottobre 1921 con il nuovo nome di Elettra. Subito l'Elettra divenne per Marconi contemporaneamente "nave da crociera" e "nave laboratorio" (Figg. 33, 34, 35).



**Figura 33.** Il panfilo Elettra in navigazione.

**Figura 34.** Guglielmo Marconi al trasmettitore telegrafico dell'Elettra.

**Figura 35.** Ufficiali dell'Elettra.

**Figura 36.** Guglielmo Marconi al radiorecettore dell'Elettra.

**Figura 37.** Guglielmo Marconi con la moglie sul ponte dell'Elettra durante le esperienze di collegamento a microonde.

Nel 1922 Marconi svolse sull'Elettra una campagna di esperimenti nel Nord America, passando per le Azzorre e le Bermuda. Nel 1923 costeggiò con l'Elettra la costa occidentale dell'Africa, fino a Capo Verde, dimostrando che un segnale poteva essere captato da Poldhu, nella Cornovaglia ad oltre 4000 km di distanza, con onde di 92 m e potenza di solo 6 kW. Nel 1924, per conto del governo inglese, Marconi iniziò sull'Elettra una serie di esperimenti (Figg. 36,



**Figura 38.** L'Elettra ormeggiata al porticciolo Duca degli Abruzzi a Genova nel 1930 (a sinistra) e Marconi mentre preme il tasto con cui da Genova, nel 1930, comanda il relè che accende le lampade del Municipio di Sidney in Australia.

**Figura 39.** Ai tempi del primo collegamento a microonde permanente, realizzato per il Vaticano e operante dall'Aprile 1932, Guglielmo Marconi – nella foto mentre mostra le apparecchiature al Pontefice – aveva rilevato una "fluttuazione" nel segnale ricevuto.

37) con onde corte (36–60 m) ad una potenza di 12 kW, risultati soddisfacenti.

Nel gennaio 1930 Marconi imbarcò sull'Elettra nuovi apparecchi con soluzioni d'avanguardia nella radiofonia a grandi distanze ed il 26 marzo successivo, alle ore 11:03, avvenne "il miracolo": dall'Elettra ancorata a Genova presso lo Yacht Club Italiano Marconi inviò nell'etere impulsi telegrafici che accesero le lampade del Municipio di Sidney, in Australia (Fig. 38), lontano 17.000 km!

Nel 1931 Marconi aveva iniziato ad effettuare i primi esperimenti sulle microonde. Nel 1932 furono così realizzati, mediante onde di 63 cm, i collegamenti tra l'Elettra e S. Margherita, e tra l'Elettra e Sestri.

Successivamente Marconi mise a punto un collegamento a microonde per il Pontefice collegando tra loro prima il Vaticano con Villa Mondragone presso Frascati e quindi il Vaticano con la residenza estiva di Castel Gandolfo.

In occasione dei collaudi di questo sistema radiotelefonico a microonde con la stazione del Vaticano che puntava esattamente nella direzione dell'altra stazione, quella di Castel Gandolfo, posta ad una ventina di chilometri di distanza, Marconi aveva notato che si verificava spesso un fischio nella ricezione ogni qualvolta un oggetto passava davanti al fascio trasmesso (Fig. 39).

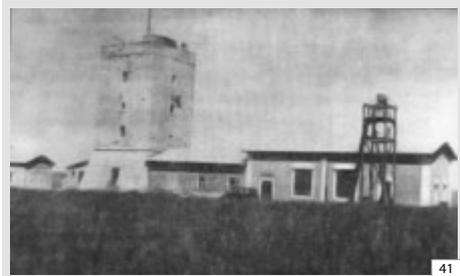
Esaminando meglio il fenomeno, Marconi intuì la possibilità che questo potesse essere sfruttato per localizzare a distanza corpi in movimento. Resosi conto delle implicazioni militari di questa tecnica, che sarà successivamente chiamata Radar, Marconi propose alle autorità di eseguire ulteriori esperimenti e di dirigerli lui stesso, come Presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Una prima dimostrazione avvenne il 14 maggio 1935 alla presenza del Capo del Governo e delle più alte autorità militari presso Acquafredda ed il 17 maggio successivo lungo un tratto dell'autostrada Ostia-Roma.

Come sede di esperimenti più approfonditi fu quindi scelta Torre Chiaruccia che già ospitava un impianto trasmittente ad onde corte operante sui 30 MHz per comunicazioni intercontinentali. Torre Chiaruccia, nel comune di Santa Marinella (Roma), era una torre in muratura, alta circa 20 metri, vicinissima al mare, costruita



**Figura 40.** Torre Chiaruccia era sotto il comando dell'Ammiraglio Alberto Bottini.



**Figura 41.** Torre Chiaruccia con i locali del laboratorio del CNR (in alto) e con le ulteriori strutture marconiane (in basso), in particolare si noti la torre in legno di circa 10 m con il trasmettitore.



**Figura 42.** Marconi utilizzò anche ricetrasmittitori a bordo di mezzi mobili (qui l'auto dell'Ammiraglio Bottini) per studiare il fenomeno e incrementare la portata.

nel XVI secolo per l'avvistamento delle navi saracene<sup>34</sup>. Divenuta nel 1911 di proprietà della Marina, vi si era stabilito il Centro Sperimentale Radioelettrico sotto il controllo del CNR, diretto dall'Ammiraglio Alberto Bottini (Fig. 40).

Fu quindi costruita a Torre Chiaruccia una struttura in legno alta 10 m (Fig. 41), con piattaforma per alloggiarvi il trasmettitore. Inizialmente, a causa del ricevitore Barkhausen, poco sensibile, si poterono raggiungere solo oggetti a qualche centinaio di metri, ma con la realizzazione, artigianale, del primo ricevitore supereterodina a microonde che venne installato con un ripetitore parabolico sul Forte Michelangelo di Civitavecchia, fu possibile ascoltare l'onda riflessa degli oggetti in movimento a 10 km di distanza.

Con lo stesso ricevitore montato, insieme a due antenne paraboliche, sull'auto messa a disposizione dell'Ammiraglio Bottini (Fig. 42) e che si spostava lungo la via Aurelia in direzione di Roma, fu addirittura possibile ascoltare le onde riflesse da oggetti che stavano a Santa Marinella fino a Ladispoli, per una distanza di 30 km. Risultati scadenti si ottennero invece con il ricevitore supereterodi-

<sup>34</sup> Comune di Santa Marinella 2001.

na a microonde fatto realizzare presso le officine Marconi di Genova, che pur disponevano di materiali migliori.

In ogni caso i risultati iniziali, sicuramente soddisfacenti, e le applicazioni militari, sempre più evidenti, spinsero il governo italiano a richiedere la segretezza degli esperimenti e Mussolini personalmente ad insistere perché i tecnici inglesi fossero sostituiti con tecnici italiani. Il clima di segretezza da un lato, le prove con gli aeroplani dall'altro, particolarmente difficili da nascondere, alimentarono le dicerie della gente del posto, che arrivò a mormorare di invenzione del "raggio della morte".

Gli esperimenti radar, limitati ad onde sui 55 cm, a causa delle restrizioni del periodo bellico, furono condotti a Torre Chiaruccia fino al giorno prima della morte di Marconi, avvenuta a Roma il 20 luglio 1937 e con questa bruscamente interrotti. Durante la Seconda Guerra Mondiale il Centro Radioelettrico di Torre Chiaruccia fu depredata di tutte le apparecchiature e semidistrutto; il 1 febbraio 1944 inoltre la torre fu minata e fatta saltare dalle truppe tedesche.

## Il radar italiano

Come già detto in precedenza il primo ad attirare l'attenzione delle autorità militari italiane sul problema dell'avvistamento a mezzo delle onde hertziane fu Marconi, che nel 1933 eseguì, alla presenza di dette autorità, alcune esperienze di sbarramento a microonde. Marconi non riuscì nell'intento di convincere le autorità militari. Alle dimostrazioni di Marconi aveva però assistito il Gen. Luigi Sacco<sup>35</sup>, allora direttore dell'Istituto Radio dell'Esercito Italiano a Roma, il quale ritenne interessante indagare sul tema. Nel 1934 il S. T. ing. Ugo Tiberio<sup>36</sup>, allora insegnante di radiotecnica presso lo stesso istituto, fu incaricato da Sacco di iniziare una ricerca teorico-sperimentale allo scopo di determinare la portata che un apparecchio di avvistamento avrebbe potuto avere con le potenze di trasmissione e le sensibilità di ricezione disponibili a quel tempo.

Tale ricerca fu completata sul finire del 1935 e portò ai seguenti risultati:

- fu risolto il problema teorico di calcolare l'intensità dell'eco, pervenendo a quella relazione che va oggi sotto il nome di *equazione del radar*;
- furono prospettati e discussi due schemi di realizzazione: uno a modulazione di frequenza derivato dal noto metodo di Appleton e Barnett, ed uno ad impulsi derivato dal metodo di Breit e Tuve; Tiberio proponeva di sperimentare entrambi gli schemi, ma dava preferenza al primo; al dispositivo, adatto alla misura delle distanze, fu dato il nome di *radiotelemetro* (radar);
- fu anche prospettata la possibilità dell'avvistamento per effetto Doppler, e l'apparecchio capace di funzionare in base a tale fenomeno fu designato col nome di *radiotachimetro* perché più adatto alla misura delle velocità dei bersagli.

<sup>35</sup> Luigi Sacco: Alba, Cuneo, 1° agosto 1883 - Roma, 5 dicembre 1970.

<sup>36</sup> Ugo Tiberio: Campobasso, 19 agosto 1904 - Livorno, 17 maggio 1980.



**Figura 43.** Ugo Tiberio (19 agosto 1904 - 17 maggio 1980).

**Figura 44.** RDT EC1 sulla terrazza del RIEC.

Questi risultati furono riassunti in una relazione e discussi con il Direttore del Reparto Studi Gen. L. Sacco che incoraggiò il Tiberio verso una soluzione ad onda continua poiché Marconi stesso l'aveva prospettata. Tiberio non conobbe mai Marconi ma c'è da supporre che, se il grande scienziato non fosse morto prematuramente nel 1937 e avesse potuto prendere visione dei risultati di Tiberio, probabilmente la storia del radar italiano sarebbe stata diversa. Sacco comunque, convinto assertore dell'opportunità di realizzare il radiotelemetro, inoltrò la relazione al Comitato Interministeriale per i servizi militari elettrici, il quale l'approvò.

La relazione diede luogo a due diverse proposte. La prima avanzata dall'allora Col. Carlo Matteini del RIEC e suffragata dal parere del prof. Vallauri, consisteva nel rinunciare alla costruzione di un incrociatore da 10.000 tonnellate devolvendo l'intera somma al potenziamento dell'elettronica di bordo con riguardo particolare al radiotelemetro (allora denominato anche Radio-Detector Telemetro, abbreviato in RDT), si chiedeva in pratica una mobilitazione nazionale sull'elettronica e la radiotecnica. La seconda proposta consisteva nell'affidare ad un gruppo limitato di tecnici il compito di seguire il problema eseguendo qualche prova preliminare, nell'attesa di avere notizie sullo stato di avanzamento delle ricerche presso altre nazioni. In ogni caso il problema era considerato di pertinenza della Marina, che disponeva dell'istituto di ricerca più avanzato in Italia (il RIEC), disposto in prossimità del mare e quindi in condizioni più favorevoli per le prove.

Le ricerche vennero affidate allo stesso Tiberio che venne destinato a Livorno, in qualità di ufficiale del Corpo delle Armi Navali (A.N.) di complemento (Fig. 43), con l'incarico di costruire e sperimentare i nuovi apparecchi a partire dal giugno 1936 con un finanziamento annuo di 20.000 lire. Il gruppo di tecnici incaricato di seguire la questione si ridusse poi praticamente al solo Tiberio affiancato in modo discontinuo da qualche collaboratore (tra cui il Cap. Alfeo Brandimarte<sup>37</sup>).

<sup>37</sup> Alfeo Brandimarte: Loreto, Ancona, 31 gennaio 1906 - Roma, 4 giugno 1944.

Nel 1936 il primo prototipo rudimentale sviluppato a Livorno, denominato EC1 (Fig. 44) confermò la validità dell'equazione del radar utilizzata da Tiberio. Si poteva infatti udire l'eco riflesso da un motoscafo a 2000 metri con un trasmettitore che, equipaggiato con due triodi T 800 RCA, erogava soltanto 150 W. Calcolando la portata con potenze dell'ordine di 15 kW e superfici superiori del bersaglio si poteva arrivare a 40 km.

La Marina provvide quindi ad inviare informatori presso le marine inglese, tedesca ed americana per tentare di ottenere notizie circa studi del genere. A causa probabilmente della scarsa preparazione tecnica del personale inviato

e della strettissima segretezza della questione, questo tentativo del Servizio Informazioni diede esito negativo, poiché non solo non si ebbero notizie di quanto in effetti già si faceva, ma taluno riferì addirittura che il radar ad impulsi era stato già sperimentato e che le portate erano risultate scarsissime e quindi era sconsigliabile.

Va ricordato però che, nel 1938, il Col. Matteini, preoccupato della eventualità di un conflitto, ottenne che il Ministero della Marina affidasse alla Ditta SAFAR (Società Anonima Fabbricazione Apparecchi Radiofonici) di Milano il compito di progettare ed eventualmente costruire un apparato ad impulsi. La SAFAR dovette, dopo circa un anno, rinunciare a causa della scarsissima disponibilità di personale tecnico specializzato. Essa peraltro acquisì una certa esperienza e quindi poi, nel 1941, ebbe l'incarico di perfezionare e riprodurre in serie il prototipo costruito nel frattempo a Livorno.

Dal 1936 al 1940 Tiberio costruì i seguenti dispositivi sperimentali:

- una serie di apparecchi a modulazione di frequenza, su onde di 2 metri (EC1, EC2 di cui una parte si vede in Figura 45); sperimentati in varie forme dal 1936 al 1938, il metodo a onda continua si rivelò non adatto per le esigenze della radiotelemetria vera e propria. Poteva però servire per l'identificazione di navi amiche qualora su esse fosse installato un dipolo emittente;
- un apparecchio a coincidenza in onda di 2 metri, in collaborazione con l'industria, iniziato nel 1938 e finito nel 1939 con risultati non soddisfacenti;
- due apparecchi ad impulsi, iniziati alla fine del 1939 e finiti nel 1941 (EC3, RDT4, analoghi a quelli indipendentemente studiati ed utilizzati in Gran Bretagna, Germania e USA): uno su onda di 70 centimetri, con ricevitore acustico a superreazione del tipo a coincidenza che diede risultati soddisfacenti, con portata di 12 km contro navi e di 30 km contro aerei, ed uno su onda di m 1,50 con ricevitore a supereterodina a larga banda ed indicatore oscillografico.

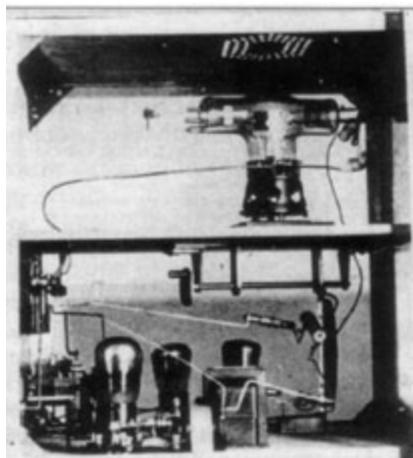


Figura 45. Dettaglio delle valvole dell'EC2.

L'evoluzione della prima relazione di Tiberio del 1935 venne pubblicata nel 1939 con qualche modifica per tutelare il segreto<sup>38</sup>. Si tratta del primo lavoro, in sede internazionale, in cui risulti discussa la teoria del radar nello spazio libero, con la deduzione della equazione del radar<sup>39</sup>, in termini di forza *cimomotrice* <sup>40</sup>.

La pubblicazione fu autorizzata dalla Marina a condizione che essa non riferisse circa gli apparati ad impulsi, il lavoro conclude in senso favorevole a quelli ad onda continua, dei quali era stata sospesa la realizzazione.

In quel medesimo anno il Comandante Oreste Tazzari pubblicò un articolo sulla *Rivista Marittima* dal titolo *Radiotelemetria* prospettando la grandissima importanza del problema e la gravità della situazione nella quale la Marina avrebbe potuto trovarsi in caso di guerra<sup>41</sup> esprimendo in modo chiaro il pensiero di una corrente molto numerosa di giovani ufficiali. Già in precedenza era stato posto il problema se avere una Marina di qualità invece che una Marina di quantità, ma il governo dell'epoca e gli alti gradi erano più propensi a costruire nuove navi in modo da compensare l'inferiorità numerica nei confronti delle flotte francesi e inglesi operanti nel Mediterraneo<sup>42</sup>. Questo modo di sviluppare la flotta portò ad errori (e conseguenze) gravissimi, come l'assenza di una aviazione di marina e di navi portaerei, l'eccessiva imprecisione delle artiglierie navali, la scarsa dotazione di armi antiaeree, la notevole incertezza di funzionamento dei proiettili e dei siluri ed infine l'arretratezza dell'elettronica di bordo che non contemplava apparecchiature così importanti come il radar ed il sonar<sup>43</sup>. Ovviamente la mancanza di radar aveva portato a trascurare le tecniche di combattimento notturno nelle quali gli inglesi si dimostrarono maestri<sup>44</sup>. Bisogna anche dire che non c'erano previsioni a breve termine di una partecipazione italiana ad una guerra prolungata stante la riconosciuta arretratezza degli equipaggiamenti dell'esercito, del tessuto industriale insufficiente e la cronica mancanza di materie prime.

All'atto dell'entrata in guerra, il RIEC aveva condotto quasi al termine le sue ricerche di radiotelemetria, ed aveva due apparecchi sperimentali discretamente funzionanti. Nessuna informazione si era avuta da parte dei servizi segreti circa le ricerche svolte in Germania e Gran Bretagna. Si era diffusa erroneamente l'impressione che gli inglesi non facessero nulla in questo campo e che i te-

<sup>38</sup> Tiberio 1939.

<sup>39</sup> In Tiberio 1939, Tiberio propone una forma dell'equazione fondamentale del radar del tipo  $F = \gamma E/d^2$  dove  $F$  è il campo all'antenna ricevente,  $\gamma$  è un coefficiente dipendente dalla natura e dalla disposizione del bersaglio,  $d$  la distanza ed  $E$  la forza *cimomotrice* (campo per distanza) dell'antenna trasmittente (Sacco e Tiberio 1935). Dall'equazione di cui sopra (facendo i quadrati) si può ottenere l'equazione standard attuale:  $P_r = ACP_t / d^4$ , dove  $P_r$  e  $P_t$  sono rispettivamente le potenze ricevute e trasmesse,  $A$  l'area efficace dell'antenna ricevente e  $C$  contiene il prodotto della *superficie equivalente radar* per il guadagno dell'antenna usata in trasmissione (la superficie equivalente radar è grandezza introdotta successivamente che caratterizza la capacità di retrodiffusione verso il radar da parte del bersaglio).

<sup>40</sup> Sacco e Tiberio 1935; Swords 1986.

<sup>41</sup> Tazzari 1940.

<sup>42</sup> Fioravanzo 1929.

<sup>43</sup> Ufficio Storico della Marina Militare, 1957.

<sup>44</sup> Iachino 1969.

deschi, se lo avessero fatto, lo avrebbero comunicato, quindi, non vi fossero da temere sorprese nell'immediato, risulta anche che qualche contatto tra servizi italiani e tedeschi ci fosse già stato sull'argomento. È oggi, come del resto allora, incredibile e ingiustificabile la miopia di chi non capiva l'enorme vantaggio che un'arma come il radar avrebbe dato in caso di combattimento notturno o di scarsa visibilità per nebbia, quando i telemetri ottici sono inservibili. È, inoltre, strano come i servizi segreti avessero trascurato di esaminare le fotografie della corazzata tedesca Graf Spee che si autoaffondò davanti all'estuario del Rio della Plata: sopra il torrione della nave si vedeva benissimo una antenna rettangolare che non era altro che l'antenna del primo radar navale tedesco: il *Funkmessgerät FuMO 21* (chiamato anche *Dete*, con portata di 15-18 km).

Anche se l'importanza del radiotelemetro fosse stata immediatamente capita dagli alti gradi della Marina, si era ben lontani dal poter far fronte alle esigenze della produzione in serie, non solo perché il funzionamento non era ancora del tutto soddisfacente, ma anche perché l'industria non era in grado di fabbricare le valvole di potenza, che nei prototipi erano tutte di provenienza americana. Le valvole di costruzione italiana utilizzate nei trasmettitori radio non erano assolutamente in grado di sostenere le elevate potenze dovute agli impulsi del radiotelemetro.

I primi contrasti navali in Mediterraneo, nell'estate del 1940, sembravano dimostrare che gli inglesi non avessero ancora alcun radar sulle navi. Questa constatazione contribuì a che nessun particolare provvedimento venisse preso riguardo alle ricerche di radiotelemetria in atto a Livorno. Si pensò infatti che stando così le cose ed in previsione di una conclusione veloce del conflitto, convenisse utilizzare il poco personale disponibile per far fronte alle esigenze di più immediato interesse. Un prototipo del radiotelemetro posizionato sulla terrazza del RIEC comunque vedeva il traffico del porto di Livorno e nel giugno del 1940 intercettò una squadriglia di aerei da bombardamento francesi a 30 km. Se un apparato del genere fosse stato installato a Taranto o su qualche nave in pattugliamento nello Ionio forse si sarebbe potuto contrastare l'attacco portato da 8 aerei siluranti *Swordfish* decollati dalla portaerei inglese *Illustrious* che danneggiarono seriamente tre corazzate italiane nel novembre del 1940.

Sul finire del 1940 era però ormai chiaro ai comandanti delle navi destinate alla scorta dei convogli destinati ai porti libici e sistematicamente intercettati di notte, che la marina inglese era dotata di dispositivi radar, mentre i nostri alti gradi continuavano a dire "di notte non si spara". Durante la battaglia aerea d'Inghilterra nell'autunno del 1940 i tedeschi avevano sperimentato a loro danno l'efficienza dei radar basati a terra della *Chain Home* inglese. Gli alleati tedeschi continuavano comunque a essere reticenti sui loro apparati e su ciò che sapevano.

Si giunse così allo scontro notturno di Capo Matapan (28 marzo 1941) il cui svolgimento non lasciò dubbi. Dopo una giornata di combattimento a lunga distanza tra la flotta italiana e quella inglese che si risolse con un intenso ma inconcludente scambio di cannonate, l'Ammiraglio Andrew Browne Cunningham<sup>45</sup> lanciò, dalla portaerei *Formidable* che accompagnava la flotta, tre attacchi siluranti

<sup>45</sup> Andrew Browne Cunningham: Dublino, Irlanda, 7 gennaio 1883 - Londra, Inghilterra, Regno Unito, 12 giugno 1963.

che riuscirono a colpire la corazzata Vittorio Veneto e l'incrociatore pesante Pola. I danni subiti dalla corazzata non erano così gravi da fermarla e poté quindi rientrare a Taranto, non così fu per il Pola che rimase immobilizzato. Al calare della notte l'Amm. Angelo Jachino<sup>46</sup> dette l'ordine di tentare il recupero del Pola alla I divisione incrociatori (Incc. Zara e Fiume con 4 cacciatorpediniere). Gli inglesi avevano 4 radar sulle loro navi, avvistarono il Pola, sentirono a distanza gli echi delle navi italiane che nel buio erano praticamente cieche e indifese. Le condizioni di scarsa luce favorirono gli inglesi che aprirono il fuoco a circa 3000 metri affondando i due incrociatori, due dei cacciatorpediniere e successivamente il Pola.

L'azione si era svolta di notte e la decifrazione di un messaggio inglese che parlava di ottimi risultati degli apparati di scoperta rivelava la presenza di radar sulle navi inglesi. Il tiro a distanza ridottissima e col concorso di proiettori, stava a dimostrare, come è stato reso noto nel dopoguerra, che si trattava di semplici apparecchi di portata limitata senza possibilità di localizzazione esatta e con scarsa possibilità di brandeggio. È ovvio che la presenza di almeno un radiotelemetro a bordo avrebbe consentito alle navi italiane, dotate di velocità superiore, di disimpegnarsi o di tentare un attacco silurante. Il comportamento della flotta fu molto criticato dalla marina tedesca che, però, dopo due mesi perse la corazzata Bismarck alla prima uscita in mare. Infatti, dopo il primo contatto balistico, la corazzata tedesca fu tenuta sotto controllo dal radar dell'incrociatore Suffolk, che, rimanendo nascosto nella nebbia, permise alle altre navi da guerra britanniche di raggiungerla e affondarla. La marina inglese aveva dimostrato tutta la sua superiorità in fatto di numero, qualità e addestramento delle navi ma soprattutto una innegabile superiorità elettronica.

Anche al fine di controllare che effettivamente un attacco notturno fosse possibile con l'aiuto di radiotelemetri e verificare il lavoro svolto al RIEC, la Marina ordinò che esperienze di carattere ufficiale fossero eseguite subito con gli apparecchi sperimentali del Tiberio. Tali prove ebbero luogo a Livorno il 20 aprile 1941: il radiotelemetro su onda di 70 centimetri, denominato *EC3 bis*, funzionò in modo regolare, furono intercettati: la nave Urania ad una distanza di 12 km e degli aerei a 34 km. Il primo esemplare sperimentato fu subito installato sulla torpediniera Carini dalla quale fu poi trasferito sulla corazzata Littorio e dotato di un ricevitore ad indicazione oscillografica.

Fu sollecitato inoltre insistentemente l'aiuto della Germania, specialmente per la fornitura dei tubi elettronici trasmettenti e degli oscillografi. Nel luglio del 1941 una delegazione della Marina (ne facevano parte Tiberio e Matteini) si incontrò con una delegazione di esperti radar tedeschi. In sostanza risultò che, a parte il problema della scarsa potenza del trasmettitore, il radar italiano non era inferiore a quello tedesco. Anche in Germania erano state effettuate ricerche segrete indipendenti alle quali però lo stato maggiore, a differenza di quanto era accaduto in Inghilterra, non aveva dato tempestivo impulso. I tedeschi si trovavano, inoltre, in serie difficoltà a causa del fallimento della offensiva aerea contro la Gran Bretagna, delle enormi esigenze tecnico-industriali della campagna sottomarina

<sup>46</sup> Angelo Jachino: Sanremo, Imperia, 24 aprile 1889 - Roma, 3 dicembre 1976.

in Atlantico e di quella terrestre in Russia. Accanto a queste difficoltà esistevano inoltre circostanze di carattere politico-industriale per le quali non fu possibile avere la valvole e non fu mai stabilita una sostanziale collaborazione se non con la promessa di alcuni *FuMO* che cominciarono ad arrivare dalla fine del 1942.

Non era possibile, nelle condizioni in cui si trovava l'Italia, impostare un esteso programma di studi e di costruzioni, fu quindi, deciso di affrontare i seguenti problemi urgenti:

- riprodurre al più presto, nel maggior numero possibile di esemplari, il prototipo navale su onda di 70 centimetri (denominato poi *Gufu*), migliorandone l'efficienza per quel tanto che era consentito dal poco tempo disponibile, con lo scopo di dare alle navi uno strumento di avvistamento generale;
- completare e riprodurre in serie al più presto il prototipo basato a terra su onda di 2 metri, in modo da fornire alle città uno strumento che permettesse di dare l'allarme antiaereo in tempo utile;
- realizzare apparecchi per la intercettazione e il disturbo dei radioteleметри avversari;
- avviare lo studio di un radiotelemetro per aeroplani da ricognizione marittima e di uno per il tiro contraereo;
- vista la difficoltà incontrata con la Germania, affrontare il problema di progettare e costruire in Italia le valvole dei trasmettitori.

I primi due di questi compiti vennero affidati alle industrie disponibili sotto il controllo di un reparto del RIEC, facente capo a Tiberio.

Il terzo e il quarto compito vennero assunti dall'Istituto Radiotecnico dell'Aeronautica a Guidonia, sotto la responsabilità del Col. Algeri Marino<sup>47</sup> e del dott. Gaetano Latmiral<sup>48</sup>.

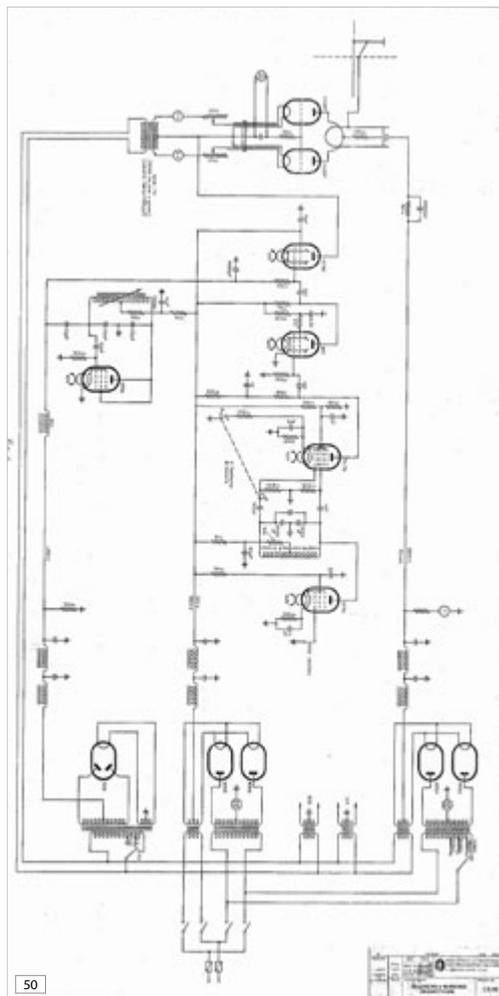
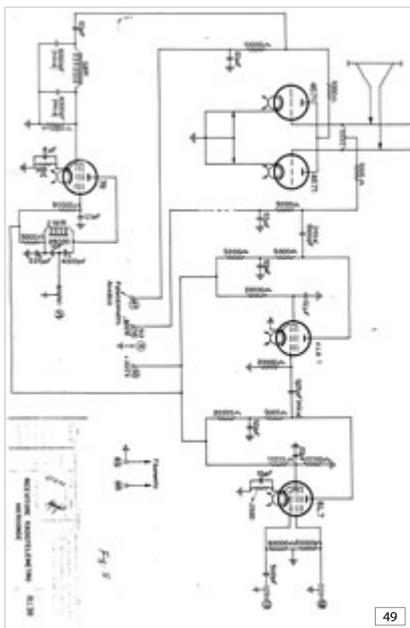
Per il problema delle valvole di potenza fu determinante l'intervento del dott. Nello Carrara che operava presso il RIEC. Carrara era una delle personalità scientifiche di maggiore spicco dell'Istituto, grande esperto internazionale nel campo delle microonde. La tradizionale ed ampia esperienza sui tubi elettronici della scuola di Vallauri, di cui Carrara faceva parte, non deluse le aspettative. Ad opera di Carrara e dei suoi collaboratori furono conseguiti risultati assai importanti: la realizzazione di nuovi triodi per trasmettitori di grande potenza ad onda lunga (UC150), l'impiego di cavità risonanti negli oscillatori per onde decimetriche e la costruzione di primi esemplari sperimentali di magnetron.

Inoltre, presso la sezione Alti Studi del Ministero della Marina fu affrontato il problema del combattimento navale con radiotelemetro.

Questo programma, attuato sotto la guida di un apposito Comitato tecnico (Comitato Radio-detector-telemetRi-RaRi) comprendente i rappresentanti delle tre Forze Armate (Sacco, Matteini e Marino), risultò in una vera e propria "mobilitazione radar" che dette luogo a numerose iniziative e progetti di buon livello tecnico scientifico e fece capire la misura delle disastrose conseguenze della

<sup>47</sup> Algeri Marino: Casoli, Chieti, 1894 - Roma 1967.

<sup>48</sup> Gaetano Latmiral: Roma, 23 aprile 1909 - Napoli 7 marzo 1995.



**Figura 46.** EC3-ter "Gufo" sull'albero di un cacciatorpediniere.

**Figura 47.** Due installazioni del Gufo sulla Corazzata Littorio.

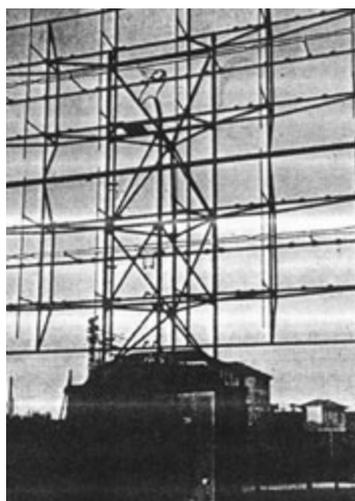
**Figura 48.** Il pannello di controllo del Gufo.

**Figura 49.** Parte del ricevitore del Gufo (17.06.41).

**Figura 50.** Parte del trasmettitore del Gufo (17.06.41)

mancata tempestiva mobilitazione elettronica. Il passaggio, da una situazione di inattività quasi completa, ad una di assoluta emergenza, dette luogo all'ordine di realizzare a scadenza ravvicinata 50 esemplari di EC3-ter (Fig. 46), cioè del Gufo, derivati dall'EC3-bis.

La struttura del EC3-ter<sup>49</sup> era composta da due apparati: il trasmettitore ed il ricevitore montati uno sull'altro collocati su un sistema per il brandeggio posizionato sull'albero della nave o sul torrione (Fig. 47), collegato ad un sistema di comando e visualizzazione degli echi (Fig. 48). Parti degli schemi elettronici del trasmettitore e del ricevitore (EC3-bis del 1941) sono riportati nelle Figure 49 e 50. Erano presenti due antenne a tronco di piramide, una per la trasmissione ed una per la ricezione, che ottemperavano sia al compito antinave che a quello antiaereo. L'angolo di copertura orizzontale, cioè l'angolo entro il quale un ostacolo galleggiante di piccole dimensioni



**Figura 51.** Antenna sperimentale del RDT4 "Folaga" sulla terrazza del RIEC.

era visibile a distanze sui 10 km, risultava di circa 6°; quello verticale sui 20°. La durata di impulso era di 4  $\mu$ s e la frequenza di ripetizione impulsiva era di 500 Hz, con potenza di picco di 10 kW. La portata antiaerea era da 80 a 120 km, quella antinave variava dai 15 a 30 km, a seconda della quota di installazione (35 metri sulle corazzate, 25 sugli incrociatori e 15 sui cacciatorpediniere). Il congegno per la rotazione delle antenne permetteva la ricerca continua sui 360° con 3 giri al minuto, nonché la punteria a mano. Contemporaneamente veniva studiato il radiotelemetro RDT4 *Folaga* basato a terra per l'avvistamento antiaereo (Fig. 51). L'efficienza del prototipo del *Folaga* fu sperimentata nel 1943 dalla terrazza del RIEC quando furono avvistate la squadriglie di bombardieri che colpirono Livorno.

Collaborarono alla realizzazione le ditte: SAFAR, Allocchio Bacchini, Marelli, Galileo, FIVRE, FIMET. Tra le numerose iniziative del Comitato RaRi, va ricordata la realizzazione, presso l'Istituto Elettronico dell'Aeronautica a Guidonia di un apparato per aerei da ricognizione marittima e di uno per avvistamento antiaereo di grande portata, di due apparati per tiro antiaereo (denominati *Veltro* e *Lepre*) a cura dell'ing. Arturo Castellani<sup>50</sup> della SAFAR, di un complesso pure antiaereo a cura dell'ing. Vecchiacchi presso la Marelli, (denominato *Linca*) ed infine del *disturbatore radar* realizzato dal dott. Latmiral che fu utilizzato nel 1942 per contrastare i radar di Malta. Per questi apparati il Comitato passò alle industrie grosse ordinazioni che purtroppo non ebbero seguito a causa del precipitare della crisi industriale. Solamente tra le fine del 1942 e i primi mesi del 1943 quindici Gufo furono consegnati ed installati sulle navi insieme ad alcuni *FuMO* tedeschi, inoltre 4

<sup>49</sup> Tiberio 1946; Tiberio 1979a.

<sup>50</sup> Arturo Castellani: Gorizia 19 marzo 1903 - Milano 7 luglio 1968.

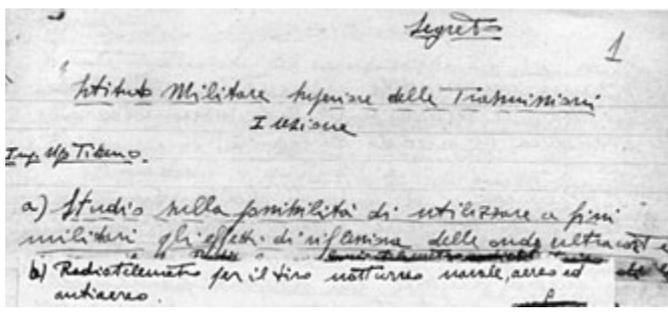


Figura 52. Titolo del manoscritto del 1936.

Folaga furono sistemati in postazioni terrestri insieme a numerosi Würzburg e Freja sotto controllo tedesco.

In Germania l'apparato industriale conservò più a lungo la sua efficienza, e quindi vi fu una produ-

zione notevole di apparati, specialmente del tipo Würzburg contraereo. Dal 1943 in poi i radar tedeschi si trovarono rapidamente superati dai progressi anglo-americani conseguenti al crescere dell'efficienza industriale degli USA.

La causa più grave di disagio nel 1941-43 stava nel fatto che non si riuscivano a costruire, installare e tenere in condizioni di efficienza un sufficiente numero di apparati, in particolare risultavano seri problemi nel sistema di brandeggio e nella gestione dei frequenti guasti alle valvole. Bisogna considerare che ciascuna delle fasi di ingegnerizzazione dei prototipi di radiotelemetri avrebbe richiesto il lavoro di un elevato numero di ingegneri, fisici e tecnici oltre ad investimenti elevati (si pensi che gli USA investirono più nel radar che nella bomba atomica). Ciò in modo particolare quando si tratta di apparecchi utilizzando principi nuovi di funzionamento che richiedono pertanto cure speciali nella progettazione, nel controllo di qualità e nella manutenzione. Purtroppo in Italia, anche se era la patria di Marconi, non c'erano corsi universitari dedicati all'elettronica ed alla tecnica radio. Quindi, benché il poco personale disponibile si prodigasse con molto impegno, le cause di ritardo furono molteplici e quando i pochi radiotelemetri arrivarono mancò il tempo per l'addestramento del personale a bordo e a terra. Tiberio aveva anche prospettato di allargare il reclutamento ai numerosi radioamatori che operavano sul territorio nazionale. Con i bombardamenti dell'inverno 1942-43 le difficoltà, ovviamente, si moltiplicarono.

I radar arrivarono ad essere installati su un certo numero di unità navali solo nel 1943, quando ormai il Mediterraneo era dominato dalla marina e l'aviazione anglo-americana e le navi maggiori non uscivano più. L'attività di ricerca sul radar ebbe praticamente termine con l'estate del 1943, in seguito al trasferimento del RIEC in Veneto a Campo S. Martino.

La documentazione sul radiotelemetro dal 1935 al 1943 è scarsa, rimanevano fino al 1997 le foto delle installazioni sulle navi e sulla terrazza del RIEC e i saggi di Tiberio<sup>51</sup>, Nino Arena<sup>52</sup> e di Luigi Carilio Castioni<sup>53</sup>. Il documento segreto del 1935 che conteneva e descriveva la prima proposta di realizzazione è andato

<sup>51</sup> Tiberio 1939, 1946, 1948, 1964, 1979a, 1979b.

<sup>52</sup> Arena 1976.

<sup>53</sup> Castioni 1974.

perduto come anche molti dei documenti segreti e tecnici successivi. Fortunatamente i figli di Tiberio, hanno ritrovato un manoscritto originale datato 1936 (Fig 52), indirizzato alla Marina, che fa riferimento alla prima proposta del 1935. Il manoscritto è stato consegnato nel 1998 al Capo di Stato Maggiore e viene ora conservato al Museo dell'Accademia Navale.

di 1000 watt. Tali valori sono elevati in relazione alla distanza dell'unità ricevente, ed alla natura e posizione di essa.

Distanza (nm)	Nave di fronte	Nave di fianco (comp. in 100/m)	Angolo
1000			2400
2000			600
5000	3500	4500	90
10000	900	120	22
20000	30	7	5

Le intensità ricevute irradiata 100 watt circolarmente i suddetti valori divengono:

Distanza (nm)	Nave di fronte	Nave di fianco (comp. in 100/m)	Angolo
1000			30
2000			20
5000	1200	150	3
10000	29	4	
20000			

(...)

Figura 53. Calcoli delle portate.

Oltre al manoscritto del 1936 sono state ritrovate le copie di altri documenti segreti (ad esempio, Fig. 53): il primo, del febbraio 1937, intitolato *Studio sulla utilizzazione delle onde ultracorte per avvistamento*, tratta del programma di costruzione di un nuovo apparecchio come concordato nel gennaio in una riunione con il prof. Vallauri, il Gen. Sacco e i Comandanti Ruelle e Matteini del RIEC; un secondo, sempre del 1937, intitolato *Progetto di un apparato per la rivelazione di ostacoli per mezzo di onde ultracorte modulate in frequenza (radiotelemetro)*, un plico contenente gli schemi elettrici del trasmettitore e del ricevitore del Gufo datati luglio 1941, due brevetti di Radiotelemetri (del 1937 e del 1941) ed infine il progetto di un *Radiotachimetro* (del 1942) per la rilevazione della direzione e della velocità dei bersagli navali.

Nell'insieme si può dire che, in Italia, il problema del radar è stato tempestivamente prospettato e correttamente inquadrato e, se le autorità militari avessero ascoltato per tempo le proposte di Marconi e successivamente quelle di Tiberio, molti penosi episodi di guerra notturna sarebbero stati risparmiati alla Marina. La mobilitazione radar (più in generale elettronica) se iniziata alla metà degli anni '30 avrebbe messo in condizione il Corpo delle Armi Navali di installare e tenere in operazione un buon numero di apparati di vario tipo.

Al termine del conflitto nel 1946 fu permesso a Tiberio di pubblicare lo stato delle conoscenze acquisite dalla Marina sul libro *Radiotelemetria*<sup>54</sup>.

Anche se vi furono dei ritardi, alla Marina si deve comunque oggi riconoscere il merito di aver creato nel 1941 un importante gruppo di esperti. Queste persone hanno poi operato nelle università, nel Corpo delle Armi Navali e nelle industrie ricostruite nel dopoguerra ed hanno contribuito alla fondazione ed allo sviluppo dell'industria Radar italiana che oggi costituisce un comparto industriale di notevole importanza economica e strategica.

<sup>54</sup> Tiberio 1946.

## Divulgazione

Come accennato nella sezione dell'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della R. Marina vi sono due contributi fondamentali del prof. Vallauri alle radiocomunicazioni in Italia. Il primo è la già ricordata fondazione dell'IERT. Il secondo evento fu la fondazione, nel 1932, della rivista *Alta Frequenza*, con il duplice scopo di rendere meglio noti ed apprezzati in Italia e fuori i lavori nazionali, prima divisi tra varie pubblicazioni per la maggior parte straniere, non tutte "specializzate", e di fornire agli studiosi italiani materiale di documentazione scientifica e tecnica. Il prof. Vallauri ne fu il primo direttore, oltre che membro del Comitato di Redazione, insieme, tra gli altri, a Marconi (presidente), G. Pession, U. Bordoni, Q. Majorana, G. di Pirro e G. Vanni.

*Alta Frequenza* è stata la prima rivista italiana di telecomunicazioni. Oltremodo significativo dell'assolvimento di questi compiti è il primo numero della rivista che uscì a marzo 1932 (Fig. 54): quattro articoli, per complessive ottanta pagine, di autori italiani, di cui il primo, originale, a firma del prof. Nello Carrara, ricercatore presso l'IERT, allora ridenominato RIEC (Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni della Marina) dal titolo "La rivelazione delle microonde". In questo articolo il termine microonde veniva usato per la prima volta nella letteratura scientifica mondiale. Le rimanenti settantaquattro pagine occupate dalle rubriche "Recensioni", "Cronaca Tecnica", "Brevetti", "Nuovi Apparecchi" ed "Informazioni e Notizie", frutto, come recitano le "Note della Redazione", di "opera scura e faticosa, ordinata collaborazione, attento spirito critico e larga conoscenza della materia", in cui è possibile riconoscere le doti e le capacità professionali ed organizzative del prof. Vallauri.

Sull'autore di questo primo articolo, Nello Carrara (Fig. 55), dato il suo contributo allo sviluppo della tecnologia delle alte frequenze in Italia, occorre parlare più diffusamente.

Nello Carrara nacque a Firenze il 19 febbraio 1900 e si laureò in Fisica alla Scuola Normale Superiore di Pisa nel 1921. Assistente di ruolo dal 1921 al 1924 divenne Professore di Fisica Generale all'Accademia Navale di Livorno nel 1924, cattedra che mantenne fino al 1954. In questo stesso periodo lavora come ricercatore al RIEC. Nel 1947 fonda il Centro Microonde del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) che diverrà in seguito l'Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche (IROE), struttura che dirigerà dal 1947 al 1970.

Il prof. Carrara diede molti importanti contributi allo sviluppo delle comunicazioni a Microonde e del Radar (Fig. 56) durante il suo periodo di permanenza al RIEC. In questo contesto si inserisce il già citato articolo sul primo numero di *Alta Frequenza* (1932), articolo in cui il prof. Carrara utilizza per la prima volta al mondo il termine "microonde"<sup>55</sup> per quella porzione dello spettro relativa "a frequenze dell'ordine di  $10^9$  Hz" (Figg. 57, 58<sup>56</sup>).

<sup>55</sup> Pelosi 1996.

<sup>56</sup> Carrara 1932.



Figura 54. Frontespizio del primo numero della rivista Alta Frequenza (Marzo 1932).

Figura 55. Nello Carrara (19 febbraio 1900 - 5 giugno 1993) presso un apparecchio ricetrasmittente a microonde da lui realizzato al RIEC nel 1935.

Figura 56. Nello Carrara esegue delle prove su un apparato a microonde installato su un'Unità Navale (1937).

Figura 57. Prima pagina dell'articolo di Nello Carrara su Alta Frequenza (Numero 1, Anno I) dove viene introdotto per la prima volta al mondo il termine "microonde".

Figura 58. Prima pagina di una memoria di Marconi (Guglielmo Marconi: "Radio comunicazioni ad onde cortissime" in Nuova Antologia: rivista di lettere, scienze ed arti, Fasc. 1459, Roma, 1933) - Il termine "microonde" comincia ad affermarsi nel titolo della sezione ma non nello scritto di Marconi.

Il termine venne quindi impiegato dallo stesso prof. Carrara in una pubblicazione in lingua inglese nell'ottobre di quello stesso 1932.

*Alta Frequenza*, nata sotto le ali dell'A.E.I. (Associazione Elettrotecnica Italiana), oggi A.E.I.T., (Federazione Italiana di Elettrotecnica, Elettronica, Automazione, Informatica e Telecomunicazioni) è stata pubblicata dal 1932 al 1989, anno in cui ha cambiato nome in *Alta Frequenza: Rivista di Elettronica*. Opera inoltre una fusione con altre testate a livello europeo ed inizia ad essere pubblicata in lingua inglese col titolo di *European Transactions on Telecommunications and Related Technologies* (1990-1995) prima e di *European Transactions on Telecommunications* (1995 ad oggi).

## Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare l'Ufficio Storico della Marina Militare Italiana per la disponibilità mostrata durante il reperimento di parte del materiale iconografico e per averne consentito la pubblicazione.

## Bibliografia

- Abbatangelo Giovanni, Fabrizi Piero, Manara Giuliano, Pelosi Giuseppe, 2006, "La storia delle telecomunicazioni – Una rassegna attraverso le immagini dell'Ufficio Storico della Marina Militare", *Suppl. alla Rivista Marittima*, vol. CXXXIX.
- Abbatangelo Giovanni, Cavicchi Miranda, Manara Giuliano, Pelosi Giuseppe, Quattrone Piergiorgio, Selleri Stefano, 2006, "The early history of radio communications through the photos of the Italian Navy archives", *IEEE Antennas Propagat. Magazine*, vol. 48, n. 6, pp. 224-236.
- Arena Nino, 1976, *Il Radar Volume Primo: La guerra sui mari*, Modena, STEM Mucchi.
- Bucci Ovidio Mario, Pelosi Giuseppe, Selleri Stefano, 2003, "The Work of Marconi in Microwave Communications", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 45, n. 5, pp. 46-53.
- Bussey Gordon, *Marconi's Atlantic Leap*, Cambridge, Cambridge University Press, 2000.
- Carrara Nello, 1932, "The detection of microwaves", *Proc. IRE*, vol. 20, n. 10, pp. 1615-1625.
- Castioni Luigi Carilio, 1974, "Storia dei radioteleметри italiani", *Bollettino dell'Istituto Storico e di Cultura dell'Arma del Genio*.
- Cavicchi Miranda, Selleri Stefano (a cura di), 2006, "La Storia delle Telecomunicazioni attraverso le immagini dell'Ufficio Storico della Marina Militare." Catalogo della mostra omonima, in G. Abbatangelo, P. Fabrizi, G. Manara, G. Pelosi (a cura di), *La Storia delle Telecomunicazioni*, supplemento speciale della *Rivista Marittima*, vol. CXXXIX, pp. 13-37.
- Comune di Santa Marinella, 2001, *Ricerche e Sperimentazioni di Guglielmo Marconi a Torre Chiaruccia*.

- Falciasacca Gabriele, Vallotti Barbara, Pelosi Giuseppe, Selleri Stefano, 2004, “Guglielmo Marconi e la campagna radiotelegrafica del 1902 della R.N. Carlo Alberto”, in *XV RiNEm* 13-16 Settembre, Cagliari.
- Fioravanzo Giuseppe, 1929, “Marina di quantità e Marina di qualità”, *Rivista Marittima*, vol. LXII, pp. 285-290.
- Giannini Franco, Pelosi Giuseppe, Selleri Stefano, 2006, “Le esperienze di G. Marconi di Villa Modragone e di Torre Chiaruccia”, in Abbatangelo Giovanni, Fabrizi Piero, Manara Giuliano, Pelosi Giuseppe (a cura di), *La Storia delle Telecomunicazioni*, supplemento speciale della *Rivista Marittima*, vol. CXXXIX, pp. 67-70.
- Iachino Angelo, 1969, *Il tramonto di una grande marina*, Milano, Mondadori.
- Leschiutta Sigfrido, 2006, “I contributi alla ‘metrologia del tempo e della frequenza’ di Gian Carlo Vallauri e del RIEC”, in G. Abbatangelo, P. Fabrizi, G. Manara, G. Pelosi (a cura di), *La Storia delle Telecomunicazioni*, supplemento speciale della *Rivista Marittima*, vol. CXXXIX, pp. 67-70.
- “L’Unione Sarda”, 7 e 8 Settembre 1902.
- Pelosi Giuseppe, 1996, “The birth of the term “microwaves”, *Proc. IEEE*, vol. 84, n. 2, p. 326.
- Pelosi Giuseppe, Selleri Stefano, 2001, “From Poldhu to the Italian Station of Coltano: The First Years of Transcontinental Wireless”, in *31 European Microwave Conference, Special Session on Marconi*, Londra, Sept. 24-28 (booklet out of proceedings).
- Pelosi Giuseppe, Selleri Stefano, Vallotti Barbara, 2004, “From Poldhu to the Italian Station of Coltano: Marconi and the First Years Of Transcontinental Wireless”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 46, n. 3, pp. 47-54.
- Poli Pietro, 1985, *L’Opera Tecnico Scientifica di G. Marconi*, Faenza, C&C-Edizioni Radioelettroniche.
- Reale Accademia d’Italia, 1941, *Scritti di Guglielmo Marconi*, Roma.
- Sacco Luigi, Tiberio Ugo, 1935, “Sul modo di esporre e di impiegare i dati di irradiazione e propagazione”, *Alta Frequenza*, vol. III, pp. 668-687.
- Simion Ernesto, 1927, *Il contributo dato dalla Regia Marina allo sviluppo della radiotelegrafia*, Roma, Ufficio Storico della Regia Marina.
- Solari Luigi, 1949, *Marconi. La radio in pace ed in guerra*, Verona, A. Mondadori.
- Swords Sean S., 1986, *Technical History of the Beginnings of Radar*, IEE history of technology series, Londra, P. Peregrinus.
- Tazzari Oreste, 1940, “Radiotelemetria”, *Rivista Marittima*, vol. LXXIII, pp. 177-187.
- Tiberio Ugo, 1939, “Misure di distanza per mezzo di onde ultracorte (radio telemetria)”, *Alta Frequenza*, vol. VII, pp. 305-323.
- Tiberio Ugo, 1946, *Introduzione alla Radiotelemetria (Radar)*, Roma, Tipografia Stato Maggiore Marina.
- Tiberio Ugo, 1948, “Cenni sull’opera della Marina Italiana nel campo radiotecnico durante la guerra 1940-45”, *Rivista Marittima*, n. 3,.
- Tiberio Ugo, 1964, “Ricordo del R.I.E.C. (Regio Istituto Elettronico e delle Comunicazioni Marina, in seguito MARITELERADAR)”, *L’Elettronica*, vol. LI, n. 11, pp. 861-875.

Tiberio Ugo, 1979, “Ricordo del primo radar navale italiano”, *L'Elettrotecnica*, vol. LXVI, n. 3, pp 193-197.

Tiberio Ugo, 1979, “Some historical data concerning the first Italian Naval radar”, *IEEE Trans. AES*, vol. 5, pp. 733-735.

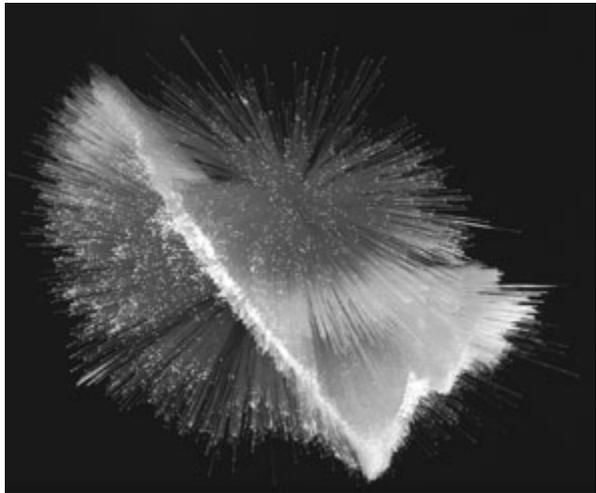
Ufficio Storico della Marina Militare, 1957, *La Marina Italiana nella II guerra mondiale: l'organizzazione della Marina durante il conflitto*, vol. XXI, Tomo I.

Vallauri Giancarlo, 1924, “Il centro radiotelegrafico di Coltano”, *L'Elettronica*, vol. XI, n. 1 e 2.

Zammarchi Angelo, 1904, *La telegrafia senza fili di Guglielmo Marconi*, Bergamo, Istituto d'Arti Grafiche.

# GLI SVILUPPI TECNICO/SCIENTIFICI

---



Un'immagine artistica di un fascio di fibre ottiche eccitate da un fascio di luce blu. Le fibre ottiche si comportano come un "tubo" capace di incanalare la luce al proprio interno e consentono di trasportare più informazione di un cavo di rame convenzionale.

## L'elaborazione numerica dei segnali

### Gli inizi: il trattamento del segnale sismico e i primi calcolatori italiani

Il trattamento numerico dei segnali fu sviluppato per l'elaborazione di segnali acustici destinati sia al rilevamento dei sommergibili che all'esplorazione sismica per la ricerca del petrolio. Limitando l'analisi alle applicazioni civili, si deve osservare che le metodologie di acquisizione dei segnali creati dai rilievi sismici per la prospezione petrolifera erano diventate numeriche già a partire dalla metà degli anni '60. Il trattamento da effettuare sui dati numerici acquisiti era poi troppo complesso per essere realizzato con tecniche analogiche ed aveva bisogno di tecniche numeriche, consentite dal favorevole rapporto costi benefici, in un settore così importante industrialmente.

Già allora, (come peraltro cinquant'anni dopo) i calcolatori numerici più efficienti utilizzati nel settore civile erano (e sono) dedicati al trattamento dei dati sismici per l'industria petrolifera: ne è cambiata la potenza, e per molti ordini di grandezza. Tra i vari algoritmi utilizzati, la deconvoluzione statistica assumeva particolare rilievo ed era utilizzata per la deriverberazione del segnale sismico. Questo complesso trattamento, destinato a rimuovere gli effetti della propagazione negli strati superficiali del terreno, era basato sulle tecniche di filtraggio inverso proposte da Norbert Wiener in occidente e da Andrej Nikolaevič Kolmogorov in URSS, ed era metodologicamente ben noto sin dalla fine degli anni '50. In un famoso libretto, noto dalla sua copertina gialla come il *pericolo giallo* venivano discusse e formalizzate le fino allora segretissime metodologie della deconvoluzione, sviluppate durante la Seconda Guerra Mondiale per migliorare il puntamento del tiro dei bombardieri e dell'artiglieria contraerea e realizzate con filtri analogici. Negli anni '60, la deconvoluzione era diventata di dominio pubblico, ed utilizzata anche per applicazioni civili, questa volta utilizzando le più efficaci tecniche numeriche. Peraltro, il trattamento numerico permetteva già allora non solo il filtraggio e la correzione di fase di segnali monodimensionali, ma anche l'elaborazione dei segnali bidimensionali, con tecniche anch'esse ben conosciute ed utilizzate sin dagli anni '60. Tra queste, ha grande rilievo la migrazione sismica, e cioè la ricostruzione della posizione spaziale dei riflettori a partire dal segnale ecografico misurato da un radar acustico. In sostanza, la migrazione corrisponde ad un filtraggio a fase pura dipendente dalla direzione. È proprio lo stesso trattamento che sarebbe poi stato utilizzato per la focalizzazione di segnali elettromagnetici rilevati dai radar ad apertura sintetica, ma realizzato per segnali acustici e sorgenti

sismiche in mezzi qualsiasi, e con almeno due decenni di anticipo rispetto al caso elettromagnetico. Queste osservazioni sono utili per confermare il ben noto fatto che le competenze matematiche sono sviluppate spesso ben prima del momento della loro utilizzazione, che dipende dalle tecnologie disponibili.

Similmente, la disponibilità delle tecnologie di calcolo portò a riscoprire nel 1967 la trasformazione di Fourier veloce (FFT: Fast Fourier Transform). Il primo ad averla scoperta era ben stato Gauss, ma allora questo essenziale strumento di calcolo era scarsamente utilizzabile ed era solo una curiosità. La FFT fu immediatamente importata nel trattamento di routine del segnale sismico, per accelerarne i filtri e anche per l'elaborazione 2D divenendo così uno tra gli strumenti principali del trattamento numerico dei segnali. Della precedente scoperta si seppe solo in seguito, studiando una ripubblicazione di un lavoro postumo del grande matematico.

Intanto, lo sviluppo dei sistemi di calcolo rendeva il trattamento numerico dei segnali possibile anche in settori non così ricchi di mezzi come quelli delle ricerche petrolifere e della difesa. Il primo elaboratore italiano fu l'ELEA 6001 dell'Olivetti, che operò dal 1966 al 1974: aveva 10 K di memoria a nuclei magnetici, niente disco, niente sistema operativo residente. L'unità di lettura del nastro di carta perforato era usata per il caricamento del sistema operativo. Tra il 1960 e il 1973 ne furono installati 170, che coprivano circa il 25% del mercato italiano dei calcolatori.

## Attività nelle università e negli enti di ricerca I

### *Firenze-IROE*

Sin dagli anni 1968-69, fu attiva all'Università di Firenze e presso l'IROE – Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche – CNR un'importante linea di ricerca, guidata da Vito Cappellini. In collaborazione con Pier Luigi Emiliani, fu realizzato un sistema hardware dedicato al filtraggio numerico di segnali online (audio, biomedicina, ecc.), uno tra i primi in Europa. L'esperienza acquisita con questo elaboratore digitale veniva utilizzata anche per effettuare successivamente il filtraggio numerico di segnali in alta frequenza (segnali di telecomunicazione, segnali radar<sup>1</sup>). Le tecniche di elaborazione numerica delle immagini venivano intanto sviluppate su diverse linee<sup>2</sup> come acquisizione digitale di elevata qualità (alta risoluzione spaziale, taratura del colore acquisito mediante uso di spettrometri e maschere di colori noti); elaborazione locale spaziale di immagini numeriche (operatori 3x3, 5x5, ecc.) per esaltazione dei contorni e segmentazione; filtraggio numerico bidimensionale (2D) di tipo Finite Impulse Response (FIR), in particolare utilizzando il metodo delle “funzioni finestra”; compressione dei dati, in particolare con tecniche basate sui filtri numerici e

<sup>1</sup> Cappellini, Emiliani e Costantinides 1970.

<sup>2</sup> Cappellini 1975.

sulle trasformazioni numeriche; riconoscimento di forme con operazioni di segmentazione di tipo statistico.

Presso l'Università di Firenze furono poi promosse Conferenze Internazionali nel settore (International Conference on Digital Signal Processing, Firenze, 1975, 1978, 1984, 1987, 1990; International Workshop on Time-Varying Image Processing and Moving Object Recognition, Firenze, 1982, 1986, 1988, 1990, 1993, 1996). Poi, in particolare a partire dagli anni '80, le immagini hanno acquisito un interesse crescente, con le relative tecniche di elaborazione numerica.

### *Milano, Torino Galileo Ferraris*

Un altro gruppo di trattamento numerico dei segnali si formò a Milano nel 1968, fondato dallo scrivente e da Sergio Brofferio. Le prime esperienze di trattamento numerico dei segnali furono proprio dedicate allo studio dei segnali sismici e geofisici, in una collaborazione con l'AGIP Mineraria, coordinata da Luigi Albertoni. Già nel 1969 furono sviluppati codici per la trasformazione di Hilbert discreta, da utilizzare per estrarre dei parametri del segnale sismico quali l'ampiezza, la frequenza, e la fase istantanee. Furono anche sviluppati filtri multicanale per la rimozione di riflessioni multiple. Molto di questo materiale era di natura riservata, ma è interessante ricordare che già nei primi anni '70 era disponibile all'AGIP il primo Array Processor attivo in Italia, un sistema di calcolo numerico vettoriale che era in grado di operare (allora) a ben 15MFlops. I dischi erano un problema ben maggiore, e le prime trasformate di Fourier bidimensionali 256x256 furono fatte accedendo in parallelo alle piste di un disco che memorizzava "ben" 256KB. I trattamenti bidimensionali furono dedicati ai dati magnetometrici e gravimetrici prima, e poi fu sviluppata nel 1974 la migrazione sismica nel dominio delle frequenze, una primizia nell'industria internazionale. Tutte queste competenze sarebbero poi risultate di grande utilità più di 20 anni dopo quando si sarebbe affrontato lo stesso problema, questa volta per i segnali elettromagnetici del Radar ad Apertura sintetica (Synthetic Aperture Radar SAR).

### **La televisione numerica**

Nel 1968 Francesco Carassa aveva proposto al gruppo del Politecnico di Milano di studiare la compressione del segnale video. Le contemporanee esperienze di trattamento di segnali geofisici avevano dimostrato che il trattamento numerico era ineguagliabile: piuttosto che acquistare, per fare delle esperienze, due registratori analogici AMPEX dismessi della RAI, ci si mosse nella direzione del trattamento numerico, malgrado si trattasse di un segnale complesso come quello televisivo. Sia l'acquisizione che la presentazione del segnale erano difficili: dopo essersi convinti che la compressione, appunto numerica, doveva avvalersi di una memoria di quadro per utilizzare al meglio tutto quanto fosse già in possesso del ricevitore, fu fatto un film per vedere in dettaglio come fossero fatte delle immagini in movimento. Le prime riprese di un uomo in corsa furono fatte



**Figura 1.** Shift register a linea magnetostriativa da 20Kbit (1970).

ricorrendo ad una memoria di quadro non solo per i punti dell'immagini fermi ma anche per quelli in movimento, pur di accedere alla memoria di quadro nel modo opportuno<sup>3</sup>. La cosiddetta compensazione del movimento era nata, ma sarebbe stata possibile solo quando si fosse potuto disporre veramente di un sistema numerico e di una memoria di quadro utilizzabile. Queste idee, nate già alla fine del 1968, ebbero quindi bisogno di un lungo periodo per essere dimostrate e realizzate. Oggi, sono patrimonio comune e sono presenti in ogni chip di compressione e decompressione del segnale video, finanche nei telefoni cellulari, per non parlare dei televisori digitali e delle telecamere numeriche. Questa storia della codifica del segnale televisivo è stata raccolta da Robert Forchheimer dell'Università di Linköping in Svezia<sup>4</sup>.

Dopo avere presentato queste idee al Primo Simposio sul Picture Coding al MIT nell'Aprile del 1969, ci fu un invito a visitare i Laboratori Bell e fu possibile vedere due cose preziose. Un convertitore analogico numerico a 8 bit e 12 MHz di frequenza di campionamento, ed una memoria di quadro realizzata con numerose linee di ritardo magnetostriative (ognuna immagazzinava circa 20Kbit; Fig. 1). Infatti, ai laboratori Bell si stava realizzando un sistema di compressione del segnale videotelefonico dotato di una memoria di quadro. Allora (1969) alla Bell si credeva che già nel 1983 ci sarebbero stati milioni di utenze videotelefoniche. Fu un grave errore di prospettiva: i milioni di utenze sarebbero arrivati sì, ma solo negli anni 2000, dopo più di vent'anni e con mezzi di calcolo quasi un milione di volte migliori, secondo la legge di Moore.

In ogni modo, il livello della gestione della ricerca nelle telecomunicazioni in Italia era tale, che non si ebbe remora a decidere di realizzare, in competizione con i Bell Labs, un primo sistema di compressione del segnale televisivo che operasse in tempo reale e che utilizzasse una memoria di quadro. Questo sistema fu realizzato in una cooperazione del Politecnico di Milano e dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris di Torino, nelle persone di Giorgio Qua-

nel Campo Giuriati, di fronte alla nuova sede dell'Istituto di Elettrotecnica ed Elettronica. Studiando, una alla volta, le immagini che si susseguivano si vide che erano tutte eguali, a meno di una approssimata traslazione di alcune delle sue parti. Nacque immediatamente l'idea di sfruttare questa informazione,

<sup>3</sup> Rocca 1969.

<sup>4</sup> [http://www.icg.isy.liu.se/~robert/PCS-2009\\_Public/](http://www.icg.isy.liu.se/~robert/PCS-2009_Public/).

glia e Antonio Racciu. Fu deciso di fare un sistema inizialmente senza compensazione di movimento, per poi aggiungerla ad una versione successiva. Il sistema si avvaleva dello stesso tipo di memoria di quadro che allora era disponibile per questo scopo ai Bell Laboratories, che appunto facevano le stesse ricerche.

Il primo sistema era già abbastanza interessante, in quanto utilizzava una codifica differenziale nel tempo: in sostanza veniva trasmessa la differenza tra i campioni omologhi in due quadri successivi. Quando l'errore di predizione risultava maggiore di quello che si sarebbe ottenuto riducendo la risoluzione spaziale, il segnale veniva filtrato spazialmente passa-basso e veniva sottocampionato, riducendo la ridondanza spaziale piuttosto che quella temporale e così permettendo di mantenere fisso il ritmo di trasmissione a due bit/campione. Un film che mostra i risultati di questo sistema fu registrato e dimostra che già negli anni '70 si riusciva a fare una codifica significativamente efficiente del segnale video. La qualità è certo ben lontana da quella realizzata nei successivi decenni, ma i mezzi di calcolo erano ben inferiori, come si è già detto.

Intanto i primi mini computer cominciavano ad essere disponibili anche alle università, e ne fu disponibile uno anche al Politecnico di Milano (il famoso Laben 70) a partire dal 1975 circa. Fu acquisita una memoria di quadro a nuclei e furono fatte le prime simulazioni della compensazione del movimento. Esse ne dimostrarono l'efficacia, e fu stimato correttamente il vantaggio che ne sarebbe derivato.

Peraltro, la spinta di Carassa di avere dei sistemi reali e non solo simulati spinse a realizzare il primo sistema (al mondo) di codifica televisiva numerico atto ad operare su un segnale TV a norma internazionale (bianco e nero, come ovunque allora in Italia). Il cuore del sistema era una memoria di quadro sviluppata nel 1974 da S. Brofferio a partire da chip da 4Kb.

Proprio perché lo scopo ultimo era quello della trasmissione satellitare attraverso il satellite italiano SIRIO, il gruppo di lavoro che progettò il sistema fu formato con l'aiuto di CNR, CSELT, Italtel e Telespazio, che concessero senza alcuna formalità ognuno un ricercatore per tre anni, e poi altri quattro ricercatori del Politecnico. Il sistema (Fig. 2) funzionò per la prima volta nel 1977<sup>5</sup>, ma poi ci vollero altri 5 anni per averne una versione che creasse un segnale



**Figura 2.** Il sistema di compressione del segnale televisivo sviluppato al Politecnico di Milano.

<sup>5</sup> Brofferio et al. 1978.

adatto a transitare attraverso il satellite, e cioè dotato sia dei buffer di linea, che dei modem necessari, che della coppia ricevitore e trasmettitore.

Il sistema funzionò in pubblico il 26 febbraio 1983, in occasione della giornata conclusiva di studio a Roma sul satellite SIRIO, ed in tempo per utilizzarne l'ultima fase di vita italiana. Il margine sulla competizione era comunque tale, che questo fu comunque il primo esperimento mai realizzato di trasmissione satellitare di un segnale televisivo numerico.

## Attività nelle università e negli enti di ricerca II

È importante ricordare che nel frattempo l'Elaborazione Numerica dei Segnali (ENS) si era sviluppata ed era necessario trasferire queste competenze anche a livello dell'insegnamento. Ad esempio, il corso di Radiotecnica al Politecnico fu, sin dagli anni '70, per metà dedicato a sistemi numerici, e cioè addizionatori, moltiplicatori, convertitori analogico numerici ecc. Un corso vero e proprio dedicato all'ENS iniziò a Milano solo nel 1985. Peraltro, gli studenti che si dedicavano a queste tematiche erano numerosissimi e in almeno 50 parteciparono allo sviluppo del sistema CCIR compatibile di cui si è detto, dedicandovi ognuno almeno 6 mesi di lavoro di tesi.

Così il trattamento numerico dei segnali usciva dai laboratori per entrare nelle attività industriali e nelle università dove si facevano studi importanti sul trattamento dei segnali.

A Genova, presso l'Istituto di Elettrotecnica (a direzione di Giuseppe Biorci) inizialmente, e poi dal 1984 nel Dipartimento di Ingegneria Biofisica ed Elettronica – DIBE Giuseppe Gambardella e Carlo Braccini<sup>6</sup> iniziarono una lunga e fruttuosa collaborazione con Alan Oppenheim, del MIT, uno dei guru dell'ENS, di cui tradussero il testo in Italiano e con cui organizzarono un memorabile Workshop ASI NATO (ASI WS on Signal Processing) a Portovenere, nel 1977. Furono poi fatti anche importanti studi di Analisi Spettrale. Poi, questi studi furono portati avanti anche nel Dipartimento di Informatica, Sistemistica e Telematica – DIST.

Anche presso l'Università di Roma il gruppo formato da Guido De Blasio, con Giovanni Jacovitti e Gianni Orlandi iniziò a studiare il segnale geofisico dando inizio ad un'importante filiera di studio sul trattamento dei segnali: tra i componenti di quella scuola si devono ricordare Roberto Cusani, Alessandro Neri, Gaetano Scarano che con tanti lavori hanno contribuito alla teoria ed alla pratica dell'ENS<sup>7</sup>. All'inizio degli anni Settanta, l'ambiente dell'Istituto di Elettronica della Sapienza era ricco di fermenti culturali. In questo contesto furono compiute impegnative esperienze nel settore della simulazione dei sistemi di trasmissione numerica. In particolare, per chi ha vissuto quella esperienza, la concezione e la realizzazione in tecnologia Large Scale Integration di un

<sup>6</sup> Braccini e Gambardella 1977.

<sup>7</sup> Jacovitti e Scarano 1993.

complesso elaboratore ENS ante litteram utilizzato per la simulazione in tempo reale di canali trasmissivi appare oggi impresa pressoché irripetibile. Il successo maggiore fu però l'acquisizione di un efficace metodo di scuola, pragmatico ma rigoroso nell'uso dei mezzi matematici.

È importante ricordare l'attività svolta all'Università di Padova da Gianfranco Cariolaro, Guido Cortelazzo, Gian Antonio Mian che iniziarono una fruttuosa collaborazione con la Telettra con studi dei transmultiplexer, e degli equalizzatori di canale. Cariolaro scrisse allora il suo ben noto libro *La Teoria Unificata dei Segnali*<sup>8</sup>.

### Prime applicazioni alla bioingegneria: la tomografia SPECT

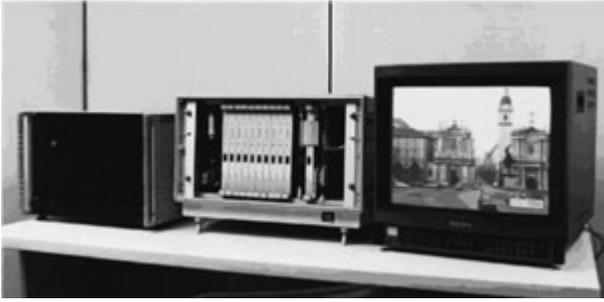
È utile ricordare come risalgono a quegli anni fine '70 ed inizio '80 le prime esperienze di applicazioni dell'ENS a tematiche di bioingegneria, ed in particolare lo sviluppo e la produzione dei primi sistemi esistenti di Tomografia computerizzata a Singolo Fotone (SPECT). Questi sistemi furono studiati al Politecnico di Milano in collaborazione con l'azienda milanese SELO dell'ing. Luigi Terra. Fu sviluppato un sistema per trasformare le Gamma Camere fisse progettate in SELO in un sistema rotante che poi faceva della tomografia SPECT. Alla fine, a parte l'algoritmica, il problema da risolvere fu quello di compensare via software gli effetti delle flessioni meccaniche del sistema, appesantito asimmetricamente dai collimatori in piombo delle gamma camere. Così, si poté ricostruire la distribuzione tridimensionale di tracciatori radioattivi iniettati in un corpo umano, che si fossero fissati su cellule di interesse clinico<sup>9</sup>. In particolare, va ricordato un importante esperimento realizzato nel 1980 da Ferruccio Fazio, allora dell'ospedale S. Raffaele a Milano e poi Ministro della Salute nel 2009, in cui fu studiata la concentrazione di isotopi radioattivi in parti del cervello e quindi il flusso sanguigno, durante delle azioni volontarie. Poiché la vita media dell'isotopo utilizzato, il Kr 81, è di 4,6 ore, fu necessario fare venire il materiale radioattivo prodotto a Londra con una complessa logistica che prevedeva l'aereo ed anche messi motociclisti a Londra prima e poi dall'aeroporto di Linate al S. Raffaele.

### L'elaborazione delle immagini in CSELT e lo sviluppo di MPEG-2

Lo CSELT decise di investire nella ricerca sulla compressione del segnale immagine già nei primi anni '70, dapprima in un'ottica di servizio video telefonico e successivamente di segnale televisivo. A differenza di altri centri, lo CSELT si concentrò sulle tecniche di compressione basate sulle trasformate lineari che, al costo di maggiore complessità, promettevano un più elevato tasso di compres-

<sup>8</sup> Cariolaro 1996.

<sup>9</sup> Fazio et al. 1980.



**Figura 3.** Il primo decoder MPEG-1.

sione. Già alla fine degli anni '70 si realizzò un prototipo di codec (codificatore) basato su queste tecniche che permetteva la trasmissione di immagine fissa cadenzate: se ad alta frequenza di aggiornamento, con qualità ridotta, e se a bassa frequenza di aggiorna-

mento, con qualità elevata. L'iniziativa europea COST 211 fornì l'occasione per lo sviluppo cooperativo di un codec per videoconferenza a 2 Mbit/s che fu industrializzato e messo a catalogo dalla SIP.

Negli anni 1983-85, in uno studio congiunto CSELT Politecnico di Milano, si era concluso che la struttura ottima di un codificatore (ovviamente numerico) doveva consistere in un sistema predittivo a compensazione di movimento, seguito poi da un sistema di trasmissione dei residui con trasformata discreta coseno, una versione reale della FFT a 2D. Anche la dimensione ottima dei blocchi era stata considerata e trovata in 8x8.

Spinto dall'idea che solo l'intervento dell'industria dell'elettronica di consumo avrebbe portato allo sviluppo della microelettronica necessaria per i sistemi di codifica audiovisiva, Leonardo Chiariglione costituì nel 1988 il gruppo di lavoro ISO "Moving Picture Experts Group" o MPEG, con il sostegno dello CSELT e sfruttando una rete di conoscenze coltivate negli anni. Infatti, Chiariglione aveva iniziato a lavorare in CSELT nel 1971, e poi aveva conseguito il dottorato di ricerca a Tokio nel 1973. Lo standard MPEG-1, il primo standard audiovisivo numerico, contemplava, oltre all'uso di tecniche di riduzione della ridondanza spazio-temporale, anche la codifica periodica utilizzando, tipicamente ogni mezzo secondo, solo la ridondanza spaziale di un'immagine per permettere l'interattività. Un'altra tecnica utilizzata permetteva l'interpolazione moto compensata sia dal passato che dal futuro, migliorando grandemente l'efficienza e la qualità del segnale, seppur al costo di un aumento del ritardo del tempo di codifica. Lo standard MPEG-1 ha trovato vaste applicazioni con il Video CD ed i player MP3. Lo CSELT realizzò il primo decoder MPEG-1 usando 5 piastre, ognuna con 4 processori Analog Devices 2900 ed un Intel 80186 come controllore per la parte video. Per la parte audio (MPEG-1 Layer 2), si utilizzava una piastra della Telettra (Fig. 3).

Mentre MPEG-1 puntava a creare mercati nuovi, lo standard successivo MPEG-2 puntava alla sostituzione della cinquantennale televisione analogica. L'undicesima riunione MPEG (luglio 1990) vide la nascita del progetto di standard MPEG-2, che sfrutta immagini interallacciate della televisione in formato PAL (Phase Alternate Line). Lo standard MPEG-1 era invece progettato per funzionare su immagini a scansione "progressiva". Una grande innovazione proposta da Chiariglione fu la standardizzazione del ricevitore invece della

definizione di un codificatore ottimo, che poteva anche essere fatto in software e non in tempo reale.

La definizione, promozione ed introduzione di MPEG-2 ha quindi richiesto grande attenzione, non solo tecnica. Infatti ci si poneva in totale divergenza con quanto era allora propugnato dall'Unione Europea, e dalla Philips associata con la Thomson, che invece stavano spendendo 1500 miliardi (in Lire di allora) per l'HD-Mac (High Definition MAC), un sistema analogico a 1250 linee di caratteristiche comparabili a quelle del sistema giapponese MUSE (MUltiple sub-nyquist Sampling Encoding), ma che non sboccò mai in un sistema effettivo. Fu solo dopo la corale adozione di MPEG-2 che anche l'Europa passò allo standard digitale, sviluppato a costi ben inferiori nell'ambito collaborativo seppure nell'ambiente altamente competitivo di MPEG. Inoltre, anche in USA ci si associò allo standard MPEG-2<sup>10</sup>.

La 'storia' MPEG è continuata con lo standard MPEG-4 che ormai si trova su tutte le macchine fotografiche digitali e sulla maggior parte dei telefonini e con tutta una serie di altri standard che hanno costituito un canale preferenziale per portare i risultati della ricerca nel processo normativo e quindi allo sfruttamento industriale.

I primi sistemi si svilupparono in concomitanza della memorizzazione numerica del segnale televisivo su compact disk, appunto nel Digital Versatile Disk. Le prime trasmissioni di televisione numerica furono fatte da Canal Plus nel 1995 e questa storia è poi raccontata in dettaglio in<sup>11</sup>. Leonardo Chiariglione ha avuto numerosi premi e riconoscimenti per la sua attività<sup>12</sup>. In particolare, la Eduard Rhein Foundation della Repubblica Federale Tedesca assegnò congiuntamente il premio per le Tecnologie per il 1999 a L. Chiariglione ed allo scrivente per la concezione dello standard MPEG e per l'invenzione della compensazione del movimento, rispettivamente.

Intanto, più di un centinaio di studenti laureati a Milano con tesi sul trattamento del segnale televisivo o che avevano contribuito allo sviluppo dello hardware di trasmissione per il segnale televisivo via satellite avevano trovato posto alla SGS (poi ST Microelectronics) che fu la prima a sviluppare l'insieme di chip per la decodifica del segnale MPEG2. Come ricordato da Rinaldo Poluzzi e poi osservato<sup>13</sup> "another area in which SGS Thomson became an early player was its development of MPEG decompression chips. [...] SGS Thomson gained an early lead in the MPEG market releasing its first Motion Estimation Processor in 1990. By 1993, the company had debuted its 'multimedia' chip, capable of decompressing digital video files for display on a television set. This chip helped the company take a major position in the new set-top box market, starting with supplying the chip for the Hughes digital satellite television set-top box".

<sup>10</sup> Altre notizie su questo tema si possono per esempio trovare in <http://www.noemalab.org/sections/specials/tetcm/hdtv/storia.html>.

<sup>11</sup> [http://www.dvb.org/about\\_dvb/history/index.xml](http://www.dvb.org/about_dvb/history/index.xml).

<sup>12</sup> <http://www.chiariglione.org/leonardo/awards/index.htm>.

<sup>13</sup> <http://www.fundinguniverse.com/company-histories/STMicroelectronics-NV-Company-History.html>.

In sostanza, si era realizzato, anche se non tutto nella stessa azienda, un circolo virtuoso di formazione, ricerca, sviluppo e marketing che portò ad un grande successo per l'industria nazionale.

## Il sistema Telettra e i mondiali di calcio "Italia 1990"

Un altro grande successo nazionale nel settore della televisione numerica fu ottenuto nel 1990 da RAI, Telettra, Radiotelevisión Española (RTVE) e Politecnico di Madrid, nell'ambito del progetto europeo EUREKA 256 (EU-256). Fu messo a punto un sistema di compressione digitale High Definition TV con compensazione di movimento e trasmissione dei residui con trasformata discreta coseno 8x8, ma ancora non MPEG-2. Il sistema venne dimostrato durante i mondiali di calcio "Italia 1990" diffondendo in 8 sale cinematografiche immagini HDTV 1125/60i/16:9 e 1250/50i/16:9. L'uso di queste tecniche di codifica, come anche l'uso di codici a lunghezza variabile e di un buffer elastico che permetteva di ridurre la qualità delle immagini se il sistema si trovava in sovraccarico, permisero di ridurre il ritmo di trasmissione al secondo dai 1000 Megabit in un primo tempo a 70 Megabit e quasi subito dopo, con qualche mese di differenza, a 35 Megabit. Lo sbocco della ricerca fu la trasmissione tramite satellite, che in quel caso era il satellite sperimentale 'Olympus'.

Il cambio di proprietà della Telettra, di cui si parlerà altrove in questo libro, portò poi ad una grande trasformazione nella vita dell'azienda, con un inevitabile impatto sulla prosecuzione di queste attività, pur così ben iniziate.

## Sviluppi nell'industria delle telecomunicazioni

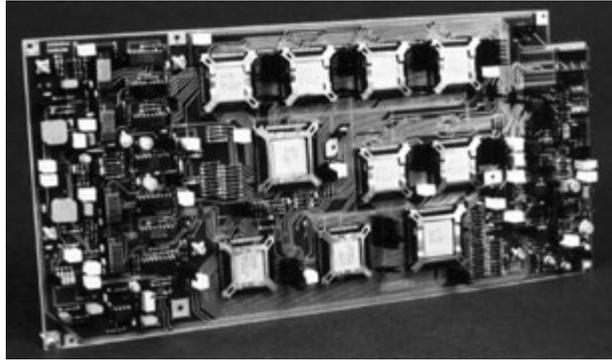
Già dagli anni '70 l'ENS aveva dimostrato la sua utilità per le applicazioni industriali. Anzitutto per la possibilità di realizzare dei filtri adattativi che poi potevano essere utilizzati per equalizzare un canale di trasmissione. Le prime applicazioni in Telettra (come da ricordi dei protagonisti di tali ricerche, gli ingg. Giorgio Parladori e il compianto Silvio Cucchi) furono nel 1974 l'affasciamento di 50 canali Telex, e nel 1983 un sistema ASIC per un cancellatore d'eco a 192Kbit/s di cui furono venduti all'estero centinaia di migliaia di pezzi, mentre in Italia non c'era molto interesse. Per aumentare l'efficienza dell'uso delle linee, nel 1985, seguì poi uno studio e la realizzazione del Vocoder ADPCM a 32Kbit/s (32+32 canali a 2Mbit/s).

La linea video iniziò nel 1988 con un co-decodificatore ADPCM 4:2:2 a 33Mbit/s seguito poi nel 1989 dal già menzionato Codificatore HDTV che si avvaleva di moto compensazione e di codifica dei residui con la trasformata coseno. La vendita all'Alcatel del 1992 fece sì che si spostasse a Milano il centro di tutte le attività aziendali DSP.

La collaborazione con l'Università di Padova aveva portato intanto allo studio nel 1975 di rigeneratori (8 e 34 Mbit/s). Poi venne studiata la segnalazione multifrequenza. Il libro di Gianfranco Cariolaro e lo studio degli spettri dei segnali

numerici, le applicazioni ai transmultiplexers, ed alle Tecniche Spread Spectrum e OFDM ed ai filtri polifase, sono state già ricordate.

Le prime applicazioni in GTE (come da ricordi di altri protagonisti come gli ingg. Baccio Baccetti e Gaudenzio Filiberti) furono dedicate ai ponti Radio ed alla loro equalizzazione (Fig. 4). Seguirono poi



**Figura 4.** Applicazione ENS general purpose: Equalizzatore digitale 1986 (da ing. Filiberti).

lo sviluppo di rigeneratori (8 e 34 Mbit/s), per la segnalazione multifrequenza e infine degli equalizzatori passivi (1975-1978). A partire dai primi anni '80 sono da ricordare tre generazioni di ponti radio digitali (ed in particolare di modem) ad alta capacità (140 Mbit/s, PDH; STM-1, SDH). Essi hanno incorporato le tecnologie via via disponibili e le applicazioni furono a 140 Mbit/s su bande di 40 MHz, in modulazione 16QAM e poi negli anni '90 64 TCM-4D (Trellis Coded Modulation) e 128 TCM-4D. Successivamente, codifiche 16-1024 TCM 4D. Le applicazioni satellitari sono anche da ricordare.

L'ENS era uscita dalla fase di studio e di realizzazione solo nell'ambito del tempo differito della geofisica per passare ad attività in tempo reale come quelle delle telecomunicazioni.

### Attività nelle università e negli enti di ricerca III

Le tecniche di elaborazione di segnali e immagini a partire dagli anni '80-'90, sono state applicate in diversi settori applicativi: biomedicina, ambiente, automazione-robotica, formazione, ecc.

Una particolare linea applicativa sviluppata presso l'Università di Firenze ha riguardato i Beni Culturali, essendo stati definiti specifici accordi fra l'Università di Firenze ed il Polo Museale Fiorentino (con riferimento ai Musei principali, Galleria degli Uffizi, Palazzo Pitti, ecc.).

Nella evoluzione di questa linea, negli anni 1999-2003, sono state numerizzate tutte le opere pittoriche (oltre 1200) della Galleria degli Uffizi (Progetto DADDI), con collaborazione, oltre che dell'Università, della società Toppan giapponese e della società Centrica di Firenze, con risoluzione spaziale globale superiore a 10.000x10.000 pixel e taratura del colore (come sopra accennato). Negli ultimi anni è iniziato il progetto "Archivio Digitale di Eccellenza per il Polo Museale Fiorentino", con la supervisione del Soprintendente Cristina Acidini e la realizzazione tecnologica da parte dell'Università di Firenze (MICC-Centro per la Comunicazione e l'Integrazione dei Media), la Soc. Centrica Srl. e la Soc.

Hitachi Ltd. La risoluzione spaziale è stata spinta, con un sistema robotizzato che acquisisce sequenzialmente molte centinaia di sotto parti (matrici di migliaia per migliaia di pixel), fino ad oltre 1000 pixel/inch (dpi).

Con queste ultime acquisizioni sono in sperimentazione “Musei Virtuali” di elevatissima qualità (con uso di grandi display in particolare *touch screen*). Da molti anni si tiene ogni anno, in Primavera, a Firenze, la manifestazione EVA Florence (ultima Edizione EVA 2009 Florence), dedicata alle Tecnologie dell’Informazione per i Beni Culturali.

Sono anche da ricordare delle significative attività nel settore delle telecomunicazioni numeriche, con numerosi lavori scientifici di Enrico Del Re ed anche P.L. Emiliani e colleghi<sup>14</sup>. Questi lavori ottennero significativi premi (IEE Benefactors 1988/89) e portarono a commesse dell’Agenzia Spaziale Europea e dell’Intelsat.

All’Università di Roma, la partecipazione ad alcuni progetti in cooperazione mise in evidenza la potenzialità di un’impostazione sistematica ad alto livello culturale, soprattutto in riferimento alle teorie della stima e dell’informazione. Emblematica fu ad esempio la caratterizzazione di un elaboratore radar per la stima angolare che consentì la predizione realistica ed esauriente delle sue prestazioni senza bisogno di simulazioni. Nacque poi una collaborazione con i colleghi del Politecnico di Milano sui temi dell’elaborazione dei segnali sismici, in un clima di grande sintonia culturale. La condivisione di un comune stile di ricerca fu feconda di risultati. Quest’incontro conferì impulso all’interesse nell’elaborazione dei segnali dentro La Sapienza, contribuendo ad aprire la strada verso tematiche metodologiche centrali per l’ENS.

Ci si riferisce da una parte allo sviluppo di metodi per il calcolo efficiente di momenti nell’analisi dei processi aleatori, ed in particolare dei processi complessi. Gli sviluppi di quegli anni consentirono di caratterizzarne compiutamente l’accuratezza, mettendo così questi metodi a disposizione dei progettisti di sistema. Dall’altra, ci si riferisce allo studio dei metodi di stima Bayesiana che posero in piena evidenza l’importanza dell’uso della conoscenza a priori, e soprattutto del modo in cui essa è formalizzata. Le derivazioni di questi studi furono poi impiegate con successo negli anni Novanta e seguenti per la soluzione di specifici problemi di elaborazione dei segnali in progetti finalizzati. Negli anni più recenti, le metodologie e le tecniche di elaborazione dei segnali hanno polarizzato l’interesse di moltissimi studiosi provenienti da diverse esperienze di formazione scientifica, dando sostanza ad una vasta area trans-disciplinare di metodologie e tecniche. Anche in INFOCOM (dipartimento dell’Università di Roma, La Sapienza) sono oggi attive più linee di ricerca riguardanti in vario modo l’elaborazione dei segnali, per opera di diversi gruppi di ricercatori. Parallelamente, questa evoluzione ha pure stimolato una riflessione in senso epistemologico sul ruolo dell’elaborazione dei segnali sia nel mondo delle tecnologie che in quello della ricerca scientifica, anche in rapporto ad altre discipline fondamentali e contigue nel settore dell’informazione. Sono nate

<sup>14</sup> Del Re e Emiliani 1982.

allora, sotto il coordinamento di ingegneri, iniziative di collaborazione e di confronto con ricercatori di informatica, matematica, fisica, scienze cognitive, filosofia della scienza. Queste iniziative sono state in gran parte agevolate dalla tradizione universitaria della Sapienza dove coesistono Facoltà di prestigio in diversi campi del sapere. In questa prospettiva così ampliata, il tema portante della ricerca scientifica riguardante specificatamente la disciplina di elaborazione numerica dei segnali è oggi l'uso di nuove basi di rappresentazione.

Sono poi da ricordare all'Università di Genova le attività di Gianni Vernazza, Bruno Serpico, Aldo Grattarola su elaborazione e riconoscimento di immagini, modellistica del sistema visivo umano, ricostruzione 3-D da viste 2-D e poi successivamente negli anni 90 quelle di Silvana Dellepiane, Fabio Lavagetto, Andrea Trucco, Carlo Regazzoni su rappresentazione, animazione e codifica di volti e corpi virtuali tridimensionali (progetto europeo ACTSVIDAS – Video Assisted with Audio Coding and Representation), applicazioni a elaborazione e riconoscimento di immagini biomediche, robotica e visione artificiale, acustica subacquea. Poi, queste attività si estesero nel settore applicativo e proseguì l'integrazione di tecniche “intelligenti” e di aspetti informatici (Elaborazione context-aware di segnali multidimensionali su telefoni cellulari, cognitive radio, videosorveglianza, ecc.).

La scuola di Genova ha anche favorito la nascita e la crescita di attività del settore in altre sedi, come quella di Trento (Francesco De Natale, codifica di immagini e sequenze video, reti ed applicazioni distribuite) e quella di Cagliari (Daniele Giusto, multimedialità, accesso dinamico a risorse radio e QoS in reti di nuova generazione).

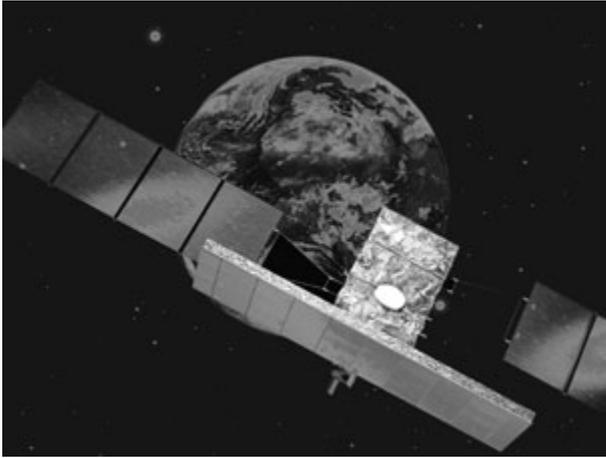
### **Un successo recente: i radar ad apertura sintetica satellitari**

Lo sviluppo e lo scoppio della bolla informatica hanno avuto un forte impatto sulle iscrizioni di studenti alle Facoltà interessate all'ENS. Tuttavia, la forte multidisciplinarietà, intrinseca a tale tematica, ha fatto sì che non si può parlare di una vera e propria crisi esistenziale.

Un'ulteriore storia di successo sia per l'Università che per l'industria nazionale è ad esempio quella dei radar ad apertura sintetica<sup>15</sup> e delle applicazioni di interferometria radar per lo studio di lenti movimenti millimetrici del terreno. Il radar ad apertura sintetica, specie se montato su satelliti, è un sistema molto complesso, che richiede competenze sia di elettromagnetismo puro per lo studio del ricetrasmittitore radar, sia di trattamento numerico dei segnali per la formazione dell'immagine e per la focalizzazione. Sono appunto le stesse competenze del trattamento dei segnali della geofisica, cui si era accennato all'inizio di questo capitolo.

Sino dagli ultimi anni '80 si sviluppò un'amichevole ma intensa cooperazione-competizione tra vari gruppi universitari italiani per lo studio dei radar

<sup>15</sup> Rocca 2009.



**Figura 5.** Uno dei satelliti Cosmo SkyMed.

Picardi<sup>17</sup>, Roberto Seu, Alfonso Farina, Tullio Bucciarelli ottenne successi scientifici memorabili con numerosissimi radar di terra e poi anche con i radar Cassini, MARSIS e SHARAD montati su satelliti orbitanti attorno a Titano e Marte. Anche al Politecnico di Milano, i precedenti studi di trattamento dei segnali per le applicazioni geofisiche ne permisero una facile applicazione ai segnali elettromagnetici, che ne seguivano lo sviluppo con un ritardo di circa 20 anni. In collaborazione sia con l'Agenzia Spaziale Italiana che con quella Europea, i successi di questi gruppi sono stati numerosi ed hanno anche sostenuto un rigoglioso sviluppo industriale che ha portato alla fine del primo decennio del nuovo secolo alla costellazione di satelliti radar ad apertura sintetica Cosmo SkyMed (Fig. 5), con risoluzione spaziale dell'ordine del metro e tempi di rivisita inferiori alle 24 ore. Inoltre sono stati prodotti sistemi per l'Agenzia Spaziale Europea e per Argentina, Canada e Corea del Sud: ancora un primato mondiale.

### *Ringraziamenti*

Dedico questo capitolo alla memoria di Silvio Cucchi (1947-2010) recentemente scomparso, grande ingegnere, artefice di tanti sistemi di trattamento numerico dei segnali.

Ringrazio per la gentile collaborazione, per l'attività universitaria Braccini, Cappellini, Cariolaro, Del Re, Forchheimer, Jacovitti, e per l'attività industriale gli ingg. Baccetti, Chiariglione, Filiberti, Parladori, Poluzzi.

<sup>16</sup> Franceschetti e Lanari 1999.

<sup>17</sup> Picardi et al. 2006.

## Bibliografia

- Braccini Carlo, Gambardella Giuseppe, 1977, "2-D spectral analysis for image coding, processing and recognition: an approach based on some properties of the human visual system", NATO Portovenere, ASI on Aspects of Signal Processing.
- Brofferio Sergio, Grotto Lauro U., Paolillo E., Rocca Fabio, April 1978, "The SIRIO communication experiment: digital transmission of television signal", *Alta Frequenza*, vol. 47, n. 4, pp. 386-392.
- Cappellini Vito, Emiliani Pier Luigi, Costantinides A.G., 1970, *Digital Filters and Their Applications*, London, Academic Press.
- Cappellini Vito, 1975, *Elaborazione Numerica delle Immagini*, Torino, Boringhieri.
- Cariolaro Gianfranco, 1996, *La teoria unificata dei segnali*, Torino, UTET.
- Del Re Enrico, Emiliani Pier Luigi, 1982, "An Analytic Signal Approach for Transmultiplexers: Theory and Design Communications", *IEEE Transactions*, vol. 30, 7, 2, pp. 1623-1628.
- Fazio Ferruccio et al., 1980, *Tomographic Assessment of Cerebral Perfusion Using a Single-Photon Emitter and a Rotating Gamma Camera*, *J. Nucl. Med.*, vol. 21, 1139-1145.
- Franceschetti Giorgio, Lanari Riccardo, 1999, *Synthetic Aperture Radar Processing*, CRC press.
- Jacovitti Giovanni, Scarano Gaetano, 1993, "Discrete time techniques for time delay estimation", *Signal Processing, IEEE Trans.*, vol. 41, n. 2, pp. 525-533.
- Picardi Giovanni et al., 2006, "The Sand Seas of Titan: Cassini RADAR Observations of Longitudinal Dunes", *Science*, vol. 312., n. 5774, pp. 724-727.
- Rocca Fabio, "Television Bandwidth compression utilizing frame-to-frame correlation and movement compensation", *Symp. on Picture Bandwidth Compression*, April 2-4, 1969, Cambridge.
- Rocca Fabio, "18 years of SAR interferometry", *Proc. of the 2009 IGARSS Meeting*, Capetown.



## La trasmissione: dalla coppia telefonica ai ponti radio ed alle fibre ottiche

### Introduzione

Lo studio e la progettazione di sistemi di telecomunicazioni in Italia hanno avuto come motori principali: i militari, lo sviluppo dei sistemi telefonici civili, la radiodiffusione, le industrie manifatturiere nazionali di apparati e sistemi di telecomunicazioni, il gestore della rete telefonica pubblica, la ricerca universitaria e del CNR e degli Enti collegati al Ministero delle Comunicazioni (Fondazione Ugo Bordoni (FUB), Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni).

I militari si sono interessati fin dai primi anni del Novecento ai sistemi di trasmissione radio che hanno permesso loro di riorganizzare in modo più efficiente e dinamico gli ordini in campo di battaglia. I due maggiori centri di ricerca militari sono tuttora collocati a Livorno per i Sistemi di comunicazioni per la marina, ed a Sabaudia per i Sistemi di comunicazioni per l'esercito.

La telefonia ha avuto il suo sviluppo nel secondo dopoguerra, dopo l'invenzione del transistor e il suo uso negli amplificatori di linea e nei multiplex, legati anche al crescente numero di utenti telefonici. L'evoluzione dalle trasmissioni analogiche a quelle digitali ha portato all'integrazione delle tecniche di trasmissione, moltiplicazione e commutazione ed alla loro integrazione con l'informatica e l'uso sempre più diffuso di tecnologie IP.

La radiodiffusione con copertura nazionale non ha presentato problemi di tipo sistemistico finché ha utilizzato la trasmissione in gamma Onde Medie con copertura nazionale. Lo sviluppo della televisione e la richiesta di larghezze di banda sempre maggiori per ciascun canale ha portato all'uso di gamme di frequenza VHF e UHF dove è stato necessario progettare accuratamente la copertura radio nazionale per permettere la fruizione del servizio a tutti i cittadini. Questo ha permesso lo sviluppo di tecniche semplici ed economiche per portare il segnale radio in parecchie località nelle valli alpine ed appenniniche.

Le industrie nazionali di telecomunicazioni si sono sviluppate dopo la Seconda Guerra Mondiale ed hanno raggiunto livelli di eccellenza mondiali fino alla loro vendita a multinazionali estere avvenuta negli anni '90. Con il loro sviluppo hanno incrementato le collaborazioni con le università italiane favorendo una crescita sinergica della ricerca universitaria e di quella industriale.

Nell'università la collaborazione con l'industria ha prodotto l'interesse a confrontarsi con la migliore ricerca mondiale ed ha dato stimoli per permettere a giovani ricercatori di svolgere periodi di studio all'estero, in particolare negli

USA, presso università e centri di ricerca di eccellenza. Le prime università a permettere ai propri ricercatori di svolgere periodi di studi all'estero nell'area delle telecomunicazioni sono state Padova, Politecnico di Torino, Pisa, Firenze. I risultati di queste operazioni sono stati nuovi stimoli per la ricerca e nuovi stimoli per pubblicare i risultati delle proprie ricerche sulle più prestigiose riviste internazionali del settore. Questa formazione è continuata anche dopo il dissolvimento delle industrie nazionali per cui oggi nel settore delle telecomunicazioni si trovano numerosi ricercatori italiani *editor* delle maggiori riviste internazionali delle telecomunicazioni.

Due sono stati i momenti significativi della crescita della ricerca universitaria nelle telecomunicazioni. Il primo, negli anni '80, è stato il progetto finalizzato telecomunicazioni finanziato dal CNR e diretto dal prof. Aldo Roveri, che ha avviato due temi di ricerca innovativi per l'Italia: a) le reti di telecomunicazioni, e b) i sistemi di comunicazione ottica coerente. Il primo tema è stato lo stimolo per avviare numerose iniziative di ricerca e la creazione di numerosi gruppi di ricerca che hanno ottenuto significativi riconoscimenti anche internazionali. Il secondo tema non ha ricevuto il successo sperato a causa di difficoltà tecnologiche nella realizzazione di componenti a basso costo. Solo ora, chi ha continuato l'attività di ricerca, sta ottenendo risultati che probabilmente porteranno a prodotti utilizzabili.

Il secondo momento significativo è stata la costituzione nel 1995, su iniziativa dei ricercatori delle Università di Bologna, Firenze, Genova, Parma, Pisa e del Politecnico di Torino, del Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni (CNIT). Il CNIT è nato con gli obiettivi di:

1. sviluppare azioni coordinate per fornire supporto interdisciplinare a coloro che progettano, realizzano, utilizzano e gestiscono apparati, sistemi e servizi di telecomunicazioni. Particolare attenzione è dedicata alla ricerca scientifica nell'area delle telecomunicazioni e dell'elettromagnetismo e loro applicazioni in accordo con i programmi di ricerca nazionali e internazionali;
2. organizzare attività di formazione professionale e disseminazione scientifica nel campo delle telecomunicazioni e dell'elettromagnetismo;
3. collaborare, anche mediante la concessione di borse di studio e di ricerca, allo sviluppo e all'attività di formazione dei Dottorati di Ricerca e alla preparazione di esperti ricercatori nel settore delle telecomunicazioni;

Esso è riuscito a coagulare gli sforzi di ricerca di numerosi ricercatori italiani in modo sinergico.

Negli anni CNIT ha ampliato le proprie attività coinvolgendo tutte le università italiane in cui opera un gruppo di ricerca nelle telecomunicazioni svolgendo funzioni di coordinamento e stimolo alla ricerca. Ha raggiunto anche un ottimo livello propositivo riguardo temi di ricerca da sviluppare nel futuro ed è riuscito a coagulare gruppi di ricerca interuniversitari di dimensioni significative. E' ora un chiaro punto di riferimento per la ricerca nelle telecomunicazioni sia livello nazionale che internazionale.

Il capitolo illustra i contributi scientifici italiani allo sviluppo della trasmissione forniti principalmente nella seconda metà del 1900. Lo studio dei sistemi di trasmissione su filo (doppino o coassiale in rame e fibre ottiche) oppure in ponte radio, richiede di includere alcuni aspetti di propagazione elettromagnetica che hanno permesso di definire i modelli di canale di trasmissione utilizzati nello studio e progettazione di tali sistemi. Il presente capitolo è organizzato in tre paragrafi intitolati:

- la propagazione elettromagnetica;
- i sistemi di trasmissione;
- tecniche di codifica di canale per la correzione degli errori.

### La propagazione elettromagnetica (a cura di CARLO GIACOMO SOMEDA)

Per chi desideri documentarsi sull'evolversi nel tempo delle conoscenze relative alla propagazione e sui principali contributi italiani all'argomento, un punto di partenza altamente consigliabile, è l'Enciclopedia Italiana di Scienze, Lettere, Arti, a tutti nota come "la Treccani", dal nome del primo Presidente dell'Istituto che ne curò la pubblicazione; un punto di partenza ma per molti versi molto di più, per motivi che diventeranno evidenti man mano che si procederà nell'illustrazione dei contenuti delle voci pertinenti nella suddetta Enciclopedia.

L'argomento *propagazione* risulta inserito – quale seconda parte, dopo poche righe di inquadramento generale e una facciata, concisa ma chiarissima, dedicata alla *radiazione*, e a monte della parte dedicata ai circuiti elementari usati in radiotecnica – nel Volume XXVIII dell'edizione originale (1935), alla voce "Radiocomunicazioni"<sup>1</sup> – la quale fu redatta congiuntamente da Guglielmo Marconi (la cui qualifica, nelle pagine in cui si elencano i collaboratori al volume, figura essere "Presidente della R. Accademia d'Italia") e Orso Mario Corbino ("prof. nella R. Università di Roma"). Mentre nell'Appendice I della Treccani stessa, pubblicata in un unico volume nel 1938<sup>2</sup>, la voce "Radiocomunicazioni" si limita a sole nove righe non firmate, al cui contenuto accenneremo brevemente in seguito, nel secondo dei due volumi che costituiscono l'Appendice II – 1938-1948<sup>3</sup> – detta voce è ripresa con grande ampiezza (sei facciate e mezza, su un totale dell'intera Appendice di poco superiore alle 2000 pagine) ed è firmata da Francesco Vecchiacchi ("prof. nel Politecnico di Milano"), il quale modifica in maniera sostanziale la sequenza schematica degli argomenti trattati, rispetto alla nota di Marconi e Corbino, e per conseguenza distribuisce in più punti del proprio scritto le osservazioni sulla propagazione, come si dirà dettagliatamente tra breve.

Di fronte a nomi tanto celebri, non può esservi alcun dubbio sull'originalità totale dei contenuti; possiamo quindi affermare con certezza che ci

<sup>1</sup> Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti 1935.

<sup>2</sup> Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti 1938.

<sup>3</sup> Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti 1949a.

troviamo di fronte a due fotografie della cultura *italiana* sull'argomento. Ma la statura scientifica degli autori garantisce, nel contempo, che essi descrivono lo stato delle conoscenze a livello *mondiale*; né per altro va sottaciuta la bellezza della prosa chiarissima, elegante, totalmente priva di orpelli e di ricercatezze superflue, tanto di Marconi e Corbino quanto di Vecchiacchi. Trascrivere qui per intero le due note assicurerebbe automaticamente la delizia del lettore, ma comporterebbe il superamento dei limiti di spazio concessi in questo volume a ciascun autore: come tutti sanno, le pagine della Treccani sono di formato "mezzo foglio" e stampate in caratteri piuttosto minuti; bisogna farne una sintesi efficace – impresa non da poco – ma nel contempo incoraggiare il lettore a consultarle personalmente.

Un'osservazione preliminare va rivolta a una parola che, nell'odierno linguaggio scientifico, viene sempre usata di pari passo con *propagazione*: il termine *antenna*. Nella Treccani 1935 le antenne non compaiono come voce a sé stante (o meglio, vi compaiono per otto righe e mezza, dedicate alle appendici anteriori della testa dei cosiddetti artropodi antennati!) Ma nella nota di Marconi e Corbino due facciate abbondanti trattano diffusamente delle sorgenti di onde elettromagnetiche; viceversa, nell'Appendice II (1938-48) la voce "Antenna" occupa oltre cinque pagine, redatte da Giorgio Barzilai e Bruno Peroni (la cui affiliazione viene molto succintamente indicata, in coda al volume, come "Roma")<sup>4</sup>. È un cambio di impostazione molto significativo: nel 1935, pur descrivendo esplicitamente quanto era stato fatto da Marconi stesso fin dal 1895 in termini di progressi apportati all'oscillatore di Hertz per renderlo più idoneo a irradiare potenze non trascurabili, Marconi e Corbino si comportano come se ritenessero l'argomento delle antenne ben compreso e assestato: la frontiera del momento, sia conoscitiva, sia applicativa, è, secondo loro, la propagazione ionosferica, sulla quale ci focalizzeremo tra poco. Il passaggio a frequenze più elevate, a cavallo del secondo conflitto mondiale, altera profondamente lo scenario tecnico e scientifico: l'interesse per la propagazione si affievolisce (o si rivolge ad applicazioni diverse dalle TLC in senso stretto, quali le scienze della Terra) mentre invece le antenne diventano protagoniste. Anche la lettura del brano di Barzilai e Peroni è altamente consigliata al lettore; ma si tratta di un argomento ampiamente e autorevolmente trattato in questo stesso volume e pertanto qui non si andrà oltre questo brevissimo cenno.

Per completezza e a scanso di malintesi, va aggiunto che l'edizione originale della Treccani contiene, oltre a quelle fin qui segnalate, un'altra sorgente preziosa di informazioni sulla cultura scientifica italiana degli anni '30 in materia di sorgenti di segnali radio: nel Volume XXV, alla voce "Onde", capoverso "Onde elettromagnetiche", Giovanni Giorgi tratta da par suo (la lucidità del suo pensiero e la chiarezza espositiva dei suoi scritti sono leggendarie e sfidano il trascorrere dei decenni) il funzionamento del dipolo elettrico, in particolar modo sottolineando (come per altro fanno pure Marconi e Corbino) le differenze tra campo di induzione e campo di radiazione in termini di proprietà energetiche. A chi

<sup>4</sup> Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti 1949b.

scrive sembra di percepire in queste pagine un'eco non sopita delle polemiche innescate da un ben noto errore senile di Nikola Tesla.

Come accennato poc'anzi, nella nota del 1935 la dominatrice incontrastata delle pagine dedicate alla propagazione è la ionosfera; uno straordinario punto di intersezione tra gli interessi scientifici di Corbino e quelli applicativi di Marconi. "Postulata", come ben noto, da Oliver Heaviside subito dopo gli esperimenti marconiani di trasmissione transatlantica del 1901 per giustificare risultati altrimenti inspiegabili e in forte contrasto con quanto allora noto sulla propagazione delle onde hertziane, la ionosfera era, oltre trent'anni dopo, un tema ancora largamente inesplorato: il fisico Corbino desiderava capirne di più, saperne di più; era per lui una frontiera tra le più stimolanti. La descrizione del comportamento macroscopico di un mezzo costituito da una moltitudine di oggetti, per ciascuno dei quali è facile scrivere l'equazione del moto, ma in cui è necessario e arduo passare poi a una trattazione collettiva, faceva irrompere nell'elettromagnetismo Maxwelliano, basato su assiomi rigorosamente deterministici, concetti probabilistici che fino ad allora erano stati sostanzialmente confinati a un altro capitolo della fisica classica, la termodinamica; essi portavano con sé corollari assai pesanti, quali aleatorietà e irreversibilità. Anche dimenticando gli aspetti aleatori e rimanendo nell'ambito deterministico, il moto di precessione delle particelle cariche attorno al campo magnetico terrestre spalancava la porta alla non reciprocità, fenomeno fino ad allora sconosciuto e assai sorprendente, per cui la trasmissione lungo uno stesso percorso ma nei due versi opposti non avveniva con le stesse caratteristiche. C'erano dunque tutti gli ingredienti per attirare l'attenzione di un grande caposcuola della fisica italiana. Ma non certo minore era l'interesse per la ionosfera da parte di chi si sentiva impegnato a perfezionare una tecnologia il cui scopo era offrire, per dirla con il linguaggio di oggi, un servizio affidabile e di alta qualità; e questa era stata, fin dall'inizio della carriera, la scelta – consapevole e rischiosa – di Marconi; rischiosa in quanto faceva arricciare il naso alla componente parruccona del mondo accademico italiano, la quale, pur senza dirlo apertamente, continuò a considerare Marconi nulla più che un praticone fortunato, antepoendo i propri preconcetti all'evidenza dei fatti, fra i quali cade particolarmente a proposito, in questo contesto, una lunga e minuziosa campagna di prove di radiocollegamenti con il piroscalo *Philadelphia* in rotta verso New York, i cui risultati vennero annotati con esemplare accuratezza e immediatamente resi di pubblico dominio.

Alla penna di Corbino sono certamente dovuti i paragrafi intitolati "Ionizzazione dell'atmosfera" e "Comportamento di un elettrone libero nel campo elettromagnetico", i cui contenuti, magistralmente chiari, sono tuttora attuali sotto il profilo teorico. Ciò che invece ci sorprende oggi è l'esplicita affermazione della mancanza, all'epoca, di qualsiasi misura diretta della densità elettronica in funzione dell'altezza da terra: nessuna sonda poteva, a quei tempi, sollevarsi dal suolo per decine di chilometri. Ciò che il lettore nota in questi brani è l'estrema prudenza con cui vengono formulate ed espone le congetture teoriche (che, come noto, alla prova dei fatti si sono poi dimostrate corrette). Certamente questo atteggiamento conseguiva dalla penuria di dati sperimentali di cui si è appena detto, ma forse non è arbitrario cogliervi anche un sintomo della *formamentis* dei fisici di quel tempo. A ben pensarci, nei due decenni immediatamen-

te precedenti era nata la meccanica quantistica: nelle intenzioni dei pionieri, una teoria “provvisoria”, “di tentativo”, in fortissimo contrasto, sotto il profilo epistemologico, con l’approccio positivista che tutti i fisici teorici avevano coltivato nel tardo Ottocento. Nessuno poteva prevedere quanto salde e durature si sarebbero poi rivelate quelle teorie sedicenti provvisorie!

Chi legge oggi quei brani non si meraviglia di fronte al fatto che l’esplorazione della ionosfera sia divenuta nei decenni immediatamente successivi, e rimasta per tutto il resto del secolo, un argomento di vivacissimo interesse scientifico. Per restare nell’ambito italiano e nel tema generale del presente volume, basterà ricordare che al Centro Radioelettrico Sperimentale Guglielmo Marconi di Torre Chiaruccia i radiosondaggi ionosferici furono il tema di ricerca dominante almeno fino agli anni ’70. Ma, come vedremo in dettaglio tra breve, quando esamineremo lo scritto di Vecchiacchi, nell’ambito delle telecomunicazioni la tendenza inarrestabile verso frequenze più elevate comportò un calo dell’attenzione verso la propagazione ionosferica. Ne conseguì che il baricentro scientifico dell’argomento emigrò lentamente, nella seconda metà del Novecento, verso altre aree disciplinari, quali le già citate scienze della Terra e la fisica dei plasmi, la quale è strettamente intrecciata, come noto a tutti, con le ricerche sulla fusione nucleare controllata. Vi è comunque un dettaglio curioso: alcune teorie inizialmente sviluppate per studiare fenomeni di propagazione libera, nella ionosfera o in generale in mezzi ad essa somiglianti, poi trascurate per decenni dagli studiosi di onde elettromagnetiche, rientrarono inaspettatamente e prepotentemente nel giro delle telecomunicazioni con l’avvento dell’ottica. Si pensi, a tale proposito, alla breve ma fulgida stagione della modellistica delle fibre a gradiente d’indice, il cui balzo iniziale<sup>5</sup> si basò sul cosiddetto metodo Wentzel-Kramers-Brillouin-Jeffreys (WKBJ), che era stato ideato per lo studio della propagazione in un mezzo lentamente variabile; oppure alle ben più lunghe, e tuttora in divenire, fortune della trasmissione ottica non lineare, le quali hanno attinto a piene mani dalla fisica dei plasmi, a iniziare dalla terminologia stessa: chi mai, nel mondo delle telecomunicazioni, aveva sentito nominare i solitoni, prima della storica proposta di un ex-fisico dei plasmi, Akira Hasegawa<sup>6</sup>?

Ma torniamo alla voce “Radiocomunicazioni” della Treccani 1935, per parlare del paragrafo intitolato “Comportamento delle radio-onde a distanza”, di inconfondibile impronta marconiana, teso soprattutto a illustrare – si è accennato prima – come fosse possibile, dopo campagne intensive di misure e acute meditazioni sui risultati, fornire un servizio efficiente e affidabile. L’incipit del brano merita di essere trascritto alla lettera (corsivi compresi):

“Abbiamo visto che per le radio-onde che raggiungono l’alta atmosfera non si può parlare di propagazione rettilinea poiché lo strato ionizzato ivi esistente le rifrange incurvandone la direttrice di propagazione. Anche la porzione di energia irradiata a bassissimi angoli zenitali non segue il cammino rettilineo perché il suo campo alimenta sul suolo delle correnti parassite che incurvano progressivamente

<sup>5</sup> Gloge e Marcatili 1973.

<sup>6</sup> Hasegawa e Tappert 1973.

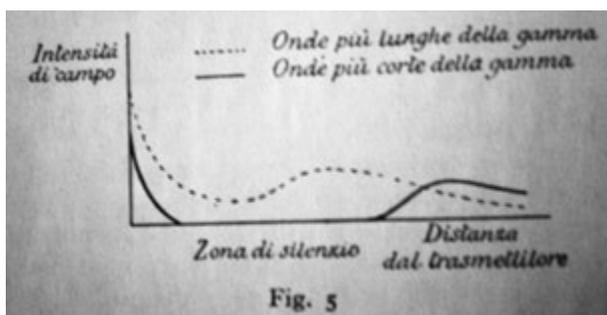
le direttrici formando un'onda che segue la curvatura terrestre e contorna gli ostacoli. La *diffrazione*, fenomeno proprio di tutte le radiazioni, concorre allo stesso risultato in misura tanto più notevole quanto più lunghe sono le onde.

Si può quindi ritenere che il campo a distanza sarà dovuto all'energia proveniente per via diretta *dall'onda di superficie* guidata dalla terra e a quella proveniente per via indiretta *dall'onda spaziale* guidata dallo strato ionizzato; l'importanza delle due vie di propagazione varia con la frequenza e per facilitare l'esame divideremo *convenzionalmente* lo spettro utilizzato nelle radiocomunicazioni in cinque gamme:

Onde lunghe	oltre 3000 m
Onde medie	150-3000 m
Onde corte	10-150 m
Onde ultracorte	1-10 m
Microonde	al di sotto di 1 m

Particolarmente significativo è l'uso, nel 1935, del termine *micro-onde*; significativo non solo perché la gente comune, che ne è venuta a conoscenza solo a seguito del diffondersi delle applicazioni domestiche, ritiene che si tratti di un neologismo molto recente, ma anche perché nella letteratura tecnico-scientifica italiana ci volle ancora molto tempo prima che il termine venisse accettato universalmente. Basti dire che l'insegnamento che frequentai all'Università di Padova nell'anno accademico 1963-64 si intitolava "Tecnica delle iperfrequenze", riecheggiando la terminologia in uso nei Paesi francofoni. Che l'adozione di "micro-onde" nella Treccani sia figlia del bilinguismo natio di Guglielmo Marconi è un'ipotesi che non va scartata, dal momento che, mezza pagina più avanti, ove si parla dell'evanescenza, compare, sia pure tra parentesi, la parola *fading*; eppure siamo nel 1935, in un Paese fortemente nazionalista e prossimo all'autarchia, e l'estensore del testo è niente meno che il Presidente dell'Accademia d'Italia. C'è da chiedersi se a un autore meno titolato sarebbe stata concessa una simile licenza.

Alla tabella con cui si è chiusa la precedente citazione fa seguito una dettagliata descrizione del comportamento delle prime tre bande al variare della distanza, della frequenza, dell'ora diurna o notturna, della stagione; il diagramma qui riportato come Figura 1 (la Fig. 5 dell'originale) è una sintesi efficace, ancorché qualitativa, di quanto esposto in quella parte della nota. Dopo poche



**Figura 1.** Descrizione del comportamento dell'intensità del campo elettromagnetico ricevuto in funzione della distanza dal trasmettitore parametrato con la gamma di frequenze utilizzata (da *Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti*, 1935, voce "Radiocomunicazioni", a cura di O.M. Corino e G. Marconi, vol. XXVIII, pp. 703-724).

righe dedicate alle onde ultracorte, in cui non si riscontrano spunti particolari, si passa al brano intitolato “Micro-onde”, che di nuovo merita di essere trascritto testualmente, almeno in parte:

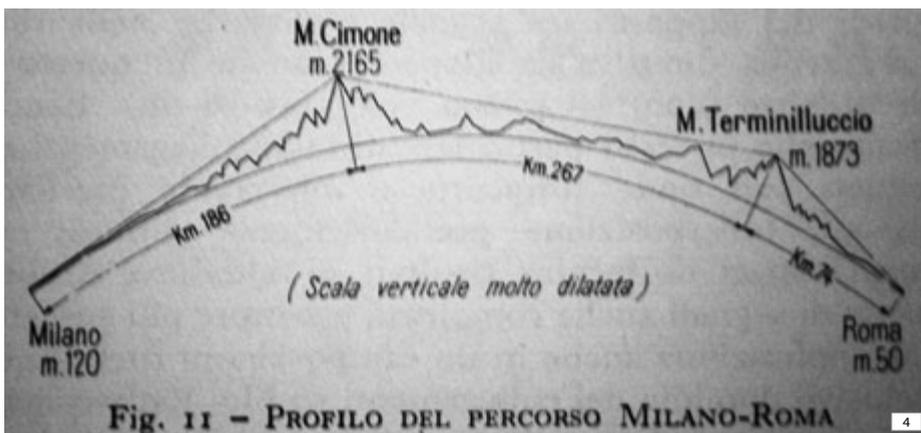
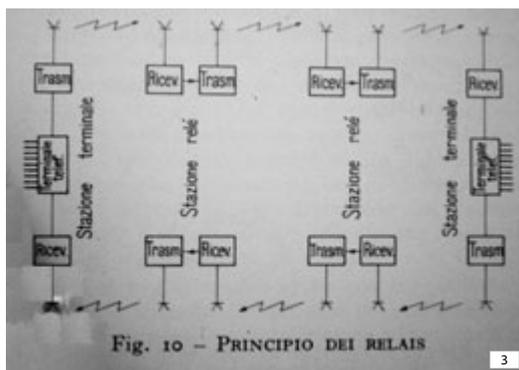
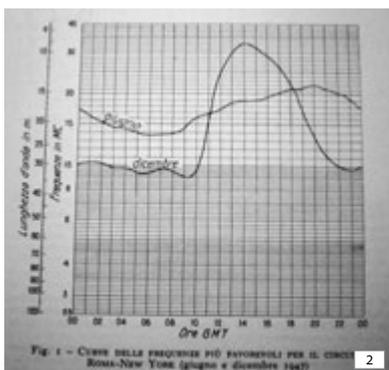
La gamma delle onde di lunghezza non superiore a un metro era comunemente nota col nome di *onde quasi ottiche* perché si riteneva che la visuale ottica tra le stazioni corrispondenti fosse indispensabile alla comunicazione. Il Marconi (sic!) sperimentò la propagazione delle micro-onde negli anni 1932-1933 e dimostrò chiaramente che quel concetto era inesatto. Egli ottenne una portata più che doppia di quella ottica e poté constatare che ostacoli come colline, masse di alberi e fabbricati non impediscono la propagazione delle micro-onde. Anche in queste onde è sensibile un effetto stagionale, perché le portate extra ottiche sono molto stabili nell'estate mentre si presentano come saltuarie e non utilizzabili commercialmente nella stagione invernale.

Questa conoscenza dell’“effetto condotto”, già nel 1935, è veramente rimarchevole; ma prima di fare commenti, leggiamo anche il brano seguente:

La spiegazione teorica dei risultati ottenuti dal Marconi, e poi confermati da altri sperimentatori, appare attualmente molto difficile e incompleta. [...] Oggi il più importante esempio di uso commerciale delle micro-onde è costituito dal collegamento tra la Città del Vaticano e la villa pontificia di Castel Gandolfo; l'impianto, realizzato dal Marconi, è radiotelefonico.

È tempo di passare alla voce compilata da Vecchiacchi nel 1949, ma *en chemin* diamo una veloce occhiata alla già citata Appendice I del 1938. La voce “Radiocomunicazioni” si limita a segnalare che nel 1929 la R. Marina italiana ha eseguito nell'arsenale di La Spezia, sotto la direzione dell'allora capitano di corvetta Vittorio De Pace, un'esperienza di laboratorio che conferma l'influenza del campo magnetico terrestre sulla propagazione delle onde hertziane nell'alta atmosfera; il Consiglio superiore di marina, con deliberazione del 20 novembre 1937, ha riconosciuto al De Pace la priorità di tali ricerche. Non ci è dato sapere chi gliela contendesse.

La nota di Vecchiacchi, come detto all'inizio, è invece assai corposa: sei facciate e mezza, a cui seguono immediatamente cinque facciate dedicate alla voce “Radiodiffusione”; inoltre va tenuto conto che le comunicazioni con navi e aeromobili vengono trattate a parte, nell'Appendice II, sotto la voce “Navigazione”. I progressi, in un decennio abbondante, erano stati enormi; l'accento si era spostato su temi nuovi, tra i quali l'autore sottolinea e predilige le modulazioni e il multiplexing. La differenza di impostazione è subito manifesta se si nota che ben sette tra le dodici figure che corredano il testo contengono schemi a blocchi, sostanzialmente assenti nei contributi precedenti: è evidente che la complessità dei sistemi radio ha raggiunto, nel 1949, livelli tali per cui non ha più senso una descrizione che sia contemporaneamente completa e ricca di dettagli. È del tutto comprensibile e fisiologico che in questa luce la propagazione perda il primato dell'interesse di cui godeva negli anni '30, e scivoli in secondo piano. Ciò non di meno, un primo contributo significativo consiste in quella che, nel testo di Vecchiacchi, è la Figura 1 (qui, Fig. 2), ivi introdotta a titolo di esempio



**Figura 2.** Curve delle frequenze più favorevoli per il circuito Roma-New York – giugno e dicembre 1947 (da *Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti*, 1949, voce “Radiocomunicazioni” a cura di F. Vecchiacchi, Appendice II, vol. II, pp. 650-656).

**Figura 3.** Principio dei Relais (da *Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti*, 1949, voce “Radiocollegamenti a fascio”, a cura di F. Vecchiacchi, Appendice II, vol. II).

**Figura 4.** Profilo del percorso Milano-Roma (da *Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti*, 1949, voce “Radiocomunicazioni” a cura di F. Vecchiacchi, Appendice II, vol. II, pp. 650-656).

di dati che il Central Radio Propagation Laboratory del National Bureau of Standards USA mette a disposizione di coloro che gestiscono canali di radiocomunicazione su lunghe distanze per aiutarli nella scelta delle frequenze più favorevoli: la radio è ora a pieno titolo un bene condiviso a livello mondiale. Molto interessante è, più avanti, il paragrafo intitolato “Radiocollegamenti a fascio”, all’interno del quale troviamo i principi basilari dei ponti radio: la Figura 10 della Treccani (qui, Fig. 3), intitolata “Principio del relai”, si commenta da sé. Altrettanto interessante è la Figura 11 (qui, Fig. 4), che mostra il profilo altimetrico del radiocollegamento Milano-Roma, “tra i più lunghi esistenti, attuato sin dal 1939 sotto la direzione di F. Vecchiacchi da una grande industria radioelettrica italiana, nel quale il percorso di 500 km circa è coperto mediante due sole stazioni relais, situate, l’una a monte Cimone dell’Appennino tosc-emiliano e l’altra a monte Terminilluccio del gruppo Terminillo”. L’autore si premura di mettere in evidenza come tutte le antenne di questo collegamento siano in visibilità ottica: andare oltre l’orizzonte geometrico, come propugnato

da Marconi nella nota del 1935 citata prima, si è rivelato troppo inaffidabile per un servizio commerciale. E infatti, a conferma di questo mutato punto di vista, Vecchiacchi scrive:

Benché in generale assai più regolare della propagazione ionosferica delle onde corte, la propagazione atmosferica delle onde ultracorte e micro-onde, è tuttavia essa pure soggetta a fluttuazioni anche importanti, dovute a variazioni nell'indice di rifrazione atmosferica, all'effetto di superfici di discontinuità della costante dielettrica della ionosfera stessa, suscettibili di dar luogo a riflessioni delle onde stesse od altro.

Si noti come al tono cauto di Corbino, che formulava ipotesi di lavoro, siano ormai subentrate mature certezze.

Pure la III Appendice, 1949-1960, della Treccani<sup>7</sup>, contiene, alle pagine 558-564 del Volume III, un contributo, ampio e assai interessante, intitolato "Radiocomunicazioni"; ne è autore Ascanio Niuutta (libero docente nell'Università di Roma). Le notizie biografiche su di lui rintracciabili oggi tramite Internet sono scarse; le più significative, a parere di chi scrive, riguardano contributi alla ideazione e realizzazione di un trasmettitore portatile a onde corte che consentì il salvataggio di alcuni fra i naufraghi della spedizione Nobile al Polo Nord (la famosa "tenda rossa"), e poi la realizzazione, insieme a Giorgio Barzilai, presso la base dell'Aeronautica di Pratica di Mare, nel 1943, di un radiolocalizzatore finalizzato all'intercettazione degli aerei incursori. Pur se la sua notorietà scientifica è oggi circoscritta a questi termini, il testo dell'enciclopedia mostra che a Niuutta non fanno difetto, oltre a una notevole chiarezza espositiva, conoscenze ampie e aggiornate, in particolare sulle questioni, fondamentali in quell'arco di tempo, della ripartizione delle frequenze fra i vari servizi. Ma soprattutto egli mostra un'acuta sensibilità al fatto che sulla scena mondiale delle telecomunicazioni stanno irrompendo i collegamenti via satellite: i progetti in corso di realizzazione e quelli programmati per l'immediato futuro vengono elencati e descritti nelle loro caratteristiche principali e, nella scelta di una fotografia da pubblicare a titolo di esemplificazione di quanto scritto nella propria nota (Fig. 5), Niuutta sembra divinare il futuro straordinario che attende una tra le antenne ivi raffigurate, la ricevente: sarà proprio puntando quella antenna, che era stata progettata e caratterizzata dall'ingegnere Edward A. Ohm (potremmo dire: "cognomen omen") dei Bell Telephone Laboratories, verso lo spazio profondo interstellare, che, nel 1964-65, Arno Penzias e Robert Wilson scopriranno la "radiazione fossile", fornendo con ciò (del tutto involontariamente, e pertanto con la massima affidabilità scientifica) il primo dato sperimentale a supporto della teoria del big bang, spianando così la strada alla moderna cosmologia, come attestato dall'assegnazione nel 1978 del Premio Nobel per la Fisica.

Nei collegamenti via satellite la propagazione, in generale, non è un problema, e giustamente la nota di Niuutta non ne parla. Ma l'era spaziale porta in dono

<sup>7</sup> Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti 1960a.

agli studiosi di elettromagnetismo un problema nuovo, alquanto complicato, per loro delizia: l'interruzione dei collegamenti con i veicoli spaziali al rientro sulla terra. Il mistero del black out viene svelato in tempi abbastanza rapidi, osservando che ci si trova in presenza di un gas altamente ionizzato (dal calore generato dall'attrito della sonda spaziale con l'atmosfera), in un campo magnetico stazionario (il campo terrestre); ma, a



**Figura 5.** Vista generale della stazione di Holmdel (N.J.) del progetto Echo: a sinistra l'antenna trasmittente con riflettore paraboloidico; a destra, quella ricevente con riflettore a tromba; entrambe in montaggio altazimutale (da *Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti*, 1960, voce "Radiocomunicazioni" a cura di A. Niuatta, Appendice III, vol. II, pp. 558-564).

differenza della ionosfera, questo mezzo si muove e il suo moto non è affatto rettilineo e uniforme, nemmeno in prima approssimazione. La trasformazione delle equazioni di Maxwell in un riferimento non inerziale porta i teorici ad "inventare" una nuova classe di mezzi materiali, che vengono chiamati *bi-anisotropi*, nei quali due tra i quattro vettori elettromagnetici fondamentali (lo spostamento elettrico e l'induzione magnetica) dipendono tanto dal campo elettrico quanto dal campo magnetico. Seguono anni di sfide intellettuali divertenti, in cui si sfornano molte pubblicazioni brillanti; gli italiani si fanno ben valere nell'agone internazionale, fino ai nostri giorni, ma l'impatto di questa tematica sul mondo delle TLC rimane, almeno fino ad ora, piuttosto limitato.

Va detto anche che nell'Appendice III della Treccani<sup>8</sup> compare, per la prima volta come voce a sé stante, l'argomento *Radiopropagazione*. Curata da Ivo Ranzi ("prof. nella Scuola Superiore di Telegrafia e Telefonia", la voce è estremamente chiara, ma il contenuto differisce assai poco da quello dei primi paragrafi di un odierno libro di testo e quindi offre assai pochi spunti per commenti in chiave storica.

Per chi ha vissuto personalmente quegli anni, ripensare agli albori delle telecomunicazioni spaziali non può non richiamare immediatamente alla memoria un progetto, e il Maestro che lo ideò e diresse: Francesco Carassa e il SIRIO (Satellite Italiano per Ricerca Orientata). Anche in altre parti di questo volume si parla del SIRIO, con cognizione di causa maggiore di quella del sottoscritto, e in contesti più congrui con le finalità di quel progetto; ma ciò non mi esime dal ricordare che una tra le tematiche affrontate in quella sede fu lo studio sperimentale della propagazione in atmosfera a frequenze superiori ai 10 GHz; un argomento che, contemporaneamente ma con modalità affatto diverse, fu affrontato anche presso

<sup>8</sup> Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti 1960b.

la Fondazione Ugo Bordoni. Anche dal dialogo fitto e costruttivo tra il gruppo milanese e quello romano risultò un momento di assoluto prestigio italiano a livello internazionale, che merita una disamina non troppo breve.

A metà degli anni '60 era chiaro che la progressiva saturazione delle bande di frequenza allora disponibili, al di sotto di circa 10 GHz, avrebbe potuto rallentare la crescita dei servizi tradizionali e la diffusione di servizi nuovi. La disponibilità di dispositivi elettronici a frequenze superiori a 10 GHz, aventi prestazioni, affidabilità e costi adeguati per impieghi commerciali, era ormai un dato di fatto, perfettamente allineato, come tempistica, con la tendenza verso frequenze sempre più alte che ha caratterizzato, non certo per caso, l'intera storia delle radiocomunicazioni. Ma la proposta di una sperimentazione in campo cozzava con le incognite legate alla propagazione, la quale ridiventava quindi il problema numero uno. Alle lunghezze d'onda centimetriche e millimetriche, infatti, le onde possono essere fortemente influenzate dalle precipitazioni atmosferiche; le notevoli attenuazioni che le idrometeore possono provocare derivano da due fenomeni distinti, diffusione e assorbimento. L'esperienza mostra che l'attenuazione è particolarmente rilevante nel caso di acqua allo stato liquido, in cui prevale il fenomeno di assorbimento<sup>9</sup>.

Sul finire degli anni '60 l'argomento iniziò a impegnare i maggiori centri di ricerca in campo mondiale. Per dimensionare i radiocollegamenti occorreva disporre della funzione di distribuzione statistica dell'attenuazione dovuta a pioggia<sup>10</sup>, la quale dipende dalle caratteristiche delle precipitazioni piovose della località prescelta, dalla frequenza e dalla polarizzazione impiegate, e dalla lunghezza del collegamento. Ottenere statistiche sufficienti tramite prove su collegamenti sperimentali risultava oltremodo oneroso: le misure avrebbero dovuto venire effettuate a tutte le frequenze di interesse, per diverse polarizzazioni, per vari valori di lunghezza del collegamento, in tutte le località di interesse, per lunghi periodi di tempo. La Fondazione Bordoni, cogliendo per tempo l'importanza dell'argomento, propose all'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni un programma di ricerca che, accanto a studi teorici, prevedeva la realizzazione di un impianto sperimentale di notevole complessità, per misure meteorologiche e radioelettriche simultanee, nella piana del Fucino<sup>11</sup>. L'obiettivo era di riuscire a prevedere le statistiche di attenuazione dovuta a pioggia, a partire da dati di intensità di precipitazione piovosa ricavabili, con relativa facilità, nelle varie zone di interesse. La Fig. 6 mostra uno dei tralicci sostenenti sia le antenne, sia la strumentazione pluviometrica.

Dopo anni caratterizzati da accese discussioni nell'ambito della comunità scientifica, il gruppo della Fondazione Bordoni aveva dimostrato che era effettivamente possibile calcolare l'attenuazione subita dalle onde elettromagnetiche a partire dall'intensità di precipitazione piovosa, purché si tenesse conto della

<sup>9</sup> Fedi 1973.

<sup>10</sup> Fedi e Peroni 1974.

<sup>11</sup> Fedi 1972.

reale forma non sferica delle gocce di pioggia<sup>12</sup>. Per avere validità statistica probante, occorre però estendere alle varie zone climatiche del pianeta le metodologie di calcolo sviluppate in Italia. La proposta italiana di varare un programma di ricerche europeo in ambito COST (European Cooperation in Science and Technology) orientato ai collegamenti terrestri incontrò grande favore: al progetto, denominato Azione COST 25/4, che fu varato nel 1971 e che fu coordinato dall'Italia, parteciparono 13 Paesi, che misero insieme un complesso di apparati sperimentali e una base di dati estremamente ragguardevole, da cui scaturì un solido primato scientifico europeo nel campo della propagazione delle onde radio. La caratterizzazione del continente europeo dimostrò che le zone maggiormente affette da elevate attenuazioni per pioggia non coincidevano con quelle in cui si riscontravano i più elevati valori di altezza annuale di precipitazioni, come la Gran Bretagna, ma quelle nelle quali i valori, pur essendo minori, si concentravano in pochi ma intensi temporali, come le coste occidentali dell'Italia e della Grecia<sup>13</sup>. La metodologia di calcolo dell'attenuazione dovuta a pioggia sviluppata in Italia risultò la più affidabile; il suo uso venne raccomandato dall'UIT e adottato in tutto il mondo per il dimensionamento dei radiocollegamenti terrestri a frequenze superiori a 10 GHz. Questa serie di risultati e quella di cui si parlerà tra pochissimo valsero a Francesco Fedi importanti riconoscimenti nazionali (nel 1980, il premio Ottavio Bonazzi dall'Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana) e internazionali (tra cui, nel 1989 il "Diplome d'Honneur" dell'UIT).

Al termine del progetto COST 25/4, si pensò di estendere le ricerche sulla propagazione a frequenze superiori a 10 GHz anche ai collegamenti terra-satellite. Erano allora operativi in Europa due satelliti sperimentali: l'OTS lanciato dall'Agenzia Spaziale Europea, e il già menzionato SIRIO, lanciato dal nostro Consiglio Nazionale delle Ricerche. I partner chiesero all'Italia di svolgere il lavoro preparatorio per il varo di un nuovo progetto, l'Azione COST 205; 14 paesi europei e l'Agenzia Spaziale Europea proposero che la presidenza del progetto venisse affidata all'Italia "per avere messo a disposizione i dati del satellite Sirio e



**Figura 6.** Traliccio dell'impianto sperimentale per la misura dell'attenuazione da pioggia realizzato nella piana del Fucino dalla Fondazione Ugo Bordononi alla fine degli anni '60. Si nota, oltre all'antenna la strumentazione pluviometrica.

<sup>12</sup> Fedi et al. 1974.

<sup>13</sup> Fedi 1979.

per aver assicurato la presidenza del passato progetto in modo così efficace”. Al termine del progetto COST 205, ancora una volta, l’Europa si presentò in sede internazionale con risultati ottenuti da un apparato sperimentale che non aveva eguali in altre parti del mondo, e ancora una volta le metodologie di previsione dell’attenuazione, estese ai collegamenti terra-satellite<sup>14</sup>, presentate dall’Italia all’UIT vennero adottate in tutto il mondo. Se oggi si riesce a ricevere con una piccola antenna parabolica e con un ricevitore commerciale i programmi televisivi direttamente dal satellite geostazionario, questo è anche merito di questi risultati. Le ricerche sono poi proseguite in Italia ed in Europa con gli esperimenti eseguiti con il satellite Europeo OLYMPUS e con quello italiano ITALSAT<sup>15</sup>.

Accanto ai fenomeni di attenuazione le precipitazioni piovose possono provocare anche fenomeni di depolarizzazione. Anche in questo caso gli studi effettuati in Italia ebbero vasta eco internazionale<sup>16</sup> e furono sottolineati nel 1982 dall’assegnazione del premio Marconi Italiana dell’Istituto Internazionale delle Comunicazioni di Genova.

Nel contempo, l’attenzione e l’interesse di molti studiosi dell’elettromagnetismo applicato alle telecomunicazioni si era spostato sul versante della propagazione guidata. Ciò era già accaduto in precedenza, ai tempi dell’impetuoso sviluppo del radar. Non per caso alla fine degli anni ’40, quando venne allentato il segreto militare su giunzioni e dispositivi in guida rettangolare, si ebbe una rigogliosissima fioritura di libri, tutti figli dell’imponente investimento del periodo bellico, soprattutto negli USA; essi rimasero per sempre i testi di riferimento per antonomasia. Era poi seguito un periodo in cui sembrava che sulle guide d’onda si sapesse già tutto; a rivitalizzare la ricerca in questo campo fu la dimostrazione matematica, presto confortata da incoraggianti risultati sperimentali, dell’esistenza, nelle guide d’onda a sezione circolare, di una famiglia di modi di trasmissione la cui attenuazione è in teoria una funzione decrescente della frequenza e all’atto pratico può essere mantenuta, su bande di decine di GHz, al di sotto di valori assai interessanti per effettuare trasmissioni a grande distanza. Ma il capostipite di questa famiglia (e a maggior ragione gli altri) non è il modo fondamentale della guida, il che rivoluziona completamente gli aspetti propagativi rispetto alle situazioni canoniche trattate nei libri ora menzionati. Ricerche di ampio respiro sulle guide per onde millimetriche furono avviate negli anni ’50 soprattutto negli USA (Bell Telephone Laboratories), nel Regno Unito (British Post Office) e in Francia (Cables de Lyon). Da noi, esse iniziarono in lieve ritardo, nella seconda metà degli anni ’60; ma in cambio il programma italiano<sup>17</sup> fu caratterizzato da una completezza di temi, da una pluralità di partecipanti e da un livello di coordinamento tra i partner, anche molto eterogenei tra loro, assai rare, e non solo nel nostro Paese. Ideatore ed animatore principale di questo programma fu Gian Carlo Corazza; molto significativo fu, sia in termini

<sup>14</sup> Fedi 1979.

<sup>15</sup> Fedi 1981.

<sup>16</sup> Capsoni et al. 1981

<sup>17</sup> Corazza e Corzani 1968.

di ricerca, sia quale attività di coordinamento e gestione, il ruolo svolto dal compianto collega e amico Francesco Valdoni. Fra i principali partecipanti vanno annoverate le Università di Bologna e di Trieste, le Fondazioni Ugo Bordoni e Guglielmo Marconi, l'Istituto Superiore PT, lo CSELT, nato proprio in quegli anni, e le principali aziende manifatturiere italiane del comparto, nessuna esclusa. Una menzione particolare merita il fatto che, con la costituzione del Centro Onde Millimetriche, si ritornò a fare ricerca sulle TLC, a oltre 60 anni di distanza, nella mitica Villa Griffone che, come noto a tutti, era stata la culla della radio nel 1895. Ma non va taciuta nemmeno la costruzione di un impianto pilota, in un fondo agricolo di proprietà dell'Università di Bologna, in località Ozzano Emilia. Fra i contributi italiani che salirono ai vertici internazionali e rimasero a testimonianza di quella campagna di ricerche vi furono la costruzione di guide il cui progetto era assolutamente originale e lo sviluppo di nuove, avanzatissime tecniche di misura per la caratterizzazione del mezzo trasmissivo; una tematica, quest'ultima, destinata a generare nuovi successi italiani nel campo delle fibre ottiche, tre decenni più tardi<sup>18</sup>.

La vastità delle ricerche sulla propagazione libera in presenza di idrometeore e sulla propagazione guidata delle onde millimetriche, nonché l'entità delle risorse finanziarie e umane in esse profuse, potrebbero suscitare sorpresa in chi non visse quella fase dell'evoluzione tecnologica e non vede, oggi, ricadute cospicue di quegli studi; pertanto l'argomento merita una breve digressione che consenta di contestualizzare storicamente quelle ricerche. A cavallo tra gli anni '60 e '70, non vi erano ancora certezze sull'affidabilità dei satelliti e sulla durata della loro vita attiva, cioè, in ultima analisi, sul loro impatto sui costi delle telecomunicazioni; la fibra ottica, su cui si tornerà tra breve, era agli albori e suscitava una forte diffidenza (giustificata soprattutto dalla durata di vita, a quei tempi assolutamente inadeguata, dei laser a semiconduttore); i sistemi su cavo coassiale stavano cozzando duramente contro le limitazioni fissate dall'effetto pelle. Non stupisce quindi se persone tecnicamente assai preparate e molto influenti ad alti livelli decisionali si battevano per l'adozione delle guide per onde millimetriche, oppure per l'estensione a frequenze più elevate della tecnica dei ponti radio, i quali erano forti di molti risultati spettacolari (ultimo in ordine di tempo, allora, ma non certo di importanza, l'essersi dimostrati perfettamente idonei alla trasmissione di segnali numerici). Furono solo gli strabilianti successi delle alternative – tanto i satelliti quanto le fibre ottiche – che ridimensionarono l'interesse verso le guide per onde millimetriche e quello verso i collegamenti terrestri a frequenze più elevate; ma quest'ultimo rifiorì assai presto, quando ci si rese conto che le attenuazioni elevate, anziché costituire un grave difetto, diventavano un pregio, se consentivano di circoscrivere facilmente la zona di influenza di ciascun trasmettitore e quindi di riutilizzare le medesime frequenze a distanze relativamente piccole, semplificando così la copertura a celle di un determinato territorio. E proprio nell'epoca in cui viviamo, caratterizzata dal boom della radiotelefonía mobile cellulare, si assiste a una nuova comparsa al

<sup>18</sup> Corsi et al. 1998.

proscenio di studi e ricerche sulla propagazione libera, finalizzati all'investigazione delle cause – sostanzialmente di origine meteorologica – del deterioramento della qualità del servizio telefonico radiomobile che si riscontra prevalentemente in estate, in condizioni di prolungata assenza di vento, specialmente in vicinanza di coste basse<sup>19</sup>. La spiegazione dei fenomeni si basa sull'“effetto condotto” e quindi ci riporta indietro fino agli esperimenti di Marconi dei primi anni '30 sulla propagazione delle micro-onde oltre l'orizzonte ottico, descritti nella Trecani 1935. Per certi versi siamo quindi in presenza di un andamento ciclico, ma nel frattempo qualcosa di nuovo è intervenuto, dando un contributo irreversibile all'avanzamento delle conoscenze fisiche e soprattutto delle applicazioni commerciali: lo sviluppo della microelettronica e dell'informatica, che oggi ci consentono di contrastare efficacemente i capricci della propagazione.

Per non spezzare la continuità del discorso sulla propagazione delle micro-onde, si è lasciato per ultimo l'argomento della propagazione ottica. Il laser, fino dalla sua invenzione, suscitò un interesse vivissimo nel mondo delle TLC. I primi tentativi di impiego si indirizzarono verso la trasmissione libera in atmosfera, su scala internazionale e pure in Italia, presso la FUB e, poco dopo, anche allo CSELT<sup>20</sup>. Non mancarono successi a livello dimostrativo, ma le inevitabili difficoltà in condizioni meteo avverse (pioggia e nebbia) appaiono ancor oggi insormontabili, per poter giungere a un servizio affidabile. Qualche gigante (in primis, Bell Telephone Labs) puntò allora (cioè fin dalla prima metà degli anni '60) molto energicamente sulla propagazione guidata, ideando e sperimentando delle strutture costituite da sequenze periodiche di lenti, situate all'interno di tubi al cui interno l'atmosfera poteva venire controllata. Si ottennero risultati preliminari molto brillanti, ma ben presto ci si rese conto che i costi del sistema – soprattutto quelli legati all'installazione delle guide – sarebbero stati elevatissimi e che per conseguenza il *breakeven* economico sarebbe stato raggiungibile solo per capacità elevatissime del sistema, specie se confrontate con il traffico di allora. Anche questo filone di ricerca sembrò avviarsi, come le guide millimetriche, verso una situazione di stallo; ma in questo scenario irruppe, assolutamente a sorpresa, la fibra ottica: o, per meglio dire, si ebbe una doppia sorpresa: dapprima, nel 1966, la provocatoria proposta di Charlie Kao<sup>21</sup>, che oltre 40 anni dopo gli è valsa il Premio Nobel per la Fisica 2009, a un secolo esatto di distanza da Guglielmo Marconi; poi, nel 1970, l'autentico fulmine a ciel sereno della realizzazione della prima fibra ottica a bassa attenuazione, da parte di un'azienda, Corning Glass Works, che fino a quel momento era stata totalmente estranea al mondo delle TLC<sup>22</sup>. Si apre allora una nuova fase storica in cui gli studiosi di propagazione sono nuovamente al centro dell'attenzione: l'aspra contesa fra le fibre multimodo (a salto, oppure a gradiente d'indice) e le fibre monomodo, nella quale inizialmente le prime sembrano avere la meglio

<sup>19</sup> Marcuglia et al. 2005.

<sup>20</sup> Daino et al. 1974.

<sup>21</sup> Kao e Hockam 1966.

<sup>22</sup> Kapron et al. 1970.

ma che si risolve poi con un successo trionfale delle seconde. Ma questa è la nascita delle comunicazioni ottiche e della fotonica e quindi questo è il punto giusto per chiudere questa parte e passare il testimone ad altri colleghi.

## I sistemi di trasmissione (a cura di SILVANO PUPOLIN)

Prima di iniziare la descrizione delle attività di ricerca svolte nelle università e centri di ricerca pubblici nella trasmissione è necessario ricordare gli attori principali di questa crescita della ricerca italiana che ha portato la scuola italiana al livello attuale. Nella trasmissione vi sono state sette grandi scuole in Italia presenti nelle Università di Bologna, Napoli Federico II, Padova, Pisa e Roma La Sapienza e nei Politecnici di Milano e Torino. A queste sedi vanno abbinate le aziende manifatturiere Italtel, Telettra, GTE, i centri di ricerca CSELT, FUB e l'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni che hanno permesso lo sviluppo di quella collaborazione università industria che ha fatto crescere l'industria nazionale e la ricerca delle telecomunicazioni in Italia.

La premessa necessaria per capire le soluzioni adottate per i sistemi di trasmissione numerica negli anni '70 è la limitata o quasi nulla capacità di elaborazione dati nei sistemi di comunicazione. I microprocessori sono stati inventati allora e il loro uso, in apparati che dovevano garantire il proprio funzionamento continuativo per parecchi anni, è stato guardato con sospetto, in particolare per gli aspetti di affidabilità del software. Inoltre, la capacità di calcolo era troppo limitata rispetto alle esigenze dei sistemi di trasmissione (la frequenza di clock del microprocessore Intel 8086 alla fine degli anni '70 era di 4 MHz mentre erano già stati collaudati sistemi di trasmissione a 34 Mbit/s e 140 Mbit/s). Le prime applicazioni dei microprocessori nei sistemi di telecomunicazioni sono state funzioni di monitoraggio, dove il mancato funzionamento non determinava il blocco del sistema di trasmissione. Era il tempo in cui i centri di elaborazione dati (Centri di calcolo) basati su mainframe, si fermavano almeno mezza giornata la settimana per manutenzione preventiva. Stop di questo tipo non erano, e non sono, ammissibili per i sistemi di telecomunicazioni dove si esige servizio continuativo 24 ore al giorno per tutti i giorni dell'anno. Gli equalizzatori erano ancora analogici, salvo i primi equalizzatori numerici per i modem telefonici.

In questo contesto l'obiettivo primario è stato di trovare soluzioni efficaci e *semplici*, tali da poter essere implementate con circuiti analogici o numerici a bassa integrazione e bassa velocità.

### *I sistemi di trasmissione analogica su cavo*

I sistemi di trasmissione analogica su cavo coassiale sono utilizzati nei collegamenti interdistrettuali ad alta capacità. La tecnica è nata negli anni '30 con sistemi di trasmissione con pochi canali telefonici (3 o 4) per poi svilupparsi e giungere nell'ultima versione a 10800 canali telefonici con una larghezza di banda occupata di 60 MHz. Il sistema prevedeva la presenza di multiplatori

gerarchici alle terminazioni e catene di amplificatori spazati di 1,5 km per coprire distanze fino a 10000 km per i collegamenti transoceanici.

I problemi da risolvere, che in molti casi sono stati ritenuti segreto industriale, hanno riguardato sia la multiplazione dei segnali che la loro amplificazione/ equalizzazione nella linea di trasmissione.

La multiplazione ha avuto generazioni successive di tecniche con incremento del numero dei canali multiplati, dove il problema più pressante da risolvere ha riguardato il filtro di canale nella prima modulazione. Tale filtro doveva garantire stabilità e precisione nel tempo anche in presenza di variazioni di temperatura e umidità. La soluzione finale ha previsto l'uso di un filtro meccanico realizzato con barrette di acciaio collegate fra loro con fili di acciaio e interfacciate all'apparato elettrico con un trasduttore piezoelettrico.

Gli amplificatori, unitamente ai cavi coassiali, hanno creato altri problemi dovuti alle lunghe catene di amplificatori in cascata necessari per coprire tratte nazionali ed internazionali. Anche in presenza di tolleranze molto piccole il grande numero di amplificatori in cascata determina errori di equalizzazione molto marcati. I principali problemi presenti in questi amplificatori e brillantemente risolti dai progettisti sono stati: i) l'accumulo di rumore lungo la catena; ii) l'accumulo delle distorsioni di non linearità dei singoli amplificatori; iii) l'effetto di errori sistematici nell'equalizzazione dei singoli amplificatori che in lunghe catene potevano provocare una attenuazione non accettabile su uno o più canali telefonici; iv) errori sistematici nella fabbricazione dei cavi coassiali che inducevano profondi picchi di attenuazione. I sistemi di trasmissione realizzati nei laboratori industriali e successivamente prodotti in serie sono stati in grado di rispondere ai requisiti degli standard trasmissivi.

In Italia sono stati progettati e realizzati sistemi di trasmissione analogica fino a 60 MHz che sono stati installati in parecchi paesi nel mondo. Il contributo dei ricercatori universitari a queste attività è stato quasi nullo, ma l'esperienza acquisita attraverso la collaborazione con le aziende che hanno sviluppato tali prodotti in Italia è stata di stimolo e aiuto alla ricerca svolta successivamente per i sistemi di trasmissione numerica.

Nella transizione dai sistemi di trasmissione e commutazione analogici a quelli numerici si è presentato il problema di evitare di demultiplare i segnali analogici fino al singolo canale telefonico e successivamente multiplarlo nella nuova gerarchia numerica con il gruppo base primario a 2Mbit/s. Si è osservato che il gruppo FDM secondario multipla 60 canali telefonici nella banda 312-552 kHz e che questo corrisponde al numero di canali di informazione trasportati in due gruppi base PCM (Pulse-Code Modulation). Questo fatto ha dato luogo a studi di fattibilità di tecniche di elaborazione numerica dei segnali per la generazione di due gruppi base PCM dal gruppo FDM secondario e viceversa. I contributi della ricerca italiana sono le pubblicazioni riportate in nota<sup>23</sup> oltre a prototipi industriali.

<sup>23</sup> Cariolaro, Cucchi e Molo, 1982; Del Re et al. 1982.

*I sistemi di trasmissione numerica su cavo*

Lo studio dei sistemi di trasmissione numerica in Italia, iniziato negli anni '70, è stato il fattore comune di crescita per la generazione di ricercatori universitari che ha ricoperto, e tuttora ricopre, un ruolo importante nel panorama della ricerca internazionale delle telecomunicazioni.

Il fattore trainante di quel periodo è stato il modo innovativo con cui si è sviluppata la collaborazione fra ricercatori universitari e industriali con sinergie reciproche che hanno portato allo sviluppo di nuovi sistemi di telecomunicazioni e di nuove teorie per comprendere al meglio i punti critici dei vari sistemi. Inoltre, le aziende italiane hanno scoperto che la collaborazione con le università poteva fornire quelle conoscenze di base necessarie per sviluppare nuovi sistemi e prodotti. Negli anni '70 anche l'università ha beneficiato di un incremento di docenti mai visto fino a quel momento permettendo così un'ampia crescita del numero di ricercatori (Decreto Legge 1 ottobre 1973, n. 580, approvato con modifiche il 23 novembre 1973).

In questo contesto di rapida crescita industriale e universitaria sono stati sviluppati i primi sistemi di progettazione di sistemi di telecomunicazione assistiti da calcolatore. Infatti le tecniche di progettazione degli amplificatori per sistemi analogici non hanno potuto essere estese ai sistemi di equalizzazione numerica perché nei sistemi analogici l'equalizzazione di fase non era richiesta, mentre era un fattore critico di successo per gli equalizzatori numerici. Per questo motivo sono stati messi a punto programmi che permettevano di calcolare la fase degli amplificatori dalla conoscenza del modulo e successivamente, sulla base della distorsione di fase e del suo effetto sulle prestazioni del sistema (probabilità di errore, interferenza di intersimbolo), progettare appropriati equalizzatori di fase.

I ricercatori universitari hanno sviluppato anche metodologie analitiche per il calcolo della probabilità di errore basate su sviluppi in serie della distribuzione cumulativa della somma del rumore gaussiano e dell'interferenza di intersimbolo. Tali metodi sono molto complessi per cui sono stati sviluppati anche metodi approssimati di calcolo della probabilità di errore molto semplici che forniscono un estremo superiore ed uno inferiore. In molti casi questi estremi sono molto vicini per cui l'errore sulla probabilità di errore è piccolo. Queste approssimazioni richiedono in qualche caso la conoscenza dello spettro in potenza del segnale numerico e questo ha dato luogo allo sviluppo di tecniche di calcolo in forma chiusa. Ulteriori studi hanno permesso di definire dei criteri di progetto di codici per aiutare la sincronizzazione di simbolo.

Un altro aspetto dove i ricercatori italiani hanno dato un contributo significativo riguarda la sincronizzazione di simbolo nei sistemi di trasmissione su cavo, di frequenza e fase della portante e di simbolo nei sistemi di trasmissione numerica in ponte radio.

Nei ponti radio numerici per combattere il *fading* l'equalizzazione adattativa è necessaria. Anche in questo campo significativi risultati sono stati ottenuti da ricercatori italiani.

I codici a correzione di errore hanno avuto una nuova fase di sviluppo e crescita negli anni '90 dove la scoperta dei cosiddetti turbo-codici ha riaperto

nuove strade per la co-decodifica dei messaggi numerici. L'uso di queste tecniche è ora applicato in tutti i sistemi di trasmissione numerica sia su cavo che via radio, con particolare applicazione ai sistemi radiomobili.

I contributi in dettaglio saranno presentati nei paragrafi successivi con i più importanti riferimenti bibliografici.

### *Prestazioni dei sistemi di trasmissione numerica*

#### *Simulatori dei sistemi di trasmissione*

Negli anni '70 sono stati sviluppati vari tipi di simulatori per sistemi di trasmissione numerica su cavo in rame e via radio in collaborazione fra università e industrie e centri di ricerca. Successivamente tali simulatori hanno incluso anche i sistemi di trasmissione su fibra ottica nei quali vi era la complicazione che la varianza del rumore nel punto di decisione dipendeva dall'ampiezza del segnale ricevuto. È stato pertanto necessario simulare anche la varianza del campione del rumore di fotorelevazione oltre al campione del segnale utile. Con l'uso dei doppiini telefonici per la trasmissione nei centri urbani di trasmissioni PCM il disturbo di diafonia è diventato un parametro da considerare perché limitava le prestazioni di tali sistemi. Per questo motivo i simulatori sviluppati per un *link* sono stati estesi alla valutazione anche dell'interferenza prodotta dalla diafonia.

Successivamente è stato sviluppato il primo simulatore di un sistema di trasmissione numerica su cavo in rame che considerava tutta la catena di trasmissione e calcolava la probabilità di errore con metodo semianalitico, cioè valutando l'ampiezza del campione ricevuto, che includeva anche la presenza di interferenza di intersimbolo, e da questo otteneva la probabilità di errore condizionata in presenza di rumore additivo. La novità consisteva proprio nel non simulare anche il campione di rumore. Il simulatore prevedeva inoltre di poter inserire la risposta in frequenza del filtro di ricezione reale ed analizzare la robustezza del sistema alla presenza di tolleranze nella realizzazione del filtro stesso. Il simulatore è stato successivamente esteso includendo la presenza di diafonia. È stata realizzata anche la versione gemella per i sistemi di trasmissione su fibra ottica, tenendo conto dell'effetto del rumore *shot* prodotto nella fotorelevazione che ha la caratteristica di avere una varianza che dipende dal messaggio ricevuto. Questi simulatori sono stati sviluppati dall'Università di Padova in collaborazione con Telettra<sup>24</sup>, dal Politecnico di Torino in collaborazione con ESA (TOPSIM)<sup>25</sup> e dall'Università di Firenze<sup>26</sup>.

#### *Calcolo analitico della probabilità di errore*

I simulatori illustrati nel paragrafo precedente richiedevano tempi di calcolo molto lunghi per ciascuna configurazione di parametri del sistema. La proget-

<sup>24</sup> Bellato et al. 1975, Bellato et al. 1979

<sup>25</sup> Marsan et al. 1984.

<sup>26</sup> Benelli et al. 1984

tazione ottima di un sistema di trasmissione numerica su cavo in rame poteva richiedere molto tempo prima di trovare i parametri ottimali di ciascun sottosistema coinvolto. Inoltre, dalla simulazione non potevano essere estratte informazioni che permettessero in modo automatico l'ottimizzazione dei parametri del sistema. Da queste considerazioni è sorta la necessità di sviluppare sistemi di calcolo delle prestazioni in modo analitico riducendo i tempi di calcolo di ordini di grandezza. Le metodologie utilizzate si sono poste come obiettivo il calcolo della distribuzione in ampiezza della somma del rumore e dell'interferenza di intersimbolo. Le tecniche utilizzate si basavano sullo sviluppo in serie di Gram Charlier<sup>27</sup> oppure su formule di quadratura di Gauss<sup>28</sup>. Entrambe queste tecniche richiedevano la conoscenza dei momenti dell'interferenza di intersimbolo.

Il contributo dei ricercatori italiani ha riguardato la valutazione di tali momenti in presenza di simboli correlati<sup>29</sup> dove la correlazione era dovuta alla presenza di codifica di linea. Tale codifica è stata introdotta per combattere l'interferenza di intersimbolo prodotta dagli accoppiamenti in alternata del cavo con gli amplificatori equalizzatori. I metodi di calcolo dei momenti erano efficienti dal punto di vista computazionale e ciò ha permesso un loro uso efficace nel calcolo della probabilità di errore o di sue approssimazioni (*upper-lower bounds*). Il calcolo della probabilità di errore nei sistemi di trasmissione con simboli indipendenti risulta ordini di grandezza inferiore di quello in presenza di codifica di linea e questo ha reso necessario lo sviluppo delle nuove tecniche di calcolo.

L'introduzione dei primi sistemi di trasmissione su fibra ottica nella seconda metà degli anni '70 ha portato un ulteriore rapido sviluppo della trasmissione e la richiesta di nuove competenze e metodologie per la valutazione delle prestazioni dei sistemi di trasmissione.

Gli aspetti nuovi rispetto alla trasmissione con segnali elettrici riguardano:

- il meccanismo di fotorivelazione che produce rumore *shot* correlato con l'ampiezza del segnale ricevuto;
- la possibilità di amplificare il segnale ottico;
- l'odierno sviluppo delle tecnologie fotoniche con le prime sperimentazioni di elaborazione dei segnali in campo ottico.

Gli aspetti indicati ai precedenti primi due punti sono stati sviluppati fin dall'inizio della trasmissione ottica ed hanno reso economicamente conveniente fino ad oggi i sistemi di trasmissione ottici non coerenti.

I contributi italiani allo studio dei sistemi di comunicazione ottica sono stati teorici, per la formulazione matematica dei modelli relativi alla fotorivelazione, fotomoltiplicazione e amplificazione ottica. Tali modelli si sono rivelati utili per lo studio dei sistemi ottici e per la valutazione delle loro prestazioni ed anche ad un loro confronto.

<sup>27</sup> Biglieri 1973

<sup>28</sup> Benedetto et al. 1973b

<sup>29</sup> Benedetto et al. 1973<sup>o</sup>; Cariolaro e Pupolin 1975; Cariolaro e Pupolin 1977; Yao e Biglieri, 1980.

La descrizione statistica del rumore *shot* nella foto rivelazione è stata sviluppata da Cariolaro<sup>30</sup> ed è stata utilizzata per la determinazione delle prestazioni di un sistema di trasmissione su fibra ottica a rivelazione diretta.

Il finanziamento da parte del Ministero dell'Università e Ricerca del progetto finalizzato "Telecomunicazioni" all'inizio degli anni '90 ha indotto gruppi di ricerca ad interessarsi di sistemi di trasmissione ottica coerente anche se le sorgenti laser non erano ancora in grado di garantire la purezza spettrale necessaria allo scopo. Anche le fibre ottiche monomodali presentavano problemi di birifrangenza e di dispersione di polarizzazione modale. Sono state pertanto studiate forme di modulazione e di rivelazione robuste rispetto a queste distorsioni dal sistema ideale. Questo richiedeva la realizzazione di ricevitori molto complessi e costosi<sup>31</sup>. L'industria prevedeva che solo con l'avvento della commutazione ottica l'uso di sistemi ottici coerenti avrebbe giustificato il maggiore costo. Alcuni anni dopo la messa a punto di amplificatori ottici a basso costo ha definitivamente rinviato l'uso di sistemi ottici coerenti di cui si ritorna a parlare solo ora. La caratterizzazione teorica del comportamento degli amplificatori ottici mediante modelli matematici è stata presentata da Cariolaro et al.<sup>32</sup>.

L'evoluzione successiva dei sistemi di comunicazione basati su ottica coerente rientrano in un nuovo capitolo riguardante la fotonica, che viene sviluppato separatamente in questo libro.

## Codifica di linea

I codici di linea sono stati progettati con due scopi fondamentali: i) ridurre la varianza dell'interferenza di intersimbolo; ii) ridurre gli errori di sincronizzazione nei rigeneratori.

Il calcolo della varianza dell'interferenza di intersimbolo richiede la conoscenza della correlazione fra i simboli trasmessi o, in modo equivalente lo spettro del segnale all'uscita del codificatore di linea. È stata sviluppata una tecnica di calcolo in forma chiusa dello spettro del segnale prodotto da codificatori a blocco e da codificatori con parole di codice a lunghezza variabile. La descrizione utilizzata per questi codificatori comprendeva come caso particolare tutti i codici utilizzati nei sistemi di trasmissione numerica negli anni '70 con lo scopo sia di ridurre la varianza dell'interferenza di intersimbolo sia per ridurre l'effetto del *jitter* nelle lunghe catene di rigeneratori<sup>33</sup>. Questi aspetti di analisi hanno anche avviato un'attività di ricerca riguardo la sintesi dei codici di linea, con lo scopo di riuscire a progettare codificatori con obiettivi precisi da raggiungere. Un esempio specifico è stato il progetto di codificatori che presentassero uno zero nello spettro a metà della frequenza di simbolo. Questa caratteristica era utile

<sup>30</sup> Cariolaro 1978

<sup>31</sup> Pierobon e Tomba 1991; Corvaja e Pierobon 1994; Forestieri e Prati 1995.

<sup>32</sup> Cariolaro et al. 1995.

<sup>33</sup> Cariolaro e Tronca 1974, Cariolaro, Pierobon e Pupolin 1982.

perché si poteva inserire un tono pilota alla stessa frequenza tale da semplificare l'estrazione del sincronismo di simbolo in ricezione.

In questo contesto è stato anche sviluppato il calcolo dello spettro di segnali PAM (Pulse Amplitude Modulation) che modulavano in frequenza o fase una portante sinusoidale. La richiesta nasceva da una esigenza pratica di evitare di demodulare il segnale PAM in banda base prima di trasmetterlo attraverso un ponte radio per superare ostacoli naturali, quali ad esempio tratti di mare, fiumi, valli, etc, senza dover utilizzare cavi sottomarini o percorsi molto più lunghi.

### *Sincronizzazione (a cura di UMBERTO MENGALI)*

I sistemi di trasmissione numerica a banda stretta hanno prestazioni che dipendono dall'istante di campionamento all'interno del periodo di simbolo. A causa dei meccanismi che derivano tale istante dal segnale ricevuto si manifestano fluttuazioni dell'istante in cui avviene il campionamento rispetto al suo valore ideale. Questo scostamento è noto con il nome di *jitter*. Tipicamente il *jitter* prodotto da un rigeneratore è di ampiezza piccola rispetto al periodo di simbolo. Sono stati confrontati vari modelli di sistemi di trasmissione e studiate tecniche di codifica di linea che permettano una riduzione del *jitter*. La differenza sostanziale tra sistemi non codificati e sistemi codificati è dovuta al fatto che nei sistemi codificati il codice poteva essere progettato in modo tale da creare uno zero della densità spettrale di potenza ed inserire contestualmente un tono alla frequenza di Nyquist. Tale tono veniva estratto con un filtro in ricezione. Nei sistemi non codificati era invece necessario utilizzare un PLL (Phase-Locked Loop) oppure un sistema non lineare seguito da un filtro.

#### *Jitter nei rigeneratori e nelle catene di rigeneratori*

Negli anni '70 l'articolo di Cariolaro<sup>34</sup> anticipa di un decennio la questione del *jitter* nei ripetitori PCM. Nello stesso periodo appaiono articoli sul funzionamento degli anelli ad aggancio di fase (PLL) in varie condizioni operative e con rumore gaussiano o impulsivo<sup>35</sup>, e infine<sup>36</sup> sul recupero del *clock* quando gli impulsi, anziché rettangolari, hanno una forma arbitraria. Si noti che in tutti gli anni '60 fino ai primi '70 le trasmissioni numeriche erano finalizzate all'esplorazione spaziale e non c'erano vincoli sulla larghezza di banda del segnale. Perciò agli impulsi veniva data la forma più conveniente che è quella rettangolare. Successivamente l'interesse si sposta sulla sincronizzazione di simbolo in trasmissioni ottiche<sup>37</sup>,

Negli anni '80 nascono nuovi temi di ricerca riguardo la sincronizzazione di simbolo. Il primo tema è motivato dallo sviluppo delle trasmissioni PCM su cavo coassiale dove i segnali vengono rigenerati in stazioni disposte lungo

<sup>34</sup> Cariolaro 1968

<sup>35</sup> Mengali 1973; Mengali 1975.

<sup>36</sup> Mengali 1971.

<sup>37</sup> Andreucci e Mengali 1978, Mengali e Pezzali 1978.

il cavo e gli errori di *clock jitter* tendono a crescere mano a mano che ci si allontana dall'origine del cavo. Nel caso di collegamenti lunghi centinaia di km il numero di rigeneratori in cascata risulta anche di qualche centinaio. I lavori di Mengali et al.<sup>38</sup> e di Del Pistoia et al.<sup>39</sup> studiano l'accumulo del *jitter*, con o senza codice di linea. La valutazione della densità spettrale del *jitter* prodotto in un rigeneratore<sup>40</sup> è un altro modo per permettere di analizzare l'accumulo del *jitter* in una catena di rigeneratori. Questi studi hanno permesso di trovare delle soluzioni tecnologiche adatte al problema verso la fine degli anni '80 che sono state poi superate con l'uso nei collegamenti a lunga distanza di sistemi di trasmissione su fibra ottica che presentano passi di rigenerazione molto maggiori e per i quali l'accumulo del *jitter* nella catena ha perso di interesse tecnologico.

Un secondo tema riguarda la possibilità di migliorare le prestazioni di un sincronizzatore di *clock* mediante prefiltraggio del segnale al suo ingresso<sup>41</sup> oppure mediante la progettazione di codici di linea che presentino zeri spettrali alla frequenza zero ed alla frequenza di Nyquist<sup>42</sup>. Tali codici permettono una significativa riduzione del *jitter* prodotto in ciascun rigeneratore.

Un ultimo tema di interesse pratico riguarda lo studio del *jitter* prodotto dai moltiplicatori/demoltiplicatori sincroni della famiglia SDH quando moltiplicano anche segnali provenienti da moltiplicatori asincroni della famiglia PDH, allora in servizio. Questo aspetto è rilevante con l'inserimento nella rete di apparati Add-Drop Multiplexer (ADM) dove si spillano e si reinseriscono parte dei segnali presenti nel segnale moltiplicato. Il *jitter* prodotto nei segnali demoltiplicati è di tipo impulsivo con ampiezza molto elevata e va compensato con l'uso di buffer. Il *jitter* prodotto dai sistemi ADM è rilevante anche nei sistemi di trasmissione su fibra ottica. Uno studio al riguardo è riportato in Pierobon e Valussi<sup>43</sup>.

### *La trasmissione in ponte radio (a cura di SILVANO PUPOLIN)*

Le industrie manifatturiere italiane di sistemi di telecomunicazioni sono state per anni leader mondiali nel settore dei sistemi di trasmissione in ponte radio. La stretta collaborazione che tali industrie hanno avuto con i ricercatori universitari ha creato le motivazioni per lo studio teorico dei sistemi di trasmissione numerica in ponte radio.

Gli argomenti trattati hanno riguardato principalmente gli aspetti di sincronizzazione in frequenza, fase e simbolo e di equalizzazione dei sistemi digitali con diversi formati di modulazione.

Un capitolo a parte merita lo studio congiunto di modulazione e codifica in cui il codificatore è direttamente collegato al formato di modulazione e le tecniche di demodulazione e codifica sono fortemente intrecciate.

<sup>38</sup> Mengali e Giancarlo Pirani 1980.

<sup>39</sup> Del Pistoia et al. 1982.

<sup>40</sup> Pupolin e Tomasi 1984.

<sup>41</sup> D'Andrea et al. 1986.

<sup>42</sup> Monti e Pierobon 1985.

<sup>43</sup> Pierobon e Valussi 1991.

Inoltre, la presenza di ponti radio analogici alimentati da segnali analogici FDM e la contemporanea sostituzione dei sistemi analogici su cavo con sistemi di trasmissione numerica, ha portato alla richiesta di verificare la possibilità di alimentare direttamente i ponti radio analogici con i segnali numerici. In questo caso si doveva verificare se lo spettro del segnale numerico modulato interferiva con altri segnali radio collocati in bande adiacenti a quella considerata.

I primi ponti radio sono stati realizzati con modulazione di ampiezza a singolo canale negli anni '30. Dopo la Seconda Guerra Mondiale la modulazione adottata per i ponti radio analogici è quella di frequenza. La modulazione di frequenza ha permesso l'uso di amplificatori di potenza in saturazione e con alta efficienza in potenza. Inoltre ha permesso di operare con rapporti segnale/ rumore relativamente bassi rispetto alle modulazioni lineari tipo DSB o SSB. Con lo sviluppo dei dispositivi elettronici si è rapidamente passati dalla portante a 200 MHz del primo ponte radio a modulazione di ampiezza a portanti nella gamma dei 2, 6 e 7 GHz nei due decenni successivi alla fine della Seconda Guerra Mondiale.

L'avvento del PCM ha portato all'evoluzione delle tecniche di modulazione da analogiche a numeriche ed a richieste più pressanti riguardo la linearità degli amplificatori. Infatti nei sistemi di modulazione FM si operava con amplificatori finali in saturazione con rendimento in potenza elevato. Le modulazioni numeriche QAM presentano fluttuazioni dell'involuppo del segnale modulato e richiedono l'uso di amplificatori di potenza lineari funzionanti in classe A o B con rendimenti in potenza nettamente inferiori rispetto a quelli utilizzati per la modulazione di frequenza. Anche modulazioni teoricamente ad involuppo costante, quale il PSK, perdono questa loro caratteristica quando si inseriscono filtri per limitare la banda del segnale radio trasmesso per rispettare la canalizzazione dei sistemi di trasmissione radio imposta dagli organismi internazionali, CCIR, e per permettere la coesistenza dei sistemi di trasmissione nelle bande adiacenti a quella in esame. Anche in questo caso è necessario utilizzare amplificatori di potenza lineari.

La presenza di *fading* selettivo nei sistemi a larga banda ( $\geq 20$  MHz) introduce elevata interferenza di intersimbolo e richiede tecniche di equalizzazione adattativa. La presenza di *fading* nei sistemi di trasmissione analogici si traduceva in una attenuazione supplementare per alcuni canali del sistema di multiplexazione FDM e provocava brevi periodi di degradazione della qualità del servizio per i canali coinvolti. Per i sistemi di trasmissione numerica il *fading* genera interferenza di intersimbolo oltre all'attenuazione supplementare, e ciò provoca sequenze di errori per la tutta la durata del *fading* (qualche secondo). Per sistemi di trasmissione ad elevata capacità (oltre 20Mbit/s) si ha un pacchetto di errori su qualche milione di simboli consecutivi. I sistemi di misura della qualità del collegamento non riescono a tollerare sequenze di errore così lunghe. Poiché questi sistemi operano sulle sequenze di controllo prodotte dai moltiplicatori, una sequenza di errori così lunga provoca la segnalazione che il collegamento è fuori servizio. Questo significava l'avvio di procedure di sincronizzazione di trama nei moltiplicatori e di conseguenza lunghi periodi di fuori servizio di tutti i segnali moltiplicati.

La demodulazione del segnale FM è fatta con tecniche di demodulazione non coerente, mentre la demodulazione del segnale numerico, è fatta con tecniche di demodulazione coerente. Pertanto nella demodulazione dei segnali numerici si richiede l'acquisizione, oltre del sincronismo di simbolo, anche di quello della portante in frequenza e fase. Il fatto che il *fading* si manifesti con fenomeni tempo varianti ha costretto i progettisti del sistema ad utilizzare due possibili soluzioni per mantenere la probabilità di errore entro i limiti stabiliti da norme internazionali e tali da fornire una qualità percepita dall'utente equivalente a quella ottenuta dai sistemi di trasmissione su cavo in rame: i) aumentare la potenza di trasmissione per garantire la Probabilità di errore nel caso peggiore, ii) introdurre tecniche di elaborazione del segnale sia in trasmissione che in ricezione per ottenere le stesse prestazioni del caso i) ma con potenza di trasmissione molto più bassa (diversità di frequenza, tempo o spazio; codifica a correzione di errore).

Questa caratteristica dei sistemi radio è stata successivamente esasperata nei sistemi radiomobili, oggetto di un capitolo separato.

Questo paragrafo procede illustrando il contributo fornito ai sistemi di trasmissione via radio in due sottoparagrafi dedicati alle Tecniche di modulazione, demodulazione, equalizzazione ed alla Sincronizzazione.

#### *Tecniche di modulazione, demodulazione ed equalizzazione*

Negli anni '70 con il graduale passaggio dai sistemi di trasmissione analogica a quella numerica sono stati avviati studi riguardanti i sistemi di trasmissione numerica in banda passante da utilizzare nelle trasmissioni attraverso i ponti radio. Nella fase iniziale si è cercato di riutilizzare al meglio gli stadi finali dei sistemi in ponte radio analogici che rappresentavano la parte più complessa del sistema. Pertanto le prime tecniche di modulazione hanno adottato tecniche di modulazione ad involuppo costante che potevano essere trasmesse attraverso gli stadi di potenza in classe C già disponibili per i sistemi analogici con modulazione FM.

Le modulazioni proposte sono la classica PSK nella sua versione a fase continua (CPSK) e sue variazioni.

Altre possibili alternative hanno riguardato la modulazione diretta FM di segnali numerici utilizzati nella trasmissione su cavo. I problemi sorti hanno riguardato la possibile presenza di righe nello spettro tali da creare disturbi nei canali radio adiacenti, in particolare quelli che utilizzavano ancora segnali analogici. La valutazione dello spettro di tale tipo di segnali ha portato alla conclusione che la maggior parte dei codici di linea allora utilizzati nelle trasmissioni su cavo, per i quali si introduceva uno zero spettrale a frequenza zero, generavano righe spettrali nel segnale FM a frequenze che distavano dalla portante multipli della frequenza di simbolo<sup>44</sup>.

Alla fine degli anni '70 lo sviluppo della trasmissione numerica via radio richiede l'uso di tecniche di modulazione spettralmente più efficienti. Si ri-

<sup>44</sup> Pierobon et al. 1982.

corre così a trasmissioni multilivello con modulazioni tipo QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Anche le classiche modulazioni di fase PSK, una volta introdotta una limitazione in banda per permettere un servizio di telecomunicazioni via satellite, presentano una modulazione di ampiezza che non permette più l'uso di amplificatori in classe C e soffrono di interferenza di non linearità dovuta alla saturazione degli amplificatori finali di potenza. Tale problema è particolarmente sentito nelle trasmissioni satellitari dove la potenza disponibile a bordo del satellite è la limitazione più stringente. Le non linearità dello stadio di potenza dei trasmettitori producono due effetti: i) un allargamento dello spettro di potenza del segnale trasmesso con la generazione di interferenza sul canale di trasmissione adiacente in frequenza, e ii) la generazione di interferenza di non linearità sul segnale ricevuto.

Proprio in questo periodo con applicazione alle trasmissioni satellitari vi sono i primi contributi allo studio degli effetti delle non linearità nei sistemi di trasmissione radio che sono ampiamente trattate nel libro "Digital Transmission Theory" di Benedetto, Biglieri e Castellani<sup>45</sup>.

Tali studi sono proseguiti per i sistemi di trasmissione in ponte radio a portante singola per modulazioni M-QAM (Multi-Level Quadrature Amplitude Modulation)<sup>46</sup> e per modulazioni CPFSK<sup>47</sup>. Successivamente sono stati proposti metodi di compensazione delle non linearità predistorcendo il segnale in trasmissione<sup>48</sup>.

Nello stesso periodo sono stati sviluppati i primi equalizzatori digitali adattivi per trasmissione numerica in ponte radio ad elevata capacità. La tecnologia era matura per la realizzazione e l'industrializzazione di tali prodotti<sup>49</sup>.

Sistemi di trasmissione in ponte radio ad alta capacità ed elevata efficienza spettrale richiedono segnali con spettri sempre più compatti cosicché anche piccole deviazioni dalle condizioni ideali comportano la generazione di interferenza sia sul segnale che si sta trasmettendo sia sui segnali che sono trasmessi su canali radio vicini (Interferenza da canale adiacente)<sup>50</sup>. Per raggiungere gli obiettivi previsti in presenza di *fading* dovuto a percorsi multipli, interferenza di intersimbolo e interferenza da canale adiacente, sono stati sviluppati codici a correzione di errore che hanno l'obiettivo di giungere in prossimità della capacità del canale radio. A questo argomento è dedicato un capitolo specifico.

Per semplificare le operazioni di equalizzazione al ricevitore negli anni '90 è stata proposta la modulazione OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) da utilizzarsi nell'ambito dei sistemi di radiodiffusione digitali terrestri sia televisivi che radiofonici. Tale tipo di modulazione ha poi trovato applicazione anche nei ponti radio digitali nelle comunicazioni punto-multipunto, in particolare nelle applicazioni di tipo LMDS (Local Multipoint

<sup>45</sup> Benedetto et al. 1987

<sup>46</sup> Pupolin e Greenstein 1987.

<sup>47</sup> Andrisano et al. 1988.

<sup>48</sup> Lazzarin et al. 1994.

<sup>49</sup> Baccetti et al. 1987, Andrisano et al. 1987.

<sup>50</sup> Andrisano et al. 1988; Andrisano e Barigazzi 1990.

Distribution System), MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) e WLL (Wireless Local Loop) per combattere il *fading* da riflessioni multiple che impediva un uso efficiente dei sistemi di modulazione a portante singola. L'uso di portanti fino a 40 GHz e la necessità di avere terminali non eccessivamente costosi, nei sistemi OFDM ha fatto emergere un altro fattore di degradazione delle prestazioni: il rumore di fase prodotto dagli oscillatori locali. La valutazione delle degradazioni dovute a non linearità e a rumore di fase è stato oggetto di accurate analisi. Inoltre architetture e scelte di tecniche di equalizzazione per sistemi OFDM e di nuove proposte per la trasmissione ed equalizzazione a portante singola sono state sviluppate<sup>51</sup>.

In parallelo alla modulazione OFDM negli anni '90 si è sviluppata la modulazione a divisione di codice (CDM) che ha avuto il suo sviluppo maggiore nelle comunicazioni radiomobili cellulari. Questa tecnica si è proposta come alternativa alla modulazione OFDM anche nei sistemi in ponte radio. Nei sistemi CDMA (Code Division Multiple Access) la riduzione dell'interferenza fra utenti che condividono la stessa banda è l'elemento chiave per raggiungere efficienze spettrali elevate. La riduzione dell'interferenza si ottiene applicando due tecniche che sono: i) il controllo di potenza dei singoli trasmettitori e, ii) la cancellazione dell'interferenza. Anche in questi due settori il contributo dei ricercatori italiani è stato di rilievo come dimostrato dalle pubblicazioni riportate in nota<sup>52</sup>.

Le tecniche di modulazione OFDM e CDMA hanno trovato applicazioni anche nelle recenti trasmissioni ad alto bit rate sul doppino telefonico a supporto dei sistemi ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) e nei sistemi di trasmissione dati su linee elettriche (Power Line Communication) che stanno trovando ampie applicazioni nella domotica. I contributi più significativi sono di Del Re et al.<sup>53</sup> e di Morosi et al.<sup>54</sup>.

### *Sincronizzazione nei ponti radio numerici (a cura di UMBERTO MENGALI)*

Negli anni '70 rivestono carattere basilare gli articoli sul funzionamento degli anelli ad aggancio di fase (PLL) in varie condizioni operative e con rumore gaussiano o impulsivo, utilizzati per la sincronizzazione di fase di segnali modulati linearmente<sup>55</sup>. Si noti che in tutti gli anni '60 fino ai primi '70 le trasmissioni numeriche erano finalizzate all'esplorazione spaziale e non c'erano vincoli sulla larghezza di banda del segnale. Perciò agli impulsi veniva data la forma più conveniente che è quella rettangolare.

Negli anni '80 nasce il tema di ricerca riguardante la sincronizzazione dei segnali a fase continua, noti con l'acronimo CPM (Continuous Phase Modu-

<sup>51</sup> Costa e Pupolin, 2002; Piazza e Mandarini 2002; Benvenuto e Tomasin 2002, Benvenuto et al. 2002, Benvenuto e Tomasin 2005, Mucchi et al. 2004.

<sup>52</sup> Tomasin e Benvenuto 2005; Benvenuto et al. 2007; Casoni et al. 2002.

<sup>53</sup> Del Re et al. 2003.

<sup>54</sup> Morosi et al. 2006.

<sup>55</sup> Dogliotti e Mengali 1977; Marchetti e Mengali 1972; Mengali 1977.

lation). I segnali CPM hanno grande interesse nelle applicazioni radio perché, avendo ampiezza costante, possono essere amplificati con amplificatori non-lineari a basso costo.

Negli anni '90 proseguono l'interesse per alcuni temi già trattati precedentemente (in particolare per i sistemi CPM) e si aprono indagini associate allo sviluppo di nuove tecniche di trasmissione. I risultati scientifici conseguiti riguardano un metodo di sincronizzazione di fase e clock per segnali CPM, il recupero perfetto (in assenza di rumore) del sincronismo di clock mediante prefiltraggio, la sincronizzazione di segnali CPM di diverso formato (con simboli binari o multilivello, con indice di modulazione fisso o variabile ciclicamente)<sup>56</sup>. I limiti teorici dei sistemi di sincronizzazione sono riportati nei contributi di D'Andrea et al. e Gini et al.<sup>57</sup>, e forniscono limiti invalicabili per le prestazioni utile per capire se le prestazioni ricavate in sistemi reali possano essere ancora migliorate oppure no.

Con lo sviluppo dei sistemi in ponte radio a grande capacità si accentua il problema della stima di frequenza della portante. Inizialmente le soluzioni trovate si riferiscono a sistemi con trasmissione continua. Nel frattempo nascono e si sviluppano tecniche di trasmissione a pacchetto nelle quali la stima di frequenza, fase e clock deve compiersi in tempi rapidi, tipicamente in una frazione della durata del pacchetto stesso. In queste condizioni le tecniche per la stima di frequenza per vari tipi di modulazione (QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), OQPSK (Offset QPSK), CPM) e di recupero del sincronismo di simbolo sono nuove e sono trattate in diversi contributi scientifici<sup>58</sup>. Contemporaneamente cresce l'interesse per le applicazioni commerciali dei sistemi a spettro espanso Direct Sequence Spread Spectrum (DS-SS). Le tecniche di sincronizzazione dei sistemi DS-SS è trattata in Giannetti et al.<sup>59</sup>. Il libro *Synchronization Techniques for Digital Receivers*<sup>60</sup> descrive lo stato dell'arte nella sincronizzazione dei ricevitori realizzati in forma digitale, mentre negli articoli di D'Andrea et al. e Gini et al. già citati<sup>61</sup> si descrivono i limiti teorici per le prestazioni dei sincronizzatori.

Nell'ultimo decennio, ossia dal 2000 ad oggi, si assiste ad uno sviluppo straordinario dei sistemi multi portante (OFDM) e nasce conseguentemente un forte interesse per la sincronizzazione di queste modulazioni. La stima di frequenza diventa d'importanza cruciale perché anche piccoli errori distruggono l'ortogonalità delle portanti e peggiorano le prestazioni del rivelatore<sup>62</sup>. Il capitolo 5 del libro "Multi-carrier Techniques for Broadband Communications"<sup>63</sup> descrive lo stato dell'arte sulla sincronizzazione dei sistemi OFDM nel 2007. In parallelo

<sup>56</sup> Mengali e D'Andrea 1997; Morelli, Mengali e Vitetta, 1997; Morelli e Mengali 1999; Caire e Elia 1997

<sup>57</sup> D'Andrea et al. 1994; Gini et al. 1998.

<sup>58</sup> Bellini et al. 1990; D'Amico 1999; Reggiannini e Luise 1995; Morelli, D'Andrea e Mengali 1997.

<sup>59</sup> Giannetti et al. 1998.

<sup>60</sup> Mengali e D'Andrea 1997.

<sup>61</sup> D'Andrea et al. 1994; Gini et al. 1998.

<sup>62</sup> Morelli et al. 2007.

<sup>63</sup> Pun et al. 07.

con le modulazioni multiportante si sviluppano anche quelle a singola portante, con due novità rispetto al passato: (i) l'alta velocità di trasmissione rende il canale dispersivo in frequenza; (ii) l'uso di codici potenti consente di operare a bassi rapporti segnale/rumore. La sincronizzazione di segnali a singola portante su canali dispersivi è studiata da Morelli et al.<sup>64</sup>; in vari altri contributi scientifici<sup>65</sup> è trattata la sincronizzazione a bassi rapporti segnale/rumore, mentre Caire et al. e Giugno et al.<sup>66</sup> hanno studiato la sincronizzazione per trasmissioni a pacchetto. Con l'aumento della frequenza della portante utilizzata nei sistemi di trasmissione radio il rumore di fase introdotto dagli oscillatori può essere l'ostacolo all'uso di tecniche di trasmissione coerente poiché introduce distorsione nel segnale ricevuto. E' pertanto da evidenziare lo studio che ha permesso di determinare la massima precisione raggiungibile nella stima di frequenza tenendo conto del rumore di fase degli oscillatori<sup>67</sup>.

Si assiste anche allo sviluppo di una nuova tecnologia radio basata sulla trasmissione di impulsi di brevissima durata (dell'ordine del nanosecondo). Questi segnali hanno una banda ultra-larga (UWB) ed hanno interessanti applicazioni sia per uso di comunicazione che di localizzazione di oggetti fissi o mobili. La sincronizzazione dei segnali UWB è studiata in D'Amico, D'Andrea e Mengali<sup>68</sup> mentre il loro impiego nella localizzazione è esaminato da D'Amico, Mengali e Taponnecco<sup>69</sup>.

### **Il contributo italiano alle tecniche di codifica di canale per la correzione degli errori (a cura di SERGIO BENEDETTO)**

La pubblicazione del lungo articolo fondamentale di Claude Shannon<sup>70</sup> ha dato il via ad un nuovo settore di ricerca: la teoria dell'informazione. Nel suo famoso teorema di esistenza, Shannon provò che è possibile trasmettere l'informazione in forma numerica con probabilità di errore tendente a zero, a patto di aggiungere della ridondanza controllata all'informazione (codifica di canale) prima di trasmetterla su di un canale caratterizzato da un adeguato rapporto segnale-rumore minimo. La quantità di ridondanza necessaria dipende dal rapporto segnale-rumore, e determina il *rate* del codice di canale.

Come ogni teorema di esistenza, anche quello di Shannon spronò i ricercatori a trovare il codice in grado di raggiungere, o quantomeno avvicinare, le prestazioni promesse in termini di risparmio di energia trasmessa, vale a dire il guadagno di codifica. Per 45 anni i codici scoperti a più riprese da uno stuolo di ricercatori

<sup>64</sup> Morelli e Mengali 2000; Morelli et al. 2002b.

<sup>65</sup> Barbieri e Colavolpe, 2007b, Chiavaccini e Vitetta 2001, D'Amico et al.; Herzet et al. 2007; Zuccardi Merli e Vitetta, 2008.

<sup>66</sup> Caire et al. 2002; Giugno et al. 2007.

<sup>67</sup> Barbieri e Colavolpe 2007a

<sup>68</sup> D'Amico et al. 2007.

<sup>69</sup> D'Amico et al. 2008; Jourdan et al. 2008.

<sup>70</sup> Shannon 1948.

nel settore della teoria dell'informazione consentirono il progetto e la realizzazione di sistemi di trasmissione numerica sempre più affidabili, utilizzando codici di canale via via più complessi con il progredire della capacità di elaborazione dei circuiti a elevato tasso di integrazione. Tuttavia, nel migliore dei casi, i codici disponibili si fermavano a una distanza considerevole (un paio di decibel) dai limiti di guadagno previsti da Shannon. È il caso dei codici concatenati, studiati da David Forney nella sua tesi di dottorato<sup>71</sup> e utilizzati ampiamente nei sistemi di trasmissione che richiedono un elevato guadagno di codifica.

Parallelemente, l'esigenza di una sempre maggiore efficienza spettrale affiancata a quella di efficienza energetica, portò alla scoperta delle modulazioni codificate a traliccio<sup>72</sup>, nelle quali l'intreccio tra codici di canale e modulazioni utilizzanti un elevato numero di punti conduce al guadagno congiunto di energia e efficienza spettrale. Lo schema risultante, di codifica e modulazione congiunte, presentava una caratteristica non lineare se visto tra le sezioni dell'informazione binaria all'ingresso e le sequenze codificate e modulate all'uscita, rendendone il progetto e l'analisi molto complesse.

In <sup>73</sup>vennero provate per la prima volta le condizioni che rendevano lineare lo schema, consentendo una grande semplificazione delle tecniche di analisi e di progetto, e aprendo la strada all'articolo definitivo di Forney sull'argomento<sup>74</sup>. Le modulazioni codificate a traliccio divennero negli anni '80 il viatico per la costruzione dei modem per la trasmissione ad elevata velocità su doppino telefonico (fino a decine di kbit/s).

Un secondo contributo teorico-pratico fondamentale al progetto dei ricevitori, che ne facilitava la sincronizzazione, venne dalla pubblicazione di Trott et al.<sup>75</sup>, che dettava le condizioni per l'invarianza rotazionale di schemi di modulazione codificata, cioè di sistemi di modulazione che sono insensibili alle ambiguità di fase dei sincronizzatori di portante.

Nel suo articolo<sup>76</sup> Andrew Viterbi propose l'alternativa vincente alle modulazioni codificate a traliccio, separando il codice dalla modulazione mediante l'utilizzazione di un codice binario accoppiato ad un modulatore multilivello tramite un interlacciatore (codifica e modulazione a bit interlacciati, o pragmatica). Tale schema presenta un guadagno di codifica leggermente inferiore a quelli nei quali il codice e la modulazione sono progettati congiuntamente, ma offre il grande vantaggio della flessibilità e la possibilità di accoppiare co-decodificatori binari a qualunque modulazione, aprendo la strada alla tecnica di modulazione e codifica adattativa, mediante la quale un'unica coppia trasmettitore/ricevitore consente di utilizzare valori molto diversi di efficienza spettrale, adattandoli alle condizioni del canale, che in molti sistemi sono variabili con il tempo in maniera più o meno rapida (si veda l'esempio delle trasmissioni cellulari).

<sup>71</sup> Forney, Jr. 1966.

<sup>72</sup> Ungerboeck 1982.

<sup>73</sup> Benedetto et al. 1988.

<sup>74</sup> Forney, Jr. 1991.

<sup>75</sup> Trott et al. 1996.

<sup>76</sup> Viterbi et al. 1989.

Il contributo risolutivo allo studio delle prestazioni e al progetto della codifica e modulazione interlacciate apparve in un contributo di Caire, Taricco e Biglieri<sup>77</sup>, ed è anch'esso un successo importante della ricerca accademica italiana.

Dopo decenni di ricerca infruttuosa di codici in grado di raggiungere il limite di Shannon, nel 1993 venne presentato al congresso IEEE International Communications Conference di Ginevra un articolo scritto da ricercatori pressoché sconosciuti nel campo della teoria dell'informazione<sup>78</sup>. In esso, per via simulativa, senza alcuna spiegazione analitica dei loro comportamenti, si descriveva una tecnica di codifica dai risultati eccezionali, con guadagni di codifica lontani soltanto 0,5 dB dal limite di Shannon. Gli autori davano ai loro codici il nome di turbo codici, a causa dell'algoritmo di decodifica iterativo utilizzato, nel quale l'informazione ottenuta ad una iterazione viene utilizzata per migliorare il rendimento di quella successiva, con un procedimento affine per analogia a quello di un motore turbo.

Il mondo dei ricercatori della teoria dell'informazione fu colto di sorpresa e reagì con un moto di incredulità, dapprima, seguito dal tentativo di spiegare tali prestazioni eccezionali una volta replicate nei loro laboratori. Il successo nel dare una spiegazione analitica alle prestazioni eccezionali dei turbo codici fu ottenuto dalla ricerca italiana da Benedetto e Montorsi<sup>79</sup>, in un articolo dal titolo allusivo, *Unveiling turbo codes*, che è stato citato in circa mille articoli a 14 anni dalla sua pubblicazione.

Successivamente, il gruppo del Politecnico di Torino diede altri contributi fondamentali al settore dei codici ad elevatissime prestazioni, attinenti al progetto di turbo codici<sup>80</sup> e alla generalizzazione delle tecniche di codifica iterative<sup>81</sup>.

Il contributo più importante si trova in Benedetto et al. 1998b<sup>82</sup>, che propone, analizza, e progetta uno schema alternativo ai turbo codici di Berrou e Glavieux<sup>83</sup>, costituito da due codificatori convoluzionali in serie (anziché in parallelo), separati da un interlacciatore. Oltre a consentire prestazioni migliori a bassissime probabilità di errore, tale schema può essere facilmente generalizzato all'analisi e progetto di concatenazioni di parti del ricevitore diverse dal decodificatore, aprendo la strada ad una serie di articoli sulle tecniche iterative nei ricevitori numerici che oggi costituisce un settore di ricerca ricco e autonomo dai codici.

A pochi anni dalla loro scoperta, i turbo codici (e i codici a bassa densità di controlli di parità, LDPC, che offrono prestazioni equivalenti) furono impiegati nella standardizzazione dei più importanti sistemi di telecomunicazioni, quali l'UMTS – Universal Mobile Telecommunications System (cellulare di terza generazione), il DVB-S2 – Digital Video Broadcasting – Satellite second generation (trasmissione televisiva numerica da satellite), il DVB-T2 – Digital Video

<sup>77</sup> Caire et al. 1998

<sup>78</sup> Berrou e Glavieux 1996

<sup>79</sup> Benedetto e Montorsi 1996a.

<sup>80</sup> Benedetto e Montorsi 1996a e Benedetto, Garello et al. 1998.

<sup>81</sup> Benedetto, Divsalar et al. 1998a.

<sup>82</sup> Benedetto, Divsalar et al. 1998b.

<sup>83</sup> Berrou e Glavieux 1996.

Broadcasting – Terrestrial second generation (trasmissione televisiva numerica terrestre), Wi-MAX, e molti altri ancora. L'esigenza di elevatissime velocità di trasmissione, fino ai 100 Gbit/s richiesti dai sistemi in fibra, e la relativa complessità degli algoritmi di decodifica, richiede la realizzazione di decodificatori con un elevato grado di parallelismo. All'analisi teorica dovettero quindi seguire studi sulla realizzazione dei decodificatori utilizzando processori di segnali numerici (DSP – Digital Signal Processing) e circuiti integrati.

Il gruppo del Politecnico di Torino pubblicò contributi importanti per la realizzazione di decodificatori sempre più veloci, legati alla quantizzazione dell'informazione soft del demodulatore<sup>84</sup>, al progetto di interlacciatori flessibili<sup>85</sup>, e alle condizioni per la realizzazione di decodificatori con elevato grado di parallelismo<sup>86</sup>.

Infine, sembra importante citare l'opera di diffusione della comprensione, analisi e progetto dei turbo codici presso la comunità dei ricercatori e degli ingegneri dell'industria in Europa e nel mondo, mediante decine di corsi tutoriali e di educazione permanente offerti in occasione delle più importanti conferenze del settore e tramite organizzazioni specializzate.

## Conclusioni (a cura di SILVANO PUPOLIN)

Le attività di ricerca svolte dalla comunità accademica italiana sono iniziate in modo strutturale negli anni '70 e, in stretta collaborazione con l'industria manifatturiera nazionale, ne hanno accompagnato lo sviluppo e la crescita di prodotti e qualità. Nella seconda metà degli anni '70 è iniziata anche una rapida e sistematica internazionalizzazione delle attività di ricerca accademiche che ha portato i giovani laureati a trascorrere periodi di ricerca presso le più prestigiose università e centri di ricerca mondiali. Di questa collaborazione la ricerca nelle telecomunicazioni è permeata anche dopo la dismissione dell'industria nazionale delle telecomunicazioni e della recente riduzione del numero di centri di ricerca di aziende multinazionali in Italia. La crescita del sistema è stata garantita negli ultimi anni da finanziamenti della UE e da qualche azienda nazionale che opera nelle comunicazioni militari.

L'evoluzione della ricerca nella trasmissione è verso le reti di comunicazioni ed i servizi multimediali che richiedono esperienza di elaborazione numerica del segnale che è stata la base di tutti i sistemi di trasmissione.

In conclusione un ringraziamento speciale va a chi negli ultimi quarant'anni è stato un punto di riferimento fisso per le telecomunicazioni italiane: Guido Vannucchi. Da illuminato dirigente di azienda ha permesso una felice crescita della collaborazione Università-Industria, seguito anche da altre aziende nazionali. Di questa collaborazione hanno beneficiato sia l'Industria manifatturiera italiana

<sup>84</sup> Montorsi e Benedetto 2001.

<sup>85</sup> Dinoi e Benedetto, 2005a e b.

<sup>86</sup> Tarable et al. 2004.

di telecomunicazioni sia l'Università. I suoi stimoli sono ancora oggi presenti nei giovani ricercatori delle università italiane che, con le loro brillanti ricerche e risultati conseguiti permettono all'Italia di occupare ancora una posizione di assoluto prestigio internazionale nelle telecomunicazioni.

## Bibliografia

- Andreucci F e Mengali Umberto, 1978, "Timing Extraction in Optical Transmissions", *Optical and Quantum Electronics*, pp. 445-458.
- Andrisano Oreste, 1984, "The Combined Effects of Noise and Multipath Propagation in Multilevel PSK Radio Links", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 411-418.
- Andrisano Oreste, Bianconi Giovanni, Calandrino Leonardo, 1987, "Adaptive Equalization of High Capacity M-QAM Radio Systems on Multipath Fading Channels", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 457-465.
- Andrisano Oreste, Corazza Giorgio, Immovilli Gianni, 1988, "Adjacent channel and cochannel interferences in CPFSK systems with nonlinear transmitters and limiter-discriminator detection", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 544-552.
- Andrisano Oreste e Barigazzi A., 1990, "Interference effects in high spectrum efficiency M-QAM radio systems", *IEE Proceedings I, Communications, Speech and Vision*, pp. 213-220.
- Baccetti Baccio, Bellini Sandro, Filiberti Gaudenzio, Tartara Guido, 1987, "Full Digital Adaptive Equalization in 64-QAM Radio Systems", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 466-475.
- Barbieri Alan e Colavolpe Giulio, 2007a, "On The Cramer-Rao Bound for Carrier Frequency Estimation in the Presence of Phase Noise", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 575-582.
- Barbieri Alan e Colavolpe Giulio, 2007b, "On Pilot-Symbol-Assisted Carrier Synchronization for DVB-S2 Systems", *IEEE Transactions on Broadcasting*, pp. 685-692.
- Bellato Luigi, Cariolaro Gianfranco, Vannucchi Guido, 1975, "Computer analysis of a digital repeatered line application to the design of a 140Mbit/s regenerative system", in *Proceedings IEEE-ICC'75*.
- Bellato Luigi, Polacco Bruno, Pupolin Silvano, Tamburello Mario, 1979, "Problems in the computer simulation of a fiber optic digital transmission system", in *Proceedings IEEE-ICC'79*.
- Bellini Sandro, Molinari Claudio, Tartara Guido, 1990, "Digital Frequency Estimation in Burst Mode QPSK Transmission", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 959-961.
- Benedetto Sergio e Montorsi Guido, 1996a, "Unveiling turbo codes: some results on parallel concatenated coding schemes", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 409-428.
- Benedetto Sergio e Montorsi Guido, 1996b, "Design of parallel concatenated convolutional codes", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 591-600.

- Benedetto Sergio, Biglieri Ezio, Castellani Valentino, 1987, *Digital Transmission Theory*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs
- Benedetto Sergio, De Vincentiis Girolamo, Luvison Angelo, 1973a, "Error Probability in the Presence of Intersymbol Interference and Additive Noise for Multilevel Digital Signals", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 181-190.
- Benedetto Sergio, DeVincentiis Girolamo, Luvison Angelo, 1973b, "Application of Gauss Quadrature Rules to Digital Communication Problems", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1159-1165.
- Benedetto Sergio, Divsalar Dariush, Montorsi Guido, Pollara Fabrizio, 1998a, "Soft-input soft-output modules for the construction and distributed iterative decoding of code networks", *European Transactions on Telecommunications*, invited paper, pp. 155-172.
- Benedetto Sergio, Divsalar Dariush, Montorsi Guido, Pollara Fabrizio, 1998b, "Serial concatenation of interleaved codes: performance analysis, design and iterative decoding", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 909-926.
- Benedetto Sergio, Garelli Roberto, Montorsi Guido, 1998, "A search for good convolutional codes to be used in the construction of turbo codes", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1101-1105.
- Benedetto Sergio, Marsan Marco Ajmone, Albertengo Guido, Giachin Egidio, 1988, "Combined Coding and Modulation: Theory and Applications", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 223-236.
- Benelli Giuliano, Cappellini Vito, Del Re Enrico, 1984, "Simulation System for Analog and Digital Transmissions", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 77-88.
- Benvenuto Nevio e Tomasin Stefano, 2002, "On the comparison between OFDM and single carrier modulation with a DFE using a frequency-domain feedforward filter", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 947-955.
- Benvenuto Nevio e Tomasin Stefano, 2005, "Iterative design and detection of a DFE in the frequency domain", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1867-1875.
- Benvenuto Nevio, Carnevale Giambattista, Tomasin Stefano, 2007, "Joint Power Control and Receiver Optimization of CDMA Transceivers Using Successive Interference Cancellation", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 563-573.
- Benvenuto Nevio, Tomasin Stefano, Tomba Luciano, 2002, "Equalization methods in OFDM and FMT systems for broadband wireless communications", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1413-1418.
- Berrou Claude e Glavieux Alain, 1996, "Near optimum error-correcting coding and decoding: Turbo codes", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1261-1271.
- Biglieri Ezio, 1973, "A recursive method for computing the coefficients of the Gram-Charlier series", *Proceedings of the IEEE*, pp. 251-252.
- Caire Giuseppe e Elia Carlo, 1997, "A New Symbol Timing and Carrier Frequency Offset Estimation Algorithm for Noncoherent Orthogonal M-CPFSK", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1314-1326.
- Caire Giuseppe, Humblet Pierre A., Montalbano G., Nordio Alessandro, 2002, "Initial Synchronization of DS-CDMA Via Bursty Pilot Signals", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 677-685.

- Caire Giuseppe, Taricco Giorgio, Biglieri Ezio, 1998, "Bit-interleaved coded modulation", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 927-945.
- Capsoni Carlo, Fedi Francesco, Maggiori Dario, Paraboni Aldo, 1981, "A model-oriented approach to measure rain-induced cross-polarization", *Annales des Télécommunications*.
- Cariolaro Gianfranco, 1968, "Time Jitter Caused by Noise in Trigger Circuits", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 535-548.
- Cariolaro Gianfranco, 1978, "Error probability in digital fiber optic communication systems", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 213-221.
- Cariolaro Gianfranco e Pupolin Silvano, 1975, "Moments of correlated digital signals for error probability evaluation", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 558-568.
- Cariolaro Gianfranco e Pupolin Silvano, 1977, "Considerations on Error Probability in Correlated-Symbol Systems", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 462-467.
- Cariolaro Gianfranco, Cucchi Silvio, Molo Francesco, 1982, "Transmultiplexer Via Spread-Spectrum Modulation", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1642-1655.
- Cariolaro Gianfranco, Franco Pierluigi, Midrio Michele, Pierobon Gianfranco, 1995, "Complete statistical characterization of signal and noise in optically amplified fiber channels", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, pp. 1114-1122.
- Cariolaro Gianfranco, Pierobon Gianfranco, Pupolin Silvano, 1982, "Spectral analysis of variable-length coded digital signals", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 473-481.
- Cariolaro Gianfranco, Tronca Giuseppe, 1974, "Spectra of Block Coded Digital Signals", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1555-1564.
- Casoni Maurizio, Immovilli Gianni, Merani Maria Luisa, 2002, "Admission control in T/CDMA systems supporting voice and data applications", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 540-548.
- Chiavaccini Eugenio e Vitetta Giorgio M., 2001, "A Per-Survivor Phase-Estimation Algorithm for Detection of PSK Signals", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 2059-2061.
- Chiavaccini Eugenio e Vitetta Giorgio M., 2004, "Maximum-Likelihood Frequency Recovery for OFDM Signal Transmitted over Multipath Fading Channels", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 244-251.
- Corazza Gian Carlo e Corzani Tullio, 1968, "Studio preliminare sulle guide d'onda per telecomunicazioni a grande distanza", *Relazione FUBW 2 Dp1*, Stabilim. Tipografico Fondazione U. Bordini, Roma.
- Corsi Fabrizio, Galtarossa Andrea, Palmieri Luca, 1998, "Polarization mode dispersion characterization of single-mode optical fiber using backscattering technique", *IEEE Journal of Lightwave Technology*, pp. 1832-1843.
- Corvaja Roberto e Pierobon Gianfranco, 1994, "Performance evaluation of ASK phase diversity lightwave systems", *IEEE Journal of Lightwave Technology*, pp. 519-525.
- Costa Elena e Pupolin Silvano, 2002, "M-QAM-OFDM system performance in the presence of a nonlinear amplifier and phase noise", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 462-472.

- D'Amico Antonio, D'Andrea Aldo Nunzio, Mengali Umberto, 1999, "Feedforward Joint Phase and Timing Estimation with OQPSK Modulation", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, pp. 824-832.
- D'Amico Antonio, D'Andrea Aldo Nunzio, Reggiannini Ruggero, 2001, "Efficient Non-Data Aided Carrier and Clock Recovery for Satellite DVB at Very Low Signal-to-Noise Ratios", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 2320-2330.
- D'Amico Antonio, Mengali Umberto, Taponecco Lorenzo, 2007, "Synchronization for Differential Transmitted Reference UWB Receivers", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 4154-4163.
- D'Amico Antonio, Mengali Umberto, Taponecco Lorenzo, 2008, "Energy-Based TOA Estimation", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 838-847.
- D'Andrea Aldo Nunzio, Mengali Umberto, Moro Maurizio, 1986, "Nearly Optimum Prefiltering in Clock Recovery", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1061-1068.
- D'Andrea Aldo Nunzio, Mengali Umberto, Reggiannini Ruggero, 1994, "The Modified Cramer-Rao Bound and Its Applications to Synchronization Problems", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1391-1399.
- Daino Benedetto, Galeotti Marco, Sette Daniele, 1974, "Error rate measurement in an atmospheric twin-channel optical link", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, pp. 86-87.
- Del Pistoia Andrea, Mengali Umberto, Molpen Roberto, 1982, "Effect of Coding on the Jitter Accumulation in Baseband Digital Transmission", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1818-1827.
- Del Re Enrico e Emiliani Pierluigi, 1982, "An Analytic Signal Approach for Transmultiplexers: Theory and Design", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1623-1628.
- Del Re Enrico, Fantacci Romano, Morosi Simone, Seravalle R., 2003, "Comparison of CDMA and OFDM techniques for downstream power-line communications on low voltage grid", *IEEE Transactions on Power Delivery*, pp. 1104-1109.
- Dinoi Libero e Benedetto Sergio, 2005a, "Variable-size interleaver design for parallel turbo decoder architectures", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1833-1840.
- Dinoi Libero e Benedetto Sergio, 2005b, "Design of fast-prunable S-random interleavers", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 2540-2548.
- Dogliotti Renato e Mengali Umberto, 1977, "Tracking Loops for Carrier Reconstruction in Vestigial Sideband Suppressed-Carrier Data Transmission", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 374-379.
- Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti, 1935, "Radiocomunicazioni", vol. XXVIII, pp. 703-724 (voce a cura di Orso Mario Corbino e Guglielmo Marconi).
- Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti, 1938, Appendice I, "Radiocomunicazioni", p. 956.
- Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti, 1949a, "Radiocomunicazioni", Appendice II, vol. II, pp. 650-656, (voce a cura di Francesco Vecchiacchi).

- Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti, 1949b, "Antenna", Appendice II, vol. I, pp. 188-193, (voce a cura di Giorgio Barzilai e Bruno Peroni).
- Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti, 1960a, "Radiocomunicazioni", Appendice III, vol. II, pp. 558-564 (voce a cura di Ascanio Niutta).
- Enciclopedia Italiana di Scienze Lettere Arti, 1960b, "Radiopropagazione", Appendice III, vol. II, pp. 570-577 (voce a cura di Ivo Ranzi).
- Fedi Francesco e Peroni Bruno, 1974, "The calculation of the hop length of digital radio-relay systems at frequencies above 10 GHz", *Alta Frequenza*.
- Fedi Francesco et al., 1974, "Attenuation: theory and measurements", *Journal de Recherches Atmospheriques*.
- Fedi Francesco, 1972, "Criteria and expected accuracy of the measurements envisaged in the research program underway in Italy", *AGARD Symposium on "Telecommunications aspects on frequencies between 10 and 100 GHz"*, Oslo.
- Fedi Francesco, 1973, "Atmospheric effects on e.m. wave free propagation at frequencies above 10 GHz" (Invited paper), *European Microwave Conference*, Bruxelles.
- Fedi Francesco, 1979, "Rainfall characteristics across Europe", *Alta Frequenza*.
- Fedi Francesco, 1981, "Rain attenuation on earth-satellite links: a prediction method based on point rainfall intensity statistics", *Annales des Télécommunications*.
- Forestieri Enrico e Prati Giancarlo, 1995, "Analysis of delay-and-multiply optical FSK receivers with line-coding and non-flat laser FM response", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 543-556.
- Forney David, Jr., 1966, *Concatenated Codes*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Forney David, Jr., 1991, "Geometrically uniform codes", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 1241-1260.
- Fusco Tilde e Tanda Mario, 2009, "Blind Synchronization for OFDM Systems in Multipath Channels", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 1340-1348.
- Giannetti Filippo, de Gaudenzi Riccardo, Luise Marco, 1998, "Signal Recognition and Code Acquisition for DSP-Based CDMA Receivers", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, pp. 196-208.
- Gini Fulvio, Reggiannini Ruggero, Mengali Umberto, 1998, "The Modified Cramer-Rao Bound in Vector Parameter Estimation", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 52-60.
- Giugno Luca, Zanier Francesca, Luise Marco, 2007, "Burst Format Design for Optimum Joint Estimation of Doppler-Shift and Doppler-Rate in Packet Satellite Communications", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, pp. 54.
- Gloge Detlef e Marcatili Enrique Alfredo Josè, 1973, "Multimode theory of graded-core fibers", *Bell System Technical Journal*, pp. 1563-1578.
- Hasegawa Akira e Tappert Frederick, 1973, "Transmission of stationary nonlinear optical pulses in dispersive dielectric fibers. I. Anomalous dispersion", and "II. Normal dispersion", *Applied Physics Letters*, pp. 118-120 e 121-122.
- Herzet Cédric, Noels Nele, Lottici Vincenzo, Wymeersch Henk, Luise Marco, Moeneclaey Marc, Vanderdorpe Luc, 2007, "Code-Aided Turbo Synchronization", *IEEE Proceedings*, pp. 1255-1271.

- Jourdan Damien B., Dardari Davide, Win Moe Z., 2008, "Position Error Bound for UWB Localization in Dense Cluttered Environments", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, pp. 613-628.
- Kao Charles Kuen e Hockham George Alfred, 1966, "Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies", *Proc. IEE*, pp. 1151-1158, (ristampato in *Notiziario Tecnico Telecom Italia*, suppl. al n. 3, pp. 14-21, 1966).
- Kapron Felix P., Keck Donald B., Maurer Robert D., 1970, "Radiation losses in glass optical waveguides", *Applied Physics Letters*, pp. 423-425.
- Lazzarin Giovanni, Pupolin Silvano, Sarti Augusto, 1994, "Nonlinearity compensation in digital radio systems", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 988-999.
- Luvison Angelo, Mengali Umberto, Giancarlo Pirani, 1981, A Simple Timing Circuit for Optical PCM Repeaters, *Optical and Quantum Electronics*, pp. 309-322
- Marchetti Giovanni e Mengali Umberto, 1972, "Optimum and Suboptimum Synchronizers for Binary FSK Communication Systems", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, pp. 641-647.
- Marcuglia Davide, Alzetta Alessandro, Someda Carlo Giacomo, Bernardi Federico, Trevisiol Daniele, 2005, "Propagazione elettromagnetica anomala per cause meteorologiche e conseguenze sul servizio di telefonia mobile", *Atti Istituto Veneto di SS LL AA*, Tomo CLXIV, pp. 45-59.
- Marsan Marco Ajmone, Benedetto Sergio, Biglieri Ezio, Castellani Valentino, Elia Michele, Lo Presti Letizia, Pent Mario, 1984, "Digital Simulation of Communication Systems with TOPSIM III", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 29-42.
- Mengali Umberto e D'Andrea Aldo Nunzio, 1997, *Synchronization Techniques for Digital Receivers*, Plenum Press, New York.
- Mengali Umberto e Pirani Giancarlo, 1980, "Jitter Accumulation in PAM Systems", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1172-1183.
- Mengali Umberto, 1971, "A Self Bit Synchronizer Matched to the Signal Shape", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, pp. 686-693.
- Mengali Umberto, 1973, "Acquisition Behavior of Generalized Tracking Systems in the Absence of Noise", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 820-826.
- Mengali Umberto, 1975, "Limiting the Impulsive Noise in a PLL", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, pp. 514-518.
- Mengali Umberto, 1977, "Joint Phase and Timing Acquisition in Data Transmission", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1174-1185.
- Mengali Umberto, Pezzani E., 1978, "Tracking Properties of Phase-Locked-Loops in Optical Communication Systems", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1811-1818.
- Monti Carlo e Pierobon Gianfranco, 1985, "Block Codes for Linear Timing Recovery in Data Transmission Systems", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 527-534.
- Montorsi Guido e Benedetto Sergio, 2001, "Design of fixed-point iterative decoders for concatenated codes with interleavers", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 871-882.

- Morelli Michele e Mengali Umberto, 1999, "Joint Frequency and Timing Recovery for MSK Type Modulation", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 938-946.
- Morelli Michele e Mengali Umberto, 2000, "Carrier-Frequency Estimation for Transmissions over Selective Channels", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1580-1589
- Morelli Michele, D'Andrea Aldo Nunzio, Mengali Umberto, 1997, "Feedforward ML-Based Timing Estimation with PSK Signals", *IEEE Communications Letters*, pp. 80-82.
- Morelli Michele, D'Andrea Aldo Nunzio, Mengali Umberto, 2002, "Carrier Frequency Estimation for Space-Diversity Reception over Selective Channels", *IEE Proceedings-Communications*, pp. 58-64.
- Morelli Michele, Kuo C.-C. Jay, Pun Man-On, 2007, "Synchronization Techniques for Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA): A Tutorial Review", *Proceedings of the IEEE*, pp. 1395-1427.
- Morelli Michele, Mengali Umberto, Vitetta Giorgio M., 1997, "Joint Phase and Timing Recovery with CPM Signals", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 867-876.
- Morosi Simone, Fantacci Romano, Del Re Enrico, Chiassai Angela, 2007, "Design of Turbo-MUD Receivers for Overloaded CDMA Systems by Density Evolution Technique", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 3552-3557.
- Morosi Simone, Marabissi Dania, Del Re Enrico, Fantacci Romano, Del Santo Nicola, 2006, "A rate adaptive bit-loading algorithm for in-building power-line communications based on DMT-modulated systems", *IEEE Transactions on Power Delivery*, pp. 1892-1897
- Mucchi Lorenzo, Morosi Simone, Del Re Enrico, Fantacci Romano, 2004, "A new algorithm for blind adaptive multiuser detection in frequency selective multipath fading channel", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 235-247.
- Piazzo Lorenzo e Mandarini Paolo, 2002, "Analysis of phase noise effects in OFDM modems", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1696-1705.
- Pierobon Gianfranco, Pupolin Silvano, Tronca Giuseppe, 1982, "Power Spectrum of Angle Modulated Correlated Digital Signals", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 389-396.
- Pierobon Gianfranco, Tomba Luciano, 1991, "Moment characterization of phase noise in coherent optical systems", *IEEE Journal of Lightwave Technology*, pp. 996-1005.
- Pierobon Gianfranco, Valussi Romano P., 1991, "Jitter analysis of a double modulated threshold pulse stuffing synchronizer", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 594-602.
- Pun Man-On, Morelli Michele, Kuo C.-C. Jay, 2007, *Multi-Carrier Techniques for Broadband Wireless Communications*, Imperial College Press, London.
- Pupolin Silvano e Greenstein Larry J., 1987, "Performance Analysis of Digital Radio Links with Nonlinear Transmit Amplifiers", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 534-546.

- Pupolin Silvano e Tomasi Carlo, 1984, "Spectral Analysis of Line Regenerator Time Jitter", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 561-566.
- Reggiannini Ruggero e Luise Marco, 1995, "Carrier Frequency Recovery in All-Digital Modems for Burst-Mode Transmissions", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 1169-1178.
- Shannon Claude E., 1948, "A mathematical theory of communication", *Bell System Technical Journal*, pp. 379-423.
- Tarable Alberto, Benedetto Sergio, Montorsi Guido, 2004, "Mapping interleaving laws to parallel turbo and LDPC decoder architectures", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 2002-2009.
- Tomasin Stefano e Benvenuto Nevio, 2005, "Frequency-domain interference cancellation and nonlinear equalization for CDMA systems", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 2329-2339.
- Trott Mitchell D., Benedetto Sergio, Garello Roberto, Mondin Marina, 1996, "Rotational invariance of trellis codes-Part I: encoders and precoders", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 751-765.
- Ungerboeck Gottfried, 1982, "Channel coding with multilevel/phase signals", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 55-67.
- Viterbi Andrew J., Wolf Jack K., Zehavi Ephraim, Padovani Roberto, 1989, "A pragmatic approach to trellis-coded modulation", *IEEE Communications Magazine*, pp. 11-19
- Yao Kung e Biglieri Ezio, 1980, "Multidimensional moment error bounds for digital communication systems", *IEEE Transactions on Information Theory*, pp. 454-464.
- Zuccardi Merli Filippo e Vitetta Giorgio M., 2008, "Iterative ML-Based Estimation of Carrier Frequency Offset, Channel Impulse Response and Data in OFDM Transmissions", *IEEE Transactions on Communications*, pp. 497-506.



La rivoluzione dei pacchetti (a cura di MARCO AJMONE MARSAN)

*In principio...*

Molte delle storie che narrano gli albori di Internet iniziano con la data del 4 ottobre 1957, giorno del lancio dello *Спутник-1* (Sputnik-1 in caratteri latini, o Satellite-1 in italiano). Questo capitolo è dedicato al racconto dei primi passi e degli sviluppi della tecnologia delle reti a pacchetto in Italia, ma non può prescindere dalla nascita di questo tipo di reti negli Stati Uniti, quindi da ARPANET e da Internet.

Partiamo allora anche noi da quel giorno di inizio ottobre 1957, in cui l'Unione Sovietica diede dimostrazione delle proprie capacità tecnologiche, lanciando dal cosmodromo di Baikonur su un'orbita ellittica bassa una sfera di alluminio di circa 58 cm di diametro e 80 chili di peso, con 4 lunghe antenne, che per quasi 2 mesi continuò a orbitare, passando sopra le nostre teste ogni circa 90 minuti, trasmettendo a terra segnali di telemetria, che venivano ricevuti da tutti gli osservatori astronomici del mondo e da molti radioamatori (in Italia divennero famosi i fratelli Judica-Cordiglia).

L'entusiasmo che il lancio del primo satellite artificiale della storia produsse nel grande pubblico fu enorme, accreditando l'esplorazione spaziale come una delle grandi sfide tecnologiche dell'umanità per gli anni successivi. Di fondamentale importanza a livello politico fu anche l'affermazione sui media internazionali della supremazia tecnologica dell'Unione Sovietica rispetto agli Stati Uniti. Questo fatto ebbe un impatto particolarmente profondo negli USA, dove vennero immediatamente stanziati ingenti finanziamenti per il sistema pubblico dell'istruzione superiore e della ricerca, con l'obiettivo di ristabilire rapidamente il primato scientifico e tecnologico statunitense.

Tre la numerose iniziative volte a rivitalizzare il sistema della ricerca americano, particolare importanza per la nostra storia ha la costituzione della Advanced Research Projects Agency (ARPA), nel febbraio 1958, in seno al Dipartimento della Difesa (DoD) degli Stati Uniti. I progetti dell'ARPA inizialmente riguardarono soprattutto il settore delle tecnologie spaziali, ma poi furono estesi anche ad altri ambiti. Il primo grande progetto ARPA nel settore dell'informazione fu il famoso *Project MAC*, mediante il quale, nei laboratori del MIT, con il supporto di General Electric e dei Bell Labs, vennero sviluppati i fondamenti

dei sistemi di elaborazione *timesharing*. Il secondo grande progetto nel settore dell'informazione riguardò la sperimentazione di una rete di calcolatori, che dall'agenzia finanziatrice prese il nome: ARPANET.

### *Pacchetti*

Già prima del lancio dello Sputnik-1, alcuni ricercatori statunitensi e inglesi avevano iniziato a riflettere sulla possibilità di collegare più calcolatori in rete, in modo da facilitare lo scambio di dati tra utenti e l'accesso remoto ad elaboratori di grandi capacità. Non è facile identificare tutte le persone che hanno avuto un ruolo pionieristico nel campo delle reti di calcolatori, anche perché lo straordinario successo di Internet ha portato a molte rivendicazioni di paternità (si dice che le sconfitte sono orfane, mentre le vittorie hanno mille padri; Internet è un magnifico esempio del secondo caso). Ci accolleremo comunque i rischi di citare alcune tra le figure più importanti, chiedendo scusa a coloro che non troveranno spazio in queste poche pagine.

Quattro sono le figure principali a cui si può far risalire l'intuizione che il collegamento di calcolatori potesse avvenire più efficacemente mediante una modalità di comunicazione differente da quella in uso nei sistemi telefonici: Leonard Kleinrock, Paul Baran, Joseph Licklider, e Donald Davies.

Leonard Kleinrock, con la propria tesi di dottorato intitolata "Message Delay in Communication Nets with Storage"<sup>1</sup> su cui lavorò al MIT negli anni 1961-62 pose le basi teoriche della commutazione di pacchetto.

Paul Baran, ricercatore presso la RAND Corporation, ebbe l'incarico di studiare sistemi di comunicazione militari in grado di resistere ad attacchi nucleari. Nel suo rapporto "On Distributed Communications"<sup>2</sup> del 1964 propose e simulò una rete di calcolatori a commutazione di pacchetto, arrivando anche a una definizione preliminare di alcuni protocolli di comunicazione.

Joseph Licklider nell'estate del 1962 alla BBN (Bolt Beranek and Newman) scrisse una serie di documenti sul tema di una "Intergalactic Computer Network"<sup>3</sup> che contenevano molti dei concetti che guidarono la realizzazione delle reti a pacchetto; nel mese di ottobre dello stesso anno fu nominato direttore del nuovo *Information Processing Techniques Office* dell'ARPA.

Donald Davies, ricercatore presso il National Physical Laboratory di Teddington, vicino a Londra (lo stesso dove Alan Turing progettò la ACE – Automatic Computing Engine) nel 1965 propose una rete a pacchetto per coprire tutto il territorio nazionale. A lui si deve anche il termine *packet switching* ovvero "commutazione di pacchetto".

L'intuizione che accomuna questi quattro ricercatori sta nel fatto che un nuovo paradigma di comunicazione diventa necessario quando ad interagire non sono esseri umani, come nel caso dei telefoni, ma calcolatori elettronici.

<sup>1</sup> Kleinrock 1961-62.

<sup>2</sup> Baran 1964.

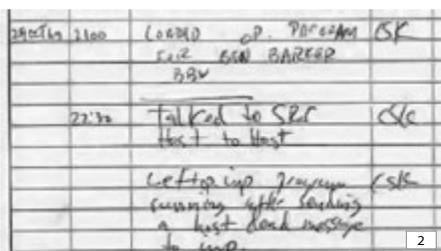
<sup>3</sup> Licklider 1962.

Infatti, mentre le persone comunicano con continuità, i calcolatori elettronici scambiano informazioni in modo intermittente, così che è allo stesso tempo inutile e costoso stabilire un collegamento continuo tra due calcolatori. Meglio è utilizzare un meccanismo analogo al sistema postale, in grado di trasferire da un calcolatore ad un altro un messaggio, anche detto pacchetto di dati, o solo pacchetto, o ancora *datagram*, in analogia al telegramma. Quindi, mentre nel caso del telefono un utente chiede alla rete di essere collegato all'interlocutore prescelto e la rete stabilisce un collegamento continuo tra i due, che rimane in vita per tutto il tempo della conversazione, anche se questa viene interrotta per esempio per cercare una matita per prendere un appunto, nel caso dei calcolatori non servono collegamenti continui. I calcolatori preparano pacchetti dati, che da una parte contengono l'indirizzo del destinatario e dall'altra l'informazione da trasferire, come nel sistema postale la busta contiene l'indirizzo del destinatario e la lettera contiene l'informazione. I pacchetti viaggiano dal calcolatore sorgente, che li ha generati, al calcolatore destinazione, che deve ricevere i dati, attraversando una serie di elementi intermedi, chiamati commutatori, o *router* nel gergo di Internet, il cui ruolo è analogo a quello degli uffici postali, che smistano le lettere verso la destinazione corretta.

I vantaggi che si ottengono con questa nuova tecnica sono molti. Anzitutto, la fase preliminare di apertura del collegamento viene eliminata. Nel caso di una telefonata, questa fase preliminare consiste nella composizione del numero dell'interlocutore e nell'attesa della sua risposta e ha una durata normalmente trascurabile rispetto alla conversazione. Nel caso di una comunicazione tra calcolatori, la fase di trasferimento dati è spesso molto breve; quindi il peso relativo della fase iniziale risulterebbe molto elevato (come per una conversazione telefonica che durasse pochi millisecondi). In secondo luogo, l'eliminazione di un collegamento diretto tra sorgente e destinazione permette di disaccoppiare le caratteristiche dei due interlocutori, creando le possibilità per collegare calcolatori con caratteristiche differenti. La commutazione di pacchetto offre poi tutta una serie di altri vantaggi di tipo troppo tecnico per essere discussi in queste poche pagine, ma comporta anche alcuni innegabili svantaggi, primo tra tutti l'impossibilità di fornire garanzie sulle prestazioni della rete. Gli svantaggi non hanno però ostacolato finora la diffusione di questa tecnologia a molti settori applicativi inimmaginabili un tempo (per esempio lo *streaming* voce e video).

## ARPANET

Robert Taylor, successore di Licklider nella posizione di direttore dell'*Information Processing Techniques Office* dell'ARPA ricevette dal direttore dell'agenzia la promessa di un finanziamento pari a un milione di dollari, se fosse riuscito ad organizzare un progetto per sperimentare una rete di calcolatori a pacchetto. Taylor convinse Larry Roberts, che lavorava al Lincoln Lab del MIT, a preparare un progetto, che fu approvato nel mese di giugno del 1968. Il 7 aprile 1969 il contratto per la realizzazione di ARPANET fu affidato a BBN, che sviluppò gli apparati per la prima sperimentazione (gli IMP – Interface Message Processors



**Figura 1.** Leonard Kleinrock con il primo IMP.

**Figura 2.** Il resoconto del primo esperimento di ARPANET del 29 ottobre 1969.

**Figura 3.** La mappa di ARPANET a fine 1969.

(Fig. 1) – che furono gli antenati dei router odierni), che ebbe inizio lo stesso anno. Il primo trasferimento di dati su ARPANET ebbe luogo il 29 ottobre 1969 (Fig. 2), tramite il collegamento tra un computer del laboratorio di Kleinrock a Los Angeles presso la UCLA e un computer collocato allo Stanford Research Institute (SRI) di Palo Alto, nella zona di San Francisco. Il primo messaggio che fu spedito doveva essere un accesso remoto al computer di SRI e quindi iniziare con la parola “login” ma dopo le prime due lettere il sistema andò in crash. Il problema fu prontamente risolto e il collegamento tra UCLA e SRI divenne operativo pochi giorni dopo.

Può essere interessante osservare come prosegue la correlazione tra la storia delle reti a pacchetto e quella delle esplorazioni spaziali. Se il lancio dello Sputnik-1 fu in qualche modo la causa del finanziamento di ARPA, ed ARPANET diventò operativa nel 1969, il 21 luglio dello stesso 1969 Neil Armstrong fu il primo uomo a posare il piede sulla luna. Mentre però tutto il mondo seguì in mondovisione lo sbarco sulla luna, nessuno era al corrente dei primi esperimenti della rete che sarebbe poi diventata Internet. L’attenzione del mondo era tutta concentrata sulla tecnologia spaziale, che, almeno finora, ha avuto un impatto

molto limitato sulle nostre vite, mentre la nascita della tecnologia che forse ha maggiormente modificato il nostro modo di vivere e lavorare passò sotto silenzio. D’altra parte, se ricordiamo uno dei più famosi film di fantascienza di quegli anni: *2001 Odissea nello Spazio* di Stanley Kubrick, del 1968, possiamo osservare come la vera tecnologia fantascientifica della storia sia quella dell’astronave. Il computer di bordo è un *mainframe*, non un sistema distribuito o una rete, anche se le reti in quegli anni erano una tecnologia molto meno futuribile delle astronavi interplanetarie.

La crescita di ARPANET fu rapida. Dai due nodi del primo esperimento si passò subito a 4, aggiungendo le Università di Santa Barbara e dello Utah che furono collegate a fine 1969 (Fig. 3).

Nel mese di marzo del 1970 fu collegato un IMP presso la sede di BBN, così che la rete raggiunse la costa atlantica degli Stati Uniti. A fine 1970 gli IMP erano 13 (Fig. 4). A metà del 1974 arrivarono a 46. Nel 1978 furono aggiunti 2 canali via satellite per raggiungere le Hawaii attraverso l'oceano Pacifico e l'Europa attraverso l'oceano Atlantico. Nel 1981 si arrivò a 213 IMP (Fig. 5).

L'importanza di ARPANET era ormai evidente ai ricercatori del mondo delle telecomunicazioni e

dell'informatica e i paesi più avanzati iniziarono a sviluppare progetti nazionali per sperimentare questa nuova tecnologia e per collegarsi alla grande rete.

Prima di affrontare il caso specifico della tecnologia delle reti a pacchetto in Italia è però necessario un approfondimento tecnologico sul versante dei protocolli e dei servizi di rete.

### Protocolli e servizi

Il funzionamento di una rete di calcolatori è governato da un insieme di regole che definiscono la sintassi e la semantica dei messaggi, come pure la temporizzazione che lo scambio di informazioni deve rispettare. Queste regole danno origine ad algoritmi, che sono implementati mediante apposite procedure software, chiamate protocolli di comunicazione. I protocolli hanno l'obiettivo di produrre un corretto funzionamento della rete, al fine di garantire i servizi di trasferimento dati con le prestazioni desiderate dal progettista e dagli utenti.

I protocolli di comunicazione di ARPANET prima, e di Internet poi, hanno subito una significativa evoluzione negli oltre 40 anni di vita della rete.

Il primo protocollo di ARPANET fu definito nel rapporto BBN 1882 e prese quindi il nome di *protocollo 1882*. Con esso i computer potevano inviare

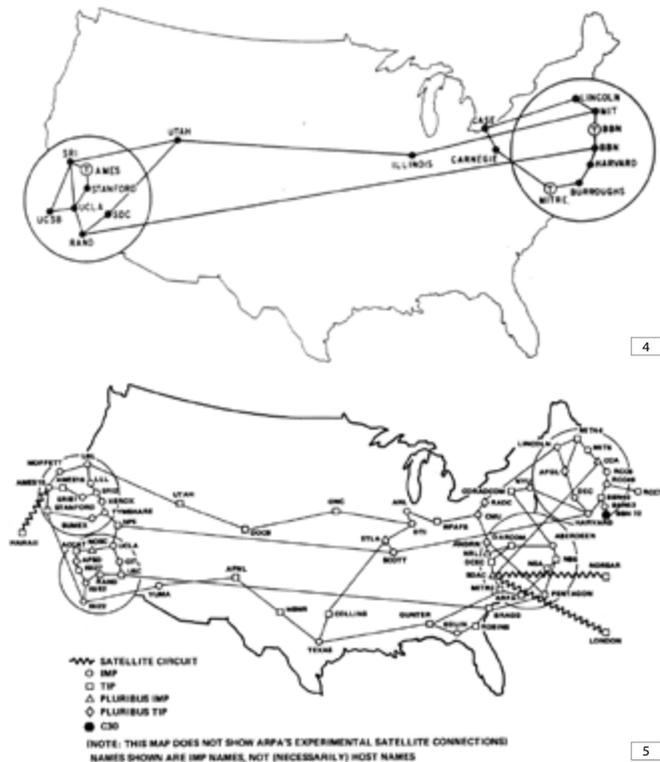


Figura 4. La mappa di ARPANET nel 1971.

Figura 5. La mappa di ARPANET nel 1981.

al proprio interlocutore pacchetti di dimensione massima pari a 8159 bit, il cui formato prevedeva un campo di tipo, un campo di indirizzo e un campo per i dati. Quando il pacchetto veniva consegnato alla destinazione, questa inviava un messaggio di conferma di ricezione alla sorgente, denominato RFSM (Ready For Next Message). Il protocollo 1822 copriva quelli che oggi chiameremmo livelli fisico, collegamento e rete.

La generazione successiva dei protocolli ARPANET è rappresentata da NCP (Network Control Program), sviluppato da Vinton Cerf, che permise la comunicazione tra processi attivi sui calcolatori della rete, aprendo la strada alla implementazione di applicazioni distribuite. NCP rappresenta un antesignano degli odierni protocolli di trasporto e comprendeva due protocolli: *ARPANET Host-to-Host Protocol* (AHHP) e *Initial Connection Protocol* (ICP). AHHP definiva le regole per la trasmissione unidirezionale di dati tra due processi attivi su due calcolatori collegati alla rete e ICP definiva le regole per l'apertura di due flussi unidirezionali tra gli stessi processi. I protocolli applicativi che implementavano ad esempio i servizi di posta elettronica e di trasferimento di file si interfacciavano con NCP e ne utilizzavano il servizio.

La prima specifica del protocollo di trasferimento di file su ARPANET (FTP – File Transfer Protocol) risale al 16 aprile 1971, con la RFC 114 (si chiamano RFC – Request For Comments – i documenti che definiscono gli standard di Internet), mentre il primo protocollo per la posta elettronica in rete (la posta elettronica era un servizio comune già sui calcolatori timesharing) fu realizzato da Ray Tomlinson di BBN nel 1971, proponendo l'uso del carattere @ negli indirizzi. Il protocollo standard per la posta elettronica, SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) fu definito nella RFC 821, di John Postel, del 1982.

Nel 1973 Vinton Cerf e Robert Kahn, con il contributo di altri ricercatori del settore delle reti di calcolatori, svilupparono i protocolli TCP (Transmission Control Protocol) e IP (Internet Protocol), definiti nelle RFC 675 di dicembre 1974, 760 e 761 di gennaio 1980, che sostituirono NCP in tutti i calcolatori di ARPANET a partire dal 1 gennaio 1983.

La posta elettronica e il trasferimento di file rimasero per molti anni le principali applicazioni delle reti a pacchetto, dal momento che i meccanismi di ricerca delle informazioni disponibili sui calcolatori collegati in rete erano estremamente limitati, essendo basati su liste di menu testuali. Con l'applicazione ai meccanismi di ricerca dei concetti relativi agli ipertesti, effettuata da parte di Tim Berners-Lee del CERN, la possibilità di reperire informazioni nella rete ebbe un immediato successo, anche grazie alla implementazione del primo browser grafico (Mosaic, che sarebbe diventato poi Netscape, Mozilla e oggi Firefox) da parte di Marc Andreessen dell'Università dell'Illinois a Urbana-Champaign. L'era del web era iniziata e con lei il grande successo di Internet, che prosegue oggi con gli applicativi di *streaming*, i sistemi *peer-to-peer* e le *social network*.

### *Molte reti*

La prima dimostrazione pubblica di ARPANET all'International Conference on Computer Communications (ICCC) di Washington del 1972 fu un enorme

successo, al punto di stimolare la realizzazione di reti a pacchetto commerciali, la prima delle quali fu Telenet, che iniziò ad operare nel 1974, offrendo il proprio servizio in sette tra le principali città degli Stati Uniti. Molte altre reti a pacchetto per centri di ricerca, università o servizi commerciali vennero in seguito realizzate, spesso con hardware e software incompatibili tra loro. Per questo motivo, nel 1977 l'ISO (International Organization for Standardization) iniziò ad elaborare una serie di standard per i protocolli di reti di calcolatori eterogenee, cioè realizzate con calcolatori di costruttori diversi e quindi basati su hardware e software diversi, a cui fu dato il nome OSI (Open Systems Interconnection). Mentre però gli standard OSI venivano laboriosamente elaborati sulla carta, i protocolli di Internet diventavano uno standard di fatto e conquistavano il mercato.

La definitiva apertura di Internet ad un insieme di reti interconnesse avvenne con l'abbandono del protocollo di instradamento centralizzato EGP (Exterior Gateway Protocol), originariamente sviluppato nel 1982 dalla BBN, con BGP (Border Gateway Protocol), un protocollo di routing distribuito inizialmente definito nel 1989 con la RFC 1105, la cui versione 4 è in uso dal 1994.

I finanziamenti del governo statunitense alla sperimentazione pubblica delle reti a pacchetto continuarono fino al 1995. Quando si stava avvicinando la scadenza, furono molti a prevedere la fine del mondo delle reti a pacchetto, ma la fine del mondo non ci fu (come sempre accade). Anzi, la combinazione delle reti della ricerca con le reti commerciali produsse una ulteriore accelerazione della diffusione delle tecnologie a pacchetto, alla quale stiamo assistendo ancora oggi e probabilmente assisteremo per un po' di tempo ancora.

## I primi passi in Italia (a cura di LUCIANO LENZINI)

### *I primi esperimenti: Rpcnet (1970-1982)*

In ambito scientifico pisano la rete ARPANET cominciò a destare un fortissimo interesse già a partire dal 1970, quando un gruppo di giovani ricercatori (età media 25 anni) del Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico (CNUCE) dell'Università di Pisa – fondato pochi anni prima dal Rettore Sandro Faedo e diretto da Guido Torrigiani – intravide nelle reti di calcolatori un'opportunità straordinaria non solo per svolgere studi e ricerche in un settore scientifico allora di frontiera, ma anche per valutare l'impatto che tale tecnologia avrebbe avuto nel modo di erogare servizio da parte dei centri di calcolo scientifico nazionali.

Per i più giovani è forse utile ricordare che in quel periodo non esistevano né le LAN né i personal computer: il calcolo scientifico veniva erogato da un elevato numero di centri di calcolo dislocati sul territorio Italiano, dotati di grossi elaboratori (i *mainframe*) ai quali il ricercatore si collegava con terminali simili a telescriventi mediante linee commutate prelevate di solito dall'infrastruttura telefonica classica.

L'intuizione di Faedo e Torrigiani, che a distanza di anni risultò vincente, fu proprio quella di avviare al CNUCE un'attività di ricerca sulle reti di calcolatori

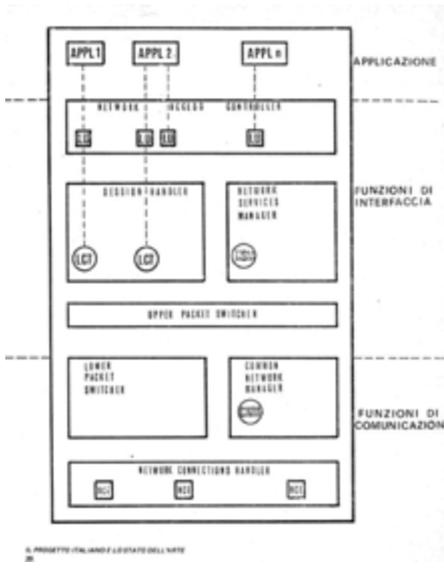


Figura 6. L'architettura di Rpcnet.

e contestualmente di promuovere la collaborazione tra i centri di calcolo, integrando, nel quadro di una rete a commutazione di pacchetto, i servizi da essi individualmente offerti senza però interferire con la normale attività dei singoli centri e, allo stesso tempo, minimizzando le risorse aggiuntive da dedicare al *networking*.

Per poter concretizzare queste intuizioni, in prima istanza il CNUCE avviò una collaborazione con il Centro Scientifico IBM di Pisa diretto da Renzo Marconi. Quattro ricercatori pisani, due del CNUCE (Luciano Lenzini e Renato Matteucci) e due del Centro Scientifico IBM di Pisa (Paolo Franchi e Alessandro Fusi), si trasferirono dal '73 al '74 al Centro Scientifico IBM di Cambridge (Massachusetts,

USA) con l'obiettivo di effettuare studi e ricerche sul computer *networking*. Qui poterono contare sulla collaborazione non solo dell'ambiente scientifico IBM di Cambridge, ma anche di altre istituzioni di ricerca statunitensi. Ricordo in particolare gli scambi di idee del gruppo italiano con i progettisti dell'IBM Watson Research Center di Yorktown Heights che lavoravano all'architettura proprietaria IBM denominata Systems Network Architecture (SNA), con alcuni sviluppatori dell'azienda BBN di Cambridge (Massachusetts, USA) impegnati nella realizzazione dei primi IMP di ARPANET, oltre che con i progettisti della rete Merit sviluppata all'Università del Michigan.

Nel mese di giugno 1974, fu formalizzato l'avvio del progetto REEL (Rete di Elaboratori) fra CNEN (Divisione Gestione Sistema Informativo, Bologna), CNR (Istituto CNUCE<sup>4</sup>, Pisa), CSATA (Centro Studi Applicazioni Tecnologie Avanzate, Bari), Centro Scientifico IBM di Pisa, e i centri di calcolo delle Università di Padova e di Torino per la progettazione e la realizzazione di una rete di calcolatori a commutazione di pacchetto tra i vari centri di calcolo delle suddette istituzioni: nasceva Rpcnet (REEL Project Computer NETwork). La descrizione dell'architettura Rpcnet che ne derivò è riportata in Lenzini e Sommi<sup>5</sup>.

In termini molto generali, possiamo dire che l'architettura di Rpcnet, illustrata in Figura 6, è strutturata in due livelli funzionali: il primo, partendo dal basso, comprende le funzioni di comunicazione, mentre il secondo include le funzioni di interfaccia.

<sup>4</sup> Nato come centro di calcolo dell'Università di Pisa, nel 1974 il CNUCE si trasformò in un Istituto del CNR.

<sup>5</sup> Lenzini e Sommi 1976.

Tra le funzioni di comunicazione meritano di essere menzionate la gestione dei canali fisici tra nodi adiacenti, il forward dei pacchetti e il protocollo di routing, tramite il quale vengono popolate le tabelle di routing e viene gestita la riconfigurazione della rete nel caso di cadute/attivazioni di componenti hardware/software.

Applicazioni residenti su elaboratori diversi scambiano dati attraverso i canali logici resi disponibili dalle funzioni di interfaccia<sup>6</sup>, tra le quali ricordiamo il controllo di flusso, la segmentazione ed il riassettaggio dei blocchi di dati scambiati, il recupero da situazioni di errore ed il controllo del dialogo (half-duplex/full-duplex). Da notare che, dopo alcuni anni, ritroveremo quest'ultima caratteristica

nel livello di sessione del modello OSI. Un'altra caratteristica importante delle funzioni di interfaccia è la gestione di un servizio *connectionless* a livello applicativo (quello che ritroveremo dopo alcuni anni come servizio UDP in Internet) sul quale veniva "mappato" il servizio di messaggistica tra utenti, ovvero quello che oggi viene chiamato servizio di posta elettronica.

Per rendere il progetto REEL visibile a livello nazionale, il 21 ottobre del 1976, CNUCE e Centro Scientifico IBM di Pisa tennero una conferenza stampa a Milano per i giornalisti scientifici italiani; il giorno successivo, a Venezia, si svolse una giornata di studio dedicata alla presentazione dell'architettura e dei protocolli di Rpcnet (Fig. 7): vi presero parte, davanti a un folto pubblico, i principali rappresentanti della comunità scientifica nazionale e delle aziende che in quel periodo operavano nel settore ICT. Per la prima volta veniva presentata una rete nazionale a commutazione di pacchetto interamente progettata ed implementata in Italia.

Alla fine del 1976, il software Rpcnet era già funzionante sui sistemi operativi VM/370 e OS/VS installati sugli elaboratori IBM System/370 di cui erano dotati i partner del progetto REEL. Il minicalcolatore IBM System/7 (con il ruolo di *front end processor*), disponibile presso alcuni centri di calcolo, svolgeva anche il ruolo di concentratore di terminali<sup>7</sup>. Tra il 1976 e il 1978 il software Rpcnet fu reso più affidabile e arricchito di strumenti sia per la misura del traffico tra i nodi della rete sia per la raccolta di altri dati statistici. Nel 1978 la Commissione Generale per l'Informatica del CNR, presieduta da Giuseppe Biorci, decise di sperimentare Rpcnet tra i centri di calcolo dello stesso Consiglio Nazionale



Figura 7. La copertina della cartella che fu distribuita ai partecipanti durante la giornata di studio di Venezia.

<sup>6</sup> Franchi e Fusi 1975.

<sup>7</sup> Lazzeri et al. 1978.

delle Ricerche per attuare la propria politica nazionale di calcolo. Rpcnet contribuì indubbiamente a creare una cultura di *networking* tra i gestori del calcolo in ambito CNR e Universitario e quindi a preparare il terreno che avrebbe, a distanza di qualche anno, facilitato il passaggio alla rete Internet.

L'esperimento, terminato nel dicembre 1982, dimostrò come, grazie a Rpcnet, fosse possibile non solo integrare le risorse hardware e software dei centri di calcolo partecipanti, ma anche, e soprattutto, trasferire preziose conoscenze culturali e professionali dai centri di calcolo più avanzati a quelli di nuova istituzione.

Le applicazioni di file transfer, accesso remoto dei terminali interattivi e di messaggistica, furono usate in misura sempre più elevata dagli utenti Rpcnet come evidenziarono le misure di traffico raccolte in quel periodo. Dovette invece passare molto tempo prima che gli utenti cominciassero ad apprezzare i vantaggi di avere un *mainframe* di media potenza locale, con il quale soddisfare particolari esigenze (editing, messa a punto di programmi, ecc.), oltre alla possibilità di richiedere, tramite Rpcnet, servizi residenti su *mainframe* remoti.

Altri obiettivi di primaria importanza raggiunti nel corso dell'esperimento furono, ad esempio, il test di certe strutture organizzative e la razionalizzazione della distribuzione del software applicativo nei vari centri di calcolo di Rpcnet.

Anche in casa IBM le competenze maturate con la progettazione e lo sviluppo della rete Rpcnet ebbero ricadute interessanti con il progetto PISA (Prototype for Interconnection of Series/1 Applications) fra il Centro Scientifico IBM di Pisa e il Laboratorio di Sviluppo della IBM di Boca Raton (Florida). Il risultato fu la progettazione e lo sviluppo di un prototipo di rete di elaboratori basato su sistemi mini IBM Serie/1, automaticamente riconfigurabile e con ottime prestazioni. I risultati di tale progetto furono presentati in una dimostrazione con un gruppo di 10 sistemi Serie/1 interconnessi fra loro e 20 utenti che lavoravano a terminale e si scambiavano dati e archivi. Le connessioni fra i sistemi venivano cambiate in modo casuale mentre la rete era operativa ma gli operatori continuavano a lavorare senza alcun inconveniente. Nonostante le caratteristiche più che interessanti il prototipo rimase tale data la strategia diversa adottata nel *networking* dalla IBM, nota come Systems Network Architecture o SNA.

### *Lo standard OSI: OSIRIDE (1976-1985)*

Rpcnet assurse al ruolo di elemento caratterizzante del sistema di calcolo CNR, anche se la rete evidenziò presto grossi limiti, sostanzialmente insuperabili se non ricorrendo a un approccio radicalmente diverso. In primis, Rpcnet era realizzato solamente sui sistemi operativi IBM per cui di fatto escludeva dall'inserimento in rete qualunque calcolatore che non fosse prodotto da *Big Blue*. I protocolli di Rpcnet, inoltre, non erano conformi agli standard internazionali OSI (Open Systems Interconnection) dell'ISO (International Standards Organization): standard ormai consolidati e sui quali pesavano il consenso pressoché unanime a livello internazionale da parte dei costruttori di *mainframe* e le concrete aspettative degli utenti. Rpcnet, in particolare, non supportava i protocolli di interfaccia X-25 che, oltre ad essere stati inglobati nell'OSI, erano implementati dalla rete a pacchetto nazionale (ITAPAC) gestita dalla SIP.

Per risolvere questi problemi, il CNUCE, diretto in quel periodo da Gianfranco Capriz, propose al CNR il varo del progetto OSIRIDE (OSI su Rete Italiana Dati Eterogenea) adottando l'architettura e i protocolli dell'OSI per interconnettere i centri di calcolo CNR e Universitari italiani.

Siamo nel 1982. È bene sottolineare che già dal 1976 (anno in cui terminò la realizzazione di Rpcnet) un folto gruppo di ricercatori del CNUCE (con il cappello dell'UNIPREA) collaborava attivamente a livello internazionale alla definizione dell'architettura e dei protocolli dell'OSI. OSI sembrò pertanto la decisione più ovvia, in linea con le scelte che molte altre nazioni europee ed extraeuropee avevano fatto o si apprestavano a fare.

In base alle esigenze degli utenti del mondo scientifico italiano (ben note a seguito dell'esperienza Rpcnet) e dopo aver contattato le manifatturiere di elaboratori installati nel CNR per accertare la disponibilità di prodotti OSI, il team OSIRIDE selezionò, per ogni livello dell'architettura, i protocolli ritenuti utili per la comunità scientifica nazionale. Per i primi tre livelli in particolare fu, ovviamente, scelta l'X.25 di ITAPAC in modo da consentire ai vari centri di calcolo di comunicare tra loro attraverso i circuiti virtuali X.25 mentre per il livello applicativo furono scelti i protocolli di file transfer o FTAM e di posta elettronica o X.400. I dettagli delle scelte effettuate in quel periodo sono descritti in Caneschi et al.<sup>8</sup>.

Dopo alcuni test preliminari, il team di OSIRIDE si accorse ben presto che elaboratori di costruttori diversi non riuscivano a dialogare tra loro nonostante i rispettivi costruttori avessero dichiarato la conformità dei prodotti alle specifiche dei protocolli OSI. Ciascuna azienda, interpellata, finì per scaricare sulle imprese concorrenti ogni responsabilità. Per superare questa situazione di stallo fu attivata, nell'ambito del progetto OSIRIDE, l'iniziativa OSIRIDE-Intertest, con l'obiettivo di valutare la interoperabilità dei prodotti OSI forniti da sei costruttori (Bull, Digital, Hewlett-Packard, IBM, Olivetti, Unisys) i cui elaboratori erano presenti nei centri di calcolo CNR e universitari. Oltre ai sei costruttori, aderirono all'iniziativa anche la società Tecsiel del gruppo IRI-Finsiel (diretta in quel periodo da Gianfranco Capriz, ex direttore del CNUCE) e la SIP. TECSIEL, presente a Pisa con una filiale di 150 dipendenti (prevalentemente laureati), era specializzata nello sviluppo di protocolli di rete mentre la SIP aveva la responsabilità di gestire ITAPAC.

Questo approccio dava per scontato che ciascun partner di OSIRIDE avesse verificato la conformità dei propri prodotti all'OSI tramite, ad esempio, un centro di test. In alternativa, in OSIRIDE-Intertest fu effettuata la progettazione e l'implementazione di una architettura e di una metodologia di intertest tramite le quali il software OSI fornito dai costruttori, installato presso i centri di calcolo, potesse essere sollecitato con decine di migliaia di sequenze predefinite di servizi OSI (ad esempio, apertura di una connessione, invio dati, chiusura della connessione) o scenari di test. Da notare che tali scenari, definiti dai progettisti, potevano essere sia corretti (conformi cioè all'OSI) che errati: in quest'ultimo caso, il software OSI

<sup>8</sup> Caneschi et al. 1986.

doveva ovviamente segnalare un errore. Il log dei test effettuati sul software OSI dei costruttori veniva poi confrontato automaticamente (utilizzando strumenti software) con i risultati previsti dall'OSI. Ogni qual volta si presentava un *mismatch*, i team locali dei costruttori intervenivano per cercare di risolvere il problema, spesso legato a un'interpretazione errata dello standard. Di frequente, durante la fase di *debug*, venivano coinvolti anche i laboratori di sviluppo del software OSI dei costruttori, localizzati in tutto il mondo. In alcuni casi furono invece scoperti degli errori negli standard per cui il CNUCE segnalò i medesimi ai comitati di standardizzazione dell'OSI affinché apportassero le modifiche necessarie. I dettagli di OSIRIDE-Intertest sono descritti in Lenzini e Zoccolini<sup>9</sup>.

Fu davvero sorprendente registrare come OSIRIDE-Intertest contribuì a rilevare centinaia di bug nei prodotti OSI rilasciati dai costruttori. Le aziende, prima dell'attivazione del progetto, erano convinte che il loro software fosse perfettamente conforme agli standard OSI, in quanto validato nei propri centri di test: nessuno dei costruttori volle mai rendere pubblico il documento che descriveva i bug scoperti e il CNUCE, che gestiva il documento, rispettò rigorosamente tale decisione.

A prescindere dai risultati, l'esperienza di OSIRIDE-Intertest si rivelò comunque preziosissima per me e per i miei colleghi del CNUCE. L'ambiente squisitamente tecnico, l'atmosfera socievole e collaborativa rendevano straordinaria ogni riunione con i tecnici delle aziende costruttrici e proficui i tentativi di risolvere i problemi localmente man mano che si presentavano.

In particolare, la relazione tra il laboratorio Tecsiel a Pisa ed il gruppo OSIRIDE del CNUCE è stata una delle più efficaci, esemplare per la stretta collaborazione (facilitata anche dalla vicinanza delle sedi, ma principalmente dovuta alla comunanza di interessi), pur nella accurata separazione dei compiti; compiti di suggeritori tecnico-scientifici e di controllori, svolti pubblicamente entro il CNUCE e di realizzatori di prodotti a fronte di commesse (richiedenti spesso riservatezza, talvolta molto stretta) svolti presso il laboratorio Tecsiel. Per qualche anno le commesse (affidate da molti costruttori mondiali di sistemi di elaborazione) hanno fornito una porzione cospicua del fatturato Tecsiel. Inoltre la collaborazione ha consentito la formazione rapida di una schiera di esperti assunti tra neolaurati di Ingegneria e Scienze dell'Università di Pisa.

La *Cooperation for Open Systems International*, la più grande organizzazione mondiale OSI costituita da tutti i costruttori di elaboratori, inserì OSIRIDE nel novero dei sei progetti OSI più interessanti a livello mondiale.

Nel 1986, dopo che il software OSI fu accuratamente testato nell'ambito di OSIRIDE-Intertest, si diede inizio alla pianificazione delle installazioni nei vari centri di calcolo coinvolti. Ma due eventi cruciali, avvenuti in quel periodo, decretarono la fine prematura del progetto: da una parte, l'insorgere di una crisi economica a livello mondiale, indusse i costruttori a non investire ulteriormente sui prodotti OSI; dall'altra, la scintilla di Internet e dei suoi servizi di telnet, file transfer e posta elettronica, fino a quel momento confinata negli ambienti

<sup>9</sup> Lenzini e Zoccolini 1986.

scientifici e militari, scoccò e quindi pervase rapidamente la società civile. Ciò indusse il CNUCE (e quindi il CNR) a rivedere la propria politica di *networking*: scartando la scelta OSI a favore del TCP/IP.

### *La rete via satellite: STELLA (1978-1983)*

In Europa la progettazione, realizzazione e sperimentazione della prima rete a pacchetto via satellite, denominata STELLA (Satellite Transmission Experiment Linking Laboratories), iniziò nel 1978 su richiesta e con il finanziamento dei fisici delle alte energie che in quel periodo effettuavano esperimenti sulle particelle elementari al CERN di Ginevra.

Le motivazioni che favorirono la nascita e lo sviluppo di STELLA vanno ricercate nella natura stessa degli esperimenti svolti dai fisici con l'acceleratore di particelle del CERN. Tali esperimenti di norma comportano la raccolta di enormi quantità di dati generati al CERN durante l'esecuzione degli esperimenti ed elaborati da gruppi di fisici dislocati in varie nazioni europee; l'assenza di un servizio di trasmissione dati ad altissima velocità tra il CERN e tali laboratori complicava notevolmente l'elaborazione dei dati sperimentali. Allora, infatti, i dati prodotti al CERN venivano memorizzati su nastri magnetici e successivamente trasportati nei singoli laboratori nazionali utilizzando metodi di trasporto convenzionali (macchina, treno, aereo, ecc.). Tale organizzazione del lavoro innescava l'ennuplicazione dei dati e dei programmi di elaborazione e un numero elevatissimo di trasferte dei gruppi di ricerca, con il risultato di precludere ai fisici non presenti al CERN la possibilità di seguire l'evoluzione temporale degli esperimenti e, quindi, il periodo più stimolante dell'esperimento. Per questi motivi il CERN mostrò un grande interesse alla proposta dell'ESA di utilizzare l'Orbital Test Satellite (OTS) per implementare un servizio dati ad alta velocità (2 Mbps) tra il CERN ed i laboratori di cinque istituzioni di ricerca: l'INFN (Pisa e Frascati) in Italia; il laboratorio di Rutherford (RL) in Inghilterra; il laboratorio di Desy, in Germania; l'University College (UC) of Dublin, EIRE; la Technical University (TU) of Graz, in Austria.

Nel 1978, tali istituzioni formalizzarono, assieme al CERN e l'ESA, la loro adesione al progetto STELLA nell'ambito del quale si formarono tre gruppi distinti ma in costante collaborazione: ESA, UC Dublin e TU Graz focalizzarono la loro attività di ricerca sui sistemi di antenna e di radio-frequenza oltre che sui sistemi di misura del canale satellitare; CERN, CNUCE e RL si dedicarono alla progettazione e allo sviluppo dell'architettura, dei protocolli e dell'hardware della rete packet switching via satellite OTS; infine, i fisici delle alte energie giocarono ovviamente il ruolo di utilizzatori dei servizi resi disponibili dal progetto. Da notare che l'INFN, non avendo esperienza nel settore del *networking*, coinvolse nello STELLA l'Istituto CNUCE del CNR il quale assunse la leadership nella progettazione e sviluppo della parte relativa al *networking*.

Ciascun partner del progetto si equipaggiò con un minicalcolatore PDP/11, denominato LDC (Link Data Computer) al quale si collegavano in sequenza il CIM (Communications Interface Module) che implementava il protocollo MAC di accesso al satellite (progettato dal CNUCE), il *modem* e un'antenna

satellitare del diametro di 5 metri. In Italia, l'antenna fu installata nel cortile del CNUCE, a Pisa. L'hardware del CIM fu progettato e realizzato dal CERN mentre il *modem* fu realizzato da Marconi e GTE su specifiche fornite dall'ESA. In ciascun laboratorio, l'LDC era collegato ad (almeno) una Local Area Network alla quale si collegavano inoltre uno o più *mainframes*.

In Italia il progetto fu possibile grazie al finanziamento dell'INFN, e alla sua capacità di persuadere Telespazio a installare l'antenna OTS al CNUCE dove venne effettuato lo sviluppo del software per l'intero progetto e la sperimentazione dei fisici italiani.

La prima fase del progetto STELLA, che da ora in avanti indicheremo con STELLA/I, si concluse all'inizio del 1981. L'architettura di STELLA/I era simile a quella di Satnet, ma con un protocollo MAC per l'accesso delle stazioni al canale via satellite molto più semplice. In particolare, il MAC apparteneva alla classe dei protocolli TDMA con trama dove, una piccola porzione della trama medesima veniva utilizzata in contesa (S-ALOHA) dalle varie stazioni per effettuare richieste di banda. Il servizio offerto da STELLA/I ai fisici fu il trasferimento di file tramite il quale archivi di grossa dimensione residenti su dischi o su nastri potevano essere trasmessi alla velocità di 1 Mbps tra i laboratori europei dei vari partner del progetto. I dati da trasferire dovevano però risiedere sui mini elaboratori (LDC) dislocati presso le stazioni di terra. In attesa che il satellite OTS fosse operativo per la sperimentazione, il software e l'hardware di STELLA/I vennero affinati (*debugged*) dal gruppo del CNUCE utilizzando il (glorioso) satellite Italiano SIRIO con apparecchiature messe a disposizione della Telespazio presso le stazioni del Fucino e di Gera Lario.

La seconda fase del progetto o STELLA/II, che ebbe inizio subito dopo la conclusione di STELLA/I e si concluse nel 1983, costituì l'evoluzione di STELLA/I in due direzioni. Da una parte, la progettazione e la realizzazione dell'applicazione di "Remote Control Room" tramite la quale fu dimostrato che i ricercatori dei laboratori remoti potevano seguire l'evoluzione dell'esperimento effettuato presso l'acceleratore di particelle al pari dei loro colleghi presenti al CERN. Dall'altra, l'interconnessione di STELLA/I con reti locali e reti a copertura geografica estesa in modo da rendere fruibile il servizio della "Remote Control Room" e degli altri servizi da parte di istituzioni distanti rispetto alle stazioni di terra. A tale scopo il gruppo del CNUCE progettò e implementò un protocollo di interconnessione funzionalmente equivalente al protocollo IP che in quel periodo era in fase di sperimentazione negli USA.

Nell'ambito del progetto STELLA/II furono interconnesse tre reti: CERNET (installata al CERN e in Italia fra il CNUCE e la sede INFN di Pisa), Cambridge Ring (installata al CERN e al CNUCE) ed EURONET di tipo X.25 (fra il CNUCE, il CCR di Ispra e UCD). I dettagli sul progetto sono descritti in Celandroni et al.<sup>10</sup>.

Il progetto STELLA/II fu ufficialmente presentato alla comunità scientifica europea con una dimostrazione tenutasi al CNUCE nell'ottobre del 1983,

<sup>10</sup> Celandroni et al. 1983.

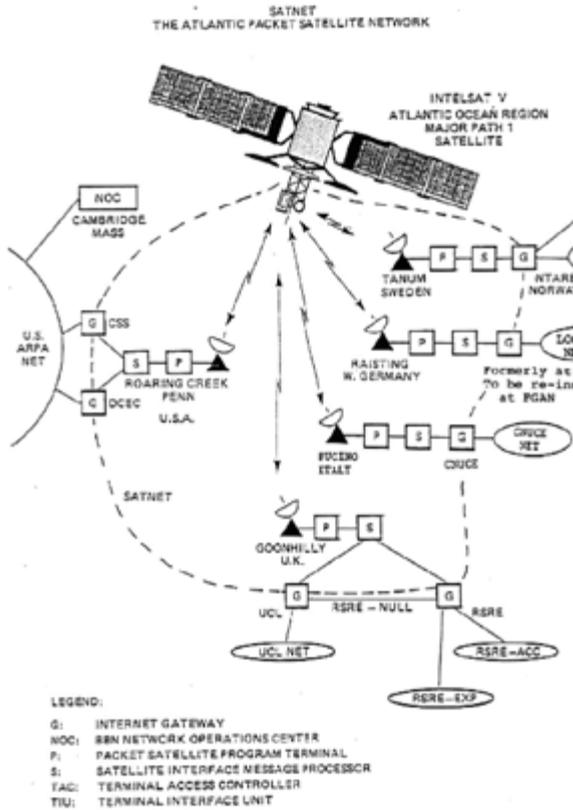
presenti i rappresentanti dei principali centri di ricerca europei. Fu davvero emozionante assistere “in diretta” a Pisa allo svolgimento di un esperimento di fisica delle alte energie in corso al CERN, ad oltre cinquecento chilometri di distanza. I partecipanti alla dimostrazione potevano osservare gli stessi grafici e dati che venivano osservati dai ricercatori presenti al CERN.

### *Internet in Italia*

Il progetto STELLA consentì al gruppo del CNUCE di stabilire una fitta rete di contatti con lo University College of London (che in quel periodo lavorava ad un progetto britannico simile a STELLA/II, denominato Universe) e con i ricercatori impegnati in un esperimento simile nell’ambito del dipartimento della Difesa degli USA: Satnet. In tale terreno così fertile per quanto riguarda il *networking* si inserì in modo del tutto naturale l’esperienza Internet.

La svolta giunge alla fine degli anni ’70 e porta il nome di Robert Kahn e Vinton Cerf, i padri del protocollo TCP/IP, insigniti per questo nel 2004 del Turing Award (equivalente al premio Nobel per l’informatica). Bob Kahn, dopo aver sperimentato i protocolli TCP/IP nelle varie istituzioni statunitensi già collegate dalla rete ARPANET, decise di estenderne la sperimentazione anche ad alcuni istituti di ricerca europei con significativa esperienza nel settore del *networking*. In Italia la scelta cadde proprio sul CNUCE, in virtù del ruolo pionieristico svolto dai suoi ricercatori nel campo delle reti a pacchetto, per l’assoluta rilevanza del progetto STELLA e per la visibilità internazionale dell’istituto. Dopo lo University College of London e il centro di ricerca norvegese NTE, anche il CNUCE entrò dunque nel progetto nello stesso periodo in cui entrò il DFVLR (Agenzia spaziale della Germania Ovest). Attraverso un collegamento USA/Italia via satellite sul Fucino, a sua volta collegato con una linea velocissima (64 kbps) su Pisa, fu di fatto realizzato il primo nodo Internet d’Italia. Proprio a Pisa.

In realtà il percorso non è stato così lineare. Un episodio, in particolare, può aiutare a comprendere le difficoltà che abbiamo incontrato nel nostro cammino di ricerca. Bob Kahn venne a Pisa per tracciare con me la configurazione del primo nodo Internet italiano. Concordata la piattaforma hardware e software, inviai l’ordine al CNR. Dopo un anno giunse la risposta positiva per l’acquisto: ma, praticamente in contemporanea, il Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti ci segnalò che software e hardware erano da considerarsi ormai obsoleti per il salto tecnologico che aveva già investito il settore. In particolare si rendeva necessario implementare un nuovo *router* di concezione innovativa, l’ormai celebre butterfly gateway, i cui costi erano ovviamente elevati. La sostituzione dell’hardware era da considerarsi obbligatoria. A distanza di alcuni giorni partecipai a Washington D.C. all’International Cooperation Board (ICB), il gruppo di lavoro che allora guidava l’evoluzione internazionale di Internet. In quell’occasione annunciavo pubblicamente che non eravamo in grado di far fronte alla sostituzione dell’hardware – l’approvazione del nuovo ordine avrebbe forse richiesto un altro anno, con il rischio concreto di subire un nuovo salto tecnologico – e che, di conseguenza, ci saremmo ritirati dal progetto. Bob Kahn, membro del comitato, chiese l’interruzione immediata dei lavori; durante il coffee-break lo vidi con-



**Figura 8.** La connettività Satnet tra Europa e USA.

fabulare febbrilmente con gli altri membri del board, tra i quali lo stesso Vint Cerf. Alla ripresa dei lavori, Bob prese la parola e mi disse: “Luciano, il butterfly gateway sarà finanziato dal Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti”. Fu un gesto importantissimo, senza il quale la sperimentazione non sarebbe nemmeno potuta iniziare (Fig. 8).

Il collegamento del primo nodo Italiano ad Internet costituì indubbiamente un evento importante per i ricercatori del CNUCE. Primo perché consentì loro di partecipare alle riunioni di organismi internazionali quali l’ICB precedentemente nominato nel quale si pianificava lo sviluppo di Internet. Secondo

perché i ricercatori pisani entrarono in contatto con i colleghi statunitensi e britannici che partecipavano alla sperimentazione dei protocolli TCP/IP con i quali si svilupparono proficue collaborazioni.

Per dovere di cronaca bisogna però dire che in quel periodo Internet era nota soltanto agli addetti ai lavori. Infatti, c’era tantissimo da fare sul fronte della divulgazione e della “sensibilizzazione”, anche negli ambienti di ricerca. Ricordo ad esempio che – alcuni anni dopo il meeting di Washington D.C., e quindi con il CNUCE già attivo in Internet – incrociai durante una conferenza l’allora presidente del CNR. “Lenzini – mi disse – sono appena stato negli Usa. Hanno una rete splendida: anche il CNR deve assolutamente farne parte”. Non potei che rispondere: “Presidente, veramente è da un anno e mezzo che siamo collegati a Internet”. Sorrise, piacevolmente colpito da questa notizia (Fig. 9).

Proprio a seguito della proficua collaborazione che si instaurò tra i ricercatori pisani, Robert Kahn e Vinton Cerf, nel maggio del 2006 i due scienziati furono insigniti dal Rettore dell’Università di Pisa della Laurea Honoris Causa in Ingegneria Informatica ([http://www.unipi.it/ateneo/comunica/cerimonie/honoris/laureahc.htm\\_cvt.htm](http://www.unipi.it/ateneo/comunica/cerimonie/honoris/laureahc.htm_cvt.htm)).

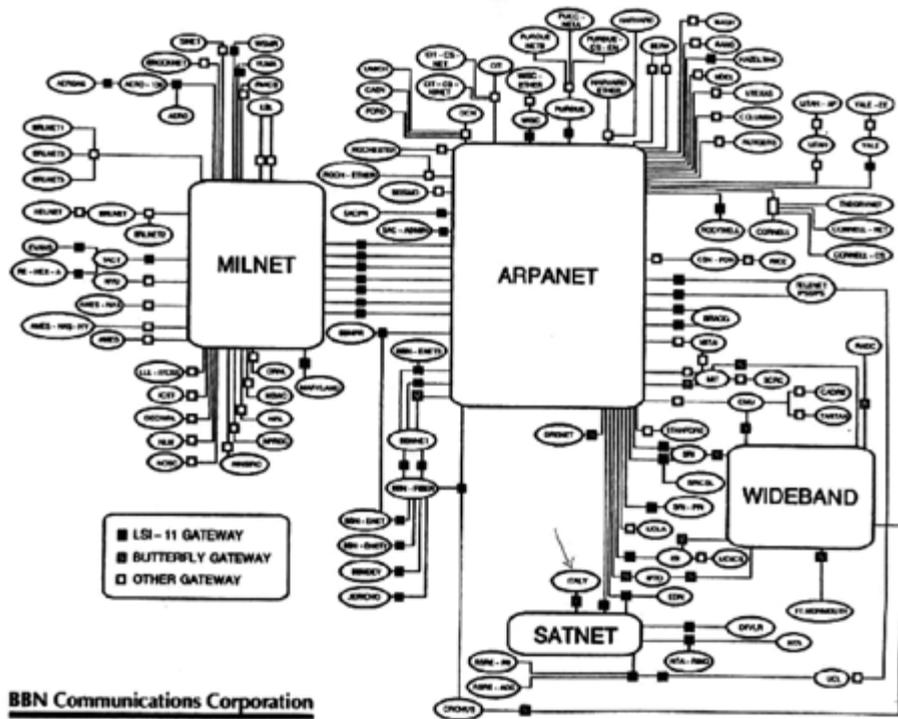


Figura 9. Mappa di Internet del 1987.

## Le reti commerciali in Italia (a cura di FRANCO GUADAGNI)

### *Reti dati e rete telefonica*

Negli anni '70, la possibilità di utilizzare la già estesa, capillare e matura infrastruttura della rete telefonica per trasportare bit tra sistemi distanti tra loro fu naturalmente ben presto intuata sia dal nascente mondo dell'informatica sia da quello della telefonia. Fu subito evidente tuttavia, come già accennato, che la modalità telefonica di comunicazione, la quale comportava una connessione permanente tra due punti per tutto il tempo necessario al trasferimento dei dati, sarebbe stata molto antieconomica tenuto conto delle esigenze specifiche della comunicazione tra computer. Per comprendere l'evoluzione delle reti dati commerciali degli anni '80-'90, soprattutto in Europa ed in Italia ove il mondo informatico non era così avanzato come negli Stati Uniti, è utile fare qualche premessa di carattere sia teorico-tecnico che economico-culturale.

### *Qualche considerazione di carattere tecnico: telefono o posta?*

Dal punto di vista teorico c'è da dire che, per quanto tutti abbiano subito abbracciato le teorie della trasmissione a pacchetto per ottimizzare l'utilizzo delle

linee in presenza di trasmissioni discontinue (in inglese *bursty*), la diatriba se queste trasmissioni dovessero essere più simili alle telefonate (*connection oriented*) o agli scambi via posta (*connectionless*) si trascinò per lungo tempo. Ancora ai giorni nostri essa non è completamente sedata (anche se a livello pratico IP, il protocollo *connectionless* su cui si basa Internet, si è ormai definitivamente imposto). Infatti i protocolli *connection oriented* sarebbero teoricamente migliori proprio per applicazioni quali la visualizzazione di *streaming* video/audio, la televisione interattiva, il download di grandi masse di dati, applicazioni che hanno visto recentemente una esplosione di utilizzo.

Nelle reti a pacchetto, pur essendo la trasmissione dei dati affidata comunque a pacchetti di *byte* che attraversano la rete in maniera discontinua, le modalità di indirizzamento e commutazione possono essere molto diverse.

Nel caso di reti *connectionless*, come quelle basate su protocollo IP, ogni pacchetto dati contiene le informazioni necessarie al suo istradamento (*routing*), rendendolo indipendente da ogni altro pacchetto, anche da quelli appartenenti alla stessa sessione logica (ad esempio la trasmissione dello stesso *file*). Nel caso simile alle telefonate, invece, solo per il primo pacchetto da trasmettere i nodi della rete lavorano per trovare l'istradamento corretto sulla base dell'indirizzo destinatario. I pacchetti successivi appartenenti alla stessa connessione logica "seguono la scia" lasciata dal primo pacchetto in rete, rendendo molto più semplici, e quindi più rapide, le operazioni di commutazione nei nodi intermedi.

Senza entrare nel merito tecnico, c'è consenso sul fatto che il primo tipo di trasmissione sia più adatto a comunicazioni dati tra computer, e ad alcuni servizi applicativi tipo posta elettronica o navigazione sul Web, e che il secondo abbia migliori prestazioni per gli scambi di grossi volumi di dati che vanno tutti da un punto ad un altro della rete (es. trasferimento di *file* molto grandi o trasmissione in tempo reale di audio o video). Quale che sia la risposta teoricamente corretta, ammesso che esista, ai fini di questa breve narrazione vale la pena sottolineare un paio di fatti che spiegano quanto poi è accaduto nel mondo delle reti commerciali:

- Per ragioni sia teoriche che di requisiti di base, ARPANET e la sua evoluzione verso Internet (che, non è da dimenticare, fu sovvenzionata sin dalla nascita e, in maniera parziale se pur sostanziosa, fino al 1995, dal dipartimento della difesa americano) sono state basate su protocolli *connectionless*. Come già ricordato infatti uno dei requisiti base per una rete che avrebbe dovuto servire anche scopi militari era la *resilience* della rete, cioè la sua resistenza ad eventi traumatici. I protocolli *connectionless* ben si adattano a questo requisito, vista la rapida riconfigurazione della rete e la limitata conseguenza su connessioni in atto in caso di catastrofi. Nel caso di una rete *connection oriented* **tutte le comunicazioni** in atto sono infatti coinvolte nell'evento, e devono essere abbattute e ristabilite, mentre se i pacchetti di dati sono indipendenti solo i **pacchetti** in viaggio al momento del trauma possono subire danni, ma le comunicazioni *end-to-end* rimangono attive. Per questo i protocolli ARPA e l'ormai inossidabile Internet Protocol (IP), da essi derivato erano e rimangono *connectionless*.

- Per ragioni sia teoriche che culturali, il mondo della telefonia alla fine degli anni '70 fece una scelta diversa. In quel tempo (si tratta pur sempre del secolo scorso) le società telefoniche, rigorosamente statali, usavano riunirsi in un consesso internazionale chiamato CCITT (*Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique*) che, parallelamente al già citato ISO, standardizzava tutto ciò che riguardava il mondo dei telefoni, dalla numerazione fino alle interfacce ed ai protocolli di comunicazione. Qui, in parziale collaborazione con lo stesso ISO veniva standardizzato il modello OSI (*Open Systems Interconnection*) per le comunicazioni tra calcolatori, ma nel CCITT era già stata fatta una scelta di campo netta per iniziare a costruire le reti di trasmissione dati, optando per un protocollo chiamato X.25 che, pur essendo a pacchetto (con pacchetti in verità molto piccolini!) abbracciava una filosofia di instradamento *connection oriented*, in tipico stile telefonico!

### *Qualche considerazione di carattere economico: i circuiti dalle uova d'oro*

Uno sguardo alle prime architetture di ARPANET, riportate nelle pagine precedenti, ci suggerisce un'altra considerazione: quelle reti magliate a livello continentale non sono state costruite ad hoc, ma hanno sfruttato una infrastruttura esistente per i *link* a lunga distanza, mettendo poi i nodi di commutazione (*router*) nelle sedi, ed a spese degli utilizzatori: i centri di calcolo interconnessi. I collegamenti a lunga distanza in realtà non erano che segmenti di rete telefonica affittati da AT&T, la compagnia telefonica statunitense.

Qui si intravede quello che costituirà per oltre vent'anni il dubbio amletico delle compagnie di telecomunicazioni, anche dette *Telco*: meglio costruire reti dati o affittare collegamenti diretti?

In fondo, se c'era un mercato per le reti di calcolatori, soprattutto nell'epoca in cui i personal computer erano di là da venire, questo poteva solo essere costituito da grandi aziende (o equivalenti quali università o centri di ricerca) che avevano la necessità di interconnettere i propri centri di calcolo. La compagnia telefonica poteva dunque affittare a caro prezzo i collegamenti a lunga distanza (poco interessava se sfruttati in maniera intelligente o meno, anzi), e lasciare agli utilizzatori gli investimenti ulteriori necessari (concentratori, *routers* ed apparati terminali).

Per oltre due decenni questo modo di ragionare, per quanto miope, risultò vantaggioso: alle aziende interessava soprattutto avere collegamenti affidabili e fissi tra le varie sedi, piuttosto che interfacciarsi ad una rete dati pubblica che, a fronte di maggiori rischi (ad esempio intercettazione dei dati), non forniva valore aggiunto poiché le comunicazioni dati tra aziende diverse erano ancora in gran parte solo una prospettiva teorica futura. Ancora oggi il mercato delle cosiddette Intranet, le reti che collegano sedi della stessa azienda, è ben consistente e remunerativo se paragonato a quello delle connessioni dati "aperte" verso Internet che consentono, tra l'altro, la comunicazione tra aziende diverse.

Per i *Telco* perciò la prima parte della storia delle reti dati è anche la storia di questo dilemma: sfruttare la gallina dalle uova d'oro dei collegamenti diretti o offrire una rete pubblica di commutazione dati che con i meccanismi del pac-

chetto ottimizzasse le trasmissioni, e quindi diminuisse i costi e parallelamente i prezzi verso gli utenti, di fatto uccidendo la gallina? I *Telco* inizialmente non ebbero dubbi: resistere, resistere, resistere! La diffusione delle reti pubbliche a pacchetto è perciò stata rallentata anche da questo iniziale scarso interesse economico da parte dei gestori delle infrastrutture di telecomunicazione.

## X.25 E ITAPAC

Riprendiamo il filo del CCITT, del protocollo OSI X.25 e delle reti pubbliche a pacchetto, ricordando che esse furono concepite nella seconda metà degli anni '70 e vennero alla luce circa 4-5 anni più tardi. Lo scenario dell'informatica era allora ben diverso da quello attuale, così come la tecnologia e le esigenze da soddisfare nel campo della comunicazione dati.

### *Mainframes, videoterminali e personal computer*

Fino ai primi anni '80, quando debuttarono sul mercato i personal computer di IBM ed Apple insieme ai PC per intrattenimento stile Commodore 64 e Amiga, il mondo dell'informatica era sostanzialmente costituito dai cosiddetti *mainframes*, macchine che occupavano intere sale calcolo, costruiti dal colosso di Cupertino e da pochi altri, tra cui Digital Equipment Corporation (DEC), HP, Sperry-Univac. Questi cominciarono ad essere affiancati, proprio alla fine degli anni '70, dai più snelli *minicomputer*, dalle più modeste dimensioni di un armadietto.

I calcolatori venivano utilizzati da operatori attestati a videoterminali con ridottissima capacità elaborativa, che servivano essenzialmente per l'*input* dei dati e la visualizzazione dei risultati. I terminali interagivano con i calcolatori attraverso protocolli di comunicazione molto semplici, in generale trasmettendo un carattere verso il computer ogni volta che veniva premuto un tasto sulla tastiera. La stessa apparizione del carattere a video era in realtà il carattere che il calcolatore rimandava verso il terminale, confermando la corretta ricezione del carattere stesso (funzionalità di *eco*).

I calcolatori potevano comunicare anche tra di loro per condividere *file* di dati e applicazioni, ma per lo più la comunicazione era ammessa solo tra calcolatori dello stesso costruttore, per incompatibilità dei sistemi operativi, differenti tra le varie marche. Le esigenze di comunicazione erano pertanto due: la connessione tra terminali e calcolatori, e la connessione di calcolatori tra loro. Questo scenario spiega l'architettura delle prime reti a pacchetto X.25 che entrarono in funzione nella prima metà degli anni '80, e che vedremo poco più oltre.

### *La tecnologia: modem telefonici e CDN*

Alla fine degli anni '70 la tecnologia di trasmissione dati su rete telefonica, consentiva di raggiungere la ragguardevole velocità di 600 bit/s contemporaneamente per ognuno dei due sensi di trasmissione (in gergo, *full duplex*), un notevole passo avanti se confrontati con i 50 bit/s consentiti dalla rete Telex delle telescriventi!

A proposito di velocità di trasmissione dati su rete telefonica, è opportuno fare una piccola digressione tecnica allo scopo di comprendere l'evoluzione delle reti dati fino ai giorni nostri. Gli esperti mi perdoneranno le necessarie approssimazioni.

La rete telefonica è costituita da una rete di accesso, che include tutti i fili di rame (i cosiddetti doppini) che connettono fisicamente gli apparecchi telefonici alla centrale locale, e da una rete di trasporto che convoglia le telefonate tra le centrali.

La rete è stata studiata per ottimizzare il trasporto delle telefonate, perciò il segnale telefonico che attraverso il filo del telefono arriva alla centrale pressoché immutato, viene "ritagliato" dalla centrale locale (per gli esperti di audio: vengono conservate le frequenze tra 300 e 3400 Hz, le altre vengono scartate) in maniera tale da mantenerlo intelligibile e gradevole ma ottimizzando le risorse trasmissive. Questa ottimizzazione è da intendersi in rapporto alla qualità che ci si aspetta per la voce: se provate ad ascoltare musica classica trasmessa da un telefono capirete che la rete non è ottimizzata per un segnale musicale!

Ne consegue che, mentre la qualità massima ottenibile per una trasmissione sul doppino d'utente varia notevolmente da caso a caso (per esempio in dipendenza della distanza del telefono dalla centrale), la qualità del segnale che viaggia *dentro* la rete è per tutte le telefonate la stessa, ed è la minima indispensabile, per ragioni di ottimizzazione. Lo avevano ben capito gli inventori della Filodiffusione, un sistema che i più anziani ricorderanno ancora, e che trasmetteva musica a buona fedeltà sul filo del telefono sfruttando appunto il fatto di essere trasmessa non attraverso la rete, ma solo dalla centrale locale agli utenti direttamente attraverso il filo (di qui il suo nome).

Questo spiega la differenza tra le limitazioni cui sono soggetti i *modem*, che trasmettono dati *attraverso* la rete telefonica, e le possibilità molto maggiori delle tecniche ADSL, che invece sfruttano tutta la banda messa a disposizione dal filo del telefono, poiché i dati sono intercettati in centrale ed inviati su reti specializzate, anziché transitare nella rete telefonica. Questo spiega anche la limitazione delle velocità dei *modem* (La velocità massima ottenibile al giorno d'oggi sulle linee telefoniche classiche è di 56 kbit/s in un senso e 48 kbit/s nel senso opposto) e l'estensione e variabilità delle velocità ottenibili con le tecniche ADSL (i più fortunati, che vivono vicino alla centrale telefonica, raggiungono velocità molto più elevate di coloro che sono più distanti, e la gamma di velocità ottenibili è ampissima se il collegamento utente-centrale è molto corto).

A questo punto mi si perdonerà un piccolo atto di orgoglio nazionale. Questa caratteristica fu sfruttata, e portò anche a sperimentazioni di successo, nel centro di ricerca dell'allora SIP, sotto il nome di "Filoinformazione". Si riuscivano a raggiungere, a cavallo tra gli anni '70 e '80, le folli velocità di 64 kbit/s per utente, a fronte dei citati 600 bit/s ottenibili con un *modem*. Purtroppo il sistema non vide mai la luce commerciale per mancanza di applicazioni.

Quanto detto per i *modem* e la comunicazione attraverso la rete telefonica non valeva tuttavia per i collegamenti diretti che si potevano stabilire tra sedi interessate allo scambio dati. Collegare direttamente due punti significava infatti stabilire una connessione fisica tra i due, equivalente a stendere un cavo diretto,

e quindi consentiva l'uso di apparati di trasmissione molto più veloci dei *modem*. Un collegamento diretto tra calcolatori annulla le ragioni della trasmissione a pacchetto, infatti implica l'impegno permanente di tutte le risorse trasmissive anche in assenza di dati da trasmettere.

D'altra parte, finché non si fosse predisposta una rete dati pubblica, questo era l'unico modo di scambiare dati a velocità sostenuta (si parla pur sempre, per l'epoca, di 9600 bit/s al posto dei 600 bit/s consentiti dai collegamenti su rete commutata). Questi collegamenti erano utilizzati perciò sia da aziende che necessitavano il collegamento diretto tra i CED delle proprie sedi, sia dalle università. Chi ne aveva bisogno, insomma, sullo stile di ARPANET si faceva da sé la rete a pacchetto, acquistando in proprio i *router* ed affittando a caro prezzo circuiti telefonici diretti (in inglese *leased lines*) dalle compagnie di telecomunicazioni.

### *Il protocollo X.25*

Torniamo ora sul protocollo scelto dal CCITT e quindi dall'industria delle telecomunicazioni per costruire le prime reti pubbliche per dati. Si tratta di un protocollo a pacchetto orientato alla connessione. Quando si stabilisce una connessione virtuale tra due punti (ad esempio per trasferire un file) viene costruito un pacchetto di *call request* (letteralmente: richiesta di chiamata). Il pacchetto, che contiene gli indirizzi del chiamante e del chiamato insieme ad altre informazioni di servizio, viene instradato dai nodi di commutazione della rete, i quali mantengono memoria del percorso seguito marcandolo in una memoria temporanea.

I pacchetti successivi al primo contengono solo un riferimento alla connessione cui appartengono, e vengono indirizzati dai nodi sulla stessa direttrice da cui è passato il primo pacchetto della connessione. Alla fine viene inviato un pacchetto di chiusura comunicazione (*clear*) che cancella la memoria della comunicazione nei nodi e libera le risorse per un'altra comunicazione.

Il protocollo è caratterizzato da una notevole robustezza resa possibile dalla correzione degli errori effettuato tratta per tratta, e da una buona resistenza a condizioni di congestione ottenuta mediante un meccanismo di controllo di flusso (rallentamento delle trasmissioni in condizioni di sovraccarico). Il prezzo da pagare per queste qualità intrinseche, necessarie nelle prime reti dati vista la scarsa affidabilità dei collegamenti, era la notevole complicazione del protocollo, che rallentava le operazioni e limitava la portata della rete (*throughput*) a causa del sovraccarico computazionale imposto ai nodi di commutazione.

Un'altra caratteristica del protocollo era quella di avere pacchetti dati di lunghezza variabile ma limitata a 255 *byte*, decisamente ridotti se confrontati con quelli di uso corrente sulle reti IP attuali, ma comunque maggiore dei pacchetti ATM (53 *byte*) che incontreremo più in là.

Sia concesso riportare qui una curiosità storica che rischia l'oblio ma che ben rappresenta il modo farraginoso di lavorare dei comitati di standardizzazione. Tali comitati sono consessi tanto politici quanto tecnici, e tendono ad originare specifiche complesse e ridondanti spesso per la necessità di accontentare le disparate esigenze ed opinioni in essi rappresentate. Pochi sanno che il protocollo X.25 prevedeva anche una modalità di lavoro *connectionless*, un compromesso

per non scontentare i sostenitori della superiorità di tale modalità di lavoro. Una opzione chiamata *Fast Select* consentiva al pacchetto di richiesta chiamata di portare con sé dei dati, trasformandolo così in un datagramma. Questo pacchetto solitario attraversava la rete, contemporaneamente aprendo e chiudendo il circuito virtuale in ogni nodo, e comportandosi perciò come un pacchetto IP. Non risulta a chi scrive che questa opzione (essendo di implementazione facoltativa) sia mai stata realizzata in qualche rete reale. Essa infatti è stata in seguito eliminata dallo standard X.25 nella sua revisione del 1984.

### X.25 in Italia: la rete ITAPAC

ITAPAC, la prima rete dati pubblica italiana, apriva ufficialmente il servizio nel 1986. La sua architettura, riportata in Figura 10, riflette quanto detto sulle esigenze dell'informatica dell'epoca. Essa prevedeva infatti una zona di accesso costituita dagli ACP (Adattatori Concentratori di Pacchetto), ed una zona centrale di commutazione, costituita dagli NCP (Nodi di Commutazione di Pacchetto).

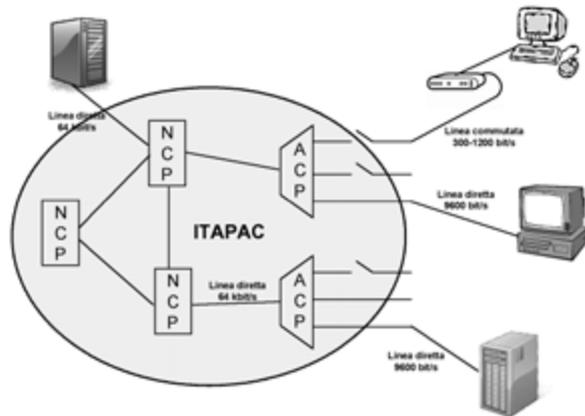


Figura 10. La rete ITAPAC.

I terminali remoti si collegavano agli ACP tramite un protocollo asincrono. Il più usato tra essi era chiamato X.28 e consentiva l'invio di un carattere alla volta. L'ACP aveva la possibilità di rispondere con una funzione di eco per simulare il calcolatore centrale. L'ACP in realtà non inviava al calcolatore i singoli caratteri, ma li assemblava in pacchetti e li spediva quando l'utente digitava il *Carriage Return* (*Enter* nelle tastiere odierne, *Invio* in quelle italiane), oppure quando essi raggiungevano il numero massimo consentito per un pacchetto X.25.

L'accesso agli ACP poteva essere sia commutato (cioè via *modem* a 300-1200 bit/s), che diretto (mediante circuito dedicato, con velocità fino a 9600 bit/s). Gli ACP di accesso si connettevano alla zona di commutazione costituita dagli NCP mediante collegamenti diretti a 9600 o 64000 bit/s. Gli NCP gestivano ingressi solo in protocollo X.25 da parte degli ACP o direttamente dei *mainframes* collegati alla rete. I nodi NCP erano (in realtà sono: la rete ITAPAC è ancora viva!) collegati tra loro con link a 64 kbit/s.

A quei tempi lo schema dei prezzi vigenti per le comunicazioni telefoniche era fortemente dipendente da due parametri: la durata della conversazione e la distanza tra i punti collegati. Per questo, la novità forse più eclatante apportata da ITAPAC fu la tariffazione "a peso", indipendente da durata e distanza, ma

dipendente solo dal numero di *byte* spediti in una comunicazione. È anche curioso notare come tale tariffazione fosse dettagliata: contare i *byte* in transito era troppo oneroso, ma contare i pacchetti non sembrava sufficiente, si inventò perciò una tariffazione *a segmenti*: se il pacchetto conteneva un numero inferiore a 128 *byte* contava 1 segmento, se era più grosso ne contava due. Per confronto, nelle poche offerte odierne in cui le tariffe sono basate sul volume dei dati trasmessi l'unità di misura minima è il Gigabyte.

ITAPAC dunque fu la prima rete dati pubblica in Italia. Venne adottata da un discreto numero di aziende, soprattutto banche che in questo modo collegarono i loro POS (i *Point Of Sale*, in pratica i Bancomat) remoti in maniera affidabile e sicura. Per una decina d'anni, fino alla nascita di Interbusiness, ITAPAC rimarrà l'unica vera rete dati commerciale pubblica in Italia, ma la sua longevità può stupire: si pensi che essa è ancora oggi (nel 2010) attiva per un numero esiguo di collegamenti che, per l'impossibilità di cambiare apparati trasmissivi, continuano ad utilizzarla. Lo "spegnimento" di ITAPAC è operazione programmata da lungo tempo, e pare che finalmente entro il 2011 anche questo pezzo di storia delle comunicazioni in Italia verrà messo definitivamente fuori servizio.

#### *Altre reti: BBS e Videotel*

Negli stessi anni in cui in Italia veniva costruita ed aperta al pubblico ITAPAC, cominciarono a diffondersi i primi personal computer. Macchine che, nella loro versione di maggiore efficienza computazionale ed utilità tecnica (IBM, Apple) erano riservate ad una ristretta elite, ma che in versioni più domestiche, dedicate all'intrattenimento, ebbero grande diffusione (si pensi al successo mondiale del Commodore 64, ancora oggi vero oggetto di culto).

Sulla scia di quello che avveniva in America, ci si rese conto che queste macchine potevano servire non solo per lavorare o per giocare, ma anche per comunicare. Un *modem* consentiva di trasformare i primi personal computer in terminali remoti di computer più grandi, i quali ospitavano programmi che oggi si chiamerebbero di *social networking*, ma che allora più semplicemente si chiamavano *Bulletin Board Systems* (BBS).

Applicazioni molto semplici di scambio messaggi sia asincroni (e-mail) sia "quasi sincroni", sullo stile delle successive *chat lines*, fecero in pochi anni esplodere il fenomeno su scala mondiale, ed anche in Italia intorno alla metà degli anni '80 il loro uso cominciò a diffondersi tra i primi appassionati dell'informatica.

Il movimento nacque spontaneamente grazie ad operatori di computer (principalmente del mondo universitario e della ricerca) che mettevano a disposizione il proprio sistema ed il proprio tempo per consentire a chi lo volesse di collegarsi da casa per scambiarsi messaggi e per accedere ad applicazioni sulla rete Internet, che già cominciava a raggiungere dimensioni importanti in America. I gestori di questi sistemi si consorziarono in reti di BBS che ebbero un successo fulminante (la più famosa e longeva, Fidonet, fondata nel giugno 1984, all'inizio del 1985 contava già 160 computer consorziati, ed al suo apice, intorno al 1991, oltre 10000).

Spesso le reti di BBS, come già detto, fungevano anche da ponte verso Internet, che, oltre al servizio di posta elettronica, consentiva l'accesso ad un enorme

numero di forum tematici (le *Usenet News*) e ad applicazioni specifiche, come quella dello IATA (International Air Transport Association) che permetteva, gratuitamente senza aggiunta di pubblicità, di trovare la miglior combinazione di voli (orari e tariffe) su una certa rotta. Chi scrive ha più volte usato, per programmare viaggi di lavoro, quel sistema, e può assicurare che oltre 20 anni più tardi, nonostante il Web, fare la stessa cosa è molto più difficile!

Sicuramente le reti di BBS diedero un impulso formidabile alla “voglia di connessione” delle persone, che si trovarono immerse improvvisamente, grazie a questi sistemi, in un mondo di incredibile ampiezza e ricchezza di relazioni e di informazioni, contribuendo in maniera essenziale allo sviluppo delle reti dati.

Torniamo per un attimo a parlare della rete ITAPAC, con una curiosità che riguarda proprio il suo uso non sempre canonico. I sistemi che ospitavano BBS non erano molti, ed erano naturalmente situati in grandi città o centri universitari; gli stessi sistemi erano inoltre spesso collegati alla rete ITAPAC. Solo i pochi fortunati che abitavano nella città della BBS riuscivano a raggiungere i sistemi BBS via *modem* al costo di una telefonata locale, chi viveva in provincia doveva invece pagare le salate tariffe di lunga distanza.

In questa occasione ITAPAC giocò un importante ruolo nella diffusione della cultura telematica *consumer* (cioè domestica, in contrapposizione all’uso aziendale della rete). L’accesso agli ACP via *modem* era infatti agevolato, dal momento che la connessione via *modem* era spesso a tariffa locale, essendo gli ACP distribuiti in maniera piuttosto capillare sul territorio nazionale.

Questa agevolazione tariffaria fu un elemento molto importante per la diffusione delle BBS. Ma se la tariffa di accesso, essendo legata alla linea fisica utilizzata, non poteva essere elusa, rimaneva il problema di pagare la tariffa ITAPAC, cosa che i primi *hacker* non vedevano certo di buon occhio. Per ovviare a questo piccolo inconveniente bisognava procurarsi una password per identificarsi con la rete ITAPAC come cliente autorizzato, ed avere libero accesso alla rete, lasciando l’onere della bolletta al legittimo proprietario della password stessa.

L’uso di parole chiave appartenenti ad aziende o istituzioni era però scomodo (la truffa veniva scoperta abbastanza in fretta e l’accesso disabilitato) e pericoloso, per il rischio di querele. Il metodo più diffuso era perciò l’utilizzo di password “di servizio” degli operatori Telecom o Italcable che spesso partecipavano a fiere e dimostrazioni per diffondere l’uso della rete dati. Le password “prese a prestito” in queste occasioni venivano poi diffuse tra gli *hacker* che le utilizzavano per i propri scopi.

Stranamente (?) questo tipo di abuso non era perseguito con durezza (le password avrebbero potuto essere facilmente disabilitate). Incontrollate voci di corridoio dicono che Telecom (allora SIP/STET/Italcable) non avesse grande interesse a reprimere questo tipo di truffa, poiché poco dannoso (la rete ITAPAC era comunque piuttosto scarica) e perché pare che chi gestiva a livello commerciale la rete ITAPAC non fosse incentivato in maniera proporzionale ai ricavi generati dalla stessa, ma al traffico che la attraversava (grandezza probabilmente più facile da misurare). Naturalmente chi scrive ritiene questa una fantasiosa leggenda metropolitana destituita di qualsiasi fondamento.



Figura 11. Terminale per l'utilizzo del servizio Minitel.

Prima di tornare alle reti dati a pacchetto è opportuno ricordare un sistema anche più importante delle stesse BBS per la crescita della cultura telematica di carattere popolare. Nei tumultuosi e vulcanici (dal nostro punto di vista) anni '80 vide la luce infatti un altro standard tecnologico che sfociò, nelle varie declinazioni nazionali, in servizi dal successo variegato. Lo standard internazionale si chiamava Videotex ed era studiato per trasmettere pagine dal contenuto testuale verso gli utilizzatori.

Pensato per servizi stile *Web d'antan* (accesso a pagine informative) esso ebbe in realtà un successo molto maggiore

come sistema di messaggistica interpersonale. Oltre all'importanza sociale, vale la pena ricordare il Videotex per essere stato il primo sistema di comunicazione dati asimmetrico, costituendo così un precedente (una sorta di peccato originale) da cui ancora oggi non riusciamo ad affrancarci (vedi ADSL, *Asymmetric Digital Subscriber Loop/Line*). Partendo da un presupposto aprioristico, e cioè che gli utenti avrebbero usato il Videotex per richiedere informazioni, e volendo in periodi di scarsità di banda (ma quando mai è stata abbondante?) ottimizzare la fruizione del servizio, il Videotex si basava su un *modem* dalle caratteristiche asimmetriche: si sfruttava in pieno il canale di ritorno (*downstream*) alla folle velocità di 1200 bit/s, lasciando per l'*upstream* (utilizzato solo per informazioni di servizio) miseri 75 bit/s.

L'esperienza dimostrò presto che in realtà l'utilizzo del sistema aveva un bilanciamento molto maggiore, poiché la comunicazione interpersonale ha caratteristiche più simmetriche che non la richiesta di pagine informative, ma ormai il danno era fatto. Tale danno si sarebbe ripetuto, in proporzioni ancora più gravi, per l'ADSL, pensato inizialmente per trasmettere la televisione sulla linea telefonica... ma questa è storia di almeno dieci anni più tardi.

Da un punto di vista culturale il Videotex è importante anche perché è il primo esempio di sistema di servizi telematici *walled garden*, vale a dire chiuso verso l'esterno, tentazione ricorrente nel mondo delle *Telco* perché ritenuto (e possiamo a posteriori ben dire a torto) un sistema con modello di ricavi più semplice, affidabile e redditizio. Proprio per le diverse scelte commerciali effettuate nei vari paesi il Videotex, nonostante fosse basato sulla stessa tecnologia, ebbe esiti di diffusione diversissimi tra loro.

Il maggior successo lo ottenne in Francia, sotto il nome commerciale di *Minitel*, dove ancora oggi è utilizzato da un numero consistente di utenti. In Francia il terminale (vedi Figura 11) per l'utilizzo del servizio, essendo sovvenzionato dallo stato era gratuito, mentre i costi di accesso erano piuttosto limitati e tariffati direttamente sulla bolletta telefonica. Buon successo il sistema ebbe anche in Gran Bretagna (*Prestel*) ed in Germania (*Bildschirmtext*).

In Italia, dove fu lanciato nel 1985 col nome di Videotel, il servizio stentò a raggiungere un numero importante di utenti, probabilmente per il costo del terminale (affittato a 7000 lire al bimestre, quando il canone ne costava 11240!) e per le numerose truffe che coinvolsero i fornitori di informazione, che gonfiavano artificiosamente i consumi per aumentare i propri introiti. In Italia il Videotel non durò più di una decina d'anni.

### *Le reti Frame Relay*

Torniamo alle reti pubbliche per dati a pacchetto. Naturalmente, una volta messe in funzione reti che seguivano gli standard X.25, ci si rese conto dei loro problemi, essenzialmente di due tipi:

- Il protocollo era troppo complesso. X.25 era stato pensato per gestire all'interno della rete tutti i possibili servizi necessari al trasporto dei dati, dall'indirizzamento aperto e universale al controllo e correzione di errori, dal controllo del flusso dati (per evitare congestioni), alla sua integrità (evitare perdite di pacchetti o consegna fuori sequenza). Questo risultò in reti molto lente, con ritardi tra gli apparati terminali dell'ordine del secondo, e con *throughput* (la quantità di pacchetti al secondo trasportata dalla rete) fortemente limitato dalla difficoltà computazionale che i nodi dovevano affrontare.
- Come accennato più sopra, il mondo aziendale aveva a quel tempo scarsa necessità di reti aperte, in cui ogni punto possa contattare ogni altro: la vera urgenza era connettere in maniera economica (evitando quindi l'uso dei costosi Circuiti Diretti Numerici) e permanente sedi geograficamente remote.

La soluzione di entrambi i problemi comportava una drastica semplificazione delle operazioni a carico della rete. Sulla base di queste considerazioni, sul finire degli anni '80 venne definito un protocollo di commutazione di pacchetto che prendeva le mosse dall'X.25, semplificandolo molto col fine di renderlo più snello e veloce. Si cominciò a parlare di *Fast Packet Switching*, ed il protocollo che emerse in ambito CCITT prese il nome di *Frame Relay* (FR.).

Il *Frame Relay* delega il controllo di flusso ai punti terminali di una connessione virtuale, realizza solo la rivelazione degli errori ma non la loro correzione (quando rileva un pacchetto corrotto lo scarta), non numera i pacchetti e quindi non si preoccupa della loro consegna ordinata né della loro perdita eventuale. Tutte queste operazioni vengono svolte dai punti terminali della connessione o, come si dice in gergo OSI, ad un livello di protocollo superiore. Secondo il modello OSI, infatti, le reti *Frame Relay* sono reti di livello 2 poiché non si occupano dell'istadamento (*routing*) dei pacchetti: la rete non deve occuparsi di trovare la strada ad ogni pacchetto verso la sua destinazione in quanto le rotte sono predefinite.

Inoltre, considerando la notevole mole di lavoro necessaria alla gestione di tanti pacchetti piccoli, *Frame Relay* prevede la possibilità di trattare pacchetti di dimensioni maggiori (fino a 8192 *byte*). Con così poche cose da fare la rete può permettersi di essere molto veloce (i ritardi di propagazione end-to-end

si mantengono dell'ordine delle decine di millisecondi) e di trattare moltissimi pacchetti, tra l'altro di dimensione maggiore (aumentando così il *throughput*).

Un ultimo (non per importanza) commento sulle reti *Frame Relay*: esse consentivano la garanzia di banda da punto a punto. Questo aspetto è stato e continua ad essere cruciale per fornire servizi ad aziende che, in condizioni di scarsità di banda, non possono affidarsi ad un protocollo che non gestisce la qualità del servizio.

Il protocollo IP è spesso classificato come *best effort*: la rete fa tutto il possibile per garantire la consegna dei pacchetti, ma in condizioni di congestione non è in grado di gestire priorità o garanzie verso nessuno, e tratta tutti i pacchetti allo stesso modo. Le reti *Frame Relay* (e successivamente quelle ATM) fanno di questa gestione un punto di forza: esse forniscono una banda minima garantita (il CIR, *Committed Information Rate*), consentendo di avere la certezza che il servizio non scenderà mai sotto una soglia definita contrattualmente, ma danno la possibilità di avere a disposizione una banda maggiore quando il carico della rete lo consente. Questa è sicuramente una caratteristica molto apprezzata dalle aziende che basano il proprio business anche sul buon funzionamento della rete dati.

Il protocollo *Frame Relay* fu il primo raffinamento dell'X.25 offerto dai gestori di telecomunicazione nelle loro reti. Mentre quelle X.25 non ebbero mai un successo commerciale di rilievo, risultando probabilmente in un investimento non produttivo da parte dei *Telco*, il *Frame Relay* effettivamente dava un servizio all'altezza delle aspettative e, proprio grazie alle sue caratteristiche di banda elevata e ritardi di pacchetto ridotti, fu molto apprezzato dal mercato ed ebbe un buon successo commerciale.

Gli accessi alla rete ad alta velocità (da 64 kbit/s a 2 Mbit/s) ed i limitati ritardi da punto a punto consentirono tra l'altro alle aziende di usare i collegamenti *Frame Relay* in un modo che inizialmente non era stato previsto dai *Telco*: trasportare, oltre ai dati, anche la voce!

Alcuni esperimenti effettuati su X.25 per trasportare la voce a pacchetto si erano rivelati deludenti proprio per le caratteristiche di queste reti. Si era però visto che, contenendo il ritardo ed aumentando la velocità delle reti, la voce avrebbe potuto ben presto viaggiare all'interno dei pacchetti dati. Si può ben immaginare che una tale fuga in avanti (!) non fosse ben vista dai gestori di telecomunicazione, che fondavano ancora sul trasporto della voce la parte di gran lunga più rilevante del loro *business*.

Ancora una volta messi di fronte al dilemma della cannibalizzazione di servizi più lucrosi i *Telco* non poterono tuttavia fermare l'affinamento delle tecnologie. Con la possibilità di inviare le telefonate sulle reti dati, fu ben presto possibile per le aziende costruire reti private virtuali che trasportavano tutto il traffico intra-aziendale, sia dati che voce, sulle reti dati commerciali, consentendo di contenere i costi. I bit della voce venivano così infatti fatti pagare alla stessa tariffa di quelli dati, con una notevole economia.

### *Frame Relay in Italia: la rete CLAN*

Il servizio *Frame Relay* venne introdotto come offerta commerciale da Telecom Italia nel 1992. La rete, denominata CLAN (*Connection of Local Area*

*Networks*) forniva circuiti privati virtuali per connettere, come la sigla suggerisce, reti locali tra di loro. Spesso gli apparati interconnessi usavano TCP/IP come protocolli di livello superiore. Gli accessi potevano variare da una velocità di 64 kbit/s a 2 Mbit/s. Il servizio ebbe un buon successo commerciale e fu, come si vedrà più avanti, la base su cui venne costruita l'infrastruttura di Interbusiness.

La rete CLAN riflette perfettamente ciò che Telecom (allora SIP) pensava di Internet a quel tempo (e per molto tempo ancora): essa era vista come un fenomeno passeggero, che sarebbe stato sopraffatto dall'avvento delle reti basate su protocolli standard OSI. TCP/IP era considerato un protocollo con qualche successo in ambito aziendale, ma non meritevole di investimenti specifici in rete. Veniva perciò offerto alle aziende un modo per interconnettere le loro LAN basate su questi protocolli, senza mettere in rete apparati (*router*) basati sui protocolli Internet. Telecom perseguiva ancora la sua "filosofia" dei CDN.

### *Da ISDN e Frame Relay a B-ISDN e ATM: un cenno veloce*

Per comprendere la successiva evoluzione delle reti dati occorre fare un passo indietro ed un excursus veloce sul parallelo evolversi della rete telefonica. I destini dei due tipi di reti sono stati infatti legati indissolubilmente, ed ancora lo sono, fino a quando in un futuro non lontano non saranno definitivamente più distinguibili.

I vantaggi della trasmissione digitale rispetto a quella analogica sono stati ben compresi da lungo tempo. Quando si cominciava a parlare di trasmissione dati, l'opera di digitalizzazione della rete telefonica perciò era già iniziata. Coinvolgendo inizialmente i collegamenti a lunga distanza, che convogliavano decine di migliaia di conversazioni telefoniche, e diffondendosi poi verso la periferia della rete, la modulazione analogica cedette pian piano il passo a quella numerica, a partire dai primi anni '70.

La digitalizzazione della parte trasmissiva della rete fu solo il primo passo di un processo che, vista l'evoluzione tumultuosa delle tecniche di elaborazione digitale, doveva pian piano coinvolgere anche gli altri aspetti della rete, a cominciare dalla commutazione. L'idea di cambiare la tecnica telefonica classica delle centrali elettromeccaniche, mettendo al loro posto dei veri e propri computer (commutazione numerica), fu teorizzata e sperimentata durante gli anni '70 e codificata e standardizzata nelle raccomandazioni della serie I del CCITT nel 1984, l'anno della nascita della Integrated Services Digital Network, ISDN. La rete ISDN si proponeva già a quell'epoca di riunire voce e dati, trasmettendoli e trattandoli con le stesse tecniche.

Fiumi di danaro sono stati spesi, e fiumi di inchiostro sono stati scritti, per cercare di costruire il successo delle reti ISDN. Certamente, per quanto esse rappresentassero un passo in avanti notevole sulla via della convergenza voce/dati, non ebbero mai (in generale) quel successo commerciale che i *Telcos* avevano preconizzato ed avrebbero desiderato. Un ruolo non indifferente per lo scarso successo della rete digitale integrata fu giocato anche dai progressi delle tecniche trasmissive dei *modem*, che riuscirono rapidamente a raggiungere velocità paragonabili a quelle ISDN (48/64 kbit/s). Questa ed altre evenienze fecero sì che con

poche eccezioni (ad esempio la Germania, dove gli investimenti statali furono più ingenti che altrove) le reti ISDN si affiancarono, a cavallo degli anni '90, alla rete telefonica generale (RTG) senza mai prendere veramente il sopravvento, anzi restando in molti casi una parte molto minoritaria della rete di telecomunicazioni.

L'idea di continuare a giocare un ruolo di guida dell'evoluzione delle reti dati era però ben solida nelle teste degli ingegneri telecomunicazionisti di tutto il mondo, che, incuranti dell'incertezza sul successo della ISDN, e prima ancora che questa desse i suoi frutti commerciali, nel 1988 si misero a ragionare sulla rete definitiva del futuro: una super-ISDN che senza grande fantasia battezzarono B-ISDN (dove B sta per *broadband*, a larga banda).

Qui ci ricolleghiamo alla storia precedente. I protocolli scelti per la realizzazione della profetizzata B-ISDN sono infatti i figli del *Frame Relay* (e pertanto nipoti dell'X.25): una esasperazione della commutazione veloce di pacchetto con paradigma *connection-oriented*: L'ATM (Asynchronous Transfer Mode). Secondo alcuni il protocollo più intelligente e dalle prestazioni più elevate mai concepito, secondo altri il più grande spreco di energie e investimenti fatto dai *Telco* nella loro storia. Probabilmente, come al solito, la verità sta magari non proprio nel mezzo ma sicuramente tra i due estremi.

Torneremo su questo tema, ma intanto vediamo cosa succedeva nel frattempo nell'universo parallelo (quello di Internet).

### *Intanto Internet...*

La nascita delle reti X.25 era avvenuta quando ormai i protocolli Internet si erano assestati sia a livello di commutazione con l'adozione del protocollo IP versione 4, che a livello di servizi per gli utilizzatori. La posta elettronica basata su SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*), lo scambio di *file* attraverso il protocollo FTP (*File Transfer Protocol*), i forum di discussione di Usenet basati su NNTP (*Network News Transfer Protocol*), l'accesso remoto in emulazione di terminale a computer via *Telnet* consentivano agli utenti di Internet di usare la rete per fare cose utili in maniera semplice.

Nel mondo CCITT ed ISO invece la standardizzazione dei protocolli di posta elettronica, di trasferimento *files*, di accesso a servizi di *Directory* si trascinava lentamente e, una volta definiti e ratificati gli standard, non c'era chi li realizzasse vista la difficoltà di scrivere il software relativo e l'incertezza commerciale di riuscire poi a venderlo.

Al contrario, i protocolli e servizi su cui si basava Internet erano realizzati dalla comunità accademica delle università americane, basandosi su documenti in continua evoluzione (gli RFC, *Request For Comments*, gli standard-non-standard della comunità Internet). La loro realizzazione era attuata usando il metodo *trial and error* che consentiva un rilascio in tempi brevi dei pacchetti software (anche se non completamente messi a punto) demandando poi il raffinamento degli stessi a rilasci successivi. Inoltre, fatto di non poco conto, questi programmi erano distribuiti gratuitamente su Internet stessa, che agiva così come strumento di autopromozione.

Lo stesso software di base che realizzava l'interconnessione tramite Internet, la pila (*stack*) TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) era distribuito

gratuitamente insieme al sistema operativo Unix, che conquistava lentamente posizioni sul mercato anche grazie alla capacità innata di potersi connettere in rete (oggi sembra naturale avere il software di comunicazione compreso nel sistema operativo, allora non lo era!).

Negli anni '80 la presenza di Internet sul territorio americano si consolida, e la rete, che ospitava inizialmente i computer del mondo accademico ed era perciò pagata da sovvenzioni statali, cominciò a trasportare anche traffico commerciale pagante. Le aziende, avendo bisogno di interconnettere i loro computer e non potendo o non volendo aspettare le reti standard X.25, usavano ciò che era attivo e sembrava funzionare bene. Nasce in quegli anni anche il mercato dei *router*, i nodi di commutazione di Internet, e con il mercato nascono aziende che diventeranno i giganti delle telecomunicazioni degli anni 2000, prima fra tutte Cisco Systems, fondata nel 1984.

### *TCP/IP – OSI: lo scontro finale*

Nei due-tre anni a cavallo tra gli '80 e i '90 la situazione era paradossale.

Tutti i principali attori in gioco nell'arena delle comunicazioni dati (grandi aziende informatiche, il mondo delle telecomunicazioni, ma anche i maggiori potenziali utenti: le pubbliche amministrazioni e molte grandissime aziende) facevano ferme dichiarazioni di principio di adesione agli standard ufficiali di comunicazione aperta dell'OSI.

Per quanto strano possa sembrare a posteriori, proprio il Governo degli Stati Uniti, che aveva finanziato pesantemente la nascita e la crescita di Internet, nel 1990 sposò (almeno in teoria) la causa OSI, emettendo il *Government Open Systems Interconnection Profile* (GOSIP), una raccomandazione rivolta a tutte le pubbliche amministrazioni che imponeva di usare, per l'interconnessione dei sistemi informatici, reti X.25 ed applicazioni OSI. A ruota seguì la Comunità Europea che, sulla scia di quanto fatto in America, nel 1993 stilò un documento simile chiamato EPHOS (*European Procurement Handbook for Open Systems*).

In realtà le reti X.25 vedevano scarso traffico, le applicazioni di posta elettronica, di trasferimento *files* aderenti agli standard OSI avevano rarissime realizzazioni software, molto costose e che spesso non parlavano tra di loro (ebbene sì, gli standard erano troppo complessi e ridondanti, e questo era il paradossale risultato: i sistemi teoricamente aperti dell'acronimo OSI risultavano in realtà chiusi!). Il mondo OSI, insomma, muoveva i suoi primi passi zoppicando vistosamente.

Il dilemma OSI contro TCP-IP (o Internet contro X.25) era ampliato dalla esistenza, in America, di una vastissima rete che funzionava perfettamente basandosi sulla pila di protocolli TCP/IP e, sebbene lo stato spronasse anche le aziende ad adottare le reti OSI ad essa alternative, chi doveva investire somme ingenti di danaro per effettuare il cambiamento preferiva seguire, col pragmatismo tipicamente americano, il detto "If it ain't broke, don't fix it" e continuò ad usare Internet finché questa funzionava.

Il problema venne definitivamente seppellito 5 anni più tardi quando nel 1995 l'amministrazione Clinton emise la seconda edizione del GOSIP in cui si consentiva l'uso degli standard OSI ma anche di quelli IETF (*Internet Enginee-*

*ring Task Force*, l'organismo che emette e manutene gli RFC), 'sdoganando' per la prima volta in maniera ufficiale Internet, i suoi protocolli ed i suoi servizi. Muoiono virtualmente in quel momento il modello OSI, le applicazioni e le reti su di esso basate.

Insieme a questa apertura, che di fatto diede impulso fondamentale alla diffusione nel mondo di Internet (e della tecnologia americana che vi stava alla base), il governo USA fece però un atto di coraggio apparentemente di segno opposto, visto allora da molti dei detrattori di Internet come il suo possibile affossamento.

A fine Aprile 1995 venne definitivamente chiusa NSFNet, la rete della *National Science Foundation* che aveva funzionato fino ad allora da *backbone* (spina dorsale) di Internet in America. Si dicono in gergo reti *backbone* (o reti di transito) le super-reti che agiscono da infrastruttura principale che interconnette altre reti di rango inferiore tra di loro. La chiusura di NSFNet decretava la fine alle sovvenzioni statali USA verso Internet, sovvenzioni che, a detta di molti (soprattutto nel mondo *Telco*), costituivano un supporto essenziale per la sopravvivenza della rete. Quanto questi 'esperti' delle reti dati abbiano avuto ragione è stato dimostrato dalla storia degli anni seguenti.

Ancora una premessa di carattere culturale, utile a comprendere l'avversione delle compagnie di Telecomunicazione verso Internet che ne ha frenato per qualche tempo la diffusione, prima di proseguire. Uno dei patrimoni immateriali più importanti posseduto dal mondo *Telco* era il controllo della numerazione. Nessuno in quell'ambiente poteva neanche ipotizzare che l'individuazione del punto di connessione di una qualsiasi rete fosse diverso da un numero telefonico (o qualcosa da esso derivato).

L'indirizzamento telefonico, basato su criteri di suddivisione geografico/amministrativa dei numeri, era ritenuto senza dubbio il più adatto dal punto di vista tecnico per fornire informazioni sull'instradamento delle chiamate o dei pacchetti dati. Cosa altrettanto importante, era ed è gestito al livello mondiale da un'assemblea di enti (allora CCITT, oggi chiamata ITU *International Telecommunications Union*) che rappresentano in una specie di democrazia tecnologica tutti gli interessi legati al mondo delle telecomunicazioni.

L'equivalente dei numeri telefonici in Internet sono gli indirizzi IP, ma la loro gestione era ed è radicalmente diversa proprio nei due punti sopra esposti. Gli indirizzi IP infatti non hanno nessuna connotazione geografica nè amministrativa, inoltre venivano gestiti da un ente statunitense emanazione del mondo accademico, lo IANA (Internet Assigned Numbers Authority). CCITT prima ed ITU poi hanno proseguito parallelamente a sviluppare un proprio schema di numerazione (evoluzione dei numeri telefonici) valido sia per reti telefoniche che dati, chiamato E.164.

Oggi anche gli indirizzi di Internet vengono gestiti a livello mondiale da una associazione tra tutti i diversi interessati al mondo delle reti, chiamata ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*), costituito formalmente come ente internazionale no-profit solo nel 1998. Pur essendo ICANN formalmente indipendente e sovranazionale, l'influenza esercitata su di essa dall'amministrazione Statunitense è indubbiamente elevata, ma finora questo non ha portato scompensi di sorta all'operatività della rete.

### *Internet in Italia: la nascita degli ISP*

L'argomento delle reti universitarie è trattato più ampiamente in un'altra sezione, si vuol solo qui ricordare che anche in Italia, come in altri paesi europei, l'ingresso di Internet fu opera dei centri di calcolo delle università.

Il primo *dominio* Internet italiano, *cnr.it* fu assegnato al Consiglio Nazionale delle Ricerche nel 1986. Il CNR avrebbe avuto in seguito per molti anni un ruolo fondamentale di amministrazione di Internet in Italia, gestendo la distribuzione dei nomi del dominio .IT. Nel 1989 nasce la rete GARR (Gruppo di Armonizzazione delle Reti della Ricerca) tra le università italiane. Sebbene sulla rete GARR fossero usati anche altri protocolli, l'IP prese rapidamente il sopravvento e già nel 1990 esso era il più usato su questa rete.

Nei primi anni '90 anche diverse aziende sono collegate con gli Stati Uniti ed Internet attraverso IUNet, una rete commerciale che offriva supporto ad aziende ed enti no-profit che necessitavano di connettività IP aperta verso l'esterno.

Negli anni seguenti il mercato dell'interconnessione ad Internet crebbe rapidamente. All'epoca però pochissimi erano i clienti che si collegavano via *modem* ad IUNet (forse l'unica rete che offriva questo tipo di accesso) per entrare in Internet. Due degli eventi più importanti per lo sviluppo dell'accesso ad Internet da parte dei privati si verificarono quasi contemporaneamente:

- nel 1993 cominciò a diffondersi tra gli utenti Internet *Mosaic*, il primo *browser Web*, predecessore di *Netscape Navigator*, *Internet Explorer*, *Firefox* e tutti gli altri;
- sempre nel 1993 per la prima volta il software TCP/IP venne incluso in un sistema operativo *Microsoft Windows*. La versione era *Windows for Workgroups 3.11*.

Proprio in quell'anno infatti nacque *Video On Line (VOL)*, la prima rete di dimensioni nazionali pensata esplicitamente per l'accesso ad Internet degli utenti domestici. Con VOL il termine di *Internet Service Provider (ISP)* diventò di uso comune ed Internet conquistò la ribalta della stampa non specializzata. Il primo ISP italiano fece molto parlare di sé per le iniziative all'epoca inusuali (l'accesso ad Internet era offerto gratuitamente, anche se per avere il servizio gratuito gli utenti dovevano fornire molti dati personali, cosa che venne fortemente criticata). La forte spinta di marketing (i CD per l'accesso alla rete erano allegati a riviste e periodici a fumetti) e la gratuità del servizio fecero in breve di Video On Line il più grande ISP italiano, con oltre 15000 utenti nel 1995. La sua storia fu molto brillante ma anche molto breve, come vedremo sotto.

Altro importante ISP nato in quegli anni (1994) fu *Italia On Line* (la fantasia nei nomi commerciali non abbondava), che a differenza della precedente era destinata a vita più lunga.

Nel 1996 anche Telecom Italia entrò in punta di piedi nel mercato degli ISP con *Telecom Online* (l'originalità del nome stavolta è evidente!). TOL inizialmente occupò una nicchia tecnologica, l'accesso era infatti offerto solo agli utenti ISDN, una porzione nettamente minoritaria degli utenti telefonici. Il servizio ebbe un discreto successo, anche per la velocità di accesso a 64 o 128 kbit/s,

ben superiore a quella ottenibile con i *modem* per la normale rete commutata allora disponibili.

Tornando per un attimo a Video On Line, fu presto chiaro che lo spregiudicato modello commerciale adottato dall'ISP non poteva reggersi a lungo. L'infrastruttura di VOL era infatti basata sui circuiti Telecom che, come detto in precedenza, non erano certamente gratuiti. Nella impossibilità di garantirsi sufficienti ricavi per coprire le spese, VOL vendette la sua infrastruttura a Telecom Italia nel 1996. L'offerta VOL venne allora accorpata con quella di Telecom Online creando Telecom Italia Net (TIN).

A parte i colossi di cui sopra, in quegli anni fiorì una serie di ISP locali, piccoli e piccolissimi, che oltre all'accesso ad Internet alla clientela domestica cominciarono a fornire servizi alle aziende (consulenza telematica, scrittura e *hosting* di siti *Web*) creando un nuovo importante mercato per l'economia nazionale.

## ATM e IP: Atmosfera e Interbusiness

Riassumendo, gli anni '80 hanno visto la nascita e l'infanzia delle reti dati, un periodo preparatorio fatto di sperimentazioni ma anche di grandi realizzazioni come le reti X.25 in Europa e la rete IP in America. L'evoluzione tecnologica è stata tumultuosa, sviluppandosi su due filosofie portanti che abbiamo visto delinearsi nei capitoli precedenti.

Da un lato, il mondo giovane ma ormai adulto dell'informatica sponsorizzava apertamente il paradigma di una rete estremamente semplice, senza preoccupazioni di garanzie di banda o di servizio. Le basi teoriche che stanno dietro questo approccio dicono che le esigenze di banda non si soddisfano distribuendola in maniera controllata, ma facendo crescere a dismisura la capacità trasmissiva (lo stesso approccio di origine informatico, si noti, sta dietro alla crescita delle memorie di archiviazione sui PC!). Quanto alle garanzie di servizio, si preferisce far affidamento sulle funzionalità offerte ai bordi della rete piuttosto che su quelle offerte da chi vende l'accesso alla rete stessa. Il protocollo IP è sufficientemente buono per queste esigenze.

Dall'altro, il mondo ben più maturo, (qualche maligno direbbe con i primi sintomi di senescenza) delle telecomunicazioni doveva invece far profitto dalla vendita degli accessi alle reti facendo leva su servizi di pregio da fatturare al di sopra della pura connettività. I Telco perciò puntavano sulle esigenze di chi teoricamente non poteva permettersi un servizio dati *best effort* (banche, grandi aziende che basano il proprio *business* anche su una buona connettività dati). Per queste esigenze IP non bastava, ed infatti la ricerca e la realizzazione di reti basate su protocolli più sofisticati, che consentivano l'offerta di un servizio di rete più pregiato proseguì, e dall'X.25 nacquero prima il *Frame Relay* e poi l'ATM.

Gli anni '90 vedono poi il dispiegamento reale, in proporzioni significative, di tutta la tecnologia maturata sui due filoni: da un lato *router* IP sempre più veloci e capaci di 'macinare' quantità impressionanti di pacchetti, dall'altro i commutatori (*switch*) ATM riescono già a trasportare in maniera impeccabile sia i dati generati dai primi utenti Web sia la telefonia e servizi video in tempo

reale (cosa che ad onor del vero IP riuscirà a fare solo molto più tardi), gestendo la banda in maniera puntuale ed offrendo garanzie di servizio.

Come fatto per gli altri protocolli, vediamo rapidamente di che cosa parliamo quando diciamo ATM.

### *L'Asynchronous Transfer Mode (ATM) in pillole*

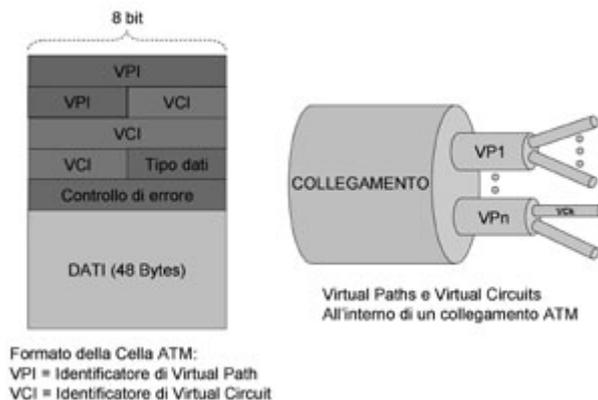
ATM è un protocollo a pacchetto, è *connection oriented* ed ha pacchetti di lunghezza fissa e di dimensione molto limitata (53 *byte*). La caratteristica di essere orientato alla connessione è legata alla possibilità, in questo modo, di gestire accuratamente la banda assegnata ad ogni connessione. Vediamo perché.

Quando la connessione viene stabilita, e fino alla sua chiusura, i commutatori della rete le riservano risorse specifiche per poter gestire le sue esigenze. Una connessione video, ad esempio, ha bisogno di 1,5 Mbit/s con continuità, e di ritardi molto piccoli dei pacchetti. Nel caso non si riesca a garantire queste caratteristiche, la qualità video finale sarà inaccettabile. Se una delle macchine di rete attraversate dalla richiesta di trasmissione video scopre di non avere sufficienti risorse per trasportarla, la connessione verrà rifiutata. I nodi IP invece non sono in grado di rifiutare pacchetti, ma li devono gestire tutti, facendo del loro meglio (*best effort*, appunto). Le reti IP svilupperanno solo molto più tardi (anni 2000) tecniche specifiche per far fronte a questo tipo di esigenze.

Per quanto riguarda i pacchetti di lunghezza fissa, questi sono gestibili dalle macchine di commutazione in maniera molto più snella e veloce poiché consentono una gestione semplice della memoria dinamica. Sulla lunghezza (o meglio, sulla *cortezza* dei singoli pacchetti) molto si è detto a suo tempo, sia sul serio che sul faceto. Il numero magico di 48+5 *byte* era il risultato di una mediazione in sede di comitati di standardizzazione: per poter trasportare agevolmente e con ritardi minimi trasmissioni sincrone come la voce era infatti necessario usare pacchetti molto brevi, tra i 32 e i 64 *byte* di lunghezza, ed il 48 sembrava una buona realizzazione del famoso detto sulla posizione mediana delle virtù. La decisione diede in seguito origine a sottò da parte dei teorici della parte avversa, che alle riunioni della IETF indossavano magliette marcate "53 *byte*? No, grazie".

Nella Figura 12 sono rappresentati a sinistra la struttura di un pacchetto ATM, in gergo "cell" mentre a destra viene mostrato come un canale che trasporta celle ATM sia suddiviso in *Virtual Paths* (VP) e *Virtual Circuits* (VC).

Per comprendere il si-



**Figura 12.** Il protocollo ATM.

gnificato, si pensi ad un'azienda che voglia costruire una rete tra sedi remote. Essa avrà bisogno dell'equivalente di quelli che pochi anni prima sarebbero stati dei circuiti diretti tra le sedi principali, che trasporteranno molto traffico (incluso quello telefonico). L'equivalente di questi collegamenti sono i *Virtual Paths*, per i quali l'azienda può negoziare con il *Network Provider* una banda garantita, in modo da assicurarsi una buona qualità di servizio anche nei momenti di punta del traffico. All'interno di questi VP vengono poi stabiliti i singoli VC per le singole comunicazioni, che a loro volta possono richiedere o meno garanzie di servizio quali banda minima garantita o banda costante.

Le reti ATM, nate per trasportare anche comunicazioni che hanno bisogno di banda garantita, offrono una serie di servizi che sono acquistabili per contratto o su richiesta per singola connessione, a seconda del bisogno. Per dare un'idea della varietà dei servizi di trasporto dati, le reti ATM possono offrire cinque diverse classi di servizio: *Constant Bit Rate (CBR)*, *Variable Bit Rate Real Time (VBR-RT)*, *Variable Bit Rate Non Real Time (VBR-NRT)*, *Available Bit Rate (ABR)* ed infine *Unspecified Bit Rate (UBR)*. Senza entrare nei dettagli del significato di ognuna delle classi di servizio, sia sufficiente citare il fatto che quella di minor pregio (e quindi anche la più economica), l'UBR, era ed è quella in generale utilizzata per trasportare il traffico IP, cioè la quasi totalità dei pacchetti che transitano nella rete.

### *ATM in Italia: la rete Atmosfera*

L'entusiasmo per la nuova tecnologia ATM coinvolse gli operatori Europei, che nel 1994 si consorziarono per mettere in piedi una rete di prova: la "European ATM Pilot Network" che connetteva con la nuova tecnica quattro nazioni (Francia, Germania, Svizzera ed Italia). Telecom Italia partecipò con tre nodi di commutazione ATM di due diversi costruttori, con un nodo a Milano, uno a Roma ed un terzo ad Acilia. È vero che tre nodi possono sembrare pochi per chiamarla una rete, ma come vedremo più oltre per l'IP, quando si vuole sperimentare una soluzione tecnologica nuova non si può esagerare.

L'esperimento ATM italiano proseguì per tutto il 1995. A dicembre di quell'anno vennero acquistate ed installate le vere centrali di commutazione ATM e la rete avviò il servizio nei primi mesi dell'anno successivo, con il nome commerciale di Atmosfera.

Atmosfera attrasse diversi clienti nella fascia alta del settore *business* (banche, assicurazioni, grandi aziende manifatturiere) proprio per la possibilità di ottenere garanzie di banda. Quasi sempre, comunque, il protocollo trasportato era già allora IP, dando luogo ad una stortura destinata a durare oltre quindici anni. L'ATM infatti era pensato per consentire applicazioni *end-to-end* tra terminali in grado di 'parlare' ATM, e quindi per trasportare solo se stesso e non il protocollo IP!

Il mondo Telco si diede molto da fare per sponsorizzare la nascita di apparati in grado di trattare nativamente l'ATM, in modo da favorire la nascita della *Broadband-ISDN*, ma senza successo. Le schede ATM per computer esistevano, ma erano molto costose, così come il software per poterle pilotare (si ricordi la vicenda X.25: evidentemente gli errori non insegnano). Nel frattempo, invece,

il software TCP/IP aveva già sfondato nel mondo Unix e Windows, divenendo disponibile gratuitamente a chiunque avesse a disposizione uno dei due sistemi operativi.

A quel tempo (1995-96) si favoleggiava addirittura di portare l'ATM su ogni singolo PC, per gestire direttamente comunicazioni sincrone (ad esempio chiamate video ed audio), ma questo evento si rivelò ben presto solo una chimera. Oggi sembra naturale avere un PC con un attacco di rete Ethernet disponibile dalla fabbrica, ma allora le schede bisognava acquistarle e montarle, e perché non pensare di comprare una scheda ATM invece di una Ethernet? Il fatto è che, mentre le schede ATM erano di là da venire, quelle Ethernet cominciarono ad essere disponibili a prezzi relativamente modesti (intorno ai 50 \$), ed i PC, oltre ad avere il software TCP/IP nativo cominciarono di lì a breve ad essere equipaggiati nativamente anche di una scheda di rete Ethernet.

Dopo pochi anni fu chiaro che ATM era destinato a rimanere un prodotto di fascia molto alta, adatto all'interconnessione di grandi aziende ed a costituire un solido *backbone* per le reti IP, ma che non sarebbe mai atterrato sulle apparecchiature di fascia *consumer*, così come il sogno della B-ISDN avrebbe voluto.

### *ATM e/o IP*

Si è parlato prima di *stortura* citando il fatto che il protocollo IP viaggiava sopra le reti ATM, vediamo brevemente perché. Dal punto di vista teorico i due protocolli adempiono agli stessi compiti, tra cui quello principale è di fare in modo che i pacchetti raggiungano la corretta destinazione quando attraversano la rete. L'indirizzamento, con l'identificazione dei punti finali (*endpoints*) delle comunicazioni è una funzione fondamentale per entrambi, ma gli indirizzi IP sono diversi da quelli ATM.

Un pacchetto IP che viene trasportato in celle ATM perciò viene instradato due volte, dai *router* IP e dai nodi ATM, con evidente spreco di risorse. Lo spreco non è solo quello di potenza elaborativa sulle apparecchiature di commutazione dei due differenti livelli di rete, vi è infatti uno spreco (in inglese *overhead*) di banda, dovuto al fatto che sia IP che ATM aggiungono *byte* di controllo ai *byte* che effettivamente devono essere trasportati, e che gli inglesi pragmaticamente chiamano il carico pagante (*payload*). Tenendo conto che ogni cella ATM inserisce, come abbiamo visto, 5 *byte* di controllo su 53, questa aggiunta comporta una maggior richiesta di banda di almeno il 10% rispetto a trasmettere solo i pacchetti IP.

Ci sono anche altri inconvenienti che sarebbe tedioso elencare, ma già nel 1996 era sufficientemente chiaro quello che stava succedendo: i Telco avevano tutte le informazioni per fare una scelta precisa ed a prova di futuro ma non la fecero, preferendo imitare animali che usano nascondere la testa sotto la sabbia per non vedere i problemi ed in questo modo cercare di scongiurarli (anche se raramente la tecnica si rivela efficace). Una notizia per i curiosi e gli appassionati archeologi delle reti nell'ottobre 1996 si tenne a Torino, nel centro di ricerca Telecom Italia, un dibattito interno, molto partecipato anche a livello emozionale, intitolato "ATM versus IP: Alternativa o Integrazione?". Di questo evento è reperibile ampia documentazione che bene illustra le tensioni di quegli anni.

Naturalmente all'interno di Telecom Italia vinse l'approccio tradizionale, e nelle sue reti il protocollo IP subì l'abbraccio delle celle ATM. Le conseguenze di questa scelta trascinano i loro effetti fino ai giorni nostri, e nonostante i costruttori abbiano annunciato nel 2009 (!) la cessazione della produzione di apparati ATM, ancora nel 2010 gran parte della rete metro di Telecom Italia (quella compresa tra la rete di accesso dei DSLAM e la rete *backbone* ormai totalmente IP-izzata) è realizzata con questa tecnica. Si può ben dire perciò che gran parte del traffico IP in Italia è ancora oggi trasportato su rete ATM!

### *Vendita IP all'ingrosso: la rete Interbusiness*

Un piccolo passo indietro: nonostante nel 1994 il pensiero dominante in Telecom Italia fosse radicalmente contrario al ritenere Internet una rete degna di qualche attenzione, l'evidenza della sempre maggiore diffusione del TCP/IP come protocollo di interesse per le aziende non poteva essere negata. Quando fu chiaro che gli accessi IP erano richiesti non solo per costruire reti private virtuali all'interno delle aziende (per questa esigenza, ricordiamo, l'offerta *Frame Relay* di CLAN costituiva una risposta adeguata), ma anche per poter comunicare con aziende esterne (l'interesse principale era allora per il servizio di posta elettronica, che si era ormai imposto come l'unico standard internazionale) qualcuno in Telecom dovette fare i conti con la *Big Internet*, e offrire tra i servizi dati anche quello di interconnessione alla rete Internet mondiale.

Inoltre, anche in Italia stava nascendo e crescendo in fretta il mercato degli ISP come abbiamo visto sopra, aziende che facevano della connessione ad Internet di utenti privati il loro *business* primario. Un ISP si faceva carico di mettere in piedi le batterie di *modem* necessarie alla connessione degli utenti, ma aveva poi bisogno di connettere tra di loro i cosiddetti *Point of Presence* (POP), cioè le località in cui questi *modem* erano posizionati, e da questa rete di POP raggiungere infine la Big Internet.

Così, dopo una gestazione piuttosto breve, vista anche la disponibilità della rete CLAN che fungeva da buona infrastruttura portante, si concepì nel 1994 e nacque a marzo 1995 Interbusiness, l'offerta di servizi Telecom Italia di accesso ad Internet per le aziende. Come il nome dell'offerta sottolinea, infatti, essa non era pensata per far concorrenza agli ISP per utenti domestici, ma anzi per costituire un *backbone* che potesse servire, tra gli altri, gli stessi ISP nel loro compito di rivendita al dettaglio di accessi ad Internet.

Interbusiness era inizialmente in realtà una rete totalmente basata su *Frame Relay*, con un accesso alla Big Internet attraverso E-Bone, un *backbone* Internet Europeo collegato ai grandi *backbone* americani. Inizialmente Interbusiness aveva un numero molto limitato di nodi (*router* IP Cisco) ed era quindi una rete relativamente semplice, ma lo sforzo richiesto all'azienda per offrire servizi completamente al di fuori del proprio orizzonte culturale (quali posta elettronica e *Domain Name Server*) non fu indifferente.

L'offerta commerciale consisteva in servizi dal nome di pietre preziose o semipreziose (giada, zaffiro, rubino, diamante) a seconda del tipo di accesso (dall'offerta "giada" di circuiti diretti a 9600 bit/s agli accessi "zaffiro" ISDN a

64 kbit/s fino a “diamante” con accessi a 2Mbit/s). Accessi commutati alla rete (via *modem*) erano inizialmente possibili solo tramite collegamenti X.28 offerti da ITAPAC e convertiti da un server centrale in protocollo IP (!).

Visto che, come ricordato, l’offerta era indirizzata fundamentalmente a due tipi di utenti (le aziende con necessità di connessione alla Big Internet e gli *Internet Service Provider*) con l’acquisizione di VOL, avvenuta poco dopo la nascita di Interbusiness, Telecom diventò concorrente di se stessa, offrendo connettività IP sia al proprio ISP (Telecom Italia Net, TIN) che agli altri.

Vale la pena ricordare un fatto curioso a questo proposito. Uno dei costi maggiori che Interbusiness doveva coprire era quello della connettività verso Internet, poiché i costi dei link intercontinentali erano notevoli. Molto del traffico aziendale sulla rete, d’altra parte, si richiudeva all’interno della rete stessa per le ragioni già viste in precedenza. Lo stesso non valeva per gli ISP, i cui utenti generavano un grande traffico verso gli snodi intercontinentali. Per questo l’offerta “diamante” di accesso a 2 Mbit/s in realtà aveva prezzi diversi per le aziende e per gli ISP (nel secondo caso si chiamava “diamante plus”), pur essendo identica dal punto di vista tecnico. Ma secondo il ben noto principio del “fatta la legge trovato l’inganno”, visto che non esiste alcuna definizione formale di “azienda ISP”, alcuni ISP di dimensioni medio-piccole si costituirono come associazioni che offrivano ai propri membri, a fronte del pagamento della quota associativa, un accesso ad Internet “gratuito”. Non essendo formalmente ISP ma libere associazioni culturali esse potevano perciò pagare un servizio “diamante semplice” anziché “plus”!

### *Il progetto SOCRATE e la nascita dell’ADSL*

A conferma della grande fioritura di tecnologie che si concretizzarono in quegli anni, anche l’*Asymmetric Digital Subscriber Loop* (ADSL) viene pensato e sviluppato negli anni ’90. Abbiamo accennato in precedenza al funzionamento di questa tecnica, in grado di portare sul filo del telefono grandi quantità di dati. Studiate per trasportare il segnale televisivo secondo lo standard MPEG-1, le prime realizzazioni ADSL avevano una velocità di 1,5 Mbit/s verso l’utente ma solo di 64 kbit/s verso la rete (questo canale dati verso la rete veniva infatti pensato solo per trasportare i segnali di controllo dei canali TV, il telecomando insomma).

Mentre in America si cominciava a parlare di ADSL e di servizi a larga banda nelle case, nel 1995, anche in virtù della grande liquidità finanziaria di cui l’azienda godeva in quel momento, Telecom Italia lanciò il progetto SOCRATE (Sviluppo Ottico Coassiale Rete di Accesso Telecom), che mirava a cablare le principali città italiane, portando poi a casa degli utenti (su cavo coassiale, ed in alcuni casi direttamente in fibra) molteplici nuovi servizi ad alta velocità, a partire proprio dalla televisione e dal *Video on Demand*.

Il progetto fu lanciato ed il cablaggio andò avanti per un paio di anni, ma nel 1997 venne interrotto per una serie di concause tra cui la privatizzazione di Telecom con il conseguente cambio di responsabilità al vertice aziendale. Fu importante per l’arresto del progetto anche la considerazione che la maturità delle

tecnologie ADSL avrebbe reso possibile portare gli stessi servizi a larga banda a casa degli utenti senza bisogno di posare nuovi cavi (in fibra o in coassiale) nel cosiddetto *ultimo miglio*, cioè il collegamento tra l'appartamento e la centrale telefonica locale. Il seme del nuovo corso nacque proprio all'interno della stessa Telecom, che con suoi centri di ricerca di Torino lanciò la prima applicazione di tecnologie ADSL con il progetto **Torino 2000**. Nel periodo tra il 1998 e il 2000 a Torino venne avviata una sperimentazione su larga scala dell'ADSL, collegando in rete con questa tecnologia un numero importante di scuole, ospedali, studi professionali e sperimentatori privati. Il successo del progetto costituì il trampolino di lancio per l'offerta commerciale ADSL in Italia, che con il servizio *BroadBandBox* di Telecom Italia Net arrivò sul mercato agli inizi del 2000.

### *Le reti dati del nuovo millennio*

Abbiamo brevemente raccontato le vicende che in due decenni videro nascere e svilupparsi le prime reti dati, in un fiorire ed appassire di iniziative, tecnologie, protocolli e reti, nel mondo e più in particolare nel nostro paese. Verso la fine degli anni '90 un altro evento di grande portata, stavolta politico-economica e non tecnologica, sconvolse il mondo delle telecomunicazioni italiane: la privatizzazione di Telecom Italia e la liberalizzazione dei servizi di Telecomunicazione, con l'avvento di nuove società a portare servizi per la voce fissa e mobile e per le reti dati ed i servizi multimediali.

La liberalizzazione ha notevolmente vivacizzato il panorama dell'offerta di servizi ai cittadini, basti ricordare l'esempio di Fastweb. Nata nel 1999, questa società ha realizzato in maniera molto pragmatica ed economicamente produttiva (anche se con uno spettro di azione piuttosto limitato) quello che era stato solo pochi anni prima il sogno di Telecom Italia con SOCRATE. Essa infatti ha portato la banda larga ed i suoi servizi, ad un numero importante di cittadini in zone in cui la tecnologia era economicamente conveniente vista la elevata concentrazione urbana.

Dal punto di vista dell'evoluzione architeturale e tecnologica delle reti dati però il nuovo millennio non ha portato dirompenti novità, e gli anni recenti hanno visto una razionalizzazione ed una crescita di questo settore più quantitativa che qualitativa o innovativa. Da ormai dieci anni le reti dati "parlano" quasi solamente IP, anche perché nuove tecniche su cui non ci dilungheremo (es. MPLS, uno standard codificato nel 2001) hanno contribuito a migliorare il servizio, riuscendo in qualche modo a superare il paradigma *best effort* che caratterizzava le reti IP.

Anche i più incalliti critici e detrattori del modello Internet/IP ormai hanno accettato (con rassegnazione?) la situazione di fatto. Nonostante i problemi che IP continua ad avere, e che erano già noti 15 anni fa (il più importante è forse quello della scarsità degli indirizzi di rete) nessuno mette più in dubbio la rilevanza della rivoluzione che la rete delle reti ha portato nel mondo a tutti i livelli, da quello culturale a quello economico-industriale. Con l'ATM sarebbe stato lo stesso? O forse meglio? Magari peggio... Non è semplice dirlo, ma non è nemmeno importante, in fondo, in quanto non è più un problema.

Segno dei tempi: l'onda lunga ha pian piano trascinato anche le aziende identificate da molti come i dinosauri delle telecomunicazioni. La resa in Italia inizia proprio nel 2001, con la migrazione di tutta la parte centrale (il *backbone*) della rete telefonica Telecom sul protocollo IP. Da allora la conquista del protocollo a pacchetto sulla rete telefonica ha marciato dal centro verso la periferia, arrivando recentemente a conquistare con i servizi VoIP (*Voice over IP*) anche parte dell'ultimo miglio. Altro segno importante: nel 2010 è arrivata infine la decisione del *phase out* (la rimozione graduale) della tecnologia ATM dalla rete Telecom, ponendo fine anche in Italia ad un'epoca che i pochi appassionati del tema delle comunicazioni dati ricorderanno come eroica e pionieristica.

## Bibliografia

- Baran Paul, 1964, rapporto: "On Distributed Communications", RAND Corporation.
- Caneschi F., Gregori E., Lenzini Luciano, 1986, "OSIRIDE: State of the Art and Future Developments", *ICCC*, pp. 84-88.
- Celandroni N., Ferro E., Lenzini Luciano, Segal B.M., Olofsson K.S., 1983, *STELLA – Satellite Interconnection of Local Area Networks: Architecture and Protocols*, Proceedings of the International Symposium, Versailles, France, April 27-29, 1983, pp. 25-40.
- Franchi P., Fusi A., 1975, "Communication System and Access Method in RPCNET", Proceedings of IFIP-IIASA Workshop on Computer Networks, Vienna, September 1975.
- Kleinrock Leonard, tesi di dottorato: *Message Delay in Communication Nets with Storage*, MIT, 1961-62.
- Lazzeri L., Lenzini Luciano, Springer A., 1978, "The Implementation of Rpcnet on a Minicomputer", *ACM Computer Communication Review, SIGCOM*, vol. 8, n. 1, pp. 4-14.
- Lenzini Luciano, Sommi G., 1976, *Architecture and Implementation of Rpcnet*, Proceedings of the Third International Conference on Computer Communication, Toronto, 3-6 August 1976, pp. 606-611.
- Lenzini Luciano, Zoccolini F., 1992, "Interoperability Tests on OSI Products in the Framework of the OSIRIDE-Intertest Initiative", *Computer Networks*, vol. 24, n. 1, *ICCC* 1986, pp. 65-80.
- Licklider Joseph, 1962, "Intergalactic Computer Network", BBN (Bolt Beranek and Newman).



## La fotonica nelle telecomunicazioni

Parlare della fotonica nelle telecomunicazioni in Italia non può prescindere dal collocare l'evoluzione "domestica" in un quadro, seppur sintetico, dell'evoluzione mondiale, ponendo le nostre tappe in rapporto con i capisaldi di questa. Come d'altronde vero un po' per tutta l'ICT (*Information and Communication Technology*), non conta infatti soltanto ciò che si è fatto, ma "quando" lo si è fatto, per meglio comprendere il grado di innovazione apportata e se ci si sia mossi in una atmosfera di avanguardia, di allineamento o di inseguimento. Naturalmente scrivere del "ciò che si è fatto" da un gran numero di persone, e di solito tanto più importanti quanto più lontana ne è l'attività, porta inevitabilmente a dare una versione molto parziale e incompleta della realtà, cosa non scusabile anche se scuse ne chiedo anticipatamente. Il risultato proviene comunque da buona fede completa, e questo forse attenua un poco la cosa.

Sia per il cinquantenario che ricorre quest'anno (2010), sia per l'importanza del componente, essenziale nella comunicazione, non si può non sottolineare che è con la realizzazione del primo laser a rubino nel maggio del 1960 a Malibu in California da parte di Theodore Harold Maiman<sup>1</sup> degli Hughes Research Laboratories, e da lì a pochi mesi del primo laser a elio-neon (He-Ne) da parte di Alì Javan, William R. Bennet e Donald R. Herriot dei laboratori Bell, che prendono avvio le prime prospettive di impiego della fotonica nelle telecomunicazioni. Venendosi a disporre di un fascio continuo di luce coerente alla lunghezza d'onda di 1.15 micron, si intravede la possibilità di estendere i canali utili alla comunicazione alle frequenze ottiche, possibilità che subito cominciò ad essere presa in seria considerazione per la comunicazione nello spazio libero con tecniche che replicavano sostanzialmente le trasmissioni con portante a radiofrequenza. Da qui prendiamo le mosse per questo *excursus* nella fotonica per le telecomunicazioni in Italia.

### Gli anni '60

L'Italia si è trovata coinvolta nella storia del laser sin dalla nascita di questo. La ricerca sui laser in Italia ha pionieri riconosciuti in Fortunato Tito Arecchi

<sup>1</sup> Maiman 1960.

e Orazio Svelto. Il primo si trovava già in California a Stanford nel 1960, anno della nascita del primo laser a rubino di Maiman. Il secondo già nell'autunno 1961, circa un anno dopo, si trasferisce a sua volta presso l'Università di Stanford, dove, con un gruppo di colleghi americani, si avvia alla ricerca sul laser e alla costruzione di uno dei primi laser a rubino. Entrambi rientreranno, dopo un soggiorno americano, in Italia, nonostante proposte da parte americana di continuare la ricerca nei loro laboratori, continuando a Milano gli studi con un proprio gruppo di ricercatori italiani. Da notare, in particolare, il lavoro sulla efficienza del pompaggio ottico, pubblicato<sup>2</sup> da Svelto nell'aprile del 1962 nel primo volume della nuova rivista *Applied Optics*, che rappresenta il primo lavoro scientifico di un italiano nel campo dei laser.

Il laser a rubino, o “maser ottico” come viene anche all'epoca chiamato, suscita in Italia immediato interesse per il suo potenziale impiego nelle telecomunicazioni, sia nell'ambiente di ricerca che industriale. Nella costruzione di un laser a rubino si cimentano all'Istituto Superiore Poste e Telecomunicazioni Mario Bertolotti, Ludovico Muzii e Daniele Sette, che pubblicano<sup>3</sup> nel settembre 1962 i risultati del loro esperimento su *Alta Frequenza*, rivista dell'Associazione Elettrotecnica Italiana, realizzando un laser a 6943 Å. Nel frattempo, Salvatore Randi della Società Telettra SpA aveva tenuto una conferenza, il 15 febbraio 1962, presso la sezione di Milano dell'Associazione Elettrotecnica Italiana dal titolo “Nuove prospettive aperte dal ‘Maser ottico’ alla tecnica delle telecomunicazioni”<sup>4</sup>. Anche al CISE (Centro Informazioni Studi Esperienze) di Segrate (MI), Arecchi, che si trovava come detto a Stanford nel fatidico 1960, e Alberto Sona realizzano nel periodo 1962-63 un laser a rubino e ad elio-neon<sup>5</sup>.

Dopo poco tempo dalle prime realizzazioni di Maiman e del terzetto di ricercatori Bell, proprio nell'autunno del 1962, ben quattro gruppi all'estero realizzano pressoché contemporaneamente i primi diodi laser a semiconduttore, in grado di operare in modo impulsato se refrigerati alla temperatura dell'azoto liquido. La primogenitura è attribuita fra i quattro a Robert N. Hall della General Electric. Si dovrà poi attendere sino ai primi di maggio del 1970 perché il gruppo di Zhores Alferov all'Istituto di Fisica “Ioffe” di Leningrado (ora San Pietroburgo) nell'allora Unione Sovietica presentasse i primi laser a semiconduttore a onda continua funzionanti a temperatura ambiente, mettendo così a disposizione un dispositivo con reali prospettive di utilizzabilità. Il 1 giugno 1970, a brevissima distanza da Alferov, anche Mort Parish e Izuo Hayashi dei Bell Labs ottennero un analogo risultato, dopo quattro anni di studi dedicati a comprendere perché il loro diodo laser risultasse avere una soglia di eccitazione così alta a temperatura ambiente.

In Italia, pur non disponendosi delle attrezzature necessarie per queste realizzazioni a semiconduttore, già alla fine del 1963 presso il CISE Arecchi e Sona,

<sup>2</sup> Svelto 1962.

<sup>3</sup> Bertolotti, Muzii e Sette 1962.

<sup>4</sup> *Alta Frequenza* 1962.

<sup>5</sup> Arecchi e Sona 1962.

insieme a Carlo Alberto Sacchi dell'Istituto di Fisica del Politecnico di Milano, pubblicano<sup>6</sup> una trattazione generale di diversi tipi di modalità di operazione del laser, continua, impulsata o *Q-switched* (a impulsi con reazione controllata). Nel 1965-66 Vittorio Degiorgio e G. Potenza studiano sperimentalmente al CISE, pubblicandone<sup>7</sup> i risultati a livello internazionale nel febbraio 1967, il comportamento dell'energia di uscita di un laser a rubino nel passaggio dalla normale modalità operativa a quella *Q-switched*. La rivista *Nuovo Cimento* accoglie in questo periodo molti degli studi di questo gruppo di ricercatori, di cui si riportano alcuni esempi<sup>8</sup>, gruppo che produrrà nomi di riferimento per i laser nei decenni a venire.

Negli anni immediatamente successivi alle prime realizzazioni mondiali dei laser, anche presso lo CSELT (Centro Studi E Laboratori Telecomunicazioni, fondato dalla STET nel 1964, evoluzione dallo CSEL costituito nel 1961) si effettuano studi e sperimentazioni per produrre luce monocromatica da cristalli o gas rarefatti. L'impostazione ai fini della comunicazione a mezzo laser era quella, già accennata, di utilizzare i fasci ottici ad onda continua operanti a frequenze superiori a 100 THz come portanti del segnale modulante. Sulla base di queste realizzazioni sperimentali furono effettuate prove di trasmissione di un segnale PCM (*Pulse Code Modulation*) a 24 canali nel territorio torinese fra un trasmettitore laser collocato nella allora sede aziendale di via Avigliana ed un ricevitore al Colle della Maddalena, a circa 5 km di distanza.

Negli anni 1963-64 il gruppo di Giuliano Toraldo di Francia (poi medaglia d'oro della fisica italiana) del Centro Microonde del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Firenze lavora su diversi aspetti legati alla propagazione del fascio laser in atmosfera e sulla modellizzazione di cavità risonanti per i laser. L'attenzione per il laser come generatore di una portante ottica si manifestava pressoché in parallelo anche presso la Fondazione Ugo Bordoni (FUB) e l'Istituto Superiore Poste e Telecomunicazioni (ISPT) di Roma, dove Daniele Sette nel 1965 pubblicava sulla rivista tedesca *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik* un articolo su "Laser applications to communications"<sup>9</sup>. Ancora lo stesso Sette e Benedetto Daino, che guiderà per anni presso la FUB un nutrito gruppo di ricerca su componenti e sistemi fotonici, l'anno successivo pubblicavano su *Alta Frequenza* rispettivi articoli su "Problemi di comunicazione con laser"<sup>10</sup> e "Problemi di modulazione e demodulazione di un fascio laser"<sup>11</sup>. Quest'ultima comunicazione era stata presentata in precedenza al Convegno di Elettronica Quantistica del 5-7 aprile 1965 a Milano, seguita da una comunicazione sulla misura delle fluttuazioni in frequenza di un fascio ottico<sup>12</sup>, attività di ricerca questa effettuata da Daino durante un soggiorno anch'esso a Stanford, signifi-

<sup>6</sup> Arecchi, Sacchi e Sona 1963.

<sup>7</sup> Degiorgio e Potenza 1967.

<sup>8</sup> Arecchi, Potenza e Sona 1964; Degiorgio e Potenza 1966; Degiorgio e Giglio 1966.

<sup>9</sup> Sette 1965.

<sup>10</sup> Sette 1966.

<sup>11</sup> Daino, "Problemi di modulazione e demodulazione di un fascio laser", 1966.

<sup>12</sup> Daino, "The measurement of the frequency fluctuations of an optical field", 1966.

cativo punto di attrazione per gli allora giovani ricercatori italiani. A conferma dell'interesse in quegli anni per la portante costituita dal laser, ancora Daino, R. Cavicchia e A. Vincenti, presenteranno una memoria a Firenze nel settembre 1968 al simposio sulle applicazioni della luce coerente dal titolo "On the performance of a laser communication link"<sup>13</sup>. Nel 1966 Orazio Svelto presenta una relazione al convegno di elettronica quantistica su laser a stato solido con elevata potenza di uscita<sup>14</sup>.

Sul piano tecnico, oltre alla sorgente, l'elemento essenziale per una comunicazione ottica veramente applicabile su scala ampia nelle reti di comunicazione era, ed è, una guida adeguata per le frequenze emesse dai laser. Dopo che nel maggio 1961 Elias Snitzer di American Optical aveva pubblicato<sup>15</sup> una descrizione teorica di una fibra ottica a singolo modo (con una attenuazione di 1 dB/m, buona per strumenti medicali), e nell'ottobre 1961 Robert J. Potter aveva pubblicato un articolo sul *Journal of Optical Society of America* sulle proprietà trasmissive delle fibre ottiche<sup>16</sup>, nel 1962 si avvia presso gli Standard Telecommunications Laboratories (STL) ad Harlow, Regno Unito, un gruppo di studio sulla comunicazione ottica su canale guidato, diretto da Antoni E. Karbowiak, che inizialmente concentra l'attenzione sul canale ottico costituito da guide d'onda flessibili a film sottile. Ma è soltanto nel dicembre 1964, dopo che Karbowiak ebbe lasciato STL per trasferirsi presso la University of South Wales, che il gruppo di STL, guidato ora da Charles K. Kao, abbandona la soluzione della guida a film sottile e si orienta allo studio della fibra a singolo modo. Nel luglio del 1966 Kao e George Hockham pubblicano un articolo<sup>17</sup> che rappresenta una pietra miliare per lo sviluppo della comunicazione guidata in fibra. Per i risultati presentati in questo articolo e le prospettive che esso concretamente apriva, Charles Kao riceverà nel 2009 il premio Nobel per la fisica. Avendo pronosticato, in una conferenza del gennaio 1966 presso l'allora IEE (*Institution of Electrical Engineers*) inglese che sarebbe stato possibile raggiungere una attenuazione di 20 dB/km alla lunghezza d'onda di 0.633  $\mu\text{m}$  (coincidente con una lunghezza d'onda di emissione del laser a He-Ne), Kao, negli anni 1968-1969 sviluppò uno spettrofotometro particolarmente sensibile per misurare le perdite di quarzi fusi prodotti commercialmente. Con questo strumento riuscì quindi a dimostrare, nel 1969, che un particolare quarzo commerciale (Infrasil della Schott Glass) aveva un'attenuazione di soli 5 dB/km in una finestra di attenuazione minima corrispondente alla lunghezza d'onda di 0.85  $\mu\text{m}$ , coincidente con la lunghezza d'onda di emissione del laser ad arseniuro di gallio (GaAs). Anche a seguito di questi risultati il British Post Office, la giapponese NTT e, soprattutto, l'americana Corning dedicano crescente attenzione e risorse allo studio e alla realizzazione di fibre ottiche a bassa attenuazione. La corsa alla realizzazione di

<sup>13</sup> Cavicchia, Daino, e Vincenti, 1968.

<sup>14</sup> Svelto 1966.

<sup>15</sup> Snitzer 1961.

<sup>16</sup> Potter 1961.

<sup>17</sup> Kao e Hockham 1966.

queste fibre fu poi vinta nel 1970 dalla Corning che annunciò di aver realizzato una fibra con una attenuazione di soli 17 dB/km alla lunghezza d'onda di 0.633  $\mu\text{m}$ . Il nucleo della fibra era ottenuto mediante diffusione di titanio nel quarzo mentre il mantello era costituito da quarzo ultrapuro depositato mediante la tecnica OVD (*Outside Vapor Deposition*). Questo annuncio funzionò come un vero e proprio campanello di allarme per tutto il mondo scientifico e industriale interessato a questi sviluppi.

Dal 1966 al 1970 si manifesta quindi a livello internazionale un progressivo crescente interesse per l'argomento "fibra ottica", finché nell'aprile 1970 STL effettua una prima dimostrazione di trasmissione alla Physics Exhibition in Londra. Dopo questa dimostrazione Kao lascia STL per andare a insegnare all'Università cinese di Hong Kong, di cui era originario, e il gruppo passa sotto la guida di Murray Ramsey, continuando una attività di prevalente ricerca e dimostrazione. E l'Italia?

## Gli anni '70

Con questa cornice e queste premesse su laser e fibre ottiche, veniamo quindi all'Italia. In Italia, nel 1970 Svelto pubblica il suo libro "Principi dei laser"<sup>18</sup>, un testo che avrà un incredibile successo, tradotto nel corso degli anni in 6 lingue, e che ha ormai raggiunto la quinta edizione in lingua inglese (2010). Esso costituisce uno dei capisaldi della materia e ha dato al suo autore e all'Italia una visibilità ed un prestigio di livello assoluto in questo campo. È ancora adesso adottato nel mondo come testo di riferimento per didattica e per consultazione.

Sul fronte della fibra, alla fine del 1970 divengono disponibili da Corning fibre multimodo alla lunghezza d'onda di 850 nm con 20 dB/km di attenuazione. Queste fibre, che appaiono oggi rudimentali, costituivano già una opportunità, usate con sorgenti ad arseniuro di gallio e rivelatori al silicio, di competere con i sistemi di trasmissione sul rame, che avevano passi di ripetizione di pochi chilometri sia sulle coppie simmetriche a 2 Mbit/s che sul cavo coassiale a 140 Mbit/s. La stessa Corning già nell'estate 1970 aveva ottenuto fibre con attenuazione di 17 dB/km a 633 nanometri usando titanio come drogante nel *core* della fibra, prestazioni confermate anche nel Regno Unito dal British Post Office e da STL. In questo scenario, la Pirelli, che produceva già cavi tradizionali per telecomunicazioni, comincia assai presto, con notevole lungimiranza, a interessarsi delle tecnologie fotoniche: nel 1970, quando Kao lascia STL, aveva già avviato studi sull'impiego di fibre ottiche nelle telecomunicazioni in vista di cavi che potessero contenerle nel futuro. E non è la sola. Anche lo CSELT avvia a partire dal 1970 un programma di ricerca sui sistemi di trasmissione a fibre ottiche. Si tratta, in questa fase, di attività prevalentemente orientate alla fattibilità dei nuovi sistemi, progettazione e valutazione delle prestazioni attese, portate avanti con fibre acquisite dall'esterno, e anche di una contemporanea

<sup>18</sup> Svelto 1970.

acquisizione di *know how* per una realizzazione autonoma di fibre. Un paio di anni dopo, nel 1972, ancora Corning annuncia 4 dB/km di attenuazione ottenuti sostituendo il titanio con il germanio, mentre Bell Labs non riesce a raggiungere simili risultati nelle fibre di propria realizzazione, il che dà una chiara idea del vantaggio di *know how* tecnologico che Corning stava accumulando sul piano industriale, mentre STL si manteneva su aspetti di ricerca.

*I primi sviluppi delle ricerche laser in Italia* (a cura di ORAZIO SVELTO)

Anche in Italia la realizzazione nel 1960 del primo laser da parte di Maiman fu immediatamente seguita con vivo interesse. In particolare, la Fondazione Ugo Bordoni (FUB) fu la prima ad avviare ricerche in questo campo sviluppando, verso la fine del 1961, il primo laser italiano a rubino. Quasi contemporaneamente, fra la fine del 1960 e metà del 1961, alcuni giovani ricercatori (Tito Arcchi e Orazio Svelto, in primis) si recavano da Milano alla Università di Stanford per iniziare a lavorare nel campo dei laser. L'avvio ufficiale della ricerca italiana in questo campo, tuttavia, può essere fatta risalire al 1962, quando il CNR costituì un gruppo di lavoro "per lo studio dei dispositivi amplificatori di onde elettromagnetiche mediante interazione con la materia". Col finanziamento inizialmente ricevuto fu organizzato, nel Settembre 1962, un viaggio di studio negli USA presso i laboratori Bell, IBM, Raytheon, MIT, Hughes, Cal Tech e Stanford. Il gruppo di studio era costituito da Daniele Sette e Mario Bertolotti di Roma, Giuliano Toraldo di Francia, Oliviero Fagioli e Riccardo Pratesi di Firenze, Tito Arcchi (nel frattempo rientrato a Milano) e Alberto Sona di Milano. Nella visita effettuata presso l'Università di Stanford, il gruppo ebbe modo di essere messo al corrente delle ricerche che, nel frattempo, Orazio Svelto aveva sviluppato presso la stessa Università.

A seguito delle informazioni ricevute dalle varie visite, il CNR varò, su iniziativa del suddetto gruppo di lavoro, la così detta "Impresa Maser-Laser", una specie di progetto strategico, di durata quinquennale. Le attività di ricerca partirono agli inizi del 1963 e furono concentrate su quattro gruppi di ricerca: (1) Il gruppo di Daniele Sette e Mario Bertolotti, presso la Fondazione Ugo Bordoni a Roma. (2) Il gruppo di Giuliano Toraldo di Francia, presso il Centro Microonde del CNR a Firenze. (3) Il gruppo di Tito Arcchi e Alberto Sona presso i laboratori CISE di Milano. (4) Il gruppo di Orazio Svelto (nel frattempo rientrato dagli USA) e Carlo Alberto Sacchi presso il Politecnico di Milano. Naturalmente non è possibile fornire una descrizione dettagliata delle ricerche effettuate da questi primi quattro gruppi di ricerca, cui si affiancarono poi altri (Pisa, Bari, Palermo ecc.). Sarà quindi illustrato lo spirito e le principali missioni di questi gruppi durante i primi anni delle ricerche stesse.

Il gruppo di Roma di Sette e Bertolotti si concentrò, innanzi tutto, sullo studio delle comunicazioni ottiche con i laser studiandone vari aspetti dalla generazione, alla trasmissione e alla rivelazione. Successive ricerche hanno invece riguardato lo studio delle caratteristiche di coerenza spaziale di laser a più modi e il confronto fra le proprietà di coerenza e le proprietà statistiche della luce laser. Il gruppo di Toraldo di Francia e collaboratori (Riccardo Pratesi, Anna Maria Scheggi, Pio Burlamacchi, Anna Consortini, Laura Ronchi e Vera Russo)

si concentrò, innanzitutto sullo studio dei risonatori ottici, sullo studio della propagazione di fasci laser nella atmosfera, sulla teoria del laser multimodale e sullo sviluppo di alcuni laser (laser a rubino segmentato e a colorante organico). Il gruppo di Arecchi e Sona si concentrò innanzitutto sulla realizzazione di alcuni laser a gas nel frattempo sviluppati all'estero [primi laser italiani a He-Ne (1962), a CO<sub>2</sub> (1965), ad Ar<sup>+</sup> (1965), a He-Cd, e a He-Se]. Presso i laboratori CISE furono anche sviluppati (da parte di Gianni Fabri) i primi laser a semiconduttore (GaAs) italiani (1964). Da un punto di vista di ricerche più di base, il gruppo di Arecchi e Sona è soprattutto noto, in quegli anni, per il primo studio internazionale sulle proprietà statistiche della radiazione laser (coerente) e della luce termica, cioè incoerente (1965-66). Il gruppo di Svelto e Sacchi si è sempre occupato di ricerche nel campo dei laser a stato solido, studiando, per primi in campo internazionale, alcuni aspetti del loro comportamento dinamico, quali le oscillazioni di rilassamento e il mode-locking passivo (1968), e studiando tecniche innovative per forzare l'oscillazione sul singolo modo trasversale (modo TEM<sub>00</sub>). Il gruppo ha anche sviluppato il primo laser italiano a Nd:YAG in funzionamento continuo (1966).

A conclusione di questa breve descrizione a carattere storico, appare opportuno porre in evidenza la grande lungimiranza dimostrata dal CNR, in questo settore, promuovendo e coordinando ricerche a partire dalla già citata impresa Maser-Laser. Successivamente ad essa, il CNR ha, infatti, finanziato i Progetti Finalizzati "Laser di Potenza" (1978-1983) diretto da Alberto Sona, "Tecnologie Elettroottiche" (1989-1994), diretto da Anna Maria Scheggi, e i due Progetti Finalizzati Materiali e Dispositivi per l'Elettronica a Stato Solido MADESS I (1987-1992) e MADESS II (1997-2002), ambedue diretti da Antonio Paletti e che contenevano sottoprogetti riguardanti l'optoelettronica. Un ruolo anche importante è stato giocato dall'ENEA, che ha mirato, in particolare, allo sviluppo e alle applicazioni dei laser di elevata potenza per le tecnologie utilizzate nel campo dell'energia (produzione e risparmio), della fotochimica e del trattamento dei materiali.

È negli anni dal 1970 al 1975 che si manifesta in ambito accademico italiano anche un intenso fiorire di studi sulle fibre ottiche e le loro caratteristiche come mezzo di propagazione. L'Istituto Elettrotecnico dell'Università di Bari si distingue per i suoi contributi sin dal 1971, quando Venanzio Andresciani e Roberto De Leo presentano al XIX Congresso Internazionale delle Comunicazioni a Genova una memoria su "Le fibre ottiche come mezzi di trasmissione per sistemi di telecomunicazione a grandissima capacità e lunga distanza"<sup>19</sup>, seguito da un intervento l'anno successivo, sempre al congresso di Genova, su dispositivi non reciproci per comunicazioni in fibra ottica<sup>20</sup>, da un articolo su *Alta Frequenza* nel 1973 sulla propagazione in fibra in presenza di campi magnetici intensi<sup>21</sup> e nel 1974, insieme con Mario Armenise, da una memoria alla LXXV

<sup>19</sup> Andresciani e DeLeo 1971.

<sup>20</sup> Andresciani e DeLeo 1972.

<sup>21</sup> Andresciani e DeLeo 1973.

Riunione dell'AEI sulla propagazione in fibre ad indice di rifrazione variabile con continuità<sup>22</sup>. Carlo Giacomo Someda nella stessa riunione presentava una memoria sull'analisi della distorsione di un impulso che si propaga in una fibra ottica multimodale con mezzo esterno dissipativo<sup>23</sup>.

In effetti, una parte consistente della LXXV riunione dell'AEI (1974)<sup>24</sup> venne dedicata alla fotonica, termine allora poco o niente usato, nelle telecomunicazioni: ci si occupava anche di ottimizzazione della trasmissione ad impulsi modulati in ampiezza su fibra multimodo (Benedetto Daino e Francesco Lombardi, FUB), della geometria necessaria per ottenere oscillazione su singolo modo trasverso in un laser a semiconduttore (Marino Bonamico, Gianni Fabri, Giorgio Randone, Alberto Sona, CISE), dei sistemi di telecomunicazione in fibra ottica (Francesco Albertin e Leonardo Michetti, CSELT), della teoria elettromagnetica della propagazione nelle fibre ideali (Pietro DiVita, CSELT), della teoria geometrica della propagazione in fibra (Pietro DiVita e Riccardo Vannucci, CSELT), delle misure di attenuazione e diffusione in fibre multimodali (Stefania De Vito e Bruno Sordo, CSELT), del modulatore a larga banda di fasci laser He-Ne (Mario Armenise, Roberto De Leo, Istituto Elettrotecnico, Università di Bari), della propagazione della coerenza in fibre multimodo (Bruno Crosignani, Benedetto Daino, Paolo Di Porto, FUB), della misura della probabilità di errore in un collegamento ottico in atmosfera (Benedetto Daino, Marco Galeotti, Daniele Sette, FUB), quest'ultimo lavoro anche pubblicato<sup>25</sup> l'anno precedente su una rivista internazionale. È interessante osservare come in mezzo ai vari lavori che riguardavano fibre e laser, una memoria<sup>26</sup> di Benedetto Daino trattava già, in quella stessa riunione, l'amplificazione in fibra ottica di segnali luminosi! Torneremo sull'amplificazione ottica al momento giusto, negli anni '80, anni in cui questo componente sarà sviluppato in modo utilizzabile per le comunicazioni in fibra. L'amplificatore di Daino infatti era un progenitore, operava su un fascio a He-Ne a 632.8 nm, e la fibra era a nucleo liquido, riempita con una soluzione di Rhodamina in alcol benzilico, avvolta su cilindro di vetro coassiale a un tubo flash di eccitazione. Il tutto forniva una amplificazione di 20 dB. Una realizzazione, questa, che precorreva i tempi, dimostrando al tempo stesso una potenzialità in linea di principio e una lungimirante intuizione, e rimane una testimonianza dell'alto livello delle ricerche che si conducevano presso la Fondazione Bordini. Una sintesi delle attività in corso sulle comunicazioni ottiche nel 1974 presso le istituzioni di appartenenza (FUB e ISPT) è pubblicata da Sette nell'articolo di rassegna "Research on Optical Communications at Fondazione U. Bordini and Istituto Superiore P.T." sulla rivista *Alta Frequenza*<sup>27</sup>.

Tornando alla fibra ottica come canale per la comunicazione, proprio un anno prima, nel 1973, CSELT aveva stipulato insieme a Pirelli, il maggior co-

<sup>22</sup> Andresciani, DeLeo e Armenise 1974.

<sup>23</sup> Someda 1974.

<sup>24</sup> Rendiconti della LXXV Riunione Annuale AEI, 1974.

<sup>25</sup> Daino, Galeotti e Sette 1973.

<sup>26</sup> Daino 1974.

<sup>27</sup> Sette 1974.

struttore di cavi italiano, un accordo di cooperazione tecnica con Corning Glass Works, l'azienda divenuta nel frattempo leader al mondo nella fabbricazione di fibre ottiche, accordo che favorirà negli anni a seguire una serie di avanzamenti significativi nella tecnica italiana. A CSELT questo accordo permise di studiare, sperimentare ed impiegare in prove di sistema le fibre più avanzate allora disponibili sul mercato, mentre Pirelli poté affrontare le problematiche della costruzione di cavi, in particolare contenenti più fibre: gli sforzi erano rivolti infatti a proteggere le singole fibre ottiche per evitare i danneggiamenti, e a sviluppare la tecnologia per assemblare in un cavo unico più di una fibra. L'accordo fu ovviamente proficuo anche per Corning, che non aveva *know how* sui sistemi al livello di CSELT e sui cavi come Pirelli, e che ebbe così utili ritorni sulle problematiche dell'inserimento delle fibre nei cavi e del loro impiego nei sistemi di comunicazione. A seguito di questo accordo lo CSELT poté eseguire già nel 1974 la prima dimostrazione in laboratorio di trasmissione su fibra ottica di un segnale televisivo analogico a standard pieno (5.5 MHz a norma CCIR – Comité Consultatif International des Radiocommunications) sulla distanza di 2 km. Anche il CNR seguiva intanto l'evolversi della fibra ottica come mezzo trasmissivo: presso l'Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche (IROE) di Firenze viene pubblicato nell'agosto 1974 da Massimo Brenci, Pier Francesco Checcacci e Anna Maria Scheggi il rapporto "Le fibre ottiche per comunicazioni"<sup>28</sup>, mentre anche presso la FUB si compivano studi teorici sulla propagazione in fibra<sup>29</sup>.

Nel resto degli anni '70, di pari passo con le attività di comprensione teorica sul mondo delle fibre, si assiste ad un progressivo sviluppo tecnico da parte di Pirelli e CSELT, che lavorando in collaborazione tra loro e con altri soggetti industriali, percorrono tappe via via più significative verso un maggiore uso della fotonica nelle telecomunicazioni. In questo periodo si sviluppano in CSELT attività di sperimentazione sistemistica che sfoceranno in importanti dimostrazioni in campo a partire dal 1976. Anche i laboratori della Telettra, che vantavano già una storia d'innovazione nella trasmissione su portante fisico, sia in tecnica analogica che digitale, lanciano nella seconda metà degli anni '70 lo sviluppo di sistemi e prodotti per la trasmissione digitale su fibra ottica, con i quali veniva trasferito sul nuovo mezzo trasmissivo il *know-how* della trasmissione su cavo coassiale ad altissima velocità. La Marconi, per parte sua, sviluppa i primi sistemi in fibra ottica nei propri laboratori di Genova sempre nella seconda metà degli anni '70, con i primi prototipi a 2 e 8 Mbit/s con laser multimodale in prima finestra (850 nm).

Nel 1976, a seguito di un accordo con Corning Glass Works, Industrie Pirelli e SIRT I, e con il supporto della SIP (Società Italiana Per l'esercizio telefonico), CSELT realizza il primo collegamento in campo tramite cavo ottico, cavo che viene interrato nel cortile del Centro Ricerche dalla SIRT I. L'esperimento, denominato COS1, fa uso di un cavo Pirelli realizzato nel 1974/75 con 12 fibre

<sup>28</sup> Brenci, Checcacci e Scheggi 1974.

<sup>29</sup> Crosignani e Di Porto 1973.

ottiche monomodali Corning per CSELT di lunghezza 1 km, diametro 14 mm e peso di 190 g/m. Le fibre hanno attenuazione compresa fra 4.5 e 9.3 dB/km, mentre per la trasmissione e la ricezione sono usati laser della Laser Diode Labs e fotorivelatori della RCA. Sempre nel 1976 viene anche realizzato da CSELT un esperimento di trasmissione analogica di un segnale TV su fibra ottica su un collegamento urbano di 2 km. Sul lato della tecnologia per la realizzazione delle fibre, nello stesso anno la Pirelli conclude un altro importante accordo con l'americana Corning Glass Works per impiegare la tecnologia OVD (*Outside Vapour Deposition*), sviluppata da questa società, che rende possibile la produzione di fibre ottiche con ossido di silicio sintetico, conseguendo grandi vantaggi in termini di qualità e prestazioni.

Le sperimentazioni di questa fine anni '70 proseguono in modo intenso: nell'anno successivo, il 1977, CSELT, ancora in collaborazione con SIP, Industrie Pirelli e SIRTI, organizza l'esperimento COS2, con due cavi ottici realizzati da Pirelli nel 1976 installati negli stessi condotti telefonici della rete di Torino, di cui uno, principale, copre un percorso di 4 km, e l'altro, ad anello, è lungo 1 km. Oltre alle fibre, in questo caso multimodali, fornite dalla Corning, sono usate fibre realizzate dallo stesso CSELT, che brevetta anche il giunto Springroove. Questo giunto meccanico consiste in una scanalatura ottenuta dall'accostamento di due sbarrette cilindriche serrate fra loro e in una molla di forma opportuna, che forza nella scanalatura le due estremità delle fibre da congiungere, tenendole premute una contro l'altra, realizzando in tal modo l'accoppiamento con attenuazione di 0,05 dB, valore interessante per l'epoca pionieristica.

Ancora nel 1977, CSELT realizza il primo sistema di trasmissione in fibra ottica italiano a 140 Mbit/s, equivalente a 2000 canali telefonici, con passo di ripetizione di 9-10 km senza dispositivi intermedi di amplificazione o rigenerazione del segnale, sistema che viene presentato in settembre alla ECOC (*European Conference on Optical Communication*) di Monaco. Questo sistema consente in ottobre il primo collegamento sperimentale telefonico a fibra ottica in Italia, realizzato in collaborazione con Pirelli, SIP, e SIRTI, tra due centrali telefoniche urbane della rete pubblica SIP di Torino che vengono collegate tra loro utilizzando fibre prodotte dall'americana Corning Glass. Per questa capacità di trasmissione si tratta del collegamento in fibra più lungo mai sperimentato al mondo. L'esperimento durerà oltre un anno, sino a quando, nel 1978 CSELT realizzerà il primo sistema di trasmissione in fibra ottica a 560 Mbit/s con passo di 6 km.

Sul fronte universitario, nel 1978 Giancarlo Prati del CNR di Pisa avvia durante un soggiorno che durerà sino al 1980 a Los Angeles una collaborazione con Robert M. Gagliardi, professore della University of Southern California con ascendenti italiani e pioniere della comunicazione ottica nello spazio libero<sup>30</sup>. Assieme collaborano alle ricerche per l'utilizzo del laser nelle comunicazioni spaziali nello spazio profondo su progetti del *Jet Propulsion Laboratory* e per il collegamento tra satellite e sottomarino in immersione con l'utilizzo

<sup>30</sup> Gagliardi e Karp 1976.

di laser Nd:YAG a frequenza raddoppiata a 532 nm (verde) per agevolare la penetrazione subacquea. La collaborazione è centrata sugli aspetti di codifica e modulazione di posizione (PPM – *Pulse Position Modulation*) combinate tra loro per gli impulsi laser, anticipando la tecnica che si diffonderà poi come “trellis coded modulation”, e si sviluppa a partire dal lavoro di Prati e Gagliardi “Pulse to pulse encoding in optical communications”<sup>31</sup>, presentato nel novembre 1978 alla *International Telemetry Conference* a Los Angeles.

A chiudere questo decennio di ricca evoluzione e presenza italiane in campo internazionale, nell'estate del 1979 viene realizzato il primo collegamento a fibre ottiche effettivo tra centrali telefoniche urbane della rete pubblica di Roma. Ancora una volta il collegamento sperimentale COS3, realizzato da SIP, utilizza un cavo Pirelli da 16 km con fibre multimodali messo in posa da SIRTI.

## Gli anni '80

Gli anni '80 rappresentano l'uscita dalla fase pionieristica italiana con l'evoluzione verso diversi aspetti industriali significativi che sfoceranno poi nelle tecniche di comunicazione a divisione di lunghezza d'onda (WDM – *Wavelength Division Multiplexing*), tuttora utilizzate nelle loro forme evolute. Si sviluppa così una intensa attività di ricerca e sviluppo sulle possibili applicazioni delle tecniche fotoniche nelle comunicazioni, nella convinzione che la “enorme” banda della fibra ottica e i componenti basati su tecnologie fotoniche fossero in grado di dare risposta alle crescenti esigenze che si intravedevano per la rete e i servizi che si prevedeva diffondersi su di essa.

Sul lato dei componenti, a partire dagli anni '80 in CSELT si avvia quindi la realizzazione anche di dispositivi optoelettronici e dei rivelatori a fotodiode. Tra questi risultati ricordiamo i laser *gain guided*, che rappresentarono il primo passo per arrivare poi alla realizzazione di sofisticati *package* optoelettronici, e nel 1985 i laser a reazione distribuita (*distributed feedback – DFB*) con emissione a singola frequenza, indispensabili per i sistemi multicanale che si presenteranno successivamente sulla scena delle telecomunicazioni in fibra ottica. Sulla scena mondiale l'invenzione del laser DFB non era recentissima, potendosi far risalire a Herwig Werner Kogelnik e Charles Vernon Shank dei laboratori Bell, che il 25 marzo 1971 presentarono negli Stati Uniti domanda di brevetto per un “Integrated Feedback Laser”, brevetto concesso il 18 settembre 1973 con il numero US3760292, che riguarda modalità per stabilizzare la lunghezza d'onda di emissione. I tipi di laser considerati nel brevetto erano più di uno, incluso quello a semiconduttore. In questo tipo di laser l'accorgimento che si adotta consiste nell'incidere un reticolo di diffrazione vicino alla giunzione p-n del diodo. Questo reticolo agisce come un filtro ottico che fornisce una retroazione continua (o distribuita), necessaria per l'oscillazione laser, permettendo così l'oscillazione di una singola lunghezza nella cavità laser. I laser DFB posseggono

<sup>31</sup> Prati e Gagliardi 1978.

quindi una lunghezza d'onda stabile che viene impostata durante il processo di fabbricazione dal passo del reticolo e presentano pertanto, come detto, le caratteristiche necessarie per gli attuali sistemi WDM.

Sul lato della fibra ottica, già dal 1980 Pirelli produceva cavi ottici con fibre Corning nello stabilimento di Livorno Ferraris (Torino). Nel 1982 il gruppo Pirelli è il primo a decidere di produrre in Italia fibre ottiche per telecomunicazioni e trasmissione dati, costituendo allo scopo una *joint venture* con il gruppo STET e annunciando nella primavera che da lì ad un anno sarebbe entrato in funzione un impianto destinato a produrre fibre ottiche. L'allora responsabile del Gruppo Telecomunicazioni di Pirelli Cavi, Leopoldo Sansone, commentava che

[...] puntando a realizzare cavi a fibra ottica con caratteristiche tecnologicamente sempre più avanzate, è diventato d'obbligo ormai pensare a produrci la fibra ottica in casa. Inoltre, la leadership tecnologica cui il Gruppo Pirelli partecipa a livello mondiale nel campo delle telecomunicazioni comporta, come naturale conseguenza, l'esigenza di dominare il processo di fabbricazione delle fibre ottiche che sono, inutile negarlo, il mezzo di trasmissione del futuro.

In effetti, nel 1983 Pirelli inizia a produrre fibre ottiche su licenza Corning con tecnologia OVD nello stabilimento di Battipaglia della Fibre Ottiche Sud, società controllata dalla Pirelli. Nello stesso periodo inizia a sperimentare la tecnologia MOCVD (*MODified Chemical Vapour Deposition*), inizialmente sviluppata negli Stati Uniti dalla AT&T e dalla Corning, e acquista la tecnologia VAD (*Vapour Axial Deposition*), messa a punto dalle giapponesi Sumitomo e NTT. Vengono successivamente realizzati due impianti, uno a Bishopstoke (Regno Unito) su licenza Sumitomo con la tecnologia VAD, adottandola per prima in Europa nel 1985, e un altro in Brasile con tecnologia MOCVD, sviluppata autonomamente dalla Pirelli Inglese ad Eastleigh (Regno Unito).

Nei primi anni '80, lo CSELT domina la scena della sperimentazione dei sistemi in fibra ottica, sistemi che sono propedeutici a installazioni operative da parte degli operatori dell'epoca: SIP e Azienda di Stato per i Servizi Telefonici (ASST). Dai primi del 1982, e fino al 1984, CSELT esegue esperimenti tesi a valutare il comportamento del cavo ottico nelle condizioni ambientali più severe che si potessero riscontrare in Italia: l'esperimento COS4 mise in campo un cavo aereo esposto a temperature variabili da  $-30^{\circ}$  a  $+60^{\circ}$  a San Candido del Friuli, seguito dalla posa di diversi cavi aerei collocati in una valle dell'Alto Adige e sottoposti ad ampie escursioni termiche e forti venti.

Un esperimento significativo viene effettuato nel 1980 nel Galles anche da Telettra con un sistema trasmissivo di qualità commerciale sviluppato nei laboratori di Vimercate, per la comunicazione a 34 Mbit/s su cavo fornito da Pirelli equipaggiato con fibre realizzate presso l'Università di Southampton. L'esperimento collega due siti di una centrale idro-elettrica del *Central Electricity Generating Board* per il trasporto di segnali video e dati di controllo. Si volevano dimostrare i vantaggi della fibra ottica rispetto ai portanti convenzionali in termini di qualità del segnale ricevuto e in particolare di immunità

alle interferenze elettro-magnetiche in un ambiente particolarmente affetto da questa problematica.

In Italia nel giugno 1982, a valle dell'esperimento COS4, 35 chilometri di cavo in fibra ottica Pirelli, posati per conto dell'Azienda di Stato per i Servizi Telefonici tra una centrale ASST di Padova e una di Mestre, consentono a CSELT di raggiungere il record di duemila conversazioni contemporanee per coppia di fibre. Nel 1984 CSELT, che aveva maturato nel frattempo una propria autonoma capacità di produrre fibre monomodali, fornisce, insieme ai maggiori costruttori mondiali dell'epoca, fibre che entrano a far parte del primo cavo ottico sperimentale che viene installato a Roma e che apre la strada all'installazione di cavi in fibra nella rete. È lo stesso anno in cui British Telecom posa il primo cavo in fibra ottica sottomarino per collegare l'Isola di Wight con un traffico regolare, anticipando il primo cavo in fibra ottica sotto il canale della Manica che entrerà in servizio due anni dopo, il 30 ottobre 1986.

Intorno alla metà degli anni '80, il panorama delle attività sui sistemi di comunicazione ottica, pur nella sua varietà, permette di individuare due tendenze dominanti, facce di una stessa medaglia: da un lato la tendenza, prevalente in ambito industriale, a migliorare la rete tradizionale nella sua capacità e nella sua penetrazione usando tecniche ottiche in sostituzione di quelle su rame, dall'altro quella, prevalente negli ambienti di ricerca, di innovare tecniche (divisione di lunghezza d'onda, in particolare) e dispositivi per giungere a nuove reti possibilmente con commutazione ottica, in qualche forma almeno (trasparenti o *all-optical*).

Nella seconda metà degli anni '80 la fotonica si fa spazio nelle aziende manifatturiere di sistemi di comunicazione. Nel 1985 la FACE è impegnata nel Progetto Fiore, sviluppato dal Centro Ricerca di Pomezia e dal Laboratorio di Firenze. Da Pomezia, infatti, dove si effettuano studi avanzati sulle possibilità applicative delle fibre ottiche (anche in ottica coerente, progetto UCOL), e da Firenze giunge un contributo determinante alla realizzazione della prima isola ottica italiana sull'area metropolitana di Firenze. Si tratta di una rete in fibre ottiche di 17 km che viene inaugurata nel 1985, frutto della collaborazione con SIETTE, SIP e Università di Firenze, per connettere diverse sedi e istituti dell'Ateneo e consentire la sperimentazione tecnica e applicativa di servizi multimediali. Sul lato dei prodotti, negli anni 1985-89 dagli stabilimenti del Gruppo Alcatel FACE, in particolare di FACE Standard a Milano e di FACE Sud a Latina, provengono sistemi di comunicazione su fibra ottica a 34 Mbit/s (Singlemode Optical Fibre Line System) e a 140 Mbit/s (Optical Fibre Line System). A seguito dei rilevanti investimenti compiuti dall'inizio degli anni '80 sui sistemi ottici nei laboratori di Genova, a metà del decennio anche la Marconi SpA realizza a Genova nuovi prodotti per la comunicazione a 34 Mbit/s (ML23) e 140 Mbit/s (ML27) a 1300 nm in fibra multimodale e monomodale, che trovano le prime applicazioni nel mercato internazionale.

Per quanto riguarda le fibre ottiche nella rete di trasmissione, in Italia si assiste a numerose nuove installazioni di cavi e sistemi ottici nella rete di trasporto. In quegli anni i collegamenti ottici andranno a costituire di fatto già delle auto-

strade più che adeguate per le esigenze di banda del momento, ma con “tratte” relativamente corte (50 km circa), al termine delle quali il segnale luminoso doveva periodicamente passare attraverso delle apparecchiature elettroniche (i rigeneratori opto-elettronici), subendo una conversione da ottico in elettronico, amplificazione elettronica e una successiva riconversione in ottico, per essere idoneo a percorrere la successiva tratta in fibra. Nel tentativo di migliorare la situazione, nella seconda metà degli anni '80 una certa attenzione si rivolgerà, senza immediato seguito, ai sistemi cosiddetti in ottica coerente, che per effetto del laser al ricevitore, necessario per assolvere la funzione di oscillatore locale, comportano di fatto una amplificazione del segnale in uscita dal fotorivelatore, il che consente di rivelare segnali più deboli e quindi permette un consistente allungamento della tratta in fibra (circa 20 km).

Verso la fine degli anni '80 le prime reti ottiche sviluppate in ambito europeo erano basate sulla Raccomandazione G.956 (*Digital line systems based on the 2048 Mbit/s hierarchy on optical fibre cables*), approvata dal CCITT (*Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique*) il 1 gennaio 1988, e si riferivano a sistemi di trasmissione ottici plesiocroni (PDH – *Plesiochronous Digital Hierarchy*), cioè con flussi nominalmente alla stessa frequenza di cifra ma non sincroni tra loro, con capacità di trasporto ai circa 2 Mbit/s e multipli sino a 140 Mbit/s con escursioni non standardizzate a 560 Mbit/s. Lo scopo della Racc. G.956, che confluirà poi dal 1993 nella Racc. G.955 con un significativo contributo italiano, di cui si dirà nel seguito, era quello di ottenere la compatibilità di sistema tra i punti ottici terminali di un collegamento bidirezionale punto-punto. Già si era capito che sarebbe stata la fibra monomodale il supporto per i sistemi di lunga distanza, consentendo il raggiungimento di passi di rigenerazione di oltre 100 km, e nel 1989 Marconi SpA aveva sviluppato i sistemi a 565 Mbit/s con laser a 1300 e 1550 nm per fibra monomodo e passo di rigenerazione di 80-100 km (ML29 e ML31).

La rete italiana di comunicazione doveva affrontare in quel periodo eventi ormai prossimi di rilevante portata, quali i campionati mondiali di calcio del 1990, assegnati appunto all'Italia, e l'avvio del mercato unico europeo nel 1992. Nel giugno 1985, infatti, la Commissione Europea prevedeva l'abolizione entro sette anni, sancita poi dall'Atto Unico Europeo del luglio del 1987, di tutti gli ostacoli fisici, tecnici e fiscali alla libera circolazione in seno alla Comunità, con l'obiettivo di stimolare l'espansione industriale e commerciale all'interno di un ampio spazio economico unificato, all'altezza del mercato americano. Nascono così nuovi collegamenti in fibra ottica lungo le autostrade da parte dell'Azienda di Stato per i Servizi Telefonici (ASST), cui si aggiungono i collegamenti “a festoni”, che a partire dal 1990 vanno a circondare progressivamente l'Italia con posa in opera di cavi sottomarini tra città costiere per ridurre i costi e aumentare la velocità di installazione rispetto ai collegamenti terrestri. I collegamenti a festoni rappresentano un'idea vincente per la quale ebbe un ruolo importante la Marconi SpA, e Lorenzo Costagli in particolare, idea che trovò attuazione a beneficio dell'ASST tramite una stretta collaborazione tra Alcatel, Telecom Italia, Pirelli, SIRT e CSELT.

### *Il progetto "Festoni"* (a cura di LORENZO COSTAGLI)

Il progetto "80" dell'ASST (Azienda di Stato per i Servizi Telefonici) doveva consentire la realizzazione della rete nazionale a grande capacità in grado di supportare i grandi eventi, come i mondiali di calcio del 1990 e l'introduzione del mercato unico europeo del 1992. Tale rete era stata prevista e progettata, e fu realizzata, con la posa dei cavi ottici lungo la rete autostradale con sistemi di trasmissione a 140 e 565 Mbit/s. Gli elevati requisiti di affidabilità richiesti a questa rete di lunga distanza spinsero però l'ASST a prendere in considerazione la necessità di realizzare una infrastruttura alternativa, che favorisse una rapida crescita della banda disponibile e fornisse un efficace percorso di reinstradamento del traffico, garantendo così gli alti standard di qualità e disponibilità. La peculiarità dell'Italia, bagnata dal mare in tutta la sua lunghezza, consentì lo sviluppo di un'idea semplice ma efficace, quella cioè di complementare la rete ottica terrestre con un percorso via mare, collegando le città costiere con cavi sottomarini non rigenerati (i cosiddetti "festoni"), che hanno intrinsecamente una probabilità di guasto nettamente inferiore ai cavi terrestri, sia pure posati in ambiente autostradale.

I principali requisiti del progetto furono:

- garantire una banda equivalente a quella terrestre;
- assicurare tempi e costi di realizzazione competitivi con la struttura terrestre;
- prevedere soluzioni che presentassero una capacità di evoluzione della banda con l'evoluzione tecnologica.

Per soddisfare questi requisiti venne individuata la necessità di trasportare 6 sistemi paralleli a 565 Mb/s e di realizzare tratte senza rigeneratori sommersi, estremamente costosi, di difficile manutenzione, e vincolanti per la crescita di banda. Per evitare i rigeneratori sommersi, si dovettero realizzare soluzioni in grado di raggiungere una distanza massima di rigenerazione di circa 200 Km, un risultato limite per quei tempi.

Dal punto di vista tecnico, molte soluzioni furono del tutto originali e di avanguardia. Fu infatti appositamente sviluppato da Pirelli un cavo a fibre ottiche a dispersione spostata ("dispersion shifted") con un'attenuazione inferiore a 0.2 dB/Km, e una dispersione inferiore a 3 ps/(nm\*Km) tra 1535÷1575 nm. Per garantire il mantenimento delle prestazioni sul cavo installato, fu progettata una macchina con particolari accorgimenti per la regolazione della velocità di posa, utilizzata sulla nave posa-cavi. Per garantire poi i livelli di affidabilità e disponibilità richiesti, ogni sistema di comunicazione a 565Mb/s fu duplicato in ridondanza 1+1 con scambio elettrico sul lato della centrale e con scambio ottico sul lato del cavo, consentendo così di raggiungere livelli di disponibilità annui del collegamento superiori al 99,99%.

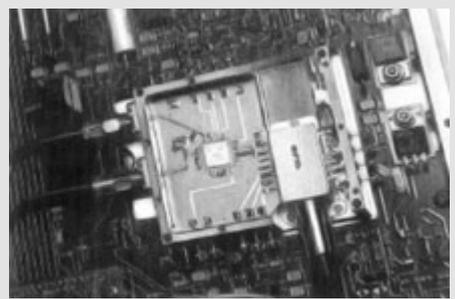
Per quanto riguarda le tecnologie ottiche, per il trasmettitore venne utilizzato un laser DFB (Distributed Feedback) stabilizzato verso temperatura e verso invecchiamento, in modo da garantire le prestazioni durante tutto l'arco di vita, con potenza di uscita di + 4 dBm, valore di assoluta avanguardia per dispositivi industriali del periodo e con larghezza spettrale inferiore a 0,3 nm. Il

“front-end” di ricezione venne realizzato con un fotodiiodo a valanga (APD) III-V gruppo, controllato in temperatura, seguito da un amplificatore integrato all’Arseniuro di Gallio, che fornisce una sensibilità in ricezione di  $-42$  dBm @ BER  $< 10^{-10}$ . Prendendo spunto dai collegamenti radio digitali, si adottò un codice a correzione di errore BCH 167/151, in modo da aumentare i margini del collegamento di circa 3 dB. Queste soluzioni tecniche consentirono di effettuare la realizzazione di tratte fino a 200 Km, che costituiva un valore limite per i sistemi industriali del periodo.

Il progetto “Festoni” ha rappresentato un fiore all’occhiello per l’Italia e i primi sistemi sono entrati in servizio per i mondiali di calcio Italia 90. Il successo è ascrivibile al contributo costruttivo di tutti gli attori coinvolti:

- operatore: ASST (Telecom Italia)
- istituzioni: ISPT
- costruttore del cavo: Pirelli
- costruttori dei sistemi ottici: Marconi e Telettra (oggi Alcatel)
- progetto di sistema e installazione: SIRTI

Il raggiungimento degli obiettivi del progetto “Festoni” ha richiesto nel complesso un rilevante sforzo sistemistico e tecnologico, con soluzioni che hanno posto il progetto in posizione di assoluta avanguardia nello scenario internazionale di quel periodo.



**Figura 1.** La rete sottomarina “a festoni” dell’ASST.  
**Figura 2.** Trasmettitore e ricevitore a 565 Mbit/s della rete “a festoni”.

## La fotonica nel progetto finalizzato “Telecomunicazioni”

Sul lato della ricerca pubblica, il Consiglio Nazionale delle Ricerche lancia nel 1989 il progetto finalizzato (PF) “Telecomunicazioni”, sotto la direzione di Aldo Roveri dell’Università di Roma “La Sapienza”, all’interno del quale, consapevoli ormai tutti della crescente importanza della fotonica nelle telecomunicazioni, il Sottoprogetto 2 (SP2), coordinato da Benedetto Daino della Fondazione Ugo Bordoni, si occupa delle tecnologie per comunicazioni ottiche a larga banda. Lo studio di fattibilità prende le mosse nella seconda metà degli anni ’80, individuando per il SP2, denominato “Tecnologie ottiche per sistemi a larga banda”, quattro temi sui quali sviluppare le attività di ricerca: moduli di interconnessione ottica, bistabilità e non linearità ottiche, ricezione coerente su collegamenti in fibra ottica, metodiche di costruzione di componenti optoelettronici per collegamenti in fibra con obiettivi di basso costo. Sorprende l’assenza di un tema come l’amplificazione ottica, che pure stava avendo, a partire almeno dal 1987, una visibilità internazionale progressivamente crescente, come vedremo nel seguito, e il cui potenziale era rilevante. L’intero progetto risulterà finanziato per 70,5 miliardi di lire sul quinquennio, di cui il 23% andrà al Sottoprogetto 2, che spenderà una uguale percentuale dei 1060 anni-uomo di risorse umane impiegate complessivamente dal progetto finalizzato.

All’atto pratico, nei primi tre anni del Sottoprogetto 2, dal 1989 al 1992, per effetto delle partecipazioni proposte e delle evoluzione delle attività nella fase iniziale, ci si concentra con studi teorici e sperimentali su due obiettivi principali: i sistemi ottici coerenti, comprendenti i sistemi punto-punto e multi-punto con i relativi componenti e le problematiche legate alla connessione di questi sistemi in rete, e la commutazione ottica, suddivisa in materiali ottici non lineari, nuovi dispositivi di commutazione ottici e matrice di commutazione ottica (nodi interamente ottici). I componenti optoelettronici a basso costo vengono considerati in parte nelle ricerche da sviluppare per i due obiettivi principali, in parte in un terzo gruppo con due sole ricerche esplicitamente finalizzate a questo risultato.

Per l’obiettivo riguardante i sistemi ottici coerenti, si sviluppano nel SP2 studi teorici sulle tecniche di progettazione di sistemi FSK (*Frequency Shift Keying*), studiando la struttura di trasmettitore e ricevitore e indagando le degradazioni nelle prestazioni introdotte da varie non-idealità del sistema. Più nello specifico, i principali aspetti sistemistici relativi all’impiego di tecniche di rivelazione coerente, che divengono oggetto di studio, riguardano la teoria e simulazione dei sistemi coerenti, gli effetti del rumore di fase dei laser, il confronto dei vari tipi di modulazione con gli effetti della distorsione della caratteristica di modulazione dei diodi laser, le tecniche di generazione e stabilizzazione delle frequenze, gli effetti delle fluttuazioni della polarizzazione e delle non linearità nella fibra.

Per la parte realizzativa ci si occupa della progettazione e realizzazione del trasmettitore e del ricevitore con lo studio e sviluppo di componenti speciali, quali diodi laser sintonizzabili e integrazione del “front-end” del ricevitore, modulatore di fase a larga banda, modulatore elettroottico su semiconduttore, isolatore magnetoottico a film sottile.

Nel quadro del Sottoprogetto 2, sono lo CSELT da un lato e un gruppo di ricerca dell'Università di Parma, coordinato da Giancarlo Prati e in collaborazione con Marconi SpA dall'altro lato, che hanno l'incarico di realizzare indipendentemente due prototipi di sistema di comunicazione ottica coerente a 622 Mbit/s. Come risultato del lavoro svolto durante il primo periodo, gli ultimi due anni di attività (1993-94) del SP2 sono effettivamente dedicati alla realizzazione dei prototipi di laboratorio<sup>32</sup>: il sistema coerente FSK (*Frequency Shift Keying*) a 622 Mbit/s a larga deviazione realizzato, come detto, presso l'Università di Parma con la collaborazione di Marconi SpA, e il sistema di trasmissione multicanale ASK (*Amplitude Shift Keying*) con multiplazione a divisione di lunghezza d'onda ad alta densità (HDWDM – *High Density Wavelength Division Multiplexing*) presso CSELT.

Quest'ultimo prototipo constava di due unità indipendenti: una unità di trasmissione in grado di fornire su un'unica fibra 4 canali modulati con la tecnica *On-Off Keying* (OOK) a 622 Mbit/s e multiplati in lunghezza d'onda con spaziatura fine di 0.1 nm (circa 12.5 GHz) intorno al valore di 1532 nm e una unità di ricezione a conversione eterodina in grado di selezionare e rivelare singolarmente ciascuno dei 4 canali. Il tutto venne allestito in una struttura con caratteristiche di robustezza e trasportabilità, molto prossime a quelle di una versione completamente ingegnerizzata.

Presso l'Università di Parma il dimostratore viene realizzato in laboratorio, in una prima fase in collaborazione con la Marconi, costituito da un sistema monocanale a 565 Mbit/s con modulazione FSK a grande deviazione con ricevitore coerente e demodulazione a rivelatore di involuppo (rivelatore quadratico)<sup>33</sup>. In una seconda fase del progetto, il sistema viene fatto evolvere dal gruppo universitario ad un sistema a 3 canali a 622 Mbit/s con ricevitore sintonizzabile a diversità di polarizzazione. Entrambi i dimostratori, pur in versione da laboratorio, vengono realizzati con componenti disponibili sul mercato oppure progettati con particolare attenzione al costo<sup>34</sup>.

Per il nodo di commutazione, la fotonica appariva fornire soluzioni a problemi prevedibili per il futuro, consentendo tecniche che operano nel dominio della lunghezza d'onda e/o dello spazio con vantaggi di velocità, efficienza, trasparenza. Partendo da questi presupposti, a partire dal 1989 verrà condotta in CSELT un'attività di studio e sperimentazione volta a dimostrare la fattibilità di un commutatore ottico per celle ATM basato sull'uso della lunghezza d'onda come elemento distintivo di ogni cella, ai fini dell'instradamento. Per estensione, anche il problema della collisione fra celle simultaneamente indirizzate alla stessa porta di uscita viene affrontato sviluppando una memoria ottica a controllo elettronico costituita da un anello di fibra operante in regime di molteplicità di lunghezza d'onda<sup>25</sup>.

Il PF Telecomunicazioni ha costituito il maggior sforzo organico nella fotonica per telecomunicazioni prodotto dall'Italia, e ha consentito il raggiungi-

<sup>32</sup> Atti del 4° Convegno "Reti e servizi di telecomunicazioni a larga banda", 1995.

<sup>33</sup> Ghigginò 1989.

<sup>34</sup> Prati 1991.

mento di risultati ragguardevoli nel settore, se non altro per aver consentito il mantenimento del passo alla ricerca italiana in una mobilitazione complessiva della parte pubblica e di quella privata.

### Un'innovazione determinante: l'amplificatore ottico

L'elettronica rappresentava negli anni '80, come si è già detto, un vero e proprio collo di bottiglia per una rete ottica, essendo necessario trasformare il segnale luminoso in elettrico e poi di nuovo in ottico con apparecchiature realizzate per la velocità di cifra del segnale stesso. Affinché il segnale viaggiasse sulla fibra per tratte molto più lunghe, e magari anche in modo più "trasparente" alla velocità di cifra, occorreva mettere a punto nuove apparecchiature ottiche in grado di rafforzarlo senza cambiarne la natura, cioè occorreva un amplificatore "ottico". Si può dire senza tema di smentita che l'amplificatore ottico ha realmente costituito una innovazione determinante per l'affermazione delle comunicazioni in fibra ottica.

L'amplificazione ottica agisce direttamente sul segnale che transita nella fibra senza la necessità di convertirlo preliminarmente in formato elettronico per amplificarlo in modo tradizionale e compensare così l'attenuazione della fibra stessa durante la propagazione. L'amplificazione si rende già necessaria dopo alcune decine di chilometri, considerando che una attenuazione specifica della fibra di 0.2 dB/km, all'incirca valore attuale, produce una attenuazione totale del segnale di 20 dB (100 volte) dopo 100 km. Gli amplificatori ottici sono dispositivi fotonici analogici trasparenti al formato del segnale e alla velocità di trasmissione, e consentono al segnale di viaggiare per migliaia di chilometri senza rigenerazioni elettroniche intermedie. In questo modo la conversione del segnale da elettronico a fotonico e viceversa si effettua solo ai terminali della linea di trasmissione. Gli amplificatori ottici possono classificarsi in due tipi di base, con differente tecnologia: quello realizzato in fibra ottica, opportunamente "drogata", e quello a semiconduttore (SOA – *Semiconductor Optical Amplifier*).

Volendo cercare di risalire alle origini, molti sono i ricercatori che hanno contribuito alla nascita dell'amplificatore ottico come lo conosciamo oggi. Nel 1985, quando il meccanismo fisico di base per ottenere un'amplificazione ottica era noto già da tempo, Elias Snitzer, che lavorava per la Polaroid Corporation, a valle di un lungo lavoro avviato negli anni '60 con vari brevetti, comprendente studio e realizzazione dell'amplificazione ottica e lo studio degli effetti dell'erbio nei laser a stato solido, una terra rara che giocherà poi un ruolo fondamentale, presentò domanda di brevetto negli Stati Uniti per un amplificatore ottico in fibra con un drogante preferito a base di ossido di neodimio simile a quelli poi affermatosi con drogante costituito da erbio. La domanda fu presentata il 27 novembre 1985 e il brevetto assegnato a Polaroid Corporation in data 8 dicembre 1987 con il numero US4712075. In termini di concezione teorica e realizzativa, Snitzer può considerarsi il vero inventore dell'amplificatore ottico *in fibra*, anche se le caratteristiche tecniche della sua invenzione non ne permettevano l'uso efficace nella comunicazione in fibra ottica.

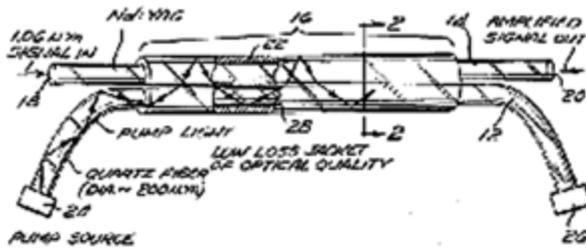


Figura 3. Schema dell'amplificatore ottico di Shaw e Chodorow.

L'invenzione dell'amplificatore ottico in fibra può anche ricondursi a Herbert John Shaw e Marvin Chodorow della Stanford University nell'ambito di un progetto per la U.S. Air Force. Agli inizi del 1980,

e sempre quando il meccanismo fisico di base per l'amplificazione ottica era noto già da qualche tempo, Shaw e Chodorow, lavorando per la realizzazione di un giroscopio a fibra ottica per la navigazione inerziale, idearono tra i blocchi base di cui necessitavano per il dimostratore un amplificatore ottico che sostituiva un cristallo Nd:YAG (cristallo di ittrio e alluminio drogato con neodimio  $\text{Nd:Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ), sino ad allora considerato per l'amplificazione, con una fibra di Nd:YAG pompata come indicato in Fig. 3. L'uso di una fibra di Nd:YAG, ancorché di difficile realizzazione, alleviava enormemente tutti i problemi meccanici che si presentavano nell'allineare tramite lenti la fibra del giroscopio con un cristallo di Nd:YAG. Il brevetto fu depositato negli Stati Uniti il 10 dicembre 1982 e concesso con il numero 4546476 in data 8 ottobre 1985.

Successivamente H.J. Shaw e Michel J.F. Dignonet nel realizzare il primo dimostratore di laboratorio di un giroscopio a fibra ottica per la navigazione inerziale, costruirono effettivamente tra i blocchi base di cui necessitavano per il dimostratore un amplificatore ottico in fibra di Nd:YAG.

In quegli anni vari gruppi lavoravano sullo stesso problema dell'amplificazione ottica in fibra. Nella vicenda dell'amplificatore ottico in fibra drogata, l'Italia gioca un ruolo molto importante. È infatti in un progetto finanziato da Pirelli nella seconda metà degli anni '80 all'Università di Southampton, località inglese in cui Pirelli aveva un proprio insediamento per la produzione di cavi, che un gruppo comprendente Robert J. Mears, Laurence Reekie, Simon B. Poole e David N. Payne, ottiene due brevetti in Gran Bretagna (n. 8520300/1) in data 13 agosto 1985, estesi poi in un unico brevetto a livello internazionale un anno dopo, riguardante un amplificatore ottico in fibra drogata con erbio (EDFA – *Erbium Doped Fibre Amplifier*) a basso rumore e alla frequenza di  $1.54 \mu\text{m}$ . Le caratteristiche dell'amplificatore lo rendono subito vincente nella pratica per le comunicazioni sulla cosiddetta "terza finestra" della fibra, l'intervallo di frequenze intorno appunto a  $1.54 \mu\text{m}$ , dove l'attenuazione di propagazione è minima.

In questo modo Pirelli e l'Italia acquistano una leadership mondiale nel campo dell'amplificazione ottica per applicazioni di telecomunicazione su fibra, riducendo il costo dei sistemi a lunga distanza per effetto dell'eliminazione delle costose conversioni ottico-elettronico-ottico sino ad allora necessarie per compensare le attenuazioni di propagazione. Alla comunità scientifica in-

ternazionale il risultato viene presentato con l'articolo su *Electronic Letters* nel 1987 intitolato "Low-noise erbium-doped fibre amplifier operating at 1.54  $\mu\text{m}$ ", con autori Mears, Reekie, Jauncey, Payne<sup>35</sup>. Come sempre accade, altri stavano conseguendo indipendentemente analoghi risultati, in particolare il gruppo di Emmanuel Desurvire<sup>36</sup> ai Bell Laboratories, alle cui soluzioni per l'amplificatore si dovrà nel 1996 l'entrata in esercizio del primo cavo telefonico transatlantico con amplificatori ottici (TAT-12), operante alla lunghezza d'onda di 1.5 $\mu\text{m}$  su fibre monomodo, otto anni dopo l'entrata in funzione del TAT-8, primo cavo sottomarino transatlantico in fibra ottica ma dotato di rigeneratori elettronici.

L'importante passo compiuto da Pirelli tramite l'accordo di ricerca con l'Università di Southampton, ha avuto ricadute in Italia sia nella ricerca che di carattere industriale, ricadute che vedremo propagarsi anche agli anni '90. La ricerca sull'amplificatore ottico fatta da Pirelli, tra il 1987 e il 1989 in particolare, è stata un vero esempio di collaborazione tra la ricerca industriale e l'università. Il team che ha partecipato alla ricerca era formato da tre ricercatori dell'università di Southampton, guidati da Richard Laming, due ricercatori della Pirelli inglese, guidati da Paul Scrivener e il gruppo di Milano guidato da Aldo Righetti. Giorgio Grasso aveva il compito di coordinare i tre gruppi. I risultati ottenuti, come ad esempio la soluzione del pompaggio ad elevata efficienza e basso rumore a 980 nm presentato<sup>37</sup> alla conferenza ECOC 1988 a Brighton, furono il frutto di un intensissimo lavoro comune tra i tre gruppi.

Un altro esempio è costituito dallo sviluppo delle tecniche di drogaggio e struttura della fibra amplificatrice per permettere il funzionamento su tutta la terza finestra di trasmissione, da 1530 nm a 1625 nm. Questa attività ha portato a un brevetto di Grasso e di due ricercatori della Pirelli inglese, il già citato Scrivener e Eleonor J. Tarbox, depositato in Italia con il numero IT1903788 il 12 gennaio 1988 ed esteso poi a livello internazionale, che è stato nominato nel 2006 dall'ufficio brevetti europeo tra i tre più importanti brevetti degli anni '90. Nel 1989 la collaborazione con Southampton ebbe termine e l'attività di ricerca fu continuata tra Pirelli Italia e Pirelli inglese, sempre coordinata da Grasso. Questa portò, fra i numerosi risultati, allo sviluppo del primo amplificatore con pompa a stato solido che permise la prima dimostrazione delle caratteristiche di velocità e di amplificazione multilunghezza d'onda presso i laboratori Bellcore nel settembre 1989, dove fu effettuata la dimostrazione di un collegamento amplificato a 11 GBit/s su 280 km, record mondiale di trasmissione all'epoca, e che venne presentato<sup>38</sup> come *postdeadline paper* alla conferenza ECOC del 1989 a Göteborg (Svezia).

<sup>35</sup> Mears et al. 1987.

<sup>36</sup> Desurvire, Simpson e Becker 1987.

<sup>37</sup> Grasso et al. 1988.

<sup>38</sup> Righetti et al. 1989.

*L'amplificazione ottica in Pirelli* (a cura di GIORGIO GRASSO)

L'avventura della Pirelli nella fotonica iniziò nel 1986, quando la Divisione Cavi decise, sotto l'impulso dell'ing. Sansone, di rientrare nel business dei cavi sottomarini per telecomunicazione sfruttando la discontinuità tecnologica che si era creata con l'introduzione della fibra ottica. In tale occasione venne dato al Laboratorio di Ricerca Cavi l'obiettivo di proporre una soluzione tecnologica innovativa per i ripetitori ottici sottomarini che i concorrenti stavano sviluppando con le tecnologie optoelettroniche consolidate. Il laboratorio ottico, dopo un'analisi delle potenziali soluzioni, arrivò alla conclusione che quella più promettente era costituita dagli amplificatori in fibra drogata con erbio, di cui erano note le proprietà di amplificazione dai lavori di Snitzer e Shaw. Inoltre, il Laboratorio Fibre della Pirelli inglese a Eastleigh produceva già fibre drogate con terre rare per l'Università di Southampton, che le utilizzava per ricerche in vari campi di applicazione (sensori, laser, ecc.).

L'amplificazione ottica era già stata dimostrata, ma solo in continuo. Per convincere il management, i ricercatori del laboratorio ottico progettaronò un esperimento prendendo in prestito, per usarlo come pompa, un laser a Krypton presente in una fabbrica Pirelli di pneumatici. In un fine settimana piovoso del settembre 1987 venne dunque realizzato un esperimento di amplificazione ottica di due lunghezze d'onda molto vicine tra loro modulate a 565 Mbit/s. Il risultato fu così convincente che in breve tempo fu lanciato un progetto di ricerca tra il laboratorio ottico di Milano e il Laboratorio Fibre di Eastleigh, con l'appoggio dell'Università di Southampton, con l'obiettivo ambizioso di dimostrare la fattibilità di un amplificatore a fibra attiva per un ripetitore sottomarino. Il progetto durò due anni, e grazie anche all'intensa collaborazione tra i tre laboratori produsse risultati ben al di là delle aspettative. Tra i più importanti i seguenti:

- la scoperta della lunghezza d'onda ottimale, sia in termini di efficienza che di rumore, per il pompaggio della fibra ad erbio (980 nm);
- l'individuazione della tecnologia per la realizzazione di un laser a semiconduttore affidabile a 980 nm;
- la messa a punto della ricetta del vetro e della struttura della fibra che consentissero di ottenere un amplificatore con guadagno piatto su tutta la terza finestra di trasmissione delle fibre;
- la costruzione di due prototipi di amplificatori ottici pompati da laser a stato solido con i quali fu realizzato nel settembre 1989, alla fine del progetto, il primo esperimento di trasmissione amplificata a 11 Gbit/s su 280 km di fibra. L'esperimento fu effettuato presso i laboratori Bellcore nel New Jersey e presentato poi alla conferenza ECOC 1989. Nello stesso esperimento venne anche dimostrata la possibilità di utilizzare l'amplificatore per trasmissioni multi-lunghezza d'onda, con una prova a 10 lunghezze d'onda modulate a 565 Gbit/s.

Durante quei due anni venne prodotto un importante portafoglio di brevetti, il cui valore e la cui solidità hanno permesso alla società, negli anni successivi, di

sostenere con successo anche alcune controversie legali negli Stati Uniti. Uno di quei brevetti è stato poi nominato, nel 2006, “uno dei tre brevetti più importanti degli anni '90” dall'European Patent Office. Alla fine del 1989 il progetto di ricerca finì, e iniziarono diversi progetti di sviluppo, con l'obiettivo di realizzare sistemi di trasmissione sia terrestri che sottomarini. Inoltre venne presa la decisione di sviluppare e produrre internamente i componenti più strategici dei sistemi ottici amplificati, ovvero le fibre drogate con erbio, i modulatori al niobato di litio e i laser a semiconduttore a 980 nm. Le tappe degli sviluppi avvenuti negli anni '90 si possono così riassumere :

- 1990: trasferimento a Milano della fabbrica di fibre ottiche drogate con erbio;
- 1991: introduzione sul mercato del primo amplificatore ottico a 980 nm;
- 1992: dimostrazione in campo di un sistema amplificato commerciale a 565 Mbit/s, con trasmissione sulla rete a festoni dell'ASST, da Roma a Napoli;
- 1993: installazione di un sistema amplificato a singola lunghezza d'onda a 2.5 Gbit/s nella rete MCI tra Salt Lake City e Chicago (3000 km);
- 1994: inizio della produzione di modulatori in Niobato di Litio;
- 1994/1995: installazione del primo sistema amplificato multilunghezza d'onda con transponder (16\*2.5 Gbit/s) sulla rete americana di Sprint (4500 km);
- 1995/1996: installazione del primo collegamento sottomarino amplificato multi-lunghezza d'onda (4\*2.5 Gbit/s) nella rete di Telecom Italia tra Roma e Palermo;
- 1996: prova in campo sulla rete MCI di un sistema di trasmissione solitonica a 10 Gbit/s tra Dallas e Chicago;
- 1997: inizio produzione laser di pompa a semiconduttore nella fabbrica di Milano;
- 1998/1999: installazione nella rete di Global Crossing del primo sistema multi-lunghezza d'onda amplificato con capacità superiore a 1 Tbit/s (128\*10 Gbit/s).

Nel corso degli anni '90 il personale di ricerca nella fotonica in Pirelli è passato da 10 a circa 500 unità. Alla fine degli anni '90 l'attività fotonica venne poi ceduta da Pirelli in parte a Cisco e in parte a Corning.

L'altro tipo di amplificatore ottico, quello a semiconduttore, ha una nascita meno definita temporalmente, essendo il risultato di una evoluzione che prende le mosse praticamente dalla realizzazione dei primi laser a semiconduttore refrigerati negli anni '60 operanti in prima finestra a 860 nm. Un notevole impulso si ha per questo tipo di amplificatore a partire dal 1970, con l'avvento dei laser a semiconduttore a temperatura ambiente a doppia eterostruttura, a partire dai quali Gunter Zeidler<sup>39</sup> in Germania e Steve Personick<sup>40</sup> negli Stati Uniti gettano le basi per i moderni SOA. Il primo amplificatore ottico a semiconduttore in

<sup>39</sup> Zeidler e Schicketanz 1973.

<sup>40</sup> Personick 1973.

Italia fu realizzato da CSELT nel 1991<sup>41</sup>, cui seguì la realizzazione di amplificatori ottici a più sezioni (ottenuti con la tecnica del *Chemical Beam Epitaxy*), in grado di svolgere funzioni di inserzione-estrazione di segnale ottico in una linea ottica ad anello impiegata nella rete di accesso. Nel 1992 un intero numero speciale<sup>42</sup> di *Alta Frequenza Rivista di Elettronica* sugli amplificatori ottici, in fibra e a semiconduttore, testimoniava dell'importanza del componente presso la comunità scientifica e tecnica italiana, dominata al momento dall'amplificatore in fibra, per il quale si andava dai concetti introduttivi (Silvano Donati, Vittorio Degiorgio, Università di Pavia) al progetto di amplificatori in fibra attiva (Massimo Artiglia, Marcello Potenza, CSELT), dalla tecnologie delle fibre per amplificatori (Marco Cocito, CSELT) alle sorgenti laser in fibra in generale (Flavio Fontana, Giorgio Grasso, Pirelli) e specifiche per il pompaggio a 980 nm degli amplificatori (Sergio Pellegrino *et al.*, Telettra), dai componenti passivi per amplificatori in fibra (Tiziana Tambosso, CSELT) sino alle prospettive e applicazione avanzate dell'amplificatore ottico nelle reti (S. Cecchi, Giorgio Randone, S. Rotolo, Italtel).

## Gli anni '90

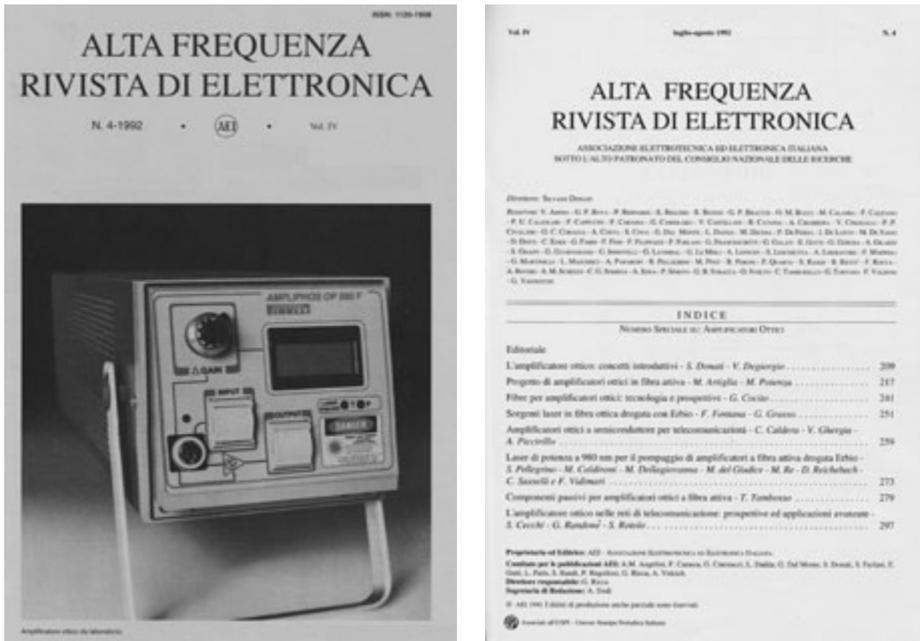
All'inizio degli anni '90 la raggiunta maturità tecnologica delle tecnologie WDM e la contemporanea disponibilità di amplificatori ottici in fibra drogata con l'erbio (EDFA) consentirono agli operatori di attuare un salto tecnologico paragonabile per i suoi effetti pratici a quello avvenuto, venti anni prima, con l'ingresso delle fibre ottiche nel mondo delle telecomunicazioni. Già nel 1991 Desurvire e Payne realizzarono, ciascuno per conto proprio, amplificatori ottici in fibra che poterono essere inseriti all'interno del cavo stesso, realizzando una struttura complessiva in grado di portare 100 volte l'informazione sino ad allora portata dai cavi con conversione da ottico a elettrico per consentire l'amplificazione elettronica. Nel frattempo lo standard SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) si andava profilando e imponendo come tecnica di trasmissione base per le reti trasmissive dell'immediato futuro, standard che avrebbe consentito di raggiungere gli elevati livelli di qualità e di gestibilità richiesti.

Nel 1991 Marconi aveva sviluppato il suo primo *Add Drop Multiplexer* (ADM) a 155Mbit/s a 1300 nm (MSH11), un sistema che consente di estrarre e inserire flussi tributari a velocità di segnalazione inferiore in un flusso primario di dati (155 Mbit/s in questo caso, appunto) che transita sulla fibra ottica. La prima fornitura fu la realizzazione di un "anello" SDH di 5 ADM gestito dal proprio sistema di "Network Management", nella rete TELIA (l'operatore svedese), per la fornitura dei servizi di telecomunicazione.

In questi stessi anni la Pirelli Cavi sviluppa autonomamente i propri amplificatori ottici puntando a caratteristiche di effettiva impiegabilità nei sistemi

<sup>41</sup> Caldera, Ghergia, Piccirillo 1992.

<sup>42</sup> Alta Frequenza Rivista di Elettronica, luglio-agosto 1992.



**Figura 4.** Numeri di *Alta Frequenza Rivista di Elettronica* dedicati agli amplificatori ottici.

di comunicazione. Nell'ottobre 1990 viene depositato un brevetto da Giorgio Grasso, Aldo Righetti e Flavio Fontana (brevetto US 5119229), in cui la soluzione adottata determina che l'efficienza di amplificazione, intesa come rapporto tra il guadagno in dB e la potenza della pompa ottica necessaria per attivare l'amplificazione, raggiunga 4.5 dB/mW. Per confronto, alla 14ma *European Conference on Optical Communication* (ECOC) di due anni prima (1988) gli amplificatori prototipali di laboratorio risultavano offrire efficienze tra 0.14 e 0.31 dB/mW. Nel 1991 uscì il primo amplificatore da laboratorio con laser a semiconduttore a 980 nm e nel 1992 venne sperimentato nella rete a festoni, su di un collegamento non ripetuto di 300 km assieme all'ASST. L'attività di Pirelli sull'amplificazione ottica è intensa in quegli anni: per citare alcune realizzazioni, nel maggio 1992 viene depositato un brevetto negli USA (US5245467), ancora dagli stessi inventori del precedente, per un amplificatore in fibra drogata in erbio che impiega anche un co-drogaggio di samario per ridurre la rumorosità dovuta all'emissione spontanea dell'erbio; nel 1993 è la volta di un brevetto (US5638204), con Fausto Meli al posto di Flavio Fontana, in cui l'erbio viene affiancato da un drogante a base di ossido di alluminio  $Al_2O_3$  utilizzato per modificare l'indice di rifrazione.

Ed è proprio nel 1993, a valle dell'intensa attività svolta e in conseguenza della leadership nel settore dell'amplificazione ottica in fibra, che, prima azienda al mondo, Pirelli realizza negli Stati Uniti per l'operatore dell'epoca MCI (Microwave Communications, Inc.) un'installazione su larga scala di sistemi con amplificatori in fibra drogata con erbio su una rete di telecomunicazione

collegante Salt Lake City con Chicago per complessivi 3000 km. Nel 1994/95 installa i primi sistemi WDM al mondo nella rete transcontinentale di Sprint. (5000 km), nel 95/96 viene posato da Pirelli il cavo Pomezia-Palermo con un sistema amplificato multilunghezza d'onda. Nella seconda metà degli anni '90, i laser DFB e la disponibilità degli amplificatori ottici renderanno possibile lo sviluppo generalizzato di sistemi WDM, in cui la moltiplicazione in lunghezza d'onda di molti canali consentirà di sfruttare meglio la grande capacità messa a disposizione dal portante in fibra ottica. Nel 1998 Pirelli installerà sulla rete di *global crossing* il primo sistema al mondo con capacità superiore al Tbit/s, basato appunto sulla tecnica WDM.

Proseguendo con il gettare uno sguardo alle installazioni con carattere di piena operatività, nei primi anni '90 la rete di trasporto in fibra ottica vede, come sopra accennato, la transizione dalla gerarchia plesiocrona PDH a quella sincrona, con l'avvento dello standard SDH. Il contributo italiano avviene tramite l'Istituto Superiore delle Poste e Telecomunicazioni, ed è consistente per entrambi gli standard. Dal 1993 al 1996 si lavora a definire la Raccomandazione CCITT G.955 per i sistemi plesiocroni, che specificherà le possibilità di utilizzo di fibre ottiche multimodali e monomodali in una tra le regioni di lavoro a 850 nm, 1300 nm, 1550 nm a seconda del tipo di fibra utilizzato e del sistema di trasmissione sviluppato, riassorbendo la Racc. G.956 del 1988, già citata. In accordo a questa nuova raccomandazione, l'ISPT in collaborazione con gestori di rete, costruttori ed installatori nazionali definisce in capitoli tecnici le caratteristiche dei sistemi di linea ottici PDH con capacità di trasporto 34, 140 e 565 Mbit/s per la loro introduzione nella rete ottica nazionale a grande capacità e a lunga distanza. In questi sistemi l'amplificazione ottica non era ancora contemplata, per cui il passo di rigenerazione era di 30-40 km nel caso più comune della seconda finestra di trasmissione (1300 nm). La delegazione italiana propone nel febbraio 1992 e vede standardizzate soluzioni che ottenevano un passo di rigenerazione di 80 km, esteso poi a 100 km in ambito nazionale per particolari collegamenti punto-punto.

Erano quelli anche gli anni in cui l'organismo di standardizzazione internazionale ITU-T (precedentemente CCITT) sviluppava anche la prima serie di raccomandazioni relative alla nuova gerarchia numerica sincrona SDH. La gerarchia SDH prevede progressioni di crescita della velocità di cifra di un fattore 4, per cui quando si trattò di passare da 155 Mbit/s a 622 Mbit/s e poi a 2.5 Gbit/s, le tecnologie fotoniche ricevettero la massima attenzione e giocarono un ruolo crescente. I sistemi basati sulla gerarchia SDH (non ancora amplificati otticamente) videro nei primi anni '90 l'avvio della loro affermazione, e anche Telecom Italia iniziava i primi studi relativi allo sviluppo delle rete di trasporto con questo standard. I vantaggi derivanti dalla moltiplicazione sincrona del flussi tributari permettevano di far evolvere i sistemi ottici verso soluzioni di rete più flessibili e intelligenti, con una gestione più efficiente nella rete a lunga distanza, superando così le maggiori limitazioni presenti nella rete di trasporto PDH, di più complessa struttura e gestione. Dal 1990 al 1992 la delegazione italiana contribuisce ai lavori di ITU-T per la definizione della Racc. G.957 e G.958, rispettivamente dedicate ai parametri ottici dei sistemi con capacità 155 Mbit/s, 622 Mbit/s e 2.5 Gbit/s e alle caratteristiche funzionali dei rispettivi apparati e rigeneratori.

Sul fronte della ricerca universitaria nel campo delle comunicazioni ottiche sono particolarmente attive negli anni '90 alcune sedi, fra le varie che si occupano della tematica, anche per effetto di trascinamento del progetto finalizzato "Telecomunicazioni". Al Politecnico di Torino principalmente Sergio Benedetto e Pierluigi Poggiolini si distinguono per i lavori orientati ai formati di modulazione multilivello per la comunicazione su fibra ottica basati su modulazione della polarizzazione<sup>43</sup> (PolSK – *Polarisation Shift Keying*) e alle tecniche di *polarisation spreading*<sup>44</sup>, pubblicazioni che hanno ricevuto *nominations* come migliori lavori dell'anno per le rispettive riviste IEEE. All'Università di Padova, l'attività ruota prevalentemente intorno al tema della dispersione dei modi di polarizzazione (PMD – *Polarisation Mode Dispersion*) nella fibra e negli amplificatori in fibra drogata, tema su cui Andrea Galtarossa e Carlo Giacomo Someda in particolare studiano in quel periodo aspetti sperimentali<sup>45</sup> prendendo le mosse da studi teorici da loro stessi sviluppati<sup>46</sup> a partire dagli anni '80. Presso l'Università di Parma il gruppo guidato da Giancarlo Prati è attivo su aspetti di tecniche trasmissive<sup>47</sup> e di reti in fibra ottica<sup>48</sup>, in collaborazione con Marconi SpA e con CSELT.

Tornando alle fasi di sperimentazione, nello stesso periodo dei primi anni '90, CSELT presidia la emergente tematica della moltiplicazione dei canali a diverse lunghezze d'onda (WDM) con sperimentazioni trasmissive, dimostrando con successo un sistema 4 x 622 Mbit/s, alla conferenza ECOC'94, tenutasi quell'anno in Italia a Firenze. Nel triennio 1992-1994 CSELT partecipa, insieme a Pirelli, al progetto europeo ACTS Multi Wavelength Transport Network (MWTN), un progetto pioniero nel campo dell'*optical networking*. Da questa esperienza nascono alcune sperimentazioni di reti "trasparenti": nel 1996 viene realizzato "Prometeo", una rete sperimentale WDM ad anello a 622 Mbit/s, che si basava su prototipi di *optical add-drop multiplexer* appositamente realizzati e che verrà poi migliorata dal punto di vista prestazionale a distanza di tempo nel 2000 con il progetto "Pegaso". In quegli anni CSELT avvia anche studi avanzati sulla realizzazione di sistemi PON (*Passive Optical Network*) ad alta capacità trasmissiva. Nel 1992 dà inizio al progetto RACE BAF (*Broadband Access Facilities*), che porterà alla realizzazione del primo sistema PON funzionante a 622 Mbit/s in entrambe le direzioni. Nel 1995, appena terminato il progetto BAF, CSELT lavora al progetto ACTS PLANET (*Photonic Local Access Networks*), che si concluderà ad inizio 2000 con il completamento di un prototipo Super-PON, cioè una PON con portata di 100 km e fattore di *splitting* pari a 2048, in grado cioè di raggiungere 2048 utenti partendo dall'unica fibra il cui segnale è progressivamente e ripetutamente frazionato in potenza.

<sup>43</sup> Benedetto e Poggiolini 1995.

<sup>44</sup> Benedetto e Poggiolini 1994.

<sup>45</sup> Galtarossa 1993; Dal Molin, Galtarossa e Someda 1997.

<sup>46</sup> Galtarossa e Someda 1985.

<sup>47</sup> Forestieri e Prati, "Theoretical analysis of coherent optical FSK systems with limiter-discriminator detection", 1994; Forestieri e Prati, "FM click statistics in the presence of phase noise" 1994; Forestieri e Prati 1995.

<sup>48</sup> Forghieri et al. 1994.

Quando, nel 1996, Telecom Italia indice la prima gara pubblica per l'acquisizione di apparati SDH per lo sviluppo della rete regionale e per favorire l'interconnessione con la Rete Trasmissiva Nazionale, CSELT, oltre alla valutazione e selezione dei fornitori, si impegna anche nell'allestimento di un vero e proprio *Test Plant* SDH per eseguire tutte le attività relative alla integrazione di sistema, mentre le aziende sviluppano i loro prodotti in accordo con il nuovo standard per la comunicazione in fibra ottica a 622 Mbit/s con modulazione On-Off e rivelazione diretta di intensità al ricevitore. A fine anni '90 la Marconi aveva sviluppato tutta la gamma dei sistemi ottici SDH dal 155Mbit/s fino al 10 Gbit/s (MSH64), inclusi i nodi di cross-connessione DXC (*Digital Cross Connect*) particolarmente importanti per sfruttare la flessibilità della rete SDH.

Sempre ai fini di collocare l'Italia nel contesto globale, è interessante ricordare che nello stesso 1996 fu posato il primo cavo interamente in fibra ottica e con amplificazione ottica incorporata attraverso l'Oceano Pacifico, e che l'anno successivo si completò il FLAG (*Fiber Optic Link Around the Globe*), il più lungo cavo di collegamento dell'epoca, con cui si avviava lo sviluppo di Internet mondiale. Ancora nel 1996 la Marconi aveva sviluppato un sistema WDM in grado di moltiplicare 4 sistemi a 2,5 Gb/s (ognuno equipaggiato con laser "colorato" su una determinata lunghezza d'onda), ed un proprio amplificatore ottico con fibra drogata all'erbio, partecipando nel 1997 con questo sistema ad una gara per la fornitura della rete trasmissiva all'operatore Telecom SudAfrica, gara in cui era prevista la sperimentazione di sistemi WDM.

Alla fine degli anni '90 in Italia si assistette alla fine del monopolio telefonico e al conseguente aumento della competizione nel mercato. Questo nuovo clima portò CSELT a concentrarsi più sui temi direttamente legati alla rete e ai servizi che sulle attività di puro sviluppo tecnologico; per questo nel 1999 il Centro cedette il suo ramo d'azienda dedito allo sviluppo dei componenti optoelettronici, e qui si concluse la vicenda di CSELT come centro di ricerca di livello mondiale nel settore della fotonica per telecomunicazioni. In risposta al nuovo scenario, l'azienda Marconi, anglo-italiana con sede a Genova, progettò e realizzò in Italia la famiglia di prodotti DWDM "SmartPhotonix" a 32 canali a 10 Gbit/s ciascuno su una singola fibra, presentandola alla mostra Telecom '99 come soluzione per una piattaforma di rete comprendente il segmento di trasporto e quello metropolitano in una combinazione di possibili topologie a livello nazionale e regionale con elevato livello di resilienza, configurabilità e possibilità di gestione. Proprio alla fine del secolo si concepisce e si mette a punto l'accordo tra Marconi Communications, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa e CNIT che porterà all'apertura, in avvio del nuovo millennio (20 gennaio 2001) di un rilevante centro di ricerca integrato sulla fotonica per telecomunicazioni a Pisa. Ma questa è un'altra storia, il millennio che ci interessa si chiude qui.

## Conclusioni

E chiudiamo qui anche l'*excursus* promesso all'inizio, fermandosi alle soglie degli anni 2000, senza entrare nella quantità di risultati e contributi che sia (già)

negli anni '90 che dopo il 2000, vari soggetti hanno portato alla fotonica per le telecomunicazioni in Italia. Una foto scattata adesso (2010) può trarsi dalla piattaforma tecnologica PHORIT (*Photonic Research in Italy*), coordinata da Orazio Svelto: al *Working Group 1* – “Fotonica per Telecomunicazioni” si vede che l'Italia è ben rappresentata a livello industriale e detiene in questo settore una significativa posizione di competenza a livello mondiale. Diverse aziende leader del settore (varie multinazionali) hanno centri R&S in Italia. Le aziende operano su un mercato mondiale con una vasta gamma di prodotti, dai componenti (laser, fotodiodi, modulatori, ecc.) ai sottosistemi (amplificatori ottici, *transceivers*, ecc.), ai sistemi di comunicazione e di rete con tecniche WDM (multiplicazione a divisione di lunghezza d'onda) con decine di canali fino a 40 Gbit/s ciascuno. Da segnalare è anche l'indotto generato in Italia dall'attività di tali industrie verso piccole e medie imprese attive nel settore, sia dal punto di vista tecnologico che commerciale.

Il fatturato annuo di società italiane (anche controllate da multinazionali) generato da R&S e successiva produzione in Italia è valutabile in circa 1 miliardo di Euro. Questa situazione appare attualmente in qualche contrazione a seguito della crisi economica mondiale. A questo dato va aggiunto un fatturato di circa 900 milioni di Euro indotti annualmente da R&S italiana come fatturato all'estero. L'industria del settore impiega circa 1500 addetti nel solo comparto R&S in Italia, con qualifiche di livello medio-alto (tecnico specializzato, ingegnere). Globalmente, il numero totali di addetti in questo settore si stima essere superiore alle 3000 unità. Si tratta quindi di un settore non trascurabile per la produttività dell'intero sistema-Paese, che già in passato è risultato notevole in termini di impatto sul PIL e prevedibilmente lo sarà ancor di più nel futuro, una volta avviata la ripresa economica. La realtà industriale nella fotonica per ICT può oggi avvalersi dell'opera di formazione e ricerca dell'Università italiana e di alcuni enti di ricerca. Sono particolarmente attive tra le università: la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, il Politecnico di Torino, l'Università di Padova, il Politecnico di Milano, l'Università di Pavia, ove operano gruppi di dimensione ragguardevole, e varie altre con gruppi più piccoli; tra gli enti di ricerca: il CNIT (Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni) a Pisa, e il PoliCom (Politecnico Comunicazioni ottiche) a Milano, il CNR. Le linee di ricerca riguardano soluzioni avanzate per componenti basilari, quali laser, fibra ottica, fotodiodi, modulatori, per sottosistemi multifunzione per la trasmissione, quali amplificatori ottici in fibra, in guida e a semiconduttore, rigeneratori ottici, convertitori di lunghezza d'onda, per i sistemi di trasmissione e commutazione, quali sistemi WDM, OTDM (*Optical Time Division Multiplexing*), coerenti con modulazioni avanzate, per le reti ottiche a lunga distanza e per le reti di accesso. L'attività di ricerca in queste strutture pubbliche coinvolge professori, ricercatori, dottorandi, tecnici per un totale di circa 200 unità. La produzione scientifica nel settore è stimabile in oltre 300 pubblicazioni internazionali per anno, con oltre un terzo su riviste ISI.

Il settore della fotonica per comunicazioni è destinato a svilupparsi come tecnologia del 21mo secolo, in quanto tecnologia ancora con larghi margini di miglioramento, e in fase di maturazione, specialmente nella sua versione con componenti e circuitistica ottica integrata, per le sue caratteristiche di alta velocità

e basso consumo. Inoltre è rilevante l'estensione del dominio ottico *end-to-end* riducendo o eliminando le conversioni da ottico a elettronico e viceversa in fasi intermedie del collegamento, fino a che alla fotonica e all'elettronica finiranno con il competere definite funzioni ciascuna, laddove la convenienza economica e tecnica di ciascuna tecnologia finiranno con il prevalere. A meno che il futuro punto di incontro delle due tecnologie nella plasmonica non metta tutti d'accordo. Ma questa non è storia, è futuro lontano, appunto.

### *Ringraziamenti*

Si ringraziano per i contributi forniti: Roberto Castelli, Lorenzo Costagli, Vittorio Degiorgio, Giorgio Grasso, Orazio Svelto.

### **Bibliografia**

- Alta Frequenza*, 1962, Notizie dalle sezioni, Sezione di Milano, vol. XXXI, n. 4, p. 254.
- Alta Frequenza Rivista di Elettronica*, 1992, numero speciale su: Amplificatori Ottici, vol. IV, n. 4.
- Andresciani Venanzio, De Leo Roberto, 1971, "Le fibre ottiche come mezzi di trasmissione per sistemi di telecomunicazione a grandissima capacità e lunga distanza", XIX Congresso Internazionale delle Comunicazioni, Genova.
- Andresciani Venanzio, De Leo Roberto, 1972, "Dispositivi non reciproci per sistemi di comunicazione a fibre ottiche", XX Congresso Internazionale delle Comunicazioni, Genova.
- Andresciani Venanzio, De Leo Roberto, 1973, "Coherent light propagation through optical fibers in presence of high magnetic fields", *Alta Frequenza*, n. 4, vol. 62, p. 210.
- Andresciani Venanzio, De Leo Roberto, Armenise Mario, 1974, "Propagazione di onde elettromagnetiche in fibre ottiche a indice di rifrazione variabile con continuità", Rendiconti della LXXV Riunione Annuale AEI, mem.B.20, Roma, Marzo 1974.
- Arecchi Fortunato Tito, Potenza G., Sona Alberto, 1964, "Transient phenomena in Q-switched lasers: experimental and theoretical analysis", *Nuovo Cimento*, vol. 34, pp. 1458-1472.
- Arecchi Fortunato Tito, Sacchi Alberto, Sona Alberto, 1963, "Optimization of power and energy output in a solid state laser", *Alta Frequenza*, vol. XXXII, n. 11, pp. 795-807.
- Arecchi Fortunato Tito, Sona Alberto, 1962, "He-Ne optical masers: construction and measurements", *Alta Frequenza*, vol. XXXI, p. 718.
- Atti del 4° Convegno "Reti e servizi di telecomunicazioni a larga banda", PF Telecomunicazioni, SP2, Roma, 7 Giugno 1995.
- Benedetto Sergio, Poggiolini Pierluigi, 1994, "Theory of polarization spreading techniques: part I and part II", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 42, n. 5, pp. 2105-2118, May (part I) and n. 6, pp. 2291-2304.

- Benedetto Sergio, Poggiolini Pierluigi, 1995, "Direct-detection of optical digital transmission based on polarization shift keying modulation", *IEEE Journal of Selected Areas on Communications*, vol. 13, n. 3, pp. 531-542.
- Bertolotti Mario, Muzii Ludovico, Sette Daniele, 1962, "Considerazioni sulla costruzione e sul funzionamento di un laser a rubino", *Alta Frequenza*, vol. XXXI, n. 9, pp. 561-565.
- Brenci Massimo, Checcacci Pier Francesco, Scheggi Anna Maria, 1974, "Le fibre ottiche per comunicazioni", Report CM-R 176-9.17 (IROE).
- Caldera Claudio, Ghergia Vittorio, Piccirillo Agnese, 1992, "Amplificatori ottici a semiconduttore per telecomunicazioni", *Alta Frequenza Rivista di Elettronica*, vol. IV, n. 4, p. 259.
- Cavicchia R., Daino Benedetto, Vincenti A., 1968, "On the performance of a laser communication link", ICO Symposium on applications of coherent light, Firenze.
- Crosignani Bruno e Di Porto Paolo, 1973, "Coherence of an electromagnetic field propagation in a weakly guiding fiber", *J. Appl. Phys.*, pp. 4616-4617.
- Daino Benedetto, 1966, "Problemi di modulazione e demodulazione di un fascio laser", *Alta Frequenza*, vol. XXXV, n. 1, pp. 215-220.
- Daino Benedetto, 1966, "The measurement of the frequency fluctuations of an optical field", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 2, n. 4, pp. 100-101.
- Daino Benedetto, Galeotti Marco, Sette Daniele, 1973, "Error probability in an atmospheric twin-channel optical link", *IEEE Journal on Quantum Electronics*, vol. 9, no.3, pp. 424-426.
- Daino Benedetto, 1974, "Amplificazione in fibra ottica per segnali luminosi", Rendiconti della LXXV Riunione Annuale AEI, mem.B.33, Roma.
- Dal Molin Marco, Galtarossa Andrea, Someda Carlo Giacomo, 1997, "Experimental investigation of linear polarization in high-birefringence single-mode fibers", *Applied Optics*, vol. 36, n. 12, 20.
- Degiorgio Vittorio, Giglio Marzio, 1966, "Coupling effects in a passive Q-switched ruby laser", *Nuovo Cimento*, vol. 45, pp. 69-71.
- Degiorgio Vittorio, Potenza G., 1966, "Saturation effects in the absorption of the laser light by organic dyes", *Nuovo Cimento*, vol. 41B, pp. 254-257.
- Degiorgio Vittorio, Potenza G., 1967, "Optimization of power and energy output in a laser", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. QE-3, n. 2, pp. 59-65.
- Desurvire Emmanuel, Simpson J.R., Becker P.C., 1987, "High-gain erbium-doped travelling-wave fiber amplifier", *Optics Letters*, vol. 12, n. 11, pp. 888-890.
- Forestieri Enrico, Prati Giancarlo, 1994, "Theoretical analysis of coherent optical FSK systems with limiter-discriminator detection", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 42, nn. 2-4, pp. 562-573.
- Forestieri Enrico, Prati Giancarlo, 1994, "FM click statistics in the presence of phase noise", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 42, nn. 2-4, pp. 549-561.
- Forestieri Enrico, Prati Giancarlo, 1995, "Analysis of delay-and-multiply optical FSK receivers with line coding and nonflat laser FM response", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, n. 3, pp. 543-546.

- Forghieri Fabrizio, Bononi Alberto, Zhang Jian-Guo, Prucnal Paul, Picchi Giorgio, Prati Giancarlo, 1994, "Architectures and techniques for all-optical networks", *Fiber and Integrated Optics*, vol. 13, n. 2, pp. 165-183.
- Gagliardi Robert M. e Karp Sherman, 1976, *Optical Communications*, J. Wiley & Sons, Inc.
- Galtarossa Andrea, Someda Carlo Giacomo, 1985, "Single mode birefringent fibers: an analytical theory", *IEEE Journal on Lightwave Technology*, vol. 3, n. 6, pp. 1332-1338.
- Galtarossa Andrea, 1993, "Polarization mode dispersion measurements in 1520 km EDFA system", *Electronics Letters*, vol. 29, n. 6, pp. 564-565.
- Ghiggino Pierpaolo, 1989, "Novel Square-Law Demodulator for use in Coherent ASK/FSK Heterodyne Optical receivers", *Electronic Letters*, vol. 25, n. 12.
- Grasso Giorgio, Fontana Flavio, Righetti Aldo, Scrivener Paul, Turner P., Maton P., 1988, "980-nm diode-pumped Er-doped fiber optical amplifiers with high gain-bandwidth product", in *Proc. of ECOC'88*, pt. 1, pp. 66-69 Brighton, September 1988.
- Kao K. Charles, Hockham George A., 1966, "Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies", *Proc. IEE*, vol. 113, n. 7, pp. 1151-1158.
- Maiman Theodore, 1960, "Stimulated Optical Radiation in Ruby Maser", *Nature*, vol. 187 p. 493.
- Mears Robert J., Reekie Laurence, Jauncey I.M., Payne David N., 1987, "Low-noise erbium-doped fibre amplifier operating at 1.54 $\mu\text{m}$ ", *Electronic Letters*, vol. 23(19), pp. 1026-1028.
- Personick Steve D., 1973, "Applications for Quantum Amplifiers in Simple Digital Optical Communication Systems", *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 52, pp. 117-133.
- Potter Robert J., 1961, "Transmission Properties of Optical Fibers", *J. Opt. Soc. Am.*, vol. LI, Issue 10, pp. 1079-1089.
- Prati Giancarlo e Gagliardi Robert M., 1978, "Pulse to pulse encoding in optical communications", *Proc. of the International Telemetering Conference (ITC78)*, vol. XIV, pp. 365-370, Los Angeles.
- Prati Giancarlo, 1991, "Coherent optical FSK transmission systems", *European Trans. on Communications*, n. 2, pp. 227-236.
- Rendiconti della LXXV Riunione Annuale AEI, fascicolo III, memorie B, Roma, Marzo 1974.
- Righetti Aldo, Fontana Flavio, Delrosso G., Grasso Giorgio, Iqbal M. Z., Gimlett J.L., Standley R.D., Young J., Cheung N. K., 1989, "An 11 Gbit/s, 260 km transmission experiment using a directly-modulated 1536 nm DFB laser with two Er-doped fiber amplifiers and clock recovery", in *Proc. of ECOC'89*, PDA-10, Göteborg.
- Sette Daniele, 1965, "Laser applications to communications", *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik*, vol. 16, p. 156.
- Sette Daniele, 1966, "Problemi di comunicazione con laser", *Alta Frequenza*, vol. XXXV, n. 1, pp. 84-89.
- Sette Daniele, 1974, "Research on Optical Communications at Fondazione U. Bordoni and Istituto Superiore P.T.", *Alta Frequenza*, vol. XLIII, pp. 773-780.

- Snitzer Elias, 1961, "Proposed fiber cavities for optical masers", *J. Appl. Phys.*, vol. 23, n. 1.
- Someda Carlo Giacomo, 1974, "Analisi della distorsione in un impulso che si propaga in una fibra ottica multimodale con mezzo esterno dissipativo", Rendiconti della LXXV Riunione Annuale AEI, mem.B.22, Roma, Marzo 1974.
- Svelto Orazio, 1962, "Pumping Power Considerations in an Optical Maser", *Applied Optics*, vol. 1, p. 745.
- Svelto Orazio, 1966, "Caratteristiche dei laser a stato solido", *Alta Frequenza*, vol. XXXV, n. 1, pp. 42-44.
- Svelto Orazio, 1970, *Principi dei laser*, Ed. Tamburini, Milano.
- Zeidler Gunter e Schicketanz D., 1973, "Use of Laser Amplifiers in Glass Fibre Communication Systems", *Siemens Forch. u. Entwickl. Ber.*, vol. 2, pp. 227-234.



La ricerca nelle istituzioni: i casi ISPT, FUB, CRIT  
e l'attività COST

**Introduzione**

In questo capitolo sono descritte alcune delle principali Istituzioni di ricerca non universitarie attive nel campo delle telecomunicazioni in ambito Italiano: l'Istituto Superiore delle Poste e delle Telecomunicazioni (ISPT), oggi Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione (ISCTI); la Fondazione Ugo Bordoni (FUB); il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica (CRIT); si è inoltre illustrata l'attività svolta nell'ambito dei progetti COST (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research) poiché sono stati i primi esempi di progetti di collaborazione scientifica coordinata a livello europeo e hanno dato risultati importanti per molte applicazioni oggi in uso.

**Istituto Superiore delle Poste e delle Telecomunicazioni (a cura di  
FRANCESCO FEDI)**

*Le origini ed il primo mezzo secolo*

L'Istituto Superiore delle Poste e delle Telecomunicazioni (ISPT) nasce nel 1907 (legge n. 111 del 24 marzo 1907), con lo scopo di svolgere attività didattiche, tecniche e di ricerca scientifica. Da allora l'Istituto ha subito una serie di trasformazioni organizzative per adeguarsi costantemente all'evoluzione tecnica del settore delle telecomunicazioni.

Già nel corso dei primi anni dalla sua istituzione, l'attività di sperimentazione condotta dall'Istituto assume un ruolo rilevante nello sviluppo delle telecomunicazioni: esperimenti sui fenomeni di induzione tra linee di trasporto di energia e linee telegrafiche e telefoniche e sui nuovi tipi di cavi sottomarini ne sono un esempio. L'efficace collaborazione con l'industria e un'intensa attività tecnica di collaudo consentono alla fine degli anni '20 la messa in opera della rete in cavo sul territorio nazionale, dei cavi sottomarini di collegamento con alcuni Paesi europei e della grande stazione radiotrasmittente di Terranova collaudata mediante prove di trasmissione anche con l'America.

Negli anni '30, tra le numerose attività svolte, l'Istituto è impegnato nelle misure di campo elettromagnetico delle stazioni del ponte radiotelefonico a

30MHz con la Sardegna e in una serie di sperimentazioni sulla propagazione delle onde elettromagnetiche in cooperazione con il National Physical Laboratory di Londra. Allo stesso periodo risale la collaborazione con il CNR per il progetto, l'impianto e l'esercizio del Centro radiosperimentale di Torrechiaruccia voluto da Guglielmo Marconi: dalle misure di intensità di ricezione operate da diversi centri di ascolto sparsi nel mondo e specialmente nel Centro Sperimentale inglese di Tatsfiel e in quelli americani di Netcong e di Meadows, sono tratte utili informazioni sulla possibilità e le modalità di utilizzazione delle onde metriche per le trasmissioni a grande distanza.

Nel periodo bellico 1939-1944, sebbene l'Istituto sia prevalentemente coinvolto a fornire consulenza tecnica per la messa in opera di collegamenti telefonici e telegrafici richiesti per lo sviluppo delle operazioni militari, l'attività di studio, pur condotta nelle difficoltà del momento, prosegue con la costruzione di un esemplare di microscopio elettronico. Nel periodo post-bellico l'attività si concentra invece sulla ricostruzione e riattivazione degli impianti telegrafici, telefonici e radioelettrici, danneggiati o distrutti dalla guerra.

### *I successivi cinquant'anni*

Per il potenziamento dei laboratori dell'Istituto, con DPR 2 agosto 1952, n. 2462, è costituita la Fondazione Ugo Bordoni con sede presso l'Istituto e nel 1953 è inaugurata la nuova sede di viale Trastevere in Roma (Fig. 1). Nello stesso anno nasce la rivista *Note, recensioni e notizie*.

Nei laboratori della nuova sede si affrontano attività tecniche e di studio nel campo della trasmissione (linee aeree, interferenze tra linee di telecomunicazioni ed elettrodotti, cavi terrestri e sottomarini, apparecchiature telegrafiche, collegamenti televisivi a grande distanza in cavo coassiale e in ponte radio, ponti radio pluricanali telefonici) e della commutazione telegrafica e telefonica con l'avvio di studi nel campo della commutazione elettronica (Fig. 2). Di grande rilievo anche le attività di collaudo e di sperimentazione nel settore dei collegamenti radio fissi e mobili per servizi terrestri e per i servizi navali con il collaudo delle apparecchiature radio destinate alle stazioni costiere e all'omologazione dei prototipi degli apparecchi per il servizio a bordo di navi.

Nel 1955 è istituito il Laboratorio "Antenne" per la ricerca teorica ed applicata nel campo dei sistemi irradianti, con particolare riguardo alle gamme delle microonde in considerazione dell'esteso impiego nei ponti radio e nei radar. Viene istituito anche il Laboratorio "Frequenze campioni" destinato alla generazione e distribuzione di frequenze ai diversi laboratori necessarie per i collaudi e i controlli delle apparecchiature utilizzate presso i diversi laboratori e il Ministero della Difesa.

Risale al 1960 la realizzazione, effettuata per la prima volta in Europa, di un collegamento a larga banda di tipo ottico senza fili che veicola 12 canali telefonici tra la terrazza dell'Istituto ed il palazzo dell'ex Azienda di Stato sulla via Cristoforo Colombo. Negli anni successivi le attività di ricerca dell'Istituto, svolte sia direttamente che d'intesa con la Fondazione Ugo Bordoni, sono proseguite



**Figura 1.** L'antica sede dell'ISPT in Viale Trastevere a Roma.

**Figura 2.** L'Istituto Superiore delle Poste e delle Telecomunicazioni (ISPT): a) il laboratorio Frequenze campioni; b) il laboratorio Microonde; c) il laboratorio Chimico; d) il laboratorio di Telegrafia; e) il laboratorio Tiraggio semiconduttori.

focalizzandosi su diverse aree del settore delle telecomunicazioni, dalla telefonia alla televisione, dall'elaborazione ed il trattamento dei segnali agli esperimenti con satelliti, dallo studio delle reti alle sperimentazioni telematiche e informatiche.

Sono di particolare importanza le sperimentazioni, effettuate a partire dagli anni '80, nel campo televisivo sulla codifica numerica dei segnali e sulla televisione ad alta definizione; la partecipazione italiana agli esperimenti con il satellite Olympus; gli studi sui ponti radio numerici operanti a frequenze superiori ai 10 GHz e sui collegamenti in fibra ottica per l'effettuazione di misure finalizzate a caratterizzare il comportamento delle fibre, in presenza di diverse condizioni di posa e di impiego. Nell'ambito dei componenti elettronici ed ottici, è realizzata una camera pulita nella quale i componenti sono analizzati con tecniche di microscopia elettronica a scansione, di spettroscopia e mediante l'uso di microonde. Nel campo delle energie rinnovabili, vengono svolte indagini sull'utilizzo della conversione fotovoltaica nei sistemi di alimentazione degli impianti.

Con l'avvento del Mercato Unico Europeo e della conseguente liberalizzazione del mercato dei terminali di telecomunicazioni, dal 1992 è particolarmente significativo il notevole impegno dedicato nelle attività di verifica della conformità delle apparecchiature alle Regole Tecniche Europee.

Dal 1993 l'Istituto assume la denominazione di "Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione" (ISCTI) e svolge un'importante attività d'ispezione dei collegamenti internazionali ed intercontinentali sottomarini a fibre ottiche. Le attività riguardano i processi costruttivi dei cavi in fibra ottica, dei sistemi di linea, dei sistemi di rigenerazione, degli impianti di alimentazione, della costruzione degli accessori, delle operazioni di assemblaggio, del caricamento a bordo nave e della posa con prove finali di accettazione dei collegamenti.

Dalla fine degli anni '90, con l'avvento della liberalizzazione delle reti e dei servizi di telecomunicazioni l'Istituto, con la partecipazione di Operatori e Costruttori del settore, definisce e aggiorna in funzione delle innovazioni tecnologiche le specifiche tecniche di interconnessione tra reti di telecomunicazioni di Gestori diversi al fine di garantire l'interoperabilità dei servizi. Presso l'Istituto diviene operativa la Sala di Numerazione Nazionale per la gestione di una base dati centralizzata contenente le risorse di numerazione geografiche, non geografiche e mobili assegnate ai gestori di telefonia. La gestione della base dati centralizzata ha importanti connessioni con l'attività di pubblica sicurezza.

Nel settore della ricerca scientifica è particolarmente significativa la partecipazione attiva dell'ISCTI a numerose Azioni COST (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research) e ai programmi quadro della Comunità Europea (Framework Programmes FP): FP5 ACTS ESTHER – *Exploitation of Soliton Transmission Highways for the European Ring*; FP5 ATLAS – *All optical Terabit per second Lambda Shifted transmission*; FP6 ePhotonOne – *Optical Networks: towards bandwidth manageability and cost efficiency*; FP7 BONE – *Building the Optical Network in Europe* e FP7 SARDANA – *Scalable Advanced Ring based passive Dense Access Network Architecture*.

Nel settore della Standardizzazione l'ISCTI è presente nei più importanti organismi nazionali ed internazionali. Tra gli organismi nazionali è da segnala-

re il CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) con le attività svolte in numerosi Comitati Tecnici. In ambito internazionale l'Istituto da sempre partecipa alle attività dell'ITU (International Telecommunication Union) seguendo i lavori dei tre Settori: standardizzazione ITU-T, Sviluppo ITU-D e Radio ITU-R. In ambito ITU-T, sono degni di nota la partecipazione ai lavori delle Commissioni di Studio SG 6 con il ruolo di "Rapporteur" per la Questione riguardante i cavi sottomarini, e la Commissione di Studio SG15 con il ruolo di "Editor" per la Questione riguardante la realizzazione di una rete completamente ottica. È da segnalare anche la partecipazione all'IEC (International Electrotechnical Committee), e all'ETSI (European Telecommunication Standardization Institute).

### *L'ultimo decennio*

Dal 2002 l'ISCTI opera in qualità di Ente di certificazione internazionale per la validazione di sistemi di rete e terminali in tecnologia TETRA (TErrestrial Trunked RAdio) che sono utilizzati da veicoli o gruppi di lavoro mobili, come le Forze di Sicurezza (Polizia, Vigili del Fuoco, e simili) o Enti commerciali (Società di trasporto passeggeri e merci, Società di manutenzione).

L'Istituto ricopre inoltre il ruolo di "Organismo di certificazione della sicurezza di sistemi e prodotti nel settore della tecnologia della comunicazione e dell'informazione" (OCSI). L'istituzione dell'OCSI colma una lacuna esistente in Italia, consentendo di eseguire le certificazioni di tale tipo analogamente a quanto avviene nei maggiori paesi industrializzati. L'Organismo nasce come entità "super partes" che fornisce garanzie circa l'adeguatezza e la corretta realizzazione delle misure di sicurezza che vengono impiegate nei prodotti e sistemi con il rilascio delle necessarie certificazioni. Dal settembre 2009 le certificazioni rilasciate dall'OCSI sono riconosciute in tutti i paesi aderenti al CCRA (Common Criteria Recognition Arrangement).

Sempre in materia di sicurezza l'Istituto realizza il "Centro di Valutazione" in collaborazione con la Fondazione Ugo Bordoni. Il Centro è abilitato dall'"Autorità Nazionale per la Sicurezza" a condurre valutazioni di sicurezza secondo quanto previsto dallo "Schema Nazionale per la valutazione e la certificazione della sicurezza delle tecnologie dell'informazione, ai fini della tutela delle informazioni classificate, concernenti la sicurezza interna ed esterna dello Stato".

L'ISCTI ha rivolto da sempre anche particolare attenzione all'organizzazione di convegni e conferenze in grado di stimolare il dibattito e favorire l'interscambio di idee. Si ricordano, a questo proposito, alcuni degli eventi a livello nazionale ed internazionale quali: il "First workshop on enabling technologies for ICT" nel 2006, il meeting on "Broadband beyond ADSL" sempre nel 2006, la Conferenza Internazionale "ICTON 2007 – International Conference on Transparent Optical Networks" e il workshop "Il Progetto EU SARDANA: una rete intelligente a larga banda e basso impatto ambientale" nel 2009 che ha visto la presenza dei maggiori operatori nazionali del settore.

Attualmente l'ISCTI opera, in qualità di Organo tecnico-scientifico, nell'ambito del Ministero dello Sviluppo Economico presso il Dipartimento per le comunicazioni. I servizi offerti dall'Istituto interessano non solo le tradizionali

attività di certificazione, realizzate grazie alle competenze e alle strumentazioni dei laboratori che consentono di verificare la conformità delle apparecchiature alle norme e raccomandazioni di riferimento, ma si estendono a specifiche campagne di misura per la verifica della qualità dei servizi, delle reti di telecomunicazioni e della qualità percepita dall'utente finale.

### *La Scuola Superiore di Specializzazione in Telecomunicazioni*

La Scuola Superiore di Specializzazione in Telecomunicazioni, annessa all'I-SCTI, persegue da anni l'obiettivo di specializzare i giovani ingegneri nel campo delle telecomunicazioni e dell'informatica, per consentire loro un inserimento flessibile ed efficiente nel mondo del lavoro.

La Scuola nasce nel 1923 (con R.D. n. 2493 del 19 agosto 1923) in sostituzione della *Scuola Superiore Postale e Telegrafica*, costituita nel 1908 con finalità d'istruzione professionale per i funzionari dei servizi postali e di telecomunicazioni. La consapevolezza dell'importanza di diffondere la cultura nel campo delle telecomunicazioni, in vista dei prevedibili sviluppi del settore, e l'impossibilità da parte dell'Università di assicurare la formazione in un settore così vasto e complesso quale si presentava già allora quello delle telecomunicazioni, portano alla costituzione della Scuola Superiore di Telegrafia e Telefonia di grado universitario aperta a laureati in ingegneria.

Per moltissimi anni, fino all'istituzione dei corsi di laurea in ingegneria elettronica negli anni '60, la Scuola ha rappresentato l'unica struttura di livello universitario presso cui era possibile acquisire una specializzazione in materia di telecomunicazioni e nelle sue aule si sono formate le professionalità più rilevanti che hanno guidato il settore nel corso degli anni.

In uno scenario, quale quello attuale, in cui il processo di evoluzione delle reti e dei servizi di comunicazione è sempre più caratterizzato dalla convergenza tra tecnologie e servizi dei media, delle telecomunicazioni e della comunicazione dati e dove si sviluppano utilizzi innovativi dei sistemi di comunicazione, i corsi della Scuola rivestono una grande importanza sia per i neolaureati e sia per gli operatori del settore. Per i neolaureati la Scuola rappresenta una fondamentale opportunità per sviluppare, anche attraverso l'interazione con le più avanzate realtà aziendali e la partecipazione diretta alle attività di studio e ricerca svolte nei laboratori dell'Istituto Superiore, quelle indispensabili competenze trasversali in cui si integrano specializzazione tecnica e capacità operative e gestionali. Per le aziende e gli operatori del settore la Scuola rappresenta un importante serbatoio a cui attingere nella ricerca di figure professionali già formate da inserire compiutamente nelle dinamiche aziendali.

Nell'intento di ottimizzare questa funzione di "cerniera" tra mondo accademico e mercato del lavoro, la Scuola Superiore di Specializzazione in Telecomunicazioni, propone percorsi formativi altamente specialistici, con l'obiettivo di fornire una visione integrata del settore, attraverso l'approfondimento, sotto il profilo tecnico, economico e giuridico, di tematiche emergenti tra le quali oggi in particolare lo sviluppo della banda larga, delle reti e dei servizi di comunicazione di nuova generazione, la transizione al digitale e l'evoluzione del

quadro normativo comunitario delle comunicazioni.

Tutti coloro che a conclusione del percorso formativo superano gli esami previsti dal piano di studi conseguono il *Diploma di Specializzazione in Telecomunicazioni*, titolo riconosciuto in termini di crediti formativi e ben apprezzato in sede di assunzione e di carriera.

## Fondazione Ugo Bordoni (a cura di FRANCESCO FEDI)

### *Le origini ed i primi venti anni*

Nel 1952 l'Amministrazione delle Poste e delle Telecomunicazioni, le Società Concessionarie dei pubblici servizi di telecomunicazioni e le più importanti industrie manifatturiere del settore, decidono di costituire, erigendola in Ente Morale, una Fondazione senza scopo di lucro in grado di operare autonomamente



**Figura 3.** Il prof. Ugo Bordoni ai microfoni della RAI.

nel campo della ricerca tecnico-scientifica nei settori delle telecomunicazioni, dell'elettronica e dell'informatica e nel settore postale e di caratterizzare in senso sociale e pubblico tale ricerca pur avendo, al tempo stesso, l'indispensabile flessibilità ed elasticità propria di una struttura a carattere privato.

La Fondazione è intitolata a "Ugo Bordoni", in memoria dell'esimio Professore della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma, illustre scienziato nei campi della termotecnica, della termodinamica e dell'acustica, propulsore dello sviluppo telefonico italiano e Presidente della STET fin dalla sua costituzione, scomparso nello stesso anno 1952 (Fig. 3). La Presidenza della Fondazione viene assunta da Vittorio Gori, a cui seguiranno Algeri Marino (1957-1962), Michele Paris (1962-1966), Antonio Carrelli (1966-1980), Mauro Nardelli (1980-1982), Elio Briganti (1982-1992), Lamberto Cardia (1992-1997) e Bruno Amoroso (1997-2000). Come Segretario Generale è nominato Andrea Ferrari Toniolo.

Dal 1952 al 1970 gli obiettivi raggiunti dall'attività della Fondazione possono essere così sintetizzati:

- creazione e consolidamento di un contesto estremamente stimolante di ricerca scientifica con "unità di lavoro" articolate ed autonome;
- continua qualificazione professionale, raggiunta attraverso il livello stesso delle ricerche in atto, di un'intera classe di ricercatori scientifici.

Il secondo obiettivo si rivela particolarmente importante per la formazione di personale altamente qualificato. Dalla Fondazione Bordini provengono, infatti, più di 40 docenti delle Facoltà di Ingegneria di varie Università Italiane ed un gran numero di funzionari e dirigenti delle Società Concessionarie e del mondo industriale. Basti citare solo alcuni dei tanti nomi: il prof. Antonio Ruberti, già Ministro della Ricerca e Commissario CEE, l'ing. Umberto De Julio, già Direttore Generale Telecom Italia; il prof. Aldo Roveri, dell'Università di Roma "La Sapienza" già Presidente del Consiglio Superiore delle Poste e delle Telecomunicazioni; il prof. Maurizio Decina, del Politecnico di Milano già Membro del Consiglio di Amministrazione di Telecom Italia; il prof. Gianni Orlandi, già Preside della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma "La Sapienza"; il prof. Francesco Valdoni, dell'Università di Roma "Tor Vergata"; il prof. Gabriele Falciasacca, dell'Università di Bologna e Presidente della Fondazione Guglielmo Marconi.

### *La Fondazione nei successivi trent'anni*

Agli inizi degli anni '70 diminuisce l'esigenza da parte dell'Università di reperire personale docente formato, al di fuori di essa, in enti quali la Fondazione. Si rafforza invece l'esigenza di attuare nel Paese una ricerca applicata di ampio respiro che possa portare un contributo decisivo allo sviluppo delle telecomunicazioni e che sia orientata a colmare il divario esistente tra la ricerca di tipo universitario e quella di tipo industriale.

La Fondazione Bordini avverte questa esigenza e modifica di conseguenza la sua struttura<sup>1</sup>. Nascono così, negli anni '70, i Settori della Fondazione che consentono di condurre impegnativi programmi di ricerca pluriennali che hanno vasta risonanza in ambito nazionale ed internazionale e che anticipano di circa dieci anni i progetti finalizzati del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Tra questi vanno citati i programmi di ricerca a lungo termine tendenti a studiare le caratteristiche di mezzi di trasmissione a grande capacità: la guida d'onda circolare ed il canale hertziano a frequenze superiori a 10 GHz. Nel 1984 l'Amministrazione delle Poste e delle Telecomunicazioni e le Società Concessionarie dei servizi pubblici di telecomunicazioni riconoscono la validità dell'intuizione avuta, più di trent'anni prima, nell'individuare l'esigenza di un ente di ricerca con le caratteristiche della Fondazione Bordini e decidono di rafforzare il suo ruolo. Le Società Concessionarie SIP, Italcable e Telespazio, nel rinnovare le Convenzioni con l'Amministrazione P.T., assumono infatti formalmente l'impegno di partecipare con un contributo annuale pari a circa l'uno per mille del loro fatturato "all'attuazione dei programmi di ricerca di interesse generale affidati dall'Amministrazione P.T. alla Fondazione Bordini".

Anche in conseguenza di ciò, dal 1985 al 2000, le attività della Fondazione hanno un notevole incremento con una completa ristrutturazione dell'organizzazione scientifica ed operativa. Nel 1985 Francesco Fedi è nominato Direttore

<sup>1</sup> Francesco Fedi, "Una Fondazione che pensa al futuro", *Telema*, n. 1, 1995.

delle Ricerche della Fondazione, primo 'interno' ad assumere questa carica che manterrà fino all'anno 2000 e che, in precedenza, era stata ricoperta da Bruno Peroni (1960-1964), Renato Koch (1964-1982) e Gino Pagni (1982-1985).

Si adegua lo Statuto alle nuove esigenze. Si acquisisce una nuova sede. Si attua un notevole potenziamento dell'organico e si inizia un'attenta politica del personale mediante l'introduzione del primo contratto integrativo aziendale. Si introducono criteri di contabilità industriale per le attività di ricerca e si affinano quelli di conduzione gestionale. Si imposta una completa documentazione delle attività programmate e svolte annualmente. Si cura, attraverso pubblicazioni e seminari, la diffusione capillare dei risultati ottenuti dalla Fondazione presso l'Amministrazione P.T., le società concessionarie, il mondo industriale e la comunità scientifica nazionale ed internazionale. Si incrementa notevolmente la partecipazione della Fondazione a progetti di ricerca europei e nazionali. Si ottiene un aumento considerevole della quantità e qualità della produzione scientifica e del numero dei riconoscimenti e degli incarichi di esponenti della Fondazione negli organismi scientifici e di normativa nazionali ed internazionali. Si attua una completa revisione delle procedure amministrative e dell'impostazione dei bilanci. Si rafforzano i rapporti con gli enti che emergono come i protagonisti delle telecomunicazioni italiane nell'ambito del riassetto del settore. Da una parte, si rinnova la Convenzione con il Ministero delle Poste e delle Telecomunicazioni e, dall'altra, si stipula una nuova Convenzione con la Società TELECOM Italia, in cui sono confluite le Società Concessionarie SIP, Italcable e Telespazio. La Fondazione Bordini si afferma gradualmente come uno dei principali centri di ricerca italiani nel settore delle telecomunicazioni.

La "formula Fondazione" è la vera chiave di questo successo perché consente:

- in quanto Ente senza scopo di lucro e al di sopra delle parti, di perseguire scopi di pubblica utilità per l'intera comunità nazionale e di caratterizzare le proprie ricerche con obiettivi a lungo termine;
- in quanto Ente a carattere privato, di avere la flessibilità e l'agilità indispensabili per svolgere attività di ricerca al più elevato livello.

La rilevanza dell'attività che la Fondazione Bordini svolge risulta ancor maggiore se si tengono presenti le esigenze che la situazione nazionale ed internazionale impone all'Italia per poter tenere il passo con gli altri Paesi industrializzati. Infatti, il rapido evolversi delle tecnologie, il ruolo trainante delle telecomunicazioni nella società, l'integrazione europea e l'affermarsi di una progressiva deregolamentazione e competizione nell'offerta dei servizi richiedono un costante incremento qualitativo e quantitativo della ricerca scientifica.

### *Le attività di ricerca*

Durante questo periodo la Fondazione Ugo Bordini è organizzata in Settori di ricerca ciascuno dei quali, a sua volta, è articolato in Gruppi di ricerca. Tutti i Gruppi sono al più elevato livello della ricerca italiana e molti di essi sono un punto di riferimento per la ricerca internazionale.

Nel Settore *Radiocomunicazioni*, la radiopropagazione a frequenze superiori a 10 GHz è, fin dai primi anni '70, uno degli argomenti di ricerca più impegnativi. In tale area, in concorrenza con i più importanti centri di ricerca europei, americani e giapponesi, la Fondazione ha un ruolo indiscusso di leader. Fin dal 1980, le metodologie sviluppate dalla Fondazione sono raccomandate dall'Unione Internazionale delle Telecomunicazioni per la pianificazione dei sistemi terrestri e via satellite a queste frequenze, in tutti i paesi del mondo. I risultati ottenuti meritano nel 1980 il premio Ottavio Bonazzi dell'Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana, nel 1982 il premio Marconi Italiana dell'Istituto Internazionale delle Comunicazioni di Genova e nel 1989 il "Diplome d'Honneur" dell'Unione Internazionale Telecomunicazioni (UIT) di Ginevra "per i contributi apportati al progresso delle telecomunicazioni". Alla fine degli anni '80 l'incalzante domanda di spettro radio e le esigenze di nuovi servizi hanno messo in rilievo nuovi temi di studio, relativi all'influenza sulla radiopropagazione di gas atmosferici e nuvole. L'attività si è allora mossa verso frequenze più elevate, fino a 40/50 GHz e anche 90 GHz, con la messa a punto di una modellistica meteorologica e elettromagnetica sempre più raffinata e con campagne sperimentali di tipo radiometrico. La televisione è un altro importante argomento di ricerca del Settore. Fin dagli anni '60, la Fondazione Bordini fornisce all'Amministrazione P.T. il supporto scientifico e tecnico necessario per la scelta degli standard televisivi: dal "bianco e nero" al "colore", dalla "qualità migliorata" all'"alta definizione" e alla futura televisione "a 3 dimensioni". La Fondazione si afferma come punto di riferimento a livello internazionale nell'area delle metodologie di valutazione della qualità delle immagini televisive, promuovendo la realizzazione presso l'Amministrazione P.T. di un laboratorio al livello dei migliori laboratori mondiali. Nell'ambito del Consiglio Superiore delle Poste Telecomunicazioni e Automazione, la Fondazione coordina la Commissione incaricata di riferire sulla scelta da effettuare tra il sistema europeo EUROSAT ed il sistema italiano SARIT per l'introduzione in Italia della televisione diretta da satellite. Nel campo dei radiomobili, infine, gli studi dei modelli del canale elettromagnetico e dei metodi di previsione dell'intensità di campo, svolti dalla Fondazione, trovano collocazione nei più importanti programmi di ricerca e contribuiscono alla rapida diffusione del telefono cellulare in Italia. Di particolare rilievo è anche il contributo fornito, in ambito europeo, per la scelta del sistema radiomobile numerico GSM: il confronto delle efficienze spettrali delle varie soluzioni proposte è, infatti, effettuato con le metodologie studiate e proposte dalla Fondazione in collaborazione con Telecom Italia. A seguito delle attività svolte, la Fondazione conquista gradatamente una posizione di riferimento internazionale nel dibattito sull'allocazione dinamica delle risorse radio per le future comunicazioni personali.

Nel Settore *Comunicazioni ottiche* la ricerca si sviluppa guardando alle prospettive più avanzate: la grandissima capacità, le lunghissime distanze, i sistemi coerenti e le nuove strutture di rete. I risultati dell'attività di ricerca svolta dalla Fondazione Bordini in questo campo permettono all'Italia di essere presente con autorevolezza negli organismi internazionali di standardizzazione e nei programmi di ricerca della Comunità Europea. A livello nazionale, alla Fondazione è affidato il compito di coordinare le attività di tecnologie dei sistemi

ottici del Progetto Finalizzato Telecomunicazioni del Consiglio Nazionale delle Ricerche. I risultati ottenuti dalla Fondazione influiscono su alcune importanti scelte di pianificazione. Ad esempio, allorché in Italia si cominciano ad installare, su vasta scala, le fibre ottiche la Fondazione, forte dei suoi studi, diffonde solide argomentazioni a favore dell'utilizzo delle fibre monomodo rispetto a quelle multimodo, influenzando ad orientare le scelte verso soluzioni che, successivamente, si rivelano le migliori. Gli studi svolti sui sistemi coerenti aprono la strada a nuovi concetti, quali l'uso della commutazione di frequenza, che cominciano ad influenzare in modo determinante la struttura delle nuove reti a larga banda, sia quelle di distribuzione e sia quelle di trasporto. Le ricerche sulle proprietà di polarizzazione e di nonlinearità delle fibre ottiche fanno della Fondazione uno dei protagonisti del dibattito sull'impiego dei "solitoni" nei sistemi di trasmissione per le lunghissime distanze, quali quelli impiegati nelle reti su scala europea o transcontinentale.

Con il Settore *Comunicazioni numeriche* la Fondazione partecipa da protagonista alla "rivoluzione" dalla tecnologia analogica a quella numerica, realizzando in Italia i primi prototipi sperimentali. Successivamente l'attività si orienta prevalentemente verso lo sviluppo di algoritmi, procedure e protocolli di crittografia per assicurare l'autenticità, l'integrità e la confidenzialità di dati e messaggi. In oltre dieci anni di attività nell'area della crittografia, la Fondazione Bordoni assume gradualmente un ruolo trainante in ambito nazionale e si pone come punto di riferimento italiano in ambito internazionale. Ciò è attestato dal ruolo di rilievo assunto nei progetti di ricerca della Comunità Europea, dalle richieste di collaborazione e di consulenza da parte del Ministero della Difesa, dalla collaborazione richiesta dalla TELECOM Italia per la soluzione di alcuni problemi di sicurezza nel sistema radiomobile GSM europeo, dalle consulenze richieste dall'industria nazionale per la soluzione di problemi concernenti l'ingegnerizzazione di algoritmi crittografici, dall'organizzazione di Simposi periodici che vedono la partecipazione dei più qualificati studiosi mondiali dell'argomento.

Il Settore *Reti e Servizi* segue con particolare attenzione la profonda revisione, in corso a livello mondiale, sul modo di concepire la rete di telecomunicazioni, in rapporto allo sviluppo dei servizi che attraverso di essa si intende offrire in una gamma sempre più ampia e "personalizzata", cioè adattati alle esigenze del singolo utente. Queste possibilità richiedono un'evoluzione delle architetture di rete e delle procedure di comunicazione, controllo e gestione che determinano il funzionamento della rete stessa. La Fondazione è impegnata in studi avanzati sulle reti integrate a larga banda e sulle problematiche legate allo sviluppo delle "comunicazioni personali" nell'ambito di programmi di ricerca nazionali ed europei e delle attività di organismi internazionali di normativa e standardizzazione. Per quanto riguarda i servizi, l'attività della Fondazione è particolarmente incisiva in alcune applicazioni telematiche. Lo studio di codifiche di immagini di alta qualità porta a proposte nei progetti di ricerca Comunitari in cui la Fondazione si candida per lo studio di codifiche di immagini per servizi di "Museo Virtuale" che consentono all'utente una visita dei musei via terminale video con le tecniche tipiche della televisione interattiva. Un'altra importante applicazione è quella per il trasferimento di immagini con alta risoluzione ed alta dinamica,

quali radiografie, TAC e Risonanze Magnetiche. Su questo argomento si attua una collaborazione tra la Fondazione e la Scuola di specializzazione in Radiologia dell'Università di Pisa. Infine, sono da sottolineare le attività nei servizi di Teledidattica che la Fondazione svolge in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche realizzando un esperimento tra l'Università di Genova ed un'aula appositamente attrezzata a Savona.

Nel Settore *Elaborazione dell'informazione* la Fondazione affronta tematiche di fondamentale importanza per lo sviluppo dei sistemi di telecomunicazioni e telematici: dall'ingegneria del software di comunicazione, all'ingegneria dell'informazione, all'ingegneria del linguaggio. Nell'ambito dell'ingegneria del software di comunicazione, la Fondazione partecipa ad iniziative europee ed internazionali e contribuisce alla definizione ed alla diffusione di tecnologie, linguaggi e componenti software utili per l'evoluzione delle reti di telecomunicazioni verso reti intelligenti multiservizio e multimediali, cioè verso le cosiddette "autostrade dell'informazione". Il tema dell'ingegneria dell'informazione è fondamentale per riuscire ad accedere in modo semplice ed efficace all'enorme quantità di dati disponibili nelle reti mondiali che si stanno realizzando. In questo campo, la Fondazione si distingue nello studio delle tecniche più innovative di "Information Retrieval" e di Intelligenza Artificiale e contribuisce allo sviluppo di un'Ingegneria dell'informazione multidisciplinare, in grado di dare all'utente strumenti per affrontare la complessità della ricerca e della selezione delle informazioni di suo interesse. Nell'ambito dell'ingegneria del linguaggio, gli studi svolti sul riconoscimento del parlatore, cioè sulla possibilità di identificare un individuo attraverso l'analisi di un suo campione di voce (come nel caso di telefonate anonime o di intercettazioni telefoniche), pongono la Fondazione in una posizione di leader di questa disciplina in campo nazionale ed europeo. Ciò è ampiamente riconosciuto dalla Magistratura Italiana che affida agli studiosi della Fondazione numerose indagini peritali, spesso di natura assai delicata per l'importanza o la risonanza del "caso" come, ad esempio, il "caso Toni Negri", il "caso Gladio", il "caso Ustica", per non citarne che alcuni tra i più noti e seguiti dall'opinione pubblica. Il riconoscimento del parlatore, oltre che nelle aule giudiziarie, trova importanti applicazioni anche nel caso in cui l'accertamento dell'identità di un individuo attraverso la voce diviene un elemento di primaria importanza per la tutela della segretezza di una data operazione (come una transazione bancaria effettuata per telefono) o per il controllo di un ambiente riservato (come una richiesta di accesso ad una centrale operativa delle forze dell'ordine o ad una sala controllo di una centrale nucleare). Nell'ambito di questa tematica la Fondazione realizza un sistema prototipale di "autenticazione" a mezzo voce che ha suscitato un vivo interesse in numerose sedi.

Il Settore *Pianificazione strategica* segue con particolare attenzione il problema delle scelte che il pianificatore pubblico e privato è chiamato a compiere e si concentra sugli strumenti e sui metodi di osservazione, di analisi e di valutazione della complessa realtà del mondo delle telecomunicazioni. In questo campo sono messi a punto alcuni metodi analitici e di previsione che riscuotono notevole interesse negli ambienti scientifici e operativi e che sono applicati dalla Banca d'Italia ai problemi di telematica bancaria e dall'Agenzia Spaziale Europea per

valutare l'impatto di alcuni servizi offerti via satellite. Sempre nel campo della pianificazione strategica la scienza dei fattori umani applicata alle telecomunicazioni che esamina, da un punto di vista multidisciplinare, le influenze dei nuovi servizi sugli utenti è un altro importante argomento di ricerca. Gli studi sull'Office Automation, la Videoconferenza, il Telelavoro, il laboratorio per l'emulazione dei nuovi servizi e le ricerche condotte in ambito europeo evidenziano il livello internazionale delle attività della Fondazione in questo campo.

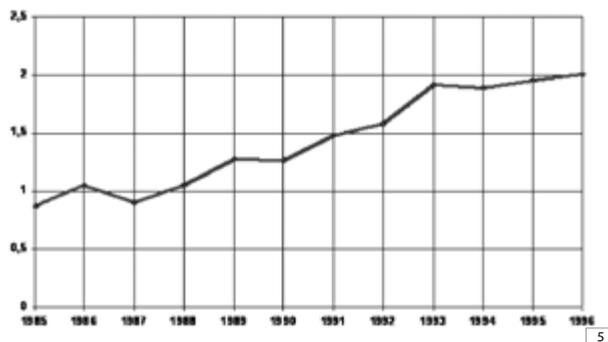
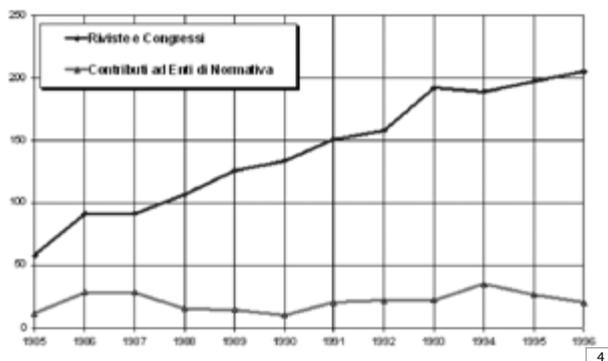
### *I risultati scientifici*

L'affermazione scientifica della Fondazione è testimoniata dagli oltre 200 lavori pubblicati ogni anno sulle più autorevoli riviste scientifiche o presentati ai più prestigiosi congressi internazionali.

Come ampiamente riconosciuto, uno dei parametri più usati per valutare l'efficienza e la produttività di un ente di ricerca è il numero dei lavori scientifici pubblicati in un determinato anno. In un'indagine svolta in quegli anni dal Consiglio Superiore delle Poste, Telecomunicazioni e Automazione sullo stato della ricerca in Italia il parametro usato per valutare l'efficienza delle università e degli enti di ricerca nel settore delle Telecomunicazioni fu appunto il numero dei lavori pubblicati su riviste scientifiche o negli atti di congressi particolarmente qualificati ed il parametro usato per

valutarne la produttività scientifica fu il rapporto tra il numero dei lavori pubblicati e il numero dei ricercatori. Nel caso della Fondazione, sia il numero delle pubblicazioni sia il livello della produttività scientifica è andato costantemente aumentando a partire dal 1985 (Fig. 4). Per quanto riguarda la produttività scientifica si è passati da un livello 0.9 nell'85, giudicato già buono nell'indagine a cui si è fatto prima riferimento, ad un livello pari a circa 2 lavori per ricercatore all'anno (Fig. 5).

Particolarmente importanti sono stati anche i contributi presentati dalla Fondazione



**Figura 4.** Numero di pubblicazioni della Fondazione Ugo Bordoni.

**Figura 5.** Numero di pubblicazioni per ricercatore nella Fondazione Bordoni.

a Enti e Organizzazioni di normativa e standardizzazione. I risultati ottenuti dalla Fondazione hanno spesso messo in grado l'Italia di far prevalere il punto di vista nazionale nella normativa e nella standardizzazione in sede internazionale, con evidenti vantaggi d'immagine per il Paese e per l'industria nazionale dei servizi e manifatturiera.

Oltre che dalla produzione scientifica l'affermazione della Fondazione è testimoniata dai premi e riconoscimenti ricevuti (quali ad esempio: il "Diplôme d'honneur" e il "Diplôme de reconnaissance" dell'Unione Internazionale delle Telecomunicazioni, i premi Marconi, il premio Bonazzi, i premi Philip Morris), dalle presidenze di prestigiose Conferenze e Commissioni scientifiche internazionali (quali l'"European Microwave Conference" del 1987, la "Conference on Modelling the Innovation" del 1990, l'"European Conference on Optical Communications" del 1994, l'"Eurocrypt" del 1994 e la Commissione "Radiowave propagation and Remote Sensing" dell'URSI (International Union of Radio Science). Inoltre l'ECOC (European Conference on Optical Communications), l'ENPW (European Network Planning Workshop), l'ITC (International Teletraffic Conference) sono alcune delle Conferenze Internazionali nei cui Comitati scientifici il ruolo della Fondazione è altamente apprezzato.

### *L'impatto e le applicazione dei risultati*

Le attività di ricerca a lungo termine svolte in quegli anni mettono in grado la Fondazione di prepararsi per tempo su argomenti poi rivelatisi vitali per lo sviluppo delle telecomunicazioni e fanno sì che i risultati ottenuti, al di là del loro intrinseco valore scientifico, abbiano un impatto notevole su molti aspetti strategici per il settore della tecnologia dell'informazione:

- *nell'opera di supporto scientifico e tecnico ai compiti di programmazione e controllo del Ministero delle Poste e Telecomunicazioni.* Basti citare i contributi della Fondazione alle scelte degli standard televisivi oppure quelli nel campo dei radiomobili: gli studi dei modelli del canale elettromagnetico e l'elaborazione di efficaci algoritmi per la previsione dell'intensità di campo hanno fatto sì che la Fondazione fosse prescelta come punto di riferimento, al di sopra delle parti, per il controllo delle coperture delle reti GSM di Omnitel e Tim;
- *nell'opera di supporto scientifico e tecnico ad altri Ministeri e all'intero paese in problemi di particolare delicatezza.* Ad esempio, gli studi svolti sul riconoscimento del parlatore, cioè sulla possibilità di identificare un individuo attraverso l'analisi di un suo campione di voce. La crittografia è un altro esempio di area in cui la Fondazione Bordini ha gradualmente assunto un ruolo trainante in ambito nazionale e si è posta come punto di riferimento italiano in ambito internazionale. Ciò ha portato tra l'altro alla collaborazione con l'AIPA (Autorità per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione) per i problemi di sicurezza della Rete Unitaria della Pubblica Amministrazione;
- *nel campo della normativa nazionale e internazionale.* Basti citare, ad esempio, il ruolo di leader avuto dalla Fondazione nell'introduzione di sistemi a frequenze superiori a 10 GHz in concorrenza con i più importanti centri di

ricerca europei, americani e giapponesi. Fin dagli anni '80 le metodologie sviluppate dalla Fondazione sono state quelle prescelte e raccomandate dall'Unione Internazionale delle Telecomunicazioni e sono oggi usate in tutti i paesi del mondo per la pianificazione dei sistemi radio terrestri e via satellite a queste frequenze;

- *nelle scelte di carattere strategico per l'evoluzione della rete di telecomunicazioni.* Ad esempio, allorché in Italia si cominciavano ad installare su vasta scala le fibre ottiche ha promosso l'utilizzo delle fibre monomodo rispetto a quelle multimodo, l'uso della commutazione di frequenza e l'impiego dei "solitoni" nei sistemi di trasmissione per le lunghissime distanze;
- *nel supporto alle applicazioni industriali* come l'ottenimento di più di dieci brevetti negli anni 1990-2000; la realizzazione del chip RSA 512, prodotto industrialmente in Italia sulla base di un algoritmo sviluppato per l'esecuzione rapida delle operazioni aritmetiche su grandi numeri e la realizzazione di carte intelligenti per il controllo d'accesso basate sulla rappresentazione dei numeri proposta in Fondazione.

#### *Partecipazione in programmi europei e nazionali*

Nel corso degli anni 1970-2000 è attuata una decisa politica di inserimento nei principali programmi di ricerca a livello europeo e nazionale.

Presente nelle azioni di ricerca COST (European Cooperation in Science and Technology) fin dalla fase preparatoria dei primi anni '70, la Fondazione è stata tra i maggiori protagonisti, ha detenuto la Presidenza di un gran numero delle Azioni varate nell'area delle telecomunicazioni, ha rappresentato l'Italia nel Comitato Scientifico "Telecommunications and Information Science and Technology" di cui ha assunto la Presidenza nel 1998.

Particolarmente importanti sono anche le attività svolte nei progetti di ricerca europei RACE (Research and Development in Advanced Communication Technology in Europe), DRIVE (Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe), ESPRIT (European Strategic Project for Research in Information Technology) e ACTS (Advanced Communication Technologies and Services):

- AC036 "DOLMEN" (Service Machine Development for an Open Long-term Mobile and Fixed Network Environment);
- AC056 "QUOVADIS" (Quality of Video and Audio for Digital Television Services);
- AC045 "UPGRADE" (High Bitrate 1300nm Upgrade of the European Standard Single-Mode Fibre Network);
- AC063 "ESTHER" (Exploitation of Soliton Transmission Highways for the European Ring);
- AC068 "INSIGNIA" (IN and B-ISDN Signalling Integration on ATM Platforms);
- AC236 "CABSINET" (Cellular Access to Broadband Services and Interactive Television);
- AC215 "CRABS" (Cellular Radio Access for Broadband Services).

Nell'ambito dei progetti finalizzati a livello nazionale, la Fondazione ha una lunga tradizione di collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche. Verso la metà degli anni '70 alla Fondazione fu affidata la Direzione tecnica del progetto finalizzato "Aiuti alla Navigazione e Controllo del Traffico Aereo". Negli anni '80 la Fondazione condusse a termine, per conto del CNR, lo studio di fattibilità di un "Progetto organico di ricerche di telecomunicazioni spaziali". Nell'ambito del progetto "Telecomunicazioni", la Fondazione ha coordinato il sottoprogetto sulle comunicazioni ottiche ed ha partecipato alle attività di ricerca con numerose unità operative.

Per quanto riguarda la collaborazione con Ministeri ed Enti, sono particolarmente rilevanti quelle stabilite con il Ministero della Difesa (Crittografia e riconoscimento del parlatore) e con l'AIPA- Autorità per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione (problemi di sicurezza per la rete unitaria).

### *Partecipazione in organismi di normativa e standardizzazione*

L'attività della Fondazione nell'ambito di organismi di normativa e standardizzazione è notevole a livello internazionale e nazionale. In questi organismi esponenti della Fondazione occupano posizioni di prestigio e di responsabilità.

In ambito UIT-RS (International Telecommunication Union – Radio Communication Sector) rappresentanti della Fondazione partecipano, spesso con incarichi di coordinamento, alle attività di molte commissioni sia a livello nazionale che internazionale. Il contributo tecnico della Fondazione è estremamente apprezzato in varie commissioni UIT-TSS (International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector) con particolare riguardo al coordinamento nel campo dell'ingegneria del traffico per comunicazioni personali.

La partecipazione della Fondazione alle attività ETSI (European Telecommunications Standards Institute) è particolarmente impegnativa a livello di Assemblea Tecnica e di Comitati Tecnici.

In ambito nazionale sono da segnalare le attività legate alla partecipazione al CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), al CONCIT (Comitato Nazionale di Coordinamento per l'Informatica e le Telecomunicazioni), all'UNI (Ente Italiano di Unificazione), e all'UNINFO (Ente di Normativa per le Tecniche Informatiche e loro Applicazioni).

### *La Fondazione nell'ultimo decennio*

Le privatizzazioni delle principali aziende di telecomunicazioni a partecipazione statale ed il conseguente passaggio da una situazione di monopolio ad una caratterizzata dal pluralismo di soggetti economici con pari diritti generò alcune difficoltà nel meccanismo di finanziamento della Fondazione. La conseguenza fu che nel 2000 la Fondazione fu trasformata con DM 3.8.2000 in una nuova Fondazione avente ragione sociale, scopo, oggetto identici, con continuità giuridica dei rapporti di lavoro e degli obblighi connessi e posta ancora sotto la vigilanza dell'allora Ministero delle Comunicazioni, oggi Ministero dello Sviluppo Econo-

mico. Le sue risorse sono state in seguito costituite da finanziamenti del Ministero regolati da specifiche convenzioni, da contributi alla ricerca definiti dalle leggi 3/2003 e 80/2005, da specifiche convenzioni con il Ministero (quali quelle del 7 marzo 2001 e del 27 dicembre 2007 sul tema della TV digitale), nonché dai contributi di aziende del settore riconosciuti statutariamente come Fondatori.

Dal settembre 2008 la Fondazione Bordini ha un nuovo Statuto che ne sottolinea la finalità pubblicitaria. Il Consiglio di Amministrazione è composto da sette membri nominati dal Ministro dello Sviluppo Economico di cui uno designato dal Presidente del Consiglio dei Ministri e due con il parere del Presidente dell'Autorità delle Garanzie nelle Comunicazioni. Per Statuto organi della Fondazione sono: il Presidente, il Consiglio di Amministrazione, il Comitato dei Soci Fondatori, che ha un ruolo di indirizzo strategico, ed il Comitato Scientifico, composto da studiosi espressione del mondo accademico e della ricerca.

Infine, nella legge n. 69 del 18 giugno 2009, si riconosce come compito della Fondazione l'elaborazione di strategie di sviluppo del settore delle comunicazioni e quello di coadiuvare operativamente il Ministero dello Sviluppo Economico ed altre amministrazioni pubbliche nella soluzione organica ed interdisciplinare delle problematiche di carattere tecnico, economico, finanziario, gestionale, normativo e regolatorio connesse alle rispettive attività. Su richiesta dell'Autorità per le garanzie nelle comunicazioni ovvero di altre Autorità amministrative indipendenti, la Fondazione svolge altresì attività di ricerca ed approfondimento su argomenti di carattere tecnico, economico e regolatorio.

La Fondazione è oggi – 2010 –, con la Presidenza dell'On. Enrico Manca, un'Istituzione di alta cultura e ricerca che elabora e propone, in piena autonomia scientifica, strategie di sviluppo nel settore delle comunicazioni, da poter sostenere nelle sedi nazionali e internazionali competenti e che, quindi, ha lo scopo di realizzare ricerche, studi scientifici e applicativi nelle materie delle comunicazioni, dell'informatica, dell'elettronica e dei servizi multimediali, al fine di promuovere il progresso scientifico e l'innovazione tecnologica. La Fondazione sviluppa la propria attività secondo due filoni: attività di ricerca non finalizzate nel settore delle tecnologie dell'informazione e attività finalizzate per specifiche commesse.

Per effetto della modifica allo statuto nel 2008 e del successivo passaggio legislativo nel 2009, la Fondazione si configura giuridicamente come un organismo di diritto pubblico. Ciò consente di intrattenere rapporti con tutta l'amministrazione pubblica, quali la stipula di convenzioni, l'affidamento di incarichi, la collaborazione istituzionale e così via, come parte integrante della compagine istituzionale e non come un ente privato terzo. La Fondazione perciò svolge attività di consulenza ad alto livello nei confronti del Parlamento, del Governo, delle Autorità Amministrative indipendenti, delle Istituzioni pubbliche e delle Amministrazioni regionali e locali. Si pone perciò come snodo strategico per la definizione e l'elaborazione di politiche industriali di vasto respiro nazionale, operando una sintesi fra le necessità pubbliche e le richieste di politiche industriali adeguate, avanzate dai principali attori operanti sul mercato. Fornisce perciò strumenti culturali e scientifici destinati al benessere e alla tutela dei cittadini, degli utenti nonché allo sviluppo del mercato. In questa direzione vanno ascritte le attuali iniziative riguardanti il coordinamento del passaggio dalla TV analogica

a quella digitale, le attività concernenti la gestione dello spettro radioelettrico nonché i progetti e le proposte per lo sviluppo della banda larga in Italia.

Per ottenere tali risultati, promuove opportune iniziative di raccordo e di coordinamento con le attività scientifiche delle università e degli enti di ricerca e concorre ad iniziative di formazione nei settori di competenza; inoltre, tutela e promuove la lingua e il patrimonio culturale e tecnologico italiano. D'altra parte, le risorse attuali della Fondazione verso attività di ricerca non finalizzate ricevono un finanziamento pari a circa un 10% dell'intero ammontare di cui essa dispone; riequilibrare in modo più equo la suddivisione delle risorse e dei finanziamenti fra attività finalizzate e non finalizzate costituisce quindi un'esigenza prioritaria per la Fondazione e per l'intero sistema paese.

## Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica (a cura di ALBERTO MORELLO)

### *La storia del Centro Ricerche RAI: gli inizi*

Fin dalle loro origini le società di radiodiffusione hanno avuto due anime, quella della ideazione e realizzazione dei programmi e quella della gestione dei mezzi tecnici (per la produzione dei programmi e per la loro messa in onda). Le problematiche tecnologiche esistenti negli anni pionieristici della radiofonia e della televisione erano altrettanto sfidanti di quelle odierne; l'industria di settore era alle prime armi, la stabilità e l'affidabilità degli apparati precaria, le tecniche di misura e di manutenzione in fase di sviluppo. Le conoscenze dei fenomeni radioelettrici che stavano alla base del sistema radiotelevisivo erano molto diverse da quelle del mondo delle comunicazioni telefoniche e richiedevano il supporto di personale tecnico altamente specializzato nel campo specifico della radiodiffusione. Pertanto i *broadcaster* dei maggiori Paesi europei, fra cui l'Inghilterra, la Francia, la Germania e l'Italia si sono dotati di propri centri di ricerca tecnica, come strumenti efficaci per affrontare una innovazione tecnologica sempre più incalzante.

Ricostruire la storia del Centro Ricerche RAI prima degli anni '60 non è semplice, e bisogna spesso basarsi sui ricordi dei primi ricercatori. A partire dal 1930 l'EIAR (derivata dall'URI, Unione Radio Italiana attiva dal 1924) può già contare sulla presenza a Torino, in Via Arsenale 19, su un Laboratorio Ricerche forte di una cinquantina di persone scelte tra i migliori tecnici dell'azienda.

Negli anni '50 il numero delle persone impiegate al Centro cresce fino a circa 80 unità. La sua denominazione è "Laboratorio e Officina" ed è articolato in un'area di ricerca allora denominata "Laboratorio Esperienze" e in un'area più orientata a fungere da supporto ad altri settori aziendali denominata "Laboratorio Collaudi". Il "Laboratorio Esperienze" opera su macro aree tematiche, fra cui Audio e Filodiffusione, Trasmettitori FM, Video, Mixer e Telecamere, Settore Antenne. Il "Laboratorio Collaudi" è suddiviso in Officina, Laboratorio Fotografico, Collaudi.

Nel 1960 viene inaugurata una nuova sfavillante sede in Corso Giambone 68 con il nome di "Laboratori Ricerche" in grado di ospitare più di 150 ricercatori. Attraverso una complessa evoluzione la suddetta struttura diviene infine

un Centro di Ricerca che ha accompagnato fino ai giorni nostri i cambiamenti tecnologici della televisione italiana.

### *La missione del Centro Ricerche RAI*

Il Centro Ricerche della RAI è il principale complesso di laboratori, oggi operante in Italia nel campo della radiodiffusione, dotato delle professionalità specifiche e delle attrezzature necessarie per presidiare l'aggiornamento, lo sviluppo ed il mantenimento del *know-how* tecnologico: il tutto finalizzato a supportare gli organi decisionali dell'azienda nelle scelte di indirizzo tecnologico e nelle relative strategie, fornendo elementi di orientamento e verifica sulle migliori soluzioni tecniche in relazione alle prospettive di mercato (business, competizione, servizi). Le risorse del Centro sono impiegate, in funzione delle esigenze, a supporto delle Ingegnerie dei vari settori aziendali su progetti ad elevato contenuto tecnologico oppure sui progetti di ricerca, finanziati da enti nazionali e internazionali e dall'industria. La sua organizzazione per aree di specializzazione consente di coprire pressoché tutto lo spettro di problematiche tecniche connesse con i vari segmenti del sistema radiotelevisivo.

Il perseguimento degli obiettivi suddetti passa attraverso l'individuazione di una serie di compiti tra cui:

- la ricerca sulle nuove tecnologie e la progettazione, a livello di sistema, dei modelli tecnici innovativi applicati alla produzione, trasmissione e diffusione radiotelevisiva e multimediale;
- la presenza attiva nelle sedi internazionali ove sono definiti gli standard tecnici, in base ai quali vengono effettuate le grandi scelte di politica industriale;
- il collegamento preferenziale con università, enti di ricerca e industria professionale e "consumer" esercitando una funzione traente e pilota per i nuovi prodotti e servizi: tutto ciò, in particolare, attraverso la partecipazione a progetti internazionali finanziati;
- la collaborazione nella formazione tecnica della risorse umane aziendali.

I quattro indirizzi di attività suddetti sono strettamente correlati ed interdipendenti: la sperimentazione sulle nuove tecnologie e sui nuovi sistemi fornisce gli strumenti per una pianificazione strategica degli investimenti tecnici; dall'attività di ricerca e sperimentazione nei progetti finanziati derivano le conoscenze tecnologiche che consentono di partecipare ai lavori degli organismi internazionali. Per contro, il confronto con le realtà di altri paesi tecnologicamente avanzati favorisce l'acquisizione di ulteriore *know-how*, che viene trasferito in azienda attraverso corsi di formazione e seminari.

### *La storia della radiodiffusione attraverso il contributo del Centro Ricerche della RAI*

Nell'adempimento dei suoi compiti istituzionali il Centro Ricerche si è trovato ad essere protagonista di quasi tutte le varie tappe attraverso le quali è passata l'evoluzione del sistema radiotelevisivo.

L'attività di sviluppo di apparati costituisce nei primi anni del sistema radiotelevisivo una componente rilevante delle iniziative del Centro, in un contesto storico in cui l'espansione degli impianti tecnici e le contestuali carenze dell'industria impongono il ricorso a risorse interne per fronteggiare le esigenze aziendali. Negli anni '30 sotto la spinta della politica autarchica del regime, il Laboratorio sviluppa e costruisce i trasmettitori radiofonici in Onda Media, mentre durante la Seconda Guerra Mondiale produce trasmettitori di alta potenza aventi la funzione di disturbare la ricezione delle trasmissioni di Radio Londra; questi trasmettitori vengono installati in 5-6 località italiane.

I primi anni del dopoguerra sono caratterizzati dalla ricostruzione della rete radiofonica in modulazione di frequenza, tuttavia già nel 1949 vengono messi sperimentalmente in funzione una apparecchiatura di ripresa televisiva ed un impianto trasmittente acquistati dalla General Electric; lo standard di scansione e trasmissione è ovviamente ancora quello statunitense a 525 righe, 30 immagini/secondo. Il segnale video ha una larghezza di banda di 4,5 MHz e viene irradiato nel Canale C da Torino Eremo, appartenente alla Banda II VHF che sarà in seguito assegnata alla radiofonia in modulazione di frequenza. In una serie di Conferenze Internazionali di Pianificazione che si concludono nel 1951 i paesi europei scelgono lo standard unificato a 625 righe e 25 immagini/secondo e la larghezza di banda del segnale viene portata a 5,5 MHz; le installazioni della RAI vengono pertanto modificate per adattare al nuovo standard e continuare la sperimentazione in vista dell'avvio di trasmissioni regolari, lanciate all'inizio del 1954. Nella Conferenza di Stoccolma del 1961 vengono pianificate le bande televisive europee VHF e UHF.

Gli apparati destinati all'esercizio, negli anni '60 vengono in gran parte progettati e sviluppati a livello prototipale all'interno del Centro e successivamente affidati all'industria manifatturiera nazionale per la realizzazione in serie. Per molti anni il Centro ha sviluppato telecamere, monitor, apparati vari della catena di produzione e trasmissione. Proprio all'inizio degli anni '60 il Centro è promotore del passaggio dall'elettronica basata sulle valvole a quella basata sui transistor. Un ricercatore in pensione ricorda una concitata telefonata da Cortina, durante le Olimpiadi Invernali, per i problemi di sensibilità alle basse temperature dei transistor al Germanio (problemi risolti con l'utilizzo di una coperta di lana per 'riscaldare' l'apparato incriminato).

Negli stessi anni il Centro sviluppa uno dei primi ponti radio televisivi mobili in modulazione di frequenza, che diventerà uno dei cavalli di battaglia della sua produzione.

Nel 1956 il Centro 'inventa' la Filodiffusione, che viene sviluppata fino al 1960 e quindi affidata all'industria nazionale per la produzione degli apparati.

Il decennio successivo vede il Centro impegnato nell'attività internazionale volta alla definizione dello standard per la TV a colori. L'Europa presenta due sistemi (PAL e SECAM) in concorrenza tra loro, mirati ad introdurre sostanziali miglioramenti al NTSC già in vigore da anni negli Stati Uniti. Gli esperimenti condotti presso il Centro Ricerche evidenziano una serie di vantaggi tecnici del PAL che, unitamente ad altre considerazioni di politica industriale, fanno optare per questo sistema da parte dell'Amministrazione Italiana. Nella riunione-

ne del CCIR di Oslo del 1966 l'Italia si pronuncia formalmente favorevole ad adottare il PAL. Inizia per il Centro un impegnativo periodo di attività volte a supportare l'azienda nell'ingente sforzo di trasformazione tecnologica di tutti gli impianti per l'introduzione del servizio di TV a colori.

Con l'introduzione del colore l'esercizio degli impianti di produzione e di trasmissione si fa alquanto più critico e nasce l'esigenza di sofisticate procedure di manutenzione. I principali radiodiffusori lavorano da qualche tempo alla elaborazione di sistemi di misura per la rilevazione automatica delle distorsioni dei segnali nei vari punti critici di un impianto. Con il contributo del Centro viene messo a punto e concordato a livello internazionale un insieme di forme d'onda che, inserite in determinati segmenti del segnale televisivo, permettono la rilevazione automatica dello stato di funzionamento dell'impianto e rendono agevole l'attuazione di procedimenti di manutenzione preventiva. Il sistema di misurazione suddetto è in funzione ancora oggi negli impianti analogici.

Con il progredire delle tecnologie degli apparati professionali nascono nuove possibilità operative e vengono ideati modelli produttivi sempre più sofisticati. Le riprese televisive al seguito di gare ciclistiche esigono, ad esempio, la realizzazione di un vero e proprio studio mobile installato su motocicletta; i requisiti da soddisfare sono: leggerezza e maneggevolezza per un operatore di ripresa, impermeabilità agli agenti atmosferici, senza compromettere le funzioni di smaltimento delle elevate temperature che si creano durante i mesi estivi all'interno dell'impianto. Inoltre il segnale generato deve essere inviato ad un elicottero che funge da ripetitore verso un punto fisso di raccolta e inserimento nella rete dei collegamenti. L'architettura di un sistema di riprese esterne, e, più in generale, di un complesso di impianti operanti in località geograficamente lontane, pone inoltre il serio problema della sincronizzazione delle sorgenti remote; presso il Centro è stato realizzato agli inizi degli anni '70 uno dei primi prototipi di "memoria di quadro" digitale, apparato in seguito sviluppato dall'industria ed ampiamente utilizzato in vari punti della catena di produzione.

Gli anni '70 sono caratterizzati dallo studio della TV satellitare con ricezione individuale da parte dell'utente, le cui tecnologie erano state collaudate nel decennio precedente, in condizioni alquanto pionieristiche, per i collegamenti televisivi professionali. L'era delle comunicazioni TV via satellite ha infatti inizio il 18 novembre 1958 con il lancio del Discovery in orbita fortemente ellittica; questo satellite allorché si trovava in vista di una stazione trasmittente a terra, registrava, su nastro magnetico, le comunicazioni per poi ritrasmetterle alle stazioni riceventi al momento di sorvolare la loro zona di visibilità. Dopo circa due anni, nell'agosto 1960, si ottengono le prime immagini televisive transoceaniche in diretta tramite il satellite passivo Echo I; si tratta di un semplice riflettore di forma sferica, con diametro di circa 30 metri, gonfiato in orbita e costituito da una pellicola di mylar spessa 0,013 mm., rivestita di alluminio depositato per evaporazione. I segnali elettromagnetici, emessi dall'antenna trasmittente da terra, colpivano il satellite e ne venivano riflesse verso l'antenna ricevente, all'altro capo dell'oceano, permettendo così di superare la curvatura del globo terrestre. Echo I ha ovviamente vita breve: a causa della perdita di gas e dell'impatto con micrometeoriti, perde rapidamente la sua forma. Il primo satellite a portare a bordo

un ripetitore attivo è, invece, il Telstar I, lanciato il 10 luglio 1962, in un'orbita ellittica di media quota che permette lo scambio di programmi in diretta tra il nord America e l'Europa, anche se soltanto per la durata di 20 minuti per ogni orbita e in determinati orari della giornata. A causa della bassa quota del satellite, si rende necessario modificare il funzionamento delle antenne riceventi in modo da seguire il satellite nelle successive posizioni lungo la sua orbita da ovest ad est. Con l'aumento della potenza dei vettori, si costruiscono e si lanciano i primi satelliti geostazionari, Sincom I, II e III che permettono ai telespettatori di tutto il mondo di seguire in diretta i giochi delle Olimpiadi di Tokio del 1964; le antenne paraboliche misurano 28 metri di diametro e l'illuminatore è annegato in elio liquido ad una temperatura prossima allo zero assoluto. In tali condizioni la ricezione avviene nei centri nazionali di ricezione via satellite, e i segnali TV vengono inviati all'utente tramite la rete terrestre convenzionale. Con la Conferenza di Pianificazione del 1977 (WARC '77) si stabiliscono definitivamente i parametri di sistema della diffusione diretta all'utente: antenne paraboliche con diametro inferiore al metro, banda di frequenza del segnale in ricezione a cavallo degli 11Ghz. Il Centro contribuisce alla Conferenza fornendo i risultati delle sperimentazioni effettuate ed inizia un lungo periodo di collaborazione con l'industria nazionale per lo sviluppo degli impianti riceventi domestici.

La televisione satellitare costituisce un primo passo in direzione dell'apertura del sistema radiotelevisivo ad una classe di servizi di natura non convenzionale. Un secondo evento è costituito dalla introduzione del Televideo; esso consiste, di fatto, nella inserzione sul segnale video analogico di un flusso di dati in formato digitale, recanti una quantità di informazioni testuali generalmente indipendenti dal programma principale: non siamo ancora alla TV interattiva, ma un primo passo in questa direzione è compiuto, anticipando l'esperienza della "navigazione" in Internet. Anche in questo caso, come nella scelta del PAL, la sperimentazione condotta dal Centro contribuisce alla scelta dello standard "migliore" da parte dell'Amministrazione Italiana, come l'esperienza successiva ha ampiamente dimostrato. Meritano una citazione particolare altri servizi basati sul principio della trasmissione dati digitali su supporto analogico, ideati e sperimentati in quegli anni presso il Centro, che vedono la loro attuazione qualche anno dopo: il servizio RDS (Radiodata) ed i servizi Televideo indirizzati ai non vedenti. Nel campo della radiofonia, lo stesso periodo è testimone della ideazione e sviluppo dell'Isoradio, che ancora oggi è operativo su alcune autostrade italiane, e della stereofonia associata alla TV.

Gli anni '80 vedono affacciarsi sulla scena la codifica digitale del segnale televisivo. Siamo ancora lontani dalla trasmissione di programmi digitali all'utente, tuttavia sta diventando urgente la conversione degli impianti professionali. Per gli impianti di generazione dei programmi, operare in digitale è un fattore di ottimizzazione dei costi di produzione (che si stanno facendo via via più pesanti) oltre che una questione di miglioramento qualitativo dei segnali. L'esperienza acquisita negli anni precedenti sulla codifica digitale dei segnali audio consente fin dal 1970 agli ingegneri del Centro di operare negli organismi internazionali in cui si studiano le problematiche di codifica del segnale video. Agli inizi degli anni '80 l'UER (Union Internazionale de Radiodiffusion in cui è membro

attivo la RAI) in collaborazione con la statunitense SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) propone lo standard mondiale conosciuto come Raccomandazione 601 (codifica numerica per gli studi televisivi). Si tratta di una codifica ad altissima velocità (centinaia di milioni di bit al secondo), che permette il trasferimento dei segnali tra apparati all'interno degli studi televisivi, ma non la loro trasmissione a distanza sulle reti geografiche di quell'epoca. Per convogliare i segnali video digitali sulle reti di trasmissione (ponti radio e satellite) la codifica digitale dovrà essere combinata con un concetto nuovo, la compressione, che muoverà i primi passi nel corso degli anni '80.

Negli stessi anni '80 si fa strada il concetto di TV a qualità migliorata. Il salto qualitativo introdotto dallo standard digitale per la produzione fa sorgere l'ambizione di sfruttare questa maggiore qualità per inviare anche all'utente un prodotto tecnicamente innovativo. L'ambizione dei radiodiffusori si sposa con le istanze dell'industria consumer che vede avvicinarsi la data di scadenza dei brevetti su PAL e SECAM, e pertanto si apre un periodo di grande fermento nei laboratori europei alla ricerca di soluzioni tecnicamente praticabili. La soluzione ideale, un ibrido di tecniche analogiche e digitali, sembra essere individuata quando l'UER propone il formato MAC (Multiplexed Analogue Components); il concetto che sta alla base del suddetto formato è tratto da una applicazione realizzata presso il Centro Ricerche RAI, finalizzata alla trasmissione contemporanea di due segnali video su uno stesso ponte radio per far fronte ai momenti di sovraffollamento della rete dei collegamenti. Il sistema MAC, mai entrato in servizio in Italia, introduce un insieme di concetti estremamente innovativi e che avranno successo nella TV digitale: invia all'utente un "multiplex" flessibile di servizi video, audio e dati, il tutto sotto il controllo di un canale di "informazione sui servizi" che aiuta l'utente nella selezione.

L'industria giapponese contrattacca scatenando l'offensiva sul fronte della TV ad alta definizione. Sulla TV ad alta definizione e sulle molteplici attività svolte dal Centro nella seconda metà degli anni '80 occorrerebbe scrivere un intero volume. A partire dalle sperimentazioni del sistema giapponese MUSE che hanno consentito di acquisire tutte le conoscenze necessarie per impadronirsi della tecnologia alla partecipazione al progetto europeo Eureka '95 per approdare nel progetto finanziato Eureka 256 il Centro si trova sempre maggiormente coinvolto nei grandi eventi che hanno segnato una svolta nella concezione della nuova televisione per il terzo millennio. Il progetto Eureka 256, nato dalla collaborazione tra il Centro Ricerche RAI e la spagnola RTVE, ha come partner industriale la Telettra che forte delle sue conoscenze in materia di codifica digitale, afferma la fattibilità di un sistema di trasmissione della HDTV totalmente digitale, e pertanto innovativo rispetto ai sistemi, europei e giapponese, in ballottaggio.

Presso il Centro Ricerche, diretto dall'ing. Rolando Salvadorini fino al 1989, viene creato un nuovo laboratorio dedicato alla codifica video, sotto la guida dell'ing. Gianfranco Barbieri dove l'ing. Marzio Barbero, il dott. Mario Stroppiana, l'ing. Roberto Delpero, l'ing. Mario Muratori e l'ing. Laurent Boch provvedono a ottimizzare gli algoritmi di codifica tramite simulazioni.

In parallelo vengono studiate le tecnologie disponibili per la trasmissione digitale via satellite nel Laboratorio guidato dal dott. Mario Cominetti, dove

l'ing. Alberto Morello e in seguito l'ing. Michele Visintin ottimizzano le tecniche di modulazione e di codifica per la correzione degli errori, e si progetta la grande stazione mobile di up-link verso il satellite Olympus.

Sfidando lo scetticismo espresso dai principali attori dello scenario tecnologico mondiale, il progetto italo-spagnolo prende quota e si conclude con un grande successo quando, durante i campionati mondiali di calcio del 1990, per un mese intero si compiono esperimenti di trasmissione dai vari campi di calcio e di ricezione in varie città italiane e spagnole. Il Direttore del Centro Ricerche era in quell'anno l'ing. Franco Angeli. I risultati dell'iniziativa fanno prendere coscienza all'industria che è giunto il momento di voltare pagina e di passare alla TV digitale.

Per tutti gli anni '90 il Direttore del Centro è l'ing. Gianfranco Barbieri. Agli inizi degli anni '90 nasce il DAB, sistema di radiofonia digitale basato su una modulazione altamente innovativa, il COFDM (Coded Frequency Division Multiplex), in grado di resistere alle distorsioni dei canali diffusivi quali le riflessioni e le interferenze; dalla collaborazione tra il Centro Ricerche e le strutture aziendali che gestiscono la rete diffusiva nasce la prima rete sperimentale DAB in Valle d'Aosta.

La storia che segue si intreccia con le vicende internazionali che hanno scandito la rivoluzione tecnologica della televisione digitale. Come noto negli anni '90 le tecniche televisive numeriche si sono evolute a partire dalla standardizzazione del sistema MPEG-2, basato su algoritmi sostanzialmente simili a quelli utilizzati dal progetto Eu-256 a Italia '90; la nascita del consorzio DVB (Digital Video Broadcasting) operante dapprima sul fronte europeo ed, in seguito, su base mondiale offre ad industria, gestori di servizi, università e centri di ricerca un efficiente forum su cui concentrare gli sforzi per lo sviluppo di un sistema completo ed articolato di standard tecnici che coprano l'intero spettro della radiodiffusione: terrestre, satellite, cavo, multimedia ed interattività. Il Centro Ricerche è presente nel consorzio fin dalla sua costituzione e figura tra i primi firmatari del Memorandum of Understanding. Il dott. Cominetti e l'ing. Morello guidano in DVB lo sviluppo degli standard di prima e seconda generazione per la TV digitale via satellite. Per questo contributo il dott. Cominetti riceve all'IBC (International Broadcasting Conference) del 1994 di Amsterdam il John Tucker Award (Fig. 6).

Assieme a Raiway, il Centro ha svolto nel corso degli anni una estensiva sperimentazione in area di servizio per l'avvio dei servizi di TV digitale terrestre: dall'accensione del primo trasmettitore DTT da Torino Eremo nel 1998, alla pianificazione delle reti di diffusione, alla distribuzione negli impianti centralizzati, alla realizzazione dei programmi interattivi in tecnologia MHP (2002). L'avvento della TV digitale fa compiere al sistema di radiodiffusione un deciso passo verso la convergenza con gli altri comparti del villaggio globale delle telecomunicazioni. Le opportunità di sviluppare l'offerta di una quantità di nuovi servizi multimediali ed interattivi impone alle aziende di radiodiffusione tutta una serie di scelte strategiche mirate all'innovazione del prodotto ed all'ottimizzazione delle risorse. Per i *broadcasters* "storici", dotati di archivi ricchi di materiale audiovisivo (programmi sonori, televisivi, fotografie, film, testi) prodotto nel corso di mezzo secolo di attività, sorge l'esigenza di sviluppare nuovi sistemi di archivio che sfruttino le enormi potenzialità dell'informatica. Oltre a garantire il restauro conservativo dei vecchi prodotti, i nuovi archivi devono



**Figura 6.** Il dott. Cominetti riceve all'IBC del 1994 di Amsterdam il John Tucker Award.

agevolare un immediato reperimento del materiale archiviato tramite sofisticate ricerche su database informatici; inoltre testi, immagini e suoni devono essere pubblicabili con facilità sui nuovi media (telefoni cellulari, Internet, ADSL, Wi-Fi) e costituire la base per gli approfondimenti multimediali della TV interattiva. Il Centro Ricerche, nell'ultimo decennio, è stato profondamente impegnato, in collaborazione con le Teche e il settore ICT RAI, nella progettazione e sviluppo del sistema di teche informatizzate che la RAI sta installando nei punti chiave della produzione. Le strategie di "search and retrieval" del materiale sono tuttora in via di evoluzione nella ricerca di algoritmi sempre più sofisticati ed efficienti.

### *Gli anni 2000*

Dall'inizio del 2000 diventa Direttore del Centro l'ing. Alberto Morello. Gli anni 2000 si aprono con lo sviluppo del sistema DVB per la TV mobile, il DVB-H, messo in trasmissione da Torino Eremo nel 2004. Per le trasmissioni "gerarchiche" di HDTV e di DVB-H in occasione delle Olimpiadi Invernali di Torino il Centro Ricerche riceve la nomination al premio sull'innovazione tecnologica all'IBC di Amsterdam 2006.

Gli anni successivi sono caratterizzati dallo sviluppo dei sistemi DVB di seconda generazione e dall'affermazione del sistema di codifica MPEG-4 AVC (H264) per l'alta definizione. Apre l'elenco dei nuovi standard quello via satellite, DVB-S2, sotto la guida di Morello, che definisce l'architettura e il sistema di codifica per tutti gli altri sistemi della "famiglia": il DVB-T2, il C2. Per ultimo arriverà il sistema NGH (Next Generation Hand-Held) che succederà al DVB-H, ancora nello stadio di studio.

Nel 2007 viene firmato un accordo di collaborazione fra i laboratori di BBC, IRT e RAI e quelli dell'NHK, per lo studio di sistemi televisivi oltre l'alta definizione: la SHV (16 volte più definita dell'HDTV), i frame-rate elevati per una migliore resa del movimento, e la televisione tri-dimensionale. Il gruppo riceve il

Technology Innovation Award all'IBC 2008 per le trasmissioni in diretta da Torino della SHV via satellite a 140 Mb/s e quelle in Fibra Ottica da Londra a 640 Mbit/s.

Sempre a fine 2008 iniziano le prime trasmissioni DVB-T2 da Torino Eremo, con 4 programmi HDTV in multiplex statistico a circa 36-40 Mbit/s su una sola frequenza terrestre.

Nel 2009 è la volta delle trasmissioni di TV mobile ibrida via terrestre e satellite (DVB-SH) in collaborazione con Eutelsat. In occasione dei festeggiamenti dei suoi 80 anni, nel settembre del 2009 viene prodotto un cortometraggio su Torino ad altissima definizione 4k, con la regia di Ariella Beddini, e trasmesso sul canale digitale terrestre con il sistema DVB-T2 a 45 Mbit/s. Un altro cortometraggio sullo stesso tema presenta la qualità della televisione tridimensionale stereoscopica ad alta definizione.

Ora la ricerca guarda sempre maggiormente alla convergenza fra *broadcast* e *broadband*, con la possibilità di complementare l'offerta delle reti digitali terrestri e satellitari con contenuti "on demand" provenienti attraverso l'Internet aperta. Inoltre il Web 2.0 e le tecniche di analisi "semantica" dei contenuti aprono nuovi orizzonti alla ricerca, sia per la documentazione degli archivi radiotelevisivi, sia per la creazione di "guide elettroniche ai programmi" simili a motori di ricerca intelligenti, che aiutino sempre meglio l'utente nella scelta di contenuti nel mare dell'offerta "on demand".

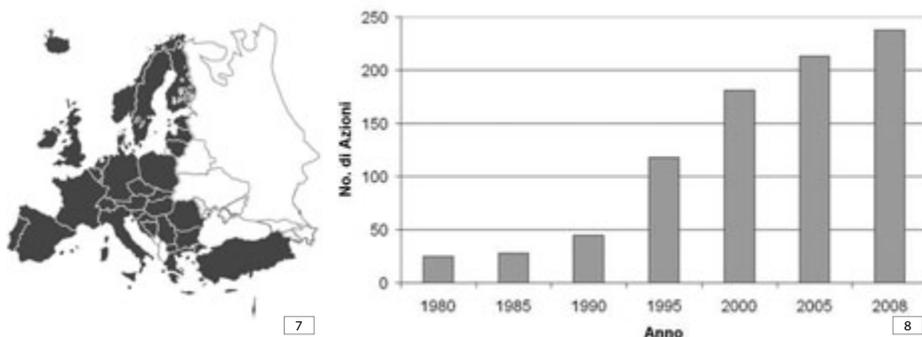
L'evoluzione tecnologica diviene ogni giorno più sfidante ed impegnativa e le risorse necessarie per farvi fronte crescono con il crescere della complessità dei processi e del livello di specializzazione richiesto. Periodicamente i radio-diffusori europei riflettono sul destino dei propri centri di ricerca, chiedendosi se sia possibile lasciare ai laboratori dell'industria l'onere dell'innovazione; la decisione è stata spesso per il mantenimento delle strutture (BBC, IRT, RAI), o per la costituzione di unità tecnologiche all'avanguardia da parte degli operatori emergenti (ad esempio quelli della TV a pagamento). Infatti la capacità di competere di una grande azienda nel settore dell'informazione e dell'intrattenimento è fortemente legata alla sua prontezza nell'adattarsi ai nuovi scenari tecnologici e alla sua capacità di erogare servizi innovativi e a valore aggiunto. In questo scenario i centri di ricerca snelli, ma ad alto potenziale innovativo, possono avere il ruolo fondamentale di influenzare i nuovi standard tecnici, di gestire le sperimentazioni, di indirizzare le scelte strategiche e di provvedere a un rapido trasferimento delle competenze alle strutture operative, a tutto vantaggio della prontezza ed efficacia nell'avvio dei nuovi servizi.

## **COST (European COoperation in the field of Scientific and Technical research)**

(a cura di FRANCESCO FEDI)

### *Origini ed evoluzione*

Durante la metà degli anni '60 l'Europa comincia ad avvertire il pericolo costituito dalla crescente potenza industriale degli Stati Uniti d'America che rischia di



**Figura 7.** Mappa dei 36 stati membri del programma COST.

**Figura 8.** Evoluzione del numero totale di Azioni COST nel tempo.

relegare il vecchio continente nel novero dei paesi arretrati. Jean-Jacques Servan-Schreiber, il leggendario Direttore del “L’Express” francese, lancia l’allarme con il suo famoso libro *Le défi américain* e scrive del “pericolo del naufragio dell’Europa come focolaio di civiltà” e della “guerra da combattere a colpi di fantasia creativa e di tessuto organizzativo”. L’Europa si rende conto del ruolo fondamentale che la ricerca nel campo della scienza e della tecnologia può giocare nello sviluppo economico del continente e quindi nella possibilità di reazione alla “sfida” americana e della assoluta necessità di una collaborazione europea in questo settore.

Il Consiglio dei Ministri dell’allora Europa dei “sei” (*Belgio, Francia, Repubblica Federale di Germania, Italia, Lussemburgo, Paesi Bassi*) decide di dare l’avvio ai lavori preparatori per fissare le modalità di tale cooperazione nei settori: informatica, telecomunicazioni, trasporti, oceanografia, meteorologia, metallurgia e protezione dell’ambiente. Si propone di associare ai lavori anche 13 paesi non facenti allora parte della Comunità: *Austria, Danimarca, Finlandia, Grecia, Irlanda, Jugoslavia, Norvegia, Portogallo, Regno Unito, Spagna, Svezia, Svizzera e Turchia*. Nel 1970 vengono formati 7 Comitati Tecnici – uno per ogni settore di ricerca – con esperti provenienti dai 19 paesi per esaminare la fattibilità dei vari progetti. Viene anche formato un Comitato di Alti Funzionari (Senior Officials), composto dai rappresentanti dei Ministri della Ricerca dei 19 paesi, con il compito di coordinare le attività dei sette Comitati Tecnici.

Il 22 e 23 novembre 1971, durante una conferenza cui partecipano i Ministri della Ricerca dei 19 paesi, viene firmata una risoluzione che esprime la volontà dei rispettivi governi “di cooperare nel campo della ricerca scientifica e tecnologica e di ricorrere, a questo scopo, a delle forme di collaborazione le più flessibili possibile ed in particolare ad un coordinamento dei lavori dei propri organismi di ricerca”. Nella stessa occasione vengono varati i primi sette progetti di ricerca COST denominati “Azioni”.

La data del novembre 1971 viene generalmente considerata come la data di nascita delle iniziative COST. Dal 1971 ad oggi il COST ha varato molte centinaia di Azioni. Dagli originali 19 paesi oggi 36 paesi fanno parte del COST (Fig. 7). Dalle originali 7 Azioni oggi più di 200 Azioni sono in corso annualmente (Fig. 8).

Numerose iniziative in campo Europeo sono state varate dopo il 1971. Nel campo delle telecomunicazioni vanno citati: RACE (Research and Development in Advanced Communication Technology in Europe), DRIVE (Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe), ESPRIT (European Strategic Project for Research in Information Technology), ACTS (Advanced Communication Technologies and Services) e, da ultimo, la serie dei Programmi Quadro (Framework Programmes) che hanno avuto inizio nel 1983. Il Settimo Programma Quadro, con durata di sette anni, è attualmente in corso e sarà ultimato nel 2013. La partecipazione Italiana in queste attività è ampiamente descritta nei paragrafi riguardanti l'Istituto Superiore Poste e Telecomunicazioni, la Fondazione Bordoni, il Centro Ricerche RAI e lo CSELT.

### *Il COST oggi*

Il COST è stata la prima ed è la più vasta forma intergovernativa di cooperazione nel campo della ricerca, ed è attualmente utilizzata dalle comunità scientifiche di 36 paesi Europei per collaborare in progetti comuni di ricerca finanziati con fondi nazionali<sup>2</sup>. Lo “strumento” principale del COST sono le “Azioni” costituite da “reti” di ricercatori che si formano intorno ad un progetto comune di ricerca. Il COST, come precursore di ricerche avanzate e interdisciplinari, ha svolto e svolge un ruolo fondamentale nella cosiddetta *European Research Area* (ERA) anticipando e complementando le attività dei vari Programmi Quadro, fungendo da “ponte” verso le comunità scientifiche dei paesi emergenti e creando le basi per la costituzione di “Reti di Eccellenza” in molti settori scientifici di punta: Biomedicina e Scienze Biologiche, Chimica, Ambiente e Fisica Terrestre, Nutrizione e Agricoltura, Foreste, Scienze Sociali, Tecnologie delle Comunicazioni e dell'Informazione, Materiali, Trasporti e Sviluppo Urbano. Ultimamente un particolare impulso è stato dato ai progetti di ricerca interdisciplinari.

Trentacinque sono attualmente gli “Stati Membri” del COST tra i quali: 27 Stati Membri dell'Unione Europea: *Austria, Belgio, Bulgaria, Cipro, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Gran Bretagna, Grecia, Irlanda, Italia, Latvia, Lituania, Lussemburgo, Malta, Olanda, Polonia, Portogallo, Repubblica Ceca, Romania, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia, Ungheria* e 8 Paesi non Membri dell'Unione Europea: *Bosnia-Erzegovina, Croazia, Macedonia, Islanda, Norvegia, Serbia, Svizzera, Turchia*. A questi si aggiunge Israele come “Membro Aggiunto”.

I fondi COST sono erogati dai Programmi Quadro Europei di Ricerca e finanziano essenzialmente le attività di coordinamento. Dal Settimo Programma Quadro il COST riceve in totale 250 M€ per i sette anni del Programma, che durerà fino al 2013. Il supporto economico del COST rappresenta meno

<sup>2</sup> Francesco Fedi, “COST: un modello europeo per la cooperazione scientifica”, *Informatica e Documentazione*, n. 1, 2006.

dell'1% del valore totale delle Azioni. Si ottiene così un “effetto moltiplicatore”: con i fondi erogati per le attività di *networking* il COST coordina un volume di attività di ricerca di circa 100 volte maggiore.

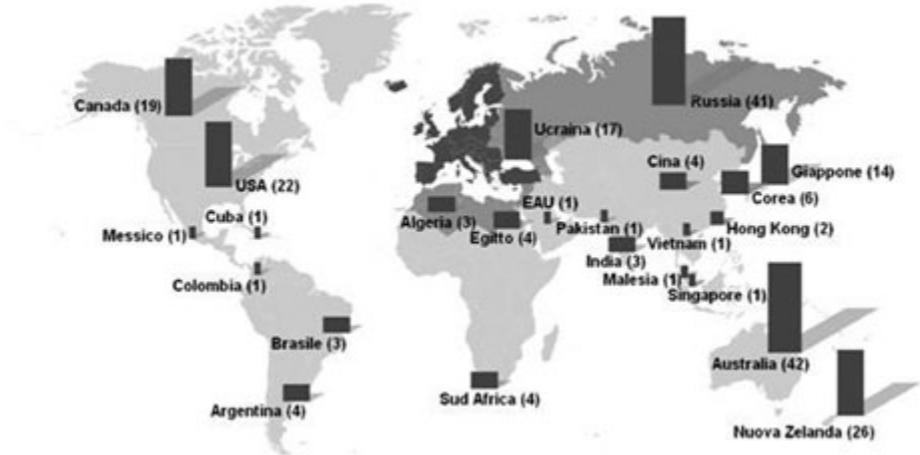
Le caratteristiche principali del COST sono: approccio “bottom up” (l’iniziativa per il lancio di un’Azione COST giunge dagli stessi ricercatori europei), partecipazione “à la carte” (partecipano solo i paesi interessati ad una determinata Azione), “parità di accesso” (la partecipazione è aperta anche alle comunità scientifiche di paesi che non fanno parte dell’Unione europea) e “struttura flessibile” (facile attuazione e gestione agile delle iniziative di ricerca).

La struttura del COST è formata: dal Comitato dei “Senior Officials” (CSO), il massimo organo decisionale, formato da due rappresentanti per ogni paese, uno dei quali in qualità di “COST National Coordinator”, da nove Comitati Scientifici e da circa 200 Comitati di Gestione, uno per ogni Azione COST.

L’importanza e il rilievo scientifico dei risultati del COST sono testimoniati dalle migliaia di articoli scientifici pubblicati sulle più importanti riviste di settore e dai numerosi titoli di Dottorato conseguiti dagli studenti impegnati nelle Azioni COST. I risultati del COST hanno anche accresciuto la competitività europea attraverso il contributo agli enti normativi e di standardizzazione, attraverso lo sviluppo di piccole-medie imprese in Europa alle frontiere della tecnologia, nonché mediante numerosi esempi di trasferimento dei risultati al settore industriale europeo. L’importanza sociale del COST deve anche essere sottolineata in relazione alle delicate questioni derivanti dai sempre più pressanti fabbisogni sociali. Il contributo del COST alla *European Research Area* è di notevole importanza poiché il COST in molte circostanze si pone come precursore di progetti e attività di ricerca che in seguito vengono sviluppati all’interno dei Programmi Quadro.

Il COST contribuisce a ridurre la frammentazione delle ricerche nazionali nell’ambito dell’ERA e si contraddistingue per essere uno strumento flessibile ed efficace per favorire le relazioni e il coordinamento di attività di ricerca finanziate su base nazionale, con il fine di riunire i ricercatori interessati al progetto dell’Azione e permettere loro di elaborare le proprie idee. Ne derivano sinergie e condivisione del lavoro, si evitano duplicazioni e lacune, il che permette un uso più efficiente delle risorse nazionali. Questo è particolarmente importante per ridurre la frammentazione dei sistemi di ricerca nazionali in Europa, dove circa l’85% degli investimenti in ricerca sono effettuati a livello nazionale e solo circa il 15% è gestito a livello europeo.

Il COST contribuisce ad aumentare la cooperazione su base mondiale poiché una delle caratteristiche principali del COST è l’apertura verso il resto del mondo. Istituzioni di Paesi ‘non COST’ possono entrare a far parte di un’Azione in base ad una valutazione caso per caso, una volta che sia stato appurato il vantaggio reciproco, senza la necessità di alcun accordo formale a livello di governo. Grazie alla facile accessibilità e a procedure snelle e veloci, il COST ha sempre costituito un “ponte” per le comunità scientifiche sia dei paesi europei limitrofi sia in ambito internazionale. Attualmente, oltre 250 Istituzioni di paesi



**Figura 9.** Mappa dei paesi 'non COST' partecipanti in Azioni COST: nel 2009 oltre 250 Istituzioni distribuite in 36 paesi.

'non COST' partecipano ad Azioni COST (USA, Canada, Sud America, Cina, Giappone, India, ecc) (Fig. 9). In generale, i ricercatori afferenti ad Istituzioni di paesi non COST non ricevono supporto economico dal COST. Tuttavia il COST ha istituito una particolare strategia per incoraggiare la partecipazione alle Azioni COST di ricercatori provenienti dai paesi cosiddetti "del vicinato": i paesi Balcanici e dell'Europa dell'Est (*Albania, Armenia, Azerbaijan, Bielorussia, Georgia, Moldavia, Russia, Ucraina*) e i paesi Mediterranei del nord-Africa (*Algeria, Egitto, Giordania, Libano, Libia, Marocco, Palestina, Siria e Tunisia*). I ricercatori di questi paesi ricevono supporto finanziario dal COST (Fig. 10). Attualmente oltre 90 Istituzioni di ricerca di questi paesi sono coinvolte in Azioni COST. Inoltre, da circa due anni sono entrati in funzione programmi per facilitare la partecipazione di ricercatori dell'Australia, della Nuova Zelanda e del Sud Africa. Questi programmi attingono a fondi nazionali di questi paesi predisposti dai rispettivi governi, e finanziano le spese di viaggio e le diarie dei ricercatori impegnati nelle Azioni COST.

Il motivo per il quale il COST merita una particolare menzione è costituito dal ruolo di primo piano avuto dall'Italia in ambito COST. Il nostro paese è stato tra i paesi fondatori del COST e la prima Conferenza Ministeriale che ha dato origine al programma nel 1971 fu presieduta dall'allora Ministro della Ricerca Italiano Camillo Ripamonti. Nel corso degli anni l'Italia ha partecipato alla quasi totalità delle Azioni COST nelle varie discipline scientifiche. Nel settore delle telecomunicazioni la presenza della nostra comunità scientifica è stata particolarmente efficace ed è culminata con la Presidenza italiana del Comitato Scientifico COST "Telecomunicazioni e Scienza dell'Informazione" dal 1998 al 2003.

Il ruolo dell'Italia negli ultimi anni si è ancora più rafforzato. Nel 2004, per la prima volta dopo 34 anni e per la prima volta con voto unanime dei rappresentanti dei 35 paesi COST l'Italia, con Francesco Fedi, assume la Presidenza del

Comitato dei “Senior Officials”, il massimo organo decisionale e strategico del COST. Nel maggio del 2007, a seguito delle richieste delle delegazioni dei 36 paesi Europei, Francesco Fedi è confermato Presidente del COST per un ulteriore triennio. Come è stato riconosciuto da tutti i partecipanti alla Conferenza Ministeriale COST, che la Presidenza Spagnola dell’Unione Europea ha convocato nei giorni 14 e 15 Giugno 2010 a Palma de Mallorca, durante il periodo di Presidenza Italiana, dal 2004 al 2010 – che qualcuno



**Figura 10.** Mappa dei paesi del ‘vicinato’ partecipanti in Azioni COST: nel 2009 oltre 90 Istituzioni in 45 Azioni.

ha definito “il rinascimento” del programma – il COST ha compiuto un vero salto di qualità. Dalle 180 Azioni COST nel 2004 alle 280 Azioni nel 2010. Dai 70 Istituti di paesi non Europei partecipanti alle Azioni COST ai 350 Istituti di oggi. Dalle critiche del 2004 al “coro di lodi” per il COST – così come riportato dai media – durante l’esposizione del COST al Parlamento Europeo. Ai recenti bandi per la presentazione di proposte di ricerca il numero delle proposte Italiane presentate ed il numero delle proposte Italiane accettate – superando un rigoroso processo di selezione – è stato il più elevato, superando paesi come la Germania, la Francia ed il Regno Unito. I rappresentanti Italiani nei nove Comitati scientifici COST godono di elevato prestigio: cinque su nove sono donne ed una di esse è stata eletta Presidente del proprio Comitato. Nel mese di Giugno 2010, allo scadere della Presidenza del Comitato “Senior Officials” del COST, l’Italia, con Francesco Fedi, ha assunto la Presidenza dell’Assemblea Generale e del Consiglio di Amministrazione della “COST Office Association”, un’Associazione Internazionale senza scopo di lucro che avrà il compito di fornire al COST una personalità giuridica. Un ulteriore importante riconoscimento che premia i notevoli risultati ottenuti dalla Presidenza Italiana del COST nei precedenti sei anni.

### *Le ricerche COST nelle telecomunicazioni*

Delle varie aree scientifiche COST quella delle telecomunicazioni è senza dubbio la più ragguardevole per la quantità ed il livello delle Azioni ed il numero

dei paesi partecipanti. Delle Azioni COST varate dal 1971 ad oggi più del 40% appartengono, infatti, all'area telecomunicazioni con in media più di 14 paesi partecipanti. In quest'area il ruolo assunto dall'Italia è stato di assoluto primo piano. Propugnatore e convinto fautore della collaborazione COST il nostro paese ha partecipato alla quasi totalità delle Azioni nel campo delle telecomunicazioni, ne ha coordinate un gran numero ed ha assunto, con Francesco Fedi, la Presidenza del Comitato Scientifico "Telecomunicazioni e Scienza dell'Informazione" dal 1998 al 2003<sup>3</sup>.

### *Ringraziamenti*

Si ringraziano vivamente: la dott.ssa Rita Forsi, la dott.ssa Anna Passeggia e la dott.ssa Claudia Passaro dell'ISCTI; l'On.le Enrico Manca e l'ing. Mario Frullone della FUB e il dott. Gian Mario Maggio del COST Office.

<sup>3</sup> Francesco Fedi, "Il COST e le Telecomunicazioni", *Informatica e Documentazione*, n. 1-2, 2011.

## Centro studi e laboratori telecomunicazioni (CSELT)

## Il contesto in cui nasce lo CSELT

Gli anni '60 furono caratterizzati da grandi evoluzioni nell'assetto delle telecomunicazioni in Italia con una significativa crescita del ruolo del Gruppo STET<sup>1 2</sup>.

Fino alla fine del 1957, l'esercizio del servizio telefonico nazionale era fondamentalmente basato sulla struttura definita nel 1925: cinque Concessionarie, a ciascuna delle quali era assegnata una Zona del territorio nazionale (Fig. 1), e l'Azienda di Stato per i Servizi Telefonici (ASST) con il compito di gestire il servizio telefonico interurbano a grande distanza, quello internazionale, e di esercitare una funzione di controllo sulle cinque Concessionarie. Le Concessionarie delle prime tre Zone (STIPEL, TELVE e TIMO) facevano capo alla STET, la finanziaria di settore costituita dall'IRI nel 1933 a seguito della crisi del 1929-30, mentre la TETI era controllata da La Centrale del Gruppo Pirelli-Orlando e la SET era parte del Gruppo svedese LM Ericsson.

Il sistema aveva garantito nel suo complesso il raggiungimento di risultati significativi: in particolare la ricostruzione della rete telefonica nell'immediato dopoguerra e la sua estensione sul territorio nazionale con il completamento del collegamento di tutti i comuni alla rete telefonica nel 1952. Tuttavia aveva reso evidenti gravi difetti dal punto di vista organizzativo e tecnico e consistenti ritardi nello sviluppo in particolare nel Meridione e nelle Isole.

Nel 1955<sup>3</sup>, allo scadere delle Concessioni del 1925, in sede politica si aprì un ampio dibattito che si concluse con l'approvazione del Decreto Legge del

<sup>1</sup> SIP – Direzione Generale, 1981, pp. 92-116.

<sup>2</sup> Vedi anche in questo volume il capitolo "Il ruolo dei gestori nelle comunicazioni nazionali" di Giuseppe Gerarduzzi.

<sup>3</sup> In effetti, il dibattito su un riassetto dell'esercizio della telefonia si aprì nel dopoguerra subito dopo la riconsegna nel 1947 alle preesistenti organizzazioni civili degli impianti di telecomunicazione da parte dell'autorità militare (SIP – Direzione Generale, 1981, p. 93).

«Occorre infatti ricordare che nel 1947, quando già la ricostruzione della rete telefonica italiana era in corso, ma ancora numerosi erano i problemi che dovevano essere risolti, in ordine sia ai finanziamenti necessari, sia anche alle innovazioni tecniche che si riteneva di poter introdurre, dal Gruppo americano ITT — International Telephony and Telegraph — che era già presente in Italia con la fabbrica FACE di Milano, fu



**Figura 1.** Le 5 Concessionarie telefoniche e la ripartizione del territorio in Zone (1925-1964).

6 giugno 1957, n. 374, con il quale si stabilì di “irizzare” il settore del servizio telefonico. La conseguenza fu la cessione dei pacchetti di controllo della TETI e della SET alla STET che veniva così a controllare tutte e cinque le Concessionarie. Le Convenzioni che sancivano il nuovo assetto furono firmate l’11 dicembre 1957.

Tra l’altro, esse definivano la ripartizione delle competenze tra le Concessionarie e l’ASST in termini di *competenze del traffico* e d’*impianti e collegamenti*. In sintesi, era di competenza dell’ASST il traffico tra Settori sedi di Centro di Compartimento (corrispondenti all’incirca ai capoluoghi di Regioni) mentre era attribuito alle Concessionarie tutto il restante traffico svolto nell’ambito di ciascuna Zona di concessione (ad eccezione di

quello tra Comportamenti diversi della 5ª Zona). Il resto del traffico era “misto”. Per quanto riguarda gli impianti e collegamenti, l’ASST aveva fondamentalmente la competenza di installare ed esercire i collegamenti riguardanti la rete internazionale e quella “primaria” collegante i Centri di Compartimento e le Concessionarie avevano l’obbligo di assumere in uso i circuiti dello Stato che risultavano disponibili, prima di procedere alla realizzazione di propri mezzi sulle tratte coperte dalla rete statale.

Le Convenzioni del 1957 prevedevano inoltre l’automazione del servizio in ambito distrettuale entro dieci anni. Contestualmente fu approvato il primo Piano Regolatore delle telecomunicazioni che poneva le basi per l’avvio progressivo della teleselezione su scala nazionale.

Un ulteriore passo nel consolidamento della telefonia in concessione si ebbe a seguito della nazionalizzazione del settore dell’energia elettrica (legge 6 dicembre

presentato un piano per il riordino globale del servizio telefonico e telegrafico. Tale piano prevedeva la riunione in un’unica organizzazione delle cinque Concessionarie e dell’Azienda di Stato, nonché dei servizi telegrafici e radioelettrici, con la costituzione di un unico ente per tutte le telecomunicazioni destinate al servizio pubblico. Il piano conteneva elementi senza dubbio interessanti, ma in esso erano chiaramente implicati molti pericoli per l’autonomia decisionale del Ministero P.T. e più in generale dell’Italia in un settore così delicato e di preminente importanza quale quello delle telecomunicazioni. Tali considerazioni spinsero a non accogliere l’offerta della ITT».

Interessante è anche la testimonianza del prof. Luigi Bonavoglia nella conferenza tenuta a L’Aquila nel maggio 1994, in occasione della nascita di Telecom Italia (cfr. [http://luigi.bonavoglia.eu/cammino\\_telecomunicazioni.phtml](http://luigi.bonavoglia.eu/cammino_telecomunicazioni.phtml)).

1962 n. 1643) con la creazione dell'ENEL e l'indennizzo delle cinque società ex elettriche. Tra queste era compresa la SIP – Società Idroelettrica Piemontese p.a. che, come la STET, faceva parte del Gruppo IRI. Dopo un prolungato dibattito sulla destinazione degli indennizzi alla SIP, il 29 ottobre 1964 fu stipulato l'atto di fusione nella SIP, che assunse la denominazione di SIP – Società Italiana per l'esercizio telefonico p.a., delle sue controllate elettriche e delle cinque Concessionarie della STET, con la costituzione di una Direzione Generale suddivisa tra Roma e Torino. Con tale decisione si conseguì l'obiettivo di investire i fondi rivenienti dagli indennizzi ENEL nell'imponente sviluppo delle telecomunicazioni e si accelerò, anche a livello operativo, il processo di amalgamazione delle cinque preesistenti Concessionarie, avviato dopo l'irizzazione del 1957.

La fusione nella SIP diede luogo alla firma di una nuova Convenzione con lo Stato che unificò semplicemente le cinque Convenzioni del 1957. Ben più rilevante fu la riforma, sempre del 1964, dei criteri di tariffazione del traffico interurbano con il passaggio dalla lunghezza del collegamento fisico utilizzato a quello della distanza in linea d'aria.

La riforma era essenziale per permettere lo sviluppo della rete teleselettiva secondo "il principio delle vie deviate", essenziale per l'economicità del servizio, in base al quale la connessione tra due località poteva avvenire di volta in volta, in funzione delle condizioni di traffico sulla rete, su collegamenti di diversa lunghezza. La distanza in via d'aria permetteva inoltre di ottimizzare la struttura della rete trasmissiva senza che questo avesse impatto sulle tariffe: ad esempio, il collegamento tra due località poteva essere realizzato mettendo in cascata circuiti trasmissivi (spesso gruppi di circuiti) ricavati da ponti radio di adeguata capacità che collegavano ciascuna località al capoluogo anziché con un esiguo, e quindi costoso, sistema trasmissivo diretto.

A seguito della fusione e di uno specifico disposto convenzionale, fu trasferito alla STET il portafoglio delle partecipazioni del Gruppo SIP. Tra queste assume particolare significato il trasferimento del 49% della SIT Siemens (che diventerà Italtel nel 1980) alla STET che veniva così a possedere la quasi totalità del capitale sociale, completando il percorso di creazione di una manifatturiera nazionale, che era iniziato nel 1950 per volontà di Guglielmo Reiss Romoli, Direttore Generale della STET. Nel 1965 entrarono a far parte del Gruppo STET anche l'Italcable e la Telespazio e, nel 1966, la SIRTI, la principale società d'impiantistica nazionale.

Per completare il quadro di quegli anni è importante ricordare anche gli elementi tecnici essenziali che caratterizzavano le telecomunicazioni nei primi anni '60:

- nonostante il grande sviluppo che aveva fatto seguito al nuovo assetto del 1957, nel 1962 la densità telefonica aveva raggiunto solo 8,5 apparecchi telefonici ogni 100 abitanti;
- la trasmissione era analogica: Frequency Division Multiplexing (FDM) su portanti fisici o ponte radio, e in bassa frequenza nelle aree metropolitane e nei collegamenti più periferici; il primo sistema numerico Pulse-Code Modulation (PCM) fu messo in servizio negli Stati Uniti nel 1962 e in Italia nel 1964;

- la commutazione era elettromeccanica e caratterizzata da fondamentali disomogeneità a livello di sistema (e quindi con interoperabilità limitata) in funzione dei diversi fornitori (SIT Siemens, FACE, FATME e GTE) che producevano su licenza estera;
- il traffico a lunga distanza era svolto prevalentemente via operatrice. La Convenzione del maggio 1968 assegnò alla SIP il compito di completare la teleselezione nazionale entro 30 mesi (ottobre 1970).

Si ricordano infine le sostanziali carenze nella ricerca nella commutazione e nelle reti di telecomunicazioni e nella formazione universitaria: la creazione dei Corsi di Laurea in Ingegneria Elettronica avvenne solo con la Riforma del Piano di Studi Nazionale del 1961.

### Nascita e sviluppo dello CSELT

L'idea di costituire un Centro di Studi e Laboratori nel campo delle telecomunicazioni all'interno del Gruppo STET fu manifestata la prima volta dall'ing. Giovanni Oglietti, Direttore Generale della STIPEL, TELVE e TIMO, nell'estate del 1955 in una lettera alla STET<sup>4</sup>. Oglietti era convinto che il complesso telefonico di un grande Paese dovesse essere un tutto unitario e che il ruolo che stava assumendo il Gruppo STET imponesse di stabilire, come negli altri Paesi avanzati, un punto di riferimento tecnico unitario capace di fornire alla STET e alle Concessionarie sia gli elementi di base per la definizione di una strategia a medio-lungo termine del settore, sia raccomandazioni per la soluzione dei problemi correnti di esercizio.

I concetti sottesi nella proposta di Oglietti trovarono largo consenso nella STET e in particolare da parte del suo Direttore Generale Guglielmo Reiss Romoli. La loro realizzazione richiedeva prudenza e preparazione dell'ambiente e passarono alcuni anni prima che la proposta si consolidasse e trovasse riconoscimento formale nella delibera del Comitato Esecutivo della STET, assunta il 24 ottobre 1961, che costituiva a Torino, presso la STIPEL, un Centro Studi e Laboratori, denominato CSEL, quale organo centrale di studio e consulenza della STET e delle Società del Gruppo. La scelta di Torino come sede dello CSEL fu motivata dalla presenza in questa città delle Direzioni Generali di STIPEL e TIMO, dell'Officina STIPEL di via Borgaro, dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, del Laboratorio Ricerche della RAI e di scuole di alto prestigio sia a livello universitario (Politecnico e Università) sia a livello di Istituti Tecnici. Torino diventa in questo modo un polo della ricerca nel campo delle telecomunicazioni.

Insediatosi in locali della STIPEL in via Avigliana n. 3 (Fig. 2), sotto la direzione dell'ing. Guglielmo Ginocchio, lo CSEL è impegnato inizialmente ad allestire i primi laboratori e a reperire e preparare le persone. I primi lavori di

<sup>4</sup> Bonavoglia, 1994, pp. 3-7.



ricerca e sviluppo riguardarono casi concreti d'immediata utilizzazione, che consentissero ai giovani ingegneri e tecnici di aumentare le loro conoscenze teoriche, ma anche di apprezzare e imparare a sormontare le difficoltà pratiche che si trovano sempre fraposte fra un'idea e la sua attuazione.

Una foto del tempo (Fig. 3) illustra il rilievo dato alle misure in campo che continuerà a costituire nel tempo una componente importante, anche se percentualmente meno rilevante,

dell'attività dello CSELT con contenuti progressivamente sempre più sofisticati in termini sia di tecnologie e metodologie sviluppate ad hoc sia d'infrastrutture impiegate quali, ad esempio, la Camera Schermata Anecoica "Alfredo Fausone" per misure di compatibilità elettromagnetica (Fig. 4).

A seguito della costituzione della SIP telefonica e il conseguente rafforzamento finanziario e industriale della STET, il 5 dicembre 1964 fu costituito a Torino lo CSELT – Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni SpA, con capitale sociale interamente posseduto dalla STET, quale organo per le attività di studio, ricerca e sviluppo nel campo delle telecomunicazioni nell'interes-



**Figura 2.** Ingresso alla sede CSEL di Via Avigliana a Torino (1961).

**Figura 3.** Misure in campo su apparecchi telefonici (1963).

**Figura 4.** Camera Schermata Anecoica "Alfredo Fausone" (1994).

se delle concessionarie (SIP e in seguito anche Italcable e Telespazio), della manifatturiera del Gruppo (SIT Siemens) e in seguito anche della società d'impiantistica SIRTI.

L'attività riguarda in primo luogo l'individuazione e lo studio delle tendenze più avanzate nell'ambito della ricerca teorica e applicata, al fine di mettere a disposizione del Gruppo, dopo una appropriata sperimentazione, elementi di giudizio e di scelta utili per lo sviluppo delle telecomunicazioni nazionali, contribuendo in modo sostanziale alla strategia di fondo della STET fondata sul passaggio alla rete numerica integrata. Quest'attività, caratterizzata dall'impiego delle tecnologie più moderne, è integrata e completata dalle ricerche finalizzate, non meno importanti, svolte su richiesta delle Consociate, e dall'assistenza a queste ultime per la soluzione dei problemi correnti di esercizio.

All'atto della sua nascita lo CSELT ereditò il personale dello CSEL (poco meno di 70 persone, ripartite in parti circa uguali fra laureati, diplomati, e altro personale) che provenendo tutto da Società di Esercizio, comprendeva di massima persone con competenza nei problemi di esercizio e manutenzione, ma non nelle tecniche emergenti e la relativa sistemistica. I compiti assegnati allo CSELT comportavano, oltre a un consistente aumento del personale, anche un ripensamento sulle loro competenze professionali e occorreva reperire oltre a ingegneri e diplomati tecnici, anche informatici, fisici, chimici, matematici, ecc. Risultò sostanzialmente precluso il reperimento di personale in possesso di un'adeguata competenza e, salvo rare eccezioni, risultò necessario puntare sull'assunzione e formazione di giovani laureati e diplomati in un mercato del lavoro allora molto competitivo in questo settore e senza poter contare nei primissimi anni sull'attrattiva della notorietà scientifica che lo CSELT si è guadagnata nel tempo. Efficace risultò la creazione di meccanismi di cooperazione con le università e le scuole superiori tecniche, aprendo le porte dei laboratori a studenti per stage, per preparare una tesi o uno studio. Caratteristica che lo CSELT mantenne e affinò nel corso della sua vita.

La formazione di questi giovani, spesso molto valenti, fu agevolata inviando quelli destinati ai settori più innovativi presso università e laboratori stranieri di chiara fama in Inghilterra, in USA, in Giappone, ecc., ottenendo non solo buoni risultati di formazione, ma anche apprezzamenti sulla qualità del personale, anche da laboratori come i Bell Laboratories e la COMSAT.

Fino al 1972, anno in cui la Scuola Superiore Guglielmo Reiss Romoli (SSGR) iniziò la sua attività, non esisteva nel Gruppo STET un'attività centralizzata di formazione, e lo CSELT dové provvedere in proprio a risolvere il problema dell'istruzione tecnica specifica delle telecomunicazioni. Da quando, nel 1977, la SSGR entrò in piena attività, lo CSELT poté usufruire in modo sistematico dei corsi della Scuola per la formazione del suo personale e, a sua volta, contribuì sostanzialmente all'attività didattica della Scuola, fornendole ottimi docenti nelle materie di avanguardia e contribuendo in modo significativo alla redazione dei libri didattici editi dalla Scuola.

In Figura 5 è illustrata l'evoluzione della consistenza del personale CSELT dalla sua nascita fino alla sua trasformazione in TILAB SpA deliberata dall'Assemblea degli azionisti del 26 febbraio 2001 con il conferimento del ramo d'azienda

“Venture Capital and Innovation” di Telecom Italia. Due anni dopo TILAB fu poi fusa per incorporazione nella Capogruppo Telecom Italia e collocata all'interno della Direzione Rete della Divisione Domestic Wireline.

Al personale CSELT vanno aggiunti i collaboratori esterni: stagisti, tesisti, ricercatori a

tempo determinato, personale di ditte esterne sia per sviluppi software sia per l'ampliamento e la manutenzione delle infrastrutture immobiliari e delle risorse informatiche. Il loro totale raggiunse nel tempo la dimensione di oltre 200 unità.

Nella stessa figura è indicato che i costi di gestione dello CSELT (pari ai ricavi, avendo il Centro operato con il criterio del sostanziale recupero dei costi) sono stati costantemente dell'ordine del 0,6 % del fatturato dei servizi di telecomunicazione del Gruppo STET (poi Telecom Italia) e ha raggiunto l'ammontare di 150.000 € nel periodo 1997-2000<sup>5</sup>.

Questa figura aiuta a individuare tre diversi periodi:

- 1964-76 Fase di fondazione e iniziale sviluppo sotto la guida del prof. Luigi Bonavoglia che nel 1967 sostituì Guglielmo Ginocchio (già direttore dello CSEL)

In pochi anni lo CSELT diventò uno dei centri di avanguardia nella ricerca in Italia. In questo periodo<sup>6</sup> si realizzarono i primi interventi immobiliari del Centro e s'impose l'organizzazione per gli aspetti hard (struttura a matrice fondata su competenze e commesse) e soft (meccanismi integrativi con Capo Gruppo e Consociate, sistema premiante, formazione e reclutamento).

- 1976-89 Fase di consolidamento e sviluppo delle attività di ricerca a lungo termine sotto la guida dell'ing. Basilio Catania  
Particolare enfasi fu data alle ricerche ad alto contenuto tecnologico e furono conseguiti risultati di grande rilievo che permisero allo CSELT di inserirsi tra i protagonisti dei programmi di ricerca europei. Peraltro, negli ultimi anni di questa fase emersero crescenti difficoltà nell'interazione tra CSELT e le Consociate.
- 1989-2001 Seconda fase di sviluppo sotto la guida dell'ing. Cesare Mossotto  
L'indirizzo perseguito in questa fase fu di fare evolvere la relazione tra CSELT

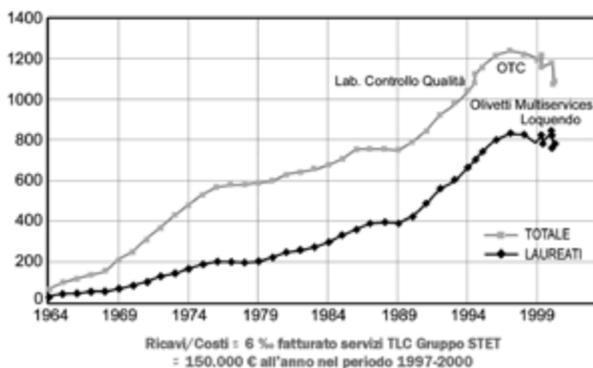


Figura 5. Consistenza del personale CSELT.

<sup>5</sup> Tali valori sono significativamente inferiori a quelli degli analoghi Centri di altri Paesi: in Francia il budget del CNET era pari al 4 % del fatturato dei servizi TLC e tale rimase anche dopo la costituzione di France Telecom.

<sup>6</sup> Telecom Italia Lab, 2005, pp. 163-169.

e i principali “Clienti”, nell’ambito delle Consociate, da una modalità fondamentalmente del tipo servizio a un profilo più elevato in cui fosse presente anche un’interazione tra formulazione strategica del Cliente ed elaborazione di soluzioni strategiche da parte CSELT. Sostanzialmente era un ritorno al passato con una riformulazione aggiornata dello spirito dell’iniziativa voluta da Oglietti e della missione data al momento della costituzione dello CSELT.

Riguardo il titolo di studio, nella prima fase il personale fu composto in parti pressoché uguali di laureati, diplomati e altri. Nelle fasi successive la percentuale del personale laureato crebbe costantemente fino a raggiungere nel 2000 (ultimo esercizio CSELT) oltre il 70% dell’organico complessivo. L’alta percentuale iniziale di personale non laureato derivò primariamente dalla necessità di dotarsi di varie funzioni quali Officina meccanica e Circuiti stampati, Centro di calcolo, Centro di Documentazione tecnica, Biblioteca e Servizi generali che avevano allora un peso molto rilevante data la dimensione del centro. Altri fattori rilevanti erano le tecnologie allora disponibili (in particolare la realizzazione di sistemi elettronici distingueva nettamente la progettazione dalla realizzazione della maquette di laboratorio) e lo stesso mix di attività che, come già indicato, comprendeva quote importanti di attività di misure in campo e in laboratorio.

Per quanto riguarda Officina meccanica e Circuiti stampati (compresi quelli multistrato, ibridi a film spesso e a film sottile) politica costante dello CSELT fu di avvalersi delle strutture interne per le lavorazioni per le quali non era possibile trovare all’esterno la competenza necessaria e favorire nel tempo la crescita professionale dei propri fornitori in modo da ridurre progressivamente e possibilmente eliminare la necessità di presidi interni. Ciò avvenne definitivamente per i Circuiti stampati alla fine degli anni ’80, sviluppando peraltro all’interno le competenze necessarie per realizzare MCM (Multi Chip Module) in cui sullo stesso supporto sono “incollati” più circuiti integrati “nudi”. Un residuo dell’Officina meccanica era ancora presente nel 2000 per eseguire le più sofisticate lavorazioni meccaniche richieste per la realizzazione di specifici dispositivi a microonde in particolare per impiego satellitare.

Durante la vita dello CSELT il Sistema Informativo compì progressivamente una vera e propria metamorfosi: da Centro di Calcolo, funzionante in batch, a Sistema Informativo pervasivo basato su PC, stampanti, server, Storage Area Network con funzioni di Disaster Recovery, cablaggio strutturato, Ethernet switch e Gigabit Ethernet con *backbone* in fibra ottica. Corrispondentemente le applicazioni passarono dal calcolo scientifico e prime procedure amministrative, a una completa automazione di tutte le applicazioni aziendali amministrative/gestionali con coinvolgimento diretto di tutto il personale (sia per l’immissione dei dati di propria competenza, sia per l’accesso a un reporting personalizzato), alla realizzazione di un sistema documentale sulla intranet e al supporto delle piattaforme elaborative standard impiegate nelle attività di Ricerca e Sviluppo. Negli ultimi anni la rete aziendale è diventata anche la sede in cui sperimentare, dal punto di vista applicativo, nuove tecnologie, quali: *backbone* ATM (Asynchronous Transfer Mode), multi-casting e Content Delivery Network, Voice Over IP (messa poi in regolare esercizio nella rete tra i centralini telefonici aziendali).



**Figura 6.** Costruzione della sede CSELT di via Reiss Romoli (1967).

**Figura 7.** Ampliamento della sede CSELT lato via Arrigo Olivetti (1994).

Gran parte di questa trasformazione avvenne sotto la responsabilità operativa di Amelio Patrucco che in precedenza aveva svolto un ruolo di rilievo nella realizzazione del Sistema CAD (Computer Aided Design) per VLSI.

A fine del 2000 l'età media del personale nel suo complesso era di 39,3 anni e di 35,1 con riferimento al solo personale di ricerca in posizione non di struttura. Valori che sono decisamente interessanti nella realtà italiana per un Centro di 36 anni di vita.

Infine, la Figura 3 evidenzia che negli ultimi anni il Centro fu oggetto di diverse operazioni di carattere straordinario:

- nel 1995 lo CSELT acquisì da Telecom Italia il Laboratorio di Controllo Qualità, ultima evoluzione dell'Officina STIPEL di via Borgaro a Torino, in vista di una riqualificazione delle relative risorse nell'ambito della struttura organizzativa CSELT dedicata alla qualità;
- nel 2000 e 2001 si realizzarono due operazioni di spin-off: OTC S.r.l. (Optical Technologies Center) e Loquendo SpA riguardanti due comparti di eccellenza della ricerca CSELT che saranno trattati in seguito, e una di outsourcing con la cessione a Olivetti Multiservices del ramo d'azienda dedicato alla gestione e manutenzione immobiliare e ai servizi generali.

Il progressivo sviluppo del personale e dei laboratori richiese nel tempo la realizzazione d'importanti programmi d'interventi immobiliari. In Figura 6 è riprodotta la foto del primo immobile di via Reiss Romoli, in fase di avanzata costruzione e con una capacità iniziale di 600 persone, che fu inaugurato il 25 aprile 1967 e presso il quale fu trasferita la sede sociale. In Figura 7 è riprodotta la foto dell'ultimo edificio in ampliamento nel comprensorio di via Reiss Romoli inaugurato nel 1994. In seguito fu completamente ristrutturata anche la sede secondaria di via Borgaro.

Un tema di grande rilievo nella vita del Centro fu costantemente la messa a punto e manutenzione dei meccanismi necessari per assicurare una stretta

connessione tra l'attività del Centro e le Società del Gruppo. Ciò si realizzò in primo luogo con la presenza nel Consiglio di Amministrazione di massimi responsabili della Capogruppo e delle Consociate più rilevanti per l'attività del Centro (in particolare SIP e Italtel). Una particolare menzione per il continuo sostegno al Centro va fatta, tra gli altri, al dott. Carlo Cerutti, succeduto a Guglielmo Reiss Romoli alla guida della STET, al prof. Antonio Gigli, che ricoprì nel tempo le diverse posizioni di vertice della SIP, al dott. Francesco Silvano, che ricoprì ruoli apicali in SIP e STET, all'ing. Salvatore Randi (Italtel e STET), al dott. Umberto Silvestri (STET) e al dott. Ernesto Pascale (STET).

Un altro strumento essenziale d'integrazione con le Consociate fu la costituzione del Comitato Tecnico, di cui Luigi Bonavoglia fu l'ispiratore e ne divenne Presidente dopo il decesso di Antonio Gigli. Il Comitato Tecnico era organo consultivo del Consiglio di Amministrazione per la valutazione delle proposte di ricerca, di origine interna CSELT o avanzate dalle Consociate o altre Committenti e per l'esame della programmazione pluriennale e annuale (budget) in merito sia ai contenuti tecnici sia ai costi e ai tempi di esecuzione delle ricerche. La presenza dei massimi responsabili tecnici delle Società del Gruppo assicurava la congruenza dell'attività CSELT con gli interessi generali del Gruppo e con quelli specifici delle Consociate.

Nel 1994 fu costituita Telecom Italia attraverso la fusione nella SIP delle altre Concessionarie: Iritel (costituita alla fine del '92 a seguito della Legge n. 58 del 29 gennaio 1992 che determinò il trasferimento dell'ASST all'IRI), Italcable, SIRM e Telespazio. Coerentemente, entrarono nel Comitato Tecnico i responsabili delle Divisioni Telecom Italia maggiormente coinvolte nell'attività CSELT (Rete, Business, Clienti Privati) e un rappresentante della funzione Politiche di Regolamentazione. Per alcuni anni, i responsabili delle Divisioni presentarono nel Comitato Tecnico i propri Piani strategici al fine di realizzare una piena integrazione del Centro con il Gestore. Contestualmente l'integrazione fu rafforzata a livello operativo istituendo presso le Consociate interessate la figura del responsabile di Commessa anche per le commesse generali d'iniziativa dello CSELT (oltre che per quelle commissionate da una o più Consociate).

La progressiva crescita dimensionale del Centro e l'orientamento al Cliente pose, all'interno di CSELT, il problema di un rafforzamento della funzione di pianificazione e programmazione, sotto la guida prima dell'ing. Luigi Sacchi e poi dell'ing. Renato Dogliotti, al fine di assicurare la coerenza tra progetti di ricerca, percepite esigenze del Gruppo, istanze emergenti dai risultati acquisiti e dalle competenze accumulate, nonché opportunità offerte dai programmi di ricerca europei e nazionali. In questo contesto si affrontò anche il problema, tipico di ogni organizzazione di ricerca di grandi dimensioni, di conciliare la continuità nel tempo dei filoni di ricerca con l'individuazione di obiettivi verificabili e temporalmente definiti per i singoli progetti.

Altro organo consultivo era il Comitato Scientifico, nato per iniziativa del prof. Francesco Carassa, che ne assunse la Presidenza che mantenne fino alla trasformazione di CSELT in TILAB. Il Comitato Scientifico svolse con continuità un essenziale ruolo d'integrazione tra CSELT e il mondo accademico nazionale. Da ricordare anche le Pubblicazioni scientifiche e le Giornate di



**Figura 8.** Pubblicazioni scientifiche e Giornate di studio.

studio<sup>7</sup>, che hanno contribuito alla diffusione della conoscenza progressivamente accumulata in CSELT, alla mutua fertilizzazione tra i diversi gruppi di ricerca CSELT e all'integrazione tra i tecnici del Gruppo e con il mondo accademico. In Figura 8 sono ricordati in particolare:

- i libri sulle Comunicazioni ottiche, fortemente voluti da Basilio Catania, pubblicati in inglese dalla Mc Graw Hill e dalla TAB Professional and Reference Books nel 1980 e 1990<sup>8</sup>;
- le pubblicazioni periodiche (CSELT Technical Report e Rapporti sulla Normativa Tecnica nelle TLC), Collana dei Libri CSELT, Collana delle Giornate delle Consociate, Monografie tecniche, e il Libro commemorativo CSELT 30 anni;
- la *Collana dei Quaderni CSELT*, editi in occasione delle Giornate di studio che si svolgevano nell'Auditorium CSELT, pure illustrato in figura, e che in tempi più recenti furono sostituiti da cassette VHS.

Tra i tanti eventi di rilievo svolti nell'Auditorium si ricorda la *Giornata di studio su IP vs ATM* del 1996 in cui il tema del confronto tra IP (Internet Protocol) e ATM (Asynchronous Transfer Mode) fu dibattuto con la partecipazione dei membri del Comitato Scientifico e dei più qualificati rappresentanti delle

<sup>7</sup> In particolare *Le Giornate delle Consociate* che, con periodicità annuale, rappresentavano un momento di forte coesione all'interno del Gruppo.

<sup>8</sup> Cfr. Bibliografia.

Consociate e che contribuì significativamente a prendere atto nel mondo delle TLC dell'emergere di Internet come prossimo scenario di riferimento.

Fin dai suoi primi anni lo CSELT perseguì una politica d'inserimento e cooperazione nel contesto internazionale e fu uno dei principali attori nell'impostazione e attuazione dei programmi di ricerca cooperativa comunitari. All'inizio degli anni '90 CSELT percepì l'esigenza di integrare questo tipo di collaborazioni con una serie di Accordi di Collaborazione bilaterali con i principali Centri di Ricerca dei Gestori TLC a livello mondiale nella convinzione:

- che lo scenario di progressiva competizione dal punto di vista del business che si stava prospettando dovesse essere accompagnato da una accentuata collaborazione sui temi della ricerca (la cosiddetta "coo-petition", neologismo nato dalla contrazione tra *cooperation* e *competition*);
- che tale scenario avrebbe comportato, presto o tardi, una progressiva aggregazione tra gestori europei e che lo sviluppo della cooperazione a livello della ricerca avrebbe potuto avere un ruolo nell'assecondare (e possibilmente favorire) questo processo.

La collaborazione con CNET (il centro di ricerca del gestore francese) fu di gran lunga quella che diede i maggiori frutti per una piena condivisione, a livello sia strategico sia operativo, delle finalità di tale collaborazione.

Nel seguito la storia dello CSELT è illustrata facendo riferimento alle principali aree di attività svolte negli anni in CSELT e avvalendosi dell'ampia documentazione fotografica messa a disposizione dal dott. Roberto Saracco attualmente Responsabile Future Centre e Comunicazione Scientifica di TI-LAB e in precedenza Responsabile Ricerca sui sistemi di Gestione della Rete nello CSELT.

## Trasmissione numerica

Come già accennato, nei primi anni '60 la trasmissione era ancora completamente analogica. La tecnica FDM, in cui un certo numero di segnali in banda base (4 kHz lordi per un canale telefonico) sono modulati con differenti frequenze portanti e combinati insieme in modo da costituire un segnale composito, era già ampiamente utilizzata per i collegamenti a lunga distanza ma richiedeva costose apparecchiature (modulatori, demodulatori e filtri) per ciascun canale telefonico. Per connessioni all'interno di aree metropolitane, in cui il costo delle apparecchiature terminali (multiplex) era rilevante rispetto a quello delle linee, l'uso della moltiplicazione a divisione di tempo del PCM era allettante in quanto permetteva di condividere lo stesso codificatore e decodificatore per molte giunzioni (24-30 canali).

La decisione di adottare per il PCM una codifica della voce a 64 kbit/s teneva conto di due concomitanti esigenze: 1) ridurre al minimo il costo del co-decodificatore con le tecnologie allora disponibili (inizialmente la quantizzazione del segnale fu realizzata utilizzando semplici reti di diodi dette di

pesatura); 2) poter mettere in cascata sulla stessa connessione da utente a utente fino ad oltre una decina di codifiche/decodifiche senza un'apprezzabile degradazione del segnale per permettere la coesistenza fra trasmissione numerica e commutazione elettromeccanica.

Il primo sistema di trasmissione PCM (T1 a 24 canali) fu introdotto negli USA nel 1961 ad opera del Bell System ed entrò in servizio commerciale nell'autunno del 1962. In Europa, proprio in Italia, la Telettra realizzò il primo sistema PCM (sempre T1 a 24 canali) nello stesso anno. Dopo un'adeguata sperimentazione in campo, cui partecipò attivamente lo CSEL, sistemi PCM a 24 canali cominciarono a essere messi regolarmente in servizio nella rete SIP dal 1964.

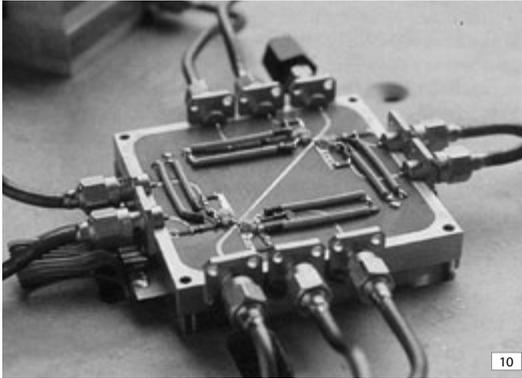
Nel seguito sono elencati alcuni rilevanti contributi dello CSELT.



Figura 9. Sistema a 8 Mbit/s (1972).

- 1968-69 Contributi alla standardizzazione PCM europea (E1 a 30 canali) Furono eseguiti studi teorici, simulazioni, misure soggettive di qualità e misure in campo. I principali contributi riguardarono la definizione della legge di codifica (legge A che forniva un errore di campionamento sostanzialmente inferiore alla legge  $\mu$  dello standard nordamericano), i problemi della rigenerazione in linea e dell'accumulo del jitter. Il contributo CSELT fu importante per permettere alla SIP di acquisire una posizione di leadership nel guidare gli sviluppi delle manifatturiere nazionali e nel diventare attore primario nel processo di standardizzazione a livello internazionale.
- 1972-74 Sviluppo di un Sistema di trasmissione a 8 Mbit/s su banda di 4 MHz (Fig. 9)  
CSELT sviluppò autonomamente il prototipo nell'ambito di un esperimento SIP-ASST per consentire il trasporto del servizio di videoconferenza a 2 Mbit/s su portanti analogici FDM. Dopo due anni di sperimentazione e affinamenti tecnologici il sistema fu trasferito su indicazione SIP alla Marconi per la produzione industriale, su brevetto CSELT. Sulla base di questa esperienza, nel 1974 fu sviluppato e sperimentato in campo un Sistema ibrido a 140 Mbit/s che esplorava una strada, alternativa a quella rigenerativa che poi risultò vincente, per la digitalizzazione dei cavi coassiali esistenti <sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Bonavoglia 1994, pp. 38-41



**Figura 10.** MUX 4x1,25 Gbit/s (1983-84).

**Figura 11.** MUX SDH a 622 Mbit/s (1990).

- 1976-77 Sviluppo e sperimentazione dei prototipi dei Sistemi a 34 e 140 Mbit/s su fibra e loro trasferimento a Italtel per la produzione industriale

- 1984-98 Gerarchia sincrona SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

CSELT fu protagonista nella definizione e introduzione in rete dell'SDH in Italia (cfr. anche il paragrafo "Integratore di sistemi"). Importanti furono i contributi alla definizione della normativa CEPT (Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications) e ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication standardization sector), la cui prima versione venne approvata nel 1988. Seguirono lo sviluppo di una serie di prototipi, moduli e chip di tecnologia avanzata (cfr. ad esempio Figg. 10 e 11). Numerosi e fondamentali

furono inoltre i contributi dati nel 1993-94 alla realizzazione dell'Italtel del RED 4/4 (ossia al Ripartitore Elettronico Digitale, Digital Cross Connect in inglese) di flussi a 155 Mbit/s per la rete primaria dell'ASST/Iritel, e in particolare: expertise e assistenza tecnica a Italtel per la messa a punto della matrice di connessione ad alta velocità e contributi per la loro gestione a livello di rete. Nel 1998 CSELT contribuì anche all'introduzione di tali apparati Italtel nella rete Retevision in Spagna.

- 1993-95 Esperimenti di remotizzazione con fibre ottiche di stazioni radio base GSM (Global System for Mobile Communications)

Il tema acquistò un rilevante interesse pratico qualche anno dopo a seguito dell'ampia diffusione delle stazioni radio base e la disponibilità delle fibre ottiche in aree metropolitane.

- 1994-96 Realizzazione di dimostratori di apparati HDWDM (ossia di moltiplicatori a divisione di lunghezza d'onda ad alta densità)

- 1994-2000 Partecipazione attiva a FSAN (Full Service Access Network) sulle reti di accesso a larga banda in fibra ottica

Il Gruppo di Interesse FSAN nacque nel 1994 per iniziativa dei responsabili di Centri di Ricerca dei gestori (CNET, CSELT, BT Laboratories, Deutsche Telekom R&D, NTT) in occasione della celebrazione dei 40 anni del CNET

a Parigi. La partecipazione a FSAN era aperta a operatori e manifatturiere, e la sua missione era di identificare requisiti e proporre soluzioni comuni per la rete di accesso a larga banda, in modo da promuovere un mercato di dimensioni tali da assicurare la riduzione dei costi degli apparati. La soluzione identificata proponeva l'utilizzo



**Figura 12.** Optical TDM (OTDM) a 40 Gbit/s (1998).

di tecnologie ottiche e di reti PON (Passive Optical Network) con un'architettura flessibile, che potesse sposarsi mediante le tecnologie VDSL (Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line) con la rete in rame valorizzando gli investimenti già effettuati. Questa soluzione, basata inizialmente sul trasporto ATM e poi anche Ethernet, fu condivisa e accettata da tutti i partecipanti a FSAN, poiché possedeva la flessibilità e la capacità di essere "Full Services", cioè di portare video, voce e dati, assicurando anche la qualità necessaria per ogni tipologia di servizio. Il lavoro svolto da FSAN si concretò, da un lato, in una serie di raccomandazioni ITU sulle PON, inizialmente BPON (Broadband PON) e poi anche GPON (Gigabit PON), dall'altro lato, sulla comparsa nel mercato delle TLC di prodotti a standard. In parallelo lo CSELT s'impegnò nella realizzazione di diversi test bed di BPON. Negli ultimi anni<sup>10</sup> le attività si sono rivolte allo sviluppo di WDM-PON (ossia di PON che utilizzano la tecnica Wave Division Multiplexing, in sigla WDM) e alla definizione dei componenti passivi utilizzati nelle PON.

- 1997-98 Progetto e sviluppo di un prototipo di Optical TDM (OTDM) a 40 Gbit/s (Fig. 12)

Il prototipo fu realizzato mediante tecniche esclusivamente ottiche ed eseguiva la moltiplicazione/demoltiplicazione di 4 flussi a 10 Gbit/s nel dominio del tempo. Il progetto incorporava una grande quantità di tecnologie autonomamente sviluppate da CSELT: in particolare laser a fibra attiva in regime impulsato a 10 Gbit/s e amplificatori a fibra con compensazione della dispersione cromatica tali da permettere l'impiego del sistema fino a lunghezze di centinaia di km sulle fibre già installate nella rete Telecom Italia.

<sup>10</sup> Telecom Italia Lab, 2005, p. 105.

## Fibre ottiche



**Figura 13.** Posa cavo f.o. COS1 nel cortile CSELT (1976).

**Figura 14.** Impianto filatura fibre ottiche in CSELT (1981).

La ricerca nel campo delle fibre ottiche si sviluppò rapidamente nello CSELT fin dal 1970 anno in cui negli USA la Corning Glass Works riuscì a realizzare fibre in silice con un'attenuazione sotto la soglia di 20 dB/km, da tempo individuata come limite per l'avvio del loro impiego pratico.

Nel 1973 fu stipulato insieme alla Pirelli un accordo con la Corning per una cooperazione tecnica che permise a CSELT di studiare, non solo teoricamente, le fibre e sperimentarle a livello di sistema e alla Pirelli di affrontare i problemi per la costruzione dei cavi. Fu anche sulla base di questa esperienza che qualche anno dopo Pirelli e SIRTU costituirono la FOS di Battipaglia. La scelta del nome FOS, acronimo per Fibre Ottiche Sud, ma al tempo stesso parola greca  $\Phi\omega\varsigma$  = luce, sembra sia stata ispirata da Luigi Bonavoglia.

Nel seguito sono elencati alcuni rilevanti contributi dello CSELT<sup>11</sup>. Importante il ruolo svolto dall'ing. Federico Tosco responsabile fino al 1991 della Divisione Trasmissioni che comprendeva anche il settore delle fibre ottiche:

- 1976 Sperimentazione nel cortile CSELT del primo cavo italiano (PIRELLI) in fibre ottiche COS1 (Fig. 13) al fine di seguire le evoluzioni nel tempo delle sue caratteristiche
- 1977 Sperimentazione in ambito operativo, tra due centrali di Torino del cavo COS2 che includeva anche fibre costruite in CSELT
- 1981-82 Realizzazione autonoma in CSELT dell'impianto per la preparazione di preforme secondo il processo MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition) e la loro filatura (Fig. 14)
- 1984 Fornitura, accanto ai maggiori costruttori mondiali, di fibre per la costruzione a cura Pirelli del primo cavo sperimentale italiano a fibre monomodali, sotto l'egida ISPT

<sup>11</sup> Ulteriori realizzazioni CSELT in questo settore sono citate, in questo stesso volume, nel capitolo "La fotonica nelle telecomunicazioni" di Giancarlo Prati.

- 1988 Realizzazione, interamente all'interno di CSELT, di amplificatori a fibra con fibre "attive" drogate con Erblio (Fig. 15)
- 1990-93 Attività sperimentale nello studio e prototipazione di fibre realizzate con vetri fluorozirconati con l'obiettivo iniziale di ottenere attenuazioni molto basse (anche inferiori a 0,01 dB/km) non conseguibili con le fibre in silice



**Figura 15.** Completamento della costruzione della preforma di fibre attive drogate con Erblio (1988).

Nello stesso periodo furono condotti anche studi e simulazioni in merito alla

propagazione solitonica su fibra amplificata (con fibre attive) che, sfruttando fenomeni di non linearità del mezzo, permette a impulsi di breve durata e con una forma d'onda molto precisa, di propagarsi con un'attenuazione estremamente ridotta.

- 1995 Realizzazione di filtri a reticoli di Bragg nelle fibre ottiche e realizzazione in CSELT di apposite camere pulite
- 1997-98 Realizzazione di amplificatori a fibra con compensazione della dispersione cromatica mediante fibre realizzate con vetri fluorozirconati, drogate con Erblio e con inserimento nelle stesse di reticoli di Bragg

Il progetto Safari (1995) condotto sulla rete SIP aveva, infatti, suggerito l'inserimento su larga scala di fibre compensatrici nella rete interurbana a livello regionale, allora realizzata prevalentemente con fibre con dispersione zero a  $1,3 \mu\text{m}$  (2<sup>a</sup> finestra). Data la limitata quantità di fibre richieste per realizzare gli amplificatori a fibra, gli impianti progettati e costruiti in CSELT sarebbero stati sufficienti per produrre l'intero fabbisogno per la rete SIP e una cooperazione in tal senso fu avviata con Pirelli. Le decisioni operative della SIP e dei suoi fornitori furono invece orientate a concentrare gli investimenti su fibre e sistemi operanti a  $1,55 \mu\text{m}$  (3<sup>a</sup> finestra) e svanì l'opportunità per un impiego industriale di questa realizzazione.

## Optoelettronica e fotonica

Nel 1977, alla luce degli enormi progressi nelle tecnologie delle fibre ottiche, lo CSELT decise di iniziare in collaborazione con SGS/ATES, che dal 1968 era entrata a fare parte del Gruppo STET, lo sviluppo di dispositivi optoelettronici. Il gruppo misto di ricercatori ebbe sede a Castelletto di Settimo Milanese, nell'ambito del comprensorio Italtel, e nel giro di tre anni realizzò



**Figura 16.** REMO 12 (Reattore Epitassiale Metal Organico a 12 reagenti) 1994.

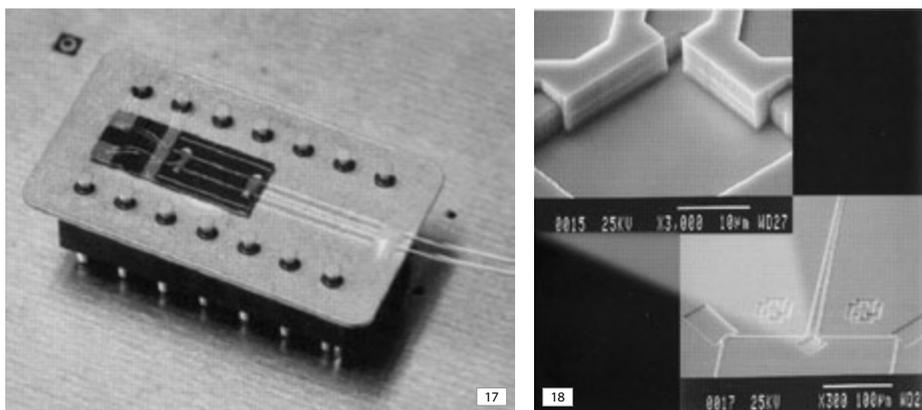
sulla tecnologia dei circuiti integrati in silicio, abbandonando le applicazioni optoelettroniche che richiedevano materiali e processi produttivi totalmente distinti. Conseguentemente il gruppo operante a Castelletto fu assorbito dall'Italtel che, nel 1986, decise di dare un diverso orientamento alle proprie ricerche nel campo delle tecnologie optoelettroniche.

Rimasto solo allo CSELT il compito di proseguire lo sviluppo dei processi e la realizzazione di dispositivi optoelettronici e fotonici, in CSELT e nel Gruppo STET si valutò se fosse opportuno mantenere l'impegno in un settore caratterizzato da alti investimenti e alti costi di esercizio (per impianti, sistemi di sicurezza, materiali) o non fosse preferibile trovare un accordo con Istituzioni pubbliche (in particolare con il Politecnico di Torino). Con lo spirito di servizio al Paese che caratterizzava le Partecipazioni Statali, si decise di mantenere in CSELT quest'attività, constatandone il prestigio conquistato anche in sede internazionale e nella consapevolezza che solo un ambiente di ricerca industriale avrebbe garantito la continuità d'investimenti necessaria per garantirne un futuro.

A seguito di questa decisione strategica, nell'ambito di un riuscito processo d'integrazione delle attività tecnologiche con quelle sistemistiche, nei primi anni '90, sotto la guida operativa prima dell'ing. Alfredo Fausone e poi dell'ing. Giulio Modena si realizzò un'essenziale ristrutturazione delle attività tecnologiche passando da una organizzazione per competenze (materiali, processi, progettazione di prototipi) a una finalizzazione verso le realizzazioni, comprendendo in esse anche il controllo della temperatura e l'indispensabile sviluppo di sofisticati package optoelettronici. Si passò così dalla realizzazione di prototipi di laboratorio a quella di dispositivi completi e funzionanti, in grado di essere

rilevatori a fotodiode (PIN e APD<sup>12</sup>) in Silicio ed emettitori LED (Light-Emitting Diode) e LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) in AlGaAs/GaAs operanti a 0,8-0,9  $\mu\text{m}$  (1<sup>a</sup> finestra). Nel 1978 questo gruppo fu affiancato da un nuovo nucleo nella sede CSELT a Torino con l'obiettivo di realizzare dispositivi operanti nella 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> finestra, che risultavano molto più interessanti per le telecomunicazioni. Nel 1981 SGS decise di concentrarsi completamente

<sup>12</sup> PIN è la tecnologia che consiste nell'interconnessione di una sezione di semiconduttore drogato positivamente (P) con una sezione drogata negativamente (N) attraverso una regione "Intrinseca" (non drogata). APD sta invece per Avalanche photodiode, una tecnologia che aumentò considerevolmente la sensibilità dei dispositivi.



**Figura 17.** Laser SSC (Spot Size Converter) a 1,55  $\mu\text{m}$  (1996).

**Figura 18.** Convertitore Ottico di Frequenza (1998).

impiegati nello sviluppo di sistemi sperimentali. Con il tempo anche la resa crebbe a livelli accettabili anche per una produzione di tipo industriale.

Nel seguito sono elencati alcuni dei più rilevanti risultati conseguiti dallo CSELT.

- 1980-81 Realizzazione di primi emettitori LED in doppia eterostruttura in InGaAsP/InP a 1,3  $\mu\text{m}$  e primi rilevatori PIN in InGaAs/InP operanti a 1,3-1,6  $\mu\text{m}$
- 1983 Realizzazione di primi laser gain guided
- 1987-88 Realizzazione di primi laser index guided e rilevatori APD con moltiplicatori a valanga
- 1988 Realizzazione di primi laser DFB (Distributed FeedBack)
- 1991 Realizzazione del primo amplificatore ottico a semiconduttore (soluzione divenuta di ridotto interesse pratico per la “concorrenza” degli amplificatori a fibra)
- 1993 Realizzazione dei primi modulatori elettro-ottici MQW (Multi Quantum Well)
- 1994 Entrata in servizio del nuovo reattore MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) REMO 12 interamente progettato e realizzato in CSELT, e tuttora in servizio, in sostituzione di un precedente impianto non più adatto per le crescenti esigenze (Fig. 16)
- 1995 Acquisizione di un espositore a fascio di elettroni (Electron Beam Exposer), che consente di eseguire operazioni di litografia con risoluzione molto spinta per la realizzazione di dispositivi fotonici avanzati e costruzione/aggiornamento di nuove “camere pulite”
- 1996 Realizzazione di Laser SSC (Spot Size Converter) a 1,55  $\mu\text{m}$  (Fig. 17) che costituirono un significativo break through nell'accoppiamento laser-fibra (allineamento passivo) con rilevante riduzione dei costi
- 1998 Realizzazione del Convertitore Ottico Frequenza (Fig. 18) da impiegare per l'*optical networking* WDM

All'indomani della privatizzazione di Telecom Italia apparve chiaro che gli alti costi della ricerca in queste tecnologie non avrebbe più consentito di mantenere all'interno di CSELT il polo di eccellenza, riconosciuta a livello internazionale, nella Optoelettronica e nelle Fibre Ottiche. All'interno dello CSELT, a livello sia di Direzione sia operativo, era peraltro radicata la convinzione che il livello di maturità raggiunto avesse un valore riconoscibile dal mercato e che andasse quindi scartata la semplicistica idea di una drammatica riconversione.

Verificato che sia nel Gruppo sia in Italia non esisteva più un interesse industriale per questa eccellenza tecnologica di ricerca e avendo peraltro la consapevolezza che partendo solo da questa sarebbe stato impossibile costituire un'unità di business, su suggerimento dell'ing. Marco Cocito, responsabile di questo settore, si decise di avvalersi di una Banca di affari da lui stesso individuata (Alex Brown Bankers Trust, poi confluita in Deutsche Bank) per promuovere un'offerta e supportare la gestione della trattativa. Varie furono le difficoltà incontrate: prima fra tutte l'esistenza di un patto di non rivendicazioni per eventuali violazioni dei diritti di proprietà intellettuali (brevetti) tra il Gruppo STET e importanti gruppi manifatturieri europei che era stato stipulato fundamentalmente nell'interesse di Italtel nell'ambito delle diatribe sui "brevetti essenziali" delle tecnologie GSM<sup>13</sup>.

Alla fine, anche con il consenso formalizzato dei Sindacati, si riuscì a portare a compimento lo spin-off con la costituzione nel 1999 di OTC S.r.l. (Optical Technologies Center) con un organico di 49 persone (di cui 40 laureati), e la sua cessione nei primi mesi del 2000 ad Agilent che allora stava conducendo una campagna di acquisizioni nelle tecnologie ottiche. Il corrispettivo della cessione, unito agli introiti per Leasing e Facility Management, permise di recuperare interamente i costi degli investimenti fatti negli ultimi 5 anni e di gran parte dei costi sostenuti nella ricerca.

Purtroppo il settore delle fibre ottiche risultò presto incompatibile con il modello di business di Agilent e ciò diede luogo a una focalizzazione sulle tecnologie Optoelettroniche.

Negli anni successivi, la crisi del settore (per il venir meno dell'aspettativa di un boom nel cablaggio in fibra ottica della rete di distribuzione) indusse a sua volta Agilent a cedere l'intero settore delle tecnologie ottiche, in cui era inserito il polo ex CSELT di Torino, ad Avago Technologies. A distanza di 10 anni, nonostante le traversie che hanno sconvolto il settore, il polo di eccellenza di Torino è ancora ben radicato. Marco Cocito ha mantenuto il ruolo di Responsabile del Centro fino a novembre 2009 e gli è succeduta la dott.ssa Marina Meliga, allora ricercatrice senior di CSELT, che da alcuni anni aveva già assunto il ruolo di Responsabile dell'intero settore di punta "III-V devices" del Gruppo Avago Technologies. Il gruppo Avago di Torino sta ora sviluppando, in ambito R&S, nuovi laser a 25 Gbit/s e, in ambito fabbricazione, a 3 anni dall'inizio della produzione di laser a 10 Gbit/s a Torino, ha festeggiato a fine novembre 2009 il primo milione di chip spediti da Torino a Singapore, dove i chip sono

<sup>13</sup> Vedi, in questo stesso volume, il capitolo "Reti, servizi cellulari e *wireless*" di Gabriele Falcia-secca e Decio Ongaro.

testati e visualizzati, sempre sotto la responsabilità di Marina Meliga, per essere poi inviati in Cina dove avviene il packaging finale.

È interessante osservare che benché i laser prodotti fondino le loro radici su ricerche avviate ancora nell'ambito CSELT e quindi in vista di applicazioni telecom, gran parte della produzione è finalizzata ad applicazioni di *computer networking*.

## Ponti radio e satelliti

Oggi la voce ponte radio in Wikipedia tratta solo la tecnica numerica. Si potrebbe dedurre che il passaggio dalle tecniche analogiche a quelle numeriche sia avvenuto in questo settore senza difficoltà, ma la realtà fu molto diversa. Infatti, con la codifica della voce a 64 kbit/s del PCM, occorre metodi di modulazione sofisticati per conseguire efficienze nell'uso dello spettro paragonabili a quelle dei sistemi analogici.

Nei sistemi in ponte radio l'obiettivo è stato conseguito con l'uso di apparati complessi realizzati con tecnologie di avanguardia mentre in altri settori, in particolare nell'accesso radio delle reti cellulari, di cui si parlerà in seguito, l'obiettivo è stato raggiunto, e largamente superato, adottando avanzate tecniche di codifica della voce a basso bit rate, rinunciando alla trasparenza ai canali vocali a 64 kbit/s.

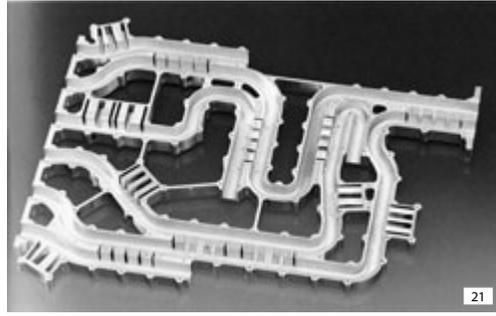
In Europa il primo ponte radio PCM fu realizzato dalla Telettra nel 1967 e da quella data i ponti radio numerici occuparono un ruolo di primo piano nello sviluppo della rete di telecomunicazione a livello provinciale/regionale, anche dopo la comparsa delle fibre ottiche. Al contrario sulle grandi dorsali trasmissive, tipicamente a lunga distanza, la rapida diffusione delle fibre ottiche ha reso progressivamente marginale il ruolo dei ponti radio. Semplificando, si potrebbe dire che le fibre ottiche hanno spinto le applicazioni radio ai due estremi: accesso (non solo reti cellulari, ma anche bluetooth, Wi-Fi, WiMAX, ecc., per non parlare di diffusione TV) e satelliti.

Nel campo dei ponti radio vanno ricordati i seguenti risultati conseguiti dallo CSELT:

- 1973-76 Studi, realizzazioni prototipali e sperimentazione di sistemi detti "Digitale su Analogico" che permettevano la trasmissione di segnali numerici (34 Mbit/s, pari a 480 canali telefonici) con l'integrale riuso delle preesistenti infrastrutture e apparati operanti in tecnica FM/FDM con capacità di 960 canali
- 1981-84 Studi, realizzazioni prototipali e sperimentazione di sistemi con modulazione 16 QAM (Fig. 19) che proseguirono negli anni successivi con studi su modulazioni con maggior numero di stati (fino a 256 QAM) e alla modulazione Trellis con importanti contributi alla standardizzazione di ponti radio coerenti con la gerarchia sincrona SDH.



Figura 19. Ricetrasmittitore 16 QAM (1982).



**Figura 20** Antenna con superficie dicroica.

**Figura 21.** Rete formatrice di fascio esposta al museo della tecnica di Washington (1991).

Nel campo dei satelliti rilevanti sono stati i risultati conseguiti anche con importanti ricadute industriali finalizzate da Selenia Spazio (divenuta poi Alenia Spazio) che a quei tempi faceva parte del Gruppo STET. Sono da citare in particolare:

- 1968-69 La commessa assegnata dalla Comsat per un sistema digitale TDMA on demand assignment: progetto di grandi dimensioni che dimostrò, fin da quei primi anni, le capacità acquisite dallo CSELT nella progettazione di sistemi complessi
- 1974-2000 Progettazione di antenne e illuminatori per vari satelliti: Sirio, Intelsat V, Italsat, ecc.
- 1981-82 Realizzazione di matrici di commutazione a bordo di satelliti
  - 1981 16 fasci da 180 Mbit/s per Italsat;
  - 1982 200 Mbit/s per sistemi TDMA in collaborazione con Selenia Spazio.
- 1982-87 Sviluppo di metodi di calcolo innovativi e brevetti di strutture dicroiche per la realizzazione di antenne (Fig. 20)
- 1991-98 Progettazione e realizzazione di una gamma di vari dispositivi impiegati a bordo di numerosi satelliti: matrici di Butler, reti formatrici di fascio (Fig. 21) e filtri a radiofrequenza

Competenza distintiva dello CSELT é stata quella di progettare, al computer, la struttura meccanica con una precisione tale da non richiedere l'inserimento di viti di regolazione (trimming), ottenendo così componenti molto più stabili rispetto alle sollecitazioni termiche e meccaniche cui i componenti sono soggetti durante il lancio e la vita operativa dei satelliti. Nella seconda metà degli anni '90 si aggiunse la competenza per la qualificazione spaziale che aumentò significativamente il valore aggiunto dei componenti che CSELT ha realizzato e fornito ad Alenia e ESA per diversi satelliti.

Un altro settore in cui lo CSELT realizzò rilevanti risultati è quello delle antenne, in termini sia di misure e qualificazione sia di progettazione e sviluppo di realizzazioni che hanno avuto importanti ricadute di tipo industriale. Sono in particolare da ricordare:

- 1980-90 Progettazione e realizzazione di antenne multibanda prodotte da Comelit su licenza SIP; di particolare interesse pratico furono quelle bigamma funzionanti rispettivamente a 7-11 e 2,5-11 GHz che consentirono alla SIP di installare sulle proprie torri e tralicci un maggior numero di ponti radio
- 1993-2000 Studio e prototipazione di antenne a schiera in microstriscia configurabili elettronicamente, operanti nella gamma dei 18 GHz e oltre, per impiego in ambito urbano per applicazioni sia punto-punto sia punto-multipunto con lo scopo di conseguire vantaggi in termini di flessibilità, ingombro e riduzione dell'impatto ambientale. Anche per questa realizzazione nel 2000 era in corso di finalizzazione una partnership industriale.

Competenza di base, acquisita nel corso degli anni e indispensabile per lo sviluppo di tutti i progetti cui si è fatto cenno, fu quella sulla Propagazione; si ricordano in particolare:

- campagne di misura da 1 a 50 GHz;
- strumenti di previsione in presenza di pioggia e delle caratteristiche del territorio e dei "cammini multipli";
- algoritmi e procedure di calcolo del campo elettromagnetico, sia vicino sia lontano, e conseguente realizzazione di programmi dotati di caratteristiche di velocità, accuratezza e flessibilità.

### Commutazione numerica

Come si è accennato, alla fine degli anni '60 la situazione della commutazione era caratterizzata da una varietà di sistemi elettromeccanici eterogenei per concezione, funzionalità e tecniche impiegate.

La strategia della STET fu di puntare sulle tecniche numeriche anche nella commutazione avendo valutato correttamente i vantaggi che sarebbero conseguiti dalla integrazione di trasmissione e commutazione (rete numerica integrata) ed essendo consapevoli che la mancanza in sede nazionale di un'adeguata esperienza di ricerca e sviluppo avrebbe reso priva di speranza la possibilità di sviluppare un moderno sistema di commutazione semielettronico in tempi compatibili con quelli dei più importanti costruttori multinazionali. Questa valutazione era rafforzata dalla convinzione che le tecnologie elettroniche, e in particolare quelle numeriche, sarebbero state più generiche (poco legate a uno specifico sistema di commutazione e con un mercato di riferimento ben più ampio) e quindi più facilmente accessibili e in rapido costante miglioramento.

La decisione fu formalizzata nel 1968 con l'approvazione del progetto Proteo della manifatturiera di Gruppo (SIT Siemens, divenuta poi Italtel) e delle ricerche dello CSELT nella commutazione numerica. Giova ricordare che gli intendimenti iniziali della STET furono di puntare allo sviluppo di un sistema di commutazione numerico nazionale unico ma prodotto su licenza dalle manifatturiere presenti in Italia che avrebbero aderito, in modo da elimi-



**Figura 22.** Gruppo Speciale di Mestre (1973).

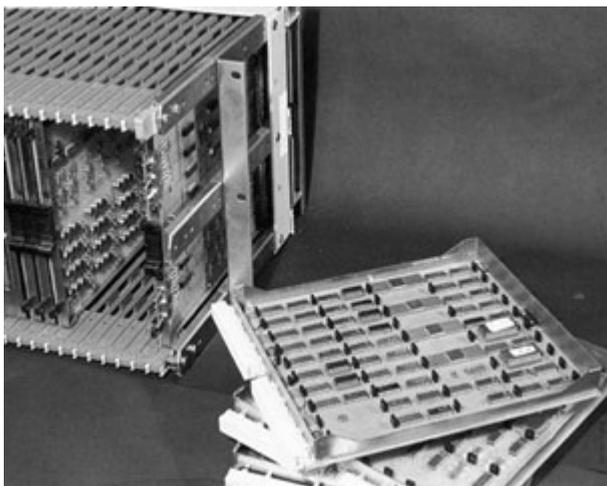
nare le incompatibilità tra i sistemi di commutazione allora presenti sul territorio.

Nel seguito sono illustrati alcuni dei risultati più rilevanti conseguiti dallo CSELT evidenziando i risultati che trovarono applicazione nell'ambito dello sviluppo del sistema di commutazione nazionale. Altri risultati rilevanti sono descritti nelle successive sezioni.

- 1970-73 Progettazione, sviluppo e messa in servizio del “Gruppo Speciale” di Mestre (Fig. 22)  
Si trattò della prima centrale numerica italiana a essere messa in servizio pubblico, seppur a titolo sperimentale. Si basava su una rete di connessione temporale (monostadio) con capacità di 1024 canali PCM realizzata con moduli logici in tecnologia ECL (Emitter-Coupled Logic) a 100 MHz e su un Controllo Centrale realizzato sulla base di un minielaboratore di processo Selenia GP-16 modificato in CSELT per raddoppiarne la capacità di memoria (64 K con parole da 16 bit) e realizzare un funzionamento con duplicazione in parallelo. Il sistema era completato dall'Equipaggiamento di Prova, realizzato con un'altra coppia di GP-16 che eseguiva le funzioni di supervisione dell'impianto. Il software era scritto in Assembler (modificato da CSELT per l'indirizzamento a 64 K) facendo inizialmente uso di un compilatore su banda perforata, poi sostituito da un sistema di sviluppo a nastro magnetico, realizzato in CSELT. Il trattamento della segnalazione multifrequenze tra centrali e da tastiera era realizzato con tecniche di filtraggio numerico. Il progetto fu realizzato sotto la guida dell'ing. Alberto Loffreda. Il nome dell'autocommutatore deriva dal suo specifico impiego in rete, teso a fornire servizi allora avanzati (quali: documentazione degli addebiti, teleselezione internazionale, tele-lettura del contatore, ecc.) a *gruppi (speciali)* di utenti richiedenti. Negli anni successivi furono sviluppate nuove versioni dell'autocommutatore incorporando tecnologie rese man mano disponibili.
- 1972-80 Progettazione, sviluppo e messa in servizio di una serie di sistemi elettronici di supervisione di preesistenti centrali elettromeccaniche, alcuni dei quali furono prodotti in serie dalle manifatturiere Consociate, con interventi detti in gergo “gerovital”. Tra questi particolarmente importante fu il CATTO (Contabilità Automatica Traffico Telefonico da Operatore), realizzato interamente in CSELT e installato nel 1977 presso la centrale con tavoli d'operatrice dell'Italcable ad Acilia (Roma); tale realizzazione riutilizzava

molte delle esperienze del Gruppo Speciale di Mestre e aveva la funzione di automatizzare la compilazione dei “cartellini” delle conversazioni via operatrice. L'impianto rimase in servizio fino alla radiazione (1986) della centrale elettromeccanica.

- 1973-85 Contributi allo sviluppo del Sistema di commutazione nazionale (Proteo e UT<sup>14</sup>)



**Figura 23.** Elaboratore MIC 20 (1980).

Le competenze acquisite dallo CSELT nella realizzazione dei Gruppi Speciali di Mestre e nelle successive realizzazioni portarono a un'efficace intesa tra i tecnici CSELT e quelli Italtel creando un clima di ottima collaborazione che, fino ad allora, era mancata. Tra i risultati più rilevanti si ricordano i seguenti (realizzati da CSELT con gli standard costruttivi dell'Italtel):

- 1975-78 Progettazione e realizzazione del processore MIC 16, realizzato in standard Doppio Europa, con tecnologia bit slice e sistema operativo che mimava quello RT11 della Digital. Ciò consentì di utilizzare direttamente ambienti di sviluppo e programmi commerciali, in particolare i compilatori. Il sistema operativo fu esteso per accogliere primitive, studiate per applicazioni telefoniche, che consentissero processi concorrenti. Inoltre furono progettate varie versioni di linguaggi macroassembler impiegati da Italtel per la realizzazione del controllo decentrato delle centrali di serie CT2.
- 1980 Progettazione e realizzazione del processore MIC 20 (Fig. 23) Partendo dall'esperienza del MIC 16, CSELT progettò e realizzò il MIC 20 e il relativo sistema operativo (DUPLOS 20). Il processore era intrinsecamente duplicato, con 1Mbyte di memoria e un set di 450 istruzioni. Era anche aperto all'impiego di linguaggi ad alto livello (in particolare il CHILL di cui si parlerà successivamente). Fu oggetto di successivi aggiornamenti tecnologici e corredato di un nuovo sistema operativo (MULTOS) adatto a una configurazione multiprocessore. Il progetto fu trasferito nel 1982 a Italtel che lo utilizzò come controllo delle centrali del-

<sup>14</sup> I grandi progressi tecnologici avvenuti negli anni '70 portarono alla decisione di SIT Siemens di abbandonare gli sviluppi del sistema Proteo originale e di avviare quelli del nuovo sistema UT (Urbano-Transito).



**Figura 24.** Centrale sperimentale ISDN Firenze (1984).

la Linea UT fino ai primi anni '90 nonché per la versione industriale dell'Adattatore Concentratore di Pacchetti (ACP) della rete Itapac, inizialmente sviluppato in CSELT sulla base del MIC 16.

– 1982 Progettazione del circuito VLSI ECI (Elemento di Commutazione Integrato) che realizzava una matrice numerica 256x256 e fu prodotto e commercializzato da SGS (ora ST) e quindi adottato da Italtel e numerosi altri Costruttori. Con una complessità di 35.000 transistor fu probabilmente il più complesso circuito dedicato alla commutazione fino ad allora sviluppato in Europa<sup>15</sup>.

- 1985 Sviluppo in stretta collaborazione con Italtel dell'elaboratore specializzato PHP (Protocol Handling Processor) per le centrali della linea UT il cui compito era di trattare il livello 2 del protocollo ISDN (LAP D). Il sistema, costituito da 3 piastre e comprendente un circuito integrato semicustom, si basava sull'esperienza dell'esperimento ISDN di Firenze dell'anno precedente.
- 1985-86 Definizione del nuovo Elaboratore di Servizio (ES2) della Linea UT, in termini di evoluzione architetturale del software e delle sue funzionalità, nell'ambito di gruppi di lavoro interaziendali CSELT – Italtel. Fondamentale risultò l'adozione delle metodologie progettuali basate sull'SDL (Specification Description Language) standardizzato dal Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique (CCITT) cui CSELT ha contribuito significativamente<sup>16</sup>. L'ES2 costituì per il Gruppo STET il primo nucleo di quella sofisticata architettura di gestione che va sotto il nome di TMN – Telecommunication Management Network.
- 1984 Esperimento ISDN Firenze (Fig. 24) realizzato da CSELT con integrazioni hardware e software sulla base di un prototipo della centrale UT10/3 in corso di sviluppo da parte di Italtel<sup>17</sup>. L'esperimento, esibito in occasione dell'ISS (International Switching Symposium) tenuto a Firenze nel 1984, fu arricchito con numerose applicazioni, sviluppate in CSELT, rese possibili da un collegamento end-to-end a 64 kbit/s.

<sup>15</sup> Perucca 1982.

<sup>16</sup> Saracco, Reed e Smith 1989.

<sup>17</sup> Mossotto 1981 e 1983.

Tra queste si ricorda il servizio di audio/video conferenza (48kbit/s per il video, detto lento data la tecnologia del tempo, e 16kbit/s per l'audio con codifica ADPCM, vale a dire con una codifica PCM di tipo differenziale ed adattativo, di 4 sottobande) e il servizio di Videotel realizzato sul canale di segnalazione (questo tipo di applicazione fu antesignano dell'attuale popolare servizio SMS delle reti cellulari), oltre a varie applicazioni di collegamenti tra minielaboratori. L'esperimento mostrò che la rete integrata nei servizi aveva ormai raggiunto lo stadio della realizzazione pratica e che si doveva prendere atto che la separazione tra telefonia e trasmissione dati era ormai superata. La Convenzione della SIP, allora in corso di revisione, doveva quindi considerare unitariamente tutti i servizi di telecomunicazione.

- 1984-87 Studi e realizzazione nella commutazione a larga banda  
Con la diffusione delle fibre ottiche e in concomitanza con l'avvio del programma di ricerca europeo RACE, alla cui impostazione CSELT contribuì in modo significativo, si cominciò a dibattere sui servizi a larga banda con vivaci discussioni anche in sede internazionale sulle possibili strategie: enfasi sui servizi per l'utenza residenziale (video on demand) oppure a quelli per l'utenza affari (dati ad alta velocità)<sup>18?</sup> Forti incertezze esistevano anche sulla scelta tra la commutazione di circuito e quella a pacchetto veloce (che avrebbe poi portato all'ATM). Nel campo della commutazione di circuito CSELT contava su una consolidata esperienza acquisita in campo spaziale. Due furono le realizzazioni a quei tempi di rilievo:
  - 1985 Isola ottica della Fiera di Milano, realizzata in collaborazione con SIP, SIRTI e Italtel, basata su di una matrice di commutazione analogica a larga banda; i principali servizi forniti ai 25 utenti erano videotelefonìa con qualità PAL, accesso a programmi diffusivi e interattivi (su videodisco remoto);
  - 1987 Test bed presentato al Telecom di Ginevra, basato su commutazione numerica a divisione di spazio per servizi bidirezionali e diffusivi (questi ultimi HDTV a 300 Mbit/s).
- 1988-93 Studi e sviluppi ATM, a livello sia di sistemi e apparati, sia di componentistica.

La tecnica ATM nacque come risposta delle telecomunicazioni a due distinte esigenze:

- adeguare la rete di telecomunicazioni alle nascenti esigenze di velocità e volumi di traffico conseguenti allo sviluppo delle comunicazioni dati con l'obiettivo iniziale di supportare servizi multimediali con throughput fino a 2 Mbit/s<sup>19</sup>;
- rappresentare la base per lo sviluppo della nuova generazione di centrali di commutazione, necessità particolarmente sentita in Francia dove il sistema di commutazione E10, le cui prime centrali erano state installate fin dal 1972, presentava segni di rapida obsolescenza.

<sup>18</sup> Bonavoglia 1994, p. 79; Mossotto 1987.

<sup>19</sup> Giorcelli e Balboni 1991.

Ne derivò un'architettura a celle di lunghezza fissa pari a 48 byte. Questo valore di compromesso<sup>20</sup> è grande per il traffico telefonico e modesto per le applicazioni dati.

La principale realizzazione dello CSELT fu un sistema sperimentale che integrava la tecnica di commutazione ATM con la tecnologia TINA (Telecommunications Information Networking Architecture) per la realizzazione del Controllo. CSELT contribuì in modo rilevante alla standardizzazione in sede ITU-T delle reti ATM e alla sua diffusione scientifica con la pubblicazione di numerosi volumi nella Collana dei Libri CSELT.

È noto che scoppiò una battaglia tra ATM e IP (cfr. il paragrafo "Reti Dati e Networking") e che quest'ultimo risultò vincente; meno noto è che i grandi investimenti fatti dal settore telecom in termini tecnologici (chip ad alta scala d'integrazione) fecero sì che per parecchi anni i più grandi nodi della rete internet utilizzarono al loro interno la tecnologia ATM.

## Microelettronica e tecnologie VLSI

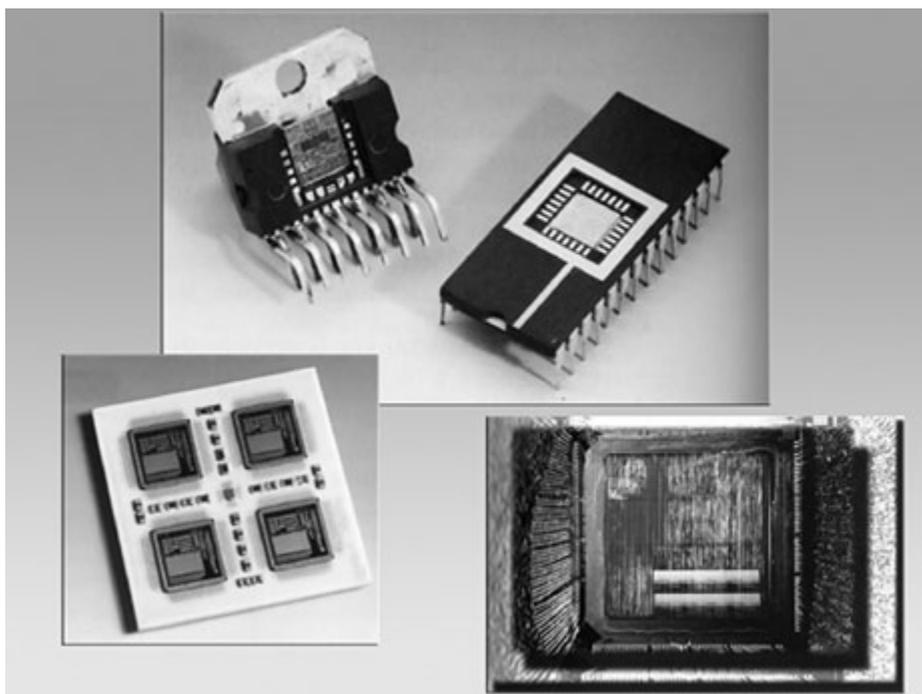
Sul finire degli anni '60, la comparsa dei primi circuiti integrati su media scala (qualche centinaio di transistor) in logica Transistor-Transistor Logic (TTL) ed Emitter-Coupled Logic (ECL), con tempi di commutazione di qualche ns resero non più utilizzabile la prototipazione mediante montaggio su basette utilizzata fino allora.

Sulla base dell'esperienza acquisita attraverso contatti e stage presso la Comsat, azienda americana leader nelle comunicazioni spaziali e con grande esperienza nei sistemi numerici ad alta velocità, lo CSELT adottò una tecnica di progettazione modulare. Furono sviluppate diverse serie di moduli con funzioni elementari, caratterizzati dalla frequenza tipica utilizzabile a livello di sistema: serie 10 (MHz) in logica TTL, serie 100 (ampiamente utilizzata nei Gruppi Speciali di Mestre) e 250 in logica ECL. Dal 1973 fu sviluppata anche la serie 500 che montava "chip nudi" su circuiti stampati (o ceramici), anticipando la tecnologia MCM (Multi Chip Module). In queste realizzazioni, un ruolo di primo piano fu svolto dall'ing. Giovanni Perucca.

Un diverso approccio fu seguito per i sistemi di trasmissione per i quali le funzioni allora realizzabili in forma numerica erano solo quelle della codifica e dello scrambler/descrambler: in termini pratici solo un 10% del sistema. Le elevate frequenze in gioco (fino a 140 Mbit/s) richiedevano ancora la progettazione di circuiti analogici per tutte le altre funzioni.

Verso la metà degli anni '70, con la disponibilità di circuiti VLSI e microprocessori, diventò obsoleto l'impiego di moduli con funzioni elementari, mentre su ciascuna piastra si potevano realizzare sottosistemi completi. Inoltre, l'avvento

<sup>20</sup> La ridotta dimensione delle celle era importante per la telefonia al fine di contenere il ritardo introdotto nel riempimento della cella con i campioni PCM (6 ms per riempire una cella di 48 byte); ciò avrebbe consentito di introdurre l'ATM per isole interconnesse alla rete numerica "classica" e non come rete overlay a livello mondiale.



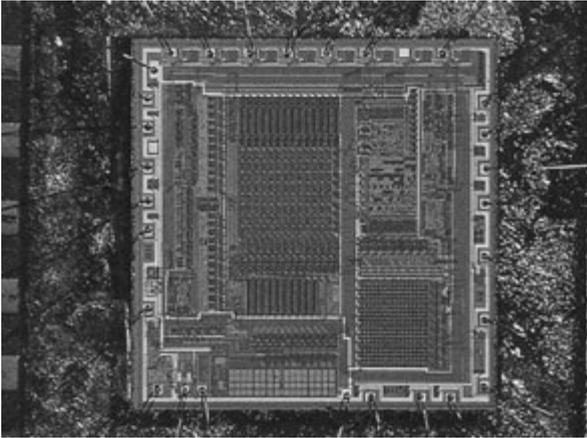
**Figura 25.** Esempi di chip VLSI progettati in CSELT: Subscriber Line Interface Circuit – SLIC (1984); Multi Chip Module ATM BASE16 a 5.8Gbit/s (1995); Macrocella estrazione clock (1997).

del microprocessore cominciò a influenzare anche lo sviluppo e le prestazioni dei sistemi trasmissivi rendendo adattative alcune funzioni base quali la regolazione della fase di demodulazione e dell'istante di campionamento.

Nel 1979 CSELT decise di creare un gruppo di ricercatori dedicato alla tecnologia VLSI. L'attività iniziò con lo sviluppo di alcuni circuiti presso l'inglese Smith Industries; il primo microcircuito fatto in CSELT aveva una complessità di circa 700 transistor ma già nel 1980, grazie all'ausilio di primi supporti CAD (Computer Aided Design), si raggiunse una complessità di 15.000 transistor, per crescere di oltre due ordini di grandezza negli anni successivi.

Nel seguito sono ricordate alcune delle tappe più rilevanti nell'evoluzione di questo settore.

- 1980-85 Realizzazione di VSLI full e semi-custom d'interesse industriale (SGS, ora ST)  
Oltre all'ECI (Elemento di Commutazione Integrato) del 1982, già citato, si ricordano due specifiche realizzazioni frutto di una mutua fertilizzazione tra le competenze tecnologiche VLSI e quelle sistemistiche accumulate in diversi settori. È questa una testimonianza dell'efficacia della struttura matriciale adottata in CSELT.
  - 1984 Set di circuiti SLIC (Subscriber Line Interface Circuit), prodotto e commercializzato da ST fino alla seconda metà degli anni '90 (Fig. 25). Il componente che s'interfaceva con la linea d'utente era realizzato



**Figura 26.** VLSI sintetizzatore vocale LCP (1984).

- 1984 Sintetizzatore vocale basato sulla tecnica LPC (Linear Predictive Code), (Fig. 26). Il circuito integrato VLSI full custom, realizzato in tecnologia NMOS a  $4\mu\text{m}$ , aveva una complessità equivalente a 30.000 transistor. Il componente comprendeva un'uscita seriale PCM e un'interfaccia verso un microprocessore Z80 che gestiva i dati da inviare al sintetizzatore. Esso fu commercializzato da SGS con la sigla M8950, presentato come periferica dello Z80.
- 1983–89 Partecipazione ai Progetti Europei CVT (CAD for VLSI for Telecommunications) e CVS (CAD for VLSI Systems) sul CAD per VLSI  
Il progetto CVT fu avviato su iniziativa dei centri di ricerca dei gestori (CSELT, primo contraente, CNET e FI) che, per la prima volta, furono ammessi ai finanziamenti comunitari; a essi si aggiunsero industrie e università. L'ambizioso progetto si propose di sviluppare un insieme integrato di strumenti CAD che doveva generare il layout e le maschere del circuito partendo da una descrizione a livello Trasferimento tra Registri (RTL). Il successivo progetto CVS puntò alla sintesi automatica a partire dalla descrizione architettonica. La rilevanza dei progetti poggiava sulla convinzione che l'evoluzione della tecnologia VLSI avrebbe reso disponibili componenti d'impiego generale (microprocessori e memorie) sempre più potenti ma che, in aggiunta, l'industria delle telecomunicazioni avrebbe avuto la necessità di sviluppare componenti custom o semi-custom per soddisfare le proprie specifiche esigenze. In seguito l'attività CSELT di sviluppo di strumenti CAD fu chiusa per la comparsa di sistemi commerciali sempre più evoluti di cui lo CSELT ha mantenuto la disponibilità attraverso contratti di collaborazione.
- 1988–95 Multi Chip Module ATM BASE16 a 5,8 Gbit/s (Fig. 25)  
Costituisce il punto di arrivo dell'attività CSELT nella componentistica ATM iniziata nel 1988 con lo sviluppo dell'elemento di commutazione ECP 2x2 per reti banyane proseguita, nel 1992–94, con la realizzazione

con tecnologia ad alta tensione, il secondo era invece in bassa tensione. Il set di circuiti consentiva una facile configurazione di alcuni parametri per adattarsi alle diverse caratteristiche delle linee d'utente esistenti nei diversi Paesi. Tale caratteristica lo rendeva particolarmente interessante per il mercato internazionale; non risultò invece economicamente valido per l'impiego da parte Italtel nel mercato domestico.

dell'intero chipset e delle piastre, costituenti il nucleo fondamentale del nodo di commutazione ATM UT-XC di Italtel che fu impiegato nel 1992 da SIP nella Rete Pilota realizzata nell'ambito di un'iniziativa europea. Di particolare rilievo fu l'elemento di commutazione BASE8: circa 700.000 transistor in tecnologia CMOS. Il Multi Chip Module BASE16 integrava su substrato ceramico ben 4 BASE8, portando la capacità di commutazione del singolo elemento a 5,8 Gbit/s. Il package, innovativo con ben 1073 piedini, fu realizzato da IBM<sup>21</sup>.

- 1994-2000 Realizzazione della libreria macroblocchi *VIP Library*<sup>TM22</sup>  
Le continue veloci evoluzioni tecnologiche consentivano di realizzare su un chip sistemi sempre più complessi (System on Chip). Nacque quindi l'esigenza di un diffuso riuso di moduli funzionali, indipendenti dalla tecnologia, per evitare la progettazione ex novo di un nuovo chip e i sistemi CAD furono messi progressivamente in grado di gestire moduli di librerie che assemblati insieme consentivano di realizzare in tempi brevi il prototipo per la validazione, il circuito integrato e l'intero sistema. Un ruolo importante ebbe la definizione nel 1987 del linguaggio VHDL (VHSIC Hardware Description Language<sup>23</sup>) come standard IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), di cui nel 1993 uscì una versione aggiornata. In questo scenario, CSELT riorientò l'attività indirizzandola allo sviluppo di una libreria di macroblocchi (Intellectual Property) che trasferisse sul silicio le proprie competenze tecnologiche e sistemiche. Nacque la *VIP Library*<sup>TM</sup>, che si ampliò nel corso degli anni. Il prodotto, utilizzato dapprima in progetti interni e poi rilasciato a importanti aziende del settore ICT, quali Italtel, ST, Ericsson, MeshNetwork e Nokia, fu inserito poi in cataloghi internazionali. Il prodotto si è evoluto negli anni seguenti in VIPLATFORM, un ambiente sistemistico completo, dove gli acceleratori hardware e il software di programmazione dei processori integrati su silicio coesistono con i generatori per la simulazione e la verifica. Le piattaforme sviluppate hanno così consentito a TILAB, dal 2000 al 2004, la realizzazione di sistemi complessi, quali il livello fisico per sistemi radiomobili di terza generazione, Access Gateway, sistemi di cifratura per la sicurezza e sono stati segnalati dagli analisti del settore, quali Gartner e Future Horizon, come prodotto innovativo e leader per i contesti applicativi ICT<sup>24</sup>.

Un esempio di un macroblocco della *VIP Library*<sup>TM</sup> è la "Macrocella estrazione clock" (Fig. 25) realizzata nel 1997 in collaborazione con Motorola, che opera su un flusso dati seriale a 25 e 155 Mbit/s ed è adatta a operare anche in ambiente plesiocrono.

<sup>21</sup> Telecom Italia Lab, 2005, p. 101.

<sup>22</sup> E. Filippi, A. Montanaro, M. Paolini e M. Turolla 1999.

<sup>23</sup> A sua volta VHSIC sta per "Very High Speed Integrated Circuits" che fu un progetto del Dipartimento della Difesa americano.

<sup>24</sup> Telecom Italia Lab, 2005, p. 101.

## Rete intelligente e rete di segnalazione

La segnalazione su canale comune CCITT N.7 (SS7), come standard mondiale per i protocolli tra le centrali di commutazione la cui prima versione fu definita nel 1980, portò con sé l'introduzione nelle telecomunicazioni di nuovi concetti: rete di segnalazione e rete intelligente.

Con rete di segnalazione s'intende l'insieme delle funzioni e procedure che permettono lo scambio d'informazioni tra i Controlli delle centrali indipendentemente dal fatto che siano o meno collegate direttamente da circuiti di conversazione. I nodi di transito della rete di segnalazione sono detti STP (Signaling Transfer Point). Questa impostazione facilitò la realizzazione della cosiddetta rete intelligente basata sull'interazione delle centrali di commutazione con nuovi elementi di rete, detti SCP (Service Control Point), che incorporano le funzioni di Database e di moduli di logica centralizzata per realizzare un determinato servizio o prestazione. Altri elementi della rete intelligente sono i SN (Service Node), periferiche delle centrali di commutazione in grado di svolgere, sotto il controllo dell'SCP o del Controllo dell'autocommutatore, funzioni di sensore/attuatore nell'interazione con l'utente.

L'insieme di queste innovazioni ha rappresentato, a livello di intera rete telefonica, il passaggio dalla logica centralizzata (nel Controllo di ciascuna centrale) alla logica distribuita (a livello di rete).

Esempi di servizi, particolarmente rilevanti in termini di utilizzo, realizzati con la "rete intelligente" sono il numero verde e il tele-voto.

Nel seguito sono illustrati alcuni dei risultati più rilevanti conseguiti dallo CSELT.

- 1989-99 Definizione dei protocolli di segnalazione per rete nazionale e recepimento/allineamento degli standard internazionali  
La segnalazione su canale comune e la sua standardizzazione a livello mondiale sono state gli strumenti indispensabili per realizzare la piena interoperabilità tra le centrali di commutazione di diversi costruttori<sup>25</sup>. Impegno continuativo dello CSELT fu di garantire il pieno allineamento tra protocolli nazionali e standard internazionali anche riguardo all'introduzione di nuovi servizi e prestazioni, quali ad es. il servizio di richiamata (automatica) su occupato (Fig. 27 del 1997), che permette all'utente di essere avvisato quando il chiamato occupato diventa libero e di stabilire quindi automaticamente la chiamata con la semplice digitazione del tasto 5<sup>26</sup>, e il servizio di "number portability", ossia la possibilità offerta all'utente di mantenere il proprio numero di elenco nel passaggio da un operatore a un concorrente, nel contesto della liberalizzazione

<sup>25</sup> La decisione di abbandonare l'obiettivo originario del Gruppo STET di impiegare un sistema di commutazione numerico nazionale unico fu formalizzata con la Delibera del CIPI (Comitato Interministeriale per il Coordinamento della Politica Industriale) 10044 del 16/10/79 (G.U. del 22/11/79).

<sup>26</sup> Il 5 è l'unico tasto con un pallino in rilievo, ed è quindi ergonomicamente indicato in condizioni di scarsa visibilità.

del servizio telefonico (1999).

- 1991-99 Prototipazione, qualificazione e impiego del SCE (Service Creation Environment)

Le potenzialità della rete intelligente richiesero di creare un ambiente (SCE) in cui sviluppare e testare (dal punto di vista sia funzionale sia dell'usabilità da parte del cliente) nuovi servizi.

CSELT nei primi anni sviluppò per proprio uso interno un nucleo embrionale di SCE (Fig. 28) e in seguito definì per SIP le specifiche di un sistema industriale e agì come integratore dell'SCE di 2<sup>a</sup> generazione nella rete nazionale.

- 1994-96 Studio, prototipazione, sperimentazione e specifiche dei Service Node (SN)

Le funzioni svolte dai Service Node comprendono: riconoscimento della selezione a tastiera dopo l'instaurazione del collegamento e suo eventuale inoltro all'SCP (ad es. per raccogliere i risultati del televoto, ma anche per trasferire la lettura dei contatori del gas), invio di annunci verbali eventualmente ottenuti per sintesi vocale, riconoscimento di comandi vocali da parte dell'utente, funzioni di segreteria telefonica centralizzata. Questo nuovo elemento di rete si prestò bene a una rapida prototipazione e sperimentazione da parte CSELT sulla base delle competenze e prodotti sviluppati in diversi comparti. In una seconda fase, il Centro supportò SIP nell'acquisizione del prodotto ingegnerizzato sulla base delle specifiche predisposte.

- 1990-2000 Partecipazione attiva a TINA (Telecommunications Information Networking Architecture)<sup>27</sup>



**Figura 27** Servizio chiamata su occupato (1997).

**Figura 28.** Ambiente di sviluppo Rete Intelligente (1991).

<sup>27</sup> cfr. Lapierre, Mossotto et al. 1999.



**Figura 29.** TINA test bed ATM (1993).

Dalla seconda metà degli anni '70 si tentò di individuare e definire metodologie che permettessero di strutturare il software del Controllo delle centrali di commutazione ad alto livello lasciando a strumenti automatici la loro traduzione in programmi oggetto. Si è già avuto modo di accennare al linguaggio SDL che ha avuto un notevole successo, anche al di fuori delle

telecomunicazioni. Come linguaggio di programmazione vero e proprio il CCITT standardizzò nel 1980 il CHILL (CCITT High Level Language), linguaggio di programmazione procedurale simile per dimensioni e complessità all'ADA<sup>28</sup>. L'obiettivo del linguaggio era molto ambizioso: permettere al gestore di poter procedere autonomamente a integrazioni (al limite anche modifiche) al software delle centrali per l'introduzione di nuove prestazioni. Sebbene alcuni costruttori (in particolare Nortel) lo abbiano adottato, il linguaggio non ha avuto successo e nel 1999 il UIT-T (successore del CCITT) ha deciso di abbandonarlo.

Con l'introduzione delle reti intelligenti nasceva l'opportunità per tentare un nuovo approccio alla definizione di un modello informatico condiviso della rete di telecomunicazioni. TINA prese il suo avvio nel 1990 come semplice Tina Workshop e prese la forma di Consorzio (TINA-C) alla fine del 1992 con lo scopo di produrre un insieme di specifiche dell'architettura software, validate da vari esperimenti. Nel periodo 93-97 all'interno del Consorzio operò nel New Jersey un Core Team, un gruppo permanente di ingegneri che operarono a rotazione. Il Consorzio si dissolse alla fine del 2000. Lo CSELT operò in TINA-C a tutti i livelli di responsabilità: dalla Presidenza del Consorzio tenuta da Cesare Mossotto nel triennio 95-97 alla partecipazione di una decina di ricercatori al Core Team. Da ricordare anche il grande contributo dato dall'ing. Giuseppe Giandonato nell'ambito del Comitato Tecnico, di cui fu Vice Presidente. Sebbene i risultati di Tina non siano stati implementati nella forma specificata, essi hanno costituito la base per importanti sviluppi industriali (a es. Parlay Group e sue interfacce). Nel 1989-93 CSELT sperimentò l'architettura TINA nell'ambito del test

<sup>28</sup> L'ADA è un linguaggio di programmazione "general-purpose" sviluppato verso la fine degli anni settanta su iniziativa del Dipartimento della Difesa (DOD) degli Stati Uniti.

bed ATM (Fig. 29), già trattato in precedenza, che fu sviluppato nell'ambito di vari progetti europei e del Progetto finalizzato "Telecomunicazioni" del CNR, oltre che di numerosi progetti interni.

- 1998-2001 Softswitch e Protocollo SIP

Con lo sviluppo delle reti internet sta diventando progressivamente interessante la gestione su tali reti anche di applicazioni di telefonia su IP o VoIP (Voice Over IP). Il termine Softswitch indica un sistema in grado di gestire le chiamate telefoniche su tali reti. Il Softswitch è composto da un hardware, normalmente un server basato su un sistema operativo Unix, con un software in grado di gestire la segnalazione telefonica H.323 o SIP su reti IP e, in alcuni casi, anche la SS7 nell'interconnessione con la rete telefonica. Il Softswitch può eventualmente gestire anche il flusso vocale. Dal 1998 CSELT ha avviato gli studi sul protocollo SIP (Session Initiation Protocol), definito dalla RFC 3261, che si è aggiunto, insieme al VoIP, ad altri protocolli "classici" del Livello applicazioni nella Suite di protocolli Internet<sup>29</sup>. SIP gestisce in modo generale una sessione di comunicazione tra due o più entità, ovvero fornisce meccanismi per instaurare, modificare e terminare (rilasciare) una sessione. Attraverso il protocollo SIP possono essere trasferiti dati di diverso tipo (audio, video, messaggistica testuale, ecc). CSELT valutò con grande interesse le potenzialità di SIP nel favorire un'architettura modulare e scalabile e la considerò il miglior candidato per trasferire nel contesto delle reti IP le esperienze accumulate nelle reti intelligenti e in TINA. In particolare CSELT ha sviluppato un Service Creation Environment (SCE) nel contesto del protocollo SIP e in generale del Softswitch ed ha contribuito attivamente allo sviluppo dello standard nel contesto dell'IETF (Internet Engineering Task Force).

## Reti dati e *networking*

È noto come è andata a finire: ha vinto internet, un outsider nel mondo delle telecomunicazioni.

Ricercatori dello CSELT, in quanto membri della comunità scientifica, seguirono ben presto gli sviluppi di questa tecnica e nel 1989, quando fu formato il RIPE (Réseaux IP Européens), CSELT si collegò a internet tramite il Politecnico di Torino. Tuttavia, fino ai primi anni '90 anche lo CSELT, come istituzione, fu allineato a SIP nel considerare internet come un'eresia e solo nel 1996 acquisì la determinazione di predisporre se stessa e il Gruppo alla "conversione". Nel seguito sono illustrati i tratti essenziali di questa evoluzione e delle realizzazioni del Centro.

- anni '70 – Inizio studi delle reti a pacchetto

Il 1969 è considerato l'anno di nascita di internet, con quattro computer che sono connessi tra di loro in quella che è l'inizio di ARPANET. La prima vera dimostrazione di ARPANET avviene 3 anni dopo all'International Computer

<sup>29</sup> Fanno parte del Livello applicazione della Suite Internet ad es. FTP, POP3 e SMTP.

Communication Conference (ICCC). Con l'incoraggiamento del settore Nuove Tecniche della SIP, diretto dall'ing. Paolo de Ferra, lo CSELT seguì fin dall'inizio lo studio delle reti a pacchetto, ma presto gli studi furono orientati sulle reti X25 piuttosto che su internet. In retrospettiva, si può ben dire che non si sarebbe potuto fare diversamente. A quei tempi, SIP era Concessionaria solo dei servizi telefonici; una Convenzione normativa assegnava a SIP anche il ruolo di interfaccia verso l'utenza per i servizi di "trasmissione dati" svolti su rete telefonica commutata e su circuiti diretti (affittati), ma le comunicazioni dati erano ancora assimilate al servizio telegrafico di cui la Direzione Telegrafi del Ministero delle Poste e Telecomunicazioni aveva la titolarità. Si apprezzavano le considerazioni del Rapporto Nora<sup>30</sup> sullo sviluppo della telematica diffusa (Videotel) e sul ruolo che le telecomunicazioni avrebbero potuto giocare: nascita del concetto di "network centric" in opposizione a quello di "host centric" (sarebbe meglio dire "mainframe centric") allora ostinatamente perseguito da IBM.

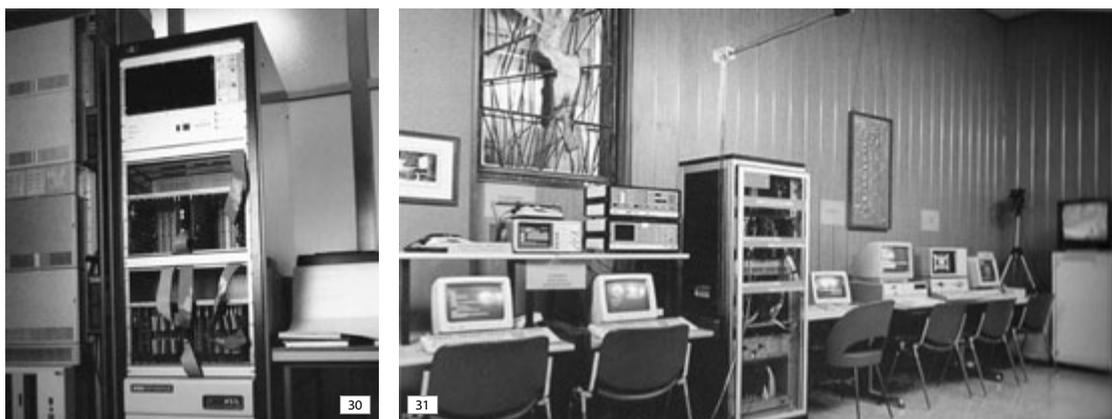
Peraltro, anche per i più avveduti non esisteva nessuna possibilità di intraprendere avventure che non si appoggiassero sugli standard che stava definendo il CCITT, l'organismo mondiale di standardizzazione delle telecomunicazioni. Gli esempi di Francia e Spagna incoraggiavano in questo senso. D'altra parte, si deve ricordare che a quei tempi, con una rete di telecomunicazioni sostanzialmente analogica e i terminali dati poco evoluti, le reti X25 erano potenzialmente in grado di fornire un significativo valore aggiunto in termini di: 1) controllo del tasso di errore all'interno della rete (attraverso meccanismi di ritrasmissione tratta per tratta) che garantiva all'utente un servizio di trasporto di qualità ben superiore a quella fornita dai mezzi trasmissivi terminati da modem; 2) accesso alla rete da parte non solo di futuri terminali X25 ma anche di una pleora di terminali start-stop a bassa velocità (interfaccia X28). In retrospettiva, in effetti, è con le reti X25 che nasce il concetto di Core-Edge poi concettualizzato nelle reti ATM.

- 1979-80 ITAPAC

Il contributo di CSELT nella realizzazione della rete X25 italiana (Itapac) fu determinante non solo in termini tecnici, ma anche nel legittimare la SIP come co-gestore della rete in coordinamento con il Ministero P.T. Fondamentale fu l'apporto di Norberto Corsi. La prospettiva di una rapida disponibilità dell'ISDN e il ruolo acquisito dalla SIP in Itapac furono tali da essere sanciti nella nuova Convenzione del 1984, a valle della quale SIP cambiò la propria ragione sociale da SIP – Società Italiana per l'esercizio telefonico p.a. in SIP – Società Italiana per l'esercizio delle telecomunicazioni p.a. Dal punto di vista tecnico, il contributo CSELT si concretò in:

- progettazione e sviluppo di prototipi degli ACP, ossia degli edge della rete X25, industrializzati da Italtel (Fig. 30);
- importante contributo a Ministero P.T. e SIP alle Specifiche della Rete Nazionale.

<sup>30</sup> Nora 1979.



**Figura 30.** Adattatore Concentratore di Pacchetti (ACP) Itapac (1980).

**Figura 31.** LION (1989).

- 1983-89 LION (Fig. 31)  
Studio delle reti metropolitane per dati (MAN) e realizzazione del prototipo LION nell'ambito di un progetto europeo. Il sistema adottava una topologia ad accesso ibrido distribuito su fibra ottica a 140 e 565 Mbit/s e realizzava una piena integrazione tra dati, voce e video. Gli interessi industriali (da parte di NKT Elektronik, partner nel progetto, e SIRTI) non si concretarono a seguito di valutazioni di mercato per il consolidarsi in questo settore dei protocolli FDDI (Fiber Distributed Data Interface).
- 1983-98 ATM  
L'evoluzione dei mezzi trasmissivi, con la diffusione delle fibre ottiche aveva ridotto drasticamente il tasso di errore all'interno della rete. Ciò consentì di demandare interamente il controllo degli errori agli estremi (Edge) della connessione, lasciando alla rete (Core) il solo compito di trasportare il bit stream utilizzando nodi di commutazione dotati di protocolli di linea molto leggeri ed efficienti dal punto di vista computazionale. Ne conseguì una notevole semplificazione architettonica rispetto alle reti X25<sup>31</sup>. Ciò che mancò nel confronto tra ATM e TC/IP (internet) è la comprensione che proprio grazie alla drastica riduzione del tasso di errore dei mezzi trasmissivi all'interno della rete il controllo degli errori end-to-end, proprio di TC/IP, non presentava svantaggi rispetto a quello Edge-to-Edge. Con la diffusione di TC/IP nei terminali (PC, server, mainframe) veniva meno la motivazione per i protocolli ATM che sarebbero risultati meramente aggiuntivi. Ma questa conclusione fu percepita con ritardo da tutto il comparto telecom a livello mondiale. In ogni caso a CSELT apparve presto chiaro che il destino di ATM si sarebbe giocato nella sua capacità o meno di essere attraente per l'utenza dati e nel 1995 diede un contributo essenziale per la progettazione e realizzazione della

<sup>31</sup> Biocca 2002, p. 259.

rete commerciale ATMosfera della Divisione Business di Telecom Italia. Nel 1997 la rete ATMosfera assunse, sempre con il supporto di CSELT, il ruolo di elemento di integrazione fra le più diffuse componenti di servizio dell'offerta commerciale della Divisione Business nel campo dati: *Frame Relay*, X.25 e IP, estendendone la capillarità a 250 punti di presenza sul territorio nazionale.

- 1994-2000 Internet

Abbracciato il paradigma di internet, CSELT ne diventa convinto attivo sostenitore. Nel seguito saranno ricordati alcuni punti di particolare rilievo:

- partecipazione, fin dalla sua costituzione (1995) al World Wide Web Consortium (W3C), nato per iniziativa europea, ma condiviso dagli USA, allo scopo di limitare l'esclusivo dominio americano nello sviluppo di internet. Dal 2001, la partecipazione di CSELT è stata sostituita da quella dello spin-off Loquendo che è diventato uno degli attori più influenti negli standard VoiceXML;
- partecipazione nello stesso periodo ai lavori dell'Internet Engineering Task Force (IETF), e in particolare partecipazione al primo nucleo (1998) di 6bone, la dorsale Internet di nuova generazione basata sul protocollo IPv6;
- 1995 contributo dello CSELT al progetto e sviluppo della postazione d'utente e del Centro servizi di Telecom Online, predecessore di TIN.IT, che realizzò per la prima volta in ambito Telecom Italia la funzione ISP svolta adesso sotto il marchio Alice;
- dal 1997, supporto alla Divisione Business di Telecom Italia e alla controllata TIN nella costituzione e sviluppo della rete Interbusiness e di TIN.IT. Da ricordare in particolare l'ideazione e sviluppo del meta-motore di ricerca Netsonar che raggruppava le informazioni provenienti dai diversi motori di ricerca del tempo (Altavista, Excite, ecc.);
- 1999 integrazione, sulla base di prodotti industriali e di autonomi sviluppi software di un dimostratore PABXless (ossia telefonia in ambito aziendale senza centralino), che integrava nella rete intranet dello CSELT le funzioni di un centralino telefonico, evidenziando i potenziali vantaggi per l'utenza e l'impatto, in termini economici e di struttura, sulla rete di telecomunicazioni.

## Sistemi radiomobile

Il tema è trattato unitariamente nel capitolo "Reti, servizi cellulari e *wireless*" di Gabriele Falciasacca e Decio Ongaro. Nel seguito ci si limiterà quindi a evidenziare i principali specifici contributi dello CSELT.

- 1966-85 Questo ventennio pionieristico fu caratterizzato dai primi sistemi radiomobili analogici RTMI a 160 MHz e RTMS a 450 MHz cui CSELT contribuì principalmente con le prove in campo e gli studi concernenti la propagazione e copertura. In particolare, nella prima metà degli anni '80 CSELT realizzò il primo prototipo di *RASPUTIN™* (Radio Strength Prediction Using Territorial INputs), l'applicazione software per le previsioni di campo con una risoluzione inizialmente di 250 metri. *RASPUTIN™* fu uti-

lizzato, in stretta collaborazione con SIP e ITALTEL, per la pianificazione della rete mobile analogica a 450 MHz: previsioni di copertura (anche con le prime antenne settoriali), selezione dei siti, misure per l'assegnazione frequenziale all'epoca non ancora automatica.



Figura 32. Prototipi ricetrasmittitori GSM (1988).

Le diffuse campagne di misure, che

CSELT effettuò nel corso degli anni, furono fondamentali anche per la validazione dei modelli di copertura elettromagnetica per tutti i sistemi, dall'RTMI all'UMTS. A tale scopo furono appositamente attrezzati vari veicoli. Da citare anche l'attività di qualificazione delle antenne, importante non solo per assicurare la qualità del servizio ma anche per garantire un allineamento tra modelli utilizzati in *RASPUTIN*<sup>TM</sup> e le caratteristiche delle antenne in condizioni reali di esercizio (altezza, azimut, ecc.).

- 1990-92 TACS (Total Access Communication System)  
*RASPUTIN*<sup>TM</sup> fu aggiornato introducendo i modelli previsionali adatti anche per frequenze intorno ai 900 MHz e migliorandone le prestazioni computazionali indispensabili per passare da applicazioni limitate agli autoveicoli ai cellulari portatili. Inoltre, si provvide a un progressivo miglioramento delle informazioni cartografiche creando una base dati descrittiva del territorio, in particolare per le aree urbanizzate, e si misero a punto i primi algoritmi di pianificazione frequenziale automatica, basati su algoritmi euristici di ricerca operativa. In quest'ambito vide la luce l'applicativo *FREPLAN*<sup>TM32</sup>.
- 1985-96 GSM  
 Dal punto di vista degli studi e sviluppi di sistema, si ricordano:
  - 1986 sviluppo di prototipi di ricetrasmittitori a 300 kbit/s con modulazione di fase a involuppo costante (Fig. 32), nell'ambito della definizione in sede internazionale delle caratteristiche base del sistema GSM (alternativa tra banda stretta, media di 2 MHz, o larga);

<sup>32</sup> La prima generazione di stazioni radio base TACS richiedeva il settaggio manuale delle frequenze; il rapido sviluppo del servizio impose di ridefinire in modo continuo (una volta al mese) il piano di assegnazione delle frequenze. Fu quindi necessario sostituire tutti gli apparati di canali radio con una nuova versione che permettesse il settaggio automatico sotto il controllo del centro di supervisione della rete, alimentato con i risultati del programma *FREPLAN*<sup>TM</sup>.

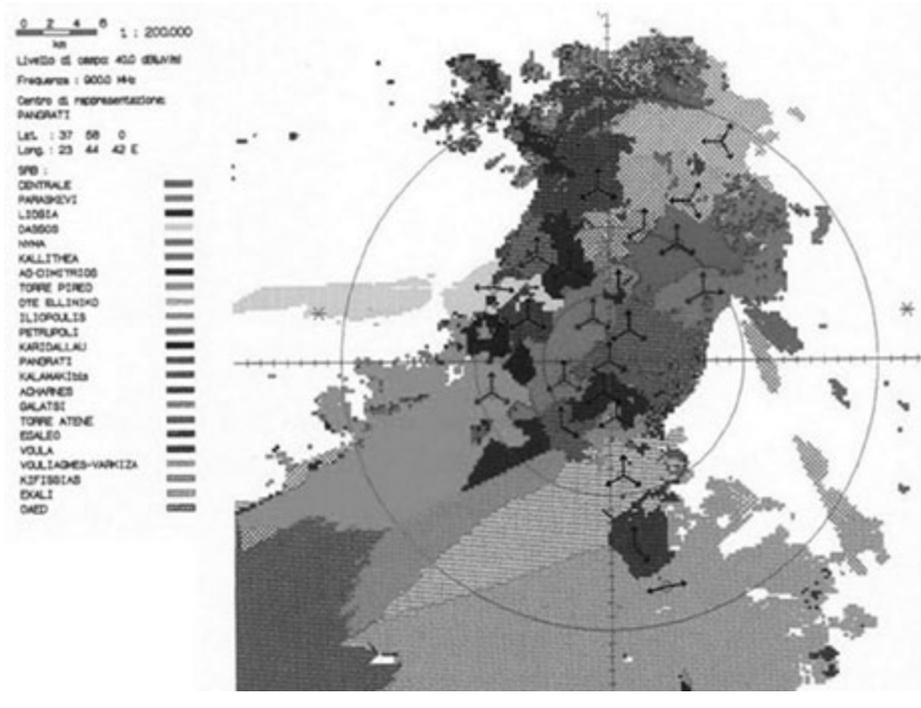


Figura 33. Copertura GSM Atene (1992).

- 1987-88 collaborazione, coordinata da SIP, con Italtel e Telettra per la validazione delle specifiche radio del sistema GSM, redatte in sede europea;
- 1992-96 partecipazione allo standard per la codifica del segnale vocale con algoritmi CELP Code Excited Linear Prediction, per half-rate ed enhanced.

Per quanto riguarda i sistemi di pianificazione CSELT, sono rimarchevoli due elementi:

- dalla fine degli anni '80, i sistemi CSELT sono sistematicamente utilizzati per la partecipazione a una serie di gare per l'acquisizione di licenze in varie nazioni europee e di tutto il mondo. Le attività portarono all'acquisizione di licenze e alla nascita della maggior parte degli operatori esteri della galassia Tim (vedi Figura 33 relativa alla licenza in Grecia). Dal connubio tra sviluppi internazionali e nuovi studi algoritmici e di modellistica nacque una serie di strumenti, adattati alle singole esigenze degli operatori, che sono stati utilizzati per costruire la nervatura delle reti estere. Nell'ultimo bilancio CSELT del 2000, gli introiti per le attività per servizi di telecomunicazioni all'estero raggiunsero il 9% del totale per un importo di oltre 13 milioni di €;
- si consolidano le competenze nell'ambito della previsione di copertura, del calcolo delle interferenze e nell'assegnazione frequenziale. In particolare per quest'ultima si passa da *FREPLAN*<sup>TM</sup> a *FREQUENT*<sup>TM</sup>, basato su un algoritmo meta-euristico di tipo "Tabu Search" che ricerca

una soluzione ottima di una data funzione di costo. Con lo sviluppo dell'utenza GSM, nasce l'esigenza di trasferire l'impiego di *RASPUTIN™* e *FREQUENT™*, nell'ambito Tim che, nel 1997, decentra la responsabilità della pianificazione cellulare alle strutture organizzative territoriali. Per CSELT diventa necessario adeguare gli applicativi alla nuova struttura di planning e definire con Tim metodologie di lavoro coerenti con la nuova organizzazione. A fine anni '90 nasce così *TIMPLAN™*, il nuovo sistema per la pianificazione cellulare, che integra tutti gli strumenti precedenti e copre l'intero processo di planning: dall'inserimento dei siti, alle previsioni di campo, dall'assegnazione frequenziale, alla valutazione delle interferenze sul territorio, alla gestione dei dati misurati e infine alla produzione dei dati da caricare nei nodi di controllo della rete. *TIMPLAN™* è stato usato dalle reti territoriali Tim dal 1999, e in seguito è stato fatto evolvere per supportare la pianificazione delle evoluzioni tecnologiche del GSM quali l'EDGE.

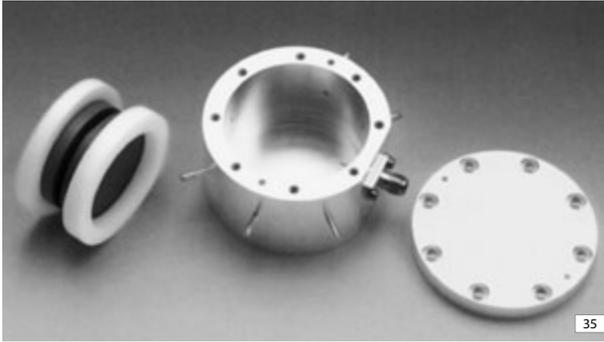
- 1992-2000 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)  
CSELT è stato attore di primo piano nella definizione delle caratteristiche del sistema UMTS (per quanto riguarda sia il sistema radio, sia l'architettura complessiva del sistema) attraverso la partecipazione attiva negli organi di standardizzazione e in numerosi progetti di ricerca europei, con un grande contributo anche personale da parte dell'ing. Giovanni Colombo.

Si segnalano inoltre:

- 1998 partecipazione per conto Tim alla prima sperimentazione del sistema UMTS in collaborazione con Ericsson. Nella Figura 34 è illustrato il prototipo funzionale del terminale mobile UMTS della Ericsson utilizzata per eseguire a Torino le prime prove in campo a livello mondiale con un mobile in movimento. Tutte le funzioni contenute in quello che sembra un frigorifero sono poi state integrate in un cellulare del peso inferiore a 100 g (batteria compresa)! L'integrazione a larga scala ha tolto ogni corrispondenza nell'aspetto fisico, e nel costo; tra prototipo funzionale e prodotto finito, specialmente nel settore consumer. Diventa meno importante quali sono le funzioni implementate, mentre diventa essenziale il volume della produzione;



**Figura 34.** Prototipo funzionale terminale mobile UMTS (1998).



**Figura 35.** Filtro TX per stazioni base UMTS (2000).

**Figura 36.** CSN – Centro Supervisione Nazionale (1988-89).

– 1998–2000 tra i contributi a soluzioni industriali dello CSELT, spicca la progettazione e realizzazione di un filtro TX per applicazioni in stazioni base UMTS sviluppato utilizzando le competenze accumulate nel campo spaziale (Fig. 35). Caratteristiche innovative sono: risposta elettrica con zeri di trasmissione generati unicamente nelle cavità di ingresso/uscita e caricamento con dielettrico delle cavità risonanti per ridurne le dimensioni geometriche. Questa realizzazione è stata oggetto nel 2000 della stipula di un contratto con Forex per passare alla produzione industriale. Dal 1999 si è inoltre proceduto all'evoluzione di *TIMPLAN*<sup>TM</sup> per

supportare la pianificazione UMTS mettendo a valore il know how acquisito in particolare nel progetto europeo STORMS. Nel 2000 CSELT ha così potuto giocare un ruolo fondamentale nel supportare Tim nelle fasi di gara per l'assegnazione delle licenze UMTS in Italia, Francia, in Grecia e in Spagna. *TIMPLAN*<sup>TM</sup> è stato impiegato anche per le gare in Austria e Francia ed è risultato di grande interesse anche per gestori mobili di altri Paesi.

Nel 2007 viene fornito un contributo per l'analisi della redditività dei sistemi WiMax per il supporto alla partecipazione di Telecom Italia alla gara di assegnazione delle frequenze. Da rilevare, inoltre, lo svilupparsi di competenze sul settore dei widgets per la creazione di applicazioni sugli smartphone che caratterizza la ricerca negli anni 2008–2009.

### Pianificazione e gestione di rete

Le realizzazioni dello CSELT nel campo della Pianificazione e Gestione sono state innumerevoli, proprio per la sua natura di Centro di ricerca concepito in funzione delle necessità dell'operatore. Nel seguito si accenna ad alcune im-

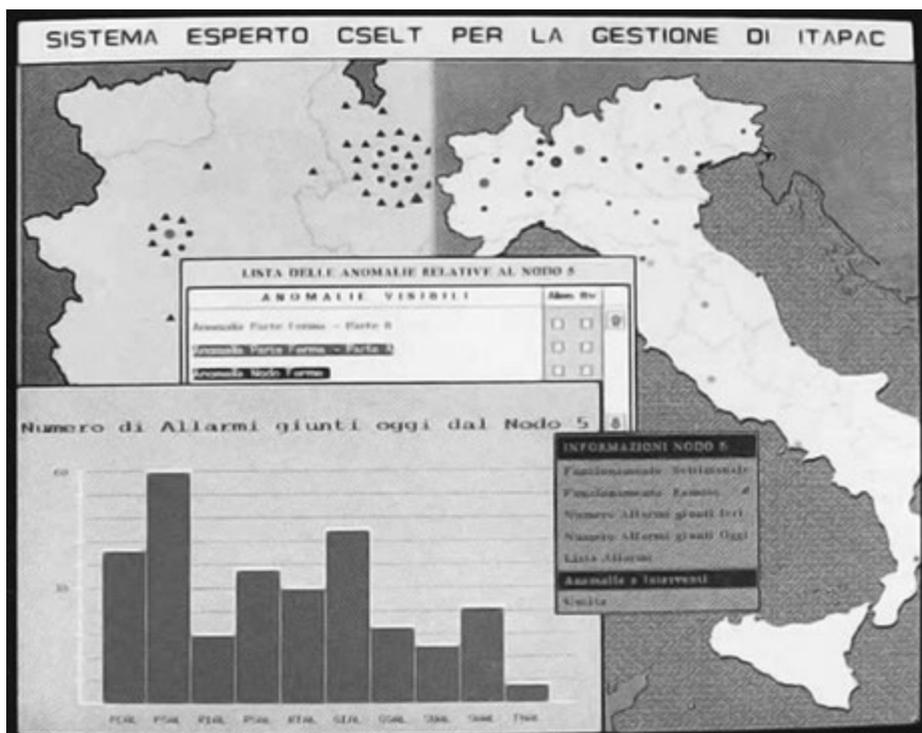


Figura 37. Sistema esperto IAS - Itapac Assistance System (1988).

portanti realizzazioni in aggiunta a quelle già prima citate (sistemi *gerovital* tipo il CATTO per l'Italcable e sistemi di pianificazione cellulare).

- 1986-89 CSN – Centro Supervisione Nazionale (Fig. 36)  
 Concepito e progettato in CSELT per la supervisione in tempo reale della rete teleselettiva nazionale, costituisce un esempio degli studi e realizzazioni dello CSELT nella definizione dell'architettura e dei protocolli della TMN (Telecommunication Management Network). Fu messo in servizio nell'omonimo Centro della SIP che si arricchì nel tempo di crescenti funzionalità a cura di Telesoft. Negli anni '90 l'adozione del paradigma del Web nei sistemi di gestione e lo sviluppo di architetture SOE (Server Object Extensions) e MaD (Management by Delegation), cui CSELT ha dato un forte contributo, hanno permesso al gestore di disporre di una piattaforma elaborativa che abilita l'interoperabilità tra applicazioni gestionali e di controllo di rete.
- 1988-95 Sistemi esperti per gestione guasti, assistenza vendite, ecc.  
 Sulla base di un investimento fatto da CSELT nella prima metà degli anni '80 nell'intelligenza artificiale e in particolare nella tecnologia dei sistemi esperti, dalla seconda metà degli anni '80, CSELT sviluppò una serie di sistemi per la gestione dei guasti, quali:
  - 1988 sistema IAS-Itapac Assistance System (Fig. 37) per la supervisione e la guida alla riparazione dei guasti della rete Itapac;



Figura 38. RAPID Sistema per il Workforce Management (1996).

– 1991 sistema SINERGIA per la gestione della rete trasmissiva che, attraverso l’analisi delle propagazioni di allarme di rete, consentì di ridurre di uno/due ordini di grandezza il numero delle segnalazioni, effettivamente rilevanti, inoltrate agli operatori.

In seguito, man mano che il servizio offerto diventava più articolato, CSELT sviluppò anche sistemi di supporto alla forza vendita/assistenza, quali INES e MIDA per reti ISDN.

- 1992 Sviluppo e applicazione di metodi e strumenti per la valutazione dei costi di produzione del software per telecomunicazioni, basati sull’evoluzione di tecniche di riferimento quali i Function Points
- 1996–98 RAPID – Sistema per il Workforce Management (Fig. 38)  
La crescente attenzione di Telecom Italia al contenimento dei costi operativi portò lo CSELT a proporre, progettare e sperimentare in condizioni di reale esercizio il primo prototipo di Work Force Management di Telecom Italia, chiamato RAPID. Il sistema integrava diverse tecnologie, tra cui, programmazione a vincoli, sistemi esperti, localizzazione GPS e cartografia georeferenziata.

Nell’ambito della Pianificazione di rete, più che i diversi sistemi progettati e sviluppati da CSELT per il gestore, sono da ricordare tre break through concettuali introdotti da CSELT man mano che le esigenze operative e la disponibilità delle tecnologie informatiche lo resero opportuno:

- anni ’70–Definizione dei modelli su cui impostare gli studi di pianificazione di rete, avvalendosi di algoritmi di clusterizzazione dei dati tecnici, geografici ed econometri del territorio
- anni ’80–Passaggio dalla pianificazione fatta su modelli teorici a simulazioni a partire dai dati reali della struttura e consistenza di rete di specifiche porzioni del territorio
- anni ’90–Introduzione nella pianificazione di rete del concetto di “market driven” che permette di definire il piano di interventi sulla base dell’ottimizzazione del cash flow e non solo sulla minimizzazione dei costi finali. Presupposti per un efficace impiego di queste metodologie erano l’integra-

zione tra dati impiantistici e informazioni commerciali nonché il passaggio dalla cartografia raster (fino ad allora utilizzata da SIP come mera sostituzione del cartaceo) a quella vettoriale.

## Integratore di sistemi

Nel periodo tra il 1992 e il 1995, lo CSELT sviluppa una competenza distintiva e ad ampio spettro nell'applicazione di raffinate metodologie per il testing e il collaudo, funzionale e prestazionale, di catene gestionali complesse; si ricorda a tal proposito, la progettazione di tecniche orientate alla validazione/certificazione dei sistemi di commutazione e di gestione, e alla valutazione dei carichi limite. Questa competenza, unita alla padronanza dei sistemi e delle tecniche sottostanti, permette nel tempo di acquisire un'eccellenza nella integrazione dei sistemi. Si è già ricordato come essa sia stata utilizzata nel 1995-97 nella progettazione ed evoluzione delle reti ATMosfera e Interbusiness per la Divisione Business di Telecom Italia. Nel seguito sono illustrate due realizzazioni dello CSELT di particolare complessità.

- 1992-93 Integrazione della Rete Intelligente di prima generazione (Fig. 39)

Il primo passo fu la definizione (1990), da parte SIP con la collaborazione di CSELT, delle specifiche concernenti la definizione dei servizi, alla ripartizione funzionale tra i diversi elementi di rete (centrali di commutazione, nodi intelligenti SCP e periferiche intelligenti, precursori dei



**Figura 39.** Prove d'integrazione e Qualificazione a traffico Rete Intelligente (1992-93).

Service Node), alle interfacce e protocolli di segnalazione, nonché alle funzioni di esercizio, gestione e manutenzione. Su questa base Italtel e AT&T, allora legati da una partnership, provvidero ai relativi sviluppi: AT&T agli adattamenti alle specifiche SIP dei propri sistemi SPC e STP (in servizio in USA e basati sulla centrale ESS5), Italtel alle integrazioni nelle proprie centrali UT delle funzioni di competenza e all'interfacciamento della prima versione delle periferiche intelligenti. Nel 1992 CSELT assunse il ruolo di eseguire le prove di integrazione e qualificazione a traffico della rete intelligente, compito



**Figura 40.** Laboratorio prove e integrazione rete SDH (1997).

particolarmente complesso e gravoso data l'eterogeneità dei sistemi e la distanza (nella prima fase delle prove, SPC e STP si trovavano nei laboratori AT&T in USA). Inoltre CSELT doveva assicurare che interfacce e protocolli fossero implementati in modo rigorosamente conforme alle specifiche e agli standard internazionali per evitare incompatibilità con le

altre centrali della rete nazionale. Fu sviluppata una gran mole di test suite ed emulatori da integrare nell'ambiente di qualificazione costruito negli anni per le prove di qualificazione delle centrali. Parte non secondaria furono anche le prove di qualificazione a traffico e l'addestramento sullo SCE dell'AT&T per verificarne le prestazioni e permettere a SIP di acquisire un'adeguata autonomia nella gestione. Gli ingg. Alfredo Bosio ed Eugenio Guarene ebbero un ruolo essenziale nell'impostazione e realizzazione del progetto.

Lo stesso ciclo fu ripetuto nel 1998-99 per la qualificazione della 2<sup>a</sup> generazione di Rete Intelligente e STP. L'esperienza acquisita da tutti gli attori e la maturazione della tecnica rese l'impresa molto più semplice.

- 1996-99 SDH (Fig. 40)

L'introduzione in rete della prima generazione di apparati SDH presentò analoghe caratteristiche con la semplificazione di potere operare completamente in Italia, ma con una grande difficoltà aggiuntiva: dovere verificare fin dall'inizio la piena interoperabilità tra i sistemi SDH dei diversi fornitori della SIP, e con il sistema di gestione Network Manager SGSDH ancora in corso di sviluppo da parte di Telesoft. CSELT assunse il ruolo di integratore del progetto che fu coordinato con grande efficacia dall'ing. Fabrizio Gagliardi. La prima necessità fu definire un modello informativo degli elementi di rete, per loro natura realizzati prevalentemente in hardware. Era la prima volta che questo problema si poneva per apparati di trasmissione e CSELT lo risolse contribuendo in modo sostanziale allo sviluppo di questi modelli in sede di standardizzazione internazionale (UIT-T). Fatto questo passo, sviluppò autonomamente il sistema MOMIX, un emulatore di sistemi di gestione di apparati di rete che fu utilizzato sia per il testing degli apparati al fine della verifica della loro interoperabilità e successiva qualificazione, sia per il successivo testing funzionale e prestazionale del sistema di gestione Network Manager SGSDH dando un fondamentale contributo alla conclusione del suo sviluppo. Attraverso questa metodologia fu possibile rispettare la data di entrata in servizio stabilita nei programmi operativi della SIP. L'opera dello

CSELT fu valutata molto positivamente anche al di fuori del Gruppo (in particolare da Alcatel, che caldeggiò la presenza di CSELT in altri progetti SDH) ed ebbe una risonanza in campo internazionale tale che HP/Agilent esplorò la possibilità di definire con CSELT una partnership per aprire in Cina un centro dedicato alla qualificazione SDH.

## Tecnologie vocali

Loquendo, nata come spin-off di CSELT nel 2001, ha conquistato in questo settore una eccellenza che la pone ai primissimi posti nel mondo. Nel seguito sono tracciate le linee evolutive della ricerca CSELT nella sintesi da testo e nel riconoscimento vocale.

- 1975-2000 Da MUSA (MULTichannel Speaking Automation) a Actor™

Nel 1975 fu realizzato MUSA (Fig. 41), il primo sistema di sintesi da testo con una voce comprensibile ma ancora metallica. Il sistema divenne popolare nel 1978 quando fu allegato ad alcune riviste scientifiche il disco con la registrazione di “Fra Martino Campanaro” cantata, a più voci, da



**Figura 41.** Tecnologie vocali CSELT: Sistema multicanale di sintesi vocale MUSA (1975); Disco con la registrazione di “Fra Martino Campanaro” cantata da MUSA (1978); Servizio RailTel (1995); Sintetizzatore vocale LPC (1984).

MUSA. Il sistema aveva 8 canali di uscita indipendenti ed era composto da 6 schede. Nella Figura 41 è ricordata anche la realizzazione (1984) del circuito integrato VLSI full custom, già illustrato in precedenza, che compattava il sistema come periferica di uno Z80. La tecnica utilizzata da CSELT per sintesi della voce è basata sulla concatenazione di difoni (suoni di dimensioni minime corrispondenti alle transizioni tra due suoni vocalizzati) e con la tecnologia disponibile in quegli anni richiedeva l'impiego di hardware specializzato.

La disponibilità nel tempo di microprocessori sempre più potenti e di memorie sempre più grandi ed economiche, ha fatto sì che dagli anni '90 i sintetizzatori siano stati realizzati interamente in software e con una qualità rapidamente crescente. La prima generazione di sintetizzatori vocali aveva l'obiettivo di ottenere una buona intelligibilità e la memoria per l'archiviazione dell'intera base dati acustica era di soli 100 KB; il successivo sistema *Eloquens*™ (1993), con i suoi 1200 difoni, occupava 4 MB. Successivi sviluppi (1996) hanno ampliato il vocabolario a 30.000 elementi, con dimensioni

della base dati superiori ai 200 MB, e hanno introdotto una nuova tecnica di gestione detta a “selezione di unità non uniformi”. La realizzazione di un vocabolario così ampio ebbe come presupposto l’automatizzazione completa del processo di marcatura dei confini delle unità fonetiche dei campioni vocali da cui ricavare la base dati.

Nel 1999-2000 nasce *Actor*<sup>TM</sup>, che segna un salto qualitativo epocale: è perfezionata la tecnica a “selezione di unità non uniformi”, mettendo a punto metodologie per il progetto di ampi database vocali, ricchi di sequenze fonetiche e tipologie intonative. Parallelamente sono concepiti algoritmi di selezione prosodica, in grado cioè di scegliere i frammenti più adatti a riprodurre il ritmo e l’intonazione umana. Su questa base CSELT, e poi Loquendo, sono arrivati a creare voci artificiali, maschili e femminili, multilingua dotate di naturalezza timbrica e tali da essere difficilmente distinguibili da quelle umane.

- 1984 Realizzazione del circuito integrato RIPAC (Riconoscitore di Parlato Connesso)

Le prime ricerche nel riconoscimento vocale avviate all’inizio degli anni ’80 furono basate sull’uso di modelli markoviani per modellare il segnale vocale e portarono, attraverso l’uso di un minicalcolatore, all’analisi acustica in tempo reale di una ventina di parole pronunciate isolatamente. Il passaggio dal riconoscimento di parole isolate a parole connesse e intere frasi si ottenne con il circuito integrato RIPAC, realizzato in collaborazione con le società ELSAG e SGS, che aveva una complessità pari a 70.000 transistor. Dall’inizio CSELT si orientò allo studio e realizzazione di sistemi indipendenti dal parlatore, piuttosto che a quelli dipendenti dal parlatore che richiedevano di eseguire una fase di “addestramento” del riconoscitore che, a quei tempi, era abbastanza lunga, ma permetteva significativi miglioramenti nelle prestazioni. Questa scelta era coerente con l’interesse della SIP a sviluppare tecnologie idonee all’impiego in servizi accessibili da un utente generico attraverso la rete telefonica. Per lo stesso motivo, la ricerca si concentrò sul riconoscimento di segnali vocali limitati nella banda (lorda) di 4 kHz della rete telefonica: particolarmente gravoso per il riconoscitore era la perdita delle basse frequenze (fino a 300 Hz).

- 1997 Sviluppo e ingegnerizzazione del sistema di riconoscimento *FLEXUS*<sup>TM</sup>  
Il prodotto, interamente software, rappresentò un’importante tappa nello sviluppo di un buon riconoscitore a vocabolario flessibile. In questa realizzazione furono integrate le competenze acquisite da CSELT nel “riconoscimento” delle parole e nella “comprensione” del parlato naturale che fino al 1991 CSELT aveva sviluppato separatamente. Come nella comunicazione tra umani, è infatti opportuno che le ipotesi formulate nel riconoscimento di una specifica parola siano soppesate nel contesto del significato dell’intera frase. Per quanto riguarda la fase di “riconoscimento” delle parole, un significativo miglioramento si ottenne affiancando all’approccio markoviano quello delle reti neurali. Successivi miglioramenti sviluppati da CSELT e poi da Loquendo hanno riguardato il miglioramento delle prestazioni in generale, specificatamente in ambienti rumorosi (attraverso tecniche di “sottrazione” del rumore) e l’ampliamento del vocabolario utilizzabile in una specifica

applicazione. La sfida attuale della ricerca nel campo del riconoscimento vocale è di superare i limiti che l'utilizzo dei vincoli linguistici impongono a chi sviluppa applicazioni; per questo i ricercatori Loquendo lavorano al fine di permettere al riconoscitore di apprendere dalle interazioni con l'ambiente esterno, analogamente a quanto avviene nella comunicazione tra umani.

- 1986-2000 Sviluppo e messa in servizio di applicazioni

Man mano che si consolidavano i progressi sulle tecniche, dall'incrocio tra competenze acquisite e necessità del gestore, nacque l'opportunità di sviluppare e mettere in servizio applicazioni che rappresentarono nel loro tempo delle vere sfide. Le prime applicazioni furono concettualmente semplici come quella di riconoscere il "sì" o il "no" nell'ambito di un servizio "Collect Call" che la SIP intendeva lanciare nella seconda metà degli anni '80. Esso permise di concettualizzare la distinzione tra prestazioni del riconoscitore (probabilità di riconoscimento corretto della parola pronunciata) e prestazioni dell'intera procedura di dialogo, che comprendeva la richiesta all'utente di confermare che l'ipotesi riconosciuta fosse corretta. Considerazioni che appaiono ora banali ma che, concettualmente, sono antesignane dello sviluppo del linguaggio VoiceXML.

Nel seguito sono illustrate tre applicazioni veramente complesse.

- 1989-98 Automazione del servizio elenco telefonico numerico

Il progetto riguardò l'automazione del servizio 12 numerico che forniva il nominativo dell'utente sulla base del suo numero di elenco. Il progetto era di grande interesse per SIP, riguardando un 10-15% del totale delle chiamate al 12 e corrispondeva quindi all'impiego di centinaia di telefoniste. Con le tecnologie disponibili all'avvio (1989), il progetto presentava due importanti difficoltà: l'immensità del vocabolario (tutti i nominativi in elenco) e il miglioramento dell'intelligibilità della sintesi in un'applicazione in cui le parole (nomi e cognomi) erano avulse da ogni contesto che permettesse all'utente di "interpolare" quanto ascoltato. Non trascurabile era anche la necessità di sintetizzare nomi stranieri. Questi problemi diedero a CSELT una motivazione forte allo sviluppo di *Eloquens*<sup>TM</sup> di cui si è già parlato. L'ingegnerizzazione e l'integrazione del sistema furono eseguite da una ditta scelta da SIP. Il primo rilascio fu messo in servizio commerciale sperimentale nel 1992 a Roma. I successivi rilasci (con *Eloquens*<sup>TM</sup>) furono estesi a tutto il territorio nazionale nel 1993-94. Nel 1997 CSELT sviluppò una nuova generazione del sistema che, oltre ad introdurre i miglioramenti nel frattempo apportati a *Eloquens*<sup>TM</sup>, reingegnerizzò l'intero sistema basandolo su apparecchiature commerciali consentendo a TELECOM ITALIA di svincolarsi da soluzioni proprietarie. Il nuovo sistema fu messo in servizio su tutto il territorio nel periodo 1998-2000.

- 1997-2000 Automazione servizi elenco telefonico alfabetico

Il progetto (iniziato nel 1997) riguardò l'automazione del servizio 12 alfabetico di cui CSELT assunse la responsabilità non solo dello sviluppo ma anche dell'ingegnerizzazione su apparecchiature commerciali. Attraverso prove sperimentali in campo e continui miglioramenti tecnologici

(introduzione di *Actor*<sup>TM</sup> ed estensione del riconoscimento anche a Enti e Aziende), informatici (modalità di colloquio con il database SIP) e procedurali (individuazione degli interventi da eseguire nei data base SIP per una loro “pulizia” particolarmente per Enti e Aziende, modalità di rinvio all’operatore delle richieste per le quali il sistema non era in grado di dare una risposta compiuta) le prestazioni del sistema crebbero costantemente nel tempo raggiungendo nel 1999 la percentuale del 25% delle richieste completamente automatizzate e di un altro 30% di richieste parzialmente automatizzate. Nel 2000 il servizio fu integrato nella nuova piattaforma del Call Center Virtuale Unico del servizio 12, basato sulla tecnologia *VoxNauta*<sup>TM</sup>; le percentuali di successo crebbero ulteriormente riducendo a percentuali fisiologiche il rinvio all’operatore di supporto.

- 1995-1999 RailTel / FS Informa (Fig. 41)

RailTel è un progetto europeo, coordinato da CSELT, per la realizzazione di sistemi automatici di informazioni ferroviarie in diversi Paesi europei. Dal punto di vista tecnologico il sistema presenta la significativa novità di operare il riconoscimento del “linguaggio naturale”, vale a dire di accettare come input vocale una qualunque espressione linguistica con cui l’utente formula la domanda. Entrato in servizio sperimentale nel 1997, si aggiudica il primo premio Eurospeech, per la sua capacità di comprensione e per l’alta qualità del dialogo uomo-macchina. Nel 1998 si passa al servizio commerciale FS Informa, il cui sistema è interamente progettato e ingegnerizzato in CSELT e venduto alle FFSS utilizzando come canale una società del Gruppo Finsiel. Il sistema ha un tale successo di pubblico da raddoppiare nel giro di un anno il volume di traffico smaltito rispetto al dato del servizio manuale. Nel 2001 LOQUENDO introdusse anche per quest’applicazione la piattaforma *VoxNauta*<sup>TM</sup>.

Nel 2000, le attività e le risorse umane nelle Tecnologie Vocali sono configurate come Divisione Technovoice assegnandone la responsabilità al dott. Silvano Giorcelli, che per molti anni era stato responsabile della Direzione Commutazione, assegnandogli la missione di realizzare le condizioni per la societizzazione della Divisione. Come si è visto, nel settore delle Tecnologie vocali CSELT aveva raggiunto non solo una eccellenza tecnologica, di ricerca, ma anche la competenza di sviluppare prodotti, di portarli in campo e mantenerli. Aveva anche sviluppato un embrione di attitudine commerciale con clienti esterni al Gruppo. La minore distanza dal core business di Telecom Italia, rispetto a quello del settore delle Tecnologie Ottiche, rendeva quindi plausibile il progetto di trasformare il comparto CSELT in un’unità di business autonoma all’interno del Gruppo Telecom Italia. Il 24 gennaio 2001 nasce così Loquendo SpA, posseduta al 100% da CSELT, e Silvano Giorcelli ne diventa l’Amministratore Delegato, carica che mantenne fino alla scadenza del mandato nella primavera 2004.

In vista di questa societizzazione, nel corso del 2000 la Divisione Technovoice lancia il progetto della piattaforma *VoxNauta*<sup>TM</sup> che coniuga le tecnologie vocali con il Web. L’impiego della piattaforma non è diretto solo verso appli-

cazioni specifiche come il servizio elenco telefonico alfabetico e FS Informa ma alla creazione di un browser vocale che consenta la navigazione di un sito Web con pagine costruite secondo il linguaggio VoiceXML (allora in corso di definizione da parte del W3C). Inoltre, al fine di costituire fin dall'inizio una base per l'espansione del proprio business, prevede anche la navigazione delle pagine scritte in linguaggio html. A questo scopo, a guadagno di tempo e in un'ottica di breve termine, CSELT acquisisce una licenza d'uso (a volume e senza minimo garantito) di un browser vocale html dalla società americana Vocalpoint inc. di cui Telecom Italia aveva acquisito una partecipazione nell'ambito delle proprie attività di Venture Capital.

Purtroppo la nascita di Loquendo si combina con un progetto di finanza creativa, da bolla speculativa internet, fortemente voluto da Telecom Italia, che porta fatalmente alla fusione di Vocalpoint in Loquendo il 10 agosto 2001. Per una serie di ragioni (fine della bolla speculativa e inconsistenza di Vocalpoint) l'avventura Vocalpoint si rileva disastrosa e nella primavera 2002 l'ex Vocalpoint (divenuta Loquendo inc.) viene chiusa con gravi conseguenze economiche per Loquendo. Tuttavia, grazie al mercato captive assicurato nei primi anni da Telecom Italia e allo sviluppo di nuove tecnologie e prodotti riesce progressivamente ad affermarsi nel mercato aperto, tant'è che nel 2009 la quota di fatturato coperta dal mercato captive scende sotto il 20% e, da notizie di stampa, si cominciano a prefigurare aumenti di capitale riservati a nuovi soci esterni al Gruppo. Questa evoluzione sarebbe coerente con l'attuale posizionamento sul mercato e permetterebbe a Loquendo di ridurre i vincoli di appartenenza al Gruppo Telecom in particolare in termini di recruiting e gestione del personale.

La nascita di Loquendo come società autonoma comporta un formidabile cambiamento non solo in termini di attenzione ai problemi del mercato ben superiore a quella avuta nell'ambito CSELT, ma anche in termini di focalizzazione della propria ricerca. Perdono infatti progressivamente di significato i vincoli delle reti di telecomunicazioni (come slogan: il limite dei 4 kHz), l'attenzione si sposta dalle grandi applicazioni complesse (tipo quelle prima descritte) a quelle più semplici ma ripetitive e in particolare acquista grande rilievo il mercato EOM dei system embedded, che avvicina le tecnologie vocali al mercato consumer, e che nel 2009 ha rappresentato oltre il 30% del fatturato Loquendo. L'accelerazione di questa evoluzione è anche la conseguenza della decisione dell'azionista Telecom di cedere a un proprio fornitore, nel 2004, il ramo d'azienda Loquendo responsabile dell'attività di integrazione dei grandi sistemi vocali.

Da segnalare che ad agosto 2009, Loquendo è stato insignito da Speech Technology Magazine del "Market Leader Award" per gli alti punteggi ricevuti per "accuratezza, costo, personalizzazione e integrazione, e innovazione". Contestualmente l'ing. Paolo Baggia, Responsabile per gli Standard internazionali, ha ricevuto il "Speech Luminary 2009 Award". In una parola: Loquendo è diventata un'azienda commerciale fornitrice di tecnologie altamente innovative come testimoniano alcuni dati dell'esercizio 2009 tratti da Loquendo Newsletter Dicembre 2009:

- Oltre 10 milioni di sistemi di navigazione utilizzano tecnologie LOQUENDO nel mondo,

- Oltre 110 mila porte LOQUENDO sono installate in sistemi per applicazioni Call Center, PBX, IVR e Unified Communications technology, con una crescita annua a doppia cifra,
- Rafforzamento della sua posizione di mercato, con alleanze strategiche con leader di mercato in tutti i segmenti.

## Tecnologie multimediali

Gran parte delle realizzazioni CSELT in questo settore rientrano nelle tematiche trattate nei capitoli “L’Elaborazione numerica dei segnali” di Fabio Rocca e “Cinquant’anni di telecomunicazioni digitali ed uno sguardo al futuro: la convergenza informatica-telecomunicazioni e le nuove architetture di rete fissa” di Guido Vannucchi. Nel seguito si limiterà a tratteggiare gli aspetti fondamentali del contributo dello CSELT e in particolare del ruolo svolto dal dott. Leonardo Chiariglione cui si deve la definizione di alcuni degli standard più popolari dell’audiovisivo digitale.

- JPEG: lo standard della fotografia digitale, la cui tecnologia fu fornita, a seguito di una competizione tra diversi candidati, dal progetto ESPRIT PICA cui partecipò lo CSELT
- Gli standard MPEG universalmente adottati nella televisione digitale e in particolare:
  - MPEG-2, base della televisione digitale satellitare e terrestre<sup>33</sup>;
  - MPEG-4, nato per la trasmissione audio/video in formato digitale sulle reti interattive e a basso bit-rate, e che è ora la base per la televisione in alta definizione.
- MP3: lo standard della musica digitale, descritto come la parte dedicata alla codifica del segnale audio all’interno dello standard MPEG-1.

Tutti questi standard sono nati da Gruppi di Esperti (JPEG Experts Group, nato nel 1982 e MPEG Moving Picture Experts Group, nato nel 1988), costituiti nell’ambito dell’ISO/IEC JTC1/SC29 presieduto dal dott. Hiroshi Yasuda; in particolare MPEG nacque per iniziativa di Chiariglione ed è da lui presieduto.

Il successo dell’opera di standardizzazione di Chiariglione si fonda, oltre che su una chiara visione strategica e una indubbia dedizione e leadership nella conduzione del Gruppo di Esperti (che continua a comprendere più di 350 persone), sulla capacità di adottare un approccio cross-industry con l’adesione di tutti gli attori e i settori merceologici rilevanti: non solo telecomunicazioni e broadcaster, ma anche elettronica di consumo, computer, componentistica e, non ultimi, produttori di contenuto. L’efficacia di quest’approccio di creare formati “universali” evitò in questo settore la dissipazione di risorse (economiche e umane) che si è verificata nel campo delle comunicazioni dati.

<sup>33</sup> Balboni, Venuti 2005.

Dal punto di vista tecnico, il successo degli standard MPEG sta in particolare nell'approccio innovativo in base al quale non è standardizzato il codificatore ma, al contrario, il decodificatore. Ciò permette di introdurre nel tempo algoritmi di codifica di diversa complessità e costo, anche in funzione dell'evoluzione tecnologica, garantendo la compatibilità dei decodificatori conformi agli standard MPEG. Altra caratteristica importante è l'asimmetria della metodologia di compressione MPEG: codificatore più complesso del decodificatore. L'insieme di queste caratteristiche è essenziale per l'industria dell'audiovisivo in cui i fruitori (TV, lettori di DVD, ecc.) sono ben più numerosi dei generatori e diffusori dello stream multimediale.

Altri risultati in termini di standard sono tra gli altri:

- MHEG, nato dall'omonimo Gruppo di Esperti presieduto da Francis Kretz, che consente di aggregare entità di natura differente di presentazione (testi, immagini fisse e in movimento, brani, audio, ecc.) e di interazione (pulsanti, menù, ecc.);
- MPEG-7 e MPEG-21, orientati alla descrizione dei contenuti (in linguaggio XML) e alla loro ricerca;
- OPIMA, specifiche per un set top box aperto con definizione dell'interfaccia CA (Conditional Access);
- DAVIC, specifiche di interfacce aperte e protocolli per massimizzare l'interoperabilità tra diverse applicazioni, servizi e settori industriali. Definite dall'associazione Digital Audio Video Council, che operò nel periodo 1994-99, sono state recepite come standard dall'ISO/IEC JTC1.

Importante è anche il processo di standardizzazione dei meccanismi per la gestione e protezione dei diritti di Proprietà Intellettuale, iniziata a partire dalla definizione degli standard MPEG-4 e che Chiariglione sta proseguendo nell'ambito dell'iniziativa Digital Media Project (DMP) ([www.dmpf.org](http://www.dmpf.org)) da lui avviata dopo l'uscita da TILAB.

Per quanto riguarda l'attività di ricerca e sviluppo all'interno di CSELT si citano due importanti realizzazioni:

- dal 1990 Realizzazione di diversi componenti per la multimedialità; in particolare il circuito integrato IMAGE, che con una complessità di 3 milioni di transistor, implementava la funzionalità di motion estimation della codifica MPEG2
- 1993-2000 serie di dimostratori e prototipi di TV interattiva:
  - 1993 primo sistema di navigazione ipermediale, sviluppato in conformità allo standard MHEG  
Consentì di "visitare" alcune città europee secondo un itinerario modificabile dall'utente attraverso una rete dati ad alta velocità.
  - 1997-1998 Progetto Torino2000 condotto per conto di Telecom Italia in collaborazione con il Comune di Torino  
Primo esperimento di fornitura di servizi multimediali in ambito Telecom Italia sviluppato sulla base delle tecnologie ADSL, anziché Socrate allora

in fase di introduzione in rete da parte di Telecom Italia, e che utilizzava la codifica MPEG-2.

- 2000 Supporto a Telecom Italia per il progetto Réseau di realizzazione di una rete sperimentale nazionale a larga banda basata sull'architettura d'accesso FSAN (VDSL e Fiber To The Home), con la quale si sono sperimentati i primi servizi di TV interattiva via IP in tecnologie varie, tra cui MPEG-2 per lo streaming di contenuti Live e MPEG-4 per i servizi di Video On Demand.

Infine, a partire dal 2005 sono state svolte attività di ricerca rivolte allo sviluppo di nuovi modi di fruizione dei crescenti contenuti multimediali presenti sia nelle reti dei broadcaster sia sul web. Il progetto di dynamic TV ne è un esempio ed ha portato a generare nuovi concetti di interfaccia televisiva e algoritmi per la profilazione e selezione personalizzata dei contenuti.

### **Gli ultimi anni**

Nel 2000, ultimo esercizio dello CSELT, contestualmente alla costituzione della Divisione Technovoice (divenuta subito dopo Loquendo SpA) furono istituite altre due Divisioni: Multimedia e System on chip (quest'ultima corrispondente al settore delle Tecnologie VLSI) ritenendo che le eccellenze acquisite in questi settori potessero essere adeguate per progetti di incubazione idonei in pochi anni a trasformarle in altrettante business unit, eventualmente attraverso aggregazioni con altre realtà esterne.

In parallelo era stata impressa un'accelerazione alla tendenza, già perseguita da due anni, di finalizzare i risultati della ricerca in "prodotti" (hardware e software) reimpiegabili non solo nell'ambito del Gruppo e nelle attività all'estero ma anche presso terzi. Di questa tendenza si è data evidenza nella precedente trattazione. Nel 2000 il volume dei ricavi sui "prodotti" aveva raggiunto 0,7 milioni di €. Inoltre si era dato impulso all'attività di servizi di qualificazione del Laboratorio Accreditato di Prova e dell'EMC per conto terzi portando il totale di questi ricavi a 1,9 milioni di €.

L'obiettivo di queste iniziative e di quella di favorire la committenza da parte di gestori esteri anche quando usciti dal Gruppo, non era tanto di acquisire risorse aggiuntive che contrastassero le riduzioni della committenza di Gruppo iniziate all'indomani della privatizzazione di Telecom Italia, ma di creare le condizioni per una serie di business unit (e probabili spin-off) che auspicabilmente avrebbero continuato a operare nel comprensorio CSELT in modo da mantenere la contiguità tra le persone. Si riteneva che in questo modo sarebbe stato possibile preservare una quota importante dell'insieme delle eccellenze e delle professionalità che CSELT aveva sviluppato nel corso degli anni, anche se con una collocazione al di fuori del perimetro di Telecom Italia e delle TLC classiche in generale.

Anche dal confronto con i colleghi delle corrispondenti organizzazioni estere, appariva infatti evidente che il processo di liberalizzazione/privatizzazio-

ne avrebbe avuto delle conseguenze drammatiche sui gestori tradizionali e in particolare sul ruolo da loro agito nella ricerca. A ciò si accompagnava peraltro la convinzione che il ritmo d'innovazione complessiva nel settore IT-TLC sarebbe rimasto alto o addirittura accelerato, possibilmente ad opera di nuovi soggetti, e che le competenze accumulate da CSELT avrebbero potuto essere in gran parte valorizzate anche nel nuovo contesto attraverso un processo che però avrebbe richiesto dedizione e una certa pazienza.

Purtroppo la trasformazione di CSELT in TILAB del febbraio 2001, con il conferimento del ramo d'azienda "Venture Capital and Innovation" di Telecom Italia, cambiò drasticamente la strategia seguita. L'obiettivo di "creazione di valore" in un lasso di tempo troppo breve si complicò drammaticamente con l'istantanea cancellazione della copertura da parte del Gruppo dei costi di ricerca a più lungo termine e con i disastrosi effetti finanziari del fallimento dell'operazione Vocalpoint e, in generale, con la fine della bolla di internet che rendeva impossibile una valorizzazione del portafoglio conferito da Telecom e delle nuove iniziative di venture capital e, anzi, ne riduceva rapidamente il valore. In una parola risultò chiaro il fallimento del progetto di integrare le potenzialità di Venture Capital come acceleratore dell'innovazione con le competenze di ricerca e sviluppo dello CSELT.

A distanza di pochi mesi il passaggio del controllo del Gruppo da Roberto Colaninno a Marco Tronchetti Provera, portò al riconoscimento che quella strategia doveva essere abbandonata in fretta ma, nei fatti, peggiorò ulteriormente la situazione passando da una strategia finanziaria di "creazione di valore" a una di "estrazione di valore" e di drastica riduzione dei costi con conseguente ridimensionamento degli organici nell'assunto aprioristico che l'ex CSELT (ora TILAB) non avesse valore per il Gruppo. Illuminanti furono le parole pronunciate da Tronchetti Provera nel rispondere a Sergio Chiamparino, Sindaco di Torino, in occasione dell'ultima Assemblea di Telecom Italia tenuta a Torino (7/11/2001):

[...] a Torino ci sono dei laboratori che voi tutti conoscete, c'è una società che oggi si chiama Telecom Italia Labs, perché ha perso buona parte dei contatti che aveva con la realtà operativa di Telecom e di Tim. [...] con una missione addirittura data agli ex CSELT, oggi Telecom Italia Labs di occuparsi di qualcosa che non sia Telecom, perché Telecom al suo interno ha delle strutture di ricerca che non hanno una connessione continua con l'ex CSELT [...] Noi intendiamo rivitalizzare questi centri di ricerca, abbiamo già avuto una serie di incontri, li abbiamo messi in contatto con i Pirelli, dove ci sono le competenze ottiche, riteniamo che le sinergie tra i laboratori di Milano e i laboratori di Torino possano essere estremamente importanti e foriere del mantenimento di una tecnologia che è quella delle telecomunicazioni che pian piano il nostro paese rischierebbe di perdere [...].

I lettori di queste pagine possono valutare la verosimiglianza di queste affermazioni in merito sia alla connessione tra le strutture interne di Telecom Italia ed ex CSELT sia per le possibili sinergie nell'ottica tra Pirelli Lab ed ex CSELT che aveva già eseguito lo spin-off di quelle attività per le quali Pirelli non aveva trovato interesse a formulare una sollecitata proposta.

Coerentemente, nella primavera 2003 TILAB SpA fu poi fusa per incorporazione nella Capogruppo Telecom Italia e collocata all'interno della Direzione Rete della Divisione Domestic Wireline posta a Roma, nonostante il tentativo di spostarne gran parte a Milano. La Direzione Rete disperse gran parte delle risorse dell'ex CSELT all'interno della propria organizzazione nel dichiarato intento di legare maggiormente la ricerca alla fase di introduzione in rete, mantenendo solo un piccolo gruppo come presidio autonomo dell'evoluzione a più lungo termine. Inevitabilmente, questa strategia portò invece a un appiattimento di gran parte dell'attività ai bisogni contingenti dell'operatività del gestore riducendo al lumicino la capacità di guardare avanti. Tra le cause accessorie, hanno certamente avuto rilievo l'eliminazione di un presidio unitario dell'ex CSELT, la scarsa presenza dei nuovi responsabili a Torino, la priorità loro assegnata agli obiettivi operativi e, non ultimi, i consistenti tagli dell'organico complessivo e la significativa riduzione dei laboratori e della loro attività.

All'inizio del 2010, nell'ambito di un nuovo processo riorganizzativo, è stata costituita una nuova struttura dedicata all'Innovazione al di fuori della Direzione Rete e alle dirette dipendenze dell'Amministratore Delegato di Telecom Italia. L'auspicio è che questa iniziativa, che riprende in parte l'approccio seguito 10 anni fa quando le condizioni erano certamente più favorevoli, permetta la valorizzazione di competenze aggiuntive rispetto a quelle commisurate alle attuali esigenze di un tradizionale gestore "incumbent", per di più gravato dai colossali debiti accumulati nei periodi soprarichiamati.

Purtroppo, sembra invece fuori dall'attuale contesto la possibilità che nell'ambito del gestore nazionale possa rinascere lo spirito che, 50 anni fa, spinse Oglietti a concepire la necessità di creare "un punto di riferimento tecnico unitario capace di fornire al gestore sia gli elementi di base per la definizione di una strategia a medio-lungo termine del settore, sia raccomandazioni per la soluzione dei problemi correnti di esercizio".

## Bibliografia

- Abeille Renato, 1999, *Storia delle telecomunicazioni italiane e della Sip (1964-1994)*, Milano, Franco Angeli.
- Balboni Paolo, Venuti Giovanni, 2005, *DDT e servizi interattivi. Come e perché della nuova televisione*, Torino, CSELT.
- Biocca Alfredo, 2002, *Reti Digitali*, Milano, Hoepli.
- Bonavoglia Luigi, 1994, *CSELT trent'anni*, Torino, CSELT.
- Bonavoglia Luigi, 1995, *Una Storia. Dal primo telefono alla rete globale*, Roma, Bariletti Editori.
- Filippi Enrica, Montanaro Achille, Paolini Maurizio, Turolla Maura, 1999, "FPGA design experiences using the CSELT VIP™ library", *Proceedings of the 1999 ACM/SIGDA seventh international symposium on Field programmable gate arrays*.
- Giorcelli Silvano, Balboni Gianpaolo, 1991, *La tecnica ATM nelle reti ad alta velocità*, Torino, CSELT.

- Lapierre Martine, Mossotto Cesare et al., 1999, *The Tina Book*, Hertfordshire, Prentice Hall Europe.
- Mossotto Cesare, 1981, "Rete di telecomunicazioni e sua evoluzione in rete di telematica", *Elettronica e Telecomunicazioni*, vol. XXX, n. 5.
- Mossotto Cesare, 1981, "ISDN Studies and Experiments in Italy", *Le bulletin de l'IDATE*, n. 5.
- Mossotto Cesare, 1983, "Sviluppo della rete di telecomunicazioni come supporto alla telematica", *Elettronica e Telecomunicazioni*, vol. XXXII, n. 3.
- Mossotto Cesare, 1987, "L'Evoluzione della rete e dei sistemi numerici", *XXXV Convegno Internazionale delle Comunicazioni*, Istituto Internazionale delle Comunicazioni, Genova.
- Muratore Flavio, 2001, *UMTS Mobile Communications for the Future*, Chichester, John Wiley & Sons LTD.
- Nora Simon, Minc Alain, 1979, *Convivere con il calcolatore*, Milano, Tascabili Bompiani.
- Perucca Giovanni, 1982, "Progressi della commutazione in Italia", *Elettronica e Telecomunicazioni*, vol. XXXI, n. 1.
- Saracco Roberto, Reed Rick, Smith John Reginald William, 1989, *Telecommunications Systems Engineering Using SDL*, Amsterdam, North-Holland.
- SIP – Direzione Generale, 1981, *Il Telefono 1881-1981 Cent'anni al servizio del Paese*, Roma.
- Technical Staff of CSELT, 1980, *Optical Fibre Communication*, Torino, Editrice Universitaria Levrotto e Bella.
- Technical Staff of CSELT, 1981, *Optical Fibre Communication*, New York, McGraw-Hill Book Company.
- Technical Staff of CSELT, 1990, *Fibre Optic Communications Handbook*, New York, TAB Professional and Reference Books.
- Telecom Italia Lab, 2005, *1964-2004 Quarant'anni d'innovazione*, Torino, Supplemento al n. 224 di Media Duemila.



## INDICE DEGLI ARGOMENTI

---

### LE ORIGINI

#### Dall'elettromagnetismo alle onde elettromagnetiche: le basi scientifiche dello sviluppo delle telecomunicazioni nell'Ottocento.....3

- Introduzione.....3
- L'elettromagnetismo prima di James Clerk Maxwell.....8
- Maxwell e la genesi del concetto di campo elettromagnetico.....16
- Dalle equazioni di Maxwell alla radio.....24
- Bibliografia.....32

#### Dalle costanti concentrate alle costanti distribuite.....33

- Preparativi per un lungo viaggio: dalla pila voltiana alle onde hertziane.....33
  - Tra Illuminismo e Romanticismo.....33
  - L'auspicato approdo all'ingegneria.....35
  - Verso una possibile nozione di "spazio circuitale".....36
  - L'influenza del pensiero di Fourier sull'approccio circuitale.....39
  - Le linee elettriche fanno la loro apparizione.....41
- Le tappe delle costanti concentrate.....42
  - Il regime stazionario.....42
  - L'approccio teorico: tipologia, topologia ed equivalenza.....43
  - Una prima progressione verso il regime variabile: la bassa frequenza e le costanti concentrate in uno spazio geometrico.....46

- L'elaborazione finale dell'approccio: l'elettrodinamica delle equazioni di Lagrange-Maxwell..47
- Verso uno spazio circuitale che, al crescere delle frequenze, si appropria del suo carattere fisico ... ..50
- Le tappe delle costanti distribuite.....53
  - La linea di comunicazione elettrica.....53
  - *Circuits in the sea*.....54
- Il simultaneo sviluppo delle linee di potenza.....55
  - L'enigma delle costanti distribuite.....56
  - La *marche naturelle* dell'elettricità in cavo: la *K-R law* kelviniana e la dinamica diffusiva..57
  - Verso risultati inattesi... ..58
  - Entra in scena Oliver Heaviside...60
  - La linea viene maxwellianamente sottoposta all'analisi campistica.....63
  - Il contributo finale: l'elaborazione e la messa a punto degli algoritmi matematici necessari per l'analisi circuitale.....64
- Conclusioni.....66
- Appendice I. Maxwell e le onde elettromagnetiche.....67
- Appendice II. Il contributo di FitzGerald.....68
- Bibliografia.....70

#### La telegrafia elettrica e i suoi sviluppi: facsimile e telescrivente.....73

- Comunicare a distanza: dai tamburi al telegrafo ottico.....73

## STORIA DELLE TELECOMUNICAZIONI

- Il telegrafo elettrico.....	76	- Gli inizi: il trattamento del segnale sismico e i primi calcolatori italiani.....	181
· Tecnica e progresso.....	76	- Attività nelle università e negli enti di ricerca I.....	182
· I cavi sottomarini.....	80	· Firenze-IROE.....	182
· Il telegrafo negli Stati italiani preunitari.....	82	· Milano, Torino Galileo Ferraris.....	183
· Il telegrafo nell'Italia unita.....	86	- La televisione numerica.....	183
· Il telegrafo come servizio pubblico.....	91	- Attività nelle università e negli enti di ricerca II.....	186
- Sviluppi della comunicazione scritta: pantelegrafo e telescrivente.....	95	- Prime applicazioni alla bioingegneria: la tomografia SPECT.....	187
- Bibliografia.....	99	- L'elaborazione delle immagini in CSELT e lo sviluppo di MPEG-2.....	187
<b>La nascita della telefonia: da Antonio Meucci al successo globale.</b>	101	- Il sistema Telettra e i mondiali di calcio "Italia 1990".....	190
- L'invenzione.....	101	- Sviluppi nell'industria delle telecomunicazioni.....	190
- Lo sviluppo successivo.....	105	- Attività nelle università e negli enti di ricerca III.....	191
- La diffusione del telefono.....	109	- Un successo recente: i radar ad apertura sintetica satellitari.....	193
- Bibliografia.....	110	- Bibliografia.....	195
<b>Pragmatica di un'invenzione. Guglielmo Marconi e le comunicazioni radio</b>	111	<b>La trasmissione: dalla coppia telefonica ai ponti radio ed alle fibre ottiche</b>	197
- L'invenzione.....	113	- Introduzione.....	197
- In pubblico.....	115	- La propagazione elettromagnetica.....	199
- L'azzardo.....	118	- I sistemi di trasmissione.....	213
- Il <i>business</i> .....	120	· I sistemi di trasmissione analogica su cavo.....	213
- Il ripensamento.....	122	· I sistemi di trasmissione numerica su cavo.....	215
- Bibliografia essenziale.....	124	· Prestazioni dei sistemi di trasmissione numerica.....	216
- Cronologia.....	125	- Codifica di linea.....	218
<b>Il contributo della Marina Militare Italiana allo sviluppo delle radiocomunicazioni</b>	139	· Sincronizzazione.....	219
- Introduzione.....	139	· La trasmissione in ponte radio.....	220
- Le prime esperienze.....	140	- Il contributo italiano alle tecniche di codifica di canale per la correzione degli errori.....	226
- L'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della Regia Marina.....	150	- Conclusioni.....	229
- La Regia Marina e le telecomunicazioni militari.....	156	- Bibliografia.....	230
- L'ultimo Marconi.....	159	<b>Le reti a pacchetto</b> .....	239
- Il radar italiano.....	163	- La rivoluzione dei pacchetti.....	239
- Divulgazione.....	174		
- Bibliografia.....	176		
<b>GLI SVILUPPI TECNICO/SCIENTIFICI</b>			
<b>L'elaborazione numerica dei segnali</b> .....	181		

· In principio.....	239	· Il progetto SOCRATE e la nascita dell'ADSL.....	277
· Pacchetti.....	240	· Le reti dati del nuovo millennio.....	278
· ARPANET.....	241	- Bibliografia.....	279
· Protocolli e servizi.....	243	<b>La fotonica nelle telecomunicazioni.....</b>	<b>281</b>
· Molte reti.....	244	- Gli anni '60.....	281
- I primi passi in Italia.....	245	- Gli anni '70.....	285
· I primi esperimenti: Rpcnet (1970-1982).....	245	- Gli anni '80.....	291
· Lo standard OSI: OSIRIDE (1976-1985).....	248	- La fotonica nel progetto finalizzato "Telecomunicazioni".....	297
· La rete via satellite: STELLA (1978-1983).....	251	- Un'innovazione determinante: l'amplificatore ottico.....	299
· Internet in Italia.....	253	- Gli anni '90.....	304
- Le reti commerciali in Italia.....	255	- Conclusione.....	308
· Reti dati e rete telefonica.....	255	- Bibliografia.....	310
· Qualche considerazione di carattere tecnico: telefono o posta?.....	255	<b>La ricerca nelle istituzioni: i casi ISPT, FUB, CRIT e l'attività COST.....</b>	<b>315</b>
· Qualche considerazione di carattere economico: i circuiti dalle uova d'oro.....	257	- Introduzione.....	315
- X.25 E ITAPAC.....	258	- Istituto Superiore delle Poste e delle Telecomunicazioni.....	315
· <i>Mainframes</i> , videoterminali e personal computer.....	258	· Le origini ed il primo mezzo secolo.....	315
· La tecnologia: modem telefonici e CDN.....	258	· I successivi cinquant'anni.....	316
· Il protocollo X.25.....	260	· L'ultimo decennio.....	319
· X.25 in Italia: la rete ITAPAC.....	261	· La Scuola Superiore di Specia- lizzazione in Telecomunicazioni.....	320
· Altre reti: BBS e Videotel.....	262	- Fondazione Ugo Bordoni.....	321
· Le reti Frame Relay.....	265	· Le origini ed i primi venti anni.....	321
· Frame Relay in Italia: la rete CLAN.....	266	· La Fondazione nei successivi trent'anni.....	322
· Da ISDN e Frame Relay a B-ISDN e ATM: un cenno veloce.....	267	· Le attività di ricerca.....	323
· Intanto Internet... ..	268	· I risultati scientifici.....	327
· TCP/IP – OSI: lo scontro finale.....	269	· L'impatto e le applicazione dei risultati.....	328
· Internet in Italia: la nascita degli ISP.....	271	· Partecipazione in programmi europei e nazionali.....	329
- ATM e IP: Atmosfera e Interbusiness.....	272	· Partecipazione in organismi di normativa e standardizzazione.....	330
· L'Asynchronous Transfer Mode (ATM) in pillole.....	273	· La Fondazione nell'ultimo decennio.....	330
· ATM in Italia: la rete Atmosfera.....	274	- Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica.....	332
· ATM e/o IP.....	275	· La storia del Centro Ricerche RAI: gli inizi.....	332
· Vendita IP all'ingrosso: la rete Interbusiness.....	276		

· La missione del Centro Ricerche RAI.....	333	dei segnali: Fleming e il diodo.....	415
· La storia della radiodiffusione attraverso il contributo del Centro Ricerche della RAI.....	333	· De Forest ed Armstrong: triodo e sviluppo delle tecniche radiofoniche.....	416
· Gli anni 2000.....	339	· Le fasi pionieristiche del <i>broadcasting</i> radiofonico.....	422
- COST (European COoperation in the field of Scientific and Technical research).....	340	· L'invenzione della modulazione di frequenza.....	426
· Origini ed evoluzione.....	340	· La stereofonia nella radiofonia.....	428
· Il COST oggi.....	342	· I primi ricevitori radiofonici commerciali.....	429
· Le ricerche COST nelle telecomunicazioni.....	345	- Sviluppi in Italia della tecnica radiofonica e dei servizi.....	431
<b>Centro studi e laboratori telecomunicazioni (CSELT).....</b>	<b>347</b>	· Contributi scientifici e tecnici italiani nella fase pionieristica.....	431
- Il contesto in cui nasce lo CSELT.....	347	· Sviluppo del <i>broadcasting</i> radiofonico in Italia: la nascita della RAI.....	434
- Nascita e sviluppo dello CSELT.....	350	- Primordi e sviluppi della televisione analogica a livello mondiale.....	439
- Trasmissione numerica.....	358	· Gli esordi elettro-meccanici: da Nipkow a Baird.....	439
- Fibre ottiche.....	362	· L'approccio elettronico: da Braun a Zworykin.....	443
- Optoelettronica e fotonica.....	363	· Inizio dei servizi televisivi di <i>broadcasting</i> terrestre.....	446
- Ponti radio e satelliti.....	367	· Dai primi televisori commerciali agli schermi piatti.....	449
- Commutazione numerica.....	369	· Sviluppo degli standard televisivi in bianco/nero.....	450
- Microelettronica e tecnologie VLSI.....	374	· Sviluppo degli standard televisivi a colori.....	453
- Rete intelligente e rete di segnalazione.....	378	· Il nuovo servizio televisivo Teletext.....	456
- Reti dati e <i>networking</i> .....	381	· Gli inizi della televisione in alta definizione (HDTV).....	457
- Sistemi radiomobile.....	384	· Diffusione televisiva tramite cavo e satellite.....	460
- Pianificazione e gestione di rete.....	388	- Sviluppi in Italia della televisione analogica.....	465
- Integratore di sistemi.....	391	· Contributi scientifici e tecnici italiani nella fase pionieristica.....	465
- Tecnologie vocali.....	393	· Sviluppo del <i>broadcasting</i> televisivo in Italia.....	467
- Tecnologie multimediali.....	398	· L'industria manifatturiera italiana per radiofonia e televisione.....	472
- Gli ultimi anni.....	400		
- Bibliografia.....	402		
<b>I SETTORI APPLICATIVI</b>			
<b>Radiofonia e televisione: era analogica.....</b>	<b>407</b>		
- Premessa.....	407		
- Primordi e sviluppi della radiofonia analogica a livello mondiale.....	409		
· Gli albori: Fessenden e l'invenzione della modulazione di ampiezza.....	409		
· Gli sviluppi della rivelazione			

<b>Radiofonia, televisione e cinema: era digitale</b> .....	481	- Aeronautica Militare.....	567
- Tecnica digitale nel sistema radiofonico e televisivo.....	481	· Le comunicazioni dell'Aeronautica Militare.....	567
· Alcune osservazioni preliminari.....	481	· La ricostruzione.....	571
· La digitalizzazione nella produzione radiofonica e televisiva.....	481	· Sistema di comunicazione (tipico) per elicottero.....	573
· La "compressione" dei segnali audio-video ed il determinante apporto italiano.....	491	· Complesso CNS per aereo da trasporto.....	574
· I nuovi standard diffusivi digitali.....	506	· Avionica attuale (2005).....	575
· Il progetto RAI degli archivi digitali audiovisivi ed altri progetti speciali.....	516	- Conclusioni.....	576
- Nuovi scenari ed evoluzione della televisione.....	521	· Nota.....	577
· I moderni mezzi di diffusione televisiva su portante fisico.....	521	- Appendice. Tecniche di trasmissione a banda espansa.....	578
· Dall'alta definizione al cinema digitale.....	526	- Bibliografia.....	585
· Televisione tridimensionale (3D).....	528	<b>Lo sviluppo del radar in Italia ed all'estero</b> .....	589
· Televisione ad altissima definizione.....	529	- Le fonti, le origini, le premesse.....	589
· Futuro della televisione.....	530	- La Seconda Guerra Mondiale e i suoi lasciti.....	600
<b>Le comunicazioni militari</b> .....	533	- La situazione nazionale nel dopoguerra: SMA, Microlambda, Sindel, Selenia.....	609
- Introduzione.....	533	- Il consolidamento delle conoscenze Selenia e le crisi degli anni '70 e '90.....	615
- Esercito.....	534	- Dai radar terrestri ai radar spaziali: l'avventura del SAR nazionale.....	620
· Le origini.....	534	- "Non solo Finmeccanica": lo sviluppo di Contraves, GEM, IDS.....	623
· La ricostruzione.....	537	- Alcune considerazioni sugli sviluppi del radar.....	628
· La rinascita.....	539	- Bibliografia.....	632
· La struttura.....	542	<b>Telecomunicazioni spaziali</b> .....	637
· Il "Post-75". La genesi.....	544	- L'inizio delle telecomunicazioni spaziali.....	637
· Le reti militari infrastrutturali.....	548	- I primi sviluppi delle telecomunicazioni spaziali in Italia (anni '60).....	639
· CNR (Combat Net Radio).....	550	· Il progetto SIRIO.....	641
· Il CATRIN.....	551	- I programmi nazionali ed europei dagli anni '70 al 2000 e lo sviluppo del progetto SIRIO.....	642
- Marina Militare.....	559	· Il programma ITALSAT.....	646
· Le comunicazioni della Marina Militare.....	559	- Gli anni 2000.....	649
· La ricostruzione.....	562	- Bibliografia.....	653
· Le comunicazioni via satellite.....	564		
· Le comunicazioni speciali.....	565		
· Conclusioni.....	565		

L'ORGANIZZAZIONE DEI SERVIZI E  
IL RUOLO DELL'INDUSTRIA**Successi e decadenza delle  
industrie di telecomunicazioni**..... 657

- Avvertenza..... 657
- Profilo..... 658
- Dal periodo bellico ai primi  
anni '60..... 658
  - Il periodo bellico e  
l'immediato dopoguerra..... 658
  - I laboratori della Fabbrica  
Italiana Magneti Marelli..... 659
  - La Telettra..... 662
  - La FIMM..... 664
  - La Telettra dei primi anni '60 ..... 665
  - La FIMM dei primi anni '60..... 666
  - La Marconi Italiana..... 667
  - La Siemens..... 668
- L'inizio dell'era digitale e  
l'affermazione dello stato solido..... 668
  - La Telettra..... 668
  - La Siemens..... 670
  - La Selenia..... 671
  - La ARE..... 671
  - La Telettra nei primi anni '70..... 672
  - La SIAE Microelettronica e  
la Selta..... 673
  - La IPM di Napoli e la  
URMET di Torino..... 675
- L'introduzione dei circuiti  
integrati e la potenza di uscita  
allo stato solido..... 675
  - L'introduzione dei circuiti  
integrati..... 675
  - Potenza di uscita allo stato  
solido..... 677
- La commutazione elettronica..... 677
  - La commutazione Telettra: la  
partenza..... 679
  - La Ricerca Italtel: la Seam ed  
il Proteo..... 680
  - La Ricerca Telettra in  
commutazione (anni '70)..... 682
  - Gli anni '80 per Italtel,  
Telettra e GTE in  
commutazione..... 684
- Gli studi di trasmissione degli  
anni '70 ed '80..... 687
  - La Pirelli..... 687

- Le TLC tutte digitali..... 688
- Sistemi per applicazioni speciali 689
- Collaborazione Università-  
Industria..... 690
- Le valorose aziende di nicchia  
negli anni '90-2000..... 691
- Gli artefici dei successi..... 692
- Gli anni '90 e 2000: la  
decadenza delle aziende  
industriali italiane..... 695
  - Il quadro istituzionale..... 695
  - La liberalizzazione del  
servizio telefonico..... 697
  - Il sistema radiomobile ..... 697
  - La rete Internet, i suoi servizi  
ed il tema dell'accesso a larga  
banda..... 699
  - Alcuni commenti..... 702

**Le infrastrutture delle**

- telecomunicazioni**..... 705
- Premessa..... 705
- Le infrastrutture dal 1881 al 1915..... 705
  - Assetto telecomunicazioni..... 705
  - Reti urbane..... 706
  - Reti interurbane..... 706
- Le infrastrutture dal 1919 al 1940..... 707
  - Assetto telecomunicazioni..... 707
  - Reti aeree ed urbane..... 708
  - Reti Interurbane..... 710
  - Cavi sottomarini..... 712
  - Ponti Radio..... 713
- Le infrastrutture dal 1946 al 1957..... 713
  - Assetto telecomunicazioni..... 713
  - Rete interurbana ASST..... 714
  - Rete in ponti radio..... 715
  - Reti urbane e interurbane  
delle concessionarie..... 716
  - Reti sottomarine..... 717
- Le infrastrutture dal 1958 al 1982..... 717
  - Assetto telecomunicazioni..... 717
  - Reti urbane ..... 718
  - Reti interurbane ed a lunga  
distanza..... 718
  - Reti satellitari..... 721
  - Reti in ponte radio..... 721
  - Sperimentazione di cavi in  
fibre ottiche..... 722
- Le infrastrutture dal 1983 al 1997..... 722
  - Assetto delle telecomunicazioni 722

· Reti interurbane.....	724	· La fase storica: i sistemi cellulari analogici di prima generazione.....	767
· Reti di distribuzione urbane.....	726	- L'evoluzione verso il digitale, la saga del GSM e la seconda generazione.....	777
· Progetto SOCRATE.....	727	· L'inizio della storia in Europa.....	777
· Rete a lunga distanza in ponte radio.....	728	· La definizione della "interfaccia radio".....	778
· Rete radiomobile.....	728	· Altri aspetti del processo di standardizzazione.....	779
- Le infrastrutture dal 1998 ad oggi.....	729	· I servizi di messaggistica breve SMS.....	779
· Assetto Telecomunicazioni.....	729	· L'attività di ricerca.....	779
· Cablaggio ottico di Milano.....	729	· GSM?.....	780
· Infratel e iniziative locali.....	730	· La nascita dell'Istituto di Standardizzazione ETSI. La questione degli IPR.....	780
· Reti FTTH.....	730	· Le politiche industriali in Italia.....	782
- Reti radiomobile e radio.....	731	· GSM in Italia, e l'apertura alla concorrenza con l'avvento di Omnitel-Pronto Italia.....	783
- Conclusioni.....	731	· Per Italtel si rimescolano le carte. Scade, senza risultati di rilievo, l'accordo strategico fra STET ed ATT.....	785
- Bibliografia.....	732	· Gli operatori Tim e Omnitel completano le proprie reti ed entrano in servizio.....	786
<b>Il ruolo dei gestori nelle comunicazioni nazionali.....</b>	<b>735</b>	· Azioni di disturbo: non basta il <i>wireless</i> .....	786
- Riferimenti storici.....	735	· Il PHS in Giappone.....	789
- I gestori nei primi 40 anni delle telecomunicazioni italiane: 1925-1965.....	739	· I servizi PCS e la banda dei 1800 MHz.....	789
- I gestori Italcable e Telespazio.....	741	· Ulteriori sviluppi in Italia.....	790
· La SIP: 1964-1994.....	742	· E le reti cellulari analogiche? Quando morirono?.....	792
- ASST e IRITEL.....	747	· L'evoluzione negli USA e la competizione con gli standard ETSI nel mondo.....	792
- Telecom Italia: 1994-2010.....	749	- La terza generazione.....	793
· Investimenti.....	751	· 1995-2001. I prodromi della terza generazione. La competizione sugli standard è ormai mondiale.....	793
· Asset strategici.....	752	· La strategia del Giappone sulla terza generazione (3G), ed il ruolo di NTT DoCoMo.....	794
· Indebitamento.....	753		
· Valore del titolo.....	753		
- I nuovi gestori: 1998-2010.....	755		
· Wind.....	756		
· Omnitel Pronto Italia – Vodafone Italia.....	756		
· Fastweb.....	757		
· Albacom – BT Italia.....	757		
- Le telecomunicazioni italiane nel 2010.....	758		
· Telecom Italia:.....	759		
· Tim:.....	760		
· Omnitel Pronto Italia:.....	760		
<b>Reti, servizi cellulari e <i>wireless</i>.....</b>	<b>763</b>		
- Introduzione.....	763		
- Dai primordi alla prima generazione analogica.....	766		
· La preistoria: servizi di "supernicchia" e standard nazionali.....	766		

· L'effettiva scelta dello standard di accesso radio per il 3G. Le premesse.....	795	· La numerizzazione dei segnali e la nascita del PCM.....	811
· Come fu che la proposta WCDMA fu adottata da ETSI.....	796	· Il consolidamento del PCM e la convergenza trasmissione/commutazione nelle reti TLC.....	813
· 3G: un nuovo mercato o una nuova tecnologia evolutiva per lo stesso mercato? L'UMTS come una fase della ricerca continua di una nuova <i>killer application</i> .....	797	· L'affermazione della trasmissione numerica.....	815
· L'episodio dei servizi PTT, come un esempio indicativo delle disfunzioni nella ricerca della <i>killer application</i> .....	799	· Il ruolo della microelettronica come tecnologia abilitante delle comunicazioni digitali.....	816
· Ancora sul ruolo percepito per l'UMTS, e su alcune importanti conseguenze pratiche. I primi sfontamenti del mercato.....	800	- <i>Computer Network</i> e confluenza informatica/telecomunicazioni.....	819
· La prima fu la corsa alle licenze UMTS in Europa ed in Italia.....	800	· Introduzione.....	819
· Le licenze in Italia e l'inizio dello <i>shake out</i> .....	801	· La trasmissione a pacchetto e le prime evoluzioni delle reti di calcolatori.....	819
· I produttori di tecnologia e l'UMTS.....	802	· Architetture protocollari a strati e la nascita degli standard aperti.....	822
· Un ultimo cenno sulla evoluzione di Qualcomm negli USA.....	803	· L'evoluzione dei protocolli di comunicazione.....	824
· L'entrata in servizio delle reti UMTS.....	803	· L'ICT e le nuove aziende di telecomunicazione.....	827
· In Italia il ruolo di trascinamento fu svolto da H3G.....	804	- Confluenza ICT/audiovisivo.....	829
· Anche la concorrenza nella realizzazione delle reti prende nuove forme.....	804	· Introduzione.....	829
- Conclusione.....	805	· La "compressione" delle informazioni digitali e la nascita degli standard di codifica di sorgente.....	830
- Bibliografia.....	807	· Codici correttori, nuove modulazioni e standard diffusivi digitali.....	833
<b>Cinquant'anni di telecomunicazioni digitali ed uno sguardo al futuro: la convergenza informatica-telecomunicazioni e le nuove architetture di rete fissa.....</b>	<b>809</b>	· Lo sviluppo di sistemi trasmissivi nell'area di accesso: fibra ottica e ADSL.....	<b>837</b>
- Premessa e fasi storiche dell'evoluzione delle reti.....	809	- Estensione del protocollo IP e reti di nuova generazione.....	838
- Introduzione del PCM e convergenza trasmissione/commutazione.....	811	· La nuova frontiera delle reti a partire dal 2000.....	838
		· L'evoluzione della <i>suite</i> del protocollo IP.....	839
		· Il "triple play" ed il "quadruple play".....	842
		· Lo studio di nuovi sistemi diffusivi IP per portanti fisici.....	843
		· Internet 2.0 e l'infrastruttura di rete NGN a banda ultralarga.....	843
		- Uno sguardo al futuro.....	844

LA FORMAZIONE E LA DIVULGAZIONE

**Formazione universitaria sulle telecomunicazioni: evoluzione normativa e profili professionali**..... 851

- Introduzione..... 851
- Gli ambiti e le capacità professionali..... 852
- Il quadro normativo: evoluzione e stato attuale..... 854
- Gli attuali livelli formativi..... 863
- I campi di attività e gli sbocchi professionali..... 864
- Conclusioni..... 867
- Riferimenti normativi..... 868

**Aspetti sociali e culturali delle telecomunicazioni** ..... 869

- Introduzione..... 869
- L'universo della comunicazione..... 871
- La comunicazione filtrata..... 875
- Il mondo e la parola..... 876
- La scuola, il sapere e la narrazione..... 878
- La ricerca e l'università..... 880
- Tecnologia e cultura..... 881
- Scienza e tecnologia..... 883
- Navigare a vista..... 884
- Le reti sociali: il tempo e l'identità..... 885
- Osservazioni finali..... 888
- Bibliografia..... 896

**Nuove prospettive e paesaggi dall'attico e superattico delle TLC**..... 897

- Introduzione..... 897
- Il ruolo della dimensione emotiva..... 900
- La contaminazione tecnologia-società: dall'architettura OSI alle reti Multistrato..... 903
- L'ondata dei *new media* e l'organizzazione del sapere..... 908
- Dai modelli lineari dell'argomentazione ai modelli emo-cognitivi a rete..... 910
  - *Positioning* dei nuovi media e nascita dei *social media*..... 912
- Conoscenza e apprendimento..... 917

- Le diverse forme di apprendimento..... 920
- Apprendimento connettivo..... 924
- Aree emergenti: il caso del territorio e dei beni culturali..... 926
- Gli spazi vuoti e incolti della democrazia partecipata..... 931
  - *Digital divide* e la lezione dei nativi digitali..... 935
- Bibliografia..... 937

**Musei, collezioni e fonti documentali per la storia delle telecomunicazioni in Italia**..... 939

- Meraviglia *vs* Storia..... 939
- Alcuni tra i principali musei, e le maggiori collezioni italiane, sulla storia delle telecomunicazioni..... 942
  - Museo della Radio e della Televisione, Torino..... 942
  - Il Museo Storico delle Poste e Telecomunicazioni, Roma..... 943
  - Fondazione Guglielmo Marconi, Sasso Marconi, Bologna..... 945
  - La Collezione Cremona: Storia e Tecnologia della Comunicazione..... 946
  - Le telecomunicazioni nel Museo della Tecnica Elettrica di Pavia..... 947
  - Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci, Milano..... 948
  - Archivio Storico Telecom Italia, Torino..... 949
  - Altri musei e collezioni..... 950
- Fonti documentali..... 951
  - Museo Storico Virtuale dell'AEIT..... 951
  - L'archivio storico dell'Istituto LUCE..... 952
- Alcuni reperti conservati nei musei italiani..... 953
  - I prototipi dei telefoni di Antonio Meucci (collezione SIRTU del Museo della Tecnica Elettrica di Pavia)..... 953

STORIA DELLE TELECOMUNICAZIONI

- Il pantelegrafo (fax) di Giovanni Caselli (Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci, Milano).....955
- La radio di soccorso “Ondina 33” del dirigibile Italia (Museo Tecnico Navale della Marina Militare Italiana di La Spezia).....960



Finito di stampare da ABC Tipografia  
Sesto Fiorentino (Fi) - ITALY



## COMITATO SCIENTIFICO

---

### **Commissione per la Storia dell'Ingegneria della CoPI:**

Franco Angotti (Università di Firenze), Virginio Cantoni (coordinatore, Università di Pavia), Vito Cardone (presidente CoPI, Università di Salerno), Salvatore D'Agostino (Università Federico II di Napoli), Vittorio Marchis (Politecnico di Torino), Edoardo Rovida (Politecnico di Milano), Andrea Silvestri (Politecnico di Milano).

### **Esperti cooptati:**

Ovidio Mario Bucci (Università Federico II di Napoli), Gabriele Falciasecca (Università di Bologna), Giuseppe Pelosi (Università di Firenze), Giancarlo Prati (Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa), Guido Tartara (Politecnico di Milano), Guido Vannucchi (OTA-Italia, Organismo dell'Autorità per le Telecomunicazioni).

# STORIA DELLE TELECOMUNICAZIONI

---

a cura di *Virginio Cantoni, Gabriele Falciasecca, Giuseppe Pelosi*

VOLUME II

Firenze University Press  
2011

Storia delle telecomunicazioni II / a cura di Virginio Cantoni, Gabriele Falciasecca, Giuseppe Pelosi. – Firenze : Firenze University Press, 2011.

<http://digital.casalini.it/9788864532455>

ISBN 978-88-6453-243-1 (print)

ISBN 978-88-6453-245-5 (online)

In copertina: Athena-Fidus (programma TLC italo-francese, a carattere duale – destinato sia ad usi civili che militari – il cui lancio è previsto per il 2013).

Coordinamento editoriale di Alessandra Setti

© 2011 Firenze University Press

Università degli Studi di Firenze  
Firenze University Press  
Borgo Albizi, 28, 50122 Firenze, Italy  
<http://www.fupress.com>

Printed in Italy

Il volume è stato realizzato con il contributo del «Comitato Nazionale per le manifestazioni per il bicentenario della nascita di Antonio Meucci» del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali – Direzione Generale per i Beni Librari, gli Istituti Culturali ed il Diritto d'Autore.



C'è stato inoltre il contributo dell'Associazione per la Tecnologia dell'Informazione e delle Comunicazioni (AICT), di FASTWEB, di GEM elettronica, di Rai Way, di SIELTE e di Space Engineering.



L'iniziativa ha avuto inoltre il patrocinio della CoPI – Conferenza Presidi delle Facoltà di Ingegneria, dell'Università degli Studi di Bologna, dell'Università degli Studi di Firenze, dell'Università degli Studi di Pavia, della Fondazione Guglielmo Marconi, dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e della Società Italiana di Elettromagnetismo (SIEM).



CoPi

Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria





# INDICE

---

- IX Vito Cardone  
*Premessa*
- XI Franco Angotti  
*Presentazione*
- XIII Virginio Cantoni, Gabriele Falciasecca, Giuseppe Pelosi  
*Introduzione*

## **Le origini**

---

- 3 Ovidio Mario Bucci  
*Dall'elettromagnetismo alle onde elettromagnetiche: le basi scientifiche dello sviluppo delle telecomunicazioni nell'Ottocento*
- 33 Adriano Paolo Morando  
*Dalle costanti concentrate alle costanti distribuite*
- 73 Stefano Maggi  
*La telegrafia elettrica e i suoi sviluppi: facsimile e telescrivente*
- 101 Enrico Del Re  
*La nascita della telefonia: da Antonio Meucci al successo globale*
- 111 Gabriele Falciasecca  
*Pragmatica di un'invenzione. Guglielmo Marconi e le comunicazioni radio*
- 139 Vincenzo Carulli, Giuseppe Pelosi, Stefano Selleri, Paolo Tiberio  
*Il contributo della Marina Militare Italiana allo sviluppo delle radiocomunicazioni*

## **Gli sviluppi tecnico/scientifici**

---

- 181 Fabio Rocca  
*L'elaborazione numerica dei segnali*
- 197 Silvano Pupolin, Sergio Benedetto, Umberto Mengali, Carlo Giacomo Smeda  
*La trasmissione: dalla coppia telefonica ai ponti radio ed alle fibre ottiche*
- 239 Marco Ajmone Marsan, Franco Guadagni, Luciano Lenzini  
*Le reti a pacchetto*
- 281 Giancarlo Prati  
*La fotonica nelle telecomunicazioni*
- 315 Francesco Fedi e Alberto Morello  
*La ricerca nelle istituzioni: i casi ISPT, FUB, CRIT e l'attività COST*

- 347 Cesare Mossotto  
*Centro studi e laboratori telecomunicazioni (CSELT)*

### **I settori applicativi**

---

- 407 Guido Vannucchi e Franco Visintin  
*Radiofonia e televisione: era analogica*
- 481 Guido Vannucchi e Franco Visintin  
*Radiofonia, televisione e cinema: era digitale*
- 533 Raulo Maestrini e Eugenio Costamagna  
*Le comunicazioni militari*
- 589 Gaspare Galati  
*Lo sviluppo del radar in Italia ed all'estero*
- 637 Guido Tartara e Franco Marconicchio  
*Telecomunicazioni spaziali*

### **L'organizzazione dei servizi e il ruolo dell'industria**

---

- 657 Salvatore Randi  
*Successi e decadenza delle industrie di telecomunicazioni*
- 705 Antonio Caroppo e Roberto Gamberro  
*Le infrastrutture delle telecomunicazioni*
- 735 Giuseppe Gerarduzzi  
*Il ruolo dei gestori nelle comunicazioni nazionali*
- 763 Gabriele Falciasacca e Decio Ongaro  
*Reti, servizi cellulari e wireless*
- 809 Guido Vannucchi  
*Cinquant'anni di telecomunicazioni digitali ed uno sguardo al futuro: la convergenza informatica-telecomunicazioni e le nuove architetture di rete fissa*

### **La formazione e la divulgazione**

---

- 851 Aldo Roveri  
*Formazione universitaria sulle telecomunicazioni: evoluzione normativa e profili professionali*
- 869 Giuseppe O. Longo  
*Aspetti sociali e culturali delle telecomunicazioni*
- 897 Carlo Crespellani Porcella  
*Nuove prospettive e paesaggi dall'attico e superattico delle TLC*
- 939 Leonardo Lucci, Antonio Savini, Massimo Temporelli, Barbara Valotti  
*Musei, collezioni e fonti documentali per la storia delle telecomunicazioni in Italia*
- 963 Elenco degli acronimi
- 975 Indice degli argomenti
- 985 Autori

# I SETTORI APPLICATIVI

---



La piattaforma di lancio San Marco, del Centro Spaziale Luigi Broglio dell'ASI, presso Malindi, in Kenia.

## Premessa

Gli inizi della storia della radiofonia e della televisione sono strettamente legati agli sviluppi della tecnica radio che per molti anni – a partire dal 1910 con la prima diffusione sperimentale radiofonica dal Metropolitan di New York e dal 1928 con una trasmissione di un segnale televisivo da Londra a New York – ha rappresentato il mezzo per antonomasia per la diffusione ed il trasferimento di programmi radiotelevisivi.

Il complesso delle novità tecnologiche che ha caratterizzato la radiodiffusione – sia nel campo della distribuzione e trasporto che in quello della produzione dei relativi programmi – ha fatto sì che i gestori di radiofonia e televisione abbiano avuto per molti anni (ed in alcuni casi continuano ad avere) due anime: da un lato l’ideazione e la realizzazione dei programmi e, dall’altro, la conduzione di tutti i necessari mezzi tecnici con una imprescindibile attenzione alle continue evoluzioni tecnologiche.

A tale proposito, ed a solo titolo d’esempio, si possono citare il passaggio dal bianco e nero al colore, l’avvento dell’alta definizione, la transizione al digitale e l’introduzione di nuovi importanti mezzi di diffusione radiotelevisiva che si sono affiancati, nel tempo, alla tradizionale tecnica radio.

Con riferimento ai mezzi di diffusione alternativi, un ruolo storico non indifferente, in modo particolare negli Stati Uniti, ha giocato la tecnica di distribuzione televisiva all’utente via cavo coassiale. In anni molto più recenti, come ben noto, una particolare posizione di rilevanza per la diffusione è stata conquistata anche dal satellite geostazionario che – nella sua espressione DTH (*Direct To the Home*) – rappresenta l’evoluzione *wireless* più avanzata rispetto al classico *broadcasting* terrestre. Analogamente la distribuzione televisiva in modalità IP (*Internet Protocol*), avviata in questi ultimissimi anni su fibra ottica o ADSL, è da considerarsi come l’evoluzione *wireline* più attuale rispetto alla diffusione via cavo coassiale aggiungendo, inoltre, l’importante dimensione interattiva.

Dopo il fondamentale contributo iniziale di Guglielmo Marconi allo sviluppo di molte applicazioni radio ampiamente richiamate in questo stesso volume, si può affermare che i “campioni”<sup>1</sup> che, in tutta l’epoca pionieristica, hanno mag-

<sup>1</sup> Poiché negli anni a cui ci riferiamo il mondo radiotelevisivo è stato caratterizzato da un fiorire impressionante di innovazioni e di brevetti (con frequentissime e lunghe dispute legali),

giormente contribuito allo sviluppo scientifico e manageriale delle tecnologie radiofonica e televisiva nel suo sviluppo analogico debbano essere considerati, senza ombra di dubbio, inglesi e statunitensi o, in qualche caso, personaggi che hanno svolto completamente la loro attività in Gran Bretagna e negli Stati Uniti (come peraltro è stato, all'inizio delle sue attività, per lo stesso Marconi).

Per la spinta che nel nostro Paese aveva dato lo stesso Marconi alla nascita della radiotecnica e per il fondamentale contributo della Marina Militare Italiana con la sua scuola di Livorno – determinante nel progetto e realizzazione di impianti estremamente avanzati nell'epoca pionieristica<sup>2</sup> – nonché, successivamente, per l'intensa attività progettuale e manifatturiera svolta da molte aziende italiane che hanno assunto rilevanza internazionale, anche il ruolo dell'Italia in questi campi non è stato certamente trascurabile.

L'Europa, nel suo complesso, ha successivamente svolto un ruolo di primo piano nei processi di digitalizzazione delle tecniche radiofoniche e televisive, in particolare nella creazione dei nuovi standard di “compressione” e diffusione, attività alle quali l'Italia ha partecipato in modo significativo.

Obiettivo del presente capitolo e del successivo è quello di ripercorrere le tappe dello sviluppo tecnico e della nascita dei servizi nella storia globale della radio e della televisione fino alle evoluzioni più recenti, soffermandosi via via in qualche maggiore dettaglio sui contributi italiani. Questo anche a ricordo di uno spirito di frontiera del nostro Paese non più attuale nonché di molti laboratori ed aziende manifatturiere – oggi purtroppo estinti, ridimensionati, o non più a matrice nazionale – che hanno operato in Italia sia nel mercato *consumer* che in quello professionale della radiotelevisione.

Per la narrazione dei primordi e del successivo sviluppo delle tecniche e dei servizi radiofonici e televisivi in modalità analogica, anziché procedere temporalmente intrecciando i due percorsi, si è ritenuto più opportuno esporre separatamente i relativi cammini per maggiore chiarezza e continuità delle vicende esposte. Viceversa, nell'evoluzione del percorso digitale, trattato nel capitolo successivo, si è scelto di seguire il criterio di un'esposizione unica per ambedue le tecniche radiofonica e televisiva, in virtù dei forti punti di convergenza creatisi nello sviluppo dei relativi standard (in particolare di compressione e diffusione) che hanno portato alla nascita di soluzioni a carattere multimediale tali da rendere difficile la separazione dei due campi.

è molto difficile poter dire che uno specifico personaggio sia stato “il primo”. Per tale ragione, specialmente in un'ottica retrospettiva, è più facile individuare chi con la sua attività, la sua tenacia e le sue idee, anche se ispirate a lavori precedenti, è riuscito a far compiere, con grande determinazione e capacità di visione, un significativo balzo in avanti al progresso tecnico ed industriale della radio e della televisione. In questo senso si è preferito in qualche caso adottare il termine “campione”.

<sup>2</sup> Per l'importanza avuta nella storia delle telecomunicazioni italiane, in questo volume è presente un completo capitolo su “Il contributo della Marina Militare italiana allo sviluppo delle radiocomunicazioni” di V. Carulli et al. Il presente capitolo dedica un paragrafo al ruolo dello IERT, il famoso laboratorio della Marina in cui ha lavorato Giancarlo Vallauri, parlando dei contributi italiani nella fase pionieristica della radiofonia.

## Primordi e sviluppi della radiofonia analogica a livello mondiale

### *Gli albori: Fessenden e l'invenzione della modulazione di ampiezza*

Gli esperimenti di Guglielmo Marconi – a cui va dato il riconoscimento incondizionato di avere avuto per primo l'intuizione del possibile impiego delle onde elettromagnetiche come mezzo per trasmettere informazione – sono stati per molti anni orientati essenzialmente allo sviluppo della radiotelegrafia. Nella cultura dell'epoca, infatti, la comunicazione veniva più che altro concepita come bidirezionale e fruita – a parte le richieste di soccorso (SOS) – da due specifici utilizzatori. Il messaggio di tipo telegrafico, peraltro, consentiva una forte capacità di resistenza ai disturbi elettromagnetici di qualunque origine (caratteristica, molto più tardi, distintiva anche delle moderne tecniche digitali) e poteva di conseguenza superare con successo anche grandissime distanze, essendo questa l'applicazione che maggiormente affascinò Marconi per tanti anni.

Come molti altri sperimentatori e scienziati dell'epoca, anche Marconi – pur ricco di tante intuizioni – non aveva immaginato da subito il brillante futuro che avrebbe avuto la radiofonia e l'industria del *broadcasting* nonostante che, a ben vedere, l'idea di diffondere musica e parole a distanza nasca molto prima dell'invenzione della radio, per esattezza nel 1878 quando da un teatro di Bellinzona viene trasmessa via telefono (nato solo due anni prima) l'opera “Don Pasquale” di Donizetti. Va anche aggiunto che Marconi era più affascinato dall'interattività che dalla pura diffusione.

“Campione” sia per la radiotelegrafia che per la radiofonia è da considerarsi, senza alcun dubbio, Reginald Fessenden a cui vanno associati De Forest ed Armstrong per la radiofonia essendo questo lo specifico campo di loro interesse. A tutti e tre si devono le più importanti intuizioni nonché innovazioni tecniche ed applicative nel settore, anche se con un approccio più scientifico del primo rispetto a quello imprenditoriale che ha caratterizzato i secondi e lo stesso Marconi. Particolarmente importante risulta pertanto approfondire la figura, abbastanza sconosciuta in Italia, di Fessenden sul quale ci si soffermerà con qualche dettaglio per conoscere e valutare i suoi fondamentali contributi i cui principi, quando la tecnologia diventa più matura, vengono successivamente adottati universalmente.

Reginald Fessenden (1866-1932) (Fig. 1) è canadese di nascita, ma risiede negli Stati Uniti dove inizia a lavorare a vent'anni nel laboratorio di Thomas Edison che tuttavia, per fronteggiare gravi problemi finanziari, è costretto nel 1890 a privarsi del suo valido contributo.

Dal 1890 al 1900 collabora con varie aziende e nel 1892, per le sue ormai solide conoscenze multidisciplinari, viene anche chiamato



Figura 1. Reginald Fessenden.

come professore in “Electrical Engineering” alla Purdue University (Indiana) nel corrispondente Dipartimento appena formato. L’anno successivo è selezionato da George Westinghouse per il medesimo incarico all’Università di Pittsburgh.

All’epoca quasi tutti gli sperimentatori persistono nell’effettuare prove di trasmissione esclusivamente con modulazioni di tipo *on-off* perché non riescono a concepire che le onde elettromagnetiche possano “trasportare” un’informazione utile (voce o musica) che non sia di tipo telegrafico. Al contrario Fessenden, agli albori del 1900, inseguendo un suo sogno di quando era ragazzo, dopo le notizie sul successo degli esperimenti di Marconi<sup>3</sup>, giunge alla conclusione di avere in mano ormai gli elementi per sviluppare un sistema di comunicazione molto più efficiente di quelli impiegati fino a quel momento e, soprattutto, in grado di trasmettere direttamente la voce umana.

Nel 1900 lascia l’università ed entra nell’USWB (*United States Wheeler Bureau*) interessato alla possibilità di poter sperimentare e realizzare un sistema radio-costiero per trasmettere informazioni meteorologiche alle navi. Il contratto d’assunzione prevede l’accesso da parte di USWB a tutti i dispositivi già inventati da Fessenden a cui, peraltro, viene conservata la proprietà intellettuale delle sue invenzioni.

Il 23 dicembre del 1900 Fessenden, primo uomo nella storia, realizza la trasmissione diretta della voce via radio, su una distanza di circa un miglio, con queste poche parole per il suo assistente: “Hello! One, two, three, four. Is it snowing where you are, Mr. Thiessen? If so, telegraph me back and let me know!”. E dopo pochi istanti, mettendosi le cuffie, sente il classico ticchettio del messaggio telegrafico di risposta che conferma la caduta di neve! Ed annota nel suo diario: “This afternoon intelligible speech by electromagnetic waves has for the first time in World’s History been transmitted”.

E pochi anni dopo nel 1906, come si vedrà più avanti, realizza la prima trasmissione di *broadcasting* radiofonico (parlato e musica) con un’ampia copertura.

Nell’intervallo temporale tra questi due eventi stanno i più importanti contributi tecnici di Fessenden alla radiofonia.

All’epoca, come già accennato, quasi tutti gli scienziati sostenevano che la voce non poteva essere trasmessa se non via filo – “Word without wires, a non sensical thing” era quanto veniva detto, come ricorda Fessenden nelle sue memorie – e non si concepiva che un’onda hertziana potesse trasportare un segnale audio restituendolo alla ricezione.

È interessante perciò riportare la frase con cui egli spiega in modo chiaro, anche se con un fraseggio necessariamente alquanto involuto, la sua invenzione della modulazione di ampiezza (*AM-Amplitude Modulation*) ed il concetto di onda portante persistente per applicazioni radiotelefoniche:

<sup>3</sup> Marconi e le sue idee sono ampiamente trattate in questo volume nel contributo “Pragmatica di un’invenzione: Guglielmo Marconi e le comunicazioni radio” di G. Falciasacca. Altri elementi tecnici importanti di quel periodo si trovano, sempre in questo volume, anche nel contributo di O.M. Bucci: “Dall’elettro-magnetismo alle onde elettromagnetiche: le basi scientifiche dello sviluppo delle Telecomunicazioni nell’Ottocento”.

Wireless telephony is accomplished by generating a practical continuous succession of electromagnetic waves, modifying the character of the emitted impulses by means of sound waves without interrupting their continuity, and receiving them in a constantly operative receiver of suitable form which controls a local circuit containing a battery and a telephone receiver.

Fin dal 1898 Fessenden aveva, infatti, intuito che, per l'applicazione di radiotelegrafia a cui egli pensa come prima realizzazione, il futuro sarebbe stato rappresentato dalla capacità di generare segnali ad alta frequenza (all'epoca alcune decine di kHz), costanti in ampiezza e frequenza e di durata illimitata (da lui battezzate con il termine di "Onde Continue" – *Continuous Wave* o CW), agendo sulle quali la voce doveva in trasmissione operare una "variazione" dell'involuppo e, in ricezione, essere rivelata da un dispositivo sufficientemente veloce (come si direbbe con locuzione moderna).

Tale impostazione, inoltre, avrebbe avuto indubbi vantaggi anche per la radiotelegrafia rispetto alle tecniche di generazione e di rivelazione impiegate in quegli anni da Marconi e portate avanti ancora per molti anni fino al 1912.

I due elementi su cui si concentra Fessenden sono, pertanto, i metodi di generazione delle onde e quelli della rivelazione della modulazione di ampiezza.

I trasmettitori impiegati all'inizio del 1900<sup>4</sup> erano ancora tutti del tipo a scintilla (*spark gap transmitter*) e solo negli anni successivi si sarebbero evoluti nella versione denominata a scintilla rotante (*rotary spark-gap transmitter*) con il vantaggio, rispetto alla soluzione statica, di una maggiore regolarità e rapidità di successione nelle scariche (e quindi dei treni di onda emessi) e con la potenzialità di generare maggiori potenze.

Fessenden è anche consapevole che il *coherer*<sup>5</sup>, impiegato da Marconi come rivelatore, è del tutto inadeguato per la "sua" modulazione di ampiezza. Un rivelatore radiofonico degno di questo nome avrebbe, infatti, dovuto essere in grado di ricevere i segnali con continuità, senza costringere a continui riaggiustamenti, come avveniva appunto col *coherer* originale o con dispositivi più evoluti realizzati con lo stesso principio.

<sup>4</sup> I primi trasmettitori statici a scintilla (detti anche di Hertz-Marconi) fornivano, attraverso una batteria, una successione di scariche (ad intervalli più o meno regolari al ritmo delle basse frequenze audio) tra gli elettrodi di un interruttore a scintilla introdotto nel circuito di antenna. Ognuna delle scariche generava un breve *burst* di onde hertziane di ampiezza decrescente e frequenza determinata dal circuito risonante inserito, in varie soluzioni, nello schema del trasmettitore. Il successivo passo dei trasmettitori a scintilla, dopo il 1898, è la versione di Braun-Fleming che separa, con accoppiamento induttivo, il circuito di antenna dall'interruttore, con la possibilità di avere due tensioni differenti nel primario per la scarica e nel secondario per l'antenna e due diversi circuiti risonanti, migliorando con tale soluzione le prestazioni.

<sup>5</sup> Il *coherer* (coesore), già citato nei due contributi in questo volume di cui alla nota 3, era costituito da un tubetto di vetro nel quale era fatto il vuoto e da due elettrodi a cilindretto fra i quali si poneva una sottile limatura di ferro. Tale rivelatore, inventato nel 1884 dall'italiano Calzecchi Onesti – ed impiegato largamente da Marconi in tutte le sue prime trasmissioni telegrafiche – era troppo approssimativo per rivelare la modulazione d'ampiezza. Lo stesso Marconi introduce nel 1902 (ma l'effettiva utilizzazione è di qualche anno più tardi) un rivelatore magnetico (*magnetic detector*) per evitare continui riaggiustamenti e che si dimostrerà impiegabile anche per la modulazione di ampiezza.

Ciononostante, è con un trasmettitore a scintilla di tipo statico – unico mezzo all’epoca per generare una potenza apprezzabile – da lui migliorato per la specifica applicazione e con un *coherer* autoripristinante che Fessenden aveva effettuato il suo primo esperimento di trasmissione della voce. Come modulatore di ampiezza, aveva adottato un semplice microfono a carbone di tipo telefonico inserito nella linea di collegamento all’antenna. È conscio tuttavia che, in assenza di un trasmettitore ad onde continue<sup>6</sup> e di un adeguato rivelatore, avrebbe trovato grandi difficoltà ad ottenere un ascolto perfettamente intellegibile e che, in ogni caso, il segnale audio sarebbe risultato troppo distorto per iniziare a pensare, con questi limiti, ad applicazioni commerciali.

È così che Fessenden decide di lavorare intensamente per migliorare le cose. Nel 1902, come prima traguardo, realizza un rivelatore di nuova concezione abbastanza sensibile che denomina *barretter*<sup>7</sup> (sostanzialmente un termoresistore con funzioni di raddrizzatore) e subito dopo, per incrementarne ulteriormente la sensibilità, introduce il “rivelatore elettrolitico” – chiamato anche *liquid barretter* – costituito dal termoresistore del *barretter* già menzionato (designato da quel momento con il termine *hot*) immerso in una soluzione di acido nitrico. Per molti anni – fino all’avvento del notissimo rivelatore a “galena” e quindi del diodo sui quali si tornerà in maggior dettaglio – il *liquid barretter* verrà considerato il rivelatore AM più sensibile esistente sul mercato, congiuntamente al rivelatore magnetico introdotto da Marconi (cfr. nota 5) valutato peraltro più appropriato per i segnali telegrafici.

Nei successivi esperimenti di quegli anni Fessenden è, tuttavia, più che mai convinto che, anche con il nuovo rivelatore, la qualità lascerà sempre molto a desiderare in quanto la ricezione è particolarmente disturbata dai fastidiosissimi rumori di fondo provocati dai generatori a scintilla (anche se da lui modificati per ridurre tale rumore e creare treni di onde alquanto più lunghi delle soluzioni tradizionali).

Questo è il motivo per il quale Fessenden, a partire dai primi anni del 1900, riprende con determinazione i suoi studi sui generatori (nel 1901 aveva ottenuto un brevetto per un generatore-alternatore di “onde continue”) e concentra la sua mente e le sue energie nella creazione di alternatori ad alta frequenza ad onda sinusoidale basati sul principio degli alternatori elettrici che, in quegli anni, si stanno rapidamente affermando nella produzione d’energia elettrica (anche se, ovviamente, alle frequenze molto basse di 40-60 Hz). Un alternatore per applicazioni radiotelefoniche e radiofoniche deve, invece, essere progettato per operare nei campi di frequenze VLF (*Very Low Frequency* ossia 3-30 kHz) e, possibilmente, LF (*Low Frequency* ossia 30-300 kHz) per diminuire le dimensioni

<sup>6</sup> È importante sottolineare che, nella mentalità scientifica di quegli anni, le scariche ed il loro susseguirsi con relative interruzioni venivano considerati elementi essenziali per ottenere la radiazione di onde e da ciò si può capire la difficoltà di Fessenden a far accettare alla comunità scientifica il concetto di onda continua da lui introdotto.

<sup>7</sup> Il *barretter* è sostanzialmente un sensibile termoresistore impiegato come rivelatore per la modulazione di ampiezza il cui nome, coniato da Fessenden, deriva da una parola francese che significa “scambiatore”.

delle antenne radianti. Tenuto conto dei limiti meccanici per la massima velocità di rotazione del rotore, è evidente che alternatori a frequenze così elevate implicano anche una struttura a moltissimi poli ed altri raffinati accorgimenti.

Nel 1903, con la collaborazione di Steimetz, Fessenden modifica l'alternatore di Tesla<sup>8</sup> ed è in grado di costruire un generatore a corrente alternata sempre alla frequenza di 10 kHz ma con una potenza pari ad 1 kW. Tale potenza è tuttavia ancora troppo limitata per applicazioni radiofoniche in quella gamma di frequenza e Fessenden – che un anno prima aveva trovato i necessari finanziamenti per creare con altri soci la società NESCO (National Electric Signaling Company) al fine di promuovere e tradurre in prodotti industriali le sue invenzioni in concorrenza con la Marconi – si preoccupa perciò di seguire vie alternative. Fa pertanto stendere a NESCO, nel 1904, un contratto con la General Electric – già con grande esperienza industriale nel campo degli alternatori per energia elettrica – con lo scopo di commissionare il progetto e l'industrializzazione di generatori ad onda continua con frequenza e potenza maggiori di quelle da lui stesso raggiunte fino ad allora. Il primo obiettivo del potenziale progetto è un alternatore con frequenza di 100 kHz con una potenza di almeno 1 kW anche se il relativo sviluppo appare arduo e lungo e secondo alcuni (tra cui Fleming allora consulente della Marconi Company) addirittura impossibile.

In attesa fiduciosa del progetto della General Electric, Fessenden ed i suoi collaboratori lavorano su altre soluzioni ottenendo risultati abbastanza soddisfacenti nella trasmissione di messaggi vocali che impiegano trasmettitori a scintilla sensibilmente migliorati per l'applicazione desiderata, ma pur sempre accompagnati dal noioso rumore di fondo già accennato anche se più ridotto rispetto ai primi esperimenti. Vengono anche sperimentati alternatori VLF ma le frequenze e potenze raggiunte in quel periodo dal gruppo di collaboratori di Fessenden si rivelano decisamente troppo basse per trasmissioni a distanza.

Finalmente nell'agosto del 1906, nell'ambito dell'accordo firmato con NESCO, un nucleo di valenti ingegneri della General Electric sotto la direzione dello svedese Alexanderson completa, dopo due anni di lavoro, la realizzazione industriale di un alternatore sincrono ad onda continua con frequenza massima ottenibile fino a 60-80 kHz ma con potenza limitata a 250 W. Il nuovo generatore viene spedito alla stazione sperimentale di Brant Rock (Massachusetts) sede della NESCO, ma Fessenden<sup>9</sup> – forse deluso, rispetto alle sue attese, dalla

<sup>8</sup> Per la generazione di segnali a corrente alternata di una certa potenza nella gamma VLF, già nel 1889 Nicola Tesla aveva brevettato un alternatore che, tenuto conto della velocità di rotazione del rotore, era costruito con 384 poli per essere in grado di generare un segnale elettrico a frequenza di 10 kHz. La potenza che si riusciva ad ottenere era, tuttavia, troppo modesta per pensare ad applicazioni pratiche.

<sup>9</sup> Fessenden continuerà, ancora per molti anni, a lavorare con nuove idee sugli alternatori in alta frequenza passando le informazioni relative alle sue intuizioni al gruppo di progettisti General Electric, stimati nonostante l'incidente di percorso. Alexanderson, basandosi su queste idee, realizzerà industrialmente nel 1909 un alternatore per Fessenden della potenza di 2 kW alla frequenza di 100 kHz che avrebbe rappresentato il modello cui ispirarsi

potenza limitata della macchina di Alexanderson rispetto all'obiettivo che era stato prefissato – lo contesta e, lavorando giorno e notte, nel novembre dello stesso anno riesce a migliorare le prestazioni portandolo ad una potenza di quasi 1 kW nel desiderato campo di frequenza (oltre i 50 kHz).

Con tale macchina viene sperimentata nello stesso mese, con grande successo, un collegamento radiotelefonico di buona qualità su una distanza di 17 km<sup>10</sup>.

Nella notte di Natale del 1906, sempre con lo stesso alternatore, dopo tanti anni di studi ed esperimenti, Fessenden – avendo preavvisato con un messaggio telegrafico tutte le navi in mare di un importante collegamento – realizza la prima trasmissione nella storia del *broadcasting* radiofonico con un programma di parlato e musica (in parte suonata da lui stesso) di cui aveva stabilito con grande cura il palinsesto.

La trasmissione viene ricevuta a bordo di varie navi USA in navigazione nell'Atlantico – a varie distanze, fino al centinaio di miglia, dalla costa – equipaggiate con il rivelatore *liquid barretter* cui si è già accennato. Tutti i potenziali ascoltatori (essenzialmente natanti) sono pregati nella trasmissione di scrivere una lettera appena possibile per fornire ogni possibile informazione su posizione e qualità di ricezione del segnale audio. Alcune delle navi sono anche equipaggiate con un ricevitore di tipo “eterodina” (di cui si parlerà in seguito) relativamente al quale il prolifico Fessenden, inventandone anche il nome, aveva depositato un brevetto nel 1902 che alcuni storici della scienza considerano come uno tra i suoi più importanti contributi al campo della radiofonia.

Questo evento apre ufficialmente la strada al *broadcasting* radiofonico che diventerà il primo sistema elettronico di comunicazione di massa, anche se ancora

negli anni successivi per alternatori ancora più potenti. Nel 1915, quando Fessenden si era già ritirato dal campo della radiofonia, Alexanderson costruisce un alternatore a frequenza di 100 kHz con potenza di 50 kW (portata in seguito a 200 kW), particolarmente indicato per ottime trasmissioni telegrafiche transatlantiche.

La GE metterà in commercio tali alternatori, passati alla storia con il nome di Alexanderson, accreditandosi il completo merito dello sviluppo, senza ricordare i grandi contributi dati da Fessenden a partire, ad esempio, dalla scelta di acciai al carbonio per diminuire i cicli di isteresi e le conseguenti dissipazioni. Gli alternatori GE avrebbero avuto grande successo per applicazioni telegrafiche transoceaniche ad onde lunghe e per applicazioni militari rimanendo in produzione fino a dopo il 1940 quando furono definitivamente soppiantati dalle valvole. Per il loro costo, complessità e limitato campo di frequenza non sono stati invece mai impiegati dalle stazioni di *broadcasting* radiofonico che, a partire dal 1918, impiegheranno esclusivamente valvole.

<sup>10</sup> Il 21 dicembre del 1906 (pochi giorni prima della diffusione radiofonica della notte di Natale) era stata fatta una dimostrazione dello stato dell'arte della tecnica per applicazioni radiotelefoniche agli organismi potenzialmente interessati, tra cui ovviamente AT&T (American Telephone & Telegraph Inc). Per quanto AT&T riconoscesse l'importanza dell'idea della radiotelefonica sia per le comunicazioni tra le navi che per l'impiego, economicamente vantaggioso, di collegamenti per lunghe distanze (specie in un momento in cui si stavano cominciando a sviluppare i concetti di multiplazione telefonica), decise di non acquistare i brevetti che, pur rivoluzionari, non erano ancora sufficientemente maturi per le applicazioni commerciali.

La decisione fu corretta – anche se dolorosa per Fessenden ed i suoi finanziatori – in quanto, in effetti, il primo sistema USA di collegamento radiotelefonico a grande distanza si sarebbe concretato solo nel 1920 e, pur basato sui principi di Fessenden, avrebbe ormai impiegato trasmettitori a valvole e ricevitori più avanzati.

vari sono i problemi da risolvere per una ricezione qualitativamente migliore tra cui, in primo luogo, la necessità di una maggiore potenza degli alternatori.

Fessenden, negli ultimi giorni del 1910 – dopo altri successi quali la prima trasmissione telegrafica bidirezionale attraverso l'Atlantico con un alternatore-generatore a scintilla rotante di sua creazione – lascia la NESCO per forti contrasti con i finanziatori e si dedica attivamente ad altri campi dell'ingegneria.

Nel 1914, Marconi avrebbe ammesso che Fessenden era nel giusto con i concetti e le intuizioni relativamente alle onde continue e la Marconi Company acquisisce la licenza per i suoi brevetti in tale campo. La NESCO, rinominata International Radio Telegraph Company, nel 1920 viene venduta dai suoi azionisti alla Westinghouse e ceduta l'anno dopo alla RCA<sup>11</sup>.

Fessenden che, nella sua vita ed anche dopo, ha avuto riconoscimenti inferiori ai suoi grandi meriti muore nel 1932, all'età di 66 anni, in una sua casa alle isole Bermude dove si era ritirato, all'inizio degli anni '20, stanco delle continue dispute legali. Lascia un'eredità di oltre 500 brevetti tra cui – oltre quelli relativi al campo della radiotelegrafia, radiotelefonica e radiofonia – un consistente numero nei nuovi campi a cui si era dedicato quali il sonar, il *pager*, la radiobussola, la criptazione della voce, ecc.

Per quanto ci riguarda va, tuttavia, ricordato come l'inventore ed il “campione” della radiofonia e come il “produttore” del primo *broadcasting* radiofonico.

### *Gli sviluppi della rivelazione dei segnali: Fleming e il diodo*

Il problema della rivelazione nella ricezione di un segnale ha costituito per molti anni uno dei punti chiave nello sviluppo della radiofonia.

Dopo il 1913, il rivelatore *liquid barretter* inizia ad essere sostituito dal *crystal detector* che avrebbe rappresentato per un lunghissimo periodo il dispositivo impiegato con maggior successo nei radioricevitori commerciali fino alla sua sostituzione con il diodo.

Tale rivelatore si basava sulla scoperta – avvenuta nel 1874 ma brevettata solo nel 1899 – del grande fisico tedesco Ferdinand Braun<sup>12</sup> relativamente alla proprietà di alcuni cristalli di presentare una conduzione elettrica unilaterale operando in tal modo come “raddrizzatori” di corrente.

<sup>11</sup> È interessante ricordare che, nel 1919, sono stati proprio i brevetti NESCO sugli alternatori – considerati materiale strategico dalla Marina degli Stati Uniti – a creare le premesse affinché la Westinghouse non rivendesse, come stava avvenendo, la NESCO alla Marconi Wireless sussidiaria americana della Marconi inglese, a meno che la Marconi Wireless non diventasse completamente controllata da aziende USA, come poi avvenne, cambiando il nome in RCA (Radio Corporation of America).

La RCA, nell'acquisizione della NESCO del 1919, dovette caricarsi anche delle pendenze aperte da Fessenden in sede legale per la parte economica a lui spettante a seguito dell'utilizzo dei brevetti, ciò che nel 1926 (ben 15 anni dopo l'uscita dalla società da lui fondata) comportò l'obbligo da parte RCA di una compensazione nei suoi riguardi di mezzo milione di dollari.

<sup>12</sup> Ferdinand Braun è anche l'inventore del cinescopio, come si vedrà più avanti parlando della televisione, e per i suoi molteplici meriti otterrà il premio Nobel assieme a Marconi nel 1909.

Su tale scoperta, lo statunitense Greenleaf Pickard sviluppa un dispositivo rivelatore (denominato *cat's whisker* ossia “a baffo di gatto”) impiegando un cristallo di silicio e lo brevetta nel 1906. Il *crystal detector* è, più genericamente, costituito da un cristallo di un minerale semiconduttore e da un sottile filo che, mosso manualmente, permette di trovare per tentativi il punto di contatto ove il cristallo riesce ad ottenere la migliore rivelazione.

Si affaccia in tal modo nella radiofonia il primo semiconduttore della storia.

Il dispositivo di Pickard con rivelatore a cristallo – di cui il più frequentemente impiegato sarebbe stato quello a solfuro di piombo denominato anche “galena” (principale minerale impiegato per l'estrazione del piombo) – ha un grandissimo successo per la sua semplicità e basso costo e viene impiegato in moltissimi modelli di ricevitori fino alla metà degli anni '30. A partire da quella data la galena sarebbe stata definitivamente rimpiazzata dal diodo la cui storia, peraltro, è altrettanto antica quanto il rivelatore a cristallo.

Il principio del diodo era stato illustrato dal fisico-chimico britannico Frederick Guthrie nel 1873 e poi ripreso dallo statunitense Thomas Edison nel 1880 che lo aveva brevettato nel 1883 senza però dare alcun seguito né indicato possibili applicazioni. Il brevetto mette soprattutto in luce l'effetto termoionico conosciuto, per l'appunto, anche come “effetto Edison”.

Il britannico John A. Fleming (1849-1945) (Fig. 2) professore all'Università di Cambridge – già collaboratore di Edison e consulente scientifico della Società Marconi per la ricerca di ricevitori radio più sensibili e stabili – lo recupera, lo perfeziona, ne finalizza l'applicazione e nel novembre del 1904 brevetta il dispositivo da lui costruito che, negli anni successivi, avrebbe assunto diversi nomi: *oscillation valve*, *vacuum diode*, *kenotron*, *thermionic tube*, *Fleming valve*.

Il diodo, pur essendo stato brevettato due anni in anticipo rispetto al rivelatore a cristallo, pone problemi non piccoli di natura economica a causa dell'alta incidenza di costo sia del tubo a vuoto che della relativa alimentazione a confronto alla grande economicità del rivelatore a galena.

Dopo molti anni e solo nella seconda metà degli anni '30 (riuscirebbe oggi difficile capirlo se non menzionando i problemi anzidetti) il diodo avrebbe vinto la sua battaglia nei confronti del *crystal detector* il cui punto debole era rappresentato dall'incertezza nella regolazione del contatto punta-cristallo.

Il ricevitore a galena è tuttavia sicuramente parte dei ricordi dei lettori più anziani che con esso si cimentarono negli anni della loro gioventù per realizzare semplici ricevitori radio a modulazione di ampiezza.

### *De Forest ed Armstrong: triodo e sviluppo delle tecniche radiofoniche*

Un contributo fondamentale al progresso della radiofonia è stato dato dallo statunitense Lee De Forest (1873-1971) (Fig. 3) noto soprattutto per l'invenzione nel 1906 del triodo, anche se i suoi contributi nel campo sono stati numerosi e non solo tecnici.

Vale innanzitutto la pena ricordare che la dizione “triodo” si sarebbe affermata solo dopo il 1919, mentre il nome originale con cui l'inventore battezza il nuovo dispositivo è “Audion”. L'innovazione rivoluzionaria apportata da De

Forest consegue all'inserzione di un terzo elettrodo (griglia) tra il catodo (filamento) e l'anodo (placca) del diodo. Fleming contesta De Forest per violazione di brevetto ma il tribunale gli dà torto.

Il dispositivo, impiegato per alcuni anni solo come rivelatore di segnali molto deboli, avrebbe successivamente aperto la strada – in combinazione con

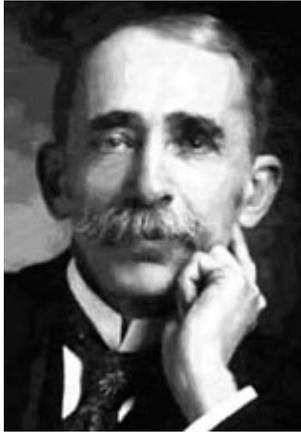


Figura 2. John Fleming.

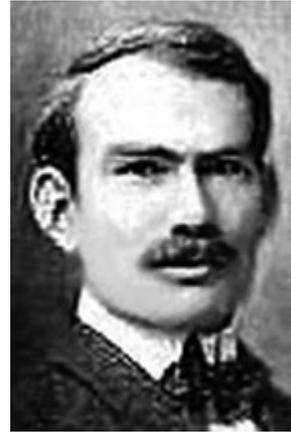


Figura 3. Lee De Forest.

un'opportuna circuitistica esterna – ad un'infinità di applicazioni nei vari campi delle telecomunicazioni, della radiofonia e, più tardi, della televisione.

In realtà, come provato da molti suoi stessi appunti, De Forest “inciampò” nella sua invenzione mentre armeggiava con il diodo e non capì mai fino in fondo come il dispositivo da lui brevettato funzionasse.

Spetta a Irving Langmuir della General Electric ed a Harold Arnold dei Bell Labs il merito, nel 1912, di averne meglio capito i meccanismi di funzionamento, portando anche avanti la realizzazione di tubi di potenza attraverso lo sviluppo di nuove tecnologie per i materiali da impiegare ed il convincimento che solo con un vuoto spinto all'interno del bulbo di vetro – anziché l'introduzione di gas inerti – si sarebbero migliorate le prestazioni.

Anche l'italiano Giancarlo Vallauri, come si vedrà più avanti in maggior dettaglio, apportò nel 1916 un contributo teorico importante allo sviluppo del nuovo dispositivo con la sua famosa “equazione del triodo” che ne descrive matematicamente il funzionamento.

Con l'invenzione del triodo di De Forest si apre definitivamente l'era dell'elettronica iniziata con il diodo di Fleming: i tubi termoionici – denominati successivamente più semplicemente “valvole” in analogia a quelle idrauliche – avrebbero svolto un fondamentale ruolo nello sviluppo del *broadcasting* radiofonico (sia per i trasmettitori che per i ricevitori) dominando il campo fino all'introduzione dei transistor, peraltro confinati per un lungo iniziale periodo di tempo all'impiego nei soli ricevitori e non per applicazioni di trasmissione.

Dal punto di vista storico occorre tuttavia sottolineare che lo sviluppo iniziale dell'Audion è favorito prima di tutto, a partire dal 1912, dalle esigenze per applicazioni professionali nelle telecomunicazioni al fine di amplificare i segnali in reti telefoniche a lunga distanza.

Poco dopo diventano maturi i tempi anche per l'innovativo impiego del triodo come oscillatore e questa applicazione dà l'avvio alle sue molteplici utilizzazioni in campo radiofonico. I trasmettitori a valvole iniziano a comparire nel 1918 e costituiscono un fondamentale passo in avanti – in termini di



**Figura 4.** Edwin H. Armstrong.

efficacia e semplicità di soluzione – rispetto agli alternatori ad onda continua fino allora impiegati (cfr. nota 9), ma non adatti a stazioni trasmettenti radiofoniche soprattutto per il loro altissimo costo. La prima stazione trasmettente (avviata, come si vedrà, proprio da De Forest) nasce nel 1918 direttamente con un triodo di potenza come oscillatore, avvalorando per le valvole una destinazione nelle applicazioni – prima i trasmettitori e molti anni dopo i ricevitori – reciproca rispetto a quella che sarebbe stata la successiva storia dei transistor.

Per i ricevitori commerciali radiofonici, come già sottolineato nel precedente paragrafo, il costo delle valvole avrebbe creato per lungo tempo un notevole ostacolo alla loro introduzione nonostante i riconosciuti vantaggi, ragione per la quale i tecnici si sarebbero “spremuti il cervello” per molti anni dopo al fine di concepire schemi circuitali in grado di ridurre al massimo il numero di valvole da impiegare nei ricevitori.

Per la sua importanza storica conviene ripercorrere con qualche dettaglio il periodo che va tra il 1911 ed il 1914, particolarmente importante agli effetti dell’impatto applicativo dell’Audion nelle telecomunicazioni e nella radiofonia.

Dopo il fallimento e la bancarotta nel 1911 di una società creata sul brevetto dell’Audion, un De Forest depresso (anche per il divorzio dalla moglie) e senza risorse economiche inizia esperimenti per l’amplificazione conseguendo un certo successo, in particolare attraverso la connessione in cascata di due Audion. L’amplificatore così realizzato attira fortemente l’attenzione della AT&T che, nell’ottobre del 1912, decide di acquisire i diritti in esclusiva sull’Audion e commissiona a De Forest il proseguimento degli studi sull’amplificazione dei segnali telefonici singoli o multiplati.

Proprio nello stesso periodo un altro importante passo viene compiuto dagli esperimenti iniziati nel 1911 da un giovane studente della Columbia University: Edwin Howard Armstrong (1890-1954) (Fig. 4) di cui si parlerà ampiamente per i suoi molteplici e fondamentali contributi.

La sua prima invenzione concretata nel 1912 – anche se al giorno d’oggi del tutto dimenticata come applicazione – è quella del cosiddetto *regenerative circuit* che avrebbe rappresentato per molti anni un brevetto particolarmente significativo e largamente impiegato per i ricevitori AM a valvole al fine di ridurre il numero dei costosi tubi elettronici da impiegare.

L’idea consiste nell’utilizzare il triodo in modo complesso con una reazione positiva – ed a tale proposito si può affermare che il corrispondente brevetto comprende anche quello dell’oscillatore in alta frequenza di cui Armstrong intuì l’enorme importanza pratica – in modo che il dispositivo possa svolgere, al tempo stesso, funzioni di amplificazione a radio-frequenza, di conversione nel segnale audio e di rivelazione, migliorando la sensibilità e la selettività rispetto ai rice-

vitori allora impiegati. In pratica il segnale a radio-frequenza viene amplificato più volte dalla stessa valvola e poi convertito direttamente in segnale audio. La principale motivazione di tale circuito nasce dalla possibilità d'impiego di una sola valvola per più funzioni con un notevole risparmio economico, anche se la contropartita è una notevole criticità di messa a punto del circuito ed una sua possibile instabilità.

Per quanto nel 1912 Armstrong avesse fatto una dimostrazione per i suoi amici (riuscendo a captare un segnale proveniente dall'Irlanda) ed al principio del 1913 una dimostrazione pubblica all'università – alla presenza anche di un ingegnere della Marconi che disse che quel ricevitore era un “wonderful piece” – egli non fu in grado di brevettare ufficialmente la sua idea prima della fine di ottobre del 1913 perché il padre non intese dargli i 150\$ necessari per depositare il brevetto se non dopo il conseguimento della laurea.

Nella domanda di brevetto Armstrong decide di mettere in luce esclusivamente l'idea nuova di un ricevitore sensibile con una sola valvola senza introdurre specificatamente una rivendicazione anche sulla proprietà dell'Audion di poter essere utilizzato, oltre che come amplificatore di deboli segnali radio, anche come generatore di onde continue ad alta frequenza mediante un'opportuna circuitistica esterna. Per questo secondo aspetto, due mesi dopo ossia nel dicembre del 1913, egli deposita un secondo brevetto esclusivamente centrato sull'impiego dell'Audion come oscillatore<sup>13</sup>.

Tornando alla domanda di brevetto dell'ottobre 1913 – che comprende intrinsecamente anche quella dell'uso dell'Audion come oscillatore di due mesi dopo (elemento importante dal punto di vista legale) – nasce tra Armstrong e De Forest una lunghissima controversia legale durata vent'anni e passata agli annali della storia delle contese sui brevetti.

De Forest argomenta – ma solo dopo una conferenza in cui Armstrong aveva illustrato in modo circostanziato il suo brevetto – che le relative applicazioni sono già incluse nel suo brevetto originale dell'Audion del 1907 e nei suoi appunti sull'amplificazione del 1912 e brevetti correlati.

La causa è anche complicata dal fatto che, sull'idea del *regenerative circuit*, erano stati depositati analoghi brevetti rispettivamente da Langmuir (nello stesso giorno di Armstrong) e dall'ingegnere tedesco Meissner (sei mesi prima di quella data). Inoltre, alcuni mesi dopo, vi sarebbe stato anche un tentativo dello stesso De Forest di depositare un brevetto equivalente che, tuttavia, non viene accettato dall'Ufficio Brevetti in quanto chiaramente sovrapposto a quello di Armstrong.

La strategia di De Forest, di conseguenza, cambia e si tramutata, nei confronti di Armstrong, in violazione dei propri antecedenti brevetti.

La controversia va avanti negli anni con alterni gradi di giudizio a favore dei due contendenti fino a che, nel 1934, la Suprema Corte degli Stati Uniti dà ragione – oggi si ritiene molto ingiustamente – a De Forest che, come si

<sup>13</sup> Nel 1922, Armstrong depositerà un altro brevetto, indicato con il nome di *superregenerative circuit*, che fornisce ulteriori vantaggi ma, soprattutto, rende meno critica la messa a punto del circuito per quanto riguarda la potenziale instabilità.

evinces chiaramente dal suo quaderno di appunti, alla data del 1914, non aveva ancora ben capito i principi alla base del brevetto di Armstrong ed, in generale, le potenzialità che l'Audion sarebbe stato ancora in grado di dare.

Occorre peraltro ricordare che, dietro De Forest, c'era la AT&T (American Telephone & Telegraph Inc.) che ha ormai da anni aveva acquisito i diritti dell'Audion e che intendeva valorizzare al massimo questo suo *asset*.

La controversia citata sarebbe passata agli atti della storia brevettuale e legale in quanto porta ad alcune fondamentali analisi e considerazioni di tecnica dei brevetti cui vale la pena accennare. Su pressante stimolo della AT&T, De Forest aveva sperimentato nel 1912 l'amplificazione alle basse frequenze vocali per linee telefoniche ma, anche ammettendo che egli fosse conscio che l'Audion potesse lavorare sia alle basse che alle alte frequenze, non era per niente chiaro dal suo brevetto che l'invenzione potesse ricoprire anche il campo delle alte frequenze.

A De Forest che affermava di aver inventato un dispositivo (l'Audion) in grado di generare amplificazione per oscillazioni elettriche, Armstrong ribatteva che egli si era limitato ad inventare un amplificatore per il solo segnale telefonico e che, per generare un'oscillazione controllata, risultava importante, oltre al dispositivo, concepire anche la circuitistica al suo contorno.

Agli effetti brevettuali, pertanto, si poneva in primo luogo il problema di chiarire il confine tra basse ed alte frequenze. In secondo luogo, all'epoca, non era del tutto facile definire con esattezza la delimitazione tra amplificazione ed oscillazione. Armstrong, infatti, aveva chiaramente esplicitato nel brevetto del 1913 che il suo *regenerative circuit* produceva anche un'oscillazione ad alta frequenza e che tale oscillazione poteva essere sfruttata per generare onde continue, mentre dagli appunti di De Forest sull'amplificazione risultava chiaramente come egli considerasse un'oscillazione come un effetto del tutto parassita che occorreva eliminare.

Il problema brevettuale è certamente difficile perché, come osservato da un famoso legale dell'epoca, non solo coinvolge il dubbio se ogni singolo brevetto (com'era nella legislazione dell'epoca) può e deve garantire una sola invenzione ma, al tempo stesso, si rende necessario capire cosa significa "singola" invenzione ed, al limite, ridefinire lo stesso concetto d'invenzione!

È importante passare ora a considerare un altro basilare brevetto che rappresenta tuttora uno dei pilastri fondamentali della tecnica radiofonica e, più in generale, della tecnica radio per le molteplici applicazioni nei più svariati campi (ponti radio, radar, telemetria, contromisure elettroniche, ecc). Ci si riferisce al brevetto del ricevitore supereterodina (*superheterodyne receiver*).

Il principio dell'eterodina era stato già introdotto e brevettato nel 1902 da Fessenden, come accennato nel relativo paragrafo, per i ricevitori (anche per applicazioni radiotelegrafiche) e spetta anche a lui l'ideazione del nome dall'unione delle due parole greche *heteros* ossia differente e *dynamis* cioè forza. Il senso è quello di mischiare due frequenze per crearne due nuove (la somma e la differenza) di cui soltanto una, a seconda dell'applicazione, è quella di interesse (ad esempio quella più alta nel caso di un trasmettitore e quella più bassa nel caso di un ricevitore). Il brevetto di Fessenden era sostanzialmente una conseguenza

di due suoi precedenti brevetti: il primo sul metodo di battimento dei segnali ed il secondo sui sistemi ad onde continue.

Nel senso sopra esposto, il brevetto del 1902 (epoca in cui le valvole erano inesistenti) è certamente l'ispiratore del gruppo di brevetti che arrivano 15 anni dopo e che sono, in modo sostanziale, basati sul concepire una circuitistica a valvole che permetta di realizzare le funzioni desiderate.

In realtà l'idea del battimento è anche già applicata, tra le varie altre funzioni, nel brevetto di Armstrong del 1913, già ampiamente commentato, del *regenerative circuit* che, per tale ragione, a volte viene denominato ricevitore eterodina.

Il ricevitore supereterodina – ideato dal francese Lucien Levy nel 1917 e brevettato anche da Armstrong<sup>14</sup> nel 1918 (sembra in modo del tutto indipendente) – si propone, oltre l'eliminazione dell'instabilità tipica della soluzione rigenerativa dovuta all'uso multiplo della stessa valvola, anche un efficace e semplice metodo di sintonizzazione dei ricevitori per aumentarne sensibilmente la selettività e, di conseguenza, diminuire in modo drastico tutte le cause di disturbo provocate da interferenze con segnali adiacenti.

Il principio supereterodina si basa sull'utilizzo di un oscillatore – detto “locale” ossia nell'ambito dello stesso ricevitore – con frequenza variabile tramite opportuno comando, il cui segnale “batte” in un “mixer” (moltiplicatore) con le portanti radio ricevute – filtrate all'ingresso solo in modo grossolano – generando un nuovo segnale modulato la cui frequenza prefissata (detta “intermedia”) risulta pari alla differenza tra quella (variabile) dell'oscillatore locale e le frequenze delle portanti ricevute modulate dai diversi programmi trasmessi. L'adozione di una frequenza intermedia sempre identica, il cui valore è sensibilmente più basso delle frequenze dei segnali ricevuti, permette di operare nel ricevitore un accurato filtraggio selettivo ed, al tempo stesso, una più facile e robusta amplificazione prima di avviare il segnale al circuito rivelatore AM della frequenza audio.

La differenza fondamentale tra il ricevitore supereterodina ed il semplice ricevitore rigenerativo (ovvero ricevitore eterodina) è che lo schema sopra descritto evidenzia funzioni ben chiare e separate, mentre, nel secondo, segnali radio e segnali audio vengono combinati tutti assieme con potenziali e frequenti problemi di instabilità.

Lo schema supereterodina rivoluziona l'architettura fino allora impiegata nei ricevitori radiofonici, evitando la necessità di tanti filtri ad alta frequenza quante le stazioni ricevute e rende l'utilizzo di un ricevitore radiofonico facile ed alla portata di tutti, con una singola manovra necessaria per la sintonia.

<sup>14</sup> Vale la pena ricordare che l'idea venne ad Armstrong, durante la Prima Guerra Mondiale, a seguito dell'incarico ricevuto di localizzare la presenza di aerei. A tale scopo pensò di rivelare le radiazioni elettromagnetiche emesse dalle scintille nell'ignizione dei motori. Peraltro lo spettro di queste radiazioni aveva potenza significativa solo al di sopra di 1 MHz ed era quindi necessario ottenere una forte amplificazione in quel campo di frequenze. Poiché tale prestazione all'epoca non era facile, Armstrong decise di impiegare in modo differente il principio eterodina di Fessenden. Piuttosto che demodulare direttamente il segnale, preferì convertirlo ad una frequenza più bassa (frequenza intermedia) in modo da riuscire a realizzare una forte amplificazione ed un preciso filtraggio prima della rivelazione, aumentando notevolmente la sensibilità del ricevitore (il rumore atmosferico era l'unico fattore limitante).

Armstrong è abile a tradurre in pratica la sua idea che viene subito adottata dai militari a partire già dall'inizio degli anni '20. Invece, la vendita del brevetto su larga scala per applicazioni commerciali incontra grosse difficoltà perché, come in altri casi già visti, l'idea rivoluzionaria viene resa non attraente, sul mercato *consumer*, dall'alto costo delle valvole.

Visto il parziale insuccesso, Armstrong, decide di vendere il brevetto alla sola Westinghouse che lo rivende ad RCA che rimarrà, per tale applicazione, in posizione monopolistica fino agli inizi degli anni '30 producendo, peraltro, un numero abbastanza limitato di ricevitori di fascia alta.

Dopo la metà degli anni '30 il ricevitore supereterodina si afferma definitivamente ed universalmente per tutte le fasce di ricevitori.

### *Le fasi pionieristiche del broadcasting radiofonico*



Figura 5. David Sarnoff.

De Forest, oltre al suo attivismo tecnico ed alle continue dispute legali, segue con molto slancio anche lo sviluppo dei servizi di *broadcasting* ed ha il grande merito di organizzare la prima vera radiodiffusione pubblica nel gennaio del 1910, con la trasmissione dal Metropolitan di New York di opere italiane con la partecipazione del grande tenore Enrico Caruso.

A De Forest non piace la parola *wireless* e decide di usare il termine *radio*, termine che da quel momento inizia a prendere piede rapidamente nello sviluppo della radiofonia prima negli Stati Uniti e poi in Europa.

Nel 1916, il russo emigrato negli Stati Uniti David Sarnoff (1891-1971) (Fig. 5), manager commerciale nella “Marconi Wireless Telegraph Company of America”, sussidiaria della Marconi britannica, invia al suo Presidente Edward J. Nally un Memorandum in cui afferma:

I have in mind a plan of development which would make radio a ‘household utility’ in the same sense as the piano or phonograph. The idea is to bring music into the house by wireless [...]. The receiver can be designed in the form of a simple ‘Radio Music Box’ and arranged for several different wave lengths, which should be changeable with the throwing of a single switch or pressing of a single button [...].

Tale “Memo” è considerato fondamentale nella storia del *broadcasting* radiofonico e delle sue applicazioni commerciali per la particolare preveggenza, anche se esso è ancora alquanto controverso sia nell’effettiva formulazione delle parole impiegate che, soprattutto, per la data in cui fu effettivamente inviato.

Nel frattempo si era entrati nella Prima Guerra Mondiale ed a tutti i radioamatori americani viene ordinato il silenzio in modo da consentire al Governo di poter usare a piacimento le frequenze per scopi di difesa. Il conflitto militare, per le esigenze di comunicazioni sul campo, contribuisce

con una notevole spinta allo sviluppo tecnico della radio e soprattutto delle tecnologie dei tubi a vuoto.

Nel 1918, alla fine della guerra, quando ancora molti ritenevano che la radio dovesse essere un sistema di comunicazione bidirezionale, De Forest è il protagonista della nascita a New York di una stazione radio per la diffusione di musica e notizie, stazione che dal punto di vista storico è importante anche perché impiega, per la prima volta, un triodo di potenza come trasmettitore. L'anno seguente, sempre De Forest, realizza un'analogo stazione trasmittente a S. Francisco con programmi giornalieri.

Due anni dopo, nel 1920, la Westinghouse inaugura una sua stazione di *broadcasting* (denominata KDKA) a 830 kHz con la prima licenza ufficiale da parte del Governo USA e, contemporaneamente, la società inizia un poderoso sforzo commerciale per vendere apparecchi radio riceventi di sua produzione tanto che, nel giro di un anno, l'attività si tramuta in un vero e proprio "boom".

Val la pena ricordare che il vero motore della stazione KDKA è stato l'americano Frank Conrad (1874-1941), autodidatta e radioamatore nonché forte sperimentatore come Marconi. Entrato in Westinghouse a 16 anni, fin dal 1912 si era convertito ai principi di Fessenden e deposita nella sua vita più di 200 brevetti in campo radiofonico. È sua, tra l'altro, l'idea di offrire *broadcast* promozionali per un *Music Store* di Pittsburgh in modo che il pubblico potesse accedere ai suoi dischi. La KDKA, affidata alla sua supervisione tecnica, fu il primo esempio di *broadcasting* commerciale della storia.

Nel 1919 la Marconi Wireless of America viene acquistata dalla General Electric (controllata da AT&T e Westinghouse) e trasformata in "Radio Corporation of America" (RCA) (cfr. nota 11) di cui Sarnoff è stato prima dirigente e poi mitico Presidente per molti anni. Nel luglio 1921 l'enorme successo riportato da RCA con la radiocronaca dell'incontro di pugilato fra Jack Dempsey e George Carpentier – trasmessa dalla sua stazione di *broadcasting* denominata WJY (con frequenza di 833 kHz e potenza di 500 W) – sancisce l'inizio delle vere e proprie trasmissioni radiofoniche. Gli ascoltatori erano stati ben 300.000, numero da ritenersi all'epoca assolutamente straordinario!

Nel 1926 Sarnoff acquisisce due stazioni trasmittenti dalla AT&T per fonderle con quelle di proprietà della RCA: nasce così la NBC (National Broadcasting Company) destinata ad essere una delle più importanti catene radiotelevisive USA (si pensi che nel 1936 aveva ben 1032 stazioni) ed articolata in due diverse programmazioni (NBC "Red" e NBC "Blue").

Nel 1927 nasce la CBS (Columbia Broadcasting System) e, molto più tardi nel 1943, la ABC (American Broadcasting Company) come effetto della sentenza dell'antitrust USA che obbliga la RCA a vendere una delle sue due società di *broadcasting*.

NBC, CBS e ABC, tutte e tre Società private, hanno rappresentato per moltissimi anni, prima dell'avvento della distribuzione della televisione via cavo, il cuore del sistema di *broadcasting* radiofonico e televisivo degli Stati Uniti. In particolare la RCA, sotto la guida di Sarnoff, sarebbe stata destinata ad avere un'enorme influenza a livello mondiale, come si vedrà nel corso della nostra storia, sugli sviluppi ulteriori della radiofonia e sull'avvento della televisione sia in termini di

servizi di *broadcasting* che in termini di studi dei nuovi standard e di produzione di apparati professionali e *consumer* per tutto il campo radiotelevisivo<sup>15</sup>.

Negli stessi anni anche l'Europa comincia a muoversi nel campo dei servizi radiofonici ed il paese che fa da battistrada per lo sviluppo della radiofonia come intrattenimento è la Gran Bretagna ove, per la prima volta in Europa, viene trasmessa a metà giugno del 1920 la voce della leggendaria cantante lirica australiana Nellie Melba impiegando un microfono ricavato da un opportuno adattamento di una capsula telefonica.

Nel 1922, per iniziativa di un gruppo di società di telecomunicazioni (tra cui Marconi, General Electric, Western Electric) ed in accordo con il GPO (*General Post Office*) che ne assume di fatto la conduzione, nasce la BBC (*British Broadcasting Company Ltd*) che dà inizio a regolari trasmissioni radio dalla Marconi House di Londra. Nel 1927 assume il nome di "British Broadcasting Corporation".

Un'importante differenza rispetto agli Stati Uniti – che si estenderà a tutta l'Europa – è rappresentata dal fatto che la BBC nasce, primo caso al mondo, come servizio diffusivo nazionale sotto l'egida dello Stato (tramite il GPO) ed il suo sostentamento viene garantito, non dalla pubblicità come in USA, ma da un canone annuo per gli utenti e da una percentuale sulla vendita degli apparecchi radiofonici. La BBC non deve preoccuparsi pertanto di entrate pubblicitarie e, ben presto, si costruisce la fama di un servizio di alta qualità ed imparzialità che le rimane tuttora.

Entro pochi anni iniziano le trasmissioni in tutte le altre nazioni europee.

Dal punto di vista tecnico e della gestione dello spettro, è importante ricordare che, nel frattempo, a partire dall'inizio degli anni '20, si erano progressivamente abbandonate le Onde Lunghe (148-283 kHz) a favore delle Onde Medie (526-1606 kHz), in particolare per le coperture nazionali. Le Onde Lunghe, che richiedono antenne enormi, sono mantenute esclusivamente per le situazioni di larga copertura territoriale sfruttando la propagazione elettromagnetica per onde di superficie mentre, dopo gli esperimenti di Marconi del 1923, per le grandissime distanze vengono sempre più adottate le Onde Corte. Esse diventano, tra l'altro, la tipica gamma dei radioamatori funzionando solo in virtù della presenza (non nota all'epoca) di uno strato atmosferico ionizzato (ionosfera) su cui le onde elettromagnetiche si riflettono superando in tal modo la curvatura della terra (come peraltro già i primi esperimenti di Marconi sull'Atlantico avevano mostrato) e permettono, con più rimbalzi, di giungere anche nell'opposto emisfero<sup>16</sup>.

Sempre in tema di frequenze occorre ricordare che negli Stati Uniti, per un lungo periodo a partire dalle prime trasmissioni radiofoniche, le allocazioni spettrali dei trasmettitori erano *un-regulated*. Tale situazione inizia a creare gravi

<sup>15</sup> Questa è anche la ragione per cui, molti anni dopo, quando nel 1986 la RCA andò in bancarotta ed il marchio fu venduto alla francese Thomson, tutti gli uomini della vecchia guardia in campo radiotelevisivo rimasero esterrefatti e la considerarono come la fine di un'epoca!

<sup>16</sup> Marconi non era stato in grado di spiegare correttamente tale meccanismo e, anche se già ipotizzata nel 1902 da Heaviside, la teoria dello strato ionosferico sarebbe stata definitivamente e completamente chiarita solo moltissimi anni dopo.

problemi d'interferenze e, finalmente, nel 1927 viene decisa la creazione di un nuovo Organismo – la FRC (*Federal Radio Commission*) che a partire dal 1934 assume il nome oggi noto di FCC (*Federal Communication Commission*) – per operare il governo delle frequenze. La FCC ha avuto un'enorme importanza negli Stati Uniti e, di riflesso, nel mondo per alcune fondamentali direttrici nei riguardi del mondo telefonico e televisivo (tra le tante è sufficiente ricordare l'avvio della politica di liberalizzazione delle telecomunicazioni).

Sempre nel 1927 si radunano a Washington i delegati dei Governi di tutto il mondo in una conferenza internazionale nella quale, per la prima volta, si attribuiscono le frequenze da 10 kHz a 60 MHz ai vari tipi di servizi tra cui la radiodiffusione. Si delibera anche che una conferenza mondiale su queste problematiche si sarebbe riunita ogni cinque anni e viene costituito il CCIR (Comité Consultatif International des Radiocommunications) per lo studio di tutte le relative questioni tecniche.

Nel 1932, nella conferenza plenipotenziaria di Madrid, la preesistente Union Télégraphique Internationale (fondata a Parigi già dal 1865) assume la denominazione Union Internationale de Télécommunication (UIT in francese ed in inglese ITU – International Telecommunication Union)<sup>17</sup>.

Siamo ormai negli anni della grande depressione e la gente comincia ad ascoltare ed a dipendere dalla radio per sollevarsi il morale. Negli Stati Uniti sono storiche le trasmissioni del Presidente Roosevelt e le sue “chiacchierate del focolare” per dare maggiore confidenza agli americani nei momenti più bui della crisi.

Sempre in quegli anni nasce una rete di particolare importanza, la Radio Vaticana, che inizia le sue trasmissioni nel 1931 per volontà di Pio XI con una stazione costruita da Guglielmo Marconi. Due anni dopo essa si dota anche di una stazione ad onde ultracorte (destinata molti anni dopo, nel 1957, a diventare, il grande centro di trasmissione di Santa Maria di Galeria, nei dintorni di Roma).

Alla vigilia della Seconda Guerra Mondiale comincia lentamente ad affermarsi negli Stati Uniti un diverso modo di trasmettere la radiofonia con necessità di maggiore larghezza di banda ma con il vantaggio di una migliore resistenza ai disturbi ed una qualità notevolmente più alta di quella consentita dalla modulazione di ampiezza. Sta iniziando l'era della modulazione di frequenza per la cui affermazione occorrerà tuttavia attendere la fine del secondo conflitto mondiale.

<sup>17</sup> ITU, all'atto della sua formazione, include al suo interno il Comitato CCIR – essenziale per la regolamentazione dello spettro radio – a cui verrà abbinato nel 1956 il CCITT (Comité Consultatif International pour la Télégraphie et Téléphonie, in inglese ITTCC – International Telegraph and Telephone Consultative Committee), nato dalla fusione dei due preesistenti comitati CCIF per la telefonia e CCIT per la telegrafia. Nel 1992 la conferenza plenipotenziaria di Ginevra avrebbe poi integrato le funzioni di tali comitati direttamente nella ITU, riorganizzata nei tre settori *Radiocommunication* (ITU-R), *Telecommunication Standardization* (ITU-T) e *Telecommunication Development* (ITU-D).

ITU è oggi un'Agenzia delle Nazioni Unite per i problemi di regolamentazione nel campo ICT.

*L'invenzione della modulazione di frequenza*

Edward Armstrong è il padre indiscusso della modulazione di frequenza (FM–*Frequency Modulation*), anche se la sua vita è stata costellata, anche in questo campo specifico, da una serie di eventi giudiziari a difesa della priorità della sua invenzione.

Armstrong, come già visto, aveva brevettato molte altre idee relative ai ricevitori e trasmettitori per radiofonia, ma la sua fama è soprattutto legata alla concezione (invenzione a tutti gli effetti) di trasmettere un'informazione “imprimendola” su una portante attraverso una variazione della relativa frequenza istantanea. Inizia a lavorare su questa idea già agli inizi degli anni '20, anche se il relativo brevetto viene depositato molto più tardi.

In realtà la prima idea di Armstrong è quella di applicare il nuovo tipo di modulazione per ridurre la banda da trasmettere rispetto alla modulazione di ampiezza, anche se poi si accorge che il sistema, in condizioni opportune, fornisce una qualità molto migliore dell'AM anche se a spese di una maggiore larghezza di banda. Tuttavia, nel 1922, John Carson della AT&T (inventore della banda laterale singola) scrive un famoso articolo dimostrando – con la sua nota regola<sup>18</sup> per il calcolo approssimato della banda necessaria in FM – che lo spettro occupato risulta sempre superiore a quello occupato in AM, concludendo perciò che il sistema proposto non ha alcun particolare vantaggio.

Armstrong continua a migliorare la sua idea ottenendone il brevetto solo nel 1933 ed in un suo articolo del 1936 sui *Proceedings IEEE*<sup>19</sup> confuta le critiche di Carson di dieci anni prima dimostrando che se è vero che un sistema FM a banda stretta non è particolarmente vantaggioso in termini di protezione dai disturbi, viceversa un sistema FM a banda larga presenta notevoli miglioramenti di qualità rispetto ad una trasmissione AM. Peraltro lo studio matematico della modulazione di frequenza era, per le conoscenze dell'epoca, tutt'altro che facile e questo spiega il ritardo nel caratterizzare meglio questo metodo di modulazione che, solo molti anni dopo, avrebbe preso il sopravvento sulla modulazione di ampiezza per le sue peculiari doti di qualità e di resistenza ai disturbi.

Murray Crosby (il futuro inventore, tra i vari proposti, di un metodo che porta il suo nome per trasmissioni stereofoniche) analizza in un articolo del 1937 (sempre sui *Proceedings IEEE*) un'importante proprietà della modulazione di frequenza – il cosiddetto effetto “soglia” – che impone di lavorare al disopra di un minimo di rapporto segnale/disturbo per non avere un improvviso crollo delle prestazioni. L'articolo di Crosby, con l'individuazione e l'analisi di questo fondamentale concetto, è un importante complemento all'articolo di Armstrong del 1936.

<sup>18</sup> La cosiddetta “regola del pollice” di Carson afferma che la banda approssimata della modulazione di frequenza è data da  $2(f_{\max}+D)$  dove  $f_{\max}$  è la frequenza massima del segnale trasmesso e  $D$  è la deviazione di frequenza di picco applicata alla portante.

<sup>19</sup> IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) è la più grande associazione professionale a livello mondiale di scienziati e professionisti con l'obiettivo della promozione delle scienze tecnologiche nel campo elettrico.

Nel corso del 1934 Armstrong, per conto della RCA, conduce dall'Empire State Building sperimentazioni in FM su larga scala. La RCA – che sembra inizialmente molto interessata al brevetto – non dà seguito all'impegno su questo fronte in quanto, proprio in quegli anni, i suoi pensieri primari sono concentrati sulla partenza del *broadcasting* televisivo.

Nel 1936 Armstrong esegue una dimostrazione di grande successo per la FCC impiegando un sistema di valutazione per gli ascoltatori presenti in cui commuta, aleatoriamente, i ricevitori tra AM ed FM, riuscendo in tal modo a far ufficialmente “annotare” la grande differenza di qualità tra i due tipi di modulazioni.

L'anno dopo Armstrong finanzia in proprio la costruzione di una stazione radio FM da 40 kW (con una copertura del servizio superiore a quello di un trasmettitore AM di analoga potenza). La RCA inizia però ad essere estremamente preoccupata – per pure ragioni commerciali – del possibile diffondersi in tempi brevi del sistema FM a svantaggio del suo consolidato mercato AM, mentre i suoi sforzi sono attualmente concentrati sulla televisione. La società riesce, di conseguenza, a mettere in atto, immediatamente alla fine della Seconda Guerra Mondiale, una potente azione di *lobby* nei riguardi della FCC convincendola a spostare lo spettro per le trasmissioni FM dall'iniziale banda assegnata (42-50 MHz) a quella che oggi è attualmente in uso (88-108 MHz). Questa decisione, supportata da CBS e ABC ed anche dalla AT&T a difesa dei loro interessi, provoca un gravissimo ritardo nella diffusione dei sistemi FM e nella costruzione dei relativi ricevitori perché la FCC rende vani, nel giorno stesso in cui viene presa la decisione, tutte le azioni e gli sforzi messi in atto negli anni precedenti da Armstrong relativamente alla produzione industriale del nuovo sistema sia come trasmettitori che come ricevitori. Inoltre la RCA, per meglio controllare la situazione, riesce ad ottenere un suo brevetto sulla tecnologia FM in modo da bloccare le giuste e potenziali *royalties* che Armstrong avrebbe ampiamente meritato.

Amareggiato dalle lunghe controversie legali che avevano anche portato alla separazione dalla moglie e depresso per le grandi ingiustizie subite, Armstrong si uccide nel 1954 buttandosi dalla finestra del suo appartamento di New York. La moglie prosegue le azioni legali dopo la sua morte ottenendo, in modo più pragmatico del defunto marito, il riconoscimento di svariati milioni di dollari per i suoi brevetti.

La modulazione di frequenza, per tutte queste vicissitudini, ha richiesto tempi molto lunghi per prevalere sulla modulazione di ampiezza nonostante la sua evidente superiorità.

Negli Stati Uniti, la prima trasmissione sperimentale commerciale ha luogo nel 1937 – col permesso della FCC – da parte della W1XOJ operante a Boston sulla frequenza di 107.3 MHz. In Europa bisogna invece attendere la fine del conflitto mondiale.

Nel 1949 la Germania inizia a sperimentare la modulazione di frequenza semplicemente perché – nel piano di ripartizione delle frequenze stabilito a Copenaghen nel 1948 – era stata particolarmente sfavorita (si pensi che non era ancora risorta come Stato e che non aveva neppure ricevuto l'invito per Copenaghen).

Il piano approvato le assegna sole tre frequenze nella gamma delle Onde Medie ed è questa la fondamentale ragione per cui la Germania inizia a trasmettere nella gamma VHF che non era stata presa in considerazione nella riunione. Dopo alcuni esperimenti in AM in tale gamma, decide di passare alle trasmissioni FM e nel 1951 ha già una rete di 30 trasmettitori FM.

In Italia, la RAI, dopo avere avviato nel 1948 trasmissioni sperimentali in FM dalla Torre del Parco di Milano, in una situazione difficile – analoga a quella tedesca, per le poche frequenze assegnate – dà vita a partire dall'ottobre 1950, prima in Europa, ad una nuova rete FM in gamma 88-108 MHz su cui diffondere il nuovo Terzo Programma Radio.

Vari modelli di ricevitori FM, in aggiunta ovviamente alle altre gamme classiche, sono già offerti sul mercato a partire dal 1949 da parte dell'industria italiana.

Attualmente la radio FM è il sistema maggiormente impiegato dai *broadcaster* nazionali e certamente passeranno ancora molti anni prima che essa possa essere definitivamente e totalmente abbandonato, sostituita dalle tecniche di diffusione in radiofonia digitale di cui si parla nel capitolo successivo.

### *La stereofonia nella radiofonia*

La stereofonia nasce nel 1931 dalla ricerca intrapresa da Alan D. Blumlein nei laboratori EMI (Electrical & Musical Industries) del Regno Unito e viene in seguito registrata come brevetto.

Il termine “stereofonia” è stato creato dall'unione delle parole greche *sterèos* (“spaziale”, “tridimensionale”) e *phonè* (“suono”). In generale, la stereofonia viene considerata la tecnica di riproduzione/registrazione del suono che prevede molteplici flussi informativi ognuno dei quali destinato ad essere riprodotto da un diverso diffusore acustico secondo regole prestabilite.

Fra le varie tecniche stereofoniche occorre distinguere la “stereofonia classica”, prima ad essere sviluppata, basata esclusivamente su due flussi informativi detti rispettivamente canale sinistro (L-*left*) e destro (R-*right*). La “quadrifonia”, introdotta negli anni 1970, è invece basata su quattro flussi (due anteriori e due posteriori), mentre la “stereofonia multicanale” – sviluppata a partire dal 1990 per cinema, televisione e DVD – è basata su 3 o più flussi informativi fra cui il noto “sistema 5.1” formato da tre canali anteriori (sinistro, centro, destro), due posteriori (sinistro e destro) ed uno, non direttivo, per le basse frequenze.

Per quanto riguarda la storia della radiofonia, l'unica tecnica di specifico interesse è la stereofonia classica (2 canali) per la cui introduzione, prima nello standard di diffusione a Modulazione d'Ampiezza (AM) e poi in quello a Modulazione di Frequenza (FM), sono stati proposti vari sistemi.

La prima trasmissione in Stereo AM ha luogo nel 1924 negli Stati Uniti quando una stazione irradia i due canali da due diversi trasmettitori in onda media. La qualità della ricezione, che deve essere effettuata con due ricevitori radio, è scarsa sia per la problematica sincronizzazione fra i due segnali, sia per gli effetti di “ping-pong” che fra di essi sorgono.

Nel 1975 la FCC dà vita ad una sperimentazione alla fine della quale, fra molte discussioni e proteste, vengono accettati quattro standard AM: Harris,

Magnavox, Motorola e Kahn-Hazeltine. Dalla fine degli anni '80 lo standard Motorola risulta prevalere sugli altri, anche se il mercato si va orientando sempre più verso i sistemi Stereo FM.

Anche per le trasmissioni in Stereo FM bisogna attendere la fine della 2<sup>a</sup> Guerra mondiale. Nel 1961, negli USA, la FCC avvia un'indagine fra i vari sistemi in sperimentazione, approvando nel 1961 i due sistemi General Electric e Zenith ritenuti identici e compatibili con il monofonico. Il sistema GE/Zenith diviene ben presto il sistema mondiale; in esso il segnale somma (L+R) viene trasmesso come banda base (30-15.000 Hz) per assicurare la compatibilità con i ricevitori FM monofonici, mentre il segnale differenza (L-R) viene trasmesso su una sottoportante soppressa a due bande laterali (DSBSC – *Double SideBand Suppressed Carrier*). Una peculiarità del sistema – che semplifica notevolmente i ricevitori – è la trasmissione di una pilota tra le due bande con frequenza di valore pari a metà della sottoportante soppressa.

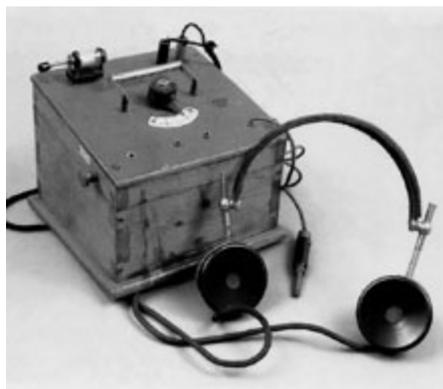
Nella cinematografia digitale, cui si accennerà nel successivo capitolo in quanto figlia della televisione ad alta definizione, è ormai universalmente adottata la stereofonia multicanale che, solo con un limitato incremento della capacità rispetto al peso dell'informazione video, contribuisce in modo rilevante all'effetto di spazialità.

### *I primi ricevitori radiofonici commerciali*

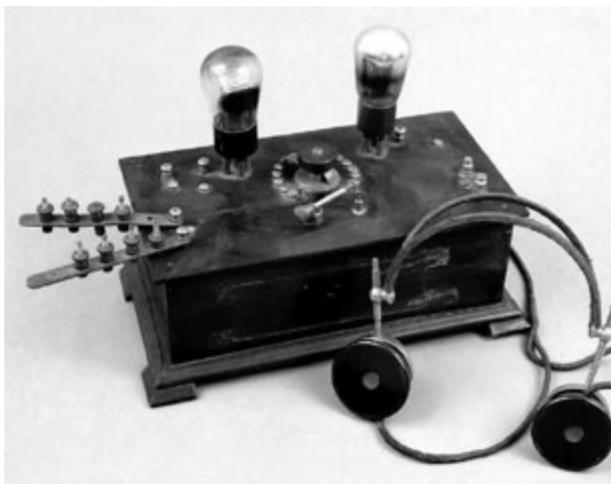
Il cammino della radiofonia è stato fortemente condizionato, come visto sopra, dalla evoluzione delle tecnologie dei trasmettitori sia per le frequenze ottenibili sia per le potenze che man mano si sono rese disponibili. Parallelamente, nella diffusione dei servizi radiofonici, un'importanza decisiva hanno giocato il progresso ed il prezzo dei ricevitori radiofonici. Per tale ragione, in una storia anche sintetica della radiofonia, non può mancare almeno un brevissimo cenno a tale prodotto caratterizzato, nella sua lunga storia, da migliaia di modelli.

Si stima che nel 1917 ci fossero negli Stati Uniti 150.000 radioamatori (e l'Europa seguiva da vicino) che passavano il loro tempo libero a cercare di captare segnali radio che sempre più numerosi vagavano per l'etere. Questi utenti pionieristici della radiofonia contribuirono a preparare il terreno per un'accettazione sociale del nuovo mezzo.

Gli apparecchi radio della prima metà degli anni '20 sono ancora, in genere, caratterizzati da cuffie (Fig. 6) od altoparlanti a tromba, tipo quello del fonografo, e da vistose antenne. La loro alimentazione avviene con batterie di varie tensioni ed il loro impiego non è del tutto semplice.



**Figura 6.** Radio a galena del 1923.



**Figura 7.** Radio a galena a 2 valvole del 1924.

Il periodo 1923-1926 è caratterizzato negli Stati Uniti dall'affacciarsi sul mercato di un foltissimo gruppo di costruttori di ricevitori commerciali. All'epoca dei rivelatori a cristallo i segnali erano molto deboli e le antenne dovevano avere larga dimensione, mentre solo dopo l'introduzione dell'amplificazione a valvole riesce possibile la ricezione di segnali di debole intensità, allargando in tal modo la

copertura operata dai trasmettitori. Proprio per sfruttare al massimo le valvole, visto il loro costo, da un lato si combina la galena con le valvole dedicate alla sola amplificazione (Fig. 7) mentre, per aumentare al massimo il guadagno, dopo il 1915, i costruttori introducono nei ricevitori il circuito rigenerativo – a cui si è già accennato parlando di Armstrong – che permette alti guadagni e miglioramenti nella selettività.

L'avvento dello schema supereterodina, pur essendo noto ormai da qualche anno, tarda ad essere introdotto nelle applicazioni commerciali per l'incidenza sul costo degli apparecchi – dovendosi impiegare ben due valvole – una come oscillatore e l'altra come mixer. Alla fine risultano convincenti i vantaggi offerti dalla supereterodina anche perché permette di operare l'amplificazione a frequenze più basse e conseguentemente con guadagni dei tubi elettronici assai più elevati.

Occorre, però, attendere ancora il principio degli anni '30 perché, col miglioramento progressivo della tecnologia delle valvole<sup>20</sup> e la loro diminuzione di prezzo, inizi negli Stati Uniti la produzione RCA in serie di ricevitori radio con schema supereterodina. In Europa qualche anno dopo, solo verso la fine degli anni '30, tutti i ricevitori prodotti saranno di tipo supereterodina.

Inizia da quel periodo la caratterizzazione dei ricevitori, a seconda della fascia di prezzo, con il numero di valvole (3, 5, 7, ecc.)<sup>21</sup>.

<sup>20</sup> Il britannico H.J. Round ebbe un certo successo per la sua invenzione del sistema *autodine* in cui la stessa valvola veniva impiegata sia come oscillatore che come mixer, permettendo in tal modo un notevole risparmio.

<sup>21</sup> Nel frattempo, nel 1926 e poi nel 1929, erano stati studiati il tetrodo ed il pentodo. Il primo, con l'aggiunta di una seconda griglia tra la griglia di controllo e l'anodo, permetteva alle valvole di operare con migliore affidabilità. Il pentodo, con l'introduzione di una griglia di soppressione, eliminava alcuni difetti del tetrodo.

Per quanto De Forest nel 1920 avesse affermato che la sua invenzione non sarebbe stata mai soppiantata da altri dispositivi, in realtà l'affacciarsi del transistor ha avuto un'importanza eccezionale nello sviluppo dei ricevitori anche da un punto di vista sociale: la radio – anziché un moderno caminetto casalingo – diventa, con la transistorizzazione ed i bassi consumi, l'oggetto portatile in grado di accompagnarci e ricevere i segnali in ogni luogo.

Il primo ricevitore completamente a transistor compare negli Stati Uniti nel 1954 ad opera della azienda statunitense Regency (Fig. 8) che lo lancia sul mercato nell'ottobre del 1954 al prezzo di 50\$. Nell'anno successivo escono i modelli della Raytheon ad otto transistor e con prezzo di 80\$ (equivalente a più di 500\$ attuali) nonché di Zenith, Emerson, RCA e GE, tutti modelli considerati più seri di quello della Regency che rimaneva tuttavia l'unico tascabile.

Il modello a transistor che, tuttavia, ha di gran lunga maggiore rilevanza nella storia dei radioricevitori è il TR-63 della giapponese Sony (Fig. 9) con il quale, sia per il prezzo ma anche da diversi altri punti di vista, si avvia una vera rivoluzione per il modo nuovo di vedere la tecnologia, la progettazione estetica e le varie interfacce d'uso. Più in particolare, a differenza dei modelli che l'hanno preceduto che adottavano un mix di vecchie e nuove tecnologie, il ricevitore Sony TR63 viene interamente realizzato con componenti miniaturizzati espressamente progettati (inclusi i transistor) per questo modello. Il successo mondiale è travolgente ed apre la strada al grande *boom* dell'industria elettronica giapponese (*consumer* e professionale) nel campo della radiofonia, della televisione e dell'alta fedeltà audio.

I successivi passi sono conseguenti all'introduzione di circuiti integrati sempre più sofisticati, specificatamente sviluppati per i ricevitori radio, con miglioramento delle prestazioni e ulteriore diminuzione dei costi. Come risultato di questi sviluppi vale la pena di menzionare, a solo titolo d'esempio, il sintetizzatore di frequenza per generare il segnale dell'oscillatore locale con accuratezza e stabilità, nonché i circuiti di ricerca automatica della sintonia con relativa memorizzazione, questi ultimi spinti anche dalle peculiari necessità del mercato delle autoradio.

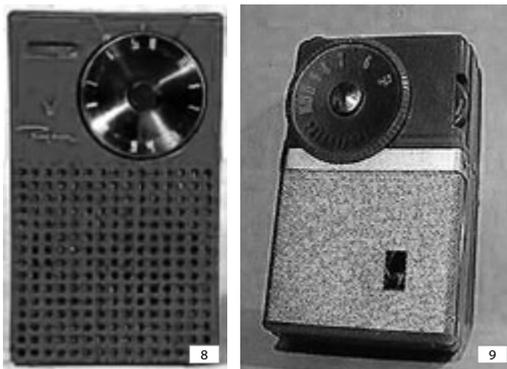


Figura 8. Radio a transistor Regency T1.

Figura 9. Radio tascabile Sony TR63.

## Sviluppi in Italia della tecnica radiofonica e dei servizi

### *Contributi scientifici e tecnici italiani nella fase pionieristica*

Nel 1903, in parallelo all'instancabile attività di Marconi, il fisico Quirino Majorana aveva già condotto esperimenti di radiotelefonia con spinterometro statico



**Figura 10.** Giancarlo Vallauri.

a fasi multiple per la generazione di onde persistenti modulate dalla voce con un microfono a mercurio. Qualche anno dopo, nel 1908, diventato Direttore dell'Istituto Superiore Poste e Telegrafi, egli realizza un apparato di radiotelegrafia per uso nautico militare collegando Roma con Trapani (circa 500 km).

Poco nota in Italia è la figura di Riccardo Moretti che ha avuto una certa importanza nei primi sviluppi della radiotelegrafia italiana. Il 17 marzo del 1905 Moretti deposita il brevetto del "radiotelefono magnetico" ed alcuni anni dopo, nel 1912 dopo l'invenzione delle valvole termoioniche, Moretti realizza gli apparati e manda a compimento, per conto della Marina militare, un collegamento radio tra Roma e Tripoli di ben 1200 km.

Le Forze Armate italiane manifestano fin dagli inizi grande interesse a tutte le possibili applicazioni delle telecomunicazioni. In particolare la Regia Marina, nel 1916, istituisce a Livorno, presso l'Accademia Navale, il Laboratorio Superiore di Radiotelegrafia la cui direzione viene affidata a Giancarlo Vallauri (1882 -1957) (Fig. 10) cui si è già accennato per i suoi studi sulle valvole. Già ufficiale di Marina, Vallauri aveva cominciato dal 1908 le sue prime attività scientifiche presso le Università di Padova e Napoli nella veste di assistente di elettrotecnica e docente di radiotelegrafia.

Vallauri è il grande promotore della nascita dell'Istituto Elettrotecnico e Radio-Telegrafico (IERT) della Regia Marina, divenendone poi direttore dal 1916 al 1926. Ben presto l'Istituto – che dal 1928 assume la nuova denominazione di Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni (RIEC) – concentra il suo principale interesse verso la ricerca e, per l'alto interesse scientifico dei risultati conseguiti, pur disponendo di pochi uomini e di mezzi modesti, guadagna grande notorietà nel mondo scientifico internazionale.

L'interesse suscitato dai risultati di De Forest e Armstrong per l'amplificazione dei segnali radio e per la creazione di generazione ad alta frequenza, porta all'immediata creazione presso l'Istituto di un laboratorio per la fabbricazione e la sperimentazione dei tubi elettronici la cui produzione raggiunge alcune centinaia di esemplari al mese, numero particolarmente significativo per l'epoca.

Appare subito chiaro che, per sfruttare al meglio l'impiego di questi dispositivi, è necessario studiare in profondità il loro meccanismo di funzionamento. È proprio Vallauri che formula per primo, nel 1916, una teoria analitica del funzionamento dei tubi elettronici, pervenendo alla famosa "equazione del triodo" anche attraverso la definizione del principio di conduttanza mutua. Questi risultati scientifici si rivelano subito di grande importanza pratica a livello mondiale per una sempre più razionale progettazione dei tubi elettronici, ciò che permette, con una certa confidenza, di affidare la loro costruzione su larga scala all'industria che, fino ad allora, aveva proceduto in modo piuttosto empirico, senza strumenti matematici per il controllo della progettazione.

I risultati conseguiti dall'Istituto, dove lavorano, tra gli altri, Mario Boella, Nello Carrara, Ugo Ruelle, Ugo Tiberio, Francesco Vecchiacchi (destinati più tardi a coprire le cattedre in molte Università italiane in cui hanno svolto una fondamentale e mai dimenticata opera di formazione) avrebbero contribuito alla fama dello IERT/RIEC in tutto il mondo e confermano che il cammino della radio e della televisione in Italia è stato per molti anni fortemente influenzato dalla Marina militare e dai suoi Laboratori di avanguardia.

Sotto la direzione di Vallauri, nell'aprile del 1923, il RIEC, raggiunge un altro importante primato inaugurando il Centro Radiotelegrafico di Coltano presso Pisa che rappresenta una delle opere più grandiose e moderne di quei tempi. Il Centro, infatti, permette di realizzare la prima grande stazione transcontinentale in Italia (ed una delle prime nel mondo) con un'antenna dalla forma di un grande reticolo quadrilatero a padiglione di 420 m per lato, sostenuto da quattro piloni uguali, ciascuno di 250 m di altezza e peso proprio di circa 80 tonnellate. Il Centro di Coltano è anche un'occasione per misure sistematiche della radiazione elettromagnetica a breve e grande distanza, permettendo di abbandonare quei criteri empirici sui quali si basava la progettazione delle antenne e di dare l'avvio allo studio della loro forma più appropriata per i risultati che si vogliono conseguire.

Fra i primi pionieri tecnici della radiofonia in Italia non deve essere dimenticato Aurelio Beltrami (1891-1967), depositario di molti interessanti brevetti nel campo radio. Laureatosi nel 1917 al Politecnico di Milano, partecipa, come militare, alle prime applicazioni della radio in Marina presso l'Accademia di Livorno. Nel 1919 fonda a Milano l'Istituto Radiotecnico A. Beltrami che – con la sua attività didattica ed i suoi laboratori – rappresenta, per 60 anni, il punto di riferimento dei radiotecnici italiani e forma intere generazioni alla nuova tecnologia, dagli iniziali corsi per i radiotelegrafisti della Marina Militare fino ai corsi di tecnica televisiva degli anni '70 condotti da Franco Visintin della RAI.

Negli anni successivi, a partire dal 1930, anno della sua creazione per intuizione di Raul Chiodelli, allora Direttore Generale dell'EIAR (l'ente radiofonico pubblico italiano di cui si parlerà nel successivo paragrafo), assume sempre più un ruolo significativo per lo sviluppo tecnico della radiofonia in Italia il "Laboratorio Ricerche EIAR" con sede a Torino in via Arsenale che sarebbe diventato nel dopoguerra "Centro Ricerche RAI".

Un anno prima, nel settembre 1929, per una particolare sensibilità dell'allora Direttore tecnico EIAR Saverio Bernetti, era nato il "Centro di Controllo" EIAR il cui compito assegnato era il controllo delle trasmissioni delle stazioni, sia dal punto di vista tecnico (frequenze, potenze e qualità delle trasmissioni) che dal punto di vista disciplinare (osservazione degli orari di trasmissione, ecc.). Era situato nella Villa Trento a Sesto Calende dove il Ticino esce dal Lago Maggiore mentre, nel 1954, sarebbe stata inaugurata per il Centro di Controllo una nuova bella sede all'interno del Parco di Monza progettata appositamente dall'architetto Giò Ponti.

Negli anni '30, sotto la spinta della politica autarchica del regime fascista, il Laboratorio Ricerche sviluppa e costruisce i trasmettitori radiofonici in Onda Media e poi, durante la Seconda Guerra Mondiale, realizza trasmettitori di alta potenza (installati in 5-6 località italiane) con l'obiettivo, dato dal regime fascista, di disturbare la ricezione delle trasmissioni di Radio Londra.

I primi anni del dopoguerra, sempre con il valido concorso del Laboratorio diventato ora Centro Ricerche RAI, sono caratterizzati dalla ricostruzione di tutta la rete radiofonica distrutta dalla guerra e dall'introduzione della Modulazione di Frequenza. Nel 1956 il Centro inventa anche la Filodiffusione che inizia le sue trasmissioni alla fine del 1958 con la trasmissione di 5 canali FM (i tre tradizionali in monofonia più due canali aggiuntivi stereofonici, di cui uno dedicato a musica classica ed un altro a musica leggera) trasmessi in modulazione di ampiezza a banda laterale doppia, con larghezza di banda di 15 kHz, allocandoli su successive portanti, nella banda del doppiino telefonico, da 178 a 343 kHz e con un opportuno filtro verso l'apparecchio telefonico.

### *Sviluppo del broadcasting radiofonico in Italia: la nascita della RAI*

In Italia, nell'ultimo periodo dell'epoca giolittiana, si comincia a parlare di servizi radiofonici pensando di poter passare, in breve giro di tempo, dalle esperienze pionieristiche all'organizzazione di strutture operative per la relativa gestione. Lo scoppio della Prima Guerra Mondiale e la ricostruzione post-bellica tronca i progetti in corso e fa slittare di molti anni l'attuazione delle norme legislative in materia.

Nel 1922, la Società Araldo Telefonico – fondata nel 1909 dall'ing. Luigi Ranieri e nota per le trasmissioni su rete telefonica nell'area di Roma di un servizio di notizie (il "Fonogiornale") e, qualche tempo dopo, anche di musica – dà inizio a trasmissioni per alcune ore al giorno diffuse via radio con un piccolo trasmettitore da 250 W.

Un Decreto del febbraio del 1923 stabilisce che l'impianto e l'esercizio di tele-comunicazioni per mezzo di onde elettromagnetiche "senza uso di fili" debbano essere riservati allo Stato, con facoltà del Governo di poterli accordare in concessione.

Molte società concorrono per ottenere tale concessione tra cui vale la pena ricordare la Italo-Radio (con capitali francesi e tedeschi garantiti dalla Banca Commerciale), la Radiofono (società italiana partecipata da aziende dell'industria radioelettrica piemontese), la FATME produttrice di apparecchiature telefoniche, la Allocchio-Bacchini, la Perego (controllata dalla Compagnia Marconi), la SIRAC – Società Italiana Radio Audizioni Circolari nata come rappresentanza per il mercato italiano dei radioricevitori della Western Electric manifatturiera del Gruppo AT&T.

Dopo vari contrasti, Radiofono e SIRAC riescono a prevalere sugli altri aspiranti dando origine, nell'agosto del 1924, alla nuova società URI – Unione Radiofonica Italiana con un capitale sociale di 1.400.000 lire, sottoscritto per l'85% dalla Radiofono e per il 15% dalla SIRAC. In contemporanea Radio Araldo cede i suoi diritti all'URI a cui il governo accorda la concessione esclusiva dei servizi di radioaudizioni circolari per la durata di sei anni, prorogabile per altri quattro. Enrico Marchesi, proveniente dalla Fiat, è nominato Presidente della Società mentre come Vice-Presidente la scelta cade su Luigi Solari della Radiofono vicino agli interessi della Marconi Italiana ("Officine Marconi").

Il 5 ottobre del 1924 l'URI dà inizio alle sue attività dalla stazione di Roma-1, installata nel quartiere San Filippo (oggi Parioli) con un trasmettitore fornito dalla Marconi Italiana. La prima trasmissione dalla stazione di Roma è un servizio con un discorso pronunciato dal capo del Governo Benito Mussolini al Teatro Costanzi.

È l'inizio di un regolare servizio di radiodiffusione in Italia.

L'impianto trasmissivo era stato realizzato dalla Marconi "a proprio rischio e pericolo", come da sollecitazione governativa, nell'intesa che, qualora la stazione avesse dato risultati soddisfacenti, il concessionario avrebbe rilevato la stazione suddetta.

Il giorno successivo Ines Viviani Donarelli, dallo studio romano di Palazzo Corradi, legge il primo annuncio, passato alla storia, della neonata radio:

Unione Radiofonica Italiana, stazione di Roma 1-RO, lunghezza d'onda di metri 425. A tutti coloro che sono in ascolto il nostro saluto e il nostro buonasera. Sono le ore 21 del 6 ottobre 1924. Trasmettiamo il concerto di inaugurazione della prima stazione radiofonica italiana per il servizio delle radio audizioni circolari, con il quartetto – composto da Ines Viviani Donarelli, che vi sta parlando, Alberto Magalotti, Amedeo Fortunati e Alessandro Cicognani – che eseguirà Haydn dal quartetto opera sette, primo e secondo tempo.

Il programma, della durata di un'ora e mezza, è composto da musica operistica, concertistica e da camera, accompagnato da un bollettino meteorologico e notizie di borsa.

Un anno dopo entra in funzione, in Corso Italia 23, la stazione radiofonica di Milano, progettata con nuovi criteri che consentono di concentrare in un solo luogo gli impianti tecnici di ripresa e di trasmissione e quelli artistici (studi e teatri).

Nel novembre 1927 viene stabilita per legge la trasformazione dell'URI in Ente Italiano per le Audizioni Radiofoniche (EIAR) con sede legale in Roma ed il Governo rilascia una nuova concessione per il servizio delle radioaudizioni circolari con termine previsto nel dicembre 1952. Tale decisione è accompagnata dall'istituzione presso il Ministero delle Comunicazioni di un Consiglio Superiore di Vigilanza sulle radiodiffusioni e dal supporto all'EIAR di massicci finanziamenti pubblici.

Per quanto riguarda la storia degli investimenti relativi ai primi impianti trasmettenti è interessante menzionare un comportamento diffidente dell'EIAR nei confronti della Marconi e della sua consociata italiana, fondata nel 1909 con il nome di Officine Marconi con sede a Genova, comportamento che prosegue per due diversi Presidenti.

A tale proposito vale la pena ricordare che, in riconoscimento dell'iniziativa assunta dalla Società Marconi Italiana e dei relativi rischi per la creazione nel 1924 della prima stazione trasmittente della Capitale, era stato redatto un impegno scritto per stabilire, a parità di condizioni economiche, una preferenza EIAR nei confronti degli impianti della stessa Marconi S.A. Ma, almeno nella versione di parte, per quanto tale impegno fosse stato rispettato per ciò che riguarda il numero delle stazioni, esso non era stato minimamente onorato per l'importanza delle nuove stazioni poiché i trasmettitori di minore potenza erano stati assegnati alla Marconi ed alla Western Electric, mentre quelli di maggiore

potenza (come Milano 50 KW e Roma 50 KW) erano stati appannaggio di RCA. Il ministro Ciano esamina personalmente la situazione e stabilisce che l'EIAR<sup>22</sup> debba impiantare a Roma – oltre alla stazione ad Onde Medie da 50 KW di S. Palomba già aggiudicata alla RCA (ed entrata in esercizio nel gennaio del 1930) – anche una nuova stazione ad Onde Corte da assegnare alla Marconi Italiana (da allocare a Prato Smeraldo) entrata in funzione nel luglio 1930.

Nel corso del primo periodo di attività dell'EIAR il numero degli abbonati rimane esiguo: non più di 27.000 nel 1926, circa il doppio nel 1928 (quando in Germania, per esempio, gli utenti si aggirano già sui due milioni).

Il decollo della radio in Italia è piuttosto lento, per il prezzo elevato che gli apparecchi mantengono per molti anni. Ancora alla fine degli anni '20 una radio costa circa 2000 lire e, solo dopo il 1937, i prezzi scendono sotto le 1000 lire (pari ad un buon stipendio mensile). La radio viene ancora considerata un oggetto di lusso per l'alto costo dei ricevitori e per il peso del canone di abbonamento annuo che equivale anch'esso, grosso modo, allo stipendio mensile di un impiegato (pur essendo la programmazione abbastanza ridotta e, in pratica, esclusivamente serale). Dal 1928 fanno la loro prima comparsa le cronache sportive in diretta ma queste ed altre iniziative rivolte ad allargare i programmi ed a renderli più popolari non riescono a raggiungere gli scopi che si prefiggono, anche per l'inizio della grande depressione del 1929. Alla fine del 1931 si contano solo 242.000 abbonati anche se il pubblico degli ascoltatori risulta composto non unicamente da una ristretta elite ma anche da più ampi strati di piccola e media borghesia.

In EIAR, sotto la gestione del Presidente Marchesi e del Direttore Generale Chiodelli, viene intrapresa la costruzione del Centro di Produzione radiofonico di Roma che, completato alla fine del 1931, ospita ben sette auditori e servizi ausiliari. A Marchesi si deve anche la creazione, fin dal 1926, della "Società Italiana Pubblicità Radiofonica" (SIPRA) con capitale ripartito tra URI, SIRAC ed un gruppo d'imprenditori milanesi (Mondadori, Alocchio-Bacchini, ecc.).

Dalle 6200 ore di trasmissione del 1927 si passa alle 44.000 del 1934 e la potenza complessiva d'antenna degli impianti si accresce dagli 1,7 kW del 1924 ai 188 kW del 1932 con uno sviluppo su tutto il territorio nazionale, anche se fanno la parte del leone i due Centri trasmittenti di Santa Palomba (Fig. 11) e di Prato Smeraldo (Fig. 12), sviluppatasi da metà degli anni '30, rispettivamente per le Onde Medie e per le Onde Corte.

Nel 1934 a Marchesi, dopo dieci anni di presidenza EIAR, subentra Vallauri di cui si è già ampiamente parlato, già molto noto come scienziato e Presidente della SIP (*Società Elettrica Piemontese*) società che, un anno prima, aveva assunto il controllo della maggioranza azionaria della EIAR.

<sup>22</sup> Per spiegare alcuni atteggiamenti dell'EIAR, si può pensare che la Marconi Italiana avesse una certa arroganza nei rapporti commerciali perché si sentiva protetta dal nome e dalla figura del suo fondatore. Alcuni dei biografi di Marconi sono peraltro attenti a segnalare che una cosa è Marconi e che un'altra è la Società Marconi fondata in Gran Bretagna di cui quella italiana era un'emanazione.

Quella che fu definita la piemontesizzazione dell'EIAR si attenua negli anni successivi per l'apertura della nuova sede di via Asiago a Roma, ancor oggi funzionante, che ospita cinque nuovissimi auditori e poi, definitivamente, per le operazioni di risanamento finanziario che portano al passaggio della SIP sotto il controllo dell'IRI. Il regime fascista – che all'inizio non aveva mostrato molto interesse alla radio – si rende ben presto conto dell'importanza che il nuovo mezzo di comunicazione può rivestire per l'azione propagandistica del regime e favorisce fortemente lo sviluppo degli investimenti, anche per la vasta risonanza che alcune trasmissioni radiofoniche avevano suscitato in altri Paesi.

Per ampliare l'area d'ascolto, limitata fino allora al ceto medio urbano delle regioni centro-settentrionali, il regime provvede a che siano installati numerosi apparecchi riceventi con altoparlanti in tutte le sedi delle organizzazioni di partito

(a cominciare dalle Case del Fascio), nei dopolavori, nelle scuole, negli uffici, nelle caserme, nei principali ritrovi pubblici. Per raggiungere i ceti contadini si dà vita ad un Ente denominato Radio Rurale che, a partire dal giugno del 1933, inizia a diffondersi su tutto il territorio adottando un ricevitore unificato, a prezzo imposto e con caratteristiche standardizzate, acquistabile solo dagli enti governativi e dagli istituti scolastici o per donazione agli stessi.

Questo vasto piano di diffusione dei posti d'ascolto assicura al regime fascista ampie possibilità di pianificazione del consenso nelle città e nelle campagne, come risulta evidente in particolare durante la guerra d'Etiopia tra il 1935 e il 1936 e, successivamente, in occasione dell'intervento italiano nella guerra civile in Spagna a fianco delle forze franchiste.

Sempre tra polemiche per il comportamento dell'EIAR, considerata più favorevole alla RCA, si inaugura nell'agosto 1936 la stazione ad Onde Medie da 50 KW (in antenna) di Budrio (Bologna) ed un nuovo trasmettitore più potente, sempre ad Onde Medie, a Roma-S. Palomba, entrambi, dopo svariate discussioni e polemiche, assegnati alla società Marconi.

Gli abbonati EIAR crescono rapidamente nella seconda metà degli anni '30 sino a raggiungere l'ambito traguardo di un milione nel 1938, mentre nel frattempo la società assume nuove dimensioni aziendali ed operative e giunge a compimento un vasto piano di potenziamento degli impianti. È anche ultimata a Roma-Prato Smeraldo l'installazione di una nuova antenna direttiva, orientata verso gli Stati Uniti, che quadruplica la potenzialità di ricezione in America dei programmi italiani in Onde Corte.



**Figura 11.** Il Centro ad Onde Medie EIAR di Santa Palomba.

**Figura 12.** Il Centro ad Onde Corte EIAR di Prato Smeraldo nel 1939.

Un aumento considerevole degli utenti ed una forte diffusione del mezzo radiofonico si determinano nel periodo che precede immediatamente l'ultimo conflitto mondiale e durante lo stesso, essenzialmente per avere notizie di carattere informativo e, specificatamente, i bollettini di guerra. Il 10 giugno 1940 una discreta percentuale di italiani ascolta da casa l'annuncio dell'entrata in guerra dell'Italia nel discorso pronunciato da Mussolini dal balcone di Palazzo Venezia.

Nel 1942 si contano due milioni d'utenti, serviti da 34 stazioni ad Onde Medie (per una potenza complessiva di 850 kW) e da 9 stazioni ad Onde Corte (per una potenza globale di 431 kW). Gran parte di questi impianti saranno distrutti nel corso del conflitto e si dovrà attendere la fine della guerra per l'opera di ricostruzione ed il rinnovo degli impianti.

Il dopoguerra risulta caratterizzato da una fervente attività di ricostruzione. Già nel maggio 1945 entra in funzione a Roma un nuovo trasmettitore ad Onde Medie da 100 KW che consente all'Organismo nato dalle ceneri dell'E-IAR – rinominato RAI-*Radio Audizioni Italiane* – di riprendere la diffusione di programmi. Sotto la presidenza (dall'aprile 45 all'agosto 46) di Carlo Arturo Jemolo, le trasmissioni radiofoniche dal dicembre 1945 vengono estese a tutto il territorio nazionale con due distinte reti.

Nel 1948, completata l'opera di ricostruzione, entra in servizio a Milano presso la Torre nel Parco, come già accennato in precedenza, la prima stazione sperimentale di radiodiffusione a modulazione di frequenza. Su queste basi nel 1950 sono inaugurate le trasmissioni del Terzo Programma, a prevalente impronta culturale, diffuse attraverso la nuova rete di stazioni FM nonché da tre trasmettitori ad Onda Corta.

Nel frattempo viene confermata la natura pubblica del servizio radiofonico ed il regime di concessione in monopolio.

Nel gennaio 1952 il Governo concede alla RAI (presieduta dal 1946 da Giuseppe Spataro) i servizi in esclusiva fino al 1972 per le radioaudizioni ed anche per la televisione e per la telediffusione su filo. La convenzione prevede altresì il trasferimento diretto all'IRI della maggioranza assoluta del pacchetto di azioni RAI rimaste fino allora in possesso della SIP.

Dopo la conferma del nuovo assetto istituzionale si riparte con un vasto programma di miglioramento degli impianti esistenti e di costruzione di nuovi. Una delle iniziative significative è la realizzazione nel 1952 del Centro di Produzione di Milano il cui edificio – già progettato dall'architetto Giò Ponti e quasi completato fin dal lontano 1943 – viene dotato di 23 auditori radiofonici e di due studi televisivi e situato accanto ad un potente trasmettitore televisivo situato alla Torre del Parco.

Dall'inizio degli anni '50 si apre pertanto il capitolo nuovo della televisione nella storia italiana del settore di cui si parlerà ampiamente più avanti.

La progressiva liberalizzazione radiofonica di molti anni dopo – le prime radio libere ufficiali sono Radio Parma e subito dopo Radio 101 che cominciano a trasmettere 24 ore *no stop* a partire dai primissimi mesi del 1975 – creerà progressivamente, col moltiplicarsi delle stazioni indipendenti, problemi d'interferenza sulla ricezione dei programmi RAI in FM che perderanno quelle caratteristiche di qualità e di universalità che li avevano sempre caratterizzati. La filosofia di

diffusione radiofonica dell'iniziale monopolista RAI aveva, infatti, previsto pochi grandi trasmettitori FM per servire un vasto territorio: la nascita di molte stazioni locali FM, anche se operanti a potenze relativamente basse, creerà, in molte parti del territorio italiano, campi di ricezione all'utente sensibilmente più alti di quelli dei trasmettitori lontani (anche se di alta potenza) con la nascita di interferenze sulla ricezione dei programmi RAI. Ovviamente tale situazione si sarebbe creata anche per lo scarso controllo ministeriale operato da sempre in Italia sullo spettro radio, con potenze emesse e deviazioni massime di frequenza delle nuove stazioni private FM non a standard internazionali.

Nonostante i vari e vani tentativi RAI di migliorare tale situazione, per risolvere il problema occorrerà attendere la digitalizzazione dei segnali radiofonici ed un nuovo Piano frequenze per migliorare l'attuale situazione che risulterà sanabile solo al completamento del programma di *switch-off* della televisione analogica, come illustrato in maggiori particolari nel capitolo successivo.

## Primordi e sviluppi della televisione analogica a livello mondiale

### *Gli esordi elettro-meccanici: da Nipkow a Baird*

Il primo sistema proposto per la trasmissione di immagini in movimento risale ad un brevetto del 1884, avente come titolo *Electric telescope for the electric reproduction of illuminating objects*, conseguito da un giovane studente tedesco, Paul Julius Nipkow (1860-1940) (Fig. 13). Sembra, con quasi certezza, che dell'idea brevettata non



Figura 13. Paul J. Nipkow.



Figura 14. John Baird.

esistesse alcun modello (e sicuramente non funzionante) in quanto l'idea era stata considerata all'epoca priva di interesse pratico.

Ben 40 anni dopo, per opera dello scozzese John Baird (1888-1946) (Fig. 14), come illustrato nel seguito, la sua idea veniva tradotta in un sistema funzionante di Televisione<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> Il termine *Television* è stato coniato dallo scienziato russo Constantin Perskyi, professore all'Università di S. Pietroburgo, in una presentazione dell'Agosto del 1900 al primo congresso internazionale di elettricità (nell'ambito della Fiera Mondiale di Parigi) mentre esponeva le esperienze di Nipkow ed altri in riferimento all'impiego di fotocellule al selenio.

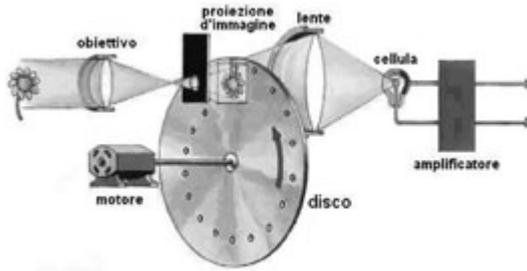


Figura 15. Realizzazione di Baird del *Televisor*.

via filo) l'intensità media di luce delle porzioni d'immagine così esplorate tramite un segnale elettrico sequenziale generato grazie ad una fotocellula.

L'analisi dell'immagine da inviare a distanza, col metodo indicato nel brevetto, viene effettuata mediante un disco rotante su cui è praticata una serie di piccoli fori disposti a spirale che esplorano l'immagine per linee successive. In ricezione, la ricostruzione dell'immagine è assicurata da un analogo disco (sincronizzato con quello di trasmissione) e dall'effetto di persistenza della retina. Tale proprietà viene sfruttata in analogia al cinema (inventato e realizzato alcuni anni dopo il brevetto di Nipkow nel 1895) con la leggera differenza che un film produce l'effetto del moto attraverso una sequenza rapida di immagini fisse<sup>24</sup>, mentre la televisione dà vita all'immagine in movimento prima come successione di areole esplorate per comporre il quadro (*frame*) e quindi crea l'aggiornamento delle variazioni spaziali con ripetute esplorazioni al secondo del *frame*.

Quanto più alto è il numero di rotazioni al secondo del disco, tanto migliore risulta la riproduzione del movimento nei suoi dettagli e l'assenza di qualsivoglia sfarfallio, anche se all'epoca non era facile raggiungere alte velocità di rotazione per i problemi meccanici connessi.

Il concetto di "visione a distanza" riprende corpo, come già accennato, solo a partire dal 1925, grazie alle ricerche e realizzazioni di Baird che è il primo uomo a dare una dimostrazione di un sistema televisivo funzionante, da lui denominato *Televisor*, sfruttando appieno il brevetto originale di Nipkow. Tuttavia Baird deve risolvere un insieme non indifferente di problemi tecnologici che, nei suoi primi esperimenti, affronta sempre in modo molto artigianale per le forti limitazioni di natura economica con cui si ritrova a lavorare.

Nella realizzazione di Baird del trasmettitore (Fig. 15), l'immagine della scena che si vuole trasmettere viene illuminata adeguatamente e, tramite un obiettivo,

Il merito di Nipkow è di aver concepito per primo – il suo brevetto è considerato giustamente da alcuni storici come il "master television patent" – l'idea di esplorare (*scannig*) un'intera immagine (*frame* o quadro), fissa od in movimento, per piccole porzioni successive, a velocità adeguata per la persistenza dell'immagine sulla retina, trasmettendo (all'epoca

<sup>24</sup> Il numero di immagini al secondo per un film è partito da 14 per arrivare a 24 immagini al secondo, anche se successivamente, per diminuire lo sfarfallio (*flicker*), lo standard cinematografico ha previsto di ripresentare due volte la stessa immagine. Anche nella televisione si è partiti con 15-16 immagini al secondo poi portate a 25 per il sistema europeo (30 per quello USA) in cui, anche per ridurre il *flicker*, si è introdotta l'esplorazione interallacciata (per maggiori particolari vedi nota 32) che presenta 50 immagini al secondo (in analogia al film che ne presenta 48) con metà definizione.

focalizzata sul piano dell'*Electric Telescope* che prende da quel momento il nome di “disco di Nipkow”.

La parte utile d'immagine viene delimitata con una “finestra” (il “mascherino d'immagine” presente oggi nelle cineprese e telecamere) avente, da un lato, la funzione di escludere i raggi luminosi periferici (soggetti ad aberrazioni) e, dall'altro, di prescrivere il “formato” d'immagine (il formato 4:3 verrà adottato solo dopo alcuni anni). La luce dell'immagine creata in corrispondenza del piano del disco attraversa, in successione, i singoli fori in rotazione e, sull'altro lato, viene focalizzata su un trasduttore ottico-elettrico – ad esempio al selenio di cui già dal 1877 erano state scoperte le proprietà fotoelettriche – che converte la luminosità delle singole porzioni d'immagine (stabilite dalle dimensioni del foro) in un segnale elettrico sequenziale.

Il segnale così creato è trasmesso via filo al ricevitore in cui una sorgente di luce (lampada al neon o simile) viene fatta variare d'intensità luminosa in funzione dell'ampiezza del segnale ricevuto e la cui luce, passando attraverso un identico disco di Nipkow che ruota in sincronismo con quello di trasmissione, viene focalizzata su un piccolo schermo di visione. Uno spettatore, situato dall'altro lato del disco e dello schermo, tenuto conto dell'effetto di persistenza della retina, è in grado di ricevere una riproduzione dell'immagine originale anche se, almeno nei primi esperimenti, con forti limitazioni di risoluzione e luminosità per di più accompagnate da un fastidioso sfarfallio. Le esplorazioni consecutive dell'immagine in trasmissione permettono di realizzare, come già accennato, anche la trasmissione del movimento degli oggetti o delle persone riprese.

Volendo essere precisi, occorre aggiungere che la luce – che nel trasmettitore passa attraverso i fori crea – con la rotazione del disco, un percorso rettangolare a strisce (*raster*) sull'immagine (ad essere esatti, trattandosi di un disco, ad archi di cerchio) di cui un singolo foro, nella rotazione, realizza l'esplorazione di una linea mentre il foro seguente, leggermente spostato per effetto della disposizione a spirale, effettua l'esplorazione della linea successiva e così via<sup>25</sup>.

La distanza tra i due fori successivi viene calcolata sulla base della velocità di esplorazione di ogni linea dell'immagine. Si deduce pertanto che il numero di strisce analizzate corrisponde al numero di fori del disco mentre il numero di immagini esaminate al secondo dipende dalla velocità di rotazione del disco, corrispondendo ogni singolo giro ad un'esplorazione dell'intero *frame*.

Nel sistema trasmissivo adottato si introduce anche il segnale audio nonché un segnale di sincronismo per il disco di ricezione (tali prestazioni erano già previste anch'esse nel brevetto di Nipkow).

<sup>25</sup> L'esplorazione nel disco di Nipkow avviene per linee (in realtà per archi di cerchio) orizzontali o verticali a seconda della posizione in cui viene sistemata la finestra di scansione (fotogramma o immagine focalizzata) rispetto agli assi (verticale e orizzontale) del disco rotante. In Fig. 17 si vedono chiaramente le linee verticali (in numero di 30) e pertanto si deduce che Baird aveva sistemato la finestra d'immagine all'estremo dell'asse orizzontale del disco. Inoltre la finestra era più alta che larga, a differenza dei successivi standard adottati.



**Figura 16.** J. Baird col suo ricevitore meccanico con disco di Nipkow.



**Figura 17.** Prima immagine televisiva.

Nel marzo del 1925 Baird (Fig. 16) effettua la sua prima dimostrazione pubblica in un grande negozio di Londra senza che, in pratica, si riescano a vedere gradazioni di grigi ma solo *silhouette*.

Finalmente, il 2 ottobre del 1925 arriva ad effettuare una trasmissione in scala di grigi del viso del suo fattorino (Fig. 17) da una stanza all'altra del suo laboratorio, con 30 linee (ad esplorazione verticale) e 5 immagini al secondo! Nell'esperienza, il sincronismo tra trasmettitore e ricevitore viene assicurato dall'impiego, per la rotazione dei dischi, di motori in corrente alternata di tipo sincrono. Successivamente, per le trasmissioni a distanza, la sincronizzazione sarebbe stata assicurata, come già accennato, mediante impulsi introdotti nella trasmissione del segnale video.

Nel gennaio del 1926, Baird organizza una dimostrazione pubblica nel suo laboratorio di Londra ai membri della Royal Institution e della stampa aumentando il numero di immagini al secondo da 5 a 12,5. È la prima dimostrazione di diffusione televisiva con immagini in movimento e con luce riflessa dal soggetto ripreso in cui viene, tra l'altro, impiegata l'amplificazione a valvole sia in trasmissione che in ricezione.

L'anno successivo, nel 1927, Baird trasmette un segnale televisivo tra Londra e Glasgow (438 miglia) attraverso una normale linea telefonica in cavo.

Un mese prima anche i Bell Labs avevano sperimentato, con molto successo, una trasmissione televisiva su una distanza di 225 miglia, sia via filo che via radio, con un sistema elettro-meccanico. Le immagini al secondo esplorate erano 18 con 50 linee ed il ricevitore era costituito da uno schermo di dimensioni 2x3 pollici.

È singolare ricordare che nel 1928, alla mostra della radio a Berlino (*Funkausstellung*), nella lunga fila di persone desiderose di vedere i primi esperimenti di televisione è presente anche Paul Nipkow che così ricorda l'episodio:

Centinaia di persone erano in fila aspettando pazientemente il momento in cui avrebbero visto la Televisione per la prima volta. Aspettavo tra loro il mio turno con un nervosismo crescente. Tra poco avrei visto quello che avevo esagitato 45 anni prima. Finalmente raggiunsi l'inizio della fila mentre un panno nero veniva disposto sul fianco e vidi in fronte a me un'immagine tremolante non facile da individuare [...].

Nipkow non avanzò mai diritti per il suo brevetto.

Baird nel 1928 crea una sua società (successivamente produttrice dei primi ricevitori televisivi elettromeccanici) e realizza la prima trasmissione televisiva transoceanica da Londra a New York. Nello stesso anno compie sperimentazioni di successo per la televisione stereoscopica e per la trasmissioni di immagini a colori. In questo secondo caso adotta un sistema che utilizza, in ripresa, tre dischi muniti di altrettanti filtri primari (rosso, verde e blu) e, in riproduzione, un disco illuminato da tre sorgenti luminose primarie intercettate da un commutatore. Nel 1930, anche sotto la pressione del successo delle sale cinematografiche, Baird sperimenta un sistema di "television theatre" con uno schermo di 150x60 cm dal suo laboratorio ad una sala cinematografica di Londra.

Baird continua a rimanere attivo fino alla morte con nuove idee e sperimentazioni: nel 1943 propone ad un comitato governativo inglese – insediato per fornire previsioni sullo sviluppo della televisione alla fine del conflitto – uno standard prossimo all'attuale alta definizione mentre – a partire dal 1944 convertito anche lui all'elettronica – dà la prima dimostrazione mondiale di un *display* televisivo a colori completamente elettronico realizzato dalla sua società.

Nel frattempo, la BBC aveva iniziato nel 1929 le prime trasmissioni sperimentali con il metodo di Baird. Un anno dopo trasmetteva il primo vero e proprio programma televisivo *The Man with the Flower in his Mouth* di Pirandello con un sistema Baird a 30 linee<sup>26</sup> che, progressivamente, sarebbe stato portato negli anni successivi fino a 240 linee.

### *L'approccio elettronico: da Braun a Zworykin*

Alla fine degli anni '20, parallelamente al sistema elettro-meccanico, si vanno sviluppando le idee per una televisione completamente elettronica.

Il primo passo indispensabile al processamento elettronico delle immagini (fisse od in movimento) risale al 1897, quando il tedesco Ferdinand Braun (1850-1918) (Fig. 18) perfeziona il "tubo a raggi catodici" (oscilloscopio) che

<sup>26</sup> Per chi fosse interessato a vedere la "qualità" televisiva delle prime trasmissioni è possibile trovare su *You Tube* una "ricostruzione" dimostrativa della BBC, che ha utilizzato la "registrazione" originale di studio del programma di Pirandello (all'epoca effettuata, ovviamente, su pellicola cinematografica che si prestava meglio ad essere poi impiegata nel disco di Nipkow per la trasmissione). Per effettuare la dimostrazione della trasmissione, la BBC ha dovuto invece ricostruire il disco, andato perduto, impiegato da Baird nelle prime trasmissioni.



Figura 18. Ferdinand Braun.



Figura 19. Alan Campbell-Swinton.

diventerà elemento fondamentale per captare e riprodurre immagini elettroniche<sup>27</sup>. Esso deriva dallo storico tubo di Crookes del 1878 – primo tubo a vuoto per quanto a catodo freddo – limitato solo all'utilizzo in laboratorio ma che rappresenta il dispositivo grezzo di tutte le ulteriori evoluzioni<sup>28</sup>.

Braun, per i suoi numerosi contributi in molti campi della fisica

– era stato, tra l'altro, anche il primo scienziato a proporre i cristalli come rivelatori per la radiofonia AM – condivide nel 1909 il premio Nobel con Marconi.

Nel 1908, in una lettera inviata alla rivista *Nature* dal titolo “*Distant Electric Vision*”, lo scozzese Alan Campbell-Swinton (1863-1930) (Fig. 19) descrive, con straordinaria e limpida preveggenza, un possibile sistema di televisione elettronica delineando un sistema di “*Television by Cathode Rays*” con un tubo a raggi catodici come trasmettitore ed uno come ricevitore. L'idea viene migliorata ed approfondita in conferenze negli anni successivi.

È interessante riportare direttamente le sue parole. In primo luogo esprime la chiara convinzione che: “[...] the final, insurmountable problems with any form of mechanical scanning are the limited number of scans per second, which produce a flickering image, and the relatively large size of each hole in the disk, which results in poor resolution”.

In secondo luogo delinea la possibile soluzione elettronica:

the target to obtain distant electric vision can probably be solved by the employment of two beams of cathode rays (one at the transmitting and one at the receiving station) synchronously deflected by the varying fields of two electromagnets placed at right angles to one another and energized by two alternating electric currents of widely different frequencies, so that the moving extremities of the two beams are caused to sweep simultaneously over the whole of the required surface within the one-tenth of a second necessary to take advantage of visual persistence. Indeed, so far as the receiving apparatus is concerned, the moving cathode beam has only to be arranged to impinge on a suitably sensitive fluorescent screen, and given suitable variations in its intensity, to obtain the desired result.

<sup>27</sup> Nel 1895 gli studi di J. Thomson avevano dimostrato che i raggi catodici non sono altro che particelle subatomiche con carica negativa – cui diede il nome di elettroni – riuscendone a calcolare, con i suoi esperimenti, il rapporto tra massa e carica elettrica.

<sup>28</sup> Per l'introduzione del tubo a catodo caldo occorre attendere fino al 1922 dopo gli studi di J.B. Johnson sull'effetto che prenderà il suo nome (*Johnson noise* o rumore termico).

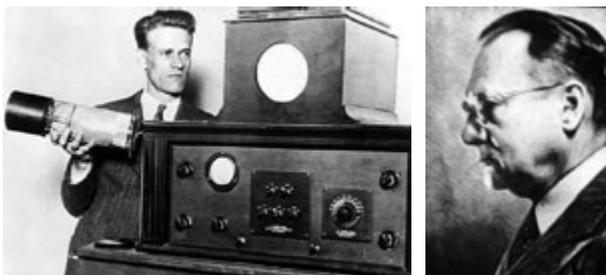
Se si guarda alla data in cui è stata scritta questa frase che si è preferito riportare in lingua originale, si rimane veramente impressionati dalla precisione e chiarezza con la quale è ipotizzata la possibile soluzione del problema.

Si deve tuttavia attendere sino al 1927 per vedere l'attuazione di un tale sistema. Lo statunitense Philo Taylor Farnsworth (1906-1971) (Fig. 20), già dal 1921 all'età di 15 anni, lavora sul principio di una camera da ripresa elettronica. Nel 1927 realizza compiutamente – come alternativa elettronica al sistema di ripresa elettro-meccanico di Baird – un apparato di ripresa televisiva (da lui denominato “Image Dissector”) in cui l'immagine viene focalizzata su uno strato di ossido di cesio che emette a sua volta elettroni in quantità proporzionale alla luce incidente, producendo in tal modo un'immagine elettronica. Per la ricezione Farnsworth realizza un “Image Oscillite” come sistema di restituzione delle immagini che impiega sostanzialmente il tubo a raggi catodici già inventato da Braun.

Una dimostrazione viene organizzata a settembre del 1927 e nell'anno successivo Farnsworth organizza una presentazione ufficiale alla stampa con ulteriori perfezionamenti che migliorano la sensibilità dei suoi apparati.

Negli stessi anni l'ingegnere russo<sup>29</sup> Vladimir Zworykin (1889-1982) (Fig. 21) – emigrato negli Stati Uniti nel 1919 a seguito della rivoluzione bolscevica – progetta un tubo da ripresa (più tardi denominato “Iconoscope”) su cui deposita un brevetto nel 1923, mentre lavora alla Westinghouse, senza tuttavia costruire un modello sperimentale.

Negli anni successivi non riesce ad avere risultati particolarmente soddisfacenti ed in una visita al laboratorio di Farnsworth rimane notevolmente impressionato dalle prestazioni ottenibili con l'*Image Dissector*. Entrato alla RCA nel 1927 chiamato dal Presidente Sarnoff (di cui si è già ampiamente parlato nella storia della radiofonia) perfeziona i suoi precedenti ritrovati per proporre, come sistema di riproduzione, il cosiddetto “Kinescope” che viene brevettato nel 1929. Si ha così un completo sistema elettronico in chiara competizione con gli apparati brevettati da Farnsworth.



**Figura 20.** Philo T. Farnsworth ed il suo apparato di ripresa elettronico.

**Figura 21.** Vladimir K. Zworykin.

<sup>29</sup> Zworykin aveva collaborato in Russia fin dal 1907 con il suo maestro Boris Rosing insieme al quale, nel 1910, aveva presentato un sistema televisivo che usava un'esplorazione elettromeccanica a specchi in trasmissione ed il tubo di Braun, opportunamente modificato, in ricezione. Durante la rivoluzione bolscevica del 1917 Rosing fu esiliato (e morì in esilio dopo alcuni anni), mentre Zworykin scappò dalla Russia e – dopo essere stato a Parigi per qualche tempo interessandosi allo studio dei raggi X – si spostò nel 1919 in USA per lavorare al laboratorio della Westinghouse a Pittsburgh.

Nel 1931 Sarnoff offre a Farnsworth l'acquisto dei suoi brevetti per 100.000\$ con la condizione che egli diventi un dipendente RCA, ma Farnsworth rifiuta e preferisce andare a lavorare alla Philco. Ne segue una lunga controversia giudiziaria – che si trascina per moltissimi anni – in cui RCA è accusata di avere usato le idee di Farnsworth, con il risultato di bloccare lo sviluppo della televisione elettronica negli Stati Uniti.

La controversia si conclude nel 1939 con la formale vittoria di Farnsworth ed il riconoscimento della priorità dell'invenzione nonché l'accusa a Sarnoff ed alla RCA di averlo ostacolato. RCA accetta di pagare un milione di dollari suddivisi in dieci anni per accedere ai brevetti di Farnsworth.

Gli anni che seguono il secondo conflitto mondiale sanciscono il successo della RCA con il sistema ideato da Zworykin che, peraltro, è in grado di integrare nei propri sistemi molte delle idee di Farnsworth avendo ormai libero accesso ai relativi brevetti.

Nel frattempo, una delle prestazioni insoddisfacenti dell'Iconoscopio, e cioè il problema della bassa sensibilità, viene risolto dalle ricerche dell'ungherese Kálmán Tihanyi che, già nel 1928, aveva depositato un brevetto per un sistema denominato "Radioskop" in cui il tubo da ripresa accumula ed immagazzina le cariche elettriche per tutto il tempo della esplorazione: la RCA acquisirà i diritti di uso del brevetto e li incorpora nell'Iconoscopio.

Contemporaneamente la RCA si accorda anche con la Telefunken per uno scambio di brevetti dando vita allo "Image Iconoscope" che viene presentato alla stampa nel 1933 e rappresenterà lo standard dei tubi di ripresa a fotoemissione in Europa dal 1936 fino alla fine degli anni '40, periodo in cui il dispositivo viene progressivamente sostituito prima dal tubo "Orthicon" e, quasi subito dopo, dallo "Image Orthicon".

Alla fine degli anni '60, si passa ai tubi compatti a fotoconduzione quali il *Vidicon*, sviluppato molti anni prima dalla RCA<sup>30</sup>, nonché ai più evoluti – in fatto di risoluzione e di elevato rapporto segnale/rumore – *Plumbicon* della Philips e *Saticon* della Hitachi, entrati sul mercato dopo il 1970.

### *Inizio dei servizi televisivi di broadcasting terrestre*

È in America che hanno inizio le prime trasmissioni ufficiali con un sistema elettro-meccanico operante con 60 linee e 20 quadri al secondo. Nel 1928 si

<sup>30</sup> Zworykin rimarrà in RCA fino al 1954 in qualità di Direttore della Ricerca elettronica, proseguendo poi come consulente. Il suo nome rimane legato ai grandi progressi della televisione in tutti quegli anni ed, in particolare, agli standard della televisione a colori – di cui si parlerà nel seguito – su cui, già nel 1925, Zworykin stesso aveva depositato un brevetto per un sistema totalmente elettronico.

Per quanto Zworykin sia stato una stella di prima grandezza nel firmamento RCA, Sarnoff non si stancava mai di raccontare che, quando approdò in RCA, gli avrebbe promesso che con 100.000\$ di budget sarebbe stato in grado di completare un completo sistema televisivo elettronico ma che, alla fine, il costo per RCA fu di 50.000.000\$ (anche se inflazionati dalla depressione). E Sarnoff concludeva: "Mai fidarsi delle previsioni di budget degli ingegneri"!

effettuano trasmissioni a Washington dalla stazione W3XK (di proprietà dei Charles Jenkins Laboratories) ed a New York dalla stazione WRGB della CBS, all'epoca già importante *broadcaster* radiofonico mentre, sempre a New York, dal 1931 si aggiunge una seconda stazione (W2XAB) della CBS.

Dal 1936 hanno inizio trasmissioni col sistema elettronico, operanti inizialmente a 120 linee, poi a 240 ed infine a 343 linee: le prime stazioni sono la W6XAO a Los Angeles e la stazione



Figura 22. Studi NBC del 1936.

NBC a New York (già ben nota per la radiofonia) di proprietà della RCA che, nel frattempo, aveva attrezzato degli studi molto avanzati per l'epoca (Fig. 22).

Nell'aprile del 1939 il Presidente della RCA Sarnoff organizza una diretta televisiva dal Salone della Televisione allestito nell'ambito della Fiera Mondiale di New York. Si utilizza un sistema a 441 linee che l'anno successivo verranno elevate a 525, il futuro standard televisivo analogico USA durato fino ai nostri giorni. È la nascita ufficiale della televisione in USA che inizia regolari trasmissioni in ritardo rispetto all'Europa per la nota controversia legale, cui sopra si è accennato, tra RCA e Farnsworth. Oltre alla NBC- RCA, altre società danno vita negli Stati Uniti a trasmissioni televisive regolari: in particolare la CBS e, poco più tardi nel 1943, l'ABC. Peraltro, già nel 1942, NBC e CBS avevano interrotto le trasmissioni a causa del secondo conflitto mondiale in cui anche gli Stati Uniti sono ormai coinvolti.

All'epoca sono 7000 i televisori in funzione nell'intero Paese, prevalentemente nella zona di New York, ma il secondo conflitto mondiale dirotta completamente l'attenzione su altri temi.

Le tre grandi società sopra menzionate riprendono con vigore le trasmissioni alla fine del conflitto. Ad esse, oltre a molte altre stazioni locali, si associa anche la DuMont di proprietà della corrispondente ben nota azienda manifatturiera di televisori (fondata dallo scienziato americano Allen DuMont che aveva introdotto miglioramenti nel tubo a raggi catodici ed inventato l'occhio magico per i ricevitori radiofonici) che tuttavia cesserà le trasmissioni nel 1956 a causa della regolamentazione imposta dalla FCC ritenuta peraltro troppo pesante.

Per la prima trasmissione USA (in bianco/nero) su scala nazionale occorre attendere fino al novembre del 1951, data in cui viene trasmesso dalla California il discorso di Truman alla Conferenza di pace col Giappone. Per operare la diffusione locale a tutto il territorio degli Stati Uniti, il segnale televisivo viene trasmesso dalla California a tutta la nazione sui cavi coassiali e sui ponti radio a grande distanza della AT&T.

Negli stessi anni anche l'Europa si muove ed anche con maggiore velocità degli Stati Uniti. In Gran Bretagna – a seguito degli esperimenti di Baird e delle trasmissioni sperimentali BBC – il *Postmaster General* presenta in Parlamento, nel febbraio del 1935, il rapporto del *Television Committee* presieduto da Lord Selsdon



**Figura 23.** Riprese TV: Olimpiadi di Berlino del 1936.

(*Selsdon Report*) nel quale si sostiene che un regolare servizio televisivo dovrebbe operare con uno standard non inferiore a 240 linee e con non meno di 25 immagini al secondo.

Il 2 novembre del 1936 hanno inizio a regolari trasmissioni televisive (*BBC Television Service*), dopo molti anni di trasmissioni sperimentali, sia col sistema elettro-meccanico di Baird portato a 240 linee sia, contemporaneamente, con un sistema elettronico a 405 linee interallacciate (vedi più

avanti nota 32), ossia 50 semi-immagini al secondo ciascuna di 202 linee). Quest'ultimo sistema era stato messo a punto dalla Marconi/EMI, ormai fuse in un'unica azienda, sotto l'impulso del suo direttore tecnico Isaac Schönberg che impiega telecamere con tubi da ripresa denominati *Emitron* da lui progettati, molto simili all'Iconoscopio, ma con migliori caratteristiche.

Ben presto appare evidente la superiorità del sistema elettronico a 405 linee (definito all'epoca ad alta definizione) rispetto a quello meccanico ed il sistema Baird viene definitivamente abbandonato dalla BBC alla fine di gennaio del 1937.

L'incoronazione di Re Giorgio VI nel maggio del 1937 è il primo evento trasmesso in diretta nella storia della televisione. Nel settembre del 1939, tuttavia, la BBC sospende i programmi televisivi in seguito allo scoppio della Seconda Guerra Mondiale. A quella data sono circa 20.000 gli apparecchi riceventi televisivi in funzione nel Regno Unito.

A Parigi nel 1935 inizia le sue attività *Radio PTT-Vision* che, dopo la guerra, diventerà *Télévision Française 1* (oggi TF1), prima col sistema elettro-meccanico a 60 linee, poi con quello a 180 linee. Tale stazione riprenderà a trasmettere dal 1943 al 1944, sotto occupazione tedesca, col nome di *Fernsehsender Paris* col sistema elettronico della ditta tedesca Fernseh a 441 linee.

Nel marzo del 1936, in occasione dell'inizio delle Olimpiadi di Berlino, la Germania dà inizio a regolari emissioni televisive (con un sistema a 180 linee non interallacciate a 25 quadri/secondo) verso sale attrezzate (*Fernseh Halle*), non essendo permessa dal regime nazista la vendita di televisori ai privati. Le riprese (Fig. 23) sono effettuate sia con telecamere Telefunken, costruite sulla tecnologia RCA di Zworykin (*Iconoscope*), sia con telecamere Fernseh che impiegano, al contrario, la tecnologia di Farnsworth (*Image Dissector*). A tali riprese partecipa come *cameraman* Walter Bruch, futuro inventore del sistema televisivo a colori PAL, operando su una telecamera Telefunken. Un sistema di ripresa cinematografica da *monitor* consente di registrare le immagini delle riprese su pellicola cinematografica permettendone la conservazione e l'archiviazione (*vidigrafo*).

In Unione Sovietica dove si era creata nelle università una notevole competenza sulla televisione, iniziano nel 1931 trasmissioni sperimentali con un sistema elettromeccanico a 30 linee. Nel 1938 iniziano trasmissioni regolari col sistema

elettronico adottando apparati RCA con un sistema a 343 linee, poi incrementate a 441, per poi arrivare nel 1940 alla proposta di uno standard a 625 linee.

Gli sviluppi pionieristici e la tradizione della scuola sovietica negli studi televisivi, nonostante il clima di guerra fredda, saranno successivamente riconosciute appieno negli organismi internazionali di standardizzazione.

Per la fase iniziale delle trasmissioni televisive in Italia si rimanda al seguito nella parte dedicata agli “Sviluppi in Italia della televisione analogica”.

### *Dai primi televisori commerciali agli schermi piatti*

Dal 1928 al 1935 vengono venduti nel Regno Unito, in USA ed in URSS svariati modelli di ricevitori televisivi commerciali con disco rotante sempre combinati con un ricevitore radiofonico di qualità (Fig. 24).

Il primo televisore commerciale della Telefunken (Fig. 25) con tubo a raggi catodici, (ancora di forma circolare) viene costruito in Germania nel 1935 e seguito, dopo un paio di anni da modelli usciti in Francia e Gran Bretagna. Negli Stati Uniti, per i noti problemi di brevetti, occorre attendere invece fino al 1938, anno in cui il modello più economico (12 pollici) aveva un prezzo di circa 450\$ (da moltiplicare approssimativamente per 10 volte per confrontarlo in termini attuali).

Il primo tubo catodico a sezione rettangolare compare in Germania fin dal 1936.

Il numero di televisori prodotti prima della guerra è di circa 20.000 in Gran Bretagna, 2000 in Germania (per quanto già detto permessi solo in luoghi pubblici) e di 7000 negli Stati Uniti.

Per molti anni gli standard risulteranno differenti per le varie nazioni. Ad esempio, la Francia – originariamente partita con le 441 linee tedesche – si porta a 819 linee, circa il doppio rispetto allo standard tedesco ed a quello inglese di 405 linee.

Non va dimenticato che, al termine del secondo conflitto mondiale, la determinazione e la visione profetica di Sarnoff e della RCA sono state determinanti



**Figura 24.** TV elettromeccanica (“Televisor”) del 1930 fabbricato dalla Società di Baird.

**Figura 25.** Un modello di TV elettronica della Telefunken da 12 pollici del 1935.

per lo sviluppo di ricevitori televisivi sempre più a basso costo, contribuendo così a realizzare una diffusione fortemente capillare del nuovo mezzo sia negli Stati Uniti che nelle altre parti del mondo.

Dal 1947 l'industria americana incomincia ad inondare il mercato mondiale di svariati modelli di televisori. Le marche più note sono RCA, GE, Motorola, Philco, DuMont, Emerson, Raytheon, Admiral, Crosley, Farnsworth e Zenith.

Occorre attendere fino al 1950 per l'introduzione di un telecomando a fili ed a giugno del 1956 per il primo telecomando *wireless* a raggi infrarossi entrato nelle case americane, ambedue sviluppati dalla Zenith Radio Corporation, il primo modello con il nome di "Lazy Bones" ed il secondo con il nome di "Space command".

Il tubo d'immagine a raggi catodici avrebbe dominato incontrastato il mondo dei televisori con formati via via crescenti (raggiungendo la dimensione di 32 pollici, intesa, com'è noto, come la misura diagonale dello schermo) fino all'apparizione degli "schermi piatti" (FDP- *Flat Display Panel*)<sup>31</sup> affermatasi definitivamente per i loro grandi formati (38 pollici ed oltre) sul mercato *consumer* solo dal 2008 e che avrebbero contribuito in modo determinante all'introduzione della televisione ad alta definizione.

Di questi schermi sottili, il primo ad essere ideato è stato quello a plasma (PDP – Plasma Display Panel), già immaginato nel 1936 dell'ungherese Kalman Tihany ed introdotto sul mercato nel 1997 da Fujitsu e Philips. Gli schermi a cristalli liquidi (LCD – Liquid Crystal Display) – che oggi costituiscono la schiacciante maggioranza degli schermi televisivi – sono apparsi sul mercato più tardi. Inventati nel 1970 da Wolfgang Helfrich e Martin Schadt della svizzera Hoffmann-LaRoche, sono stati immessi in produzione nel 1997 dalla Samsung e nel 1998 dalla Hitachi, fino a raggiungere il 50% del mercato già nel 2008.

### *Sviluppo degli standard televisivi in bianco/nero*

#### *Lo standard NTSC in bianco/nero in USA*

Gli anni '40 vedono svilupparsi negli Stati Uniti il sistema a 525 linee destinato – per le sue avanzate prestazioni e perciò, all'epoca, denominato "ad alta definizione" – a dar vita a regolari emissioni televisive in bianco/nero fino all'avvento, nei successivi anni '70, della televisione a colori.

Al fine di risolvere i conflitti sorti negli anni '30 fra vari gruppi industriali per la scelta di un sistema nazionale di televisione (ad esempio, la RCA propo-

<sup>31</sup> Per quanto oggi sia entrata nella pratica corrente la denominazione "schermi piatti" (peraltro traduzione letterale dall'inglese), sarebbe più corretto identificarli con il termine schermi sottili, in quanto "piatto" identifica un concetto di assenza di curvatura piuttosto che di spessore. Il problema della curvatura, com'è noto, ha rappresentato un grosso problema per i primi tubi catodici ed ha fatto grandi progressi nel tempo nel tempo, in particolare per merito della Sony: si pensi al tubo Trinitron che ha rappresentato un grande passo avanti, anche come piattezza, nel campo degli schermi tradizionali CRT. Ovviamente gli schermi sottili dei moderni televisori sono anche piatti!

neva un sistema a 441 linee mentre Philco e DuMont ritenevano opportuno aumentare il numero delle linee ad un numero tra le 605 e le 800), la FCC crea nel 1940 un comitato *ad-hoc* – denominato NTSC (National Television System Committee) – che nel 1941 sancisce come standard televisivo nazionale per gli Stati Uniti un sistema in bianco/nero a 525 linee, con formato d’immagine 4:3 e con una sequenza di 30 quadri al secondo, ciascun quadro essendo composto da due semiquadri interallacciati<sup>32</sup> di 262,5 linee (uno formato dalle linee dispari, l’altro dalle pari), così da presentare 60 semiquadri al secondo<sup>33</sup>.

Ma l’America è ormai in guerra ed occorre attendere la fine del conflitto per assistere allo sviluppo impetuoso della televisione. La ripresa post-conflitto della ricerca per applicazioni commerciali è caratterizzata da importanti progressi di cui molti accelerati dalle esigenze militari della guerra e del dopoguerra. In particolare, a tale proposito, vale la pena di citare:

- il nuovo “tubo da ripresa” già menzionato – denominato “*Image Orthicon*” – destinato, per efficienza e compattezza, a soppiantare i preesistenti dispositivi di ripresa (*Image Dissector* e *Iconoscope*);
- un sistema di registrazione delle immagini video su pellicola cinematografica a 16 o 35 mm (il cosiddetto “*Kinescope Film*” realizzato nel 1947 da una collaborazione fra la Kodak e la RCA);
- i tubi CRT di crescenti dimensioni – dai 20 pollici di prima della guerra a quelli da 28 pollici del 1948 prodotti dalla *Baird Television Ltd* – in grado di visualizzare immagini 55x42 cm.

<sup>32</sup> Il sistema interallacciato (i) è un metodo di esplorazione delle immagini in movimento che suddivide l’analisi del quadro in due tempi successivi, detti semiquadri (in inglese *fields*), di cui il primo riguarda le sole linee pari ed il secondo quelle dispari, ciascuno esplorato rispettivamente in 1/60 di secondo in USA e in 1/50 di secondo in Europa. Questo sistema, adottato fino dalle prime emissioni televisive in bianco-nero, ha consentito di contenere la larghezza di banda (e quindi successivamente, nel digitale, il *bit-rate*) del segnale video pur mantenendo alto il numero totale di linee percepite dall’occhio e contribuisce anche a diminuire il *flicker* delle immagini. Esso tuttavia comporta, sulle immagini con contenuti in forte movimento (sport, ecc.), una consistente riduzione della risoluzione verticale (pari ad una perdita di circa il 30%) in quanto le parti in movimento del successivo semiquadro risultano spostate spazialmente rispetto al precedente a causa del tempo intercorso.

L’esplorazione progressiva (p), effettuata analizzando progressivamente tutte le linee, pari e dispari, successivamente l’una all’altra, comporta invece, a pari numero di righe ma con doppia frequenza di quadro, un raddoppio della larghezza di banda (*bit-rate*) del segnale video, offrendo però immagini a piena risoluzione e assenza di *flicker*.

Il cinema digitale adotta la tecnica di mantenere la stessa frequenza di quadro di 25 Hz (anzi, per l’esattezza, 24 come la pellicola) ma i relativi proiettori digitali, per evitare il *flicker*, memorizzano un quadro e lo ripropongono due volte, come si fa per il film (cfr. nota 24). In questo modo non si raddoppia la *bit-rate* già particolarmente alta.

<sup>33</sup> Sistema indicato per brevità con la sigla 525/60 a significare le 525 linee ed i 60 semiquadri/sec, tenendo presente che negli standard analogici, a differenza di quanto avverrà per quelli digitali, si indicano il numero totale di righe e non solo quelle attive agli effetti dell’immagine (vedi nota 36).

Sul finire degli anni '40, la FCC inizia ad assegnare le prime licenze di trasmissione televisiva nella banda I della gamma VHF e, per il complesso di queste spinte, nel 1955 metà degli insediamenti abitativi americani sono già in grado di ricevere programmi televisivi.

### *Gli standard europei in bianco/nero*

Per la definizione degli standard europei occorre invece attendere la fine del conflitto mondiale.

La strada del futuro standard europeo a 625 linee passa dall'Unione Sovietica dove, nel 1944, uno sconosciuto ingegnere progetta un sistema televisivo a 625 linee e 50Hz, ispirato allo standard americano NTSC a 525 linee e 60Hz. Tale sistema diviene standard nazionale URSS nel 1946 mentre le prime trasmissioni vanno in onda da Mosca nel 1948.

Un analogo sviluppo si registra nella Germania alla fine della Seconda Guerra Mondiale. I servizi radio delle Forze Armate americane, con l'intento di fornire alle truppe di occupazione programmi televisivi, decidono di impiegare televisori operanti con lo standard americano NTSC ma opportunamente modificati per operare a 25 quadri/secondo interallacciati al fine di evitare interferenze con la rete elettrica europea a 50 Hz (anziché i 60 Hz USA).

In Francia, già dal 1° ottobre del 1944, alla liberazione di Parigi dalle truppe tedesche, erano ripresi esperimenti di trasmissioni televisive dagli storici studi della RTF (*Radiodiffusion Télévision Française*). Alla fine del conflitto, viene sviluppato dalla società *Radio Industrie*, dietro progetto di Henry de France (il futuro inventore del sistema televisivo a colori SECAM), un sistema a 819 linee e 50 semiquadri al secondo interallacciati.

Nel 1947, i delegati di 60 paesi presenti alla Conferenza mondiale di Atlantic City delle radiocomunicazioni decidono di chiamare ufficialmente "Televisione" (in sigla TV) la trasmissione a distanza delle immagini in movimento e discutono la creazione di un possibile comune standard europeo in bianco e nero ma, nel novembre 1948, il Ministro delle comunicazioni François Mitterrand anticipa i tempi per la Francia decretando, come standard di trasmissione per il Paese, il sistema a 819 linee. Poco prima, nel luglio 1948, il CCIR<sup>34</sup> aveva indetto una riunione a Stoccolma per cercare di mettere d'accordo le varie proposte: quella sovietica a 625 linee interallacciate (sostenuta dalla Philips perché simile a quella USA), quella inglese a 405 linee e quella francese a 819 linee. A Stoccolma fu deciso di studiare accuratamente i tre sistemi con un nuovo appuntamento a Londra per il maggio del 1950, riunione in cui la maggioranza dei delegati supporta il sistema a 625 linee mentre Inghilterra e Francia rimangono fisse nelle loro rispettive posizioni rispettivamente a 405 e 819 linee.

In una nuova riunione nel luglio 1950 si tenta di raggiungere un accordo. La situazione non cambia a Ginevra nel maggio 1951 in occasione dell'Assemblea

<sup>34</sup> Di questo Organismo si è parlato in dettaglio nel paragrafo "Le fasi pionieristiche dello sviluppo dei servizi radiofonici di *broadcasting*" nella parte di questo Capitolo relativa alla storia della radiofonia analogica e nella nota 17.

plenaria del CCIR ed anzi le cose si complicano per il fatto che non c'è intesa sulla scelta della posizione della sottoportante audio sollevando con ciò nuove variabili. In Belgio, con i due gruppi linguistici, la situazione diventa paradossale: nella zona vallone sono in uso due standard a 625 linee per la differente posizione della portante suono e nella zona francese altri due standard a 819 linee anch'essi differenziati dalla posizione della portante suono!

Finalmente, dopo varie altre riunioni, nel 1951 vengono emesse le specifiche per uno standard, molto simile a quello studiato in URSS, specificando un sistema a 625 linee, con un rapporto<sup>35</sup> d'immagine 4:3 ed una sequenza di 25 quadri al secondo, ciascuno formato da due semiquadri interallacciati di 312,5 linee<sup>36</sup>.

Tale standard viene adottato da tutti i paesi europei con l'esclusione di Gran Bretagna e Francia.

La Gran Bretagna, a partire dal 1964, inizia con uno sdoppiamento dei programmi della BBC (BBC-2) fino ad arrivare nel 1985 al completo abbandono del sistema a 405 linee che aveva continuato a funzionare nelle Bande I e II, poi definitivamente abbandonate.

La storia della Francia è simile a quella britannica. Il sistema a 819 linee morirà definitivamente solo nel 1983 anche se il Paese aveva iniziato già da alcuni anni a convertirsi gradualmente al sistema a 625 linee che, tra l'altro, come numero di righe, è quello che sarà accettato, come si vedrà, da tutta l'Europa come *format* per la televisione a colori.

Nel 1950, con un attivo contributo italiano, viene creata la UER (Union Européenne de Radiodiffusion) – ovvero in inglese EBU (European Broadcasting Union) – organismo in cui sono presenti i soli gestori televisivi (all'epoca peraltro tutti monopolisti nazionali) destinato ad avere notevole importanza nel futuro dello sviluppo radiotelevisivo europeo ed internazionale e nella creazione degli standard come supporto al lavoro del CCIR.

### *Sviluppo degli standard televisivi a colori*

#### *Nascita dello standard NTSC a colori in USA*

Non si era ancora spenta l'emozione delle prime regolari trasmissioni televisive in bianco/nero che l'industria USA punta già ad uno standard per la televisione a colori.

<sup>35</sup> Il rapporto d'immagine base/altezza di 4:3 (pari a 1,33:1) allora scelto per la televisione era molto prossimo al rapporto "Academy" di 1,37:1 usato a quei tempi dal cinema. Dopo il 1953, il cinema abbandona gradualmente tale rapporto in favore dei due formati 1,85:1 (*widescreen*) e 2,39:1 (*super widescreen*), di cui il primo verrà ripreso anche in campo televisivo, quando, molti anni dopo, nel 1987, con la HDTV, viene introdotto il nuovo formato 16:9 – pari a 1,78:1 – molto prossimo al *widescreen* cinematografico).

<sup>36</sup> Sistema indicato per brevità con la sigla 625/50 a significare le 625 linee ed i 50 semiquadri/sec. Si ricorda che 625 sono le "linee totali" di esplorazione mentre, per quanto riguarda l'immagine propriamente detta, esse si riducono a 576 "linee attive" e le restanti "linee" sono in realtà equivalenti ai tempi morti di ritorno per l'esplorazione dei successivi semiquadri. La dizione "linee attive" risulterà successivamente quella preferita per indicare i sistemi digitali, in luogo delle righe totali usate tradizionalmente per indicare quelli analogici.

Un primo standard per il colore viene proposto nel 1950 dalla CBS con un sistema basato su un disco rotante tricromatico sistemato sulla macchina di ripresa che consente di trasmettere in sequenza semiquadri nei tre colori primari (rosso, verde, blu) con una frequenza di 144 semiquadri/secondo, risultando così una sequenza globale di 48 quadri/secondo, percepiti a colori grazie alla sintesi effettuata dal sistema visivo dello spettatore.

La FCC approva tale standard, ma un'azione legale intrapresa dalla RCA (industria manifatturiera e proprietaria della NBC *broadcaster* antagonista di CBS) denuncia l'incompatibilità di tale sistema con quello in bianco/nero. Tale istanza, portata di fronte al Congresso degli Stati Uniti, riesce a bloccare dopo pochi mesi le trasmissioni del sistema CBS.

Un consorzio di aziende capitanato dalla RCA mette a punto nel 1953, dopo tre anni di intenso lavoro, un nuovo sistema a colori compatibile col sistema a 525 linee in bianco/nero che, standardizzato dal comitato NTSC prontamente ricostituito nel 1950, diviene lo standard nazionale USA "compatible color system"<sup>37</sup>. Il sistema è basato sulla ricodifica delle tre informazioni video primarie (rossa, verde, blu) in tre nuovi segnali, uno di "luminanza" e due componenti di "crominanza"<sup>38</sup>. Queste ultime due informazioni vengono associate nella trasmissione alla luminanza attraverso una modulazione in ampiezza di due sottoportanti alla stessa frequenza in quadratura (Modulazione QAM-*Quadrature Amplitude Modulation*). I segnali di crominanza vengono in tal modo "inseriti" nello spettro di frequenza del segnale di luminanza dando così vita ad un unico "segnale composito". Per ridurre le interferenze che tale inserzione potrebbe produrre, le dette sottoportanti vengono soppresse e la loro ricostruzione nel ricevitore è permessa da un loro campione (*burst*) inserito nell'intervallo di cancellazione di linea.

Lo standard NTSC viene approvato definitivamente nel dicembre del 1953 e successivamente adottato anche dagli altri paesi del Nord America e dal Giappone.

È importante sottolineare come la nascita dello standard a colori NTSC, compatibile con il bianco/nero, abbia rappresentato un compito gigantesco che ha coinvolto migliaia di ricercatori per la larga varietà di problemi di tipo scientifico (colorimetria, modulazioni, interferenze spettrali, ecc.) e tecnologico.

<sup>37</sup> Standard indicato con la sigla NTSC in quanto il nome NTSC è rimasto, in pratica, legato al solo standard a colori.

<sup>38</sup> Per le teorie colorimetriche, il segnale di sola luminanza (bianco e nero), denominato Y, può ottenersi come combinazione lineare dei tre colori primari RGB (*Red, Green, Blu*), ripresi dalle telecamere, pesandoli con opportuni coefficienti. I due segnali di croma (detti anche differenza di colore) vengono scelti e definiti come:  $Cr=R-Y$  e  $Cb=B-Y$ . Combinando opportunamente Y con Cr e Cb, in virtù delle relazioni sopra accennate è facile riottenere al ricevitore, dopo la trasmissione a distanza, le tre componenti iniziali di colore RGB da inviare come informazioni allo schermo per la ricostruzione dei *pixel* dell'immagine a colori. Il vantaggio di tale elaborazione è quello di permettere la compatibilità con i ricevitori in bianco e nero e, per quelli a colori, di "trattare" diversamente le componenti di croma (trasmesse con bande ridotte, si sfruttano le limitazioni dell'occhio per il colore che ha una capacità di risoluzione più bassa di quella per la luminosità).

Le prime riprese e trasmissioni a colori sperimentali col nuovo standard sono realizzate il 31 ottobre del 1953 dalla NBC con l'opera Carmen e vengono effettuate con telecamere della RCA. Il primo ricevitore a colori commerciale<sup>39</sup> è sempre della RCA e viene messo in vendita nel marzo del 1954 al prezzo di 1000\$ solo tre mesi dopo l'approvazione definitiva del nuovo standard.

Con un cambiamento di politica industriale rispetto al passato, RCA decide di licenziare la propria tecnologia per i ricevitori della televisione a colori ad oltre 70 costruttori concorrenti. Tuttavia, il mercato dei ricevitori a colori rimane molto modesto soprattutto per la scarsità di programmi che vanno in onda in quel periodo fino a quando, nel 1961, l'inizio di una trasmissione settimanale della Walt Disney ha un notevolissimo impatto sulle vendite. La CBS inizia regolari trasmissioni a colori solo nel 1965 mentre nel 1966 la NBC decide di trasformare la sua intera produzione di programmi con riprese elusivamente a colori.

### *I vari standard a colori in Europa*

In Europa si sviluppano ricerche volte ad individuare sistemi che assicurino una migliore stabilità cromatica di quella del sistema NTSC. Vengono a tal fine, all'inizio degli anni '60, proposti tre sistemi tutti, quantomeno, basati sul *format* CCIR a 625 linee interallacciate:

- il sistema francese SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire) – inventato da un *team* della Compagnie Française de Télévision guidato da Henri de France – ove l'inserimento delle due componenti di crominanza viene realizzato modulando in frequenza due sottoportanti diverse che vengono inserite, a linee alterne, fra le alte frequenze del segnale di luminanza;
- il sistema sovietico NIR – sviluppato da un gruppo di ricercatori dell'istituto di ricerca NIIR (Nautchno-Issledovatel'skiy Institut Radio) di Mosca guidati dal prof. Chmakov – impiega per i segnali di crominanza, come lo standard NTSC, la modulazione con due portanti in quadratura (QAM) ma trasmette, come il SECAM, i due segnali di crominanza ad alternanza di linee tanto da prendere il nome di SECAM 4, standard che in realtà non fu mai sviluppato;
- il sistema tedesco PAL (*Phase Alternating Line*) – sviluppato da un gruppo di ricercatori della Telefunken guidati dal prof. Walter Bruch – impiega anch'esso, come lo standard NTSC, una Modulazione QAM invertendo però, a cadenza di riga, la fase di una delle due componenti di crominanza. In tal modo il sistema permette al ricevitore di trasformare i possibili errori di fase del segnale cromatico (contenenti la tinta del colore) in errori di ampiezza (contenenti la saturazione del colore), meno rilevabili dall'occhio.

<sup>39</sup> La prima telecamera a colori RCA aveva la sigla TK-40, mentre il nome del primo ricevitore a colori era RCA-CT100. Quest'ultimo possedeva oltre 1000 differenti componenti tra cui 36 valvole, il tubo catodico da 15 pollici e circa 590 metri di fili, con un peso di 72 Kg. Era un apparato molto raffinato che impiegava tubi a raggi catodici con fosfori a cromaticità corretta rispondente allo standard NTSC.

Nel 1967 la Francia, seguita dall'Unione Sovietica e dai paesi del Patto di Varsavia, adotta il sistema SECAM che nel frattempo era arrivato alla versione SECAM 3b. Questo sistema si diffonde anche in Africa (ex colonie francesi) ed in qualche paese del Medio Oriente.

Tutti gli altri paesi dell'Europa Occidentale adottano invece, dal 1967 in poi, il sistema PAL e nel luglio del 1967 la BBC effettua con tale sistema la prima trasmissione a colori in Europa.

Come si vedrà meglio parlando dello sviluppo della televisione in Italia, il decennio degli anni '60 vede l'Italia impegnata su scala internazionale per la valutazione e la definizione degli standard della televisione a colori, in particolare attraverso il Centro Ricerche RAI, l'Istituto Superiore delle Telecomunicazioni (ISPT) e la Fondazione Bordoni strettamente collegata all'ISPT.

Gli esperimenti condotti presso il Centro Ricerche RAI evidenziano una serie di vantaggi tecnici del PAL che, unitamente ad altre considerazioni di politica industriale, fanno optare il Ministero per questo sistema. Nella riunione del CCIR di Oslo del 1966 l'Italia si pronuncia formalmente a favore del sistema PAL.

Nello standard PAL viene accettata una proposta del Centro Ricerche RAI per identificare l'inversione di fase della componente di crominanza  $C_R$  (vedi nota 38) mediante un particolare procedimento<sup>40</sup>. Con il contributo del Centro viene inoltre messo a punto e concordato a livello internazionale un insieme di forme d'onda che, inserite in determinati segmenti del segnale televisivo, permettono la rilevazione automatica dello stato di funzionamento *degli impianti di produzione e di trasmissione* e rendono agevole l'attuazione di procedimenti di manutenzione preventiva, sistema di misurazione ancora oggi in funzione negli impianti analogici.

### *Il nuovo servizio televisivo Teletext*

Negli stessi anni la televisione si arricchisce di un servizio dati aggiuntivo, indicato col generico nome di Teletext, consistente nell'inserzione di un flusso di dati in formato digitale sulle linee non utilizzate (linee di ritorno, ecc.) del segnale video analogico. Tali dati recano una quantità di informazioni testuali indipendenti (più raramente correlate, specie in aiuto dei non udenti) rispetto al programma televisivo trasmesso e non danno origine ad alcun allargamento di banda del segnale televisivo.

L'idea nasce in BBC all'inizio degli anni '70 col nome di Teledata, in sintonia con un simile progetto, chiamato "Viewdata", avviato già dagli anni '60 dalla British Telecom (allora General Post Office). Nel 1974 la BBC presenta all'utenza tale servizio chiamato ora Ceefacx (contrazione fonetica di "See facts", vedi i fatti). Al tempo stesso la ITA (Independent Television Authority) che coordina le televisioni commerciali inglesi, presenta un analogo servizio

<sup>40</sup> Il procedimento consiste nell'aggiungere al sincronismo cromatico (*burst*) un'informazione relativa all'inversione di fase della componente di crominanza  $C_R$ .

denominato ORACLE (Optional Reception of Announcements by Coded Line Electronics).

I due sistemi vengono unificati dando vita ad uno standard internazionale noto come WST (World System Teletext) e formalizzato dal CCIR nel 1986 come CCIR Teletext System B.

### *Gli inizi della televisione in alta definizione (HDTV)*

Di televisione ad alta definizione si parla già negli anni '30. L'aspirazione ad una televisione di migliore qualità d'immagine è stata una costante propulsiva nella storia del piccolo schermo. Già nel 1938 in Francia, nelle trasmissioni televisive sperimentali, dagli studi della CdC (Compagnie des Compteurs) si impiega un sistema a 455 righe, ben più numerose delle 180 righe impiegate in quel momento e definito ad "alta definizione" come recitava una pubblicità di quegli anni: "Ces récepteurs a haute définition (Télévision et Radio combinées) sont garantis par la marque mondiale G. MARCONI" (Fig. 26).

Nel 1949, negli Stati Uniti, l'inizio di regolari emissioni televisive con uno standard a 525 linee, ben più avanzato di quelli impiegati in precedenza a 180, 405 e 441 linee, viene salutato dalla stampa americana con l'affermazione "abbiamo la TV ad alta definizione".

E come alta definizione viene accolto e sostenuto dalla stampa francese il sistema a 819 linee, peraltro in bianco/nero, lanciato nel 1950 dalla RTF (Radio Télévision Française) in alternativa al sistema a 625 linee scelto dal resto dei *broadcaster* europei.

Nel 1968 Takashi Fujio (Fig. 27), Direttore dei Laboratori di Ricerca della NHK (Nippon Hoso Kyokai, l'ente televisivo pubblico giapponese), ritenendo che la tecnologia televisiva avesse raggiunto sufficiente maturità per passare dal tradizionale "piccolo schermo" al grande schermo cinematografico, avvia una ricerca per un sistema di "electronic film" basato su immagini a definizione molto più elevata di quella consentita allora dai sistemi televisivi.

Fujio analizza il problema ed arriva alla conclusione che, per una serie di proprietà psico-fisiche, l'immagine debba essere composta da più di 1000 linee attive con un rapporto base/altezza di almeno 5:3 (*widescreen*) (molto prossimo al rapporto 16/9 che sarà scelto nello standard definitivo), al fine di avere una percezione visiva diversa dalla televisione standard. Con tali parame-



Figura 26. Pubblicità di un televisore Marconi "ad alta definizione" del 1938.



Figura 27. Takashi Fujio.

tri, infatti, uno spettatore – tenuto conto della sua normale acuità visiva – può portarsi molto più vicino allo schermo rispetto alla definizione standard senza ancora rilevare la struttura a linee<sup>41</sup>. A ciò consegue, tenuto anche conto del nuovo formato di quadro, che lo schermo viene osservato con un angolo orizzontale superiore ai 31° (2,4 volte più ampio dei 13° della definizione standard) per cui l'occhio perde la percezione dei bordi dello schermo e ciò gli consente di “entrare nell'immagine” facendo vivere con più partecipazione la vicenda rappresentata (in gergo cinematografico “si entra nell'azione”).

Alcuni anni dopo, come conseguenza di queste ricerche, la NHK, mette a punto nel 1980 il sistema analogico *Hi-Vision* a 1125 linee interallacciate, con formato 5:3 e 60 semiquadri/sec<sup>42</sup>. Su tale standard la Sony costruisce prototipi di telecamere, videoregistratori, *tape-to-film* transfer e *film-to-tape* transfer (telecinema).

Nel 1989 la NHK dà vita alle prime trasmissioni sperimentali in HDTV (*High Definition TeleVision*) irradiando per un'ora al giorno via satellite segnali analogici compressi con un sistema di compressione particolare, sostanzialmente analogico, denominato MUSE (*Multiple Sub-Nyquist sampling Encoding*), ove ogni linea televisiva viene utilizzata per 4/5 dal segnale di luminanza e per il restante 1/5 da quello di croma.

È questa la nascita ufficiale, verso gli utenti, della HDTV seppure ancora in forma analogica.

In quegli stessi anni si fa strada, anche in Europa, il concetto generico di televisione a “qualità migliorata” sotto le istanze dell'industria *consumer*, per inviare all'utente un prodotto tecnicamente innovativo e rinnovare il parco dei ricevitori televisivi. Si apre un periodo di grande fermento nei laboratori europei alla ricerca di soluzioni tecnicamente praticabili.

L'Italia è fra le prime nazioni a sperimentare con impegno la nuova tecnologia dell'alta definizione, come si vedrà con qualche maggior dettaglio nella parte dedicata agli sviluppi italiani e, insieme alla giapponese NHK ed alla rete americana CBS, inizia un'importante indagine a tutto campo sul sistema *Hi-Vision*.

Nel frattempo, nel 1985, era stato lanciato dalla Commissione Europea il programma di cooperazione *Eureka* che permette ad imprese europee di collaborare su progetti di ricerca relativi allo sviluppo ed all'impiego di nuove tecnologie. È proprio nell'ambito di tale programma che nasce, nel 1986, il progetto *Eureka 95* (EU-95) della Commissione Europea per una HDTV a

<sup>41</sup> Tenuto che l'acuità visiva dell'occhio medio è di 1' (ossia 1/60 di grado), si può calcolare facilmente che la distanza dallo schermo, per il caso di definizione standard, deve risultare maggiore od uguale a circa 6 volte l'altezza dello schermo al fine di non percepire la struttura a linee dell'immagine. Con le linee attive orizzontali dello standard in alta definizione (1080 anziché 576) la distanza può scendere fino a poco più di 3 volte l'altezza. Con i valori di distanza sopra indicati, l'angolo orizzontale di visione dello schermo passa dai 13° della definizione standard ai 31° tenuto anche conto del nuovo formato 16/9 in luogo del 4/3.

<sup>42</sup> La sigla allora assegnata al sistema *Hi-Vision* era [1125/60/2:1], volendo indicare con la dizione 2:1 l'interallacciamento.

standard europeo analogico con 1250 righe (il doppio di 625) e 50 semiquadri/sec<sup>43</sup>. Intanto, per quanto riguarda il formato di quadro, nel 1987 in ambito CCIR – dopo varie discussioni legate all’iniziale proposta NHK ed anche avendo un occhio a ciò che faceva il cinema – viene definitivamente fissato il rapporto di quadro 16:9.

Uno degli elementi essenziali del Progetto EU-95 è la ricerca, in analogia al Muse giapponese, di un sistema di compressione per la diffusione dei segnali che si orienta verso un sistema denominato HD-MAC (*High Definition-Multiplexed Analogue Components*) in quanto derivato da un sistema MAC già allo studio da anni, ibrido di tecniche analogiche e digitali<sup>44</sup>. Il concetto base del MAC deriva da un’applicazione realizzata alcuni anni prima presso il Centro Ricerche RAI<sup>45</sup> per aumentare la capacità di trasporto dei ponti radio televisivi.

Alla riunione dell’Assemblea Generale del CCIR (oggi ITU-R<sup>46</sup>) nel maggio del 1986 a Dubrovnik ambedue i sistemi HDTV giapponese ed europeo proposti, il 1125/60 ed il 1250/50, concorrono per l’emanazione di un unico standard internazionale ma, dopo accanite discussioni, non viene raggiunto nessun accordo.

Alla realizzazione del Progetto Eu-95 partecipano tutti i principali costruttori e *broadcaster* europei – tra cui la RAI – che approntano una linea di apparati di produzione secondo il nuovo standard allo studio. Per verificare le idee in esame e sperimentare i nuovi apparati, vengono realizzate molte riprese (fiction, documentari, concerti, sport) diffondendole via satellite a più punti di visione in occasione di mostre, congressi e presentazioni.

Tale attività di produzione televisiva in alta definizione (HD – *High Definition*) viene coordinata dal GEIE (Groupement Europeo d’Intérêt Economique) Vision-1250 creato appositamente dalla Commissione Europea. In tale organismo opera come Direttore Generale Michel Oudin, un pioniere della televisione francese, e come Vice-Direttore Generale Franco Visintin della RAI che allestisce, con la collaborazione di Philips, Thomson ed altre industrie europee, una flotta di mezzi di ripresa impiegati in numerose operazioni fra cui, nel 1992, la copertura televisiva in HD dei Giochi Olimpici Invernali di Albertville in Francia nel febbraio e nel luglio di quelli Estivi a Barcellona, nonché con l’installazione di apparati di riproduzione HD nei dodici padiglioni degli stati europei presso l’Expo-92 di Siviglia.

<sup>43</sup> La sigla assegnata all’epoca a tale sistema era [1250/50/2:1].

<sup>44</sup> Il sistema HD-MAC, mai entrato in servizio perché totalmente soppiantato dai metodi di compressione digitale, ha avuto tuttavia il merito, come spesso avviene nella Ricerca, di approfondire un insieme di concetti innovativi che troveranno più tardi applicazione complementare nella TV digitale quale, in particolare, l’invio all’utente di un “multiplex” flessibile di servizi video, audio e dati.

<sup>45</sup> L’applicazione studiata dalla RAI era finalizzata alla trasmissione contemporanea di due segnali video su uno stesso ponte radio per far fronte ai momenti di sovraffollamento della rete dei collegamenti. I due segnali venivano compressi orizzontalmente ciascuno a metà schermo, ospitando ogni riga, nella prima metà il primo segnale e nella seconda metà il secondo.

<sup>46</sup> Per questa nuova definizione del CCIR assunta dal 1992 si rimanda alla nota 17.

Ma, dopo lo sforzo per la copertura dei due eventi olimpici del 1992, l'industria europea e la Commissione Europea, si convincono che il lancio di una HDTV analogica è troppo oneroso e complesso e non in linea con l'evoluzione tecnologica e ritengono opportuno concentrare gli sforzi sullo sviluppo della televisione digitale a definizione standard, rimandando ad un secondo tempo quello per l'HDTV. Già nel 1993, nella prospettiva di un forte impegno sulla televisione digitale, vengono abbandonati i sistemi di compressione MAC e HD-MAC e viene fondato il DVB (*Digital Video Broadcasting*), di cui si parlerà ampiamente in seguito, consorzio fra industria e laboratori di ricerca europei, con l'obiettivo di sviluppare una famiglia di standard capaci di gestire la trasmissione terrestre, satellitare ed in cavo con sistemi SDTV (*Standard Definition Television*) e HDTV (*High Definition TeleVision*). Vengono pertanto sospesi gli stanziamenti per il progetto EU-95 e, di conseguenza, si interrompono le attività di Vision 1250 e di tutta la sperimentazione europea. L'esperimento di un'alta definizione analogica Europea si conclude così, per mancanza di fondi, nel 1996.

Nel frattempo, nel 1988, sempre in ambito Eureka, si avvia il progetto che insegue l'obiettivo di un'alta definizione a standard completamente digitale ed i cui risultati sarebbero stati importanti anche per la televisione SDTV a definizione standard. Tale progetto – il cui nome è EU-256 – nasce in chiara concorrenza con EU-95, ed avrebbe svolto un ruolo decisivo nello sviluppo della televisione digitale. Delle tematiche coinvolte in questo progetto si parlerà diffusamente nel successivo capitolo trattando della digitalizzazione dei sistemi televisivi, in quanto lo studio e realizzazione di sistemi avanzati di compressione del segnale televisivo digitale sarebbero risultati di grande impatto, non solo per l'alta definizione, ma anche per la televisione a definizione standard (SDTV – *Standard Definition Television*).

### *Diffusione televisiva tramite cavo e satellite*

#### *Trasporto a distanza del segnale televisivo e diffusioni alternative*

Un panorama storico della televisione non sarebbe completo senza sottolineare l'importanza che ha sempre assunto il trasporto del segnale televisivo a grandi distanze per poi consentirne la sua diffusione a livello locale.

Questo delicato compito è stato assunto dai gestori di telecomunicazioni, anche se le caratteristiche di larghezza di banda e le peculiari criticità del segnale televisivo hanno richiesto analisi e sviluppi specifici rispetto alle esigenze tecniche del trasporto a grande distanza di comunicazioni telefoniche multiplate, anche a parità di banda da trasmettere.

In questo campo specifico un importante ruolo è stato certamente quello svolto dalla AT&T ed anche l'Italia, come ampiamente trattato in questo stesso volume<sup>47</sup>, ha occupato un posto di primissimo piano a livello mondiale soprattutto per merito della scuola di Francesco Vecchiacchi (che aveva lavorato

<sup>47</sup> Per questo tema specifico si rimanda al contributo di S. Randi in questo volume. "Successi e decadenza delle industrie di telecomunicazioni"

con Vallauri allo IERT) e di Francesco Carassa e per il ruolo svolto da varie aziende, tra cui primariamente Magneti Marelli (successivamente GTE e poi Siemens) e Telettra.

Non vale la pena, pertanto, esporre la storia del trasporto del segnale televisivo, già ampiamente toccata in questo volume, quanto piuttosto i metodi alternativi di diffusione al tradizionale *broadcasting* radio che nel frattempo si stavano affermando.

### *La diffusione via cavo*

In primo luogo occorre soffermarsi sulla distribuzione televisiva fino all'utente adottando come mezzo di trasporto il cavo coassiale.

Tale tecnica nasce negli Stati Uniti fin dalla fine degli anni '40 per il bianco/nero e dal 1953 per il colore. Il sistema, agli inizi della sua introduzione, viene denominato CATV (*Common Antenna TeleVision*) perché le prime esigenze sorgono in comunità non ben servite dalla diffusione radio. L'iniziativa parte da intraprendenti rivenditori di ricevitori televisivi che propongono, per incrementare le vendite, di installare un'antenna comune a tutta una comunità in posizione (collina od altro) particolarmente adatta a ricevere al meglio il segnale radio, per poi distribuirlo via cavo coassiale (spesso "aereo" ossia con palificazione per contenere i costi di interrimento) per un servizio di migliore qualità.

Un'esigenza di natura diversa – che porta tuttavia ad adottare la stessa soluzione – si profila nei centri cittadini delle grandi città americane, nelle quali il moltiplicarsi di nuovi grattacieli può portare spesso ad ostruzione del cammino elettromagnetico verso edifici preesistenti di altezza notevolmente inferiore. In questo caso la posa del cavo coassiale viene particolarmente facilitata dalla presenza nel sottosuolo delle città americane di condotti pluriservizio con facilità di posa a costi assai contenuti.

Il vero boom della televisione via cavo in USA si ha tuttavia solo a partire dal 1957, quando incomincia a diffondersi la televisione a colori, sempre, in particolare, per problemi di qualità nei centri urbani e la stessa RCA progetta un sistema per spingere ad adottare il cavo che consente, nelle prime trasmissioni del colore, una qualità migliore ed una minor criticità.

In Canada il sistema in cavo si diffonde per un'esigenza di natura completamente diversa a cui il sistema si presta particolarmente, non essendo possibile impiegare, all'epoca, molte frequenze radio per il *broadcasting* televisivo terrestre. Mediante il cavo, infatti, si apre la possibilità di effettuare trasmissioni a carattere locale per la larga comunità di lingua francese a rispetto delle loro tradizioni linguistiche e culturali. Queste finalità sono anche sensibilmente coadiuvate dall'evoluzione tecnologica degli apparati necessari agli studi che, iniziando ad avere costi sempre più contenuti ed una maggiore facilità di impiego, permettono facilmente la nascita di centri di produzione televisiva a carattere locale.

Il cavo continua ad avere in Nord America una grande espansione arrivando, negli anni '90, a superare abbastanza largamente (in percentuale di famiglie collegate) la ricezione da *broadcasting* radio. La successiva nascita dei primi satelliti televisivi (non ancora a diffusione diretta) fa inoltre preferire il cavo come sistema

per operare la ricezione dei programmi televisivi satellitari con un paraboloide comunitario di larghe dimensioni.

Infine, dal punto di vista storico, è utile ricordare che con la televisione via cavo si sono iniziate per la prima volta modalità di trasmissione di programmi a pagamento senza pubblicità: è, infatti, del 1964 la nascita in California, attraverso un sistema in cavo coassiale, della prima *pay-tv* mai apparsa.

Sull'onda della televisione comunitaria canadese, anche in Europa s'incomincia a scoprire la televisione via cavo (all'epoca non si parlava ancora di televisione diretta da satellite verso le case degli utenti) come mezzo per aumentare l'offerta con nuovi programmi. E nel corso degli anni '70 il cavo inizia a diffondersi in Francia, Gran Bretagna, Germania, Belgio, Olanda ed altri paesi nordici.

I paesi in cui ha maggior successo sono la Gran Bretagna (in cui gli investimenti per la cablatrice vengono anche impiegati dai nuovi *provider* telefonici come conseguenza della liberalizzazione dell'offerta di servizi telefonici) e la Germania, anche se, successivamente, in ambedue i Paesi, la televisione diretta da satellite avrebbe avuto un sensibile successo.

In Italia il cavo coassiale non è mai decollato: tutto si arresta nel 1975 quando esce una legge per regolamentare la televisione via cavo che, per la forte contrarietà della RAI, ne prevede l'impiego limitato alla trasmissione di un solo programma televisivo. Questo vincolo, ovviamente, equivaleva a decretarne il mancato decollo e l'improponibilità nel nostro Paese per evidenti ragioni di completa diseconomia del sistema.

Solo molti anni dopo, nel 1996, il discorso sarebbe stato ripreso dalla STET-Telecom avviando il grande progetto denominato "Socrate" – con uno stanziamento di 10.000 miliardi di lire – per la distribuzione della televisione digitale via cavo coassiale. Il progetto viene interrotto agli inizi del 1998 per le note vicissitudini dei passaggi di proprietà di Telecom. Se il progetto avesse potuto proseguire, oggi l'Italia si troverebbe nella condizione di possedere, nella rete di accesso, un'infrastruttura di condotti facilmente convertibile per l'impiego con fibra ottica e, di conseguenza, la rete a banda ultralarga per il nostro Paese risulterebbe, in modo sensibile, a maggior portata di mano.

### *La diffusione via satellite*

Per quanto riguarda la storia della televisione, la trasmissione e la diffusione via satellite ne rappresentano due aspetti particolarmente importanti e, per comprendere l'intero quadro evolutivo, risulta opportuno ricordare le tre tappe che progressivamente ne hanno contrassegnati i grandi successi.

La prima tappa è quella del 23 luglio del 1962 quando, tramite il satellite Telstar-1<sup>48</sup> della AT&T, ad orbita ellittica, è possibile ricevere per la prima volta in

<sup>48</sup> Il satellite Telstar funzionava con orbita media ellittica, con frequenze di trasmissione allocate nella gamma dei 4 GHz, e con una potenza del tubo ad onda progressiva (TWT) di 4,5 W. In ricezione la gamma di frequenza impiegata era il 7 GHz con un ricevitore da 12 dB di cifra di rumore. Oltre il segnale televisivo, il satellite era in grado di trasmettere 60 canali bidirezionali.

diretta una trasmissione televisiva dagli Stati Uniti alla Francia. Le prime immagini del collegamento sono, naturalmente, la statua della Liberta e la Torre Eiffel. Nella stessa serata il satellite realizza il primo collegamento telefonico pubblico bidirezionale attraverso il nuovo mezzo trasmissivo. All'epoca, tuttavia, i segnali televisivi dovevano essere captati da stazioni con grandi antenne paraboliche per poi essere avviati alla normale rete di distribuzione con diffusione finale via *broadcasting* radio terrestre o via cavo coassiale. Telstar, infatti, opera esclusivamente come rete di trasporto (e solo per un periodo temporale nella giornata) e pertanto tale lancio è soprattutto ricordato nella storia come traguardo delle reti di telecomunicazioni a grande distanza. Il satellite è realizzato, a parte l'amplificazione finale con tubo ad onda progressiva, con componenti allo stato solido che, all'epoca, non erano stati completamente studiati per resistere alle radiazioni: da questo dipende la causa dell'interruzione delle trasmissioni pochi mesi dopo il lancio per effetto di radiazioni provocate da *test* nucleari sia USA che URSS effettuati, in quello stesso periodo, ad alta quota. Nel maggio 1963 viene lanciato il satellite Telstar 2 praticamente identico al primo, a parte l'inserimento di transistor più resistenti alle radiazioni, ma anche la sua vita è relativamente breve (circa due anni).

Tornando indietro nel tempo, è importante ricordare che nel 1945 il britannico Arthur Clarke (1917-2008) (Fig. 28) – scienziato noto per importanti contributi alla fascia radar di difesa britannica nonché autore di libri di fantascienza tra cui il famoso “2001: Odissea nello spazio” trasposto in un notissimo film – invia una celebre lettera alla rivista “*The Wireless Word*”. In tale nota egli ipotizza, con incredibile preveggenza, l'idea di tre satelliti geostazionari – sincroni cioè col movimento della terra qualora allocati in un'orbita posta a 36.000 dalla superficie terrestre – che avrebbero potuto dare, opportunamente allocati, la copertura televisiva dell'intero pianeta.



Figura 28. Arthur C. Clarke.

L'orbita geostazionaria, in cui la forza centrifuga deve equivalere all'attrazione di gravità terrestre, prenderà più tardi il nome di fascia di Clarke.

Per vedere il primo satellite in orbita geosincrona – ma non geostazionaria in quanto l'orbita è inclinata rispetto all'equatore – occorre aspettare quasi venti anni quando viene lanciato nel luglio 1963 il satellite di comunicazioni Syncom 2, seguito nell'agosto 1964 dal Syncom 3 con orbita geostazionaria impiegato per le trasmissioni televisive dei Giochi della 18ª Olimpiade dal Giappone verso gli Stati Uniti.

Per la realizzazione completa del sogno di Clarke di una trasmissione in diretta a livello mondiale occorrerà però attendere ancora alcuni anni.

Esso permetteva lo scambio di programmi, in diretta tra Nord America e Europa, soltanto per la durata di 20 minuti ad ogni orbita (circa 3,5 ore) ed a determinati orari della giornata. Il satellite aveva un diametro di 86 cm con 77 Kg di peso e conteneva ben 1064 transistor.

Un secondo passo nel progresso satellitare scaturisce a seguito del programma spaziale USA che, in risposta ai successi dell'URSS, dà l'avvio, tra le altre cose, al programma INTELSAT (*IN*ternational *TELE*communications *SAT*ellite *org*anization) per la progettazione, costruzione e gestione di una flotta di satelliti geostazionari di cui il primo è lanciato nell'aprile del 1965 con il soprannome di *Early Bird*. Il programma nasce nell'ambito di un consorzio internazionale, a *leadership* americana, per gestire una flotta di satelliti in grado di fornire servizi di comunicazione e *broadcasting* a livello mondiale. Finalmente nel luglio del 1969, grazie alla flotta Intelsat, vengono trasmessi in diretta – e per la prima volta con copertura televisiva mondiale – la missione dell'Apollo XI ed i primi passi di Neil Armstrong sulla luna.

Syncom ed Intelsat rappresentano solo un'altra tappa, anche se basilare, nella distribuzione televisiva da satellite e si moltiplica vertiginosamente il numero di nazioni che, con opportune stazioni terrestri, si mettono in grado di ricevere i deboli segnali trasmessi, ma la potenza emessa e le codifiche di canale dell'epoca rendono ancora lontano l'obiettivo di una trasmissione diretta agli utenti nelle loro case. Si pensi che in quegli anni, con le potenze disponibili per i satelliti, le stazioni terrestri dovevano dotarsi di antenne paraboliche da 28 metri di diametro con illuminatore annegato in elio liquido ad una temperatura prossima allo zero assoluto.

Per la storia si può osservare come la rete mondiale Intelsat – con satelliti posizionati sull'Oceano Atlantico, sul Pacifico e sull'Oceano Indiano – abbia in fondo realizzato un collegamento a banda larga di tutti i paesi del mondo, attuando la moderna versione della rete intercontinentale ad Onde Corte concepita e realizzata a suo tempo da Marconi per la banda stretta.

Con la Conferenza di Pianificazione Radio del 1977 (WARC '77) si stabiliscono finalmente i parametri per un sistema di diffusione diretta all'utente puntando ad antenne paraboliche di ricezione con diametro inferiore al metro e banda di frequenza del segnale ricevuta dall'utente a cavallo degli 11-12 GHz mentre 13-14 GHz è la banda impiegata per la trasmissione da terra verso il satellite con antenne paraboliche di qualche metro. Il Centro Ricerche della RAI contribuisce alla Conferenza fornendo i risultati delle sperimentazioni effettuate in Italia ed inizia un lungo periodo di collaborazione con l'industria nazionale per lo sviluppo degli impianti riceventi domestici.



Figura 29. Francesco Carassa.

Il Politecnico di Milano e varie aziende italiane<sup>49</sup>, sotto la guida di Francesco Carassa (1922-2006) (Fig. 29), affrontano una serie di studi e sperimentazioni di portata mondiale con il satellite Sirio, lanciato nel 1977, per gli studi di propagazione oltre i 10 GHz (12 e 18GHz).

Più tardi, nel 1991, un'altra importante realizzazione pionieristica italiana sarebbe avvenuta con il satellite Italsat

<sup>49</sup> Per tutti questi sviluppi riferirsi al contributo, in questo stesso volume, di G. Tartara e F. Marconicchio: "Telecomunicazioni spaziali".

che – per la prima volta in un satellite di telecomunicazioni civile – avrebbe avuto complete funzioni di commutazione dei segnali.

Occorre tuttavia aspettare più di dieci anni perché quanto pianificato alla WARC '77 possa essere tradotto in pratica con successo ed è questa la terza fondamentale tappa della storia dei satelliti televisivi ed il completamento definitivo del sogno di Clarke. Per la trasmissione diretta (satelliti DTH – *Direct To Home*) di programmi televisivi da satellite verso gli utenti con antenne di dimensioni ragionevoli, è proprio in Europa che avvengono le prime trasmissioni di successo nel 1988 con il lancio del satellite Astra 1 della SES (Société Européenne des Satellite) e l'anno dopo con il satellite di Sky Television, oggi BSkyB, controllata della NC (News Corporation).

Entrambi i sistemi hanno successo, anche se dopo qualche tempo sorge il grosso problema della pirateria destinato a bloccare lo sviluppo dei sistemi satellitari per tali applicazioni fino all'introduzione di efficienti sistemi di criptaggio.

In Europa, ad Astra si affianca Eutelsat, destinata progressivamente ad un grande successo sotto la direzione attiva e piena di intuizioni dell'italiano Giuliano Berretta.

Già alla fine del 1984 la RAI aveva firmato con ESA (European Space Agency) un accordo per l'uso in esclusiva di uno dei due canali del satellite europeo Olympus previsto per trasmissioni in alta definizione. Il satellite viene lanciato alla fine del 1989 e, pur tra molte difficoltà e tanta sfortuna, riesce a realizzare, nel suo periodo di vita, sperimentazioni di avanguardia per trasmissioni punto-multipunto in HDTV digitale delle quali si parlerà con maggiore dettaglio nel capitolo successivo.

Negli Stati Uniti, all'inizio del 1991, viene lanciato il satellite Primestar, ma il vero successo arriva solo nel 1994 con il satellite Direct-TV della Hughes che può essere ricevuto da paraboloidei domestici di dimensioni minori e che nasce con una ricca e variegata programmazione.

Uno straordinario successo ottengono le trasmissioni dirette da satellite in India dove ben presto si trovano a competere ben 7 diversi operatori. Analogo successo si ha in Cina dove si conferma la possibilità di servire vastissime popolazioni in tempo breve e con costi notevolmente più limitati di una rete terrestre.

In Italia le trasmissioni dirette da satellite cominciano con qualche ritardo, anche se la RAI è il primo *broadcasting* pubblico ad impiegare il satellite nel 1997 introducendo alcuni nuovi programmi ed, in particolare, un programma esclusivamente dedicato ai bambini.

## Sviluppi in Italia della televisione analogica

### *Contributi scientifici e tecnici italiani nella fase pionieristica*

In Italia, già a partire dal 1928, il primo laboratorio italiano di Televisione elettromeccanica viene insediato presso la sede di Milano dell'EIAR, in Corso Italia 23, per opera di Alessandro Banfi (Direttore delle Costruzioni e degli Impianti) e di Sergio Bertolotti (più tardi, dal 1937 al 1944, Direttore del Laboratorio Ricerche) e giunge a sperimentare il primo sistema televisivo interamente realizzato in Italia.



**Figura 30.** Francesco Vecchiacchi. **Figura 31.** Arturo Vittorio Castellani.

Mostra Nazionale della Radio, vengono effettuati i primi esperimenti pubblici italiani di televisione, impiegando sia un impianto di tipo elettro-meccanico che un nuovo impianto completamente ad esplorazione elettronica.

Nel panorama televisivo italiano tre sono le aziende che si cimentano nel nuovo settore.

A partire dal 1929 era diventata attiva la Radiomarelli, creata come divisione della Magneti Marelli del gruppo Fiat, con il compito di produrre ricevitori radio e, successivamente, televisivi. La sua attività si sviluppa anche sotto l'impulso che Francesco Vecchiacchi (1902 -1955) (Fig. 30), come già accennato, sta dando sia alla trasmissione di segnali televisivi sia alla creazione del primo Corso di Comunicazioni Elettriche e Radiotecnica presso il Politecnico di Milano. Dopo il 1936 la Marelli inizia, una collaborazione in campo televisivo con la RCA ricevendo la visita dello stesso Zworykin: nascono così le prime telecamere a 441 linee e televisori a scansione elettronica di produzione italiana su brevetti RCA – di cui Marelli diventa licenziataria – presentati al pubblico in più occasioni.

Nella produzione dei primi televisori e trasmettitori si stava cimentando anche la SAFAR (Società Anonima Fabbricazione Apparecchi Radio) sotto la guida di Arturo Vittorio Castellani (1903-1968) (Fig. 31) il cui nome è anche legato a molti brevetti in campo televisivo e radar e della cui figura si riparerà in maggior dettaglio nella parte storica relativa alle aziende italiane del settore. La SAFAR che propone un suo sistema a 441 linee derivato da quello Telefunken.

È presente infine anche l'Allocchio-Bacchini che si appoggia al sistema tedesco Telefunken a 180 linee.

Nel luglio 1939 l'EIAR inizia, con la supervisione di Banfi, a trasmettere dalla stazione sperimentale di Roma-Monte Mario con un trasmettitore della SAFAR della potenza di 2 kW a 50 MHz. Le riprese sono realizzate con telecamere Fernseh col sistema a 441 linee a 21-42 immagini al secondo in uno studio televisivo installato presso il Centro di Produzione Radio della RAI in via Asiago da cui il segnale è trasferito all'antenna di Monte Mario mediante cavo coassiale.

È il 28 febbraio del 1929 quando i due ingegneri riescono a trasmettere in laboratorio la prima immagine della televisione italiana: una bambola di panno Lenci.

Poco più tardi, dal 1930, l'EIAR può contare sulla presenza a Torino anche di un Laboratorio Ricerche a cui sono assegnati una cinquantina di tecnici scelti tra i migliori dell'azienda.

Nel 1931 e nel 1933 a Milano, in occasione della

Alcuni televisori Fernseh e SAFAR sono installati in un padiglione al Circo Massimo e nelle vetrine di alcuni negozi del centro della città, consentendo così al pubblico di vedere le trasmissioni sperimentali realizzate con la partecipazione di noti attori del tempo. Altri due televisori sono installati presso il Ministero degli Interni e nello studio del capo del governo Mussolini.

Sempre con lo stesso sistema Fernseh a 441 linee, a Milano si effettuano nel 1940 prove di trasmissioni dalla Torre Littoria del Parco Sempione (oggi Torre del Parco) durante il periodo della Fiera di Milano, impianto di cui è aggiudicataria la Magneti Marelli. L'obiettivo dell'EIAR è quello di completare la sperimentazione in tempo per il lancio ufficiale della televisione previsto per il 1942 in occasione dell'esposizione E42 per il ventennale della rivoluzione fascista.

Ma il sopraggiungere della guerra arresta tali esperimenti e le frequenze usate per le trasmissioni passano in uso all'aeronautica militare – che le impiega per i sistemi di atterraggio radioguidato degli aerei – mentre degli apparati trasmettenti impiegati viene persa ogni traccia essendo stati probabilmente trasferiti in Germania.

### *Sviluppo del broadcasting televisivo in Italia*

#### *Sperimentazione dei servizi*

Nel 1944, l'EIAR (Ente Italiano Audizioni Radio) – creata nel 1927 con la concessione governativa per i servizi radiofonici – cambia denominazione in RAI-Radio Audizioni Italiane, appellativo che, nel 1954, diventerà RAI-Radiotelevisione Italiana con l'inizio delle trasmissioni televisive.

Il primo impegno della RAI-Radio Audizioni Italiane è la ricostruzione del patrimonio produttivo e trasmissivo della radio e le sue attività si intrecciano tra la gestione dei programmi radiofonici e le necessità tecniche di sviluppo ed ampliamento della rete cui si è già accennato nella storia della radiofonia.

A partire dal 1947, in occasione della Fiera di Milano, si realizzano in vari luoghi di Milano, fra cui il ricostruito Teatro alla Scala, riprese televisive effettuate con un impianto mobile fornito dalla RCA, operante col sistema a 525 linee. Le immagini di tali riprese vengono presentate al pubblico della Fiera in un auditorium opportunamente attrezzato. Dall'autunno del 1949 la RAI inizia da Torino una serie di trasmissioni sperimentali televisive effettuate con impianti della General Electric (con standard USA a 525 linee) e della RTF (a 819 linee). Il segnale video viene irradiato da Torino Eremo in Banda II VHF, banda che, in seguito, sarà esclusivamente assegnata alla radiofonia in modulazione di frequenza.

In una serie di Conferenze Internazionali di Pianificazione che si concludono definitivamente solo nel 1951, il CCIR definisce, come già visto, per l'Europa (a parte inizialmente Francia e Gran Bretagna), il sistema a 625 linee e 25 immagini/secondo (in due semiquadri interallacciati) con una larghezza di banda del segnale pari a 5,5 MHz.

Nel 1951, in occasione del Primo Congresso Nazionale della Televisione svoltosi a Milano, vengono effettuate col nuovo standard altre trasmissioni di-

mostrative. Con il contributo del Centro Ricerche, gli apparati installati dalla RAI vengono modificati per adattarli al nuovo standard e continuare la sperimentazione in vista dell'avvio di trasmissioni regolari.

Nel 1952 un decreto-legge sancisce finalmente le caratteristiche del sistema televisivo italiano, adottando il sistema in bianco e nero a 625 linee già approvato come standard CCIR.

Nel contempo alla RAI, entrata nel gruppo IRI, viene assegnata la concessione esclusiva anche dei servizi radiotelevisivi, con l'incarico di costruire entro il 1953 i primi impianti di ripresa e trasmissione sulla base di un piano nazionale.

È un'impresa nella quale la Direzione Tecnica ed il Centro Ricerche sono impegnati in prima linea e che svolgono con grande professionalità ed entusiasmo.

Nel 1952, in occasione della Fiera Campionaria, entra in funzione a Milano il nuovo Centro di Produzione della RAI di Corso Sempione – noto anche come Palazzo della Radio – la cui costruzione, già concepita con criteri tecnici ed architettonici molto avanzati, era stata iniziata nel 1938 con la previsione di ospitare anche gli impianti per un futuro servizio televisivo. Colpito da due bombe durante la Seconda Guerra Mondiale, il Centro di Produzione viene restaurato ed ospita vari auditori e studi radiofonici – isolati acusticamente dal resto del palazzo e realizzati con innovativi criteri di acustica architettonica studiati e sperimentati da Corrado Tutino – nonché due studi televisivi rispettivamente per il TV1 da 100 mq e per il TV2 da 250 mq.

Il Centro di Produzione di Milano è collegato con l'analogo Centro di Produzione di Torino mediante un ponte radio a microonde, primo collegamento radio a larga banda in Italia, risultato delle brillanti ricerche condotte dal prof. Vecchiacchi presso il Politecnico di Milano. Dopo pochi mesi il Ministero delle Poste fornisce in uso alla RAI un collegamento in cavo (il CA.NE – Cavo Nazionale) con Roma per allacciare anche lo studio televisivo romano a questa prima rete produttiva. Agli studi milanesi di Corso Sempione si sarebbe aggiunto dal 1954 anche il Teatro della Fiera, dato in concessione alla RAI per la cifra simbolica annua di una lira con l'obbligo di citarlo prima di ogni trasmissione (“dagli Studi della Fiera trasmettiamo...”).

### *Avvio delle trasmissioni ufficiali RAI*

Dopo cinque anni di sperimentazione, il 3 gennaio 1954 la RAI dà ufficialmente inizio alle trasmissioni televisive su una singola rete. Il numero degli abbonati di partenza ammonta a circa 360 mila a causa dell'alto costo degli apparecchi riceventi.

Le trasmissioni sono irradiate attraverso una rete VHF costituita dai trasmettitori di Torino-Eremo, Milano-Monte Pedice, Portofino, Monte Serra, Monte Peglia, Roma-Monte Mario. Nell'aprile dello stesso anno con deliberazione dell'Assemblea straordinaria degli azionisti, la Società assume la nuova denominazione di “RAI-Radiotelevisione Italiana”.

Da quel momento l'interesse della RAI ed i suoi investimenti si concentrano essenzialmente sugli sviluppi della televisione mentre la radiofonia viene alquanto trascurata.

Nel 1956 vengono trasmesse con grande successo, in Mondovisione, le Olimpiadi Invernali di Cortina.

Nel 1957 entra per la prima volta nella programmazione televisiva anche la pubblicità con il ben noto “Carosello”.

Alla fine del 1957 viene completata, con una progressione impressionante, la rete nazionale in ponti radio della RAI (il famoso collegamento a microonde Milano-Palermo) all’epoca una delle reti più avanzate al mondo, per la quale era stato determinante l’apporto di Vecchiacchi e della Magneti Marelli. Il collegamento è costituito da più di 20 stazioni intermedie che permettono la distribuzione a tutto il territorio nazionale con una copertura quasi totale della popolazione. In contemporanea è completata anche la rete di tralicci per le antenne di diffusione.

Alcuni dati danno idea dell’imponente lavoro svolto in tre anni: 3,5 km di lunghezza complessiva dei tralicci, 145 Km di elettrodotti, 50 Km di strade e 3000 KW di potenza installata.

Negli ultimi mesi del 1957 entra anche in funzione a Roma, in via Teulada, il nuovo Centro di Produzione televisiva dotato di 6 studi televisivi.

In tutti quegli anni e in quelli successivi, gli apparati destinati all’esercizio vengono in gran parte progettati e sviluppati a livello prototipale all’interno del Centro Ricerche RAI e successivamente affidati all’industria manifatturiera nazionale per la realizzazione in serie. Il Centro Ricerche è anche promotore del passaggio dall’elettronica basata sulle valvole a quella con i transistor. Si ricorda a tale proposito in RAI una concitata telefonata da Cortina del 1957, durante le Olimpiadi Invernali, per problemi di sensibilità alle basse temperature dei transistor al Germanio delle camere da ripresa. Il grave problema viene risolto con coperte di lana utilizzate per “riscaldare” gli apparati incriminati! Da allora vennero adottate, per le riprese invernali, opportune coperte termiche volte anche ad evitare l’appannamento delle ottiche delle telecamere.

Negli stessi anni il Centro Ricerche sviluppa uno dei primi ponti radio televisivi mobili in modulazione di frequenza, che diventerà uno dei cavalli di battaglia della sua produzione di piccola serie effettuata per uso interno RAI.

#### *Nascita dei tre programmi RAI e del Televideo*

Negli anni ’60, con il rapido progresso economico italiano, il televisore diviene accessorio di sempre maggior diffusione, sino a raggiungere anche le classi sociali meno agiate.

L’elevato tasso di analfabetismo ancora presente in Italia, in particolare al Sud, suggerisce ai dirigenti RAI dell’epoca la messa in onda, nel novembre del 1960, di un programma d’insegnamento elementare (“Non è mai troppo tardi”) che passerà alla storia del nostro Paese permettendo a quasi un milione e mezzo di adulti, dal 1959 al 1968, di conseguire la licenza elementare.

Nel 1960 – fra l’agosto ed il settembre – la RAI trasmette, sia via radio che per televisione, l’intero programma di gare dei Giochi Olimpici di Roma con ben 106 ore di trasmissione con attrezzature ed organizzazione altamente apprezzati da tutto il mondo.

Nel febbraio del 1961 viene inaugurata a Torino, in Corso Giambone, la nuova vasta sede del Centro Ricerche RAI, adeguatamente costruita per uno sviluppo del Centro.

Nel novembre del 1961 inizia il Secondo Programma televisivo (ribattezzato più tardi Rete 2 e poi RAI Due).

Sono anni di grandi realizzazioni tecniche conseguite dalla Direzione Tecnica della RAI sotto la guida dell'ing. Gino Castelnuovo per la radio e dell'ing. Gino Orsini per la televisione.

Nel 1975 la RAI passa dal controllo del Governo a quello del Parlamento e nasce ufficialmente – con l'influenza dei Partiti nella conduzione dell'ente – la cosiddetta "lottizzazione", riducendosi contestualmente il ruolo decisionale degli ambienti tecnici. Qualche anno dopo, nel 1979, la RAI inaugura il Terzo Programma televisivo (più tardi RAI Tre) con programmi anche a carattere regionale, ciò che pone una serie di problematiche di carattere tecnico per la diffusione opportuna dei segnali a livello regionale.

Nel 1984 la RAI introduce il servizio Televideo – sulla scia del Teletext di cui si è già parlato in sede internazionale – grazie al lavoro del gruppo tecnico guidato da Umberto Florean. Come già nella scelta del PAL, le sperimentazioni di tale servizio vengono condotte dal Centro Ricerche.

### *La sofferta scelta dello standard di televisione a colori in Italia*

Il periodo degli anni '60, per quanto riguarda gli aspetti tecnici, è particolarmente caratterizzato dalla scelta dello standard per le trasmissioni televisive a colori che fu particolarmente travagliata.

Già a partire dagli inizi degli anni '60, sotto la guida del prof. Franco Cappuccini e con il contributo della Fondazione Bordoni, erano state analizzate in dettaglio – con il corredo di prove sperimentali presso l'Istituto Superiore delle Telecomunicazioni – le prestazioni degli standard di televisione a colori fino allora proposti (prima il sistema NTSC e poi il SECAM). Nel 1963 entra in competizione anche il sistema PAL studiato dalla Telefunken.

Dopo una lunga serie di sperimentazioni con i sistemi SECAM e PAL, gli ambienti tecnici della RAI si orientano, a partire dal 1966, verso quest'ultimo e, in attesa di una decisione governativa, iniziano a svolgere una vasta campagna di formazione del personale tecnico. Si attrezzano anche opportunamente studi (lo studio TV3 di Milano) ed unità mobili con cui vengono effettuate varie riprese sperimentali, fra cui quelle dei campionati mondiali di sci in Val Gardena del 1970.

Ma, pur essendo la RAI già ampiamente pronta al passaggio dal bianco/nero al colore, la scelta italiana si fa ancora attendere per ragioni politiche, a seguito delle forti pressioni lobbistiche operate rispettivamente da Francia e Germania a favore dei sistemi SECAM e PAL in forte concorrenza tra loro. Tali pressioni – e le corrispondenti fazioni nate nel sistema politico italiano – avrebbero ritardato le decisioni in materia di alcuni anni.

Solo nel 1977, con un ritardo di 10 anni rispetto a Francia e Germania, il Governo italiano decide finalmente di adottare il PAL ed il Ministero competente consente alla RAI di iniziare le trasmissioni con questo standard.

La lunga battuta di arresto incide negativamente sullo sviluppo tecnico televisivo italiano con gravissimi riflessi, in particolare, sulle industrie italiane del settore che, senza avere avuto un mercato nazionale, si ritroveranno spiazzate rispetto alla concorrenza internazionale.

### *Gli esperimenti di alta definizione analogica in Italia*

Nel 1981, grazie all'impegno in RAI di Paolo Zaccarian prima e di Massimo Fichera poi, l'Italia è tra i primissimi Paesi a sperimentare (come già accennato nel relativo paragrafo della nascita del sistema) la nuova tecnologia concordando con la giapponese NHK, proponente del sistema, e la rete americana CBS una valutazione del sistema Hi-Vision. Installati gli apparati prototipali su un mezzo di ripresa sperimentale, la RAI gira a Venezia, nel 1982, "Arlecchino", breve *fiction* con regia di Giuliano Montaldo e luci di Vittorio Storaro.

Nel 1983, avendo la Sony realizzata la prima linea di apparati di produzione in alta definizione (denominata anche HDVS, *High Definition Video System*) con le specifiche dello standard giapponese (di cui alla nota 42), la RAI produce con tali apparati la mini-*fiction* dal titolo "Oniricon" con regia di Enzo Tarquini, il tutto in preparazione della produzione in tecnica elettronica di un vero film che viene finalmente prodotto nel 1987 dalla RAI, in co-produzione con la CBS e la United Artists. Il film è "Julia & Julia", il primo film elettronico al mondo, con luci di Giuseppe Rotunno e regia di Peter Del Monte. Il film, realizzato con lo standard giapponese e col definitivo formato di immagine 16:9 (5,33/3), consegue un grande successo internazionale.

Dal 1987 la RAI prosegue le ricerche e sperimentazioni in HD anche col sistema europeo a 1250 producendo nel 1987 "Un bel dì vedremo", la sua prima minifiction con tale sistema, a cui seguiranno negli anni successivi: "Incontrando Robot" (1989), "Il cielo in una stanza" (1989) e "Capitan Cosmo" (1991).

Le contribuzioni della RAI cessano dal 1993 con la chiusura di Vision 1250 e la sospensione del supporto economico della Commissione Europea al progetto EU-95 (vedi il paragrafo sugli inizi della televisione ad alta definizione).

### *Nascita delle televisioni commerciali e fine del monopolio RAI*

A partire dagli anni '70 inizia un lungo periodo caratterizzato dal progressivo ingresso in campo, con alterne vicende, anche delle televisioni private commerciali. Nell'aprile 1972 *Telebella* inizia le sue trasmissioni televisive via cavo, ma dopo un anno, la Polizia Postale le interrompe. Le trasmissioni saranno riprese nel 1975, grazie alla legge 103 dell'aprile 1975 che autorizza, fra l'altro, le trasmissioni via cavo.

Nel 1976 iniziano le trasmissioni via etere di *Telemilano* grazie alla sentenza 202 della Corte Costituzionale che decreta la libertà di esercizio per le reti televisive locali private. Nel 1980 *Telemilano* diviene *Canale 5*, emittente del gruppo Fininvest. Alla rete di Canale 5 si aggiungono, nell'ottobre 1984, le altre reti *Italia 1* e *Rete 4*, andando a formare la RTI (*Reti Televisive Italiane*) con diffusione nazionale grazie al noto decreto-legge del governo Craxi che legalizza le TV private a carattere nazionale (condizione consentita, fino allora, alla sola RAI).

*L'industria manifatturiera italiana per radiofonia e televisione**L'industria radiotelevisiva per il mercato "consumer"*

Nel panorama storico dello sviluppo nazionale della radio e della televisione analogica non può mancare un breve cenno all'industria italiana del settore anche se va detto che, nel periodo pionieristico, convivono spesso nell'ambito di una stessa azienda sia l'attività *consumer* che quella professionale oltre alla simultanea presenza sul mercato radiofonico e su quello televisivo.

Per tale ragione si è ritenuto opportuno riunire in due unici paragrafi – rispettivamente per il mercato *consumer* e per quello professionale – un breve cenno storico sulle aziende nazionali che hanno operato nel settore radio-televisivo in modo da avere una più precisa e completa visione della loro evoluzione.

Il numero di aziende italiane che ha operato nel campo *consumer* è stato folto (oggi le nuove generazioni farebbero fatica a crederci in quanto ne è scomparsa ogni traccia) ed innumerevoli sono stati i modelli di radio e televisioni – di progettazione e produzione italiana – immessi sul mercato nazionale ed internazionale. Ci si limita pertanto a qualche cenno per ricordare alcune realtà particolarmente significative oggi scomparse, in quanto le relative vicende raffigurano il primo esempio di deindustrializzazione del nostro Paese per errori governativi di politica industriale.

La prima azienda elettronica fondata in Italia risale al 1921 ed è la CGE (*Compagnia Generale di Elettricità*), con il compito di commercializzare gli apparecchi radiofonici RCA, all'epoca controllata dalla General Electric (GE). Va ricordato che GE e Westinghouse erano le due aziende americane che, durante il primo conflitto mondiale, avevano prodotto la maggior parte delle apparecchiature radio utilizzate dalle Forze Armate USA. L'apparato industriale americano si era già preparato alla trasformazione per una produzione di massa in campo civile ed aveva trovato l'occasione di riutilizzare le linee produttive che avevano subito una battuta di arresto nell'immediato dopoguerra.

A parte il caso CGE, in realtà si comincia a parlare d'industria radiofonica italiana solo qualche anno dopo l'avvento del fascismo e sotto la spinta della revisione della politica economica. L'industria nazionale stenta tuttavia, in questo nuovo settore, a tenere il passo con la concorrenza internazionale anche per i rigidi vincoli imposti dalla politica autarchica del regime fascista che porta spesso ad usare materiale scadente. Si è quindi abbastanza lontani dal livello qualitativo di Telefunken e Philips in una situazione, peraltro, di mercato domestico piuttosto limitato rispetto alle situazioni di altri paesi europei.

In questi limiti, Milano diviene rapidamente un significativo polo di produzione di apparecchiature radiofoniche, tanto che nel 1929 una delle maggiori industrie elettrotecniche milanesi, la Magneti Marelli, in pratica controllata dalla Fiat, riconverte parte dei suoi stabilimenti alla produzione di ricevitori radiofonici, conquistando rapidamente l'80% del mercato italiano.

Gli apparecchi più economici dell'epoca, imposti dal regime fascista, sono la radio "Rurale" e la radio "Balilla" (Fig. 32) che vengono prodotti dalla Magneti Marelli, CGE e varie altre aziende.

La radio Balilla non decolla, nonostante il suo prezzo notevolmente economico per la mancata cooperazione tra i produttori.

A Milano, oltre alla Marelli, nascono in quell'epoca anche altre società che avevano capacità progettuali proprie per la produzione di apparecchi radio: la SITI, la Perego (attiva anche nel campo della



**Figura 32.** La radio Balilla del 1937.



**Figura 33.** Pubblicità Safar del 1934 sul Radiocorriere.

telefonia), l'Allochio-Bacchini, l'ing. Ramazzotti, la già citata SAFAR (Società Anonima Fabbricazione Apparecchi Radio) e, più tardi, la Ducati – fondata, nel 1926, nata per la produzione di condensatori per radioricevitori – per ricordare solo quelle del primo periodo.

È importante menzionare ancora una volta l'importante ruolo avuto in Italia, sia in campo civile che professionale, dalla Società SAFAR nel campo della radiofonia e poi della televisione. La società nasce a Milano nel 1923 come Società Anonima Fabbrica Apparecchi Radiofonici, con lo scopo iniziale di produrre solo cuffie radio e telefoniche per le Forze Armate. Nel 1927 espande la sua attività contando, all'epoca, 375 dipendenti. Nel 1931 inizia la produzione in grande stile di apparecchi radiofonici (Fig. 33), ma soprattutto allarga sensibilmente la sua attività in campo militare, avendo ottenuto grandi ordinativi dall'Aeronautica e dalla Marina.

La SAFAR amplia nello stesso anno il suo stabilimento di Milano<sup>50</sup> e, con l'occupazione dell'Etiopia, viene incaricata di impiantare nuove stazioni trasmettenti radio ad Addis Abeba, Harrar, Mogadiscio, Asmara e Massaua. Un importante passo avanti tecnologico della Safar, sempre prima dello scoppio della Seconda Guerra Mondiale, è la progettazione e produzione di tubi a raggi catodici per tutti gli usi e di iconoscopi per le riprese televisive.

Nel dopoguerra l'attività riprende soprattutto in campo televisivo nello stabilimento di Milano ove sono impegnati 12 ingegneri, 60 progettisti e 4500 fra impiegati e operai. ma la Società fatica a trovare una sua strada. Nel 1946 la Safar è già pronta per la produzione in grande serie di piccoli televisori commerciali con standard europeo a 625 linee, ma purtroppo, ancora una volta, la società è troppo in anticipo sui tempi dato che, in quegli anni, la televisione era l'ultima delle preoccupazioni in Italia.

Personalità rilevante nella Safar in quegli anni è il suo direttore tecnico Arturo Castellani di cui si è già parlato. Dall'azienda nel 1946, per disaccordo

<sup>50</sup> In tale stabilimento nel 1933 viene prodotto il "fono goniometro a compensazione", il primo eco-goniometro marino ad ultrasuoni.

sulla strategia di riconversione della società dopo il conflitto, esce il gruppo di tecnici che avrebbe fondato la Telettra.

Dopo aver rifiutato l'associazione con gruppi industriali stranieri e cercato inutilmente di diversificarsi senza riuscire ad individuare i nuovi settori nascenti, la SAFAR – su cui pesava anche l'accusa di aver legato i suoi interessi al regime fascista e di collaborazione anche con l'industria tedesca – cessa ogni attività nel 1948.

Allocchio-Bacchini (dal nome dei due ingegneri fondatori della società alla fine della Prima Guerra Mondiale) è stata un marchio significativo nel panorama italiano prima e dopo la Seconda Guerra Mondiale. Partita nel 1920 con la produzione di strumenti di misura si converte nel 1924 alla produzione di ricevitori radiofonici di qualità. Vince, durante il periodo del fascismo, una gara statale per la produzione di un ricevitore radio (con altoparlante incorporato) a basso costo realizzato con uno schema, all'epoca rivoluzionario, del progettista Arturo Recla, sempre presente nella vita dell'Azienda. Tale schema consente di risparmiare una valvola (allora componenti molto cari) e di sostituire il costoso condensatore per la sintonia con una ferrite mobile all'interno dell'induttanza di alta frequenza. Fra i numerosi modelli di radio prodotti in quel periodo va ricordato, come particolare ricerca estetica, il radiogrammofono 760-R prodotto nel 1938. Inoltre, già nel 1935 era stato messo a punto un prototipo di televisore.

Dopo la Seconda Guerra Mondiale in cui la società aveva spostato la sua produzione su apparati militari, l'azienda, in analogia alla Safar, chiude i battenti per una crisi di liquidità. Dopo un certo numero di anni il marchio viene ripristinato con il nome di Radio Allocchio-Bacchini richiamando Recla e da quel momento la società produce una grande quantità di modelli di radio e di televisioni in bianco/nero. La società ha anche un occhio particolarmente attento alla televisione a colori, ma il ritardo per l'introduzione del relativo standard in Italia – su cui l'azienda contava in modo particolare – è una delle principali cause della chiusura definitiva della Società.

Un'altra società interessante e peculiare nel panorama italiano è stata la Geloso SpA che viene fondata nel 1931 dall'ing. Giovanni Geloso e che ha operato in vari settori (radioricevitori, televisori, amplificatori Hi-Fi e ricevitori amatoriali), distinguendosi anche per una vasta produzione di componenti elettronici.

Nel 1950 la Geloso diventa anche un punto di riferimento per l'hobbistica italiana avendo cominciato a costruire tutta una serie di *kit* di montaggio. Molto noto è stato anche il Bollettino tecnico Geloso – nato fin dal 1932 – che ha contribuito notevolmente alla formazione elettronica in anni in cui le scuole specializzate erano pochissime.

Nel 1969 la Geloso raggiunge la sua massima espansione con otto stabilimenti ed una forza lavoro considerevole. Successivamente alla morte del suo fondatore, avvenuta nello stesso anno, una rapida serie di errori manageriali nella conduzione aziendale, un'esposizione finanziaria eccessiva verso un sistema bancario diffidente ed incapace di capire le potenzialità dell'elettronica, l'estesa concorrenza internazionale e, non ultima, una pesante situazione sindacale (tipica di quegli anni) decretano nel 1972 una rapida fine della Società.

Una realtà molto interessante nel panorama italiano di quei primi anni è la IMCA Radio, specializzata nella produzione di radioricevitori di fascia alta. Fondata nel 1935 dall'ing. Italo Filippa, si specializza in particolare nella costruzione dei condensatori variabili e dei commutatori di gamma detti a "tamburo rotante" che consente una più fine e precisa sintonia sulle onde corte, normalmente assai critiche da sintonizzare. Nel 1960 viene assorbita dalla Radiomarelli che continua la produzione con il marchio Imca. Non erano molti gli italiani che alla fine degli anni '30 potessero permettersi il lusso di sfoggiare un radiogrammofono Imca Radio IF-92 multigamma, 9 valvole, 8 gamme d'onda, con doppio altoparlante elettrodinamico e riproduttore discografico incorporato (Fig. 34).



**Figura 34.** Radiogrammofono Imca Radio IF-92 multigamma del 1938.

Un marchio italiano veramente importante ed innovativo nel campo dell'elettronica di consumo è la Voxson la cui notorietà – anche per la data della sua fondazione, il 1952, da parte dell'ing. Arnaldo Piccinini – è legata principalmente alla produzione di autoradio e di televisori.

Nel 1954 la Voxson introduce sul mercato due modelli di radio portatili a valvole miniaturizzate (Dringhy e Starlet) che hanno molto successo anche internazionale. Nel 1957 immette sul mercato la prima radio italiana completamente a transistor (Zephir) ed il primo televisore con cinescopio corto a 110°. Nel 1960 iniziano le produzioni nel campo delle autoradio con il modello Vanguard che ottiene un notevole successo.

Nel 1969 l'Azienda conta 1800 dipendenti, con molti collaboratori anche esterni di primissimo livello in particolare per il *design* industriale. Il fatturato si aggira sugli 11 miliardi di lire con presenza in moltissimi paesi esteri ed, in particolare, in Francia.

Nel 1971 il fondatore cede il 65% della Società all'EMI inglese che, di fatto, assume il controllo. A partire da quella data inizia il lungo declino della Società anche per i noti ritardi decisionali del governo italiano sullo standard da adottare in Italia per la televisione a colori.

Ancora nel 1977 ha un notevole successo con un modello di autoradio estraibile e costruito con struttura interamente in plastica. Dopo molte complesse vicissitudini la società viene ceduta al finanziere Amedeo Ortolani ed entra, dopo non molto, nel novero delle Società considerate legate alla loggia P2. Dopo ulteriori complicate vicende ed un intervento statale, il piano di risanamento proposto da una Società americana per ottenere il finanziamento statale non va in porto e Voxson cessa di esistere nel 1987.



**Figura 35.** Il modello Algol della Brion-Vega ed il Cubo-radio del 1964.

**Figura 36.** Videoproiettore Seleco tri-tubo HDFP-1250 per HDTV analogica del 1989.

Nel panorama italiano del mercato consumer un posto particolare occupa la Brion-Vega. Fondata nel 1945 da Giuseppe Brion e dall'ing. Leone Pajetta, l'azienda inizia la sua attività, col nome BPM, costruendo componenti elettronici. Nel 1950 si specializza in apparecchi radiofonici con il nome di Vega BP radio e nel 1963 assume il nome definitivo.

La fama della Brion-Vega, oltreché alla bontà dei prodotti, è legata al suo raffinato *design* industriale che la rende famosa in tutto il mondo.

È del 1962 il modello Doney che è il primo televisore portatile italiano e, di due anni dopo, il famosissimo modello Algol (Fig. 35) esposto al MOMA (*Museum of MODern Art*) di New York. Sempre del 1964 è il Cubo-radio (TS-502) (nella stessa Fig. 35) e del 1969 è il Cubo-Television (ST-201) anch'esso al MOMA. Tali modelli ed altri successivi, sempre originali e rivoluzionari, sono rimasti insuperati anche per la ricchezza della gamma cromatica e diventano il simbolo del *design* industriale italiano degli anni '60 e '70 trovando allocazione in innumerevoli musei internazionali di arte moderna.

La famiglia Brion rimane proprietaria dell'azienda fino al 1992 quando la società viene acquisita dalla Seleco (vedi subito dopo) e ne segue la triste sorte cessando in pratica di esistere nel 1997, anche se il marchio ha continuato ad essere sfruttato.

Nel panorama storico italiano è molto importante ricordare, per molteplici motivi, anche la Seleco, in particolare per un suo ruolo notevolmente significativo nella sperimentazione dell'alta definizione in Italia.

Nasce nel 1965 come marchio della Zanussi Elettronica e, nell'esplosione del mercato televisivo italiano dell'epoca, Seleco conquista grande notorietà e numerosi riconoscimenti nel mondo per qualità e *design*. Negli anni '80 la Zanussi viene travolta dalla crisi e ceduta alla Electrolux svedese. In questo frangente Seleco diviene un'azienda autonoma di televisori a colori, partecipata dalla stessa Zanussi, dalla Rel e dall'Indesit, facendo nascere in quegli anni i primi televisori analogici con componentistica digitale.

La Società si specializza anche in decoder per satellite ed in proiettori per *home-theater* a cui, in particolare, resta legata la sua fama. Nel 1987, con la collaborazione della RAI ed in concorrenza con l'industria giapponese, produce il primo videoproiettore professionale CRT tri-tubo ad alta definizione interamente europeo (Fig. 36). Il modello HDFP-1250 parteciperà alla sperimentazione del sistema di HDTV europea condotta da Vision-1250 dalle prime dimostrazioni in Europa ed America nel 1987 fino alle presentazioni nei padiglioni europei dell'Expo-92 di Siviglia.

Nel 1991 viene ceduta all'imprenditore Rossignolo e l'anno successivo ha un periodo breve di grandi successi con l'acquisizione prima della più grande azienda spagnola produttrice di televisori e poi della Brion-Vega diventando il quarto produttore europeo. Purtroppo, già a partire dal 1993 entra in difficoltà ed è costretta al fallimento nel 1997.

Nel 1998 la famiglia Formenti rileva, dalla procedura di fallimento in corso, la Seleco ed i marchi ad essa associati (in particolare Seleco, Brion-Vega, Phonola) e forma la Seleco-Formenti SpA che ha un nuovo momento di notorietà e si cimenta nella costruzione dei primi schermi LCD per poi essere posta definitivamente in liquidazione nel 2004.

Tuttavia, quindici mesi prima del fallimento del 1997, Seleco aveva raggruppato le sue attività più redditizie in campo multimediale (con l'*asset* dei validi tecnici che avevano guidato la progettazione dei videoproiettori), in una nuova Società con sede a Pordenone di cui 1/3 era stata ceduta ad Italtel ed 1/3 a Friulia (la finanziaria della regione), dando vita alla SIM (Seleco Italtel Multimedia) con la missione dei video proiettori e dei decoder digitali per televisione. Col fallimento della Seleco-Formenti del 2004 e la contemporanea fuoriuscita dell'Italtel, la maggioranza delle azioni della società rientra nelle mani di Carlo Formenti e, con la guida di Maurizio Cini come Amministratore Delegato, si concentra – con la nuova denominazione di SIM2-Multimedia – sui soli videoproiettori digitali in alta definizione di fascia alta. La società consegue una serie di grandi successi mondiali che vedono, da metà anni 2000, anche la conquista del mondo hollywoodiano ed il conseguimento per più anni dell'*Innovations Award* della CEA (Consumer Electronics Association).

Dal fallimento della Seleco-Formenti del 2004 la SIM2 rileva il ramo di azienda ed i marchi della Brion-Vega nel settore audio e, nel febbraio 2010, anche quelli televisivi della storica azienda.

Di tutto il lungo elenco di aziende sopra ricordato, SIM 2 è l'unica azienda oggi ancora viva e vitale.

### *L'industria del mercato professionale radiotelevisivo*

A questo settore appartengono le aziende produttrici di ponti radio e di satelliti televisivi per il trasporto a distanza nonché i costruttori di trasmettitori e ripetitori per la diffusione circolare.

Nel seguito si riporta un cenno solo a quest'ultimi in quanto i due campi precedenti sono ampiamente ricoperti in altri contributi a questo stesso volume di cui alle note 47 e 49.

Per quanto riguarda i costruttori di trasmettitori radiofonici si è già accennato nella storia mondiale della radiofonia. Per l'Italia i più significativi sono stati Safar e Marconi.

Le aziende italiane costruttrici di trasmettitori e ripetitori televisivi nascono poco prima della Seconda Guerra Mondiale quando, sulla scia dello sviluppo radiotelevisivo italiano, vengono costruiti i primi prototipi. In Italia troviamo due aziende: la Safar e la Magneti Marelli. La prima segue tutta una serie di tecnologie sviluppate in Germania, la seconda quelle sviluppate in America.

Lo scoppio della Seconda Guerra Mondiale porta all'interruzione ed alla distruzione, come già accennato nella storia italiana della televisione, di quei pochi impianti realizzati a Milano e Roma.

Nell'immediato dopoguerra, con la caduta del regime fascista, la Safar legata al regime viene sacrificata e la Magneti Marelli inizia tutta una serie di proficue collaborazioni con la General Electric e la RCA entrambe americane. Queste collaborazioni porteranno alla realizzazione di parte della prima rete televisiva italiana nel 1954.

In quegli anni, fondamentale rilievo assume, anche in questo campo dei trasmettitori circolari, il Centro Ricerche RAI. C'è da ricordare che l'Italia era uscita dalla Seconda Guerra Mondiale con il tessuto industriale totalmente distrutto e nonostante il piano Marshall, era necessario favorire lo sviluppo e la rinascita dell'industria italiana. Il Centro Ricerche in questo ambito darà un grosso contributo al settore dei ripetitori televisivi, eseguendo studi e progetti che verranno poi realizzati da alcune aziende nate nell'immediato dopoguerra, più precisamente Siae e Microelettronica (che successivamente si fonderanno diventando Siae-Microelettronica) nonché Elit.

Tra gli sviluppi di rilievo del Centro Ricerche RAI, va ricordata la realizzazione del primo modulatore TV e del primo codificatore stereo FM ritenuti tra i più avanzati a livello mondiale.

Le sorti dell'Elit e della Siae Microelettronica saranno fortemente legate alla RAI ed ai suoi investimenti. Negli anni '90 l'Elit, dopo una serie di cessioni e fallimenti, verrà rilevata dal gruppo CTE Digital mentre la Siae-Microelettronica abbandonerà definitivamente il settore per dedicarsi esclusivamente ai ponti radio.

Negli anni dei grandi investimenti RAI, le aziende Fiar, Allocchio-Bacchini e Telettra saranno indotte a diversificarsi nella produzione di trasmettitori e ripetitori televisivi per far fronte alla grande richiesta di apparati conseguente alla complessa situazione orografica italiana che, con caratteristiche sensibilmente montagnose, non consente una buona copertura del segnale esclusivamente con grandi trasmettitori. È quindi necessario installare una miriade di ripetitori al fine di diffondere in modo capillare i segnali televisivi.

Su sollecitazione della RAI, la Telettra si cimenta anche nella costruzione di trasmettitori e ripetitori di media-alta potenza, cogliendo l'occasione dell'acquisizione del gruppo di progettisti (guidato dall'ing. Vittorio Raviola) che si era licenziato dal Laboratorio Grandi Trasmettitori della Magneti Marelli in seguito a contrasti con la dirigenza.

La Fiar, oltre a costruire televisori (per conto della Telefunken) ed apparati per il settore militare, per diverso tempo si trova a costruire una serie di ripetitori di cui alcuni, per l'epoca, di concezione veramente avveniristica.

Queste tre aziende abbandonano il settore sia perché non hanno sufficientemente creduto nel nascente mercato privato sia perché hanno ritenuto marginale, e quindi poco proficuo, il settore dei ripetitori televisivi una volta terminata la capillarizzazione della RAI.

Una citazione particolare merita la COEL. L'azienda, nata alla fine degli anni '50 come costruttore di antenne, compie nella seconda metà degli anni '70 il grande salto diventando l'unico fornitore RAI per gli impianti di grande potenza in previsione dell'installazione della terza rete RAI. Per tali impianti l'azienda realizza, prima al mondo, un pannello a larga banda UHF sia la per banda IV che per la banda V. Tale soluzione evita un'ulteriore elevazione delle torri consentendo un enorme risparmio economico e, con questa realizzazione, la COEL si trova automaticamente catapultata nel mercato mondiale tanto che diviene fornitrice esclusiva di quello che allora era il maggiore costruttore al mondo di trasmettitori e cioè la RCA americana.

Dall'uscita di alcuni dipendenti della COEL nascerà la Telesystem che si specializzerà nella produzione, essenzialmente per RAI, di impianti ripetitori di piccole e medie dimensioni.

Anche la Marconi Italiana, controllata della Marconi inglese, si cimenterà nella costruzione di trasmettitori e ripetitori TV di propria progettazione a completamento della gamma inglese. Anche questa azienda lavorerà esclusivamente per la RAI ed abbandonerà il settore dopo la cosiddetta "tangentopoli", a seguito della quale le aziende che avevano sviluppato una cultura (anche per pressione RAI) di apparati di elevata qualità il cui valore veniva riconosciuto nel prezzo, vengono a trovarsi in difficoltà nelle gare orientate esclusivamente ad un prezzo d'offerta minimo, senza alcun riguardo alla qualità dei prodotti.

In quegli anni, gli apparati sviluppati in Italia sono ritenuti confrontabili alla migliore qualità tedesca, considerata da sempre la migliore al mondo, mentre la RAI viene riconosciuta a livello mondiale una grande azienda di fama, prestigio e qualità tecnica paragonabili a quelli della BBC inglese o delle TV tedesche. Essere fornitori della RAI costituisce perciò un biglietto da visita importante per l'export.

Con la nascita delle prime emittenti private fiorisce anche un folto gruppo di piccole aziende e laboratori che si cimentano nella costruzione di trasmettitori radio che, data la maggiore natura competitiva, si contraddistinguono per un ottimo rapporto qualità-prezzo imponendosi, a parte l'Italia, su molti mercati mondiali. L'esempio più significativo è quello dell'Intelco che con i suoi prodotti è riuscita a mettere in crisi aziende storiche quali Rohde-Schwarz e Thomson LGT, sottraendo ad esse clienti storici come i paesi scandinavi e sudamericani ed arrivando perfino ad entrare nei loro mercati domestici.

Va osservato che in questo settore, a livello mondiale, si passa in poco tempo da una situazione con pochi grandi costruttori (Rohde-Schwarz, Thomson, Harris, NEC, BE, Marconi) ad una situazione con una miriade di aziende, la maggior parte delle quali italiane. Negli anni '80 un trasmettitore FM da 100

watt della Marconi inglese costava 17 milioni di lire mentre l'Intelco, con la stessa qualità, lo vendeva a poco più di 6 milioni di lire. Inevitabile è stato quindi il declino nel settore per alcune aziende storiche mondiali (Marconi inglese e Thomson LGT). Per anni l'Italia, nel campo delle alte frequenze, è stata temuta e paragonata ai giapponesi nell'elettronica di consumo.

Errori manageriali e di gestione e soprattutto errate scelte nazionali di politica industriale hanno determinato il fallimento di molte di queste aziende. Con l'avvento della televisione digitale la concorrenza straniera ha recuperato molto del terreno perduto e la mancanza di ricerca su nuove tecnologie ha influenzato negativamente la nostra industria. Attualmente sono veramente poche le aziende attive presenti in Italia che restano presenti sul mercato a livello mondiale: tra queste si può ricordare la Screen Service, l'Electrosys (erede dell'azienda che fu un tempo Intelco) e la Sira (entrata a far parte del Gruppo tedesco Kathrein).

## Radiofonia, televisione e cinema: era digitale

### Tecnica digitale nel sistema radiofonico e televisivo

#### *Alcune osservazioni preliminari*

L'introduzione delle tecniche digitali in campo radiotelevisivo avviene con molto ritardo rispetto al mondo telefonico, soprattutto a causa dell'elevato *bit-rate* richiesto.

Oltretutto, rispetto al tradizionale panorama analogico in cui i due campi rimangono ben separati, s'inseriscono nuove variabili: il connubio sempre più stretto tra piattaforme audio e piattaforme televisive, la sempre più accentuata diversificazione delle varie forme di fruizione dei programmi (fissa, nomadica, mobile, ecc.) ed infine le caratteristiche di multimedialità richieste alle informazioni per viaggiare sui vari *media*.

Al quadro anzidetto conseguono modelli di servizio che possono discostarsi dai concetti di ricezione radiofonica o televisiva intesi in senso classico: ad esempio nel mondo digitale cominciano sempre più a diffondersi servizi quasi-radiofonici (*visual-radio*) o quasi-televisivi (*mobile-television*), con possibilità interattive (Radio e TV *on demand in real-time o shifted-time*) e che, accanto al classico paradigma "da uno a molti" (*multicast* o, più tradizionalmente, *broadcast*) associano anche forme di comunicazione interpersonale "da uno ad uno" (*unicast*).

Tale quadro di riferimento ha una notevole influenza sull'evoluzione storica portando, progressivamente nel tempo, alla creazione di standard digitali sempre più orientati a piattaforme multimediali polivalenti con vantaggi, da un lato, di maggiori gradi di libertà ma, dall'altro, con svantaggi di egemonia da parte del servizio più importante.

Le tendenze sopra esposte hanno consigliato di trattare in modo unificato l'evoluzione storica verso il digitale della radiofonia e della televisione, settori oggi non più divisibili con estrema chiarezza. Inoltre, a differenza della parte analogica, non si è ritenuto opportuno differenziare il contributo italiano e ci si è orientati a metterlo direttamente in evidenza nel percorso storico mondiale.

#### *La digitalizzazione nella produzione radiofonica e televisiva*

##### *Quadro di riferimento per le tecniche digitali in campo audiovisivo*

Alla base della rappresentazione in tecnica digitale dei segnali vi è la modulazione ad impulsi (PCM – *Pulse Code Modulation*) brevettata nel 1937 dal britannico

Alec Reeves dell'ITT (*International Telephone & Telegraph*). L'idea, nel 1960, viene ripresa dalla AT&T (a seguito dell'invenzione dei transistor) per applicarla alla trasmissione di segnali telefonici multiplati sui collegamenti in coppie di rame particolarmente disturbati dagli effetti degli accoppiamenti elettromagnetici.

Per il campo audiovisivo le tre classiche operazioni del PCM – campionamento, quantizzazione e codifica binaria – sono viste, agli inizi, primariamente come mezzo per una migliore qualità e flessibilità di tutte le lavorazioni in studio. In particolare risulta attraente – nella registrazione e nel cosiddetto “post-processing” – la peculiare caratteristica degli impulsi che compongono il segnale digitale di poter essere “rigenerati” evitando ogni accumulo di rumore.

I grandi vantaggi sopra esposti hanno tuttavia una contropartita soprattutto nella necessità di una banda notevolmente maggiore nonché, pur se più facilmente controllabile, nel maggior ritardo dei segnali.

Per quanto riguarda la larghezza di banda occupata dai segnali audiovisivi, le regole della digitalizzazione (senza compressione) conducono a valori di più di un ordine di grandezza rispetto alla corrispondente banda nell'impiego analogico. Se si tiene, infatti, conto che:

- nel campionamento, la frequenza di ripetizione dei campioni deve essere almeno doppia della massima frequenza che si vuole trasmettere;
- il numero di *bit* rappresentativi di ogni campione deve essere abbastanza alto al fine di permettere di cogliere le sfumature di luminosità del segnale video o la dinamica di volume del segnale audio (8–10 per la televisione e 16–24 per l'audio musicale);

ne consegue, per la rappresentazione di tali segnali, un numero di *bit* al secondo (*bit-rate* o “velocità”) che, per essere elaborato o trasmesso, necessita di larghezze di banda assai maggiori rispetto a quelle occupate dal corrispondente segnale analogico.

Sul finire degli anni '60 queste sono le difficoltà tecnologiche, non piccole per l'epoca, da affrontare. L'obiettivo di digitalizzare i segnali audio è, tuttavia, a miglior portata di mano rispetto alla televisione il cui traguardo appare ancora lontanissimo ed è perciò dall'audio che comincia la grande rivoluzione della digitalizzazione.

#### *Digitalizzazione della produzione radiofonica*

L'idea di applicare il PCM ad un'informazione audio-musicale viene presa in considerazione dall'ente radiotelevisivo pubblico NHK (Nippon Hoso Kyokai) i cui laboratori di Ricerca completano la realizzazione, nel 1971, del primo registratore audio digitale.

Rispetto alle esperienze accumulate da alcuni anni nel campo delle trasmissioni telefoniche PCM, occorre operare, con le conseguenti difficoltà tecnologiche, su un segnale audio digitale che è almeno dieci volte più “veloce” rispetto al singolo canale telefonico<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Dieci volte deriva dalla moltiplicazione di due fattori, cioè 5x2. Il fattore cinque trae origine dalla maggiore frequenza di campionamento richiesta per il segnale audio-musicale a causa

Anche la BBC effettua ricerche nel campo della digitalizzazione dei segnali musicali e, dopo aver realizzato in quegli stessi anni un prototipo di registratore audio a due tracce, introduce nel 1972 il PCM audio nel trasporto dell'informazione audio tra il Centro di Produzione BBC di Londra ed i trasmettitori circolari, con l'intento di migliorare la qualità.

Sempre agli inizi degli anni '70 compare anche la prima linea di ritardo digitale audio, la Lexicon Delta-T 101, largamente usata per molti anni negli impianti di diffusione sonora.

Nel 1976, in USA, Thomas Stockham, considerato il padre dell'audio digitale, docente del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) e poi fondatore della Soundstream Inc., realizza, presso il Teatro dell'Opera di Santa Fe, la prima registrazione digitale audio su nastro magnetico a 16 bit e 50 kHz di campionamento.

I grandi vantaggi della registrazione audio in digitale diventano evidenti a tutti: essi consistono nell'ottenimento di un rapporto segnale-disturbo molto migliore rispetto alla registrazione analogica, nella cancellazione delle distorsioni armoniche, in una migliore risposta ampiezza-frequenza e, parametro particolarmente significativo, in una dinamica del volume sonoro notevolmente più ampia.

Siamo al 1979 e la 3M lancia sul mercato USA il sistema di registrazione audio digitale "3M Digital Audio Mastering System", basato sugli studi della BBC ed operante su un nastro magnetico a 32 tracce. Nello stesso anno, in Europa, la Decca esce sul mercato con un suo sistema di registrazione digitale per la produzione dei dischi ancora basato sulla tecnologia BBC.

Con la rivoluzionaria introduzione nel 1982 dei CD (Compact Disc) ottici (con lettore a laser) ad opera di Sony e Philips, i vantaggi dell'audio digitale vengono rapidamente estesi a tutto il mondo *consumer* portando in tale campo anche le tecnologie della Dolby e della DTS fino ad allora operanti esclusivamente in campo professionale.

A partire da quegli anni si rafforza rapidamente sul mercato professionale la registrazione audio su nastro che entra pesantemente negli studi professionali attraverso gli apparati della 3M, Mitsubishi, Sony e Studer. Sono pertanto disponibili, all'epoca, ottimi modelli di registratori digitali multitracce i quali, tuttavia, operano con un formato di registrazione proprietario non compatibile con i lettori di altre marche.

Nel 1987 Sony introduce sul mercato lo standard di registrazione digitale su nastro magnetico da 4 mm denominato DAT (*Digital Audio Tape*) simile, come aspetto esterno, alle cassette audio e destinato al campo *consumer* oltre che a quello professionale. Il nuovo sistema non riesce tuttavia a decollare veramente per alcune criticità nella regolazione ottimale ma, soprattutto, per i noti e delicati problemi connessi alla pirateria ed alla conseguente protezione dei diritti di autore.

L'introduzione negli ambiti professionali di questi registratori, congiuntamente con una miriade di altri apparati audio digitali, evidenzia l'assoluta esigenza di creare interfacce standard per le loro interconnessioni in un sistema totalmente digitale.

della frequenza massima di 20 kHz rispetto ai 4 kHz della voce. Il fattore 2 discende, invece, dal numero di 16 *bit* adottati per ciascun campione audio-musicale rispetto agli 8 della telefonia.

Nel 1985, e poi con successive revisioni nel 1992 e 2003, si afferma pertanto lo standard di interfaccia denominato AES/EBU, sviluppato dall'AES (*Audio Engineering Society*)<sup>2</sup> e dalla già citata EBU (European Broadcasting Union) per le applicazioni audio professionali, a cui corrisponde per il mercato *consumer* un analogo standard denominato S/P-DIF (acronimo per Sony – Philips Digital Interface Format), collezione di specifiche hardware e protocolli per il trasporto di segnali audio digitali PCM stereo tra periferiche.

L'adozione delle moderne tecnologie e la nascita degli standard d'interconnessione ha portato al rapido sviluppo dell'audio digitale nel mondo professionale (ed anche *consumer*) sino ad arrivare ormai alla quasi totale scomparsa dell'analogico.

### *Digitalizzazione della produzione televisiva*

Per molti anni ancora, dopo l'inizio in campo audio, non si prende in considerazione la digitalizzazione per applicazioni televisive.

È solo negli anni '80 che, finalmente, comincia ad affacciarsi sulla scena professionale la codifica digitale del segnale televisivo. Siamo ancora lontani da idee di diffusione di programmi all'utente in digitale ma sta invece diventando urgente la conversione degli studi televisivi poiché l'operare con tecnologia digitale è certamente una strada che conduce a sensibili vantaggi. In particolare ottimizzazioni nei costi di produzione, un miglioramento dell'affidabilità nonché l'apertura di nuove possibilità nelle lavorazioni complesse e negli effetti speciali (rotazioni, ingrandimenti, restringimenti, ecc. delle immagini) operazioni per le quali la tecnologia analogica si presta malamente.

L'introduzione della digitalizzazione televisiva negli studi spinge, da un lato, l'industria dei costruttori ad un risolutivo impegno di riprogettazione di tutta la linea di prodotti (camere, mixer, videoregistratori, ecc.) e, dall'altro, i *broadcaster* ad una rilevante operazione di trasformazione degli impianti di produzione (studi e mezzi mobili di ripresa) sia per quanto riguarda la sostituzione degli apparati fino allora impiegati, sia per la "filosofia" con cui le nuove attrezzature devono essere utilizzate.

Per le telecamere il cambiamento avviene progressivamente, a partire dai sensori ottico-elettrici che passano dai menzionati tubi tradizionali da ripresa ancora basati sulle tecnologie a raggi catodici (*Orthicon*, *Plumbicon*, ecc.) ai componenti allo stato solido quali i CCD (*Charged Coupled Devices*) e, successivamente, i C-MOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*). A metà degli anni '80 compaiono così le prime telecamere professionali da studio con CCD e nel 1987 quelle portatili.

<sup>2</sup> AES – *Audio Engineering Society* è un'associazione professionale internazionale esclusivamente dedicata al campo della tecnologia audio. Fondata in USA nel 1948, è cresciuta progressivamente diventando un'organizzazione mondiale che, oltre ad emettere normative, ha la missione di supportare, approfondire, promuovere e diffondere la conoscenza delle tecnologie audio. Riunisce oltre 14.000 membri fra ingegneri, creativi, scienziati e studenti.

La videoregistrazione digitale – consentendo di poter enormemente aumentare il numero dei “passaggi” successivi su nastro (definiti in gergo tecnico “generazioni”) – allarga considerevolmente tutte le possibilità di edizione e di post-produzione, prima confinate al massimo a 3-4 passaggi.

Il 1986 rappresenta la grande svolta con il lancio da parte di Sony del primo formato digitale televisivo in cassette con nastro magnetico da  $\frac{3}{4}$  di pollice (denominato D1).

Nel 1992 la Sony immette sul mercato una versione di registratore digitale con cassette a nastro da  $\frac{1}{2}$  pollice – la nuova famiglia di apparati denominata *Digital Betacam* – che permette un notevole risparmio nel consumo di nastro in quanto opera la registrazione di segnali audio e video compressi.

In quegli anni, essendo la digitalizzazione degli impianti ancora agli inizi, vengono proposti formati che consentono l’inserimento dei videoregistratori digitali in catene di produzione televisive ancora analogiche, in grado cioè di registrare direttamente in formato digitale il segnale analogico PAL ovvero di registrarne separatamente le componenti di luminanza e di croma.

Il canto del cigno della registrazione digitale su nastro – rappresentato dal formato IMX con compressione MPEG-2 lanciato dalla Sony nel 2001 – segna la fine di un’epoca ed il passaggio, anche in campo professionale, a supporti totalmente diversi per lo più nati nel mondo informatico: la registrazione magnetica su disco (*Hard Disk*), i dischi ottici (DVD, BD – *Blu Ray Disc*) e le memorie statiche (*flash memory*), anche se il nastro rimane tuttora ancora in vita per molte archiviazioni massicce di grandi quantità di dati (ad esempio archivi televisivi), anche se con le limitazioni imposte dai nastri per un accesso tipicamente sequenziale.

Un’applicazione, tra le altre, di grandissimo interesse – derivata dall’introduzione della digitalizzazione e dall’impiego di dischi fissi di memoria – sarebbe poi risultata quella del montaggio elettronico in cui si faranno essenziali progressi a partire dalla metà degli anni ’90.

In un mondo audiovisivo consolidato su procedure “lineari” della catena produttiva appare chiaramente come la digitalizzazione abbia rappresentato una vera rivoluzione epocale con l’ingresso di tecnologie di trasferimento delle informazioni assolutamente “non lineari” e sviluppate con i concetti del mondo informatico. Ciò ha indotto i progettisti di apparati di studio ad abbandonare le architetture *push* tradizionalmente impiegate negli impianti analogici – nei quali le informazioni audiovisive venivano instradate (da cui l’attributo *push*) da un apparato all’altro in relazione alle varie esigenze produttive (ripresa, registrazione, effetti speciali, *monitoring*) – adottando invece architetture di tipo *pull* nelle quali le informazioni audiovisive generate dai mezzi di ripresa (camere, microfoni) vengono messe in circolazione nell’impianto sotto forma di *file* distribuiti con tecnologie a protocollo IP (*Internet Protocol*). Si consentono in tal modo operazioni successive – quali quelle di registrazione, di post-produzione o di distribuzione – estraendo i file (dal che l’attributo *pull*) dall’impianto per le lavorazioni o l’instradamento.

Tutte queste rapide trasformazioni storiche non sarebbero state possibili senza la creazione di uno standard, sia per fissare le specifiche del segnale

televisivo digitale senza compressione da impiegare per le lavorazioni negli studi, sia per risolvere le varie problematiche d'interfaccia che si presentano nell'interconnessione delle più svariate apparecchiature di studio, e permettendo in tal modo l'intercambiabilità e l'interoperabilità di apparati di costruttori diversi.

L'introduzione ed i contenuti essenziali di questa basilare norma che ha regolato, dall'epoca della sua apparizione, il mondo degli studi per il "formato in definizione standard" vengono illustrati brevemente nel paragrafo che segue tenuto conto della loro portata storica.

#### *Primo standard televisivo digitale da studio per definizione standard*

Per molto tempo, tra il 1970 ed il 2000, il Gruppo di studio 11 del CCIR – l'organismo internazionale citato nelle fasi pionieristiche dei servizi radiofonici di *broadcasting* che più tardi avrebbe preso il nome di ITU-R – con la costante *chairmanship* del russo prof. Mark Krivocheev (Fig. 1), è stato il crocevia delle tecnologie di *broadcasting* televisivo a livello mondiale. In esso è stato fortemente coinvolto anche l'italiano prof. Franco Cappuccini (Fig. 2), già ricordato per i primi *test* nazionali e le sperimentazioni relative agli standard di televisione a colori e successivamente nominato, a partire dal 1981, Presidente del Consiglio Superiore delle Telecomunicazioni in epoca ancora di importanti decisioni italiane in campo televisivo.

Nel febbraio 1982, in supporto alla grande trasformazione digitale della televisione negli studi, il CCIR approva in Assemblea plenaria la Raccomandazione 601<sup>3</sup> relativa alla codifica numerica dei segnali televisivi analogici a 525 linee e 60 Hz (sistema americano) e 625 linee e 50 Hz (sistema europeo) con formato standard (SDTV-*Standard Definition Television*), giungendo a definire un "comune" standard digitale da studio per i due sistemi<sup>4</sup>.

È importante osservare che, per le fasi avvenute nell'evoluzione storica, lo studio di questo standard digitale avviene in un mondo preesistente analogico con *format* già consolidati. Quello che interessa, infatti, non sono tanto i differenti metodi per aggiungere la codifica del colore (NTSC, SECAM e PAL), quanto piuttosto i due diversi sistemi di esplorazione, già stabiliti da tempo, del mondo USA/Estremo Oriente rispetto a quello Europeo/Sudamericano (numero di righe, esplorazione interlacciata o progressiva, numero di quadri al secondo, ecc.). Partecipano in modo determinante alla definizione del nuovo standard sia l'UER (o EBU) – l'organismo europeo dei *broadcaster* già citato nel paragrafo sugli standard televisivi in bianco e nero in cui opera, con un determinante contributo, il Centro Ricerche RAI – che la SMPTE

<sup>3</sup> Il nome completo della Raccomandazione che, nella sua vita, ha avuto molte revisioni è Rec. IT-R BT.601.

<sup>4</sup> Si delineano, in tal modo, i due sistemi in campo digitale, nel quale si dà la preferenza a mettere in evidenza le sole linee attive: il sistema americano, denominato con la sigla 480i30, con 480 linee interlacciate e 30 quadri/sec e quello europeo, denominato 576i25, con 576 linee interlacciate e 25 quadri/sec.

(Society of Motion Picture and Television Engineers)<sup>5</sup>.

La Raccomandazione 601 diviene una tappa fondamentale della storia televisiva perché raccoglie la sfida della digitalizzazione riuscendo a riunificare, almeno in parte, ciò che nel mondo analogico aveva ormai preso strade fortemente differenziate. Essa, pertanto, è stata vissuta come occasione per un comune standard mondiale per la codifica digitale dei segnali relativi agli standard analogici già esistenti<sup>6</sup>.

Proprio per il raggiungimento di questo importante obiettivo, nel 1983 il CCIR riceve negli Stati Uniti dal “National Academy of Television Arts and Sciences” l’Academy Award 1982–1983 per “Outstanding achievement in Engineering development for providing the international forum to achieve a compromise of national committee positions on a digital video studio standard”.

In primo luogo, per superare il problema delle diversità fra gli standard analogici NTSC, PAL e SECAM, la Raccomandazione decide di abbandonare la struttura del segnale composito (contenente in un unico segnale le componenti di luminanza e croma) che aveva differenziato i detti standard analogici e decide di gestire l’informazione digitale a colori con tre segnali separati, uno di luminanza e due di cromaticità<sup>7</sup>.

Fondamentale, inoltre, nella Raccomandazione, è anche la ricerca di una possibile correlazione tra i parametri (numero di linee e frequenze di quadro)



Figura 1 . Mark Krivocheev.

Figura 2. Franco Cappuccini.

<sup>5</sup> SMPTE è un’Associazione a carattere internazionale, fondata in USA nel 1916, per il progresso tecnico inizialmente del solo cinema (con denominazione SMPE) e poi, dal 1950, anche della televisione. All’Associazione partecipano gestori e costruttori avendo essa la finalità dello sviluppo di standard industriali nel settore della cinematografia e della televisione. SMPTE raccoglie più di 10.000 soci ai quali fornisce una continua informazione sui progressi tecnologici nel settore.

<sup>6</sup> In particolare, ad esempio, le due differenti scelte per la frequenza di quadro di 50 e 60 Hz sono state, per evitare interferenze, una conseguenza, ai primordi, del valore del periodo della corrente alternata precedentemente scelto dai rispettivi Paesi. In tal modo si semplificavano i ricevitori e, anche se oggi tale scelta non ha più un particolare significato, essa è rimasta come eredità storica del passato da gestire. Lo stesso vale per il numero di linee di un quadro.

<sup>7</sup> Per il significato dei segnali di luminanza e croma riferirsi alla nota 38 del capitolo precedente. La soluzione indicata sopra comporta, tuttavia, a livello di apparati ed impianti di studio una triplicazione dei cablaggi di connessione. Questa difficoltà verrà risolta dal 1993 con l’adozione dell’interfaccia SDI (*Serial Digital Interface*) che consente di trasportare il video digitale a componenti su un unico cavo coassiale facendovi transitare le tre componenti una dopo l’altra, semplificando così i cablaggi e migliorando la qualità globale. Si apre in tal modo la strada ad una più rapida digitalizzazione degli studi.

dei due sistemi del mondo europeo e del mondo USA per arrivare a qualche forma di unificazione.

Per risolvere questi problemi di compatibilità, l'analisi porterà ad adottare per ambedue i sistemi un comune numero di campioni di luminanza per riga di 720 *pixel*<sup>8</sup> ed una comune frequenza di campionamento di 13,5 MHz.

Per quanto riguarda il numero di linee, anziché indicare le totali (625) si preferisce, con l'introduzione delle tecniche digitali, parlare di righe attive che sono 576.

Un altro parametro importante è il numero di *bit* per campione del segnale di luminanza che determina il numero massimo di livelli di quantizzazione (e quindi di variazioni di luminosità percepibili). Esso viene fissato nella raccomandazione in 8 o, preferibilmente, in 10 come oggi normalmente adottato.

Per i segnali di croma si adotta una strategia particolare riassunta qui di seguito.

Lo standard rinuncia al tentativo di mettere mano alle differenze nelle colorimetrie dei due formati perché il lavoro è ritenuto al di sopra delle possibilità pratiche. Tenendo però in conto la minore capacità di risoluzione dell'occhio per i particolari a colori (cromaticità) della scena rispetto ai particolari in bianco/nero (luminanza), la stessa Raccomandazione propone per i segnali di croma anche la possibilità di un sottocampionamento (*sub-sampling*) a frequenza metà (6,75 MHz) di quella di luminanza (con un completo parallelismo, nel caso analogico, alla banda adottata per i due segnali cromatici  $C_R$  e  $C_B$ ). Più specificatamente, la Raccomandazione introduce per il trattamento dei segnali di croma due *format* definiti come 4:4:4 e 4:2:2 a seconda delle diverse applicazioni<sup>9</sup>. Il futuro standard

<sup>8</sup> Il termine *pixel* è la contrazione di "picture element", ossia l'elemento minimo di rappresentazione dell'immagine che, in linea di principio, sarebbe bene che fosse quadrato per dare uguale risoluzione nei due sensi.

Una piccola conseguenza negativa dell'unificazione della Rec. 601 risulta essere la forma rettangolare dei *pixel* dell'immagine che discende dal numero di linee attive e dal numero di *pixel* per linea che si è dovuto fissare, determinando di conseguenza una minore risoluzione orizzontale rispetto a quella verticale.

<sup>9</sup> La Rec. 601 specifica la frequenza di 13,5 MHz per il campionamento delle tre componenti di colore RGB dei segnali televisivi. Ogni campione è quantizzato con 8 o, preferibilmente, 10 bit. A partire da tali segnali RGB si ottengono facilmente (vedi nota 38 del capitolo precedente) il segnale di luminanza  $Y$  ed i due segnali di croma (differenza di colore)  $C_R$  e  $C_B$ , che possono essere mantenuti a piena qualità od a qualità ridotta per risparmiare in *bit-rate*. Di conseguenza, per le applicazioni pratiche, vengono definiti dalla Raccomandazione due possibili *format*:

- il primo, denominato 4:4:4, fornisce una piena risoluzione del colore ed è quello utilizzato dalle sorgenti (telecamere, grafica elettronica) e nelle operazioni di postproduzione di alta qualità;
- il secondo, denominato 4:2:2, è utilizzato per l'interfacciamento di apparati, per la registrazione in studio, per la rete di contribuzione, ovvero per lo scambio di programmi fra studi (per mezzo delle reti in ponti radio e le fibre ottiche). Tale formato riduce il *bit-rate* totale del 33%, a spese di una riduzione della definizione dell'informazione di colore (consentita dalle limitazioni dell'occhio al colore) poiché le due componenti  $C_R$  e  $C_B$  sono filtrate a metà banda e sotto-campionate a 6.75 MHz riducendo della metà, nella direzione orizzontale dell'immagine, i campioni rispetto a quelli originali.

Successivamente in Europa, proposto nell'ambito dello standard MPEG-2, è stato introdotto, ed utilizzato per la diffusione circolare, anche il *format* 4:2:0 (non contemplato nella Rec. 601). In

di compressione MPEG-2 (di cui si parlerà ampiamente più avanti) avrebbe poi introdotto un terzo formato di campionamento 4:2:0 esclusivamente per la diffusione verso gli utenti, quando invece il 4:2:2 sopra citato rimane il classico *format* per impiego nelle trasmissioni (cosiddette di contributo) dalla periferia al centro di controllo oltre che per le tipiche lavorazioni di studio.

Con i parametri scelti e con il valore di 10 bit per campione (ormai universalmente adottato) la Raccomandazione 601 determina, nel formato 4:2:2 di studio, un comune valore di *bit-rate* pari a 270 Mb/s per tutti gli standard SDTV (americani ed europei).

Personaggio fondamentale nel trovare la soluzione al complesso *puzzle* di ricomprendere in unico standard digitale i sistemi analogici americano ed europeo, nati in modo abbastanza slegato, è stato lo statunitense Stanley Baron che già nel 1980 aveva descritto la struttura di campionamento digitale che sarebbe poi divenuta la base per lo standard internazionale. Più tardi, Baron sarebbe diventato il Direttore delle Tecnologie della NBC con responsabilità sui nuovi sviluppi internazionali.

### *I nuovi standard digitali per alta definizione*

Le attività di ricerca sulla HDTV – interrotte in Europa, come già accennato, nel 1996 – proseguono invece in Giappone e negli Stati Uniti con l'intento di definire una serie di possibili formati digitali per il campo dell'alta definizione.

Già dal 1982, negli Stati Uniti, un Comitato congiunto, formato da organismi nazionali ed internazionali<sup>10</sup>, aveva creato l'ATSC (Advanced Television System Committee), organizzazione su base volontaria e *non-profit* per lo sviluppo di un sistema avanzato di televisione. Tale comitato può essere considerato la logica prosecuzione del precedente NTSC (National Television System Committee) già menzionato per la creazione dei sistemi americani in bianco/nero e a colori che, per il colore, ha identificato con il nome del Comitato il relativo standard. Sotto l'egida dell'ATSC una ricerca, condotta da università e laboratori americani, aveva portato alla formulazione di 23 possibili sistemi di televisione avanzata.

Nel 1993 l'Advisory Committee della FCC (Federal Communications Commission), con l'intento di lanciare una televisione digitale, effettua una selezione fra questi sistemi concorrenti restringendoli a soli quattro e creando fra essi la *Grand Alliance*<sup>11</sup> per addivenire ad una formulazione univoca.

questo caso il *bit-rate* totale è ridotto del 50% poiché il numero di campioni delle componenti  $C_R$  e  $C_B$  è dimezzato anche nella direzione verticale dell'immagine, grazie ad operazioni di filtraggio spazio-temporale e sottocampionamento.

<sup>10</sup> Il Comitato ATSC è stato creato da EIA (Electronic Industries Association), NAB (National Association of Broadcasters), NCTA (National Cable & Telecommunications Association) IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), e SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers).

<sup>11</sup> I membri della *Grand Alliance* sono stati: AT&T, General Instrument Corporation, Massachusetts Institute of Technology, Philips Consumer Electronics, David Sarnoff Research Center, Thomson Consumer Electronics, Zenith Electronics Corporation.

Nel 1995 la *Grand Alliance* propone un *format* per SDTV digitale e due per HDTV.

Per SDTV il *format* proposto è 4:3 con 483 linee attive (interallacciate o progressive) e 720 *pixel* per linea.

Per HDTV i due *format* proposti sono ambedue a 16:9 di cui il primo con 720 linee attive progressive e 1280 *pixel* per linea ed il secondo – di fondamentale interesse per una ripresa della standardizzazione europea – con 1080 linee attive interallacciate e 1920 *pixel* per linea.

Nello stesso anno, infatti, si raggiunge un accordo mondiale per definire almeno un formato comune d'immagine, il "Common Image Format" (CIF), caratterizzato da un unico *format* di 1080 linee attive (su 1125 linee totali) e 1920 *pixel* per linea ed un "Common Data Rate" (CDR) – ossia la frequenza di campionamento unificata del segnale HDTV – pari a 74,25 MHz.

Con l'intento di dare un respiro mondiale a tali proposte, nel 1996 la SMPTE propone i relativi specifici standard digitali per HDTV per le due regioni a 60 Hz e a 50 Hz: sono lo standard per un sistema progressivo a 720 linee attive a 30 quadri al secondo e quello interlacciato a 1080 linee attive a 25 quadri al secondo.

Il risultato di tutte queste ricerche – condotte nel frattempo anche da laboratori giapponesi (fra cui primeggia quello della NHK) ed europei (ove notevole è il contributo del Centro Ricerche RAI) – dà vita, in ambito ITU-R, alla Raccomandazione 709 che, nella sua versione del 2002, delinea le caratteristiche dei nuovi sistemi a 1080 linee attive (interlacciato ed in questo caso anche progressivo) proponendo un intero ventaglio di frequenze di quadro (60 Hz, 50 Hz, 30 Hz, 25 Hz e 24 Hz) tali da consentirne l'impiego nelle regioni sia a 60Hz (America e Giappone) che a 50Hz (Europa e Sud America), come progressivo ed interlacciato, ed infine da applicare anche al campo cinematografico come si vedrà meglio più avanti.

A differenza della Raccomandazione 601, la 709 si trova nella felice situazione di non avere vincoli preesistenti per la pratica assenza di ricevitori HDTV sul mercato commerciale e perciò ha maggiori gradi di libertà nell'operare una migliore unificazione tra i *format* proponendo anche modifiche nelle relative colorimetrie.

I parametri scelti per i formati a 60 e 50 Hz hanno in comune il numero di *pixel* per linea (1920) e la frequenza di campionamento (74,25 MHz) riuscendo in tal modo ad ottenere, a differenza della SDTV, *pixel* di forma quadrata in modo da assicurare all'immagine HDTV la stessa risoluzione orizzontale e verticale.

Intanto, a partire dal novembre 1998, avevano avuto inizio negli Stati Uniti le prime trasmissioni in televisione digitale comprendenti i formati SDTV e HDTV secondo un calendario stabilito dalla FCC.

Per l'Europa occorre attendere la metà del primo decennio del 2000 per vedere apparire le prime diffusioni televisive ufficiali in HDTV. Battendo sul tempo *broadcaster* ed autorità europee, la società belga Alfacam dà inizio, con la rete Euro 1080, a regolari emissioni HDTV attraverso il satellite Astra, utilizzando il sistema a 1080 linee. La produzione necessaria a riempire questi canali viene fornita dalla flotta di ripresa Alfacam che è presente in importanti manifestazioni

e che, nel febbraio 2006, coprirà in alta definizione i Giochi Olimpici Invernali di Torino e nell'agosto 2008 quelli di Pechino.

A questo punto, occorre però tornare indietro nel tempo per raccontare una storia particolarmente importante che è proprio quella che, nella pratica, ha reso possibile la diffusione HDTV e, più in generale, la digitalizzazione di tutto il mondo televisivo e l'introduzione della multimedialità.

### *La “compressione” dei segnali audio-video ed il determinante apporto italiano*

#### *Quadro di riferimento storico degli standard di compressione audiovisivi*

I metodi di “compressione”, cioè di riduzione di ridondanza dei segnali, considerati spesso erroneamente come un corpo unico con la digitalizzazione, hanno avuto un'importanza decisiva nel successo delle tecniche digitali radio-televisive<sup>12</sup>. In loro assenza, l'eccessiva occupazione di banda dei segnali audiovisivi digitalizzati avrebbe drasticamente limitato le possibilità applicative nella diffusione radiotelevisiva ed in tutto il mondo della multimedialità.

Gli algoritmi che stanno alla base delle tecniche di compressione hanno iniziato la loro evoluzione dagli anni '60 – e continuano ancora ad evolvere ai giorni nostri – ma negli anni '90 raggiungono, per la prima volta, la piena maturità con possibilità di effettiva applicazione. Al di là dell'aspetto teorico che ha radici abbastanza pregresse, un ruolo assolutamente determinante per l'introduzione di tali tecniche è stato giocato ancora una volta dalla microelettronica che ha reso possibile l'implementazione dei relativi algoritmi attraverso potenti processori digitali non necessariamente dedicati.

Per raggiungere elevati gradi di riduzione di ridondanza, in campo audiovisivo si è dovuto operare con compressioni *lossy* (ossia con perdita di informazione rispetto al segnale originale) pertinenti peraltro a quei parametri poco percepiti dal sistema visivo ed acustico umani. È importante, infatti, far notare che i principi adottati nella compressione tengono conto, da un lato, delle possibilità intrinseche di riduzione di ridondanza strettamente connesse alla natura del segnale ma, dall'altro, anche delle limitazioni dei processi percettivi di udito e vista che risultano essenziali nel “mascherare” la perdita di informazione indotta dalle operazioni precedenti.

In termini generali di schematizzazione del canale trasmissivo le operazioni di compressione corrispondono al blocco denominato “codifica di sorgente”, operazione che precede l'ingresso del segnale nei segmenti specifici della “codifica di canale” (ossia i codici per la protezione dagli errori) e della modulazione propriamente detta per la trasmissione a distanza.

<sup>12</sup> Per una visione di questo tema (e di quella degli standard diffusivi) in un'ottica di fenomeni di convergenza, si rimanda al contributo in questo stesso volume di G. Vannucchi: “Cinquant'anni di telecomunicazioni digitali ed uno sguardo al futuro: la convergenza informatica-telecomunicazioni e le nuove architetture di rete fissa” in cui, tra l'altro, si esemplifica numericamente il vantaggio in *bit-rate* dei segnali audio e video compressi che ha reso possibile la multimedialità.

In campo audio i principali strumenti impiegati in modo sinergico per ottenere una compressione considerevole<sup>13</sup> sono fondati sulla conoscenza delle caratteristiche peculiari del nostro apparato uditivo. L'origine di questo approccio è legato al modello del sistema uditivo – che prende il nome di “percettivo” – analizzato da Hermann Helmholtz nel suo celebre libro *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* (*La scienza delle sensazioni tonali come base fisiologica della teoria musicale*) pubblicato nel 1863 e il cui approccio è stato molto tempo dopo, nel 1967, formalizzato da E. Zwicker e R. Feldtkeller. Nel 1981 anche Oscar Bonello, professore all'Università di Buenos Aires, rivisita i principi della psicoacustica e formula una teoria anch'essa tenuta in considerazione per i moderni sistemi di compressione audio.

Nel campo delle immagini (fisse od in movimento), le radici teoriche dei metodi per eliminare la ridondanza spaziale risalgono ad un fondamentale articolo di K. Pratt, W. Kane, J. Andrews dal titolo “Hadamard Transform Image Coding” pubblicato nel gennaio del 1969 in cui, a tale scopo, viene proposto l'uso della matrice di Hadamard già nota ai matematici da molti anni<sup>14</sup>.

Proposte per altre trasformate da utilizzare con la medesima finalità si sono succedute negli anni seguenti fino a che, a partire dal 1977, l'attenzione tende a concentrarsi essenzialmente sulla trasformata DCT (*Discrete Cosine Transform*) – proposta già nel 1974 da N. Ahmed, T. Natarajan e K. Rao in un noto articolo dallo stesso titolo – e particolarmente adatta ad una forte riduzione delle ridondanze spaziali. Tale algoritmo – analogo alla trasformata discreta di Fourier (tranne che opera esclusivamente su numeri reali) – conquista una notevole popolarità in virtù delle sue più efficienti prestazioni di codifica.

Per i segnali video, ai fini di incrementare ulteriormente il livello di compressione ottenibile, si adottano per il movimento algoritmi aggiuntivi che si basano sul principio, abbastanza intuitivo, di trasmettere le sole variazioni tra un quadro ed il successivo (anziché ritrasmettere, per ogni quadro, tutta l'informazione in esso contenuta). Tale tecnica può essere ulteriormente ottimizzata effettuando, a priori, una stima del presumibile movimento degli oggetti che compongono l'immagine (predizione temporale). Pertanto, in abbinamento all'impiego del DPCM (*Differential PCM*), vengono proposti algoritmi predittivi di *motion compensation* di cui, nel 1969, si occupa, tra i primi, Fabio Rocca<sup>15</sup> del Politecnico di Milano in un suo noto contributo (“Television Bandwidth Compression

<sup>13</sup> In campo audio-musicale esistono anche i metodi di compressione della dinamica naturale del segnale (generalmente molto alta specie nella musica classica) al fine di evitare picchi di potenza troppo forti. Tali metodi non vanno confusi con quelli accennati sopra ed, in tal caso, si parla di “compressione della dinamica del segnale audio”.

<sup>14</sup> Le matrici che sono alla base della relativa trasformata (classe generalizzata di quelle di Fourier) sono state introdotte nel 1893 dal matematico francese Jacques Hadamard e poi perfezionate dall'americano Edward Walsh nel 1923, ragione per cui spesso esse assumono il nome di trasformate di Walsh-Hadamard (*WHT: Walsh-Hadamard Transform*).

<sup>15</sup> Per i suoi contributi in questo campo Fabio Rocca ha ricevuto nel 1999, condiviso con Leonardo Chiariglione, il *Technology Award* della “Eduard Rhein Foundation”.

Utilizing frame-to-frame Correlation and Movement Compensation”) ad uno storico simposio al MIT su queste tematiche.

L'utilizzo congiunto della DCT e dei metodi predittivi verrà denominato “DCT ibrida” e questo, in estrema sintesi, è l'insieme di algoritmi impiegato per ridurre sensibilmente il *bit-rate* dei segnali video e, corrispondentemente, la banda necessaria alla sua trasmissione.

I contributi accademici sull'elaborazione digitale delle immagini si perfezionano, negli ultimi anni '90, attraverso le dimostrazioni che operazioni complesse, quali la compressione e le modulazioni digitali, possono essere ricondotte unicamente ad un opportuno processamento dei relativi segnali digitali.

In ogni caso, come abbiamo visto in tutta la nostra storia, una cosa è fare proposte di carattere teorico, altro è applicare nella pratica le teorie per realizzare un prodotto industriale (il “*codec*”, il cui termine nasce dalla combinazione di codificatore e decodificatore). Altro ancora, è riuscire a selezionare e valutare il complesso delle migliori idee realizzative per farne uno standard di successo, a vantaggio degli utilizzatori finali in termini di qualità ed economicità, risolvendo ogni problemi di compatibilità tra apparati.

Le alte velocità in gioco, infatti, e le complessità tecnologiche nel realizzare gli integrati con le necessarie prestazioni avrebbero, ancora per qualche anno, reso decisamente ardua l'effettiva implementazione in tempo reale, in particolare volendo puntare ad un prodotto industriale a costi e dimensioni contenuti.

Nonostante queste difficoltà oggettive, in pochi anni, a partire dalla seconda metà del 1987, si raggiungono ambedue gli obiettivi sopra menzionati: la condizione di progettare e costruire prodotti con caratteristiche industriali appoggiandosi fortemente agli sviluppi della tecnologia microelettronica nonché la definizione di una serie di standard audio-video per un mondo in veloce trasformazione multimediale.

Per questi traguardi il contributo italiano, in un'epoca di grandi entusiasmi e risultati per la Ricerca del nostro Paese<sup>16</sup>, è stato di fondamentale importanza. La presenza di Laboratori quali il CSELT, il Centro Ricerche RAI, la Fondazione Bordoni nonché gli apporti teorici dei Politecnici di Milano e Torino e di industrie innovative quali la Telettra, hanno giocato, all'epoca, un ruolo significativo nel substrato in cui è nato e progredito il Gruppo MPEG.

### *Nascita del Gruppo MPEG*

Il Gruppo MPEG (*Moving Picture Experts Group*) viene creato nel gennaio del 1988 dall'italiano Leonardo Chiariglione (Fig. 3) del CSELT (Centro Studi E Laboratori Telecomunicazioni della STET) come gruppo di esperti nell'ambito di uno dei Working Group del “Joint Technical Committee” (JTC) creato

<sup>16</sup> Per approfondimenti scientifici sugli standard di compressione, nell'ambito del più generale discorso delle tecniche di *Digital processing*, è utile riferirsi, in questo stesso volume, al contributo di F. Rocca “L'elaborazione numerica dei segnali” che ne approfondisce vari aspetti inquadrando nell'ambito storico.



**Figura 3.** Leonardo Chiariglione (a destra) a colloquio con Cliff Reader in una delle primissime riunioni del Gruppo MPEG.

dagli Organismi ISO/IEC (*International Standards Organization / International Electrotechnical Commission*) per le tecnologie dell'informazione<sup>17</sup>, allora presieduto dal giapponese Hiroshi Yasuda. Un commentatore dell'epoca li definisce "l'impetuoso Chiariglione" ed il "pacifico Yasuda". Il solo Chiariglione verrà considerato padre incondizionato del Gruppo MPEG, tanto che nel 1999 *Time Digital* lo introduce, unico italiano, tra i cinquanta personaggi che hanno maggiormente contribuito allo sviluppo di Internet. Tra i partecipanti che si sono succeduti negli anni nel Gruppo è importante ricordare Cliff

Reader della Samsung nella (Fig. 3), Barry Haskell della AT&T, Didier LeGall di Bellcore e Cesar Gonzales dell'IBM che hanno svolto il ruolo importante di guidare la macchina che processava le proposte e generava gli standard.

Chiariglione è stato peculiare per le sue spiccate doti di conduzione manageriale e mitico per il controllo, quasi maniacale, delle tempistiche stabilite, ambedue doti non comuni per molti italiani ma elementi essenziali per un Gruppo che, partito con un limitato numero di esperti, aumenta rapidamente il numero di partecipanti nel tempo arrivando a superare i 400 componenti!

Nella sua azione Chiariglione è aiutato, altra caratteristica non tipicamente italiana, dalla perfetta conoscenza di molte lingue tra cui il giapponese, avendo svolto il suo PhD proprio in Giappone, nazione con un ruolo decisivo per il mercato *consumer* audiovisivo. Nelle discussioni egli è perciò in grado di affrontare ardue negoziazioni e confronti tecnici ad ampio raggio con molti componenti del Gruppo nella loro lingua ed anche questa peculiarità è stata di primaria importanza nel successo del lavoro svolto.

Inoltre, a conferma di un generale clima italiano di quel periodo in cui il leader del Gruppo MPEG si era formato, un giornalista scientifico americano<sup>18</sup> definisce spiritosamente l'ambiente di ricerca italiano nel settore come "the Italian connection"!

L'idea di formare un Gruppo MPEG viene a Chiariglione dopo aver partecipato nel 1987 ad una riunione JPEG (*Joint Photographic Experts Group* con Yasuda come *chairman*), comitato nato sotto gli auspici ISO/IEC per formulare uno standard di compressione delle immagini per l'archiviazione di fotografie.

<sup>17</sup> Da un punto di vista formale, la denominazione definitiva ufficiale del Gruppo di lavoro MPEG sarà "ISO/IEC JTC1/SC29/WG11" in quanto *Working Group* 11 (WG11) del *Subcommittee* 29 (SC29) dello *Joint ISO/IEC Technical Committee on information technology* (JTC1).

<sup>18</sup> Per chi è interessato ai particolari della storia del Gruppo MPEG, si consiglia vivamente la lettura dell'articolo di William Sweet, comparso su *IEEE Spectrum* del settembre 1997, dal titolo: "Chiariglione and the birth of MPEG" da cui appare chiaramente anche la grande considerazione per il *backstage* italiano ("the Italian connection") che operava in quel periodo.

In particolare Chiariglione era rimasto colpito di come un gruppo di esperti – che rappresentavano industrie oggi definite convergenti ma allora profondamente separate – potessero collaborare su una tematica di alto contenuto innovativo. Suggestisce pertanto a Yasuda la nascita di un Gruppo equivalente anche per lo studio degli standard di compressione per il campo audiovisivo.

Il Gruppo parte, come già menzionato, con una trentina di esperti di varia provenienza e nella prima riunione vengono fissati alcuni principi fondamentali ed innovativi per gli standard allo studio.

Tra gli “*statement*” che il Gruppo MPEG sviluppa negli anni mettendoli a guida del proprio lavoro, val la pena ricordare innanzitutto il principio che gli standard avrebbero dovuto indicare un insieme di “strumenti” piuttosto che specificare l’intero sistema e che essi si dovevano limitare al minimo necessario per consentire la compatibilità tra differenti costruttori: in altre parole si sarebbe dovuto definire rigorosamente unicamente il *bitstream* e gli algoritmi di decodifica che garantiscono la ricostruzione del segnale originale. Viene invece lasciata al costruttore la progettazione del codificatore, area che rimane aperta ad una effettiva competizione.

Un altro principio importante è la concezione di uno standard come una struttura a “componenti” (*tool*) in cui la sostituzione o l’aggiunta di un componente non avrebbe obbligato a stravolgere l’intera struttura dello standard.

Per permettere poi che gli standard possano essere impiegati in un elevatissimo numero di applicazioni, dalla bassa qualità fino alle prestazioni più raffinate, ognuno di essi definisce una serie di “Profili” e di “Livelli”. Il Profilo circoscrive, per la particolare applicazione, il sottoinsieme di caratteristiche (quali *tool* di compressione, format, croma, ecc.) necessario, mentre il Livello stabilisce il sottoinsieme dei gradi di libertà nelle prestazioni quantitative (massimo *bit-rate*, massima dimensione del quadro, ecc.). Una qualunque applicazione MPEG viene perciò specificata in termini di Profili e Livelli, intendendo peraltro che un dispositivo in grado di gestire il Profilo ed il Livello più alto è anche tipicamente in grado di gestire tutte le prestazioni inferiori.

Innovativo, nel Gruppo MPEG, è anche il rapporto con l’Industria per ciò che riguarda i contributi che essa, anche con le sue realizzazioni, è in grado di dare.

Si dà visibilità solo a quelle Aziende che fanno proposte (in risposta ad una “*call for proposal*”) ed una volta che le proposte sono fatte la “macchina” MPEG le macina, le digerisce e produce standard in cui l’identità dei contributori scompare. Naturalmente non scompaiono i brevetti che i contributori hanno depositato, e quindi le relative eventuali *royalty*, in quanto premiare gli innovatori è il fondamento del “modello” MPEG.

Tali metodi di approccio agli standard hanno permesso, tra l’altro, di evitare polarizzazioni su specifiche soluzioni industriali anche se il Gruppo ha garantito all’industria un ben preciso piano temporale per i successivi *step* delle standardizzazioni in corso.

Fin dalle prime riunioni il Gruppo MPEG si rende conto, sulla base delle informazioni dei partecipanti, che il tema della compressione dei segnali televisivi è ormai in via di trasferimento dall’Accademia all’Industria e che l’obiettivo di una standardizzazione è ormai maturo ed anche urgente al fine di evitare condizionamenti successivi.

*I progressi nella fattibilità dei codec audio digitali*

Nel 1987, dopo quattro anni di lavoro, Oscar Bonello, già precedentemente citato parlando dei principi percettivi dell'orecchio, riesce a creare un primo sistema hardware di compressione in tempo reale, rinunciando a rivendicare qualunque brevetto in merito.

Nell'ambito del più vasto progetto Europeo EU-147 per uno standard diffusivo di radiofonia digitale, la codifica di canale per l'audio fa un passo avanti significativo con la realizzazione, nel 1989, di un codec denominato MUSICAM (*Masking-pattern adapted Universal Sub-band Integrated Coding And Multiplexing*), progettato in cooperazione dai laboratori francesi del CCETT (*Centre Commun d'Etudes de Télévision et Télécommunications*), dalla Philips, e dal tedesco IRT (*Institut für Rundfunktechnik*). L'obiettivo di tale studio è l'impiego in uno standard di diffusione di radiofonia digitale (DAB) di cui si parlerà in dettaglio più avanti nella storia degli standard diffusivi.

Sempre per il progetto Eu-147, un Gruppo di Ricerca guidato da Karlheinz Brandenburg del Fraunhofer IIS (Institut für Integrierte Schaltungen) – il prestigioso Centro di Ricerca di Erlangen (Norimberga) – stava lavorando con l'Università di Erlangen-Nuremberg (dove il prof. Dieter Seitzer si era occupato, fin dai primi anni '70, ai problemi di codifica audio) ad un progetto più avanzato. In collaborazione con altri importanti Organismi di Ricerca, come si vedrà più avanti, l'evoluzione del progetto sarà sottomessa al Gruppo MPEG con il nome ASPEC (*Adaptive Spectral Perceptual Entropy Coding*) e proposta come standard audio di MPEG.-1 che, in quel momento, era allo studio.

Tutte le ricerche alla base di queste proposte si basavano sui metodi percettivi e sull'impiego generalizzato della trasformata DCT opportunamente modificata (MDCT).

*I progressi nella fattibilità di codec video digitali: l'accordo RAI-Telettra per l'alta definizione ed il Progetto europeo EU-256*

In contemporanea con gli avvenimenti sopra citati si erano create in Italia le premesse per un'implementazione industriale di un codificatore-decodificatore (*codec*) digitale per applicazioni di HDTV. L'obiettivo che trascina il progetto e gli dà una precisa tempistica è l'idea di effettuare dimostrazioni di trasmissione televisiva in alta definizione in tecnica digitale in occasione dei Campionati del Mondo di calcio programmati in Italia per il 1990 ("Italia 90"). Lo stimolo, in questo caso, nasce anche da un'esigenza ben precisa: nessun mezzo trasmissivo (includere le fibre ottiche) era, all'epoca, in grado di trasmettere un segnale HDTV in assenza di compressione e perciò l'eliminazione delle ridondanze diventa un assoluto *must*.

Nel 1987 viene così firmato un accordo tra RAI e Telettra per sviluppi comuni nel campo dell'alta definizione televisiva, basato sulle esperienze delle due Aziende nel campo specifico. In particolare, nel Centro Ricerche RAI, era nato dal 1986 sotto la guida di Gianfranco Barbieri un laboratorio di codifica video per lo studio e l'ottimizzazione degli algoritmi di codifica tramite simulazioni, mentre da qualche anno in Telettra esisteva una Ricerca Centrale, diretta da

Francesco Molo, con forte competenza sul trattamento digitale dei segnali e sulla relativa implementazione hardware.

Subito dopo la firma dell'accordo inizia rapidamente un fiorire di studi e sperimentazioni per l'implementazione di un *codec* HDTV totalmente digitale. Nello specifico programma si evidenziano molti giovani ricercatori tra cui vanno almeno ricordati Marzio Barbero per il Centro Ricerche RAI per i suoi limpidi contributi e Silvio Cucchi, responsabile del Laboratorio "Digital Processing" della Ricerca Centrale Telettra, per le sue doti di creatività e di capacità realizzative (dimostrate anche dai molti brevetti che sarebbero stati successivamente depositati relativamente al *codec*).

Già nella seconda metà del 1988 è pronta una prima versione di *chip custom*, concepiti in Telettra ed implementati, in prima versione, da LSI Logic con la nuova tecnologia applicata agli ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) e denominata *sea of gates*.

Parallelamente, nello stabilimento di Agrate dell'allora SGS-Thomson (che diventerà poco più tardi ST-Microelectronics), a pochi chilometri dallo stabilimento Telettra di Vimercate, si inizia a sviluppare la tecnologia che permetterà a STM di diventare uno dei maggiori fornitori di *chip set* a livello mondiale.

Con i primi *chip* si poteva finalmente cominciare, per la prima volta, a fare esperimenti in tempo reale indispensabili per la messa a punto della programmata sperimentazione. Nel settembre del 1989 i risultati raggiunti saranno poi esposti nel HDTV Workshop, evento annuale promosso da qualche anno proprio da Leonardo Chiariglione che, peraltro, era già a conoscenza dei risultati raggiunti e delle relative realizzazioni.

Il progetto hardware del *codec* HDTV impostato da Telettra – conforme sia alla specifica televisiva europea (1250/50) che a quella USA (1125/60) – racchiude elementi di forte innovazione nella realizzazione hardware degli algoritmi di codifica. Inoltre, alcune idee di base legate all'organizzazione, dopo la codifica, di una trama a pacchetto dell'informazione video nonché l'introduzione, con procedure innovative, dei codici Reed-Solomon per il controllo degli errori nel processo trasmissivo a 320 Mbit/s sono stati traguardi d'eccezione per l'epoca, permettendo la trasmissione di alta qualità anche su canali rumorosi quali il satellite.

Intanto, nel settembre del 1988, Telettra e RAI si rendono promotori di un'importante iniziativa dell'organizzazione di un Consorzio, allargato ad altri attori, per un nuovo progetto EUREKA, denominato EU-256, indirizzato agli studi e realizzazioni HDTV in tecnica digitale. La Telettra è il partner industriale del Consorzio che assicura la fattibilità hardware del *codec* HDTV. Il Progetto è chiaramente in competizione con EU-95 che inseguiva ancora la soluzione analogica HD-MAC<sup>19</sup> ed a cui, ufficialmente, partecipa anche la RAI.

Nell'operazione, come parte del Consorzio, si affiancano: Telettra Española, con la guida del responsabile della Ricerca per le Reti Pubbliche Garcia Perez, Retevisión (appena nata come Divisione della Radio Televisione Spagnola per

<sup>19</sup> Per le notizie su tale progetto si rimanda allo specifico paragrafo sulla fase pionieristica della HDTV nel capitolo precedente relativo alla televisione analogica.

lo sviluppo della rete di diffusione radiotelevisiva spagnola) con il suo dinamico Direttore tecnico Jose Luis Tejerina ed infine il Politecnico di Madrid con un nutrito gruppo di ricercatori. La componente spagnola darà, nel suo complesso, un significativo contributo al Progetto EU-256.

Il Consorzio così formato svolge il suo lavoro in un clima di fervore e celerità aiutato in ciò da un senso di forte collaborazione che fa anche nascere legami di stima ed amicizia. L'obiettivo del Progetto è quello di comprimere un segnale HDTV da un valore di *bit-rate* attorno ad 1 Gbit/s<sup>20</sup> ad un valore di 70 Mbit/s (2x34 per le gerarchie dell'epoca) con l'impiego degli algoritmi di riduzione della ridondanza spaziale, per poi prendere in considerazione anche gli algoritmi di codifica predittiva e compensazione del movimento e portarlo, in una successiva versione, a 34 Mbit/s. Tali obiettivi di *bit-rate* vengono ritenuti, all'epoca, del tutto velleitari da parte degli esperti del progetto concorrente EU-95.

Il *codec* HDTV per la dimostrazione di Italia 90 impiega la DCT ed i codici a lunghezza variabile per raggiungere il primo traguardo di una *bit-rate* a 70 Mb/s. Rimanendo in questi limiti, si introducono ulteriori perfezionamenti avendo di mira l'obiettivo di un apparato sufficientemente industrializzato per consentire, a partire dall'8 giugno del '90, un'affidabile diffusione delle partite di calcio dei mondiali verso 8 sedi regionali RAI con una proiezione a grande schermo di tipo cinematografico.

Per la dimostrazione sarebbe risultato fondamentale il contributo di Seleo per la progettazione e la realizzazione dei proiettori HDTV necessari per l'evento.

I problemi di trasmissione da risolvere sono tuttavia ancora ardui perché, all'epoca, in Italia non vi era la possibilità di raggiungere in fibra ottica tutte le 8 sedi prescelte. Si decide inoltre di puntare, come parte del programma EU-256, sull'impiego del satellite sperimentale europeo Olympus dell'ESA e si pianifica una trasmissione attraverso l'utilizzo del *pay-load* a 12-18 GHz condiviso, in questo satellite, con un *pay-load* a 20-30 GHz promosso da Francesco Carassa per integrare gli studi di propagazione già effettuati da lungo tempo sul Sirio.

Si mettono pertanto a punto anche le tecniche di trasmissione via satellite per le quali non esisteva ancora uno standard digitale. L'argomento è di grande interesse per il Centro Ricerche RAI – leader in campo europeo per gli studi sui satelliti digitali – che realizza il progetto di trasmissione satellitare con il contributo fondamentale di Mario Cominetti, responsabile del laboratorio “Tecniche speciali” e di Alberto Morello (con notevoli competenze sui codici correttori) che avrebbe poi preso la guida del Centro negli anni 2000. Di essi si riparlerà più avanti quando si affronterà la storia dei sistemi diffusivi in tecnica digitale.

Tutti i traguardi raggiunti dal Consorzio EU-256 vengono riassunti in due numeri speciali (rispettivamente in italiano e inglese) della Rivista Telettra che sarebbero usciti nel giugno del 1990 pochi giorni prima della partenza dei

<sup>20</sup> Tale velocità è riferita al segnale di contributo televisivo nel cosiddetto formato 4:2:2, con un numero di bit per campione pari ad 8 ed una velocità di campionamento di 72 MHz che erano i valori con i quali si operava allora in ambito HDTV.

mondiali di calcio di “Italia 90”. I risultati via via raggiunti erano stati peraltro già presentati in molti simposi televisivi: nel giugno ‘89 a Montreux, nel settembre dello stesso anno a Torino al HDTV-Workshop, al NAB di Atlanta nell’aprile del 1990, ad Amsterdam (*IBC International Television Symposium*), oltre ad articoli o presentazioni in ambienti più specialistici.

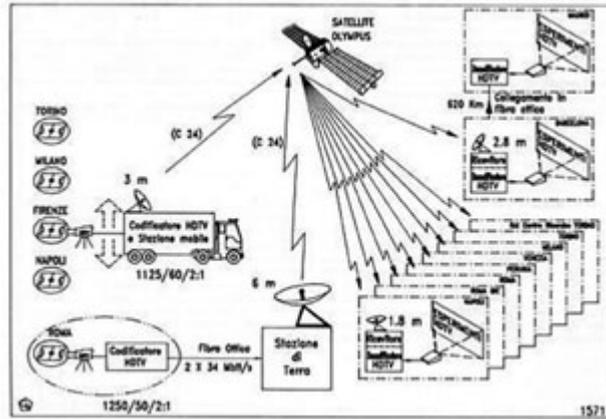


Figura 4. Impianti di copertura in HDTV nell'esperimento di Italia 90.

Con uno straordinario effetto d'immagine, tra l'8 giugno e l'8 luglio del 1990, nelle sale di visione RAI che erano state scelte – ed appositamente attrezzate con i già menzionati proiettori a grande schermo forniti dalla Seleo – vengono diffuse in alta definizione le immagini riprese sui campi di calcio di Italia 90 con i due standard di ripresa allora in uso a 1250 linee per Europa ed a 1125 linee per USA-Giappone, approntando un completo impianto di copertura dell'esperimento (Fig. 4).

In una conferenza stampa organizzata per l'occasione dalla Fiat (in quegli anni proprietaria di Telettra), Guido Vannucchi, all'epoca Direttore Generale di Telettra, non sapendo come spiegare ai giornalisti presenti il significato di “compressione” sintetizzò il concetto con la frase: “Siamo riusciti a far passare un cammello dalla cruna di un ago”!

La trasmissione via satellite a 70 Mbit/s con Olympus avviene perfettamente, peraltro con qualche patema d'animo perché il satellite aveva dimostrato una certa instabilità dell'orbita e già in due occasioni, era stato perso dal Centro di Controllo. Negli ultimi giorni prima dell'inizio della sperimentazione si verifica che il satellite era in grado, proprio ai bordi del suo *foot-print*, di “illuminare” anche Barcellona. Ciò permette, anche come doveroso riconoscimento al contributo spagnolo, di organizzare a tempo di *record* l'immissione del segnale ricevuto dal satellite in un esistente collegamento in fibra ottica da Barcellona a Madrid permettendo, in tal modo, l'approdo in alta definizione nella capitale spagnola delle partite dei mondiali alla presenza dei reali di Spagna.

La successiva introduzione della codifica predittiva con compensazione del movimento consente dopo pochi mesi di raggiungere anche l'ulteriore obiettivo di ridurre il *bit-rate* a 34 Mbit/s (od in alternativa a 45 Mbit/s per il mercato USA) e trova interesse presso la NASA che invita Telettra nel novembre del 1991 per una dimostrazione.

Successive trasmissioni sperimentali a 34 Mbit/s sarebbero poi state effettuate in occasione delle Olimpiadi di Barcellona del 1992.

I *fall-out* del progetto EU-256 – quali presentazioni a Congressi internazionali, articoli scientifici, brevetti, ecc. – sono stati numerosi e certamente hanno rappresentato una base di riferimento importante per gli sviluppi degli standard di compressione e per la percezione internazionale del salto tecnologico che era stato realizzato, sfidando anche lo scetticismo di molti attori dello scenario tecnologico mondiale.

A tale proposito, per meglio capire l'interesse con cui all'estero erano state viste queste realizzazioni, vale la pena citare alcuni significativi ricordi di Guido Vannucchi – adoperatosi per svolgere un ruolo di catalizzatore e di promotore dell'iniziativa di cui intuiva la grande portata – che si riferiscono al periodo che precede la sperimentazione di Italia 90.

Nell'autunno del 1989 al NAB (*National Association of Broadcasting*), la più importante mostra mondiale del settore, nonostante le piccole dimensioni dello stand dove Telettra e RAI presentano il prodotto, Masahiko Morizono, Direttore della Ricerca della Sony, pur legata allo sviluppo del sistema giapponese MUSE e di quello europeo HD-MAC, gli fa confidenzialmente il seguente commento “Vede: questa è la cosa più importante che viene presentata in questa *exhibition*” non convinto, evidentemente, del sistema analogico MUSE allora allo studio.

Sempre nella stessa occasione del NAB, Joseph Flaherty, personaggio tecnico di grande rilievo della CBS e fortemente coinvolto nelle decisioni sugli standard USA di HDTV, chiede di incontrare Vannucchi per uno scambio di idee sul prodotto esposto: la discussione è breve e sostanzialmente centrata su una specifica domanda: “Ma l'apparato presentato al NAB è indirizzato a diventare un prodotto industriale?”, domanda a cui fu risposto affermativamente. Dopo qualche settimana dall'incontro, presumibilmente per una pura coincidenza, gli Stati Uniti annunciano la decisione di abbandonare gli studi per l'alta definizione con standard analogico per passare allo studio di soluzioni completamente digitali.

Più in generale, i risultati dell'iniziativa fanno prendere coscienza all'industria che è giunto il momento di voltare pagina e di passare alla televisione digitale, oltre a concentrarsi sull'alta definizione, e questo è stato il più importante *fall-out* pratico del Progetto. In effetti, per l'introduzione dell'alta definizione nel mercato *consumer*, lo sforzo realizzato anticipava di troppi anni i tempi che sarebbero tornati maturi solo con l'introduzione sul mercato dei grandi schermi piatti, unici a rendere possibile una soddisfacente fruizione casalinga dell'alta definizione, altrimenti del tutto inutile e costosa.

Nell'ottobre del 1990 la Telettra viene ceduta alla società francese Alcatel che, secondo le parole di Chiariglione, “non si rende conto del gioiello che si trova tra le mani” e, in particolare, non sostiene nel modo migliore il proseguimento dell'attività sui codec per la compressione dei segnali televisivi digitali.

Nell'aprile 1991, tuttavia, per un effetto coda delle precedenti attività, Telettra USA avrebbe ricevuto un *Award* dalla *National Academy of Television Art and Science* con la seguente motivazione: “Outstanding achievements engineering development honours Alcatel-Telettra/USA for pioneering work on implementation and data compression techniques for real time television transmission”. Il

relativo premio fu consegnato (Fig. 5), durante il NAB 1991, nelle mani di Silvio Cucchi (a sinistra nella foto) e del Direttore della Telettra-USA Alberto Picchio.

Marzio Barbero del Centro Ricerche RAI, già menzionato per i suoi studi sulla scelta degli algoritmi, riceverà, nel giugno 1991 a Montreux, all'*International Television Symposium* una medaglia d'oro per i significativi contributi in tale campo.



Figura 5. Award per il codec HDTV a Telettra-USA al NAB 1991.

### *Gli standard di compressione audiovisivi del Gruppo MPEG*

“Un unico sistema audio-visivo per il mondo intero: gli occhi e le orecchie delle persone sono identici in ogni parte del mondo”. Questa era una frase che Chiariglione ripeteva spesso e con questo motto e con lo scenario al contorno sopra richiamato, si avvia il lavoro del Gruppo MPEG.

In riunioni dopo riunioni dei vari sottogruppi di lavoro, tra vivaci discussioni degli esperti – pian piano allargatisi ad un moltissimo numero di rappresentanti di tutte le aree geografiche e dei diversi settori dei media – escono in sequenza i primi standard, cercando sempre di evitare con la rapidità di emissione la nascita di soluzioni proprietarie ed il deposito di un eccessivo numero di brevetti al riguardo.

Il Gruppo, informandosi attivamente di cosa era stato già sviluppato, introduce un altro fondamentale concetto: creare per ciascun standard una *suite* integrata di protocolli, intesa come un corpo unico, per permettere il trasferimento trasparente *end-to-end*, di un segnale audio-video tenendo conto di tutte le problematiche di sistema e di vari potenziali servizi al contorno.

È importante ricordare che gli standard audio delle *suite* degli standard MPEG hanno avuto, in contemporanea, una completa accettazione anche come applicazioni a sé stanti, sia dal mondo del *broadcasting* radiofonico che dal mondo informatico per *file transfer* in Internet (si pensi al notissimo MP3 per il trasferimento di file musicali) anche se questo specifico traguardo era chiaramente negli obiettivi del Gruppo.

Al mese di novembre del 1989 vengono presentate da aziende ed organismi di ricerca, 14 proposte di *codec* video e 4 di *codec* audio per effettuare una valutazione da parte del Gruppo. Accuratamente sottoposti a *test*, sia nei riguardi della complessità di elaborazione che dal punto di vista dell'effettiva percezione soggettiva di esperti (al *bit-rate* di 1,5 Mbit/s), vengono presi in considerazione, come base per il primo standard da emettere, i *codec* che avevano dato i migliori risultati con ulteriori raffinamenti e prestazioni aggiuntive.

Nel novembre del 1992, dopo 4 anni di lavoro e 20 riunioni internazionali, viene approvato lo standard audio-video MPEG-1<sup>21</sup> studiato, in particolare, per applicazioni nei prodotti quali il Video-CD, *decoder* satellitari di prima generazione, *file transfer* audio-video o esclusivamente audio.

È interessante ricordare che, per iniziare a far lavorare l'industria, un *draft* preliminare delle specifiche – che non subì rivoluzioni sconvolgenti – era stato già emesso nel settembre del 1990.

Per il video, in cui era stato preso in considerazione solo il formato progressivo, si adottano i già menzionati algoritmi e le tecniche allo studio in vari Centri di Ricerca ed in alcune aziende, quali il concetto di macroblocco applicato a luminosità e croma, la trasformata DCT, la *motion compensation*, i codici a lunghezza variabile, ecc., il tutto avendo essenzialmente a riferimento una risoluzione dell'ordine di 320x288 (o 240) *pixel* e con velocità di 1,5 Mbit/s (vicino alla velocità di uscita di un lettore CD Audio) anche se lo standard, in linea di principio, supporta *bit-rate* alquanto più alti.

Per quanto riguarda l'audio, in prima istanza, la soluzione si era diretta verso l'impiego di uno standard MP2 (vedi nota 21) ispirato al MUSICAM (e talvolta denominato erroneamente con questo nome) ma con notevoli miglioramenti e cambiamenti di algoritmi.

Nel processo che portò all'approvazione di MPEG-1, il meglio di MUSICAM e della proposta ASPEC (presentata da AT&T, CNET, Fraunhofer IIS e Thomson consumer) confluì, assieme ad altre idee, in un nuovo algoritmo audio di compressione, più tardi passato alla storia come MP3. Anche questo algoritmo viene introdotto nello standard complessivo come possibile opzione (*Layer 3*) della Parte Audio ed esso permette, a pari qualità soggettiva, di ottenere un valore come grado di compressione (all'incirca di 11) del 40% migliore rispetto a MP2.

Per ciò che concerne la qualità musicale offerta da MP3 in funzione del *bit-rate* adottato, gli amanti della musica più esigenti sostengono che a 128 kbit/s l'audio è ancora troppo compresso e che sono necessari 192 kbit/s per potere paragonare la qualità a quella di un CD il quale viene assunto come riferimento per una qualità ottimale non compressa.

Già alla fine del 1993, erano apparsi in Internet *file* MP2 (decodificabili con un *decoder* software che poteva operare in tempo reale sulle *workstation* Sun). Bisognerà invece aspettare fino agli inizi del 1995, a standard MPEG-1 già approvato e pubblicato da tre anni, per iniziare a vedere viaggiare in rete *file* audio MP3. Tale ritardo è stato determinato dalla complessità computazionale dell'algoritmo rispetto ai computer *consumer* dell'epoca che non permettevano la decodifica *real-time* del flusso MP3.

Il *boom* dello standard audio MP3 si avrà nel 1999 con la nascita di implementazioni software del *decoder*, ad esempio quella di Winamp e, soprattutto, con quello di

<sup>21</sup> Il nome ufficiale di MPEG-1 è ISO/IEC 11172/ articolato in 5 Parti: 1-System; 2-Video; 3-Audio, 4-Reference software; 5-Software simulation. La parte Audio, a sua volta, contiene tre differenti *Layers* in cui, più tardi, compariranno i nomi MP2 ed MP3 che derivano dall'appartenenza degli stessi allo standard MPEG e dal numero del *Layer* di cui fanno parte.

Napster per lo scambio di file in modalità *peer-to-peer*. Il relativo software si diffonde in modo esponenziale tra gli utenti di Internet permettendo il *play-back*, l'archiviazione, la creazione e lo scambio di musica con buona qualità e velocità compatibili con la Rete dell'epoca, senza dover attendere tempi infiniti per il caricamento. Nasce in quegli anni, con il *peer-to-peer* il delicatissimo e fondamentale problema della protezione dei diritti di proprietà intellettuale che vedrà Chiariglione giocare ancora, dopo molti anni dalla nascita di MPEG, importanti ruoli internazionali.

Nel 1994 viene approvato MPEG-2<sup>22</sup>. A partire già dal 1990, in parallelo a MPEG-1, era, infatti, stato avviato lo studio e l'analisi di un secondo standard, definito appunto con il nome MPEG-2, proiettato ad estendere la tecnologia del primo al *full quality broadcasting* per SDTV (*Standard Definition* e video interlacciato) con *bit-rate* ipotizzati dell'ordine di 10 Mbit/s. Un futuro MPEG-3 avrebbe successivamente dovuto affrontare l'alta definizione, ma il raggiungimento di obiettivi più ambiziosi avrebbe portato ad incamerare anche l'HDTV nello standard come Livello di MPEG-2.

Va ricordato che un vincolo per la soluzione da adottare era che il *decoder* fosse concepito in modo tale da essere compatibile con un segnale codificato in MPEG-1. Conseguentemente MPEG-2 sarebbe così divenuto basilare per prodotti *consumer* quali i *codec* per televisione digitale ed i DVD.

Nel lavoro di standardizzazione per MPEG-2, oltre all'affinamento di tutti gli algoritmi e all'aumento di *bit-rate*, si aggiunge un'importante e rivoluzionaria novità: nella Parte 1 (*Sistema*), viene definito, il cosiddetto *Transport Stream* (TS) ossia un formato standard a pacchetti di lunghezza fissa per video, audio e dati il cui obiettivo è consentire la moltiplicazione di più programmi digitali che rimangono uniti per l'archiviazione e la trasmissione.

La concezione del mondo analogico in cui ogni banda di frequenza assegnata nella canalizzazione viene messa a disposizione per un singolo programma (e perciò, nel caso digitale, per un solo *Transport Stream*) è definitivamente superata ed il mondo della televisione digitale, lasciando del tutto inalterata la precedente canalizzazione radio, è in grado di aumentare i programmi diffusi per merito della compressione. Tale protocollo, trasportando anche i dati digitali che ne descrivono i contenuti, avrebbe successivamente rappresentato uno strumento fondamentale per le famiglie di standard diffusivi DVB (nati in Europa) ed ATSC (nati in USA) di cui si parlerà nel seguito, permettendo anche una serie di servizi ausiliari per l'utente rispetto al mondo della televisione analogica.

In campo audio, inoltre, dopo qualche anno dalla prima uscita di MPEG-2, sarebbe stata introdotta nello standard un'aggiunta di grande interesse rispetto

<sup>22</sup> Il nome ufficiale dell'intero corpo di standard della *suite* MPEG-2 è ISO/IEC 13818, articolato in varie "Parti" che vale la pena citare per avere l'idea della complessità e completezza della *suite* di standard studiati e dei relativi servizi: 1 – *System (Transport-Stream, Synchronization audio-video, ecc.)*; 2 – *Video*; 3 – *Audio*; 4 – *Conformance testing*; 5 – *Reference Software*; 6 – *Extension to Digital Storage Medium*; 7 – *Advanced Audio Coding*; 8 – *The 10 bit Video*; 9 – *Extension for real time interface for decoders*; 10 – *Conformance extensions for Digital Storage Media Command and Control*, 11 – *Intellectual Property Management and Protection on MPEG-2*.

alla versione base del 1994: oltre ai livelli audio già contemplati e direttamente recepiti da MPEG-1, la nuova Parte 7 di MPEG-2 (aprile 1997) introduce l'alternativa audio denominata AAC (*Advanced Audio Coding*), finalizzata dal Gruppo MPEG con riferimento agli studi in cooperazione di un numeroso gruppo di laboratori (Bell Labs della AT&T, Fraunhofer IIS, Dolby, Sony e Nokia, ecc.).

Complessa e ardua sarebbe risultata la stesura dello standard MPEG-2, con la necessità di una profonda conoscenza di tutti i riferimenti incrociati, lavoro condotto con grande professionalità e determinazione – come *editor* e come responsabile del Gruppo che lo produce – da una ricercatrice italiana, Marina Bosi, allora alla Dolby, diventata poi Presidente nel 1998 della già menzionata AES (*Audio Engineering Society*) e quindi *Consulting Professor* alla Stanford University.

Negli anni immediatamente precedenti, Chiariglione, sempre infaticabile per favorire tutto ciò che poteva essere abilitante per gli sviluppi degli standard MPEG in corso di studio, lancia e segue due progetti europei, rispettivamente in ESPRIT ed in EUREKA.

Il primo progetto, lanciato alla fine del 1988, è denominato COMIS (*CODing of Moving Images for Storage*) ed è mirato essenzialmente a supportare la standardizzazione in corso di MPEG-1 con uno sfruttamento e valorizzazione del futuro standard da parte di tutta l'industria europea dei media. Un particolare obiettivo è la progettazione concettuale di un circuito LSI (*Large Scale Integration*), in linea con lo standard in corso di definizione, per permettere la realizzazione di semplici *decoder* per uffici ed abitazioni con accesso ad una varietà di *media* a velocità di trasferimento di 1,5 Mbit/s.

Il secondo progetto lanciato da Chiariglione alla fine del 1990, nell'ambito Eureka, è il progetto VADIS (*Video Audio Digital Interactive System*) teso a far adottare all'Europa il futuro standard MPEG-2 con lo sviluppo di una tecnologia abilitante europea per la televisione digitale sotto i 10 Mbit/s, inclusa l'estensione alla necessaria componentistica. Il progetto, con la partecipazione iniziale di CSELT, IRT, RAI, ReteVision e BBC, viene approvato, dopo una certa resistenza da parte francese, e prende anche il nome di EU-625 diventando il canale per una comune posizione europea in relazione ai temi trattati in MPEG-2. Per tali obiettivi viene creato uno Strategic Advisory Group presieduto da Cesare Mossotto, all'epoca Direttore Generale del CSELT.

Nel 1998 è definitivamente approvata la *suite* di standard audio-video MPEG-4, il cui studio era iniziato nel 1996, orientata essenzialmente ad ottimizzare la codifica di sorgente a bassi *bit-rate* (fino a 64 kbit/s) con la possibilità inoltre di operare anche a *bit-rate* molto alti, come nel caso dello *Studio Profile*. Il nuovo standard si indirizza, all'epoca, ad applicazioni quali l'impiego ottimizzato nella Rete di *file* video ed alla possibilità di introdurre il *mobile-video* nei sistemi cellulari.

Cinque anni dopo, a metà del 2003, viene approvato uno standard sviluppato da un gruppo di lavoro congiunto tra il Gruppo MPEG (ISO/IEC JTC1) ed il Gruppo VCEG (*Video Coding Expert Group*) di ITU-T che dà luogo alla Raccomandazione AVC (*Advanced Video Coding*). Tale Raccomandazione viene

introdotta, in MPEG, come Parte 10, dello standard MPEG-4<sup>23</sup>. La sua capacità di compressione – circa doppia a pari qualità rispetto ad MPEG-2 – orienta questa parte dello standard ad applicazione per la diffusione di programmi televisivi in HDTV rendendoli molto più fruibili per il mondo *consumer*.

Lo standard MPEG-4 introduce alcune novità importanti quali la gestione dei DRM (*Digital Right Management*). Inoltre va osservato che la maggior parte delle caratteristiche MPEG-4 sono opzionali e lasciate alla discrezionalità degli sviluppatori, garantendo l'interoperabilità a seconda dei Profili e dei Livelli di cui si è già parlato.

Cosa ci si aspetta in questo campo per il futuro? Sono allo studio sistemi di compressione ad alta efficienza ed in particolare, in collaborazione tra gruppo MPEG ed ITU-T, il sistema HEVC (*High Efficiency Video coding*) che promette un'ulteriore riduzione, a pari qualità, di metà *bit-rate* rispetto ad MPEG-4-AVC. Si pensa che attorno al 2013 possa diventare uno standard MPEG proiettato, in particolare, ad applicazioni quali l'*Ultra High Definition* cui si accennerà alla fine di questo capitolo.

A conclusione di questa carrellata sull'importanza del Gruppo MPEG e sulla storia della compressione in Italia e nel mondo, va ribadito come i relativi standard abbiano rappresentato una pietra miliare nella storia delle standardizzazioni. Essi, non solo hanno avuto un riconoscimento a completo carattere internazionale, ma sono anche stati condivisi da parte di tutti i grandi e fortemente differenziati settori dei *media* – telecomunicazioni *computer*, *broadcasting*, e mondo *consumer* – con un risultato di straordinario valore storico per la diffusione della multimedialità e per l'aiuto dato all'industria nella costruzione dei relativi prodotti.

Nei suoi ventidue anni di attività, il Gruppo MPEG ha, infatti, stimolato il progresso di un impressionante portafoglio di tecnologie con notevoli risvolti di natura economica.

Chiariglione, per gli straordinari risultati raggiunti dal Gruppo MPEG da lui guidato, ha ricevuto moltissimi riconoscimenti<sup>24</sup>, ma per tutti vale la pena citare la motivazione dell'*Award* della Kilby Foundation del 1998: "Italian visionary, technology entrepreneur, world telecommunication's leader who is known as the 'Father of MPEG', Moving Pictures Expert Group, which established standards for digitizing and compressing audio and video thus creating the path for worldwide use of HDTV".

Per capire la considerazione in cui internazionalmente è stato riconosciuto il ruolo di Chiariglione per il lavoro di standardizzazione svolto dal Gruppo MPEG è significativo citare anche una frase del discorso di presentazione di un professore tedesco all'atto della consegna, nel 1999, del premio della Edward Rhein Foundation: "Without MPEG there would be no digital television. Without Leonardo Chiariglione there would be no MPEG".

<sup>23</sup> MPEG-4 indicato anche come MPEG-4/AVC è uno standard emesso direttamente da ITU-T con il nome H.264 ed il cui nome completo è ITU-Recommendation H.264 | ISO/IEC 144964. In ambito MPEG la designazione formale di AVC è ISO/IEC 14496-10.

<sup>24</sup> La lista sarebbe troppo lunga e si rimanda al sito <http://leonardo.chiariglione.org/awards/index.htm>.

## *I nuovi standard diffusivi digitali*

### *Quadro di riferimento storico per gli standard di diffusione digitale*

La codifica di sorgente, definita in campo audiovisivo come “compressione” del segnale, è il primo fondamentale passo verso un mondo audiovisivo completamente digitale. A questo punto si schiudono le condizioni per sviluppare, in campo radiofonico e televisivo, sistemi diffusivi in grado di trasmettere informazioni compresse e gradualmente sostituire – con notevoli vantaggi sulla quantità delle informazioni veicolate – tutto ciò che viaggia ancora in forma analogica.

L'emissione dei più importanti standard diffusivi avviene, anche in questo caso (come per la compressione), in tempi relativamente contenuti, a partire dagli inizi degli anni '90.

Ciononostante, il cammino verso la digitalizzazione ed il completo *switch-off* dell'analogico è ancora un percorso lungo e faticoso, in particolare per i problemi di compatibilità con il passato, e dovranno passare ancora molti anni prima che si completi in tutto il mondo sia per la televisione che per la radio.

Sfortunatamente, a differenza di quanto verificatosi per gli standard MPEG, nel campo degli standard diffusivi Europa, USA ed Asia non riescono a trovare una strada comune e viaggiano con strade differenti fermo restando, in ogni caso, la scelta degli standard MPEG come codifica di sorgente al sistema diffusivo.

Un primo fondamentale obiettivo del DVB (*Digital Video Broadcasting*) nello studio dell'insieme dei nuovi standard diffusivi – che, come già detto, tengono conto degli standard MPEG ma non li inglobano – è quello di tener ben presenti, oltreché il classico *broadcasting* terrestre via etere, anche tutti i nuovi possibili mezzi alternativi di diffusione che si stanno rapidamente affermando in campo analogico quali il satellite, il cavo coassiale, l'ADSL su coppie e la fibra ottica nonché anche le applicazioni innovative quali *visual-radio*, *mobile-television*, alta definizione, ecc.

Le tecnologie digitali introdotte per il canale trasmissivo nei nuovi standard sono al limite delle più avanzate conoscenze teoriche del momento, dall'impiego dei più avanzati codici correttori (singoli o concatenati) all'uso di modulazioni altamente innovative.

Elemento essenziale nella scelta dei tipi di modulazione da impiegare è, da un lato, l'obiettivo del miglior utilizzo possibile dello spettro e, dall'altro, una forte resistenza ai disturbi ed alle distorsioni di varia natura conseguenti alla propagazione. A tale riguardo si punta il più possibile, per gli standard televisivi e radiofonici per diffusione terrestre via etere, ed anche per altre applicazioni, ad una modulazione indicata con il nome di OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) in grado di resistere molto bene ai disturbi del canale trasmissivo conseguenti alla propagazione (cammini multipli, interferenze, rumori impulsivi, ecc.). Essa offre inoltre un ottimo sfruttamento dello spettro ciò che, assieme alla compressione, contribuisce alla moltiplicazione del numero di programmi digitali, a pari banda occupata, rispetto ai sistemi analogici.

Come molte altre concezioni rivoluzionarie, la modulazione OFDM – ossia l'adozione di una trasmissione parallela del flusso di dati su un elevatissimo numero di portanti in quadratura tra loro (da cui anche il nome di *multicarrier*)

– risale, come prima idea, a più di 40 anni fa in un brevetto del 1966 di Robert Chang dei laboratori Bell, idea ripresa un anno dopo e meglio sviluppata teoricamente da Bloom Salzberg.

Peraltro l'enorme complessità di implementazione pratica del nuovo sistema di modulazione sarebbe stata superata solo dopo un fondamentale articolo di S. Weinstein e Paul Ebert del 1971 che ne evidenzia una proprietà chiave, con conseguenti riflessi applicativi: la parte circuitale più complessa e pesante dell'intero sistema può essere descritta matematicamente attraverso una trasformata inversa discreta di Fourier (IDFT), a sua volta eseguibile con un'elaborazione numerica del segnale d'ingresso. Tale equivalenza semplifica drasticamente i problemi d'implementazione trasferendo le difficoltà ad un processamento in tempo reale dei dati d'ingresso realizzabile con moderni processori sempre più veloci.

Una peculiarità specifica della Modulazione OFDM è quella di permettere reti isofrequenziali, caratteristica quasi inimmaginabile in tecnica analogica (a parte poche eccezioni in campo radiofonico), dove per la distribuzione di un programma è necessario ricorrere ad un *cluster* di frequenze per evitare interferenze tra zone adiacenti.

Ovviamente per i nuovi standard diffusivi ci si pongono anche obiettivi collaterali quali l'interattività, l'invio di dati informativi sulla programmazione nonché la gestione di nuove modalità di fruizione (quali IP) che, nel tempo, si affermeranno sempre di più.

#### *Standard diffusivi in campo radiofonico*

Il primo standard digitale in assoluto completamente innovativo è il DAB (*Digital Audio Broadcasting*) che, pur essendo stato concepito per la radiofonia, rappresenta anche il capostipite, come impostazione concettuale, dei successivi standard diffusivi in campo radiofonico e televisivo.

Il DAB è approvato definitivamente in ambito ITU nel 1994, ma ha radici molto lontane.

I primi sviluppi per una diffusione radiofonica digitale risalgono al 1981 presso il già citato, nel paragrafo sulla compressione audio, Istituto di ricerca tedesco IRT. Nel 1987 il progetto viene ripreso con la denominazione DAB nell'ambito del più generale Progetto europeo Eu-147 e portato avanti da un Consorzio che assumerà la denominazione di DAB. Come già accennato, gli iniziali studi sullo standard audio MUSICAM per Eu-147, avevano portato a definire il nuovo standard MP2 nell'ambito della *suite* MPEG-1 ed è appunto MP2 lo standard MPEG adottato nello standard diffusivo DAB, anche se, prima della definitiva approvazione, sarebbe stato disponibile il nuovo e più efficiente MP3.

A parte questo particolare nella scelta del sistema di compressione audio, lo standard diffusivo radiofonico DAB contiene, per l'epoca, molte novità di sistema e numerose innovazioni tecnologiche.

Per l'aspetto di sistema è importante innanzitutto sottolineare come il DAB rappresenti il primo standard a valenza multimediale in grado di trasmettere, nella banda assegnata, sia suoni che immagini e/o clip video.

Al fine di un più rapido decollo del sistema e per consentire una migliore qualità, lo standard prevede l'impiego di un campo di frequenze totalmente diverso dalla affollatissima banda FM, spostandosi come allocazione in una piccola porzione della banda VHF (usata tipicamente per applicazioni televisive) e nella banda L (1,5 GHz).

Il codice correttore adottato nello standard è convoluzionale con decodifica Viterbi. La modulazione impiegata è il già citato sistema OFDM con 1536 portanti nella banda di 1,5 MHz ed una modulazione a 4 livelli (QPSK) per ciascuna delle portanti.

Alcuni *test* pilota, a cui partecipa attivamente il Centro Ricerche della RAI, vengono effettuati a partire dal 1995. Inoltre la RAI decide anche di partire con una rete sperimentale in Val d'Aosta, ma il DAB inizia a decollare come impiego effettivo soltanto in Gran Bretagna.

Nel 1997, per presidiare meglio l'aggiornamento e la promozione dello standard, il Consorzio originale viene allargato a più di 30 Paesi ed il nome assunto sarà quello di "World DAB Forum" trasformato nel 2006 in "World DMB Forum", in cui DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*) è l'acronimo di una versione avanzata di DAB (proposta dall'industria coreana). In essa, senza stravolgere la precedente impostazione, si adotta come codifica di compressione il già menzionato *Advanced Audio Coding* (AAC) – nel frattempo introdotto dal Gruppo MPEG (vedi nota 22) come Parte 7 di MPEG-2 – e si migliora la struttura di protezione degli errori del canale trasmissivo – con l'esperienza acquisita dagli standard televisivi – aggiungendo i codici correttori Reed-Solomon.

Di questa impostazione aggiornata allo stato dell'arte avrebbe successivamente goduto oltre al DMB – approvato nel 1995 e maggiormente orientato a prestazioni multimediali di "*visual radio*" – anche il nuovo standard DAB+ esclusivamente rivolto ai soli programmi radiofonici che sarà definitivamente approvato nel 2007 con un insieme di prestazioni decisamente superiore rispetto all'ormai storico DAB di 23 anni prima<sup>25</sup>.

Con i due nuovi standard si è in grado di ottimizzare meglio, a parità di occupazione di banda, lo sfruttamento dello spettro disponibile con un numero notevolmente maggiore, in particolare, con il DAB+, di programmi trasmissibili.

Con gli standard radiofonici menzionati, il mondo della radiofonia si prepara ad un radicale mutamento e si apre maggiormente a nuove possibilità di fruizione diverse dal passato. In particolare, con tutti i nuovi standard a caratteristica multimediale, si è spesso realizzata una "fusione" con altri media originariamente non destinati ad usi specificamente radiofonici – quali, ad esempio, stazioni radiofoniche su Internet, programmi radiofonici sul multiplo televisivo dei sistemi diffusivi satellitari e terrestri, ecc. – in grado di fornire soluzioni multiservizio caratteristiche della Società dell'Informazione.

<sup>25</sup> Il DAB prevede la creazione di quattro blocchi da 1,5 MHz (all'interno di un canale già televisivo in banda VHF). Ogni blocco è in grado di portare 6-7 canali musicali stereofonici in MP2 a 192 kbit/s con qualità CD adottando la modulazione OFDM a 4 livelli. Con la medesima banda, se si adotta DAB+, il numero di canali può raddoppiare impiegando lo standard AAC e le migliori prestazioni del nuovo sistema di controllo degli errori.

Una larga quantità di modelli di ricevitori di varie forme e prestazioni è già presente sul mercato coreano che per primo ha studiato lo standard DMB ed è pronto ad invadere il mercato italiano. In Italia è previsto – per specifico Regolamento emesso da AGCOM (Autorità per le Garanzie nelle COMUNICAZIONI) – che il DMB sia destinato a fornire servizi video solo nel caso in cui siano strettamente connessi al relativo programma radiofonico (meteo, traffico, ecc.). Ciò per evitare che tale standard diventi un sostitutivo della *mobile television*, impiego che verrebbe a cannibalizzare le applicazioni radiofoniche per le quali è stata assegnata la banda ai sistemi DAB e suoi derivati.

Al momento attuale, l'Italia – che è il paese che maggiormente soffre di un eccessivo affollamento in banda FM – non è stata ancora in grado di liberare tutte le bande assegnate agli standard della famiglia DAB. È riuscito a liberare con ritardo la sola banda L (1,5 GHz) che, tuttavia, viene considerata fortemente antieconomica rispetto alla banda VHF la quale, al contrario, riuscirà ad essere liberata completamente solo alla fine del completo *switch-off* televisivo e quindi non prima del 2012.

Dal 2009 varie stazioni DMB o DAB+ sono in esercizio sperimentale in Italia sia da parte di RAI che di stazioni private, in attesa della riallocazione di frequenze. Un importante accordo di cooperazione firmato tra RAI e le principali associazioni di radio private che ha dato origine all'ARD (Associazione Radio Digitale) dovrebbe facilitare la transizione verso la radiofonia digitale destinata, in ogni caso, ad arrivare con molto ritardo rispetto ad altri Paesi.

Prima di concludere questa carrellata storica sugli standard diffusivi radiofonici, ci si può chiedere quale sarà il destino della popolarissima banda FM tuttora esclusivamente impiegata ancora in tecnologia analogica. In USA è stato approvato ormai da anni uno standard, denominato IBOC, per l'utilizzo di tale banda e studiato, in particolare, per la digitalizzazione progressiva di singoli programmi FM, in modo da aumentare i gradi di libertà. Nel paese vi sono applicazioni abbastanza estensive dello standard, anche se si è lontani da un completo *switch-off*.

In Europa si deve dubitare sul reale interesse ad operare una tale trasformazione perché uno standard equivalente denominato DRM (*Digital Radio Mondiale*) – inizialmente orientato alle bande AM (Onda Media e Onda Corta) e successivamente esteso alla banda FM (banda II VHF) – è in discussione da moltissimi anni senza progressi sostanziali e sembra essere finito su un binario morto. Molto recentemente risulta che le discussioni tendano a meglio convergere su uno standard più avanzato denominato DRM+ – applicabile alle diverse bande FM (I, II e III) – che potrebbe rappresentare la vera alternativa futura per le stazioni locali.

In ogni caso, il DRM+ non sarebbe certamente da considerarsi in competizione con i sistemi DMB/DAB+, in quanto, come già accennato, ha un obiettivo diverso e più limitato. Il suo destino sarebbe quello di allocarsi nel campo d'interesse dei piccoli gestori radiofonici con stazioni individuali e con qualità equivalente a quella dell'attuale FM avendo il vantaggio di poter operare, stazione per stazione, la digitalizzazione in presenza di preesistenti canali analogici FM.

In generale, volendo confrontare i sistemi della famiglia DAB al DRM, si potrebbe fare un parallelismo storico rispetto al passato. Il DAB e, soprattutto i

sistemi derivati, se trasmessi nelle nuove bande con un *bit-rate* adeguato – almeno 128 kbit/s e forse 192 kbit/s, come già detto, per essere paragonabile alla qualità CD – potrebbero essere confrontabili all'introduzione, nel dopoguerra, della FM in banda UHF nel preesistente scenario AM in Onde Medie (OM) allora imperante. In tale visione, l'attuale banda FM, in analogia ai programmi OM dell'epoca, rimarrebbe disponibile in DRM+ per canali singoli di minor qualità rispetto alle prestazioni qualitative maggiori del DAB+.

### *Standard diffusivi in campo televisivo: il DVB Project*

In analogia al Gruppo MPEG, anche se con diversi meccanismi di funzionamento, un unico organismo sovranazionale denominato "DVB Project" (*Digital Video Broadcasting Project*), nato nel 1993, permette la creazione di una *suite* di standard diffusivi aperti per televisione digitale. Come già detto, il mondo USA non si aggrega e preferisce seguire per i nuovi standard digitali la via del Consorzio ATSC creato, come già detto, nel 1982 col fine di sviluppare standard volontari per una televisione avanzata (cioè digitale) a livello SDTV e HDTV.

Il DVB Project nasce come Consorzio di oltre 250 membri<sup>26</sup> (originariamente in massima parte europei ma poi allargati a livello mondiale) e le specifiche, studiate ed approvate dal Consorzio, sono inviate per l'approvazione formale ad un JTC (*Joint Technical Committee*) tra ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), CENELEC (*Commission Européenne de Normalisation Électrique*) e della più volte citata EBU (*European Broadcasting Union*) traducendosi in Norme e Standard Tecnici pubblicati e resi disponibili a tutti i classici Organismi di standardizzazione.

La nascita del consorzio DVB (*Digital Video Broadcasting*) operante dapprima sul fronte europeo ed, in seguito, su base mondiale offre ad industria, gestori di servizi, università e centri di ricerca un efficiente forum su cui concentrare gli sforzi per lo sviluppo di un sistema completo ed articolato di standard tecnici che coprano l'intero spettro della radiodiffusione: terrestre, satellite, cavo, multimedia ed interattività.

I compiti organizzativi per il lavoro del Consorzio sono delegati alla EBU che assume pertanto un ruolo importante e delicato nel cammino degli standard. diffusivi.

L'obiettivo DVB – attraverso un forum di industrie, gestori servizi ed accademia – è la formulazione di specifiche per i sistemi di distribuzione di *media* digitali che coprano qualunque mezzo trasmissivo in un'ottica più allargata del puro *broadcasting*.

Senza entrare in ulteriori dettagli e complessità del meccanismo di funzionamento, si può senz'altro dire che la struttura di tale organismo è più articolata di quella del Gruppo MPEG, anche se i metodi di lavoro che sono stati individuati hanno, almeno per molti anni, funzionato bene e le specifiche, per i principi adottati, sono state portate avanti con notevole celerità.

Una filosofia importante del DVB Project è quello di impiegare al massimo grado gli standard emessi (od in previsione di emissione) da parte del Gruppo

<sup>26</sup> Per sostenere tutte le spese del consorzio ogni membro partecipante paga una quota annuale.

MPEG. In particolare, il DVB assume come protocollo di ingresso per i suoi standard diffusivi (almeno per quelli già emessi), il già citato *Transport Stream* della *suite* MPEG-2 che risulterà un elemento fondamentale di riferimento nello sviluppo di tutti gli standard diffusivi.

Altro aspetto interessante di carattere organizzativo è l'adozione di una lingua unificata (inglese) e l'assenza di documenti cartacei (*paper-less*) essendo anche la massima parte del lavoro svolta via Internet.

A valle dei notevoli risultati finora raggiunti, si può affermare che i meccanismi di lavoro e le esperienze condivise tra i vari partecipanti hanno portato a "specifiche" *market driven*, caso unico nella storia della standardizzazioni. A tale riguardo, una delle chiavi del successo è stata l'organizzazione in due differenti Moduli: un *Commercial Module* individua prestazioni e livelli di costo desiderabili affinché un prodotto possa aver successo, mentre spetta ad un *Technical Module* il compito di creare delle specifiche tecniche in grado di soddisfare le richieste commerciali che vengono poi controllate dal primo Gruppo.

Il progetto DVB inizia la prima fase del suo lavoro nel settembre del 1993 avendo come *chairman* generale Peter Kahl. Personaggio chiave del DVB è il prof. Ulrich Reimers (Fig. 6), *chairman* del *Technical Module*, che per il fruttuoso lavoro svolto ha raccolto, in analogia a Chiariglione, una lunga serie di riconoscimenti internazionali.

Dal 1989 al 1993 Direttore Tecnico della NDR (*Norddeutscher Rundfunk*) in Amburgo, uno dei maggiori *broadcaster* tedeschi, dal 1993 il prof. Reimers è docente alla *Technische Universität Braunschweig* e *Managing Director* dell'Istituto di Tecnologia delle Comunicazioni INT (*Institut für Nachrichtentechnik*). Attraverso la sua conduzione, il DVB ha rappresentato un ottimo esempio di cooperazione europea, generando e continuando a generare una lunga serie di standard particolarmente innovativi per la diffusione televisiva in tecnica digitale.

I primi tre standard di cui si occupa con urgenza il DVB interessano il satellite, il cavo coassiale ed il *broadcasting* terrestre, cercando sempre, per quanto possibile, di mantenere nei vari standard lo stesso tipo di impostazione e tenendo accuratamente in conto i problemi di compatibilità ed interconnessione tra le



**Figura 6.** Ulrich Reimers (a destra) consegna un premio a Nicolas Well della BBC per il contributo allo standard del Digitale terrestre.

diverse piattaforme, al fine di ottenere il massimo risparmio di costo a beneficio di manifatturieri ed utenti.

Per tutti questi sistemi di prima generazione si adotta come banda base di ingresso al sistema la *suite* MPEG-2 in tutte le sue Parti Audio, Video e *Transport stream* che viene sposato anche se con alcune restrizioni. È pertanto corretto dire che il DVB adotta e non ingloba gli standard MPEG che sono un corpo separato di specifiche.

Gli standard DVB, in relazione alla particolare *suite* audio-video MPEG adottata, si concentrano sulla caratterizzazione e sulle specifiche del canale trasmissivo (scrambler, codici correttori di errore, tipo di modulazione, ecc.) considerato più idoneo allo specifico mezzo diffusivo adottato (DVB-S per il satellite, DVB-C per il cavo coassiale, DVB-T per il terrestre, ecc.). La lettera dopo DVB indica il mezzo trasmissivo a cui è riferito lo standard e, solo successivamente, i numeri 1 o 2 avrebbero indicato se di prima o seconda generazione.

In aggiunta, gli standard DVB si preoccupano di specificare (DVB-SI) anche i sistemi per il trasporto dei cosiddetti “metadati” indicati con il nome SI (*Service Information*) ed indispensabili per realizzare un EPG (*Electronic Programme Guide*). Altri standard DVB identificano l’impiego di canali di ritorno specifici per ogni mezzo impiegato (DVB-RC) e supportano anche vecchie tecnologie quali il Teletext.

Altri aspetti importanti e delicati del DVB Project sono gli standard per i sistemi di accesso condizionato (DVB-CA) e la definizione di una *Common Interface* fisica per i contenuti criptati. Di grande importanza è stata la definizione di una piattaforma multimediale (*Multimedia Home Platform, DVB-MHP*) per lo sviluppo di applicazioni indirizzate all’utente attraverso un’interfaccia *middleware* che ne rende indipendente lo sviluppo.

Vanno infine citati gli standard per i sistemi di *Content Protection* e di *Copy Management*.

Si tratta, come si può dedurre dai cenni riportati, di un consistente corpo di standard portato avanti dal DVB Project in tutti questi anni.

Agli inizi degli anni '90 è ormai chiaro che la tecnologia diffusiva satellitare – che si era rapidamente sviluppata in analogico – si sarebbe aperta con rapidità alla tecnologia digitale per moltiplicare il numero di canali e ridurre quindi i costi di affitto di un transponder. Analoghi discorsi valgono per il cavo. In tutti e due i casi i minori problemi di compatibilità col passato e le poche difficoltà di gestione della transizione, avrebbero portato ad una loro sollecita introduzione. Inoltre la maggior semplicità dei problemi tecnici da affrontare ed il clima di regolamentazione meno pressante inducono ad anticipare i tempi rispetto al *broadcasting* terrestre pur essendo all’epoca quest’ultimo il principale sistema di diffusione nei vari Paesi.

Il primo standard portato avanti dal DVB Project è pertanto quello satellitare (DVB-S) approvato (come prima *release*) nel dicembre 1993 e concretizzato, dopo studi e sperimentazioni iniziati prima degli anni '90, mentre erano in via di definizione le formalizzazioni del Gruppo DVB concluse nel settembre dello stesso anno.

È importante sottolineare che un vincolo posto allo standard era quello di un impiego del tutto trasparente dei satelliti preesistenti (già in orbita) nati per

trasmissioni analogiche. Una qualunque necessità di modifica che avesse toccato il satellite per soddisfare lo standard avrebbe ritardato l'impiego del digitale di moltissimi anni poiché il ciclo di modifica e il lancio di un satellite specializzato avrebbero richiesto un periodo di tempo molto lungo.

Le specifiche DVB-S descrivono gli algoritmi per la protezione degli errori (codifica di canale) ed il tipo di modulazione da impiegare. Per i codici correttori si opta per un concatenamento dei due tipi di codici; Reed-Solomon e convoluzionale con decodifica Viterbi. La modulazione scelta è ad unica portante con 4 livelli di modulazione (QPSK)<sup>27</sup> in modo che si abbia un involuppo quasi costante per meglio adattarsi alle caratteristiche non lineari dell'amplificatore di uscita del transponder satellitare. Il numero modesto di livelli adottato è, peraltro, adeguato per introdurre in un transponder satellitare un intero multiplo di programmi in luogo del singolo programma analogico.

Per quanto riguarda lo standard, esso si preoccupa di definire le specifiche del solo strato fisico ed il sistema prevede, come detto, l'impiego del *Transport stream* MPEG-2, ossia il multiplo di un certo numero di programmi digitali in luogo del singolo programma analogico.

Per quanto riguarda lo standard, esso si preoccupa di definire le specifiche del solo strato fisico ed il sistema prevede, come detto, l'impiego del *Transport stream* MPEG-2, ossia il multiplo di un certo numero di programmi digitali in luogo del singolo programma analogico.

Il Centro Ricerche RAI è presente nel consorzio fin dai suoi primi passi e figura tra i primi firmatari del *Memorandum of Understanding* del DVB Project.

Mario Cominetti guida in ambito DVB lo sviluppo dello standard di prima generazione per il satellite ed inizia ad interessarsi alle più complesse problematiche per il terrestre. Il suo sostanziale contributo per il satellite fa seguito agli studi già menzionati prima del 1990 e convogliati nell'ambito del Progetto EU-256 per le sperimentazioni satellitari in occasione di Italia 90. Per tutta la sua attività in questo campo, Cominetti (Fig. 7) riceve ad Amsterdam, all'IBC (*International Broadcasting Convention*) del settembre 1994, il "John Tucker Award" per "Outstanding contribution to the establishment of standard for digital transmission systems for radio and television terrestrial and satellite channels".

Pochi mesi dopo, nella primavera del 1995, parte in Europa il primo servizio DVB-S lanciato dal gestore francese Canalplus, permettendo la distribuzione



**Figura 7.** Mario Cominetti (a sinistra) del Centro Ricerche RAI riceve il "John Tucker Award" dal Presidente del Premio.

<sup>27</sup> In realtà il sistema è più flessibile e propone anche 8 e 16 livelli a scelta dei *broadcaster*, anche se il 4PSK è di gran lunga il sistema più adottato.

di una ricca offerta di canali televisivi digitali ad un largo pubblico con nuovi decoder digitali il cui costo decrescerà rapidamente negli anni successivi. Successivamente, nel settembre 1997, la RAI sarebbe stata il primo *broadcaster* pubblico ad avviare trasmissioni satellitari digitali con una programmazione aggiuntiva di 3 canali di cui uno per bambini.

Nel marzo del 2005 verrà poi emesso il nuovo standard DVB-S2 che inaugura, con le trasmissioni satellitari, la seconda generazione di standard DVB. Alberto Morello – prima collaboratore di Mario Cominetti per la definizione del DVB-S e dal 2000 Direttore del Centro di Ricerche RAI – è *leader* del nuovo standard in cui vengono completamente riviste architettura e specifiche ed indicata, in tal modo, una traccia anche per gli altri sistemi di seconda generazione della famiglia DVB.

Lo standard DVB-S2 prevede sia la versione compatibile con lo standard DVB/S che quella non compatibile. In questo secondo caso si ha la possibilità di migliorare del 30% la capacità di trasporto del satellite a parità di dimensione della parabola ricevente. Tale risultato viene raggiunto accettando una modulazione ad 8 livelli (8PSK)<sup>28</sup> protetta da codici correttori più potenti (LDPC, *Low-Density Parity-Check*). Una novità di particolare interesse è l'introduzione di sistemi di modulazione e codici adattativi che permettono di ottimizzare la banda variando dinamicamente i parametri trasmissivi per applicazioni di tipo interattivo (servizi Internet via satellite).

Il sistema prevede ovviamente l'adozione del più avanzato sistema di compressione audio-video MPEG-4 AVC (ormai integrato nell'ambito degli standard MPEG), in particolare in previsione della diffusione HDTV da satellite e, a parte la compatibilità con il *Transport stream* MPEG-2, prevede anche un meccanismo di trasporto di pacchetti IP.

Il secondo standard approvato dal DVB Project è quello relativo all'impiego del cavo coassiale (DVB-C) per trasmissioni televisive digitali che vede la luce nel marzo del 1994.

Lo standard non interessa l'Italia dove il cavo non esiste (era naufragato il progetto Socrate di Telecom), ma è particolarmente diffuso in molti altri Paesi europei ed, in particolare, in Germania e Gran Bretagna. Il nuovo standard fornisce la possibilità di incrementare il numero di canali trasportati di circa cinque volte, anche se occorre dire che lo scenario e le necessità dei gestori televisivi e della loro offerta sono destinati a cambiare profondamente rispetto al passato.

Per quanto il mezzo non presenti le problematiche di *fading* tipiche della propagazione terrestre (ed in misura molto minore del satellite), lo studio dello standard presenta la difficoltà di introdurre in ciascun canale ad 8 MHz della preesistente canalizzazione analogica, un intero multiplo di programmi digitali in MPEG-2 – il cui *bit-rate* complessivo è stabilito in 32 Mbit/s – in luogo di un singolo programma in analogico. Tale prestazione, utile anche ai fini di

<sup>28</sup> Il nuovo standard prevede diverse possibilità di modulazione da 4 a 32 livelli a scelta dei *broadcaster*, di cui tuttavia la modulazione 8PSK sarà quella più largamente impiegata.

un'interconnessione diretta satellite-cavo, obbliga alla scelta, per l'epoca particolarmente coraggiosa, di una modulazione ad elevato numero di livelli (64 QAM su unica portante) ed alla necessità di eliminare anche la codifica convoluzionale caratterizzata da elevata ridondanza ed in buona misura superflua per il cavo. Ci si affida in tal modo al solo codice correttore Reed-Solomon. L'insieme delle due mosse raggiunge l'obiettivo prefissato ed il corrispondente standard inizia ad essere impiegato dopo un paio d'anni in molti paesi, USA inclusi.

Nell'aprile 2010 verrà poi introdotto lo standard di seconda generazione DVB-C2, essenzialmente preso in carico come architettura e specifiche dall'Università tecnica di Braunschweig, destinato ad introdurre anch'esso una serie di importanti novità per migliorare sostanzialmente l'efficienza del sistema. Tra esse vale la pena citare l'introduzione della modulazione OFDM (tipicamente con 256 livelli per portante, ma estendibile fino a 4096 livelli!) in luogo della modulazione a portante unica (tipicamente a 64 livelli) del precedente standard.

Con questi recenti miglioramenti si raggiungono, in pratica, per il canale di trasmissione i valori del ben noto limite di Shannon!

Il terzo fondamentale standard di prima generazione approvato dal DVB Project nel dicembre del 1995 è il digitale terrestre (DVB-T) atteso con una certa premura dai tradizionali *broadcaster* televisivi operanti con reti di diffusione circolare terrestre.

Lo standard è più complesso dei precedenti anche se gode di tutto il relativo *fall-out* di tecnologie ed esperienze perché ai normali problemi degli altri standard si associa la necessità della massima resistenza ai disturbi per cammini multipli. Elemento fondamentale per combattere i fenomeni di propagazione è la Modulazione OFDM con un numero opportuno di portanti<sup>29</sup> completata con tecniche (intervallo di guardia) per combattere l'interferenza intersimbolica provocata dagli echi sul canale di propagazione, anche se a scapito del numero massimo di canali trasportabile. Il numero di livelli di modulazione per portante è previsto in 4, 16, 64 livelli. La codifica di canale è concatenata con i due codici correttori in cascata già adottati per il satellite.

Nel 1997 si ha la prima diffusione sperimentale in Gran Bretagna e, poco dopo, in Svezia, mentre nel 2002 cominciano le prime trasmissioni ufficiali in Germania e già un anno dopo la città di Berlino opera il completo *switch-off* dell'analogico.

Tra anni dopo il satellite, nel giugno del 2008 verrà poi approvato un nuovo standard di seconda generazione (DVB-T2) il cui studio inizia nel 2006 pensando che i tempi fossero maturi per ottenere sostanziali miglioramenti di architettura e tecniche impiegate al fine di una più alta efficienza spettrale in vista delle trasmissioni terrestri in HDTV. Con un particolare contributo di Nick Well del Centro Ricerche della BBC ed un consistente supporto del Centro Ricerche RAI, anche per le similitudini di varianti rispetto al DVB-S2, ci si porta ad un analogo vantaggio del 30%-50% di capacità rispetto allo standard precedente di prima generazione (a pari condizioni al contorno).

<sup>29</sup> Il numero delle portanti può essere 2000 (2k) od 8000 (8k). La seconda è molto più efficiente come protezione da cammini multipli, ma la prima, se il ricevitore si muove, può offrire vantaggi per l'effetto Doppler.

Alla fine del 2008 iniziano le prime trasmissioni sperimentali RAI in DVB-T2 dal trasmettitore Torino Eremo, con 4 programmi HDTV in un multiplex su una sola frequenza terrestre.

Un altro standard molto atteso è stato il DVB-H (dove H sta per *Handheld*) indirizzato ad applicazioni di *mobile television*, anche se i successi commerciali su questo particolare impiego sono stati molto inferiori alle attese<sup>30</sup>.

Lo standard viene approvato dal DVB Project nel 2004 ed introduce importanti novità.

In primo luogo l'impiego del sistema di compressione MPEG-4 AVC (Parte 10 dello standard MPEG-4) per i programmi destinati a *mobile television*. Tali programmi sono aggregati entro un classico *Transport stream* della normale programmazione terrestre MPEG-2 e quindi diffusi in DVB-T assieme ai restanti canali programmi normali. Il canale DVB-H – ossia l'aggregazione di più programmi per mobile in luogo di un singolo programma standard – viene tuttavia maggiormente protetto con un ulteriore codice a protezione degli errori per tener conto delle non ottimali condizioni di ricezione di un cellulare con guadagno di antenna molto basso.

Altra novità del nuovo standard è, inoltre, la comparsa di una struttura di trama a “impulsi” che consente l'importante funzione di *time slicing*, ossia il processamento dei dati nel cellulare esclusivamente per il solo programma in visione, spegnendo il processore per tutto il restante tempo con un deciso risparmio di consumo della batteria.

Una sperimentazione di notevole interesse viene realizzata dal Centro Ricerche RAI nel 2004 e durante le Olimpiadi Invernali di Torino, in formato gerarchico con l'HDTV, nell'area torinese che prelude all'entrata in funzione in Italia che sarebbe avvenuta non molto tempo dopo.

Il passaggio dalle reti diffusive analogiche a quelle digitali è un processo alquanto complesso che sta coinvolgendo gradualmente l'intero pianeta. Per la televisione satellitare la transizione è ormai quasi del tutto completata anche perché legata alle forme televisive a pagamento che utilizzano un ricevitore (*decoder* o *set-top-box- STB*) proprietario, spesso a noleggio, fornito dal *broadcaster* satellitare senza altri costi aggiuntivi per l'utente ed ammortizzati nel canone. È in via di completamento il passaggio analogico-digitale per la televisione terrestre via etere che ha rappresentato, per la stragrande maggioranza dell'utenza, il primo – e per molti anni l'unico – mezzo di diffusione televisiva.

### *Il progetto RAI degli archivi digitali audiovisivi ed altri progetti speciali*

Il mondo della radiotelevisione è notevolmente complesso e, oltre agli aspetti più noti della produzione, trasmissione e diffusione dei programmi, la rivoluzione

<sup>30</sup> Vale la pena segnalare, a questo riguardo, che per l'impiego a bordo di mezzi mobili è possibile, con l'ausilio di sistemi in *diversity* d'antenna (2, 4 e fino a 6 antenne), ricevere le trasmissioni in tecnica DVB-T/T2, di qualità superiore al DVB/H.

digitale e la convergenza tra telecomunicazioni ed informatica hanno fortemente investito anche tutta l'organizzazione di *back-office* dei *broadcaster*. In un percorso storico a carattere tecnico-scientifico è importante accennare ad alcuni esempi di innovazione a questo riguardo in campo italiano.

In particolare la RAI, come spesso avviene in Italia, sviluppa per un breve periodo progetti di notevole creatività – a cui, oltre al Centro Ricerche più volte menzionato, partecipano altre strutture dell'Azienda – senza riuscire tuttavia a poterne cogliere completamente la portata e tutti i potenziali vantaggi. L'instabilità manageriale della RAI e la cronica carenza negli investimenti tecnici hanno, infatti, consentito di realizzare solo parzialmente i progetti partiti con un'impostazione di grande respiro e inquadrati nella più generale strategia di transizione dal mondo analogico a quello della multimedialità.

Nel vicino passato vanno ricordati, a tale riguardo, due brevi momenti storici – tra il 1993-1994 ed il 1996-1998 – in cui l'Azienda ha dimostrato di credere nell'innovazione tecnica a tutto campo, ripercorrendo un atteggiamento che l'aveva caratterizzata dal dopoguerra per molti anni con l'essere sempre in prima linea sull'innovazione e per aver creato una scuola di alta competenza tecnica e professionale (ampiamente riconosciuta da tutto il mondo internazionale dei *broadcaster*).

Il primo periodo è contrassegnato in RAI dalla Presidenza di Claudio Demattè (allora ordinario di economia all'Università Bocconi) e dalla Direzione Generale di Gianni Locatelli (precedentemente direttore del “Sole-24 ore”) passato alla storia come “era dei professori”, per la composizione del Consiglio di Amministrazione. È un periodo definibile come “primavera di Praga” della RAI, in cui si cerca di superare la logica della lottizzazione e si dà grande peso, nonostante le preoccupazioni per i pesanti problemi contingenti, anche alle strategie di medio-lungo termine. Dopo anni di stagnazione riappare la possibilità, per l'attenzione data all'innovazione tecnologica, di essere in grado di riprendere la strada di grande vitalità di epoche precedenti.

L'esperienza è breve (per le solite alternanze legate alla politica che caratterizzano la RAI) ma intensa e, fondamentalmente, pone le basi per quello che sarà un secondo periodo dal 1996 al 1998, con la Direzione Generale di Franco Iseppi, in cui i tempi e l'organizzazione sono più maturi per portare avanti alcune importanti idee strategiche in campo tecnologico.

A Guido Vannucchi, Direttore tecnico nel primo periodo e Vice Direttore Generale nel secondo, viene dato credito per concepire e varare un significativo piano di sperimentazioni e realizzazioni nell'ambito di una strategia tecnologica ed organizzativa che deve traghettare la RAI verso l'ormai ineludibile percorso della multimedialità.

Oltre alla specifica attenzione allo sviluppo dei nuovi sistemi diffusivi digitali e di produzione – presidiata, con grande capacità, dal più volte citato Centro Ricerche RAI – vengono portati avanti altri progetti “speciali”: quali: il progetto “Microcinema”, l'evoluzione della rete di comunicazione interna RAI e, particolarmente significativo e trasversale a tutte le innovazioni perseguibili in ottica di convergenza delle tecnologie, il progetto dagli Archivi digitali.

“Microcinema” è il nome assunto da una società costituita in compartecipazione tra RAI ed un gruppo di investitori privati, nata come tentativo di valorizzazione dell’alta definizione (all’epoca rimasta su un completo binario morto per l’assenza dei grandi schermi piatti per uso domestico).

Per tale applicazione – che mira ad un’ipotesi di distribuzione diretta dei film verso le medio-piccole sale cinematografiche con qualità prossima a quella che, come si vedrà più avanti, avrebbe preso il nome di *Electronic Cinema* – vengono effettuate numerose sperimentazioni e dimostrazioni con impiego di materiale girato dalla RAI in alta definizione e con la sperimentazione dei migliori proiettori per grande schermo.

Il progetto si pone, tra l’altro, l’obiettivo di valutare le dimensioni massime dello schermo impiegabili per un prodotto di buona qualità e, soprattutto, la formulazione di un *business model* che potesse giustificare il relativo investimento, ricco di vantaggi tra cui programmazioni miste tra film ed avvenimenti in tempo reale attraverso una distribuzione del prodotto elettronico via satellite.

L’iniziativa, troppo in anticipo sui tempi, è oggi una realtà nell’ambito di standard più rigorosi ma, all’epoca, trova fortissime ostilità da parte dei tradizionali distributori cinematografici che temono, attraverso soluzioni alternative di perdere il controllo della distribuzione ed influenzano in senso negativo gli organismi del Ministero dello Spettacolo preposti a valutare l’interesse e la possibilità di un supporto per l’allargamento del progetto.

Un altro progetto di notevole interesse è quello di una rete privata RAI totalmente IP che rappresenta, per l’epoca, nella sua prevista evoluzione verso una completa rete multiservizio, una realizzazione pionieristica nell’ambito dei *broadcaster* europei.

Per quanto l’idea sia perseguita fin dalla fine del 1996, il progetto realizzativo prende l’avvio definitivo solo a metà 1997 in concomitanza con la ristrutturazione della Direzione Sistemi Informativi della RAI in una nuova Direzione ICT, secondo una logica di convergenza tra informatica e telecomunicazioni ormai matura ed in una più generale visione di convergenza anche con le problematiche di gestione dei “contenuti” (*Content Management*).

Nella nuova Direzione, affidata a Giuseppe Biassoni, viene accorpato un piccolo *pool* di esperti di nuove tecnologie di rete con la preziosa esperienza di Giuseppe Stacchiotti a livello consulenziale. Si costituiscono, novità nella RAI, centri di competenza (in particolari Dati e Multimedialità) che permettono di mettere a punto tutte le competenze necessarie per una rete IP e per consentire la diffusione a tutte le sedi RAI di accessi multimediali a due *Data Center* allocati a Torino e a Roma.

Questa rete Intranet parte con voce e dati e, nella sua successiva evoluzione supporta anche il video, passo fondamentale per il disegno completo del Progetto sugli Archivi digitali cui si accenna subito dopo.

Il progetto degli Archivi digitali audiovisivi è un’altra testimonianza di un disegno di ampio respiro che, a livello progettuale, pone la RAI in anticipo di quasi due anni rispetto ai *broadcaster* internazionali, come riconosciuto dalla stessa BBC che mostra all’epoca grande interesse all’iniziativa.

Il progetto prende l'avvio a metà del 1996 partendo dalla considerazione che i *broadcaster* "storici" si ritrovano in dotazione una preziosa eredità di materiali audiovisivi – programmi sonori, televisivi, fotografie, film, testi e testi documentali – prodotti nel corso di mezzo secolo di attività. Tutto ciò rappresenta una ricchezza potenziale sfruttabile in modo adeguato, anche a fronte della moltiplicazione delle piattaforme multimediali, solo a condizione di un profondo riordino degli Archivi e dell'applicazione delle più moderne tecniche di informatizzazione e digitalizzazione del materiale.

Il primo fondamentale passo è l'esigenza di sviluppare tecniche avanzate di *information retrieval* che permettano la fruizione diretta ed immediata, anche a qualità limitata, del materiale archiviato per rapide decisioni sulla scelta del materiale da utilizzare. In tal modo, si potrà essere in grado di sfruttare al meglio i prodotti di qualità accumulati nel tempo da riproporre *in toto*, nonché i *reportage* storici a carattere giornalistico, riproponibili come tali o per effettuare rapidamente montaggi di "spezzoni" per la creazione di nuovi servizi giornalistici (classico è il caso della scomparsa improvvisa di un personaggio famoso).

A tale scopo e con tali obiettivi, viene creata una struttura autonoma affidata a Barbara Scaramucci dedicata al progetto ed, in prospettiva, ai relativi servizi di archivio. La nuova struttura organizzativa viene denominata inizialmente "Audiovideoteche" e poi solo semplicemente "Teche".

Alla nuova funzione non viene attribuita solo la missione riguardante il patrimonio audiovisivo ma anche quella del recupero dell'archivio "cartaceo" delle grandi produzioni RAI e dei relativi personaggi coinvolti. L'indicazione era stata formulata due anni prima dal prof. Tullio Gregory, consigliere RAI nella "era dei professori", che aveva anche indicato l'obiettivo del recupero dei dischi e dei copioni EIAR nonché di tutto il vastissimo materiale fotografico esistente.

La delibera costitutiva con relativo "Master Plan" sintetico è del 4 dicembre 1996. Per gli aspetti di *business model*, essenziali per giustificare gli ingenti investimenti previsti, il progetto godrà della valida consulenza di Renato d'Onofrio.

In precedenza, in RAI, l'archiviazione di tutto il materiale trasmesso era stata portata avanti con un certo disordine, catalogando il solo prodotto giornalistico e immagazzinando il materiale spesso alla rinfusa. Tra l'altro la conservazione di una copia completa era stata avviata in RAI solo a partire dalla fine degli anni '70, mentre in precedenza veniva effettuata solo una selezione che aveva purtroppo lasciato molti "buchi" (ovviamente non più recuperabili).

Il lavoro da affrontare, per la vastità del materiale e per i molteplici obiettivi che si vogliono perseguire, è perciò imponente e va, prima di tutto, integrato con un'importante fase preliminare. Tale fase, realizzata in collaborazione con la Sony, consiste nella improrogabile "rimasterizzazione" sull'unico supporto Betacam del materiale più antico con il trasferimento dai vecchi supporti che sono pellicole e supporti magnetici obsoleti o "incollati" per eccessivo invecchiamento e umidità.

In assenza di questa fase di recupero, nelle more di decidere e realizzare il definitivo archivio digitale, molto materiale prezioso sarebbe andato definitivamente perso.

L'intero progetto – condotto anche con riunioni periodiche di controllo sull'avanzamento trasversale per il miglior scambio di informazione tra le diverse strutture coinvolte – viene suddiviso nei seguenti sotto-progetti: Documentazione e criteri di ricerca, Catalogo multimediale, Archivio *Fast*; Archivio *Master*; Sicurezza ed infine un modulo apposito per gli archivi audio. Nell'evoluzione del progetto i due archivi hardware previsti, tenuto conto dei grandi progressi degli standard di compressione, si fondono nell'unico Archivio *Master* per una conservazione di qualità del materiale.

Il primo sottoprogetto (Documentazione e Ricerca) imposta in modo totalmente nuovo la classificazione e le chiavi di ricerca del materiale. Il secondo sottoprogetto (Catalogo multimediale) permette – da un terminale locale o via Intranet aziendale – il recupero del materiale audio e del materiale video fortemente compresso per effettuarne una rapida analisi anche tramite specifici *tools* che consentono d'identificare i segmenti di specifico interesse.

La competenza sui dati consente di acquisire il modello prototipale dei dati delle Teche, “ideato” inizialmente dal Centro Ricerche su un Data base della Società Informix, e poi ripreso in mano dalla Direzione ICT per attribuirgli una veste industrialmente gestibile.

A tale riguardo, la più importante realizzazione è stata l'ideazione del software *Octopus* (brevettato dalla RAI con relativo marchio a nome di Massimo Duca) ovvero di un *front-end* che rende assolutamente trasparente la presentazione dei risultati di una ricerca tra gli archivi rispetto alla strutturazione e al modello dei dati stessi, facilitando così in modo decisivo la riconversione di numerosi archivi cresciuti in tempi diversi e con obiettivi differenti.

Per mancanza degli investimenti necessari non sarebbe più stato realizzato l'Archivio Master di cui si era completamente studiata l'architettura e la tecnologia da impiegare. Analoga fine ha fatto il sottoprogetto sulla sicurezza che prevedeva tecniche di *watermark* e *fingerprint* a protezione della proprietà intellettuale e delle copie non autorizzate, argomenti per i quali la RAI aveva aperto una collaborazione con un Gruppo di Ricerca dell'Università di Firenze avviando tematiche importanti per l'epoca poi canalizzatesi nel grande tema, affrontato a livello mondiale, del DRM (*Digital Right Management*).

Nonostante il mancato completamento del progetto nella sua completa organicità, lo sviluppo e la realizzazione del Catalogo Multimediale ha costituito di per sé un traguardo particolarmente importante. A tutto il materiale raccolto e documentato – il trasmesso televisivo storico, una parte selezionata del trasmesso radiofonico, il patrimonio fotografico e documentale – è consentito l'accesso, oltreché ai programmatori e giornalisti RAI, anche ai ricercatori esterni per consultazione da tutte le sedi RAI e dalle principali mediateche italiane. Per l'importanza storica dell'archivio raccolto, RAI Teche è stata inserita dall'Unesco, a partire dal 2000, nel registro della “Memoria d'Italia”.

Oltre alla documentazione storica, le Teche costituiscono, con la nascita dei nuovi programmi conseguenti all'introduzione del digitale terrestre, una fonte insostituibile di alimentazione dei nuovi palinsesti televisivi.

## Nuovi scenari ed evoluzione della televisione

### *I moderni mezzi di diffusione televisiva su portante fisico*

#### *Quadro di riferimento storico dei moderni portanti fisici*

I servizi e le tecniche radio-televisive sono nati in un mondo totalmente analogico, completamente slegato da quello informatico e decisamente orientato all'impiego di tecnologie radio (a parte la specifica trasmissione via cavo coassiale nata quasi fin dagli inizi come *back-up* alla diffusione radio in specifiche situazioni<sup>31</sup>). Tale peculiarità storica si riflette nei relativi processi di standardizzazione che sono stati pilotati per molti anni da Organismi internazionali – quali il già più volte citato CCIR – poi divenuto ITU-R – che nel loro stesso nome individuano, come nascita, la specificità radio, nonché l'EBU (European Broadcasting Union) anch'esso caratterizzato da profonde radici radio.

Solo ai primi anni del decennio '90 nasce con il protocollo ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) – introdotto per il trasporto a distanza sulle linee digitali di telecomunicazioni – per la prima volta il concetto di associare il segnale televisivo alle informazioni telefoniche e dati per la creazione di reti multiservizio. Negli stessi anni l'introduzione degli standard MPEG, concepiti per sposare diversi tipi di *media*, fa compiere un ulteriore passo verso la convergenza tra informatica e telecomunicazioni.

Oltre l'ATM, in generale, si fa strada la filosofia della trasmissione a pacchetti e specificatamente l'impiego del protocollo IP (*Internet Protocol*), anche se all'epoca era difficile prevedere che la corrispondente *suite* di protocolli, nata esclusivamente per i dati, si sarebbe progressivamente evoluta in modo da ospitare tutti i tipi di informazioni e che, soprattutto, potesse vincere la sua battaglia nei confronti del più strutturato protocollo ATM<sup>32</sup>.

Il decennio 2000–2010 è caratterizzato dall'introduzione dei più recenti standard diffusivi che cominciano ad indirizzarsi, per l'appunto, alla completa filosofia IP (ad esempio il DVB-H) e ciò in linea con l'evoluzione delle reti di telecomunicazione nelle quali i servizi televisivi assumono sempre più importanza.

In parallelo, sempre negli stessi anni, si comincia a parlare di fibra ottica in area di accesso all'utente, estendendo a tale segmento di rete questo straordinario portante che, per impiego sulle lunghe distanze, inizia la sua storia nel 1966 per merito di Charles Kao premiato nel 2009 con il Nobel per la fisica<sup>33</sup>. Ma questa infrastruttura di distribuzione, a parte alcune situazioni particolari, richiede pesanti investimenti, essenzialmente in opere civili, per i condotti interrati destinati ad ospitare le fibre.

<sup>31</sup> Per i motivi storici dell'introduzione del cavo coassiale si rimanda al relativo paragrafo del capitolo precedente.

<sup>32</sup> Per maggiori particolari vedere riferimento citato nella nota 12.

<sup>33</sup> Per approfondimenti sulla storia delle fibre ottiche e dell'ADSL si rimanda, in questo stesso Volume, a: "La trasmissione: dalla coppia telefonica ai ponti radio ed alle fibre ottiche" di S. Pupolin et al.

Nel frattempo, partire dalla fine degli anni 90, inizia ad affermarsi il rivoluzionario sistema ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) che, attraverso l'utilizzo delle più raffinate tecniche di comunicazioni negli apparati terminali, consente di utilizzare, a costi molto contenuti, la preesistente rete di cavi a coppie di rame, moltiplicandone di più ordini di grandezza la capacità trasmissiva. Padre di questa nuova tecnologia è John Cioffi, all'epoca giovane PhD della Stanford University.

È interessante ricordare che il sistema ADSL viene originariamente concepito come sistema, a basso investimento, per offrire servizi di *Video on Demand* (VoD) sulla rete in rame. Tuttavia la strada per il video dovrà ancora attendere alcuni anni ed il sistema inizia a decollare per le sole applicazioni Internet con un *bit-rate* massimo attorno ai 2 Mbit/s.

### *Gli standard diffusivi in IP ed il ruolo del DVB Project*

I due nuovi sistemi (fibra ottica all'utente e ADSL) si affiancano, come infrastruttura, al cavo coassiale, impiegato ormai da molti anni in vari Paesi (ad eccezione dell'Italia per la pesante opposizione della RAI) per la diffusione di programmi televisivi (prima in tecnica analogica e poi, a partire dal 1994 con lo standard DVB-C, in tecnica digitale).

Una delle prime infrastrutture di rete multiservizio IP in fibra ottica – con diffusione all'utente di programmi televisivi assieme alla telefonia ed ai dati (Internet) – è realizzata proprio in Italia dal gestore Fastweb all'inizio dell'anno 2000. Lo standard adottato per la trasmissione IP-TV (*Internet Protocol TeleVision*), è di tipo proprietario e la diffusione avviene su rete chiusa, protetta e limitata geograficamente, ad accesso condizionato, in analogia a quanto già impiegato, ormai da vari anni, nella diffusione da satellite. In tal modo si effettuano sia una corretta gestione dei diritti dei produttori dei programmi, sia un miglior controllo sulla qualità dei servizi forniti.

Nel 2003 Fastweb si trova costretta, per ragioni di carattere economico, a fornire i suoi servizi IP anche su ADSL<sup>34</sup> che, finalmente, si sta estendendo anche in Italia. Il forte investimento richiesto (rispetto ai ritorni attesi) per altri utenti da servire in fibra risulta infatti per il gestore troppo forte per essere generalizzato e, nel tempo, gli utenti serviti in ADSL supereranno quelli in fibra. Attraverso il sistema ADSL viene anche fornito, tra le prime applicazioni in Europa, il servizio IP-TV (sostanzialmente analogo a quello offerto in fibra) destinato ai clienti che lo richiedono purché rientrino in certi limiti di distanza dalla Centrale telefonica. Si crea, in tal modo, un'offerta ricca e differenziata di servizi a pagamento del tipo Pay-TV o VOD-*Video on demand*.

Nel 2005 anche Telecom Italia inizia a fornire servizi IP-TV su ADSL.

L'esigenza si diffonde in altri Paesi europei, anche se la presenza del cavo coassiale la rende meno pressante che in Italia dove, in assenza del cavo, si teme maggiormente il monopolio satellitare dei servizi televisivi a pagamento.

<sup>34</sup> Ciò è stato possibile in virtù del servizio regolamentato di *unbundling* (affitto nei confronti di Telecom Italia della sola coppia da parte del gestore *new comer* con impiego di apparati proprietari).

Mentre si evolve tale scenario in Italia, il DVB-Project, preoccupato dal diffondersi di standard proprietari, crea tra il 2000 e il 2003 – seconda una sua tipica impostazione – un gruppo per analizzare gli aspetti commerciali dei tipi di servizi offribili in modalità cosiddetta *managed*<sup>35</sup> ed un altro gruppo per lo studio specifico di tutti gli aspetti tecnici connessi. L'obiettivo è quello di definire un *set* di specifiche tecniche aperte e interoperabili per la distribuzione di servizi televisivi in IP su reti infrastrutturali multiservizio a larga banda.

I lavori si concentrano principalmente sulla definizione dell'interfaccia tra il *set-top-box* IP-TV e la rete domestica IP, a sua volta connessa alla rete di distribuzione IP a larga banda (fibra o ADSL).

Obiettivo del modello funzionale alla base delle specifiche DVB-IPTV è quello di permettere all'utente la libertà di acquistare direttamente il *decoder* da un qualunque fornitore, per poi connettersi in IP a tutti i *Service Broadcaster* desiderati ricevendo automaticamente la lista di servizi offerti e, possibilmente, la guida ai programmi (*EPG-Electronic Programme Guide*). Si parla in tal caso, in ambito DVB, di specifiche DVB-IPTV/SD&S (*Service Discovery & Selection*).

I primi documenti di standardizzazione iniziano nel 2005, quando si definisce il modello di riferimento basato sull'impiego del *Transport stream* di MPEG-2 e sull'esatta definizione del servizio sopra accennato che, a sua volta, viene arricchito negli anni seguenti dalle specifiche dei vari servizi collaterali (ad esempio: codici correttori, *EPG*, *remote management*, *firmware update*, *pull and push download*, *fast channel change*, ecc.).

Le specifiche DVB-IPTV, o parte di esse, sono state adottate da molti Organismi televisivi e, quasi certamente, le future reti NGN (*Next Generation Network*) applicheranno tali standard per il trasporto televisivo.

In questo quadro il DVB Project tenta di favorire la creazione di un mercato orizzontale – anche se le difficoltà sembrano ancora alte – per completare il tutto nei tempi utili per una totale accettazione da parte dei gestori che utilizzavano i sistemi IP-TV.

Nonostante, infatti, che molti attori tradizionali dichiarino di essere perfettamente o parzialmente compatibili con le specifiche DVB-IPTV, le nuove situazioni createsi comportano, invece, continui e veloci cambiamenti di scenari e di posizionamento, come si vedrà nel prossimo paragrafo, rendendo assai difficoltoso l'obiettivo di arrivare con uno standard al momento giusto.

### *Televisione in IP su "Open Internet" e gli scenari ibridi*

Accanto alle trasmissioni IP-TV già avviate ormai da alcuni anni, cominciano a diffondersi anche nuove modalità di fruizione televisiva definite genericamente come "IP Television over Internet" – ossia con collegamento diretto ad Internet su reti a larga banda – con l'obiettivo di ricevere direttamente, in tempo reale o

<sup>35</sup> Per servizi *managed* (ovvero *walled garden*) si intendono quei servizi in cui un operatore controlla tutta la catena: dall'erogazione dei segnali verso l'utente finale al quale viene fornito un *set-top-box* (*decoder*) "proprietario" per la fruizione dei servizi stessi.

differito, servizi televisivi di qualità in modalità interattiva e *on demand*, gratuiti od a pagamento.

In un panorama di convergenza tra i diversi *media* di distribuzione e tra le più svariate informazioni, la modalità IP su *Open Internet* si affaccia al mondo televisivo con la potenzialità di creare un impatto profondo di lungo termine non solo sui sistemi di distribuzione dei segnali ma anche sull'intero panorama della catena televisiva. Siamo probabilmente, nel percorso storico, alle soglie di una grande rivoluzione di scenario televisivo con la possibile entrata di nuovi attori.

Le vicende della televisione via Internet, sono abbastanza recenti e l'episodio più significativo che ha "aperto le danze" è il lancio, a fine dicembre 2007, del servizio *iPlayer* da parte della BBC che ha riscosso un grande successo, tramite il quale fornisce la *Catch-up TV* (ossia la possibilità di recuperare l'ultima settimana dei programmi televisivi andati in onda sui canali *broadcast*) agli utenti Internet anche se con una fruizione tramite PC .

In contemporanea di questi eventi, sul mercato cominciano ad apparire *set-top-box* e televisori con integrato il *decoder*, dotati anche di connettività *wired* o *wireless* verso la banda larga, e la possibilità di fruire di servizi tramite Internet direttamente sul ricevitore televisivo domestico, ed in particolare sui grandi schermi piatti, è decisamente allettante.

Questa possibilità ha decisamente stuzzicato la fantasia e l'interesse dei *broadcaster* che hanno cominciato a vedere la banda larga come una potenziale espansione delle loro possibilità a costo di distribuzione praticamente nullo, in analogia ad altri attori quali Google, Facebook ed altri<sup>36</sup>. Oltre al già menzionato servizio per PC della BBC, l'opportunità intravista dai *broadcaster* è soprattutto quella di ampliare l'offerta con servizi *on demand*, erogati attraverso Internet e fruibili direttamente sul televisore domestico, senza la mediazione di gestori di rete.

I sistemi a cui si fa riferimento sono quelli oggi definiti con la sigla OTT-TV (*Over The Top-TeleVision*) in quanto i fornitori di servizi utilizzano la rete (Internet) senza crearne una *ad-hoc*, com'è invece il caso degli operatori IP-TV. I servizi sono erogabili con uno *streaming* e fruibili in *real time* ovvero con un *download* (e quindi in tempo differito, più o meno lungo a seconda della larghezza di banda disponibile nella rete di accesso) e della velocità dei *server* che forniscono il servizio.

Nasce, in tal modo, uno scenario che viene definito "ibrido" in quanto, al momento, caratterizzato dalla presenza contemporanea sul terminale domestico (*set-top-box* o televisore integrato) della tradizionale connettività *broadcast* (terrestre, satellite) e di quella a larga banda (ADSL, fibra ottica).

Non vi è dubbio che in prospettiva futura – anche se è difficile giudicare "quanto futura" potendo la situazione essere molto variabile da Paese a Paese – i sistemi televisivi via Internet in tempo reale o quasi avranno man mano sempre più importanza quanto più l'utente potrà disporre di una rete di accesso efficiente

<sup>36</sup> Sono questi gli attori che per primi hanno sfruttato l'occasione della rete per sviluppare il loro business senza partecipare ai relativi investimenti e costi di esercizio. Per tale ragion, sono stati denominati "*Over The Top*".

e proiettata alle moderne infrastrutture NGN. In Italia tale prospettiva non potrà avere una penetrazione minimamente ragionevole prima di una decina d'anni.

Nel lungo transitorio prevedibile, potrebbero potenzialmente avere successo anche i servizi televisivi di qualità con caricamento differito ma in questa applicazione – destinata ad un potenziale quasi sicuro successo – molto dipenderà dall'infrastruttura della rete complessiva in quanto, in caso di esito positivo e generalizzazione, la rete (almeno in Italia) non sarebbe oggi assolutamente in grado di reggere milioni di accessi contemporanei per *download* televisivi.

Su una tematica di tale importanza sia EBU che il DVB-Project sono stati presi di contropiede dalla velocità dell'evoluzione e non sono riusciti ad armonizzare la scelta delle tecnologie per la presentazione dei servizi lato utente. Sembra pertanto opportuno riportare una breve carrellata delle iniziative in corso che caratterizzano, in questa complessa fase di evoluzione storica, il relativo contesto di attività.

Nel 2007 nasce l'*Open IPTV Forum*<sup>37</sup>, organismo che si propone di definire le specifiche *end-to-end* per l'erogazione di servizi su rete IP (includendo sia le reti *managed* che *Open Internet*) di cui una prima *release* è stata rilasciata in ottobre 2009.

Un consorzio<sup>38</sup> franco-tedesco ha voluto ulteriormente accelerare i tempi per i sistemi ibridi. Nasce così agli inizi del 2009 l'iniziativa HBBTV (*Hybrid Broadcast Broadband TV specification*) – cui ha partecipato anche EBU fornendo alcuni indirizzi preliminari – che a novembre dello stesso anno conclude l'esame di una specifica (poi sottoposta ed approvata dall'ETSI) che rappresenta, fortunatamente, un completo profilo di tecnologie esistenti (DVB, Open IPTV Forum, ecc.) piuttosto che una nuova tecnologia.

In Gran Bretagna, nel luglio 2009, parte il progetto Kangaroo con la partecipazione di numerosi gestori<sup>39</sup> che poi diventerà Canvas e successivamente YouView, concepito come un insieme di *Preview*, *Catch-up TV*, *Pay TV* e *VoD*. Specifiche per il sistema YouView vengono rilasciate tra maggio e settembre del 2010 con una concezione di sistema aperto e ricco di molte possibilità di personalizzazione.

In Italia, per il generale problema della televisione in IP su *Open Internet*, si resta legati – in sintonia tra RAI, Mediaset e La 7 – alla piattaforma MHP (*Multimedia Home Platform*) adottata nei *set-top-box* di fascia alta fin dagli inizi della conversione del sistema diffusivo terrestre al digitale. Alla piattaforma è stato aggiunto un modulo *Broadband* per la rete a banda larga.

Mediaset, fin dal settembre del 2009, ha presentato un suo progetto di piattaforma distributiva totalmente in IP denominato M-Tube – ad uso di giornalisti,

<sup>37</sup> Tale organismo è stato creato da Ericson, France Telecom, Nokia Siemens Network, Panasonic, Philips, Sony Corporation, Samsung Electronic e Telecom Italia. Oggi conta 52 membri tra cui BBC, IRT e RAI.

<sup>38</sup> Ad esso partecipano: ANT Software Limited, EBU (European Broadcasting Union), France Televisions, IRT, OpenTV Inc, Koninklijke Philips Electronics N.V Inc., Samsung, SES ASTRA S.A, Sony Corporation, TF1 (Television Francaise 1).

<sup>39</sup> A tale progetto partecipano BBC, ITV, BT, Arqiva, Talk Talk, Channel 4, Five, Technicolor, Humax e Cisco.

redattori e produttori per accedere, elaborare e trasmettere video di qualità – primo passo di una strategia per passare dal modello *push* al modello *pull*, ossia con libertà di scegliere qualsiasi contenuto desiderato.

Se alla base del progetto Teche RAI c'era il valore del contenuto ed il suo valore storico (oltre che il riutilizzo del materiale al fine di arricchire alcuni prodotti e per crearne dei nuovi), a fondamento del progetto Mediaset si coglie la volontà di arricchire l'offerta *premium*, basata sulla capacità di gestire l'accesso condizionato in ambiente di Digitale terrestre DVB-T con l'eventuale aggiunta, in prospettiva, di contenuti specializzati indirizzati ad un pubblico mirato. Il contenuto viene quindi archiviato in un *Content Management System* in qualità esclusivamente diffusiva con tecniche di documentazione e ricerca basate soprattutto sulla disponibilità dei metadati di palinsesto (canale, data, ora).

La distribuzione, in prospettiva, si potrà basare su una robusta rete IP progettata per soddisfare contemporaneamente il ruolo di rete di contribuzione per il segmento *broadcaster* ed al tempo stessa pronta a soddisfare la distribuzione del segnale IP in alcuni punti principali del Paese, ipotizzando per il più lungo termine una distribuzione tramite un accordo con un *provider* TLC che disponga della necessaria rete di accesso a banda larga.

Nel dicembre 2009 anche Telecom Italia presenta il suo progetto, Cubo-Vision, che consente di accedere ai canali in chiaro del digitale terrestre ed alla fruizione di canali video *on demand* delle principali Web TV (YouTube e La7.tv, ecc.). Cubo-Vision, come terminale, è anche un *media center* dotato di 500 GB di spazio per memorizzare foto, video e musica e condividerli con altri dispositivi.

Nel maggio 2010 la RAI lancia "RAI replay", il servizio di *Catch-up TV* accessibile dal portale RAI che permette di vedere dal PC in *streaming Web* i programmi di RAI 1, RAI 2, RAI 3 andati in onda nell'ultima settimana, iniziativa che ha raccolto un discreto successo. Alla fine del 2010 non risulta che RAI abbia esplicitato una sua strategia futura per l'accesso a *Open Internet* con obiettivi di distribuzione verso televisori integrati e *decoder*.

A fronte di tutte queste iniziative il DVB Project cerca di "inseguire" pubblicando, tra maggio e settembre 2010, i *commercial requirements* per l'aggiornamento dei sistemi ibridi via *Open Internet* e di essi promette la specifica definitiva per Estate 2011.

### *Dall'alta definizione al cinema digitale*

Nel 1995 la decisione della SMPTE di includere nello standard per HDTV oltre alle 1080 linee interallacciate anche il sistema a 1080 linee progressive (e quindi con migliore definizione verticale specie in scene di azione) e 24 quadri al secondo per non aumentare troppo il *bit-rate* (cfr. nota 32 del capitolo precedente), scalfisce la forte riluttanza del mondo del cinema a prendere in considerazione metodi di ripresa e di proiezione con tecnologie derivate dall'alta definizione in luogo della tradizionale e ormai sperimentata pellicola.

La storia di questa metamorfosi è, tuttavia, lunga e faticosa e comporta, oltre a migliorare al massimo la definizione anche modifiche alla colorimetria ed al numero di quadri al secondo rispetto all'HDTV.

Nel gennaio del 2000 si tiene a Los Angeles la prima riunione di un Comitato SMPTE (Digital Cinema Technology Committee) la cui origine storica era proprio cinematografica (vedi nota 5) che – strutturato in 7 gruppi di studio (Masterizzazione, Compressione, Accesso condizionato, Trasporto e Consegna, Audio, Sale cinematografiche e Proiezione) a copertura dell'intera catena cinematografica – inizia un'attenta ricerca sulle possibilità che le tecnologie video in alta definizione possano rispondere alle stringenti (e non sempre giustificate) esigenze imposte dal mondo cinematografico.

Pertanto, la possibile nascita di un cinema elettronico era stato anche l'auspicio degli iniziali studi condotti nel lontano 1968 dalla NHK quando si era dato l'avvio della televisione ad alta definizione.

Sempre nel 2000 appaiono sul mercato le prime linee produttive di Sony, Thomson e Panasonic, operanti con il nuovo standard di 1080 linee progressive e, in analogia al cinema in pellicola, con 24 quadri al secondo e primari cromatici vicini a quelli della pellicola (con una certa diversità rispetto a quelli impiegati tradizionalmente in televisione) dando vita ad un mercato produttivo di programmi ad elevata definizione destinati a medio-piccole sale cinematografiche. Tali soluzioni verranno successivamente denominate *Electronic Cinema* per differenziarle da quelle caratterizzate da una più elevata definizione – le sole veramente accettate dal mondo cinematografico – che prenderanno invece il nome di *Digital Cinema*.

Il mondo cinematografico e quello della relativa distribuzione, fino allora tenacemente abbarbicati all'uso della pellicola nel formato a 35 mm, incominciano a guardare, con un misto di interesse e di preoccupazione, al crescente mercato del Cinema Elettronico e, nel 2002, creano un gruppo di ricerca – denominato DCI (*Digital Cinema Initiative*) – per puntare ad un traguardo più ambizioso. Il DCI è formato esclusivamente da consulenti tecnici delle *major* di Hollywood (Disney, Fox, Metro-Goldwyn-Mayer, Paramount Pictures, Sony Pictures Entertainment, Universal, Warner Bros) col fine di investigare la possibilità di poter ottenere dalla tecnica video ad alta definizione una qualità d'immagine comparabile con quelle delle migliori pellicole cinematografiche.

Dopo tre anni di studio e di ricerche, nel luglio del 2005, il DCI presenta le specifiche di due “contenitori” per cinema digitale definiti dal numero di *pixel* (2K e 4K) che ciascuno di essi, arrotondando, è in grado di accettare su ogni linea di esplorazione. Più precisamente:

- il sistema *2K D-Cinema* – praticamente corrispondente, come risoluzione, a quella dell'*Electronic Cinema* (1080 linee progressive e 1920 *pixel per linea*) – con 1080 linee progressive e 2048 *pixel* per linea (da cui il nome 2K) e 24 quadri al secondo;
- il sistema *4K D-Cinema*, a risoluzione molto più elevata, che offre il contenitore formato con 2160 linee progressive e 4096 *pixel* per linea (da cui il nome 4K) e 24 quadri/s.

Essi sono strutturati in modo da poter ospitare i due classici formati d'immagine tradizionalmente oggi in uso nel cinema su pellicola<sup>40</sup>.

Il numero di *bit* per i tre primari RGB è di 12 bit al campione (in luogo dei 10 dell'HDTV).

Il mondo audiovisivo vede subito nell'avvento del Digitale un pratico e scalabile *common format* atto alla produzione di *master* per fiction e documentari dai quali poter derivare, oltre che prodotti da avviare alle sale cinematografiche, anche prodotti di livelli qualitativi più bassi (HDTV, SDTV) destinati al mercato televisivo tradizionale o all'*editing* video, con una funzione che, fino allora, era stata assolta esclusivamente dalla pellicola a 35mm.

La crescita di un vasto interesse in tale settore sta portando rapidamente alla produzione di materiale digitale ed all'installazione, in sempre maggior numero, di sale cinematografiche di impianti di proiezione per D-Cinema (alimentati da *server*) sostenuta ed incrementata anche dalla contemporanea adozione e diffusione dei sistemi di riproduzione stereoscopica 3D (tridimensionale).

### *Televisione tridimensionale (3D)*

La riproduzione stereoscopica delle immagini fisse (disegni e fotografia) e poi di quelle in movimento (cinema e televisione) per cogliere la tridimensionalità delle immagini è una tecnica inventata quasi due secoli fa, riscoperta in primo luogo dal cinema ed oggi estesa con rapidità anche alla televisione digitale.

La tecnica stereoscopica, fin dal suo inizio, affronta il problema imitando la riproduzione binoculare ed indagando i modi più opportuni per attuarla con i mezzi di ripresa e di riproduzione.

Traendo spunto dalla maturità conseguita dal 3D nel campo cinematografico in pellicola, le relative esperienze sono state applicate, in questi ultimi anni, anche alle produzioni in cinema digitale e, ancor più recentemente alla televisione. I costruttori di apparati sono ormai fortemente interessati all'estensione delle tecnologie 3D al mondo video (sono già in commercio dischi Blu-Ray 3D in alta definizione) ed anche al *broadcast* con una molteplicità di proposte.

Il trasporto e la memorizzazione delle due immagini (sinistra e destra) che realizzano l'effetto stereoscopico viene oggi effettuato in due modalità alternative alloggiandole nello stesso quadro (*frame*) affiancate (*side-by-side*) o sovrapposte (*top-over-bottom*).

Sono in corso di definizione standard basati sulla trasmissione o memorizzazione contemporanea delle due immagini a piena risoluzione: il BluRay stereosco-

<sup>40</sup> Più precisamente: il formato di quadro *widescreen* che ha un rapporto d'immagine di 1,85:1 (in luogo di 1,78:1 dell'HDTV e dell'*Electronic Cinema*) con un'immagine di 1998x1080 *pixel* nel contenitore 2K e di 3996x2160 *pixel* nel contenitore 4K ed il formato *super widescreen* (2,39:1) con un'immagine di 2048x858 *pixel* nel contenitore 2K e di 4096x1716 *pixel* per il contenitore 4K.

pico è già stato standardizzato ed i primi lettori sono già disponibili sul mercato, mentre per la trasmissione si dovrà ancora attendere almeno un paio di anni.

Per differenziare la visione delle due immagini destinate ai due occhi sono stati adottati storicamente vari procedimenti che fanno uso di occhiali speciali con due diverse polarizzazioni per i sistemi simultanei (come per il cinema) o, per i sistemi sequenziali, con lenti attive a cristalli liquidi telecomandati.

Si stanno anche studiando soluzioni che consentano la compatibilità dei nuovi servizi di *broadcast* 3D con l'attuale televisione 2D.

Poiché ci si rende conto che, a differenza dei film, l'impiego di occhiali in ambiente domestico potrebbe risultare fastidioso per il pubblico, da qualche anno sono allo studio anche sistemi che permettono la visione stereo senza l'uso di occhiali (sistemi autostereoscopici).

### *Televisione ad altissima definizione*

All'adozione degli standard digitali ad alta definizione ha corrisposto, a livello mondiale, una rapida crescita dei servizi di diffusione HDTV via satellite prima e via terrestre poi, tanto da far ritenere che fra qualche anno essi possano sostituire interamente le programmazioni in SDTV, facendo della Televisione ad alta definizione la forma corrente di televisione.

In un'ottica di medio-lungo termine, si comprende la ricerca che da qualche anno l'ente televisivo pubblico giapponese NHK va conducendo nel campo dei sistemi video ad altissima definizione, la cosiddetta UHDTV (*Ultra High Definition Television*), traguardo ben più avanzato di quello che la stessa NHK aveva conseguito col coraggioso lancio, nel 1980 dopo anni di studio, dello standard in alta definizione Hi-Vision, caratterizzato, in termini digitali, da immagini (1920x1080) con circa 2 milioni di *pixel* (2 Mpixel).

Lo sviluppo dell'UHDTV è molto recente. Nel 2006 la NHK presenta al NAB di Las Vegas – la più grande manifestazione mondiale di tecnica televisiva organizzata dalla *National Association of Broadcasters* – un sistema, destinato soprattutto alla proiezione su schermi di grandi dimensioni, come quelli cinematografici, denominato SHV (*Super Hi-Vision*).

Il sistema allo studio è caratterizzato da una risoluzione ben sedici volte superiore a quella del sistema Hi-Vision e 4 volte superiore a quella del *Digital Cinema*, pari cioè a ben 32 Mpixel, avendo immagini con 7680 *pixel* per linea e con 4320 linee interallacciate, corredato da un sistema sonoro a 22+2 canali.

Analogamente, la *bit-rate* complessiva (in assenza di compressione) del sistema ammonta a 24 Gb/s contro gli 1,5 Gb/s della HDTV.

Dal 2006 la NHK si è fortemente impegnata nella soluzione dei vari problemi, relativi all'acquisizione, al trasporto ed alla visualizzazione di segnali UHDTV, appoggiandosi, oltre che all'industria nazionale, anche ai laboratori di ricerca della RAI e della BBC.

Nel 2007 viene firmato un accordo di collaborazione fra i laboratori di BBC, IRT e RAI con quelli della NHK, per lo studio di sistemi televisivi oltre l'alta definizione: la SHV, i *frame-rate* elevati per una migliore resa del movimento, e la televisione tri-dimensionale.

Il Gruppo dei tre *broadcaster* riceve il “Technology Innovation Award” all’IBC 2008 per le trasmissioni in diretta da Torino della SHV via satellite a 140 Mb/s e quelle in Fibra Ottica da Londra a 640 Mbit/s.

Come a suo tempo per HDTV, il primo ostacolo sulla strada dello sviluppo della UHDTV è l’acquisizione delle immagini ed in NHK si sta lavorando alle relative telecamere avanzate.

Il secondo ostacolo, quello della registrazione, è anch’esso rilevante, dovendosi per ora ricorrere, come già per la HDTV, alla suddivisione del flusso dati in più *stream*.

Sul terzo ostacolo, quello della trasmissione, sono fortemente impegnate, come accennato, sia la RAI per la parte di trasporto (con trasmissioni sperimentali su ponte radio e su fibra ottica) che la BBC per la parte relativa alla compressione, ove si intende impiegare i più moderni sistemi di riduzione di ridondanza a cui si è accennato nella parte finale del relativo agli standard MPEG.

Per la visualizzazione in ricezione, la strada da percorrere è ancora molto lunga e la NHK, al momento, è riuscita a mettere a punto schermi piatti da più di 100 pollici in grado di offrire una risoluzione di 8 Mpixel (un quarto di quella necessaria), oltre che apparati per videoproiezione capaci di coprire schermi di grandi dimensioni (oltre i 10 metri di larghezza) in assenza dei quali non si potrebbero rilevare i vantaggi del sistema.

Le previsioni di impiego, inizialmente indirizzate ai settori della formazione (università, ricerca, ecc.) e della cultura (musei digitali) in tempi valutati in 10-15 anni, stanno da qualche tempo orientandosi a prevedere, in un futuro non prossimo, veri e propri servizi televisivi, visti in una dinamica di rapporti con la HDTV simile a quelli che configurano oggi quest’ultima rispetto alla SDTV, potendo giocare la UHDTV un ruolo di stimolo simile a quello giocato negli ultimi anni dalla HDTV.

### *Futuro della televisione*

Dopo un panorama storico che arriva fino agli sviluppi più recenti (e per i quali è troppo presto per emettere un giudizio storico sulla loro importanza e sul possibile successo) ci si può domandare cosa potrà avvenire nel mondo radiotelevisivo in un’ottica di più lungo termine (20-30 anni).

Si ritiene che, in tale prospettiva temporale, si possa supporre ormai completata un’infrastruttura capillare a larghissima banda per tutte le famiglie. In tal caso sarebbe auspicabile riservare il classico sistema di *broadcasting* radiotelevisivo esclusivamente per le applicazioni in mobilità, mentre per la fruizione nelle case ed in tutti gli altri locali pubblici o privati le informazioni a larghissima banda viaggeranno su fibra ottica anche se, nonostante le bande più larghe, non cesserà la ricerca ottimale dei metodi di migliore compressione (già oggi si è arrivati nei laboratori ad un’ulteriore riduzione del 50% rispetto al MPEG-4 AVC).

Altro elemento in grande trasformazione sarà il telecomando (già anticipato dalle *consolle* per giochi) in cui molti pulsanti saranno sostituiti dall’uso della voce e dei gesti.

Ovviamente si perfezionerà sempre maggiormente il 3D per una visione senza occhiali e, probabilmente, prenderanno piede i sistemi ad altissima definizione, giustificati però nelle abitazioni *ad hoc* predisposte, ossia con schermi grandissimi e sottili o con proiettori.

In una prospettiva di ancor più lungo temine si arriverà certamente alla ricezione di ologrammi con uno straordinario effetto di “immersività” e di telepresenza.

Il percorso compiuto in soli 60 anni nel mondo audiovisivo è stato certamente impressionante, ma le novità che ci attendono per il futuro saranno ancora molte e rivoluzionarie in un mondo sempre più orientato alla convergenza delle più svariate tecnologie.

### *Ringraziamenti*

Una storia sugli aspetti tecnico-scientifici della radio e della televisione, a partire dalle epoche pionieristiche fino ai giorni nostri, in cui inserire con qualche maggiore particolare il contributo italiano, è stato un lavoro non facile per cercare, pur evitando di entrare in dettagli non essenziali, di dare un quadro essenziale, completo e documentato di questo importante e vasto settore. Tanto più articolato in quanto si è voluto mantenere un corretto bilanciamento anche tra la narrazione storica degli aspetti tecnici e quella della nascita e gestione dei servizi di *broadcasting*, spesso interallacciati tra loro.

Gli autori desiderano perciò ringraziare vivamente le persone che sono state preziose nel dare contributi specifici o che hanno riletto l'intero testo dei capitoli sulla radiofonia e televisione analogica e su quelle digitali, per verificare le varie parti.

In primo luogo si desidera ringraziare l'ing. Gianfranco Barbieri e l'ing. Alberto Morello che hanno permesso di riutilizzare liberamente una storia del Centro Ricerche RAI (rintracciabile sul Web) da loro vissuta in qualità di precedente ed attuale direttore di questo importante ente che ha portato lustro nel settore della Ricerca alla RAI ed all'Italia. Nell'ambito dello stesso Centro un ringraziamento particolare va all'ing. Marzio Barbero per una rilettura dell'intero testo con utili consigli e per un riscontro sulla storia dei primi codec e sperimentazioni HDTV in Italia che l'hanno visto tra i principali protagonisti. Analogamente si ringrazia l'ing. Giorgio Parladori dell'Alcatel, anche lui protagonista all'epoca (come Telettra) di questo appassionante periodo di storia scientifica italiana sulla compressione dei segnali televisivi.

Sempre in tema di compressione dei segnali un ringraziamento caloroso va all'ing. Leonardo Chiariglione, padre del Gruppo MPEG, che, nonostante i suoi molteplici impegni, ha ricontrollato con la precisione che lo caratterizza le fasi storiche degli standard MPEG e gli aspetti peculiari di filosofia di impostazione del lavoro che hanno caratterizzato il Gruppo e che hanno fatto scuola nel mondo della standardizzazione.

Si desidera ringraziare il dr. Roberto Checchi del Centro di Produzione di Milano della RAI per i contributi forniti sugli sviluppi storici della tecnologia audio.

Un ringraziamento all'ing. Gian Marco Proietti per il contributo dato nella ricostruzione della storia dell'industria italiana del mercato professionale radio-televisivo ed all'ing. Paola Sunna del Centro Ricerche RAI per l'apporto fornito nell'evoluzione recente degli standard del sistema televisivo verso il mondo IP.

Un ringraziamento particolare alla drssa. Barbara Scaramucci direttrice delle Teche RAI ed all'ing. Giuseppe Biassoni per avere rimesso a fuoco i ricordi e la storia del progetto degli Archivi digitali della RAI ed, in particolare, del catalogo Multimediale.

Un ringraziamento infine all'ing. Pierpaolo Ghiggino, già Direttore della Ricerca Centrale di Marconi Corporation plc, per il controllo di alcuni aspetti storici iniziali e la rilettura dell'intero testo con preziosi ed utili consigli.

**Introduzione (a cura di RAULO MAESTRINI)**

I sistemi per le comunicazioni militari presentano differenti aspetti a seconda che si considerino le comunicazioni per l'Esercito, la Marina Militare, l'Aeronautica Militare e i Carabinieri, nei compiti istituzionali di ogni singola Forza Armata, che prevedono interventi anche fuori del territorio nazionale, oppure le comunicazioni per la struttura delle Forze di Sicurezza interna, quindi incluse anche le comunicazioni per le Forze dell'Ordine operanti sul territorio quali Guardia di Finanza, Carabinieri e Polizia. Questo secondo aspetto, se pur interessante sotto il profilo storico, è molto legato alle tecniche delle comunicazioni civili, mentre nel primo caso i sistemi di comunicazioni e in particolare le radiocomunicazioni, soprattutto nell'Esercito di campagna, cioè quello operativo, racchiudono le problematiche più tipiche, sia sotto il profilo storico, sia sotto il profilo tecnico e tecnologico. Quindi il tracciato storico che segue l'evoluzione dei criteri operativi, cioè dei criteri che reggono le logiche di impiego dei reparti, costituisce sia la storia del pensiero militare, sia l'evoluzione tecnica e tecnologica dei mezzi utilizzati per garantire l'efficacia del comando.

Con il pensiero militare si delineano i concetti operativi che possono essere realizzati con mezzi tecnici adeguati; così dagli schieramenti statici, per il comando dei quali erano sufficienti ordini urlati o squilli di tromba, si è giunti a schieramenti dinamici, fisicamente realizzati solo per brevi periodi e destinati ad essere dispersi immediatamente dopo l'azione. L'azione di comando quindi non può che essere sicura, protetta e flessibile, per adattarsi alle condizioni d'impiego, imponendo serie problematiche tecniche e tecnologiche per la sua realizzazione. Ne consegue che nelle pagine che seguono avrà carattere prevalente la storia di questo tipo di comunicazioni in cui sono racchiuse le tecnologie tipiche dei sistemi militari di telecomunicazione.

Le comunicazioni per la struttura delle Forze Armate si valgono di reti fisse a livello nazionale con il supporto di reti regionali o, in qualche caso, di reti specializzate. Per le comunicazioni della Marina Militare e per l'Aeronautica Militare si forniscono i criteri con cui vengono realizzate le comunicazioni normali evitando quelle molto specialistiche e dedicate alla soluzione di particolari problemi. Non si fa cenno infine a tutte quelle tecnologie, tipicamente militari, che interessano quella che va sotto il nome di "Guerra Elettronica", interessata alla intercettazione, disturbo e protezione delle comunicazioni, oltre

che alla loro cifratura. Questo perché si aprirebbe un capitolo molto vasto e con una spiccatissima specializzazione che va ben oltre lo scopo di queste note.

## Esercito (a cura di RAULO MAESTRINI)

### *Le origini*

La storia delle radiocomunicazioni militari inizia immediatamente con la scoperta di Marconi, dopo la trasmissione del primo messaggio telegrafico (12 dicembre 1901) tra Poldhu (Cornovaglia) e Signal Hill, St. John's (Newfoundland)<sup>1</sup>. La Marina Militare fu la prima ad interessarsi vivamente agli esperimenti di Marconi e su disposizioni del Ministro della Marina (Amm.glio Benedetto Brin) Marconi fu invitato a ripetere a Roma gli esperimenti, già realizzati in Inghilterra (1897)<sup>2</sup>.

La tecnologia impiegata nei primi esperimenti era sostanzialmente quella di utilizzare un generatore a scintilla e, in ricezione, un rudimentale detector a grani di ferro (*coherer di Calzecchi Onesti-coherer dall'inglese detector o rivelatore*). Ovviamente l'efficienza del sistema era molto ridotta e dipendente dal tipo di antenna impiegata e dalla sua sistemazione fisica.

Nel 1904 anche l'Esercito italiano iniziò ad interessarsi per realizzare stazioni radio campali (stazioni ricetrasmittenti idonee a funzionare in campagna sia in postazione fissa, sia in postazioni mobili), con le quali furono fatti esperimenti nelle vicinanze di Roma sino a che, nel 1910, venne costruita una rete nazionale radiotelegrafica dell'Esercito Italiano che collegava fra loro i principali Comandi Territoriali.

Nel 1906, in coincidenza con il diffondersi di queste tecnologie, Marconi fondò a Genova le Officine Marconi<sup>3</sup> per produrre e installare le stazioni radiotelegrafiche che, inizialmente, erano progettate in Inghilterra, a Chelmsford (Essex), sede della Marconi Wireless Telegraph Co. Ltd. e, per il primo quarto di secolo, tutte le stazioni radiotelegrafiche prodotte erano costruite e/o installate dalle Officine Marconi di Genova. Durante questo periodo si è avuta la prima miglioria tecnologica di rilievo: con l'avvento del diodo, la cui scoperta è dovuta al dott. John Ambrose Fleming (Brevetto n. 24.850 del 16 Novembre 1904), il *coherer* metallico fu sostituito dal diodo con evidenti vantaggi di stabilità e rendimento. Per inciso, il dott. Fleming era un dipendente della Marconi Wireless.

Due anni dopo il dott. Lee DeForest brevettò la valvola termoionica a tre elettrodi (brevetto per l'*audion* del 1906 oggi triodo) che tuttavia non fu immediatamente utilizzata. Altre migliorie tecnologiche furono introdotte nei trasmettitori con l'utilizzo di alternatori quali generatori di frequenza al posto dei generatori a scintilla, ottenendo un deciso vantaggio in termini di stabilità

<sup>1</sup> Hopkins.

<sup>2</sup> Leoni 1994.

<sup>3</sup> Baker 1984.

ed efficienza con particolare riguardo verso le stazioni più potenti (sino a 1000 kW) e con lunghezze d'onda di 30.000 metri. Le potenze elevate, le frequenze basse e gli enormi padiglioni di antenne erano una necessità imposta dai ricevitori che erano dei semplici *detector*.

In pratica le comunicazioni militari si compendiano in reti radiotelegrafiche la cui manipolazione era effettuata per interruzione della portante, e la cui configurazione era a stella, nel cui vertice era un Comando principale collegato dai raggi ai Comandi periferici. Lo sforzo comune a tutti era la ricerca costante per una riduzione dei volumi e dei pesi; particolare cura era posta ai sistemi di antenna che, nei sistemi militari, erano sempre di tipo campale.

La Marina Militare, tra il 1903 ed il 1914, aveva installato sulle sue navi apparati radiotelegrafici, con i quali furono eseguiti molti collegamenti durante le manovre e le esercitazioni, utilizzando due unità della flotta: il "Duca degli Abruzzi" e il "Regina Elena". Dal 1903 e per il decennio successivo la tecnologia e la conformazione degli apparati utilizzati non subirono grandi varianti, si continuavano ad impiegare le onde lunghe<sup>4</sup>, con un uso sempre di potenze rilevanti generate a mezzo di alternatori. Durante la Prima Guerra Mondiale si cominciarono ad avere i primi seri problemi di intercettazione a cui occorreva porre rimedio.

Marconi, che aveva già avanzato dubbi sull'opportunità di usare le onde lunghe, iniziò a Livorno a sperimentare apparati utilizzando onde corte e sistemi di antenna direzionali. Questi esperimenti, cominciati a Livorno nel 1914-15, furono successivamente continuati e completati in Inghilterra, con l'aiuto di un ingegnere della Marconi Wireless, Mr. Charles Samuel Franklin. Ovviamente le portate risultarono più brevi ma si poteva ridurre, almeno in parte, la probabilità di intercettazione.

Verso il 1915 cominciarono ad apparire sul mercato ricevitori che impiegavano le valvole termoioniche (i triodi di Lee DeForest) che permettevano di realizzare amplificatori sintonizzabili migliorando in modo deciso la sensibilità dei ricevitori. Naturalmente l'uso delle valvole modificò profondamente la tecnologia di tutti i sistemi radio, permise l'amplificazione dei segnali, migliorando notevolmente la sensibilità e la stabilità di frequenza che, a sua volta, permise di realizzare collegamenti paralleli e la costituzione di reti a maglia senza limitazioni e/o interferenze.

Non si ha una notizia precisa ma fra il 1918 e il 1920 nasce, in contrapposizione ai ricevitori ad amplificazione diretta (i TRF, Tuned Radio Frequency Receivers), la supereterodina<sup>5</sup> che assicura una sintonizzabilità più rapida ed una più accurata selettività<sup>6</sup>. La selettività nei ricevitori diventa un fatto importante

<sup>4</sup> Secondo la definizione dell'ITU – International Telecommunications Union – corrispondono alle LF – Low Frequency – che coprono la banda da 30 kHz a 300 kHz, e lunghezze d'onda da 10 km a 1 km.

<sup>5</sup> Nei ricevitori supereterodina la frequenza in ricezione viene moltiplicata per una frequenza generata localmente così da ottenere una frequenza fissa, detta frequenza intermedia, sulla quale è sintonizzato il ricevitore.

<sup>6</sup> Rider 1934.

perché con l'uso delle valvole e delle onde corte (sopra i 600 kHz) nascono le prime stazioni di radiodiffusione, che debbono essere sintonizzate accuratamente onde evitare interferenze.

Nei sistemi militari continuano a prevalere i sistemi telegrafici mentre i collegamenti in fonia sono riservati a comunicazioni particolari. Tuttavia si fa sempre più pressante il problema dell'intercettazione dei segnali nelle comunicazioni militari, telegrafiche e telefoniche, e nascono i primi codici che cercano di criptare le trasmissioni telegrafiche, mentre per le trasmissioni telefoniche vengono studiati dispositivi che rendano più difficile l'ascolto diretto. Queste tecniche, iniziate allora con sistemi piuttosto rudimentali, costituiscono oggi un ramo specialistico delle comunicazioni militari.

A partire dalla fine della Prima Guerra Mondiale le prove e le sperimentazioni con frequenze sempre più alte vengono condotte da Marconi in Italia e in Inghilterra. Si esplorano le frequenze sopra i 10 MHz e vengono scoperti gli strati ionizzati della ionosfera che permettono la trasmissione a grandi distanze, superando la curvatura della terra con la riflessione delle onde. Si ebbe così una intensa attività di studio e ricerca su queste frequenze mentre la tecnologia non ebbe che sviluppi marginali sui materiali.

Le comunicazioni erano sempre di tipo telegrafico mentre la radiofonia era quasi sempre riservata alla radiodiffusione nella gamma delle onde medie (tra 600 kHz e 1200 kHz). Nelle Forze Armate erano diventati di moda i "marconisti", cioè operatori capaci di ricevere e trasmettere con velocità di rilievo messaggi e testi telegrafici. Non vi furono quindi grandi novità nel periodo, quasi una stasi negli sviluppi tecnologici in parte anche dovuta all'isolamento in cui l'Italia si era confinata. Evento di rilievo la scomparsa di Guglielmo Marconi il 20 luglio del 1937; nel mese di novembre dello stesso anno Edwing Howard Amstrong negli Stati Uniti brevettava la modulazione di frequenza.

Per avere un'idea della tecnologia realizzativa nel periodo intercorrente tra la fine della Prima Guerra Mondiale e l'inizio della seconda, poco più di un ventennio per altro caratterizzato da una guerra d'Africa e una guerra di Spagna, si riportano le caratteristiche di alcuni apparati impiegati dal nostro Esercito<sup>7</sup>.

- *Stazione R-2*. Impiegata nelle unità minori  
Potenza 4W – utilizzava 4 valvole  
Gamma 115 kHz-2,05 MHz  
Funzionamento isoonda telegrafica  
Anno 1930 – Disponeva di 3 quarzi per la taratura
- *Stazione R-3*. Impiegata nelle unità maggiori  
Potenza 15W – utilizzava 4 valvole  
Gamma 2,0-2,5 MHz  
Funzionamento telegrafia isoonda  
Anno 1932 – Disponeva di 4 quarzi per la taratura

<sup>7</sup> Salasso e Graticci 1992. Le caratteristiche degli apparati descritti possono essere affette da errori perché dedotte da documenti non ufficiali e spesso identificati con sigle diverse.

- *Stazione RF-1*. Impiegata a livello Rgt.  
Potenza 3W – utilizzava 6 valvole  
Gamma 2,5-2,7 MHz  
Funzionamento telegrafia/telefonia isoonda  
Anno 1936 – Costruttore Magneti Marelli
- *Stazione RF-2*. Impiego Gruppo Artiglieria  
Potenza 3W – utilizzava 8 valvole  
Gamma 2,7-4,28 MHz  
Funzionamento fonia e grafia isoonda  
Anno 1935 – peso 45 kg
- *Stazione RF-4*. Impiego Grandi Comandi Unità  
Potenza 15W (?)– utilizzava 13 valvole (6 Tx e 7 Rx)  
Gamma 214-1580 KHz-trasmissione  
Funzionamento fonia e/o grafia isoonda o no  
Anno 1936

Si osserva che tutti gli apparati utilizzano frequenze non superiori ai 4 MHz, mediamente è utilizzata la porzione di banda tra 1,5 e 2,0 MHz. Vengono completamente trascurate le frequenze sopra i 10 MHz. Con molta probabilità si riteneva che questa banda potesse fornire, a parità di condizioni, portate maggiori e non risultava certo evidente il vantaggio ottenibile dalla direttività delle antenne. Le antenne a telaio utilizzate, certamente convenienti all'uso campale, portano ad accreditare questi concetti di sistema. Con l'uso di frequenze così basse risultava più difficile, se non altro più complicato, l'impiego delle modulazioni di frequenza che per altro le truppe anglosassoni utilizzavano già correntemente.

### *La ricostruzione*

Finita la guerra l'Esercito Italiano fu lentamente ricostruito con l'aiuto delle Forze Alleate che rifornirono le truppe di materiali e mezzi, ivi compresi i materiali per le comunicazioni. Dopo un periodo necessariamente confuso per ricomporre e riordinare le varie Unità, praticamente disperse dopo l'8 settembre 1943, il Governo arriva al Referendum Istituzionale, tra Monarchia e Repubblica, il 2 Giugno 1946 con i primi reparti dell'Esercito ricostituiti in forma organica.

Seguendo il modello statunitense (*Signal Corp*) viene adottata la nuova denominazione "Trasmissioni" ad indicare una specialità autonoma del Genio (1953), staccata successivamente dall'Arma madre e costituita in Arma indipendente (1997). I materiali delle trasmissioni sono tutti di origine statunitense, in gran parte utilizzati durante il conflitto e poi lasciati nei magazzini al suo termine. Questi materiali differivano da quelli di dotazione al nostro Esercito all'inizio del conflitto, per le gamme di frequenza, per l'uso della modulazione di frequenza e per una più avanzata tecnologia costruttiva. Le frequenze utilizzate erano principalmente comprese fra 26 e 70 MHz (PRC 8/9/10, AN/GRC 3-8, AN/GRC-19). Si noti che la modulazione di frequenza 'nasce' dal brevetto di Armstrong nel 1937 ma salvo qualche prototipo realizzato in Italia tra il 1938 e il 1940 (Safar, Allocchio Bacchini), le nostre Forze Armate non dispongono

nei reparti che dei classici ricetrasmittitori in HF. Tra tutti i materiali ricevuti dalle Forze Alleate ne spicca uno in particolare: il ponte radio, l'AN/TRC-1 (*alias* Antracite) che con un multiplex telefonico CF-1 diventerà un cavallo di battaglia negli impieghi del nostro Esercito ricostituito.

I multiplex telefonici utilizzati erano, al contrario del ponte molto compatto e maneggevole, dei sistemi a 4 canali contenuti in ampi cassoni ingombranti e di difficile trasporto. Con il CF-1 esisteva il CF-2, un multiplex 4 canali telegrafici che fu poco utilizzato per la sua scarsa maneggevolezza. Questi materiali rimarranno in servizio fino al 1965, quando vennero via via sostituiti dal piano di ammodernamento che prese forma alcuni anni dopo. L'industria italiana è decisamente provata e le Officine Marconi di Genova, abituale fornitore dei materiali per le Forze Armate, rimaste molto danneggiate nel cannoneggiamento di Genova da parte della flotta inglese all'inizio del conflitto, erano state trasferite a Pistoia continuando a produrre apparati HF con notevoli limitazioni non essendo più possibile il collegamento con la Casa Madre, la Marconi Wireless con sede a Chelmsford (Essex), interrotto per il conflitto.

Si noti, per inciso, che le Officine Marconi appartenevano alla società Marconi Wireless Ltd. del Gruppo English Electric e, all'inizio del conflitto, erano state requisite dal Governo Italiano ed affidate in gestione all'IRI con il Marchese Giulio Marconi (figlio nato dal primo matrimonio di Marconi) quale curatore della società. La Marconi Italiana (ex Officine Marconi) ritornerà alla Marconi Wireless Ltd. nel 1959.

Inoltre, fattore molto importante, le operazioni durante il conflitto avevano dimostrato che le concezioni operative e la tipologia dei materiali che ne scaturivano non erano più rispondenti ai nuovi scenari post-bellici. Infatti l'Italia entra nell'Alleanza Atlantica – la NATO – sia nella parte politica (l'Alleanza), sia nella parte militare, nell'anno 1950 e personale del nostro Esercito comincia a far parte dei gruppi di lavoro NATO.

La NATO, durante il primo periodo di esistenza, si dota di proprie reti infrastrutturali di comunicazioni per il collegamento tra i propri comandi, tipicamente a livello Armata o Gruppo di Armate (siamo in pieno periodo Guerra Fredda). Le comunicazioni ai livelli inferiori (dal Corpo d'Armata in basso) sono di responsabilità nazionale, ma restano comunque molto sentite le esigenze di interoperabilità a tutti i livelli tra le Forze Armate dei Paesi alleati.

Si formano quindi numerosi gruppi e comitati, a livello sia operativo che tecnico, e viene emessa una lunga serie di specifiche tecniche (STANAG: Standard Nato Agreement) per assicurare tale interoperabilità; l'allargamento della NATO, l'evoluzione della minaccia con la fine della Guerra Fredda e l'insorgere del terrorismo, i nuovi compiti ed organizzazione della NATO hanno acuito le esigenze di interoperabilità e reso più che mai attuale il lavoro dei gruppi di studio.

Nel 1953 nasce, in quel contesto, il gruppo Finabel (nome composto dalle iniziali delle nazioni partecipanti Francia-Italia-Nederland-Allemagne-Belgio) per fornire linee di guida agli Eserciti europei e nello stesso tempo assicurarne la interoperabilità. Il Finabel produce subito le specifiche di multiplex campali per sostituire i CF-1 e, in Francia, la CIT (Compagnie Industrielles de Telepho-

ne –nucleo base della futura Alcatel) ne produce i primi esemplari che saranno poi riprodotti in Italia dalla Marconi Italiana su licenza.

Negli stessi anni le Officine Marconi rientrano a Genova dall'esilio di Pistoia, cambiando il nome della Società in Marconi Italiana, e cercano di ricostruire le strutture tecniche notevolmente depauperate dalla guerra mentre il tradizionale mercato, costituito dalle Forze Armate, e in particolare dalla Marina Militare, è per ovvie ragioni praticamente nullo.

Un primo tentativo di riavviare le comunicazioni viene intrapreso proprio dalla Marina Militare emettendo una gara per ricetrasmittitori in banda MF/HF, con potenza di uscita di 50 W, apparati necessari per equipaggiare piccole unità nella ricostruzione della flotta. La gara fu vinta dalla Marconi con un progetto interessante sotto il profilo tecnico in quanto i sintonizzatori d'antenna per le due bande di funzionamento erano automatici; tecnicamente fu il primo esempio apparso sul mercato che però non fu poi utilizzato commercialmente. Questo progetto, entrato in produzione nel 1955, era il primo di una serie che doveva riportare la Marina Militare Italiana a ripristinare i suoi livelli di operatività nelle comunicazioni. Il progetto rappresenta il primo esempio di sintonizzazione automatica di antenna, prima cioè che comparissero sul mercato statunitense i sintonizzatori automatici della Collins. Purtroppo lo sviluppo non venne sfruttato commercialmente e non vi fu alcun seguito al progetto.

Anche l'Esercito cercava di riprendere e riorganizzare le trasmissioni in quanto i materiali alleati oltre a deperire stavano anch'essi invecchiando e le sostituzioni avvenivano riproducendo su licenza parte di questi apparati con risultati poco soddisfacenti.

### *La rinascita*

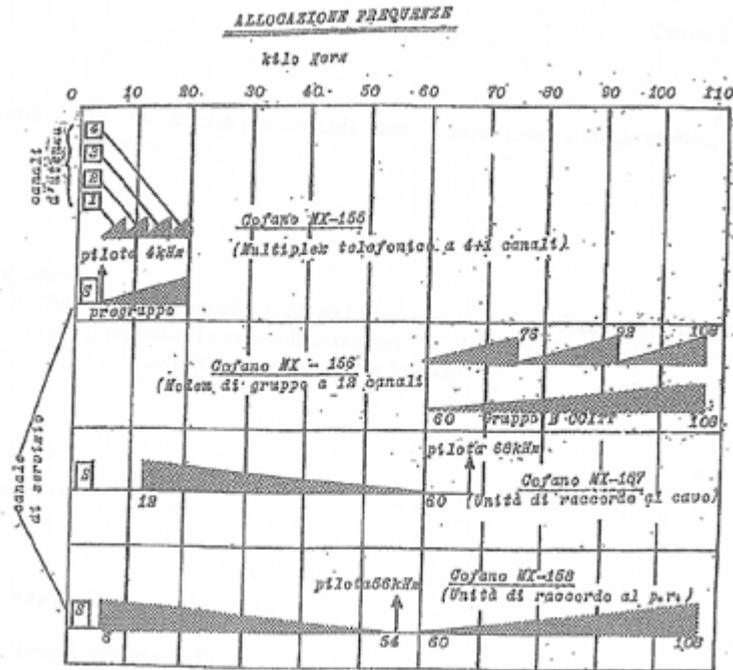
Il primo tentativo dell'Esercito fu una gara per un sistema di comunicazione per dotare la Direzione Artiglieria Terrestre (DAT) di una rete in ponte radio con multiplex unidirezionali tra un centro e i vari gruppi di artiglieria dislocati sul terreno; gli apparati dovevano rispettare le Norme MIL (USA) e ogni canale dei multiplex unidirezionali era dedicato o in trasmissione o in ricezione. Sovrapposto al sistema di comunicazione era previsto un sistema di allarme per gli eventuali attacchi aerei. I ponti radio erano allocati in banda 70-100 MHz per le comunicazioni, mentre la rete di allarme utilizzava dei ponti monocali a 4 GHz realizzati con il tubo di Heil, un antenato del *klystron*. Il progetto di sistema fu messo a gara nel 1956 e vinto dalla Marconi a cui fu assegnato nel 1957. Il prototipo fu collaudato con esito positivo nella primavera del '59 ma si dimostrò non idoneo a soddisfare i requisiti della DAT e non vi fu produzione di serie. Una seconda gara, emessa dopo la disastrosa conclusione della gara DAT, era relativa alla acquisizione di ponti radio e multiplex per impiego presso vari reparti nella Regione Nord-Est.

Le specifiche dei ponti radio furono derivate da quelle di un ponte RCA (AN/TRC-24) di cui la società ATES, con sede all'Aquila, aveva la licenza di riproduzione, in quanto legata alla RCA per la produzione di valvole, mentre per i multiplex furono adottate le specifiche Finabel. La gara fu vinta da

ATES e Marconi Italiana associate, quest'ultima poteva produrre su licenza dalla CIT francese i multiplex già prodotti in Francia per l'Esercito Francese. Nella fase di assegnazione della gara la società ATES fu acquisita dalla società SIT - Siemens (la futura Italtel) che rilevando la scarsa redditività del contratto rifiutò di firmarlo. Furono così acquisiti solo i multiplex Marconi, poi distribuiti ai reparti con le sigle originali MX155, MX156, MX157, MX158. L'MX155 era un 4 canali classico 4-20k con un canale di servizio in banda base e l'MX156 permetteva di formare un gruppo B che poteva essere inviato al cavo (MX157) o ad un ponte radio (MX158) (Tav. 1). L'uso con il cavo era molto frequente per due motivi: innanzitutto la mobilità dei reparti era bassa ed, in secondo luogo, era disponibile una grande quantità di cavo CX1065 (*spiral four*) lasciato in eredità dalle forze alleate. Questo tipo di collegamento era normalmente utilizzato anche con il doppino telefonico WD-1/TT, già in dotazione al nostro Esercito, il cavo garantiva infatti una maggior sicurezza contro l'intercettazione ed il disturbo.

Tuttavia l'accresciuta esigenza di mobilità poteva essere soddisfatta solo con l'uso di ponti radio e, dopo il fallimento della gara precedente, fu indetta una nuova gara per 50 stazioni in ponte radio, installate su *shelter*, allocate in banda 4,4÷5 GHz, con capacità sino a 120 canali telefonici a moltiplicazione di frequenza (FDM) e potenza d'uscita di 1 W (realizzata con *klystron*). Vinse la gara la Mar-

Tavola 1. Allocations frequenze dei multiplex FDM.



—Allocazione dei canali, pregruppi e gruppi nei componenti del sistema

coni Italiana (1968) con il ponte radio PR6/170, che presentava una importante novità tecnologica – la frequenza di emissione era sintetizzata a passi da 0,5 MHz, tra 4,4 GHz e 5 GHz, con 1200 passi di sintonia (Fig. 1).

In pratica veniva introdotto nella tecnica della generazione di frequenza il sintetizzatore che, a sua volta, determinava una struttura particolare dei ponti radio, ora capaci di sintonizzarsi rapidamente in un punto qualsiasi della banda assegnata. Il salto tecnologico è fondamentale ai fini delle tecniche di progetto e nelle tipologie di impiego.

Per quanto riguarda, poi, le comunicazioni tattiche a media e lunga distanza a livello di Grande Unità (Divisione), all'inizio degli anni '70 fu bandita una gara con presentazione di Prototipi per l'approvvigionamento di 140 Stazioni Radio HF-BLU (Banda Laterale Unica) di grande potenza in *shelter*. Alla gara parteciparono la ELMER con apparati propri (di derivazione americana General Dynamics) con trasmettitore a valvole, la FIAR con apparati americani (Harris), anch'essi con trasmettitore a tubi, ed infine Telettra con apparati ricetrasmittenti su licenza Thomson-CSF *completamente allo stato solido* compreso l'amplificatore di potenza, con sintetizzatore di frequenza a passi di 100 Hz in trasmissione ed a passi di 10 Hz in ricezione. La destinazione d'impiego era per il funzionamento in radiotelecrivente e, dopo approfonditi test di laboratorio e più di sei mesi di prove di pratico impiego in campagna, la gara fu aggiudicata a Telettra (1972), che effettuò nell'arco di pochi anni (1975-1978) tutta la fornitura delle stazioni radio, che furono omologate con la sigla RH6/1000. Il materiale fu distribuito a tutti i Comandi Trasmissioni ed a reparti speciali.

Queste stazioni in *shelter* dovevano rispondere a criteri di mobilità abbastanza severi che si riflettevano in due caratteristiche tipiche:

- lo *shelter* era dotato di zampe retrattili che ne permettevano il carico/scarico da un autocarro senza l'ausilio di mezzi ad hoc;
- l'antenna dei ponti radio era sistemata alla base del traliccio, che disponeva alla sua sommità di uno specchio, e ciò permetteva una installazione molto più rapida riducendo nel contempo le perdite sui *feeder*, realizzati in cavo coassiale, mentre per l'HF le mensole porta antenna trasmettente e riceventi erano fissate direttamente allo *shelter*.

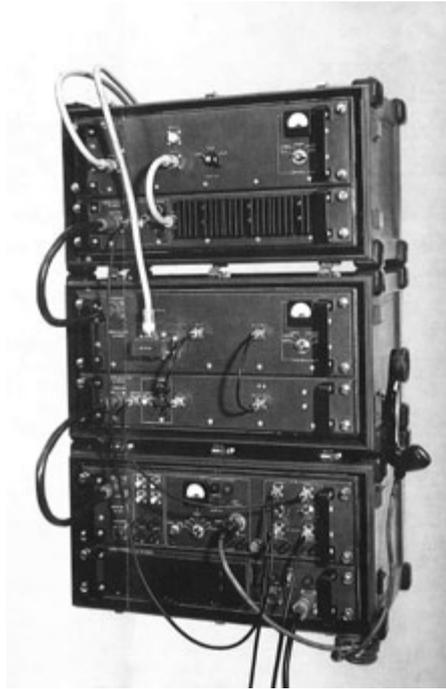


Figura 1. Ponteradio PR6/170.



**Figura 2.** Ricetrasmittitore, amplificatore di potenza ed adattatore di antenna da 400W Telettra

Queste stazioni sono state impiegate a lungo nei reparti della Regione Nord-Est negli anni '70.

Parallelamente la Marina Militare, dopo l'acquisizione delle 50 stazioni HF, studiò un piano di rinnovamento delle comunicazioni ed emise una gara per l'acquisizione di apparati in gamma HF da 2 MHz a 30 MHz, da installare a

bordo-nave, per ammodernare le stazioni radio con tecnologia più avanzata senza tuttavia grosse innovazioni sotto il profilo delle comunicazioni. La gara fu vinta dalla società Elmer, che a tutt'oggi continua nella produzione di sistemi HF navali.

Infine, alla fine degli anni '70, le società Telettra e ELMER svilupparono un innovativo sistema di comunicazione tattico in banda HF con potenza 400 W in risposta ad un bando di gara del Ministero della Difesa per l'adeguamento della capacità di comunicazioni fonia e dati a bassa velocità dell'Esercito Italiano. La ELMER ebbe la responsabilità dell'Eccitatore/Ricevitore e la Telettra quella dell'amplificatore di potenza allo stato solido (400 W), dell'alimentatore da batteria (il tutto doveva essere installato su jeep) e dell'Adattatore Automatico di antenna nella banda 2-30 MHz. Quest'ultimo apparato ha rappresentato un grosso elemento di innovazione dato che non faceva uso di sistemi motorizzati per l'adattamento dell'impedenza di antenna ma utilizzava una rete passiva commutata tramite relais a vuoto sulla base di algoritmi legati alla frequenza di trasmissione, in tal modo velocizzando drasticamente il tempo di sintonia e migliorando l'affidabilità del sistema. La rete di adattamento fu brevettata con estensione anche negli USA (Fig. 2).

### *La struttura*

Tra la prima e la Seconda Guerra Mondiale il personale dell'Esercito che si occupava dei collegamenti radio e dei materiali relativi era costituito da un piccolo gruppo di specialisti del Genio, a livello plotone, aggregato alla Unità da servire. Nel dopoguerra, tra il 1946 ed il 1950, tutto il personale attinente alle trasmissioni venne trasferito alla costituenda Scuola Genio Collegamenti a Roma Cecchignola, che si assunse il compito di riqualificarlo conferendogli una preparazione specifica. La scuola si assunse anche il compito di preparare tutta la documentazione per l'impiego dei materiali forniti con gli aiuti PAM (Piano Aiuti Marshall).

*Le Scuole.* Il 1 Gennaio 1946 fu costituita la Scuola Genio Collegamenti, con sede alla Cecchignola nell'ambito della Città Militare a Roma, che nello stesso anno cominciò a funzionare a pieno ritmo e, in particolare, a partire dal

mese di maggio contribuì al servizio di ordine pubblico per la consultazione referendaria del 2 giugno fra repubblica e monarchia. La Scuola realizzò una rete totalmente autonoma tra tutti i Ministeri con il centro presso il Viminale (Ministero degli Interni).

Nel novembre dello stesso anno la Scuola, dipendente dal Comando Scuole Centrali Militari, passò alle dipendenze dell'Ispettorato del Genio.

A partire dal 1948 la Scuola avviò corsi per l'addestramento degli Allievi Ufficiali di Complemento (AUC) della specialità "Collegamenti" e, nel 1952, i "genieri-trasmittitori" si distinsero dai genieri per il cambio di mostrine; infine il 1° giugno 1953 la Scuola assunse la nuova denominazione di "Scuola delle Trasmissioni", scindendosi così dal Genio.

Da allora la Scuola ha assunto compiti sempre più impegnativi per la preparazione del personale delle Trasmissioni, con corsi per Ufficiali, Sottoufficiali, Allievi AUC delle Trasmissioni e del Corpo Tecnico dell'Esercito e per volontari in ferma prolungata, per un totale di 4200 allievi/anno.

Per risolvere problemi relativi alle trasmissioni comuni alle tre Forze Armate di allora nel 1950 viene decisa la costituzione della "Scuola Unica Operatori RadioTelegrafisti delle Forze Armate" con sede a Chiavari (GE) allo scopo di disporre di operatori TLC in possesso di una comune formazione nel settore delle conoscenze tecniche e delle procedure telegrafiche, esigenza particolarmente sentita con l'adesione dell'Italia alla Nato e con l'adozione di procedure di comunicazioni standardizzate (ACP, Allied Communications Procedures).

Nel 1952 l'Istituto assunse la denominazione, mantenuta fino ad oggi, di "Scuola Telecomunicazioni FFAA."

I corsi forniti si sono via via adattati alle variate esigenze del settore tecnologico e della struttura militare passando così dalla formazione di operatori radiotelegrafici a quella di telescriventi, di esperti informatici e telematici, di esperti in sicurezza delle comunicazioni e, infine, di gestori e manutentori delle reti infrastrutturali interforze e, in particolare, della Rete Numerica Interforze (RNI) che verrà brevemente descritta nel seguito.

*Gli stabilimenti.* Dopo la liberazione, nel 1946, riprendeva l'attività la "21° Officina Riparazioni Genio" con la nuova denominazione "21° Stabilimento Genio Militare", quale organo esecutivo del servizio Genio per la branca collegamenti (3 agosto 1946). Nel 1949 lo Stabilimento cedeva le attività di studio con tutto il personale e le attrezzature al costituendo "Centro Studi Collegamenti" poi diventato (23 novembre 1977) il "Centro Tecnico Militare delle Trasmissioni", che nel 1967 passò alle dipendenze della "Direzione Generale Armi, Munizioni ed Armamenti Terrestri".

*Il "Servizio Tecnico delle Trasmissioni".* In data 25 ottobre 1950 lo SME-Ordinamento prevedeva l'istituzione di un Servizio Tecnico Collegamenti e successivamente (5 dicembre 1960) ne modificava la struttura e il nome (Servizio Tecnico delle Trasmissioni), fissando i compiti: ne fissava i compiti:

- presiedere agli studi scientifici e tecnici dei mezzi di trasmissione occorrenti all'Esercito, nonché alla realizzazione e sperimentazione dei prototipi;

- provvedere all'elaborazione delle condizioni tecniche di progetti, di capitoli d'onere e alla elaborazione dei progetti di regolamentazione tecnica per la conservazione, la manutenzione, l'uso e la riparazione dei materiali;
- sovrintendere al controllo della produzione e fissare le direttive tecniche per il collaudo dei materiali da approvvigionare.

Agli inizi degli anni '70 il Servizio avviò lo studio EI 56 – Sistema di Trasmissione Post-75 e successivamente venne configurato il CATRIN (Sistema CAMPale delle TRAsmissioni INtegrate) e vennero studiate le caratteristiche dei nuovi materiali, partecipando ai gruppi di lavoro NATO, EUROCOM e Finabel.

Il 20 settembre 1980, il Servizio Tecnico delle Trasmissioni cessa di esistere e viene sostituito dal Corpo Tecnico dell'Esercito, che riunisce i ruoli dei Servizi Tecnici d'Artiglieria, Motorizzazione, Chimico-Fisico, delle Trasmissioni e Geografico.

### *Il "Post-75". La genesi*

Agli inizi degli anni '60 i concetti operativi degli Eserciti Europei furono fortemente influenzati dal possibile uso, sul teatro operativo, di una arma atomica-tattica.

La minaccia che accompagnava quest'arma costringeva a rivedere tutti i concetti operativi legati ai movimenti delle truppe e dei mezzi, evitando concentrazioni "paganti", aumentando la dispersione e rendendo fluidi e veloci tutti gli spostamenti. Il concetto di mobilità delle forze veniva stressato oltre i limiti sino allora vigenti e poneva, in conseguenza, seri e motivati problemi alla catena di Comando e quindi alle comunicazioni con cui si realizzava.

Si iniziarono pertanto studi per realizzare le comunicazioni tattiche (leggi anche campali) adatte a soddisfare i nuovi requisiti di mobilità ed il primo ad apparire fu quello del Royal Signal Corps dell'Esercito Britannico denominato "Sistema Hobart", che successivamente fu superato dallo studio del sistema "Mallard" (*wild duck*) iniziato dagli Eserciti di tre nazioni: Stati Uniti, Inghilterra e Canada.

Negli stessi anni fu creato in seno alla Nato, un gruppo di studio – AC130 – per definire i parametri comuni dei futuri sistemi tattici, post-75, delle Forze dell'Alleanza, così da garantire la loro interoperabilità. Da parte italiana furono presentati alcuni studi sulle modulazioni Delta e le relative conversioni analogico-numeriche sviluppate nell'Università di Genova nell'ambito del progetto finalizzato del CNR sulle comunicazioni satellitari diretto dal prof. De Castro<sup>8</sup>.

In Italia, alla fine degli anni '60, un attento e deciso Ispettore delle Trasmissioni dell'Esercito Italiano, Gen. Sergio Giuliani, riuscì nell'intento di lanciare una gara di studio per le trasmissioni (EI 56 – Sistema di trasmissioni Post-75) che doveva innovare i sistemi dell'Esercito. Per l'Amministrazione della Difesa era la prima gara, in assoluto, per acquistare uno studio e non dei materiali. La gara contrappose società telefoniche di "lungo corso" ad un gruppo di giovani società elettroniche, IBM, Marconi Italiana, Selenia, Telettra, che vinsero la gara.

<sup>8</sup> Caboara e Maestrini 1964; Maestrini 1965; Pertica e Maestrini 1966.

Lo studio articolato per temi e per fasi partiva dai requisiti operativi emessi dallo Stato Maggiore dell'Esercito e, in una prima fase esplorava una serie di temi (Tav. 2) specifici di sistema, passando poi, in una seconda fase e dopo un'accurata simulazione, al progetto di sistema. Lo studio rivoluzionava i canoni delle comunicazioni militari, sostituendo le reti a stella con reti a griglia e introducendo l'uso generalizzato di segnali numerici, ovvero con un decisamente brutto neologismo di segnali digitali, l'impiego di centrali di commutazione ed una decisa campalizzazione di tutti i materiali per assicurarne la mobilità. I risultati dello studio mettevano in evidenza alcuni dati che si discostavano dai criteri adottati nei corrispondenti sistemi civili. Il dato più significativo derivava dal tipo di modulazione adottato per la conversione analogico/digitale: mentre nei sistemi civili era ormai universalmente adottata la PCM, per le comunicazioni militari era da preferirsi di gran lunga la modulazione Delta. La ragione era insita nella resistenza al disturbo propria di questa modulazione, infatti un collegamento in Delta è ancora intelligibile con un tasso di errore superiore a  $10^{-2}$ , un errore ogni 100 bit, mentre la PCM risulta inutilizzabile con tasso di errore superiore a  $10^{-4}$  (un errore ogni 10 kbit!). È evidente che una rete tattica, che è schierata sul terreno in prossimità o a ridosso della FEBA (Forward Edge of the Battle Area), sarà indubbiamente oggetto di un intensa attività di disturbo. Se si sceglie

**Tavola 2.** Temi di studio della 1ª fase del Post-75 / Temi di 2ª fase del Post-75.

Phase 1 – System Preliminary Design		
Operational Requirement – Topics		
- Traffic and Configuration	- Analog to digital Configuration	- Radio Frequencies Assignment
- Radio Equipments	- Wire Equipments	- Special Equipments (SCRA; TROPO)
- Automatic Switching	- Multiplex Plan	- Network Synchronization
- Automatic Dialling	- Users Directory	- Signalling
- Integration of Services	- Store and Forward Sub-System	- Special Users Facilities
- Multichannel Encryption	- Single-Channel Encryption	- User-to-user Encryption
- Users Equipments Standardisation	- Interfaces to other Networks	- System Control
Phase 2 – System Simulation		
1 – Detailed project and Standards		
2 – Equipments Specifications		
3 – Adaptation to the field environment		
4 – Cost Estimates		
5 – Progression plan for modernization		
6 – System Simulation		

la velocità di un canale digitale Delta come sottomultiplo di un canale PCM, ad es. 32 kbit/s, la metà o un quarto di 64 kbit/s, a parità di velocità si raddoppia o quadruplica la capacità trasmissiva, e gli organi di linea rimangono invariati per le due modulazioni. In ogni caso il piano di moltiplicazione risultante da un esame sia del traffico ipotizzato, sia dalle esigenze derivanti dagli inquadramenti dei reparti, è riportato in Tav. 3. Un secondo risultato interessante riguardava la possibilità di utilizzare la commutazione nei nodi ma occorreva risolvere il problema dell'instradamento che doveva tener conto della mobilità degli utenti e degli stessi nodi. L'unica soluzione possibile fu la segnalazione a diffusione per tracciare il percorso tra le due utenze. Questa segnalazione è nota come *hot-potato signaling*. Su questo punto furono fatti molti tentativi per ricercare soluzioni alternative ma alla fine la chiamata a diffusione è stata quella adottata. Si noti per inciso che una volta stabilita la connessione tra due utenti della rete se, per un danneggiamento voluto o accidentale, se ne procurava l'interruzione il sistema interveniva automaticamente per ripristinare il collegamento con un percorso alternativo. In questo modo la rete acquisiva un elevato grado di sopravvivenza, anche fisica. Per garantire infine il necessario grado di sicurezza informativo la rete disponeva di un sistema di cifra sovrapposto a tutto il traffico mentre utenze particolari erano munite di cifratura punto-punto<sup>9</sup>.

Tavola 3. Piano di moltiplicazione per modulazione Delta.

	Trunks			Loop Groups	
	High Capacity	Medium Capacity	Low Capacity	Medium Capacity	Small Capacity
Frame alignment – kbit/sec	32	32	16	32	16
Signalling – kbit/sec	32	32	16	-	-
Traffic – kbit/sec	960	448	224	480	112
Time slots	32	16	8	16	4
Telephone channels	27	12	6	15	3
Telegraph channels	24	16	6	-	4
Overall bit rate kbit/sec	1024	512	256	512	128

Questo studio, redatto in inglese e francese, permise all'Ispettorato Trasmissioni di partecipare ad un nuovo gruppo, sorto in NATO ma appartenente all'Eurogruppo, denominato Eurocom, creato nella prima metà degli anni '70 e che si prefiggeva di fornire in tempi rapidi (le procedure NATO avrebbero richiesto tempi molto più lunghi) specifiche europee per svincolarsi dalle onerose norme MIL-ST allora in vigore. Alla metà degli anni '70, il Gruppo Eurocom mise a punto, sulla base del documento "D0" contenente i requisiti operativi, il documento "D1", ossia le specifiche tecniche, per le reti tattiche di comunicazione in modo da consentire la completa interoperabilità tra gli Eserciti alleati. Questo documento emesso nel 1975 e completato e aggiornato sino all'edizione definitiva del 1986 costituisce oggi la specifica base per le reti tattiche per tutti gli Eserciti europei.

<sup>9</sup> SME 1969; Parolin 1969; Parolin; AA.VV. 1995.

La redazione del D1 fu laboriosa poiché agli inizi esistevano tre potenziali soluzioni per il canale telefonico numerico (canale digitale): la prima sostenuta e adottata dai francesi utilizzando una modulazione PCM a 6 bit, e quindi con un bit/rate di 48 kbit/s, la seconda sostenuta dall'Inghilterra utilizzando la modulazione Delta con bit/rate di 19,2 kbit/s, (in linea con la legge  $75 \cdot 2^n$  studiata nel sistema Mallard), la terza sostenuta dall'Italia e derivata dallo "Studio Post-75", utilizzando la modulazione Delta ma secondo la legge  $2^n$  e quindi con bit/rate multiplo di 8, pari a 32kbit/s. Gli USA, in un primo momento favorevoli al PCM, dopo prove e discussioni si allinearono al Delta a 32 kbit/s e, per i sistemi radio mobili anche a 16 kbit/s. Ovviamente la decisione statunitense influenzò tutti e la scelta definitiva fu la modulazione Delta a *continuous variable slope* con bit/rate di 32/16 kbit/s.

Di conseguenza, a partire dal 1975 tutti i materiali tattici acquisiti dalle Forze Armate ed in particolare dall'Esercito Italiano rispettarono queste normative.

Di particolare rilevanza fu l'acquisizione di stazioni in ponte radio in gamma UHF,svilupate dalla Marconi Italiana e installate su *shelter* con relativi multiplex e cifranti, utilizzate inizialmente per l'ammodernamento delle comunicazioni del sistema missilistico antiaereo "Hawk" in dotazione all'Esercito e, successivamente, per tutti i collegamenti campali multicanali dell'Esercito (Fig. 3).

Furono anche acquisiti la "famiglia modulare di multiplex delta" MT 300 (Fig. 4) e la prima generazione di centrali campali di commutazione CD101/CD105



**Figura 3.** Ponte radio campale 4 GHz.

**Figura 4.** Multiplex Delta campale (a) e Delta Catrin (b).



**Figura 5.** Centrale nodale CD101.  
**Figura 6.** Centrale accesso CD105

(Fig. 5, Fig. 6), sviluppate anche queste dalla Marconi Italiana.

Una serie di lavori volti a migliorare sostanzialmente, sotto il profilo operativo, i ponti radio furono eseguiti nella seconda metà degli anni 80, conclusi con il progetto e l'acquisizione del ponte radio Marconi MH 3013 in tecnica TDD/FH (Time Division Duplex / Frequency Hopping), impiegato poi sulla rete RNI (Rete Numerica Interforze)<sup>10</sup>.

### *Le reti militari infrastrutturali*

Già a partire dagli anni '50, le singole Forze Armate avevano iniziato a realizzare reti fisse in ponte radio per soddisfare alcune esigenze specifiche a carattere statico. Tipico esempio un "asse adriatico" che da Monte Venda, al nord, connetteva Martina Franca, al sud, inserendo lungo la costa molte stazioni, tutte sedi di postazioni radar.

All'asse adriatico si aggiunsero l'asse tirrenico, l'asse pedemontano, la rete della Regione Militare Nord-Ovest e quella della Regione Nord-Est, il Quadrilatero Interforze, nonché gli Assi Centrale Sud ed

Ionico-Siculo. Tutte queste reti, o assi, erano controllate e gestite da personale della Forza Armata responsabile, che ne garantiva la disponibilità in qualunque condizione.

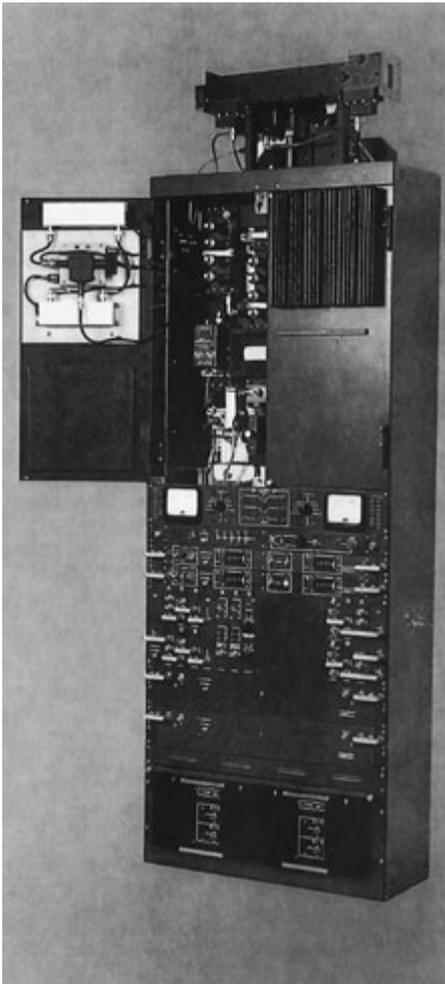
Lo sviluppo delle "dorsali" e delle "bretelle" di collegamento è continuato negli anni '70; la Sardegna è stata collegata con il continente tramite ponte radio in diversità e con la Sicilia tramite un collegamento a diffusione troposferica. Dai nodi delle dorsali si diramavano poi le code e le sottoreti di Forza Armata.

Le capacità di traffico delle diverse sezioni variano dai 300 ai 960 canali telefonici a seconda delle tratte e dei centri da servire. I materiali impiegati, salvo le prime realizzazioni con i ponti AN/TRC1, erano costituiti da ponti radio MS-8 e MS-9 rispettivamente a 300 e 960 canali analogici realizzati

<sup>10</sup> Scholtz 1982.

Tavola 4. Caratteristiche Ponti 4-8 GHz.

TECHNICAL SPECIFICATIONS		
Functional characteristics		
Transmitter		
- RF Frequency Band	4.4 – 5 GHz	7.75 – 8.5 GHz
- RF Output Power	+29 dBm	+29.5 dBm
- RF Channels	4801	6001
- Frequency step	125 kHz	125 kHz
- Modulation type	RBQPSK	RBQPSK
- Intermediate frequency	70 MHz	70 MHz
- Tx-Tx minimum distance	56 MHz	56 MHz
Receiver		
- RF Frequency band	4.4 – 5 GHz	7.75 – 8.5 GHz
- Noise Figure	3 dB	3.5 dB
- RF Channels	4801	6001
- Threshold BER $10^{-3}$	-78.5 dBm	-77.5 dBm
- Threshold BER $10^{-6}$	-75 dBm	-74 dBm
- Frequency Step	125 kHz	125 kHz
- Intermediate Frequency	70 MHz	70 MHz
- Tx-Rx minimum distance	110 MHz	110 MHz
Branching		
- Insertion loops (typ.)	2 dB	2.5 dB
Baseband 34 Mbit/s		
- Main Capacity	34.368 Mbit/s	
- Auxiliary Capacity	2048 kbit/s and 3 x 64 kbit/s	
- Interface	CCITT G. 703	
Baseband 2x34 Mbit/s		
- Main Capacity	2 x 34.368 Mbit/s	
- Auxiliary Capacity	2 x 2048 kbit/s and 3 x 64 kbit/s	
- Interface	CCITT G. 703	
Switching		
- Hitless (resistant to BER $10^{-2}$ )		
EOW Channel		
- Bit Rate	16 kbit/s	
- Coding	CVSD	
- Interface	K – EUROCOM D/1	
Control Interface (local/remote)		
RS 232-C/RS 423 A		



**Figura 7.** Ponte radio MS-8 e MS-9.

da due società: la Selenia e la Marconi Italiana, operanti in banda 7750 – 8300 MHz. (Fig. 7), ponti radio HG2-L ed HT4-M di fabbricazione Telettra, operanti nella gamma dei 2 GHz, con multiplex analogici da 300 e 960 canali di fornitura FATME, GTE, Marconi Italiana e Telettra.

L'utilità della rete fu presto apprezzata e lo Stato Maggiore Difesa avviò, nei primi anni '80, un progetto di razionalizzazione della rete fissa militare, ammodernando le strutture e i materiali e trasformando la rete da analogica a numerica (digitale). La rete, realizzata in più fasi nella prima metà degli anni '90, denominata Rete Numerica Interforze, mette a disposizione un certo numero di fasci da 2 Mb/s, suddivisi, in funzione delle esigenze, tra le singole Forze Armate; inoltre un certo numero di fasci è riservato al traffico NATO che transita verso altre nazioni (Grecia e Turchia) oltre a quello di interesse italiano. La rete è inoltre dotata di collegamenti satellitari. La rete è commutata e può essere utilizzata sia da segnali tipo civile (PCM), sia da segnali Delta provenienti dalla rete tattica. I materiali sono ponti radio le cui caratteristiche tecniche sono riportate nella Tav. 4.

### *CNR (Combat Net Radio)*

Vengono designati con l'acronimo CNR gli apparati radio tattici monocanali utilizzati tipicamente dall'Esercito nelle gamme di frequenza HF per collegamenti a media/lunga distanza e VHF per collegamenti a breve/media distanza. I collegamenti in gamma HF venivano effettuati prevalentemente in telegrafia a manipolazione manuale (alfabeto Morse) e in qualche caso anche in fonìa; la gamma VHF veniva utilizzata esclusivamente in fonìa.

Anche in questo settore le nostre Forze Armate postbelliche ed in particolare l'Esercito fruiro di materiale di provenienza statunitense, tra cui i più recenti erano quelli utilizzati nella guerra di Corea. Questi apparati utilizzavano circuiti a valvole e dispositivi di sintonia meccanica. L'introduzione, a livello industriale, dei transistor di recente invenzione e la difficoltà di reperire componenti di scorta

li resero rapidamente obsoleti e ne fu necessaria la sostituzione. Particolarmente urgente era la sostituzione degli equipaggiamenti in gamma VHF, più diffusa e richiedente un maggior numero di apparati nelle tre categorie in cui questi sono tradizionalmente classificati: palmari, portatili, veicolari. I nuovi apparati, utilizzando transistor in sostituzione dei tubi termoionici, assunsero rispettivamente le denominazioni di: RV-2 (47-57 MHz), RV-3, RV-4 (30- 88 MHz) prodotti dalle società Larimart (RV-2) ed Elmer (RV-3, RV-4) su licenza francese.

Negli anni '70, con l'introduzione dei circuiti integrati e successivamente dei microprocessori, si sviluppò in tutto il settore delle telecomunicazioni, civili e militari, quella che può essere considerata la seconda "rivoluzione" postbellica, la cosiddetta "digitalizzazione", cioè l'elaborazione dei segnali in forma numerica. Per motivi sostanzialmente di ordine logistico ed economico (era previsto che le stazioni della serie "RV" restassero in servizio per almeno 20 anni) le stazioni continuarono ad essere impiegate anche se tecnicamente obsolete rispetto ad altri materiali delle Trasmissioni (multiplex, ponti radio, centrali di commutazione campali).

L'approvvigionamento di nuovi apparati fu avviato alla fine degli anni '70, quando furono sperimentate ed acquisite prima le nuove stazioni HF (SRT 178, SRT 478), progettate e prodotte dalla società Elmer, in collaborazione con Telettra, e successivamente le stazioni VHF portatili e veicolari. Fu emessa una gara cui parteciparono con una accesa competizione quattro società; alla fine fu scelto un apparato dello stesso tipo di quelli sviluppati dalla società ITT per le Forze Armate statunitensi e riprodotto su licenza in Italia dalla società Elmer con le denominazioni: SRT 632, SRT 633, SRT 635/V rispettivamente per la versione portatile, veicolare 5 W e veicolare "doppia" 5/50 W. Caratteristiche essenziali di queste radio erano, oltre all'impiego della codifica con modulazione Delta, da tempo ormai standardizzata per gli apparati militari, la conseguente capacità di trasmettere dati in alternativa alla fonia, l'adozione di tecniche anti-disturbo (salti di frequenza - *frequency hopping*) e di moduli di cifratura integrati.

Il programma relativo alle stazioni CNR, destinate prevalentemente ad impieghi per i bassi livelli ordinativi, non faceva parte dello studio Post-75 e, successivamente, dei sistemi CATRIN/SOTRIN, destinati alle esigenze di Comunicazione tra Stati Maggiori di Grandi Unità e Posti Comando dipendenti. Tuttavia sono stati progettati e prodotti dispositivi che garantiscono, dove necessario, una piena interoperabilità tra le stazioni CNR e le reti tattiche d'area.

## Il CATRIN

Forte dei risultati ottenuti con lo studio Post-75, l'Ispettorato Trasmissioni, nel dicembre 1977, lanciò una indagine di mercato per la realizzazione dell'impianto pilota del sistema CATRIN<sup>11</sup>.

L'indagine non ebbe seguito perché non si era tenuto conto del fatto che era necessario ammodernare non solo le trasmissioni, che disponevano di molti mezzi moderni ma, e soprattutto, i sistemi di Artiglieria, privi non solo di adeguati mezzi

<sup>11</sup> Catrin 1976; Bisio, Maestrini, Perrone 1970.

di collegamento ma addirittura di sistemi di osservazione del campo di battaglia adeguati ai tempi. Le soluzioni possibili, discusse e confrontate, generarono ritardi a cui non furono estranei gli inevitabili contrasti industriali. Si arrivò alla fine ad ipotizzare un sistema CATRIN, in cui il significato dell'acronimo diventava (sistema) Campale Trasmissioni e Informazioni ed era formato da tre sotto-sistemi:

- SOTRIN – Sottosistema TRasmissioni INtegrate, costituito da una rete di comunicazioni, mobile e flessibile, capace di supportare tutto il traffico, cioè sia quello proprio, proveniente dai Posti Comando preesistenti, che quello generato dagli altri due sottosistemi;
- SORAO – Sottosistema SORveglianza e Acquisizione Obiettivi, costituito da una serie di sensori idonei a sorvegliare i vari settori del campo di battaglia;
- SOATCC – Sottosistema Avvistamento Tattico e Comando e Controllo, il cui contenuto è implicito nel titolo del sottosistema.

Per questa nuova configurazione la DG-AMAT emise, nell'aprile del '79, un preavviso di gara per selezionare le società in grado di sviluppare il sistema di cui si fornivano i requisiti militari. Si faceva strada anche l'idea di realizzare il sistema in modo progressivo, cioè realizzandolo per sotto-sistemi, iniziando dal Sotrin che, oggettivamente, era quello più definito. Tutte queste attività non si conclusero ma servirono a sensibilizzare le industrie che iniziarono a consorziarsi in vista delle gare future.

Il primo consorzio fu quello formato da Italtel, Marconi, Telettra per la realizzazione del SOTRIN (03 giugno 1982) che poco dopo (24 novembre 1982) si unì, con un accordo commerciale, con Selenia e Aeritalia per realizzare l'intero sistema. Nello stesso periodo al Senato, in Commissione Difesa, fu presentato un Disegno di Legge per finanziare un programma di ricerca e sviluppo per tre progetti: l'AM-X (aereo da appoggio tattico) per 470 miliardi, l'elicottero EH 101 (realizzato con un consorzio internazionale tra Italia e Gran Bretagna) per 300 miliardi e il CATRIN per 226 miliardi (22 settembre 1982).

Da quel momento le industrie iniziarono ad aggregarsi secondo logiche di convenienza o di affinità con inevitabili contrasti di interesse. Anche in seno all'Esercito sorsero divergenze ma l'avvento di nuove nomine ai vertici della struttura favorì le decisioni e iniziarono finalmente le azioni risolutive. Così nel giugno dell'84 la DG-AMAT e quindi lo Stabilimento Militare Materiali delle Trasmissioni emise un preavviso di gara Appalto/Concorso per il Sistema CATRIN, invito esteso a 35 Ditte (23 giugno 1984). Nel frattempo il Ddl per la ricerca fu convertito e divenne la legge 456 per la Ricerca e Sviluppo dei sistemi AMX, EH 101 e CATRIN con finanziamento pluriennale di 996 miliardi.

Immediatamente l'accordo di collaborazione tra Aeritalia-Selenia e Consorzio SOTRIN si consolida e nasce il Consorzio CATRIN (7 febbraio '85) che chiede ufficialmente alla DG di essere invitato alla gara (14 febbraio '85). Tra il consorzio CATRIN e le Ditte singole invitate si aprì un dialogo per definire il tipo di collaborazione e di attività utilizzabile e alla fine di aprile dell'85 il Consorzio aveva accordi con 21 società delle altre 33 invitate, 8 erano state scartate e due si erano autoescluse. Il Comilege riunitosi il 14 maggio approvò l'ipotesi di una trattativa

privata a condizione che il Consorzio CATRIN associasse la società Agusta, prevedendo nel contempo una forma di partecipazione per la Olivetti. Soddisfatte queste richieste, il 22 luglio '85 la DG-AMAT richiese al Consorzio CATRIN il Progetto offerta a trattativa privata per l'impianto pilota del sistema CATRIN.

Il progetto e la relativa offerta furono presentati, nel luglio dell'anno successivo, per un valore di 1337 miliardi, di cui 200 miliardi furono assunti in carico dal Consorzio quale investimento per la ricerca, e l'offerta, di 1137 miliardi fu congruita a 897 miliardi con uno sconto del 21% e quindi approvata il 29 luglio 1986 da Comilege. Occorsero poi ancora 12 mesi per risolvere alcuni problemi legati al finanziamento e all'iter burocratico di approvazione del contratto che fu registrato alla Corte dei Conti il 19 giugno 87 per un importo di 897 miliardi.

Descritta la laboriosa genesi burocratica del sistema, merita più attenzione la genesi tecnica, all'origine incubata nello studio Post-75 e, successivamente convalidata e regolamentata nel lavoro dell'Eurocom, riportato nel D/1. Il sotto-sistema SOTRIN è nato da questa filiera ed è quindi naturale la sua piena rispondenza alle norme Eurocom. Il sistema CATRIN è stato concepito a metà degli anni '80 per soddisfare il requisito operativo di sorveglianza del campo di battaglia e dello spazio aereo circostante, per costituire un sistema a copertura aerea integrato. Il sistema "prototipo" era destinato a soddisfare (sistema pilota) le esigenze operative delle Grandi Unità dell'E.I. (Corpo d'Armata articolato nei Comandi Divisionali, di Brigata ecc., sino ai Comandi di Rgt. e Btg.).

Il CATRIN era, quando fu concepito, un sistema all'avanguardia tecnica a livello mondiale; nessun Paese Nato disponeva di sistemi con analogo grado di integrazione. Nel progetto iniziale il CATRIN doveva costituire anche la piattaforma informatica per l'automazione del sistema di Comando e Controllo delle Grandi Unità, il SIACCON. Questo sistema fu sviluppato e messo in esercizio in un periodo di poco successivo al CATRIN ed ha incontrato, nel tempo, difficoltà analoghe a quelle del CATRIN dovute alla riorganizzazione dell'Esercito.

Le funzioni operative soddisfatte dal CATRIN sono così definite in sintesi:

- sorveglianza e acquisizione obiettivi, utilizzando Sensori Volanti e Terrestri, unitamente a Centri Correlazione Dati, nei quali sono state realizzate le funzionalità di correlazione e aggregazione dei dati provenienti da vari sensori (SORAO);
- sorveglianza dello Spazio Aereo, Comando e Controllo Manovra della Difesa Contraerea, Comando e Controllo Tattico AVES, utilizzando Radar 2D, Radar 3D e varie Centrali Operative (SOATCC);
- telecomunicazioni tattiche sul campo di battaglia, utilizzando Centrali di Commutazione Nodale, Centri di Commutazione di Accesso, Centrali Terminali, Rete Radiomobile, Supervisione di Rete, Ponti Radio a media e grande capacità di traffico, Cifratura (SOTRIN).

La "struttura" architettuale del sistema garantisce:

- una facile configurabilità e riconfigurabilità della "rete" utilizzante i componenti del sistema, in base alle esigenze di schieramento tattico per le specifiche missioni;

- una composizione modulare, che garantisce varie aggregazioni sensori/centrali/comunicazioni, ai vari livelli operativi (CdA., Brigata, ecc.). Lo schieramento di CdA. o di Brigata può variare in composizione e quantità (unità componenti) e può essere garantita una elevata capacità di autonomia (es. Brigata Autonoma);
- la capacità di “apertura” ai fini di interoperabilità con sistemi di C2 esterni (nazionali e non).

Tutto il sistema CATRIN è stato costruito partendo da una rete integrata e flessibile, dotata di un alto grado di sopravvivenza, protetta da una cifra di rete generalizzata, onde evitare il riconoscimento di traffico particolare, su cui è sovrapposta una cifra utente-utente per i collegamenti ad elevata classifica di sicurezza. Il governo della rete era affidato alla supervisione che gestiva sia il controllo della rete, sia le utenze che ad essa si allacciavano nei nodi, verificando la correttezza dei collegamenti e la compatibilità del traffico. La stessa supervisione era in grado di fornire tutti i dati per i movimenti di posizione delle utenze, preparando i piani di allocazione delle frequenze e indicando i nodi a cui ci si doveva allacciare negli spostamenti. La supervisione doveva gestire anche l’utenza mobile, che era prevista con uno schema classico, e purtroppo poco efficiente, attraverso il controllo della Radio Centrale.

La maglia tipica della rete SOTRIN è riportata in Figura 8, dove i quattro nodi, dotati di centrali nodali, sono tra loro connessi con ponti radio a grande capacità. Ai nodi si accede con centrali di accesso, sempre connesse a due nodi, a cui si allacciano le centrali terminali delle utenze come ad esempio la cella SCRA (Single Channel Radio Access) o il RAP (Radio Access Point) a cui fanno capo gli utenti mobili.

A questa rete si allacciavano le utenze del SORAO con i sensori per l’acquisizione obiettivi e la relativa rete dei Centri Correlazione Dati (CCD), che i Posti Comando potevano utilizzare insieme ad un sistema di cartografia digitale sviluppato ad hoc dall’Istituto Geografico Militare di Firenze. I Centri Correlazione Dati erano i Centri a cui confluivano i dati rilevati dai sensori, relativi allo stesso oggetto individuato e che, tenuto conto delle peculiarità del bersaglio, fornivano le coordinate ritenute più corrette (o più utilizzabili) del bersaglio stesso. Le funzionalità presenti nel SORAO, sono in parte riassunte schematicamente in Figura 9.

In modo del tutto analogo le funzionalità del SOATCC sono rilevabili dalla Figura 10 per alcuni dei centri utilizzati.

Sulla rete insistevano anche le utenze del SOATCC con i sistemi di avvistamento tattico radar, i gruppi di artiglieria contraerea ed i sistemi dell’AVES (Aviazione Esercito). Per questi due sottosistemi la grande massa di informazioni che potevano circolare sulla rete era purtroppo immessa e controllata manualmente poiché per il SORAO e per i SOATCC non era stata prevista la supervisione.

Iniziato con energia il progetto del sistema, il Consorzio si trovò ad affrontare il primo problema di un certo rilievo, la scelta del sistema di calcolo da adottare e possibilmente unificare mentre la scelta dei calcolatori militarizzati di (relativa) grande capacità era stata fatta adottando il Milvax (si pensi che questo calcolatore

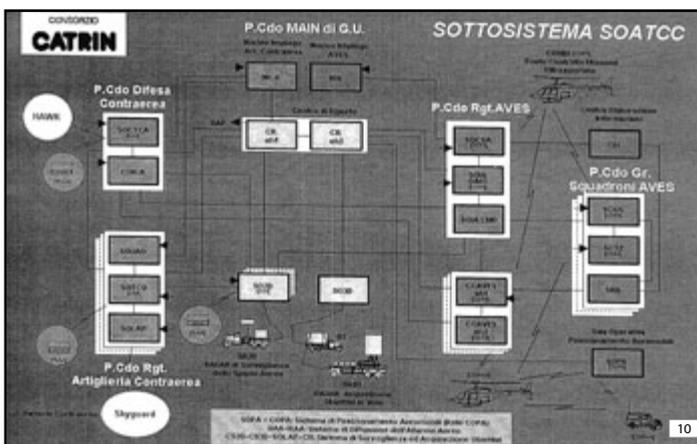
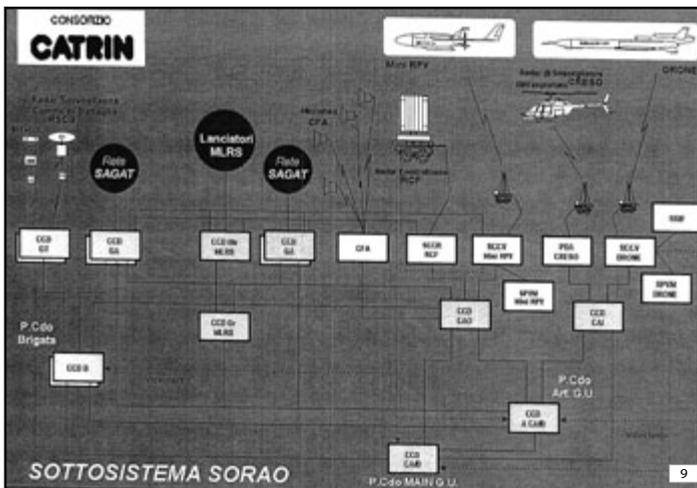
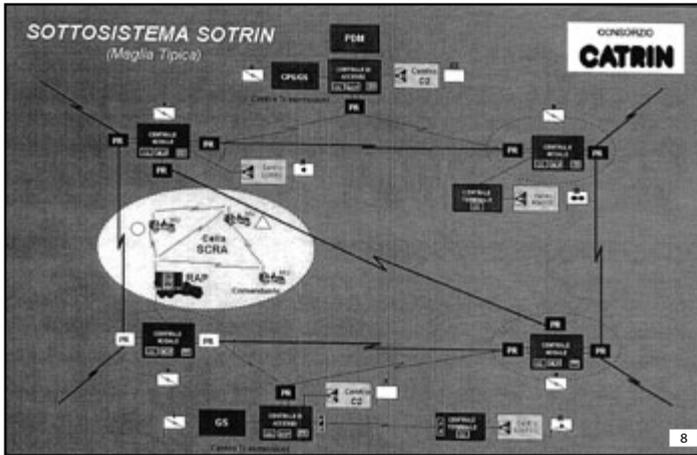


Figura 8. Maglia tipica SOTRIN.

Figura 9. Funzionalità SORAO.

Figura 10. Funzionalità SOATCC.

aveva allora un costo di 650k € e una RAM di 4 Mbytes). Nacque allora una piccola guerra dei calcolatori tra le società, poi risolta fortunatamente con il buonsenso, che mise in mostra un pericolo, difficilmente valutabile in sede di progetto – offerta, insito i due fatti: la tecnologia che invalida velocemente le scelte tecniche dei progetti degli apparati e una grossa sottostima del software da sviluppare, che incise profondamente sui costi di sviluppo.

Occorre dare atto che un piccolo gruppo di Ufficiali risolse in modo tecnicamente valido la stima del lavoro sul SW, sia nella congruità dell'offerta, sia nella revisione del lavoro fatto. Sulle tecnologie poco fu fatto e poco è possibile fare, purtroppo ancora oggi, la velocità con cui la tecnologia cambia rende obsolete, nel giro di 12 – 24 mesi, soluzioni anche tecnicamente brillanti. Sul SW poco fu fatto, se non subire il sovraccarico e solo oggi ci si rende conto che nei progetti di sistema le due componenti SW e HW non possono essere trattate separatamente.

Lo sforzo necessario per tentare la soluzione di questi problemi era stato avviato dal Consorzio ma fu presto interrotto per il succedersi di due fatti determinanti:

- il primo consisteva nella decisione di ridurre numericamente le forze dell'Esercito;
- il secondo fu la decisione di non realizzare il sistema CATRIN per i 3 Corpi d'Armata dell'Esercito, vista la riduzione drastica delle forze che, di fatto, aveva portato all'eliminazione dei Corpi d'Armata.

Accanto a questi due fatti un terzo, non così evidente, il cambiamento nei vertici dell'Esercito, a cui approdarono uomini che non capirono l'importanza del sistema e i vantaggi che sarebbero derivati dalla sua adozione o dalla adozione di alcune parti, tenendo conto della modularità del sistema. Le Società del Consorzio si trovarono quindi con l'alternativa di sviluppare e ammodernare i progetti, su cui avevano già investito pesantemente con prospettive di ritorni produttivi praticamente nulle. Il risultato, inutile sottolinearlo, fu quello di ridurre al minimo gli sforzi poiché era chiaro che non vi sarebbe stato recupero.

Accanto a questa perdita di interesse industriale ci fu, inesplicabilmente, un disinteresse da parte dell'Esercito che si manifestava con ritardi continui nell'espletamento delle pratiche previste contrattualmente. Solo a titolo di esempio i collaudi della prima fase, cioè dei pre-prototipi di un sistema sperimentale totalmente nuovo di cui si sarebbe dovuto stimare la potenzialità, furono interpretati in modo rigido e si protrassero per 480 giorni. Peggio ancora, terminati i collaudi l'approvazione della relazione tecnica e l'accettazione della prima rata richiesero 280 giorni, in pratica un anno solare. Era chiaro, ma non a tutti, che non si poteva chiedere alle Società un dispendio di investimenti e tempo senza un ritorno.

Tra ritardi e sforzi si giunse finalmente al collaudo finale che schierò sul campo il sistema e apparve con chiara evidenza la sua complessità (Fig. 11). Molti cominciarono allora a capire il valore del sistema, tardi purtroppo, perché tra le riduzioni delle forze e le riduzioni di budget, gli sforzi per rimettere in moto gli approvvigionamenti non ebbero successo, neppure per parti importanti e



Figura 11. Schieramento Collaudo CATRIN.

utilizzabili del sistema come ad esempio il CRESO<sup>12</sup>. Questo progetto, per un sistema di sorveglianza del campo di battaglia elitrasmportato, era stato sviluppato nel programma CATRIN e doveva essere implementato con sensori avanzati (radar, MTI – Mobile Target Indicator, sensori EO-ElettroOptical, ecc.) i cui dati potevano essere trasmessi a terra, o ad altre destinazioni, tramite Data Link protetti (se LOS – Line of Sight) o tramite Link Satellitari (se BLOS – Beyond LOS).

Oggi il Consorzio è ancora operante, per rispettare gli obblighi contrattuali, ma ha chiuso tutte le attività tecniche delegandole alle singole società consorziate. Da questo contratto, ormai più che ventennale, si possono trarre utili suggerimenti.

Il CATRIN nacque dalla necessità di un sostanziale rinnovamento e da un desiderio di utilizzare al meglio le tecnologie elettroniche che si presentavano sul fronte industriale. Forse l'entusiasmo ha fatto preferire soluzioni più ambiziose del dovuto e un deciso desiderio di portare l'EI a primeggiare tra le forze del nuovo panorama europeo ha fatto pensare a forme avanzate di organizzazione non facilmente ottenibili da situazioni statiche consolidate.

Purtroppo ragioni di preparazione e poi ragioni di budget, anche con intenti meritevoli, hanno causato un arresto che ha arrecato un grave danno.

<sup>12</sup> CRESO programma NATO per lo sviluppo di un sistema di sorveglianza del campo di battaglia, eliportato.

Iniziando dalla parte burocratica l'esperienza fornita dal CATRIN evidenzia come le acquisizioni impongano che sia la parte tecnica – le specifiche o i requisiti militari – sia la parte commerciale debbano necessariamente essere concordate tra l'utilizzatore ed il fornitore per determinare il giusto compromesso tra la necessaria elasticità realizzativa e un corretto controllo per determinare l'approvazione. Spesso, infatti, la tecnologia mette a disposizione soluzioni che modificano le realizzazioni più note e usuali, costringendo ad accettare varianti in corso d'opera. Ciò accade a maggior ragione per i sistemi complessi la cui durata dello sviluppo è consistente. È comunque importante rilevare che il sottosistema delle trasmissioni da cui il CATRIN prese le mosse, il SOTRIN, o meglio le sue versioni variate ed aggiornate, ha avuto un notevole successo in campo internazionale, essendo stato adottato da numerosi Paesi sia in ambito Nato che extra Nato ed alimentando consistenti flussi di esportazione.

### *Il futuro*

Il CATRIN è stato un progetto molto importante nelle comunicazioni militari, avendo risolto i problemi delle reti tattiche, sia nei nodi di accesso che in quelli di transito e il suo completamento è insito nell'aggiunta dei collegamenti satellitari, non presenti nella sua impostazione primitiva.

Tra le soluzioni più importanti, che il sistema prototipico ha convalidato, va citata in primo luogo la commutazione e la segnalazione a diffusione, che rendono la rete altamente flessibile senza nessuna costrizione alla sua mobilità, anzi con il ripristino automatico della connessione la rete acquisisce un grado di sopravvivenza più elevato. In altri termini il re-instradamento automatico facilita la mobilità e la flessibilità della rete anche nelle condizioni peggiori. Un'altra funzione presente nel sistema prototipico CATRIN è la supervisione per il controllo della rete; questa funzione risulta essenziale quando gli utenti della rete sono molto "mobili", nel senso di accedere alla rete in punti diversi e con frequenza elevata o, quando in particolari condizioni, specie negli impieghi di *peace keeping*, si richiedono frequenti spostamenti dei nodi. La supervisione in questi casi diventa indispensabile perché è necessaria innanzitutto la pianificazione delle frequenze utilizzate tra nodi e tra nodo e utenza di accesso, così da fornire all'utente che si allaccia alla rete i dati di connessione necessari.

Con la supervisione è disponibile un'altra funzione molto importante: la cartografia digitalizzata, realizzata dall'Istituto Geografico Militare di Firenze. Così quando un utente si allaccia alla rete può richiedere via supervisione al suo centro di controllo la cartografia del terreno assegnato alla sua competenza in funzione dei dati di missione, disponendo in tal modo di tutte le informazioni necessarie al suo compito. Nel CATRIN l'assenza di una supervisione nei due sottosistemi SORAO e SOATCC ha condizionato pesantemente le prestazioni richieste.

In definitiva le comunicazioni militari tattiche proiettate nel futuro non si discosteranno molto da quelle mobili attuali ma cercheranno di estendere l'integrazione rete e utenza mobile con una forma più distribuita della supervisione. L'utenza mobile potrà assumere forme anche particolari come costituire sotto-reti per gruppi di utenza omogenei tra loro, ad esempio un gruppo

autonomo di artiglieria o un gruppo di esplorazione tattico costituito da un certo numero di blindati, ecc. In ogni caso e comunque costituiti, i gruppi o le utenze, essi dovranno integrarsi nella rete. Per il resto solo la tecnologia porterà varianti significative.

Dopo la fine della Guerra Fredda e a seguito della ristrutturazione della Nato si sono verificati un certo declino di interesse per le comunicazioni militari, percepite ormai come una *commodity* da acquisire eventualmente sul mercato civile, ed una attenzione crescente ai problemi del Comando e Controllo ai minimi livelli ordinativi, passando così dal SIACCON alla versione per i minori livelli ordinativi e dai sistemi di comunicazione d'area ai cosiddetti "sistemi soldato futuro". Tuttavia, nell'ambito degli studi NCW/NEC (Network Centric Warfare / Network Enabled Capability) risalta evidente l'attualità che sistemi tipo SOTRIN, pur con i necessari miglioramenti tecnologici, ancora rivestono nell'ambito delle telecomunicazioni militari.

Vi è infine da considerare l'assetto geo-politico che assumerà la comunità europea nel prossimo futuro. È evidente che una integrazione declamata, ma che stenta a realizzarsi, tenderà ad una diminuzione della complessità e della diversità delle comunicazioni militari, nel senso di avvicinarle sempre più a quelle civili. La diversità si farà maggiormente sentire nei sistemi di protezione delle informazioni che si estenderanno anche a molte altre comunicazioni tipicamente civili.

## Marina Militare (a cura di RAULO MAESTRINI)

### *Le comunicazioni della Marina Militare*

La Marina Militare è stata la prima Forza Armata ad interessarsi agli esperimenti che Marconi, con il supporto del Post Office britannico, eseguiva in Inghilterra nell'anno 1896. Il Ministro della Marina Militare Italiana allora in carica, Amm.glio Benedetto Brin, tenuto debitamente informato dall'Addetto Navale, dette subito disposizione affinché si invitasse Marconi a ripetere gli esperimenti in Italia.

Questi esperimenti, effettuati in Italia nel 1897 alla presenza dei Reali d'Italia e dell'Amm.glio Brin, portarono, successivamente, a far installare apparati riceventi sulle corazzate Lepanto e Sardegna, mentre le stazioni trasmettenti furono installate a Livorno e sulle isole Palmaria e Gorgona. Gli esperimenti, tutti condotti negli anni tra il 1898 e il 1900, sempre con trasmissioni telegrafiche, tendevano a verificare sia le distanze coperte dalle emissioni, sia le velocità telegrafiche possibili, impiegando diversi tipi di antenne – a ventaglio, filare, ecc. – e provando nuovi tipi di *detector*. I risultati ottenuti furono soddisfacenti sia sotto il profilo delle distanze coperte, oltre i 200 km, sia per le conseguite elevate velocità di manipolazione.

Tornato a Londra, Marconi, con il supporto della società English Electric Ltd., fondò la Società Wireless Telegraph and Signal Company Limited (20 luglio 1897) e pochi anni dopo ne modificò la denominazione sociale in Marconi

Wireless Telegraph Co.Ltd (20 febbraio 1900). Negli anni successivi vi furono altre dimostrazioni e, in particolare, quelle condotte con l'incrociatore Carlo Alberto, messo a disposizione dalla Marina Militare Italiana, nel corso della missione in Inghilterra – in rappresentanza dell'Italia – per l'incoronazione del Re Edoardo VII (9 agosto 1902).

La Marina colse l'occasione per sperimentare un collegamento tra l'Italia e l'Inghilterra, cioè a grande distanza. La sperimentazione fu affidata al Tenente di Vascello, marchese Luigi Solari (il marchese Solari, congedatosi in seguito dalla Marina, sarebbe divenuto un attivo collaboratore di Marconi nella sua azione industriale in Italia). La visita reale – di S.M. Vittorio Emanuele III – allo Czar Nicola II, sopravvenendo, modificò il programma dell'incrociatore "Carlo Alberto" che fu così dirottato in Russia sulla base navale di Kronstadt.

La sperimentazione a grande distanza era stata suggerita dall'Amm. gliò Costantino Morin. Anche Marconi si imbarcò sul Carlo Alberto (7 luglio 1902) e seguì tutte le prove in mare sino a quando, il 12 luglio, l'incrociatore diede fondo a Kronstadt. Le illustri presenze, il Re Vittorio e lo Czar Nicola, diedero agio a Marconi di illustrare gli apparecchi utilizzati per la sperimentazione che ebbe un lusinghiero successo. A seguito di questa campagna di sperimentazione, ne venne autorizzata una seconda, sempre con l'impiego dell'incrociatore Carlo Alberto, in Atlantico e nelle acque antistanti il Canada, ed anche questa si concluse con successo, il 20 dicembre 1902. Acquisita quindi una certa sicurezza sui mezzi e sulle trasmissioni, si iniziarono a costruire stazioni fisse a Massaua (1910), Mogadiscio (1911), in Cirenaica (1912), assicurando collegamenti fra il territorio nazionale e le colonie in Africa.

Vi fu inoltre una campagna di sperimentazione nel Mediterraneo, durante il 1914, utilizzando due altre navi della Marina Militare, gli incrociatori Duca degli Abruzzi e il Regina Elena, a cui partecipò attivamente lo stesso Marconi. In questa campagna furono sperimentati diversi tipi di antenne (che erano abbastanza ingombranti viste le lunghezze d'onda di circa 30.000 m), e furono condotti esperimenti con uso di modulazioni vocali, in pratica i primi test di radiotelefonia. È intorno a questa data che Marconi, con una vera e propria intuizione, decide di cominciare a sperimentare onde cosiddette "corte", cioè di impiegare frequenze più alte.

In questo periodo la tecnologia dei ricevitori inizia a utilizzare gli *audion* (triodi) di Lee de Forest (1873-1961), con uso di amplificatori accordati e detector a diodi, così da conferire ai ricevitori buone caratteristiche di sensibilità e selettività che sino ad allora risultavano molto scarse, con un incremento notevole della stabilità.

La Marina, unica ad aver condotto molte prove e sperimentazioni, iniziò giustamente a preoccuparsi di addestrare i suoi ufficiali, dapprima con l'installazione di alcune stazioni fisse a Livorno presso l'Accademia Navale e, successivamente, con una decisione molto lungimirante, costituendo nell'ambito della stessa Accademia, l'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della Regia Marina (IERT), la cui costituzione fu sancita con Decreto Luogotenenziale n. 1591 del 26 ottobre 1916. A dirigere l'Istituto fu chiamato il prof. Giancarlo Vallauri, già ufficiale della Marina, che lo diresse sino al 1926, sviluppando studi sugli *audion*

(i triodi di De Forest); sua è la prima equazione sui triodi e suoi i lavori sulle comunicazioni a grande distanza e sulle misure di frequenza.

Nel 1923 Vallauri realizzò il Centro Radiotelegrafico di Coltano per le comunicazioni a grande distanza con un padiglione di antenna quadrato, sostenuto da 4 piloni alti 250 m. Al prof. Vallauri successe, nella direzione dell'Istituto, il prof. Francesco Vecchiacchi (1927-1932) che si dedicò, in particolare, alle tecniche di misure elettroniche. Nel frattempo, con Regio Decreto del 26 aprile 1928, il nome dell'Istituto fu modificato in Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni della Marina (RIEC) ampliandone competenze ed aree di interesse. Dopo il prof. Vecchiacchi la direzione dell'Istituto passò al prof. Nello Carrara, che sviluppò, in particolare, le microonde (1932-1936), seguito poi nel 1936 dal prof. Ugo Tiberio che alla guida del RIEC, sviluppò il "radiotelemetro", prototipo del radar italiano. La II guerra mondiale vide l'Istituto prima decentrato a Brindisi, poi chiuso nel 1943.

Riaperto a Livorno nella primitiva sede, il 16 luglio 1947, l'Istituto mutò ancora nome il 1° aprile 1957 diventando Istituto Radar e delle Telecomunicazioni della Marina Militare (*MARITELERADAR*) e, con foglio d'ordini del 6 maggio 1960, l'Istituto viene intitolato a "Giancarlo Vallauri". Infine con legge n. 637 del 1 ottobre 1984, l'Istituto assume la denominazione: "Istituto per le Telecomunicazioni e l'Elettronica della Marina Militare – Giancarlo Vallauri".

Con la nascita dell'IERT, a Livorno e nell'ambito della Accademia Navale, la Marina sviluppa le sue comunicazioni con uno schema quasi costante sia nelle stazioni trasmettenti che nei ricevitori e, in questi ultimi, vengono utilizzati i triodi. Sono del prof. Vallauri importanti studi sugli *audion* che portano all'equazione di funzionamento detta anche "equazione del Vallauri" e durante il primo conflitto mondiale lo IERT ne iniziò la produzione per le necessità della Marina e dell'Esercito. Durante la guerra la Marina disponeva di una potente stazione a terra situata vicino alla basilica di San Paolo a Roma, stazione che fu sostituita nel 1923 dalla stazione di Coltano molto più potente (250 kW).

Gli apparati che – fra le due guerre mondiali – vengono installati a bordo delle nostre navi militari sono, nella maggioranza dei casi, progettati in Italia presso la Marconi Italiana di Genova con l'ausilio dello IERT. A partire dal 1923 si cominciano a costruire ed a impiegare trasmettitori e ricevitori con frequenze alte, le "onde corte", cioè con lunghezze d'onda di 10÷100 metri. Si arrivò alla Seconda Guerra Mondiale con apparati in onda media (MF) e onda corta (HF) cioè apparati funzionanti da 300 a 1200 kHz (onde medie) e da 2 a 10 MHz (onde corte), caratterizzati da una scarsa stabilità e quindi con alcuni problemi di sintonizzabilità. In alcuni (pochi) apparati degli anni '30 vi è la presenza di quarzi per la generazione di frequenza, ma a causa di una scarsa conoscenza delle caratteristiche dei quarzi impiegati i risultati non erano quelli che otteniamo oggi.

Durante il conflitto le comunicazioni a grande distanza venivano effettuate in HF, mentre a breve distanza, come ad esempio nave-nave, venivano utilizzate le onde medie (MF) con apparati detti *radiosegnalatori* alcuni dei quali *quarzati*. Con poche migliorie tecnologiche lo schema delle comunicazioni della Marina non cambia durante tutta la Seconda Guerra Mondiale, malgrado gli esperimenti del prof. Carrara con le "microonde" e del prof. Tiberio con il "radiotelemetro".

### *La ricostruzione*

Al termine del conflitto, secondo le clausole del Protocollo Navale annesso al Trattato di Pace (1946), le Forze della Marina Militare Italiana vennero limitate a:

- due vecchie corazzate: Doria e Duilio;
- quattro incrociatori: Garibaldi, Montecuccoli, Duca d'Abbruzzi, Cadorna;
- alcune corvette e torpediniere.

Con la prima legge navale (1950) ed a fronte delle ristrettezze di bilancio si realizzarono pochi progetti tra cui, per le comunicazioni, una gara per “radio-segnalatori” (MF e HF) da 50 W assegnata alla Marconi Italiana con l'apparato RT4/D (Fig. 12) installato a bordo delle poche unità rimaste.

Questo apparato merita una segnalazione in quanto dotato di *sintonizzatori automatici d'antenna, primi sul mercato navale*. Altro materiale fu fornito, come aiuti *off-shore*, da parte statunitense e britannica, in particolare dei trasmettitori HF Collins-UCT e ricevitori HF Collins-UCR.

Con il Protocollo di Parigi del 23 ottobre 1954 e la creazione dell'Ente per il controllo degli armamenti – la Repubblica Federale di Germania accedeva alla NATO – venivano progressivamente rimossi molti dei limiti, anche per l'Italia, in materia di sviluppo, produzione e disponibilità di mezzi di difesa e negli anni '60 fu avviato il 2° *Programma Navale* che, oltre alla costruzione di nuove piattaforme – incrociatori lanciamissili Doria e Duilio – portò a bandire una gara per ricetrasmettitori HF con modulazione SSB (Single Side Band). La gara fu vinta dalla ditta Scialotti di Pomezia (Roma), poi diventata Elmer, con apparati di progetto statunitense (*General Dynamics*) con adattatori per antenne a stilo da 10 m telecomandati manualmente. Questi apparati, ancora a bordo agli inizi degli anni '90, erano composti da:

- un trasmettitore HF da 1 KW - ST1000;
- un trasmettitore MF/HF da 1 KW - ST1004;
- stazioni riceventi SR1A, SR1B e SR1C, dotate di demodulatori FSK per la ricezione della telegrafia con telescriventi RATT (Radio Tele Typewriter) oltre ad una stazione ricevente in duplice per ricezione in *diversity* di frequenza SR2.

Successivamente venne realizzata una versione più avanzata del trasmettitore SR1000A con la sintonizzazione d'antenna automatica e non più manuale.

Con lo *Studio sul potenziamento della Marina italiana in relazione al Patto Atlantico* la Marina avviò (1972) l'iniziativa che portò alla legge 22 marzo 1975 n. 57 con un impegno di risorse articolato su dieci anni e tale quindi da consentire la realizzazione delle fregate della classe Lupo, navi sulle quali – assieme a molto altro materiale innovativo italiano – vennero utilizzati gli apparati trasmettitori e ricevitori HF-L-1001 (Tx) e HF-L-R/C (Rx) progettati in Italia dalla Telettra (valido centro italiano di ricerca ed innovazione

all'epoca del Gruppo FIAT poi, inopinatamente, ceduto ed oggi inglobato nel gruppo francese Thales) sostituendo i trasmettitori ed i ricevitori della serie ST e SR.

L'esperienza del conflitto portò a valorizzare i requisiti dell'aerocooperazione, concretamente attuata con ricetrasmittitori nella banda UHF dedicata a questo servizio (banda UHF 225-400 MHz).



Figura 12. Ricetrasmittitore RT4/D.

Negli anni '60 questi apparati, a modulazione prima di ampiezza e poi di frequenza, furono costruiti dalla OTE di Firenze (RT 5U 20 W con amplificatori da 100 W) operanti con canalizzazione di 50 kHz.

Alla fine degli anni '70, questi apparati furono sostituiti da quelli Elmer (SRT-619 B/C) con canalizzazione di 25 kHz, adattati poi negli anni '80 per essere adoperati anche nei collegamenti via satellite (SRT-619 BCS). La serie SRT disponeva delle seguenti innovazioni:

- possibilità di connettersi a filtri selettivi automatici (*multicoupler*) di antenna, potendosi così associare 4 Tx ad un'unica antenna;
- possibilità di operare in modalità TRANSEC<sup>13</sup> con un modem *spread spectrum - direct sequence*;
- possibilità di operare con collegamenti via satellite (*up e down link*) con la versione SRT-619/DM per la Marina.

Agli inizi del 2000 sono entrati in servizio i nuovi ricetrasmittitori SRT-619N, sempre di progetto e costruzione Elmer (acquisita poi dalla Marconi ed infine dalla Selex Communications (Finmeccanica)), capaci di operare in modalità EPM NATO (Electronic Protection Measures) SATURN basata su tecnica di *frequency hopping*. L'SRT-619 N è l'elemento fondamentale del terminale SATCOM UHF, realizzato per le fregate della classe Maestrale nell'ambito del programma satellitare SICRAL.

Accanto alle classiche comunicazioni della Marina realizzate in HF (banda 2-30 MHz) sono necessari altri tipi di comunicazioni per servizi e funzioni ausiliarie che accompagnano l'impiego del naviglio militare. Così si hanno ricetrasmittitori:

<sup>13</sup> Vedasi Appendice.

- nella banda VHF-IMM (International Marine Mobile) da 146-174 MHz, per tutti i servizi di porto;
- nella banda VHF-MIL (Military), utilizzata dalle forze terrestri per le CNR, da 30 a 88 MHz, per il supporto alle forze da sbarco, ai lagunari, ecc.;
- nella banda VHF ICAO (International Control Air Traffic Organization) con la frequenza 121,5 MHz, per la ricezione continua sulla frequenza di soccorso aereo;
- nella banda MF, sulla frequenza di 500 kHz per la ricezione e trasmissione in Morse della frequenza di soccorso<sup>14</sup>.

Nell'evoluzione delle comunicazioni, degli apparati e delle modalità di impiego, sono stati molto interessati anche gli operatori che dagli inizi, e per lungo tempo, erano "marconisti" cioè capaci di trasmettere manualmente in alfabeto Morse con velocità elevate (sino a 120 caratteri al minuto). La trasmissione telegrafica era di gran lunga la preferita in quanto si presta ad essere cifrata, cosa non attuabile con la fonia che per moltissimo tempo è stata *analogica*. Con l'avvento e la diffusione dei segnali numerici (*digitali*) questo problema è caduto e si sono diffuse le cifranti, impiegate ormai praticamente in tutti i circuiti militari, a protezione delle comunicazioni; questa evoluzione ha segnato il tramonto dei "marconisti" e delle trasmissioni telegrafiche ivi comprese quelle realizzate con le telescriventi.

### *Le comunicazioni via satellite*

Alla fine degli anni '60 la NATO effettuò un esperimento denominato TACSATCOM (TACTical SATellite COMmunication), interforze e aperto alle nazioni NATO, con i satelliti messi a disposizione dagli USA (LES-Lincoln Experimental Satellite). Le frequenze impiegate, sia per l'*upperlink* che per il *downlink* erano in banda UHF. La MMI effettuò prove tra il '71 e il '74. A questa sperimentazione ne seguirono altre, con il programma SIRIO e ancora con il FLEET SATCOM nell'82, ma comunque sempre utilizzando satelliti statunitensi. A partire dall'86 con l'operazione navale "Golfo Persico" la MMI decise di adottare i *terminali commerciali* Immarsat nelle loro differenti tipologie, per disporre di un canale di comunicazione a grande distanza sicuro e non ristretto come sono purtroppo le comunicazioni HF.

Nel frattempo, per iniziativa dell'AMI e di altri Enti Statali era stato avviato il progetto SICRAL (Sistema Italiano di Comunicazioni Riservate e Allarmi) che lanciò il primo satellite nel febbraio del 2001, programma a cui la MMI si è associata e che alla fine per ovvi motivi è gestito dal Ministero della Difesa. La componente terrestre del SICRAL è costituita dal Centro Gestione

<sup>14</sup> Per questa frequenza di soccorso è necessario "allungare" elettricamente lo stilo, o gli stili (da 10 m), connesso al ricetrasmettitore perché "corto" rispetto alla lunghezza d'onda (600 m).

e Controllo situato a Vigna di Valle, sul lago di Bracciano e da un centinaio di terminali distribuiti nelle singole FFAA.

Il satellite SICRAL opera contemporaneamente su 3 bande:

- EHF per finalità sperimentali e utilizzata per servizi di telemetria, *tracking* e controllo;
- SHF utilizzata dalla MMI sulle unità maggiori;
- UHF utilizzata per velivoli, elicotteri e unità minori della MMI.

Il satellite SICRAL è stato progettato per una vita operativa di 10 anni e dovrà essere sostituito dal SICRAL 2 il cui lancio è previsto nel 2011, in modo da non presentare discontinuità nei servizi visto l'intenso uso nell'impiego.

### *Le comunicazioni speciali*

Compito fondamentale della Marina Militare è quello di difesa da attacchi avversari e di mantenere la libera navigazione nei mari nazionali e quindi a bordo esiste un sistema di combattimento che richiede, per espletare al meglio le sue funzioni, collegamenti ad hoc per fornire o ricevere dati speciali riguardanti la preparazione e la condotta del combattimento. La MMI alla fine degli anni '60 introdusse il SADO (Sistema Automatico per la Direzione delle Operazioni di Combattimento) in cui vengono concentrate e quindi elaborate, tutte le informazioni (dati) necessarie o utili alla condotta del combattimento, e che possono o debbono poi essere comunicate agli altri componenti della squadra impegnata nelle operazioni.

I dati dei sensori di bordo (radar, sonar, ecc.) di ciascuna unità sono processati e trasmessi, formattati secondo standard NATO, via radio in HF o UHF, alle altre unità inserite in rete con sequenze definite dalla Unità Centrale di Controllo, ricevendo poi i dati provenienti dalle altre unità. Il *Link 11* opera con un basso *bit-rate* e, ultimamente, a fronte della necessità di trasmettere a velocità più elevate è stato realizzato e adottato il *Link 16*<sup>15</sup> (in banda UHF alta) che non necessita più dei comandi dell'Unità Centrale ma la rete è realizzata in TDMA (Time Division Multiplex Access) cosicché ciascun Link 16 trasmette e riceve all'interno del suo *time slot*.

### *Conclusioni*

Delineata l'evoluzione delle comunicazioni, nella MMI, nel tempo è naturale illustrare come si concretizza oggi un impianto che contenga tutte le funzioni necessarie per una unità moderna della flotta. L'esame che segue è dedicato all'impianto di bordo, che presenta le maggiori problematiche per gli spazi utilizzabili e per la coesistenza di strutture spesso antitetiche fra loro.

<sup>15</sup> Link 11 e Link 16 sono apparati per la trasmissione e ricezione dati protetti.

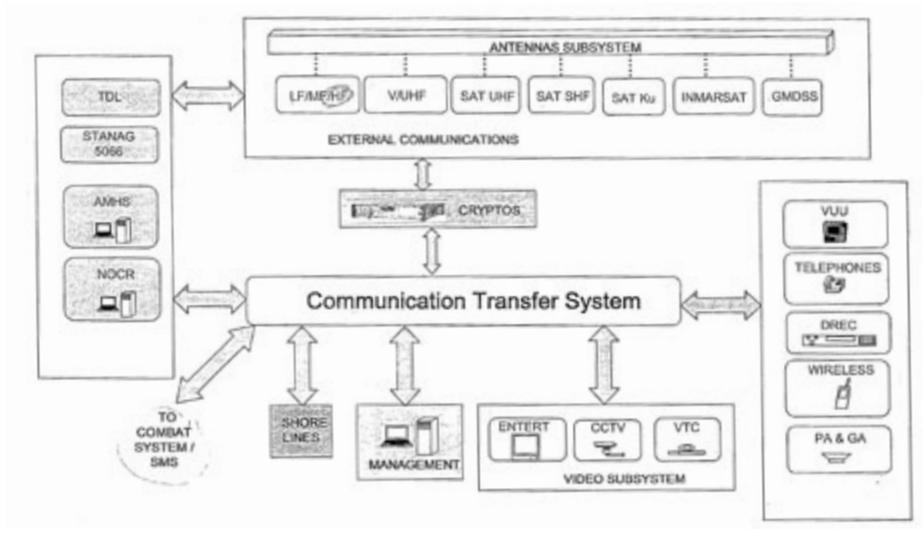


Figura 13. Impianto TLC di bordo.

Prescindendo, per ovvi motivi, dalla reale sistemazione fisica a bordo, lo schema a blocchi funzionale per un impianto di comunicazioni di una moderna unità è riportato in Figura 13. L'impianto integrato di comunicazioni provvede sia alle comunicazioni esterne, sia a quelle interne, soddisfacendo anche ai requisiti di sicurezza dove necessari.

Le comunicazioni vere e proprie sono svolte dal blocco *External Communications* costituito da una serie di eccitatori nelle varie gamme di frequenza riportate (e corrispondenti a quelle illustrate nel paragrafo precedente) che possono pilotare una serie di amplificatori di potenza a banda larga e accoppiati fra loro, così da coprire tutte le bande interessate (banco di potenza). Le uscite dal banco di potenza possono essere connesse alle antenne tramite una matrice di commutazione, comandata automaticamente dal banco di gestione (*Management*) del sistema. I vantaggi ottenibili da questo sistema sono insiti sia nella rapidità di stabilire i collegamenti (che possono ovviamente realizzarsi contemporaneamente), sia quello di potere, all'occorrenza, concentrare tutta la potenza disponibile su una sola comunicazione.

I segnali modulanti anch'essi commutabili sugli apparati passano attraverso il banco delle cifranti se necessario. Tutte queste predisposizioni vengono effettuate da un complesso di selezione e commutazione indicato con *Communication Transfer System* a cui giungono tutti i segnali circolanti nelle comunicazioni interne. Queste ultime sono chiaramente indicate dalle diciture e forniscono i servizi necessari. Sul lato sinistro sono presenti i Data link (TDL-TADIL), le connessioni per le comunicazioni in accordo allo STANAG 5066, le uscite dal sistema di *Data Handling* e da quello della rete di calcolo interna. In basso si possono vedere:

- i collegamenti con il sistema di combattimento;
- l'ingresso delle linee telefoniche di terra;

- un sistema video per vari usi;
- la centrale di gestione e controllo del sistema.

Infine sul lato destro sono visibili:

- i terminali video;
- la rete telefonica interna fissa;
- la rete dei registratori;
- la rete telefonica mobile (*wireless*);
- il sistema di *Addressing* e Allarme.

È evidente sia la complessità del sistema dovuta all'integrazione di tutti i servizi, sia la sua flessibilità nel poter indirizzare tutti i segnali in modo corretto ed efficace<sup>16</sup>.

## Aeronautica Militare (a cura di RAULO MAESTRINI)

### *Le comunicazioni dell'Aeronautica Militare*

L'Aeronautica Militare istituita con R.D. 28 marzo 1923 n. 645, solo il 30 agosto 1925 ha avuto il suo primo Capo di Stato Maggiore e di ciò sarà opportuno tenere conto perché invece l'impiego militare delle comunicazioni radio era già prioritario per la pre-esistente Marina Militare come dimostra l'IERT, la cui costituzione fu sancita con Decreto Luogotenenziale n. 1591 del 26 ottobre 1916.

Queste oggettività temporali abbinandosi all'ingombro delle antenne (antenne necessariamente grandi negli apparati iniziali) si cumulavano con il notevole peso e soprattutto con la produzione di scintille. È quindi comprensibile che l'Aeronautica Militare sia stata l'ultima, delle tre Forze Armate, a utilizzare la radio a bordo degli aerei (e anche dei dirigibili ed aerostati). Occorre inoltre tener presente che i risultati non sempre erano soddisfacenti e le incertezze producevano comunque una certa diffidenza nei nuovi mezzi. Tuttavia in Inghilterra, sempre con il supporto del Post-Office, furono molteplici le sperimentazioni fatte dalla Marconi Wireless per installare gli apparati radio a bordo degli aerei di quei tempi. In Italia gli apparati usati sino agli inizi della Prima Guerra Mondiale erano a scintille, quindi incompatibili con le esigenze di sicurezza a bordo dei velivoli o peggio degli aerostati (palloncini frenati), utilizzati allora come osservatori per l'artiglieria. Non mancavano comunque tentativi e sperimentazioni ma con pochi risultati concreti.

Con gli anni '20 dello scorso secolo iniziò l'era delle trasvolate atlantiche ma nei voli, notevoli per l'epoca, di Arturo Ferrarin da Roma a Tokyo (1920), di Francesco De-Pinedo da Sesto Calende a Melbourne (1925) e altri, la radio non fu utilizzata. Fu tentato anche l'uso del dirigibile e rimane memorabile l'avventura del Norge. Nel 1925 l'esploratore Roald Amundsen, dopo aver tentato invano di raggiungere il Polo Nord con l'ausilio di aerei prende un'considerazione l'impiego del dirigibile e invita l'Aero Club Norvegese ad acquistarne uno.

<sup>16</sup> Questa parte è stata redatta attingendo dati e notizie da un documento divulgativo, oltre che da documentazione tecnica fornita dalla società produttrice degli apparati.

La scelta cadde sul dirigibile N-1 costruito in Italia dal Col. Umberto Nobile, acquistato tramite un americano, amico di Amundsen, Lincoln Ellsworth.

Dopo una accurata preparazione il dirigibile battezzato “Norge” parte da Ciampino il 10 aprile 1926 agli ordini di Nobile. Giunto in Norvegia, alla Baia del Re, prende a bordo Ellsworth e Amundsen e l’11 maggio parte per l’ultima tappa della transvolata. Il 12 maggio alle ore 1:30 sorvola il Polo Nord e, dopo aver lanciato tre bandiere (americana, italiana e norvegese) prosegue per Teller, in Alaska, dove atterra il 14 maggio alle ore 7:30, dopo aver percorso 5300 km in 70 ore e 40 minuti. Due anni dopo Nobile è pronto per una nuova trasvolata sul Polo Nord con un nuovo dirigibile, battezzato “Italia”, che con un equipaggio di circa 20 persone parte per la nuova spedizione il 15 aprile 1928 e raggiunge la Baia del Re in Norvegia. Il dirigibile questa volta era equipaggiato con radio a bordo del tipo RA 8, di progetto e costruzione delle Officine Marconi di Genova, e utilizzava 2 valvole nella gamma 300-600 kHz.

Il 24 maggio alle ore 00:20 il Polo è raggiunto e con la radio se ne diffonde la notizia.

Nel viaggio di ritorno dopo 130 ore di navigazione il dirigibile perde improvvisamente quota e urta violentemente la banchisa e sei componenti l’equipaggio perdono la vita. I superstiti al riparo della celebre “tenda rossa” vengono raggiunti grazie all’ausilio della radio che riuscì a fare da guida ai soccorsi.

Tipico apparato dell’epoca era, tra gli altri, il ricevitore di bordo 165 A, costruito dalle Officine Marconi, dotato di 5 valvole (triodi) e funzionante nella gamma 200 kHz-1,3 MHz, con rivelazione “a reazione” che veniva associato ad un trasmettitore tipo RA8 o RA6. I due modelli differivano per la potenza di emissione, circa 50 W per il mod. RA6 e 250 W per il mod. RA8, ed entrambi erano equipaggiati con 2 valvole. La trasmissione poteva avvenire sia in telegrafia sia in telefonia e la ricezione era comunque in cuffia. L’Italia riprese con vigore la politica dei primati perseguita dall’Arma Aeronautica, facilitata dal rinnovamento delle sue strutture.

Per tracciare a grandi linee la storia dell’Arma Aeronautica occorre rifarsi alla guerra di Libia 1911-1912 durante la quale, con foglio d’ordini del 28 settembre 1911, il Comando del C.A. dell’Esercito ordinò che il “Reparto Aviazione”, dipendente dal Comando Battaglione Specialisti, fornisse una flottiglia di aeroplani al Corpo d’Armata. Cioè all’interno delle unità dell’Esercito, o della Marina, operavano gli specialisti dei Reparti Aviazione. Questo ordinamento durò sino al 1923, quando con Regio Decreto n. 62, del 24 gennaio 1923 venne costituito il Commissariato per l’Aeronautica, con l’On. Benito Mussolini come Commissario. Su proposta del Commissario per l’Aeronautica, con Regio Decreto 645 del 28 marzo 1923, fu costituita la Regia Aeronautica e, successivamente il 12 ottobre 1923, fu istituito il “Corpo di Stato Maggiore” della Regia Aeronautica. Ad affiancare il Corpo di Stato Maggiore per gli incarichi tecnico-amministrativi fu istituito con Decreto Commissariale del 10 dicembre 1923 il “Regio Corpo degli Aeroporti”, con l’incarico di progettare e costruire aeroporti, con i servizi connessi, idonei all’utilizzo dei velivoli garantendo l’operatività dei reparti e la sicurezza del volo.

Giova ricordare che pochi mesi prima delle costituzione del Regio Corpo degli Aeroporti, il 31 luglio 1923 veniva costituito il Regio Corpo del Genio

Aeronautico, con Decreto Commissariale n. 116, nel quale trovavano allocazione tutte le attività relative alle comunicazioni, sia per gli apparati destinati ad essere installati su aeromobili, sia per quelli di utilizzo a terra. Il primo concorso per Ufficiali del Genio Aeronautico vide tra i prescelti il Cap. Marino Algeri, per la specialità “servizio elettrico e radiotelegrafico”<sup>17</sup>.

All'interno della Direzione Superiore del Genio e delle Costruzioni Aeronautiche era prevista una *Sezione Servizi Elettrici-Radiotelegrafici* che, successivamente, con la creazione del Ministero dell'Aeronautica nel 1925, sarà inserita nella Divisione Servizi Vari ed Approvvigionamenti della Direzione Generale del Genio Aeronautico diventata poi Divisione Materiale Tecnico Aeronautico.

Con il diffondersi dell'impiego degli apparati radio agli inizi degli anni '30 viene creato un Ufficio Centrale Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo che diverrà Ispettorato nel 1942 e sarà mantenuto anche nel dopoguerra. Oltre agli uffici per le competenze di impiego e per gli approvvigionamenti fu creata nel 1927 una *Direzione Superiore Studi ed Esperienze* (DSSE), con sede a Guidonia, entro la quale esisteva la Divisione Radioelettrica affidata al T.C. Marino Algeri, ripartita in quattro sezioni:

- Trasmettitori;
- Radioricevitori e radiogoniometri;
- Applicazioni Speciali;
- Misure e telefoni.

Tale divisione fu mantenuta sino alla Seconda Guerra Mondiale<sup>18</sup>.

Occorre per altro ricordare che sino dal 1923 si sentì la necessità di creare una struttura per la formazione dei quadri della nuova Forza Armata, cosicché, all'interno della esistente Accademia Navale a Livorno, si dette vita alla neonata Accademia Aeronautica e prese il via il primo corso “Aquila” con 32 candidati, seguita nel 1924 dal corso “Borea” con 36 allievi e nel 1925 dal corso “Centauro” con 35 allievi.

Nel 1926, nel terzo anniversario della costituzione della Forza Armata, l'Accademia Aeronautica riceve la bandiera da Vittorio Emanuele III e così si sancisce ufficialmente l'autonomia dell'Accademia Aeronautica. Nello stesso anno l'Accademia lascia Livorno e il 15 ottobre si stabilisce nella sua sede indipendente a Caserta, nella Reggia vanvitelliana. Il 10 dicembre dello stesso anno ha luogo l'inaugurazione dell'Accademia alla presenza di Italo Balbo, nominato un mese prima Sottosegretario per l'Aeronautica. Il 16 dicembre iniziano i corsi con gli allievi del corso “Drago”. Il nuovo Sottosegretario, Italo Balbo, si rese presto conto che i “voli primato” non erano sufficienti a fare della nuova struttura una vera Forza Armata e puntò a sviluppare le caratteristiche di “gruppo” favorendo le imprese di squadriglie di aerei in cui l'organizzazione, in funzione degli obiettivi fissati, la preparazione e la pianificazione erano prevalenti rispetto all'impresa del singolo pilota.

<sup>17</sup> Aeronautica Militare 2002.

<sup>18</sup> Corpo dal Genio Aeronautico 1998 e 2006.

Il primo esperimento di navigazione aerea di massa viene effettuato dal 26 maggio al 2 giugno 1928 nel Mediterraneo Occidentale con una Brigata e due stormi, con un totale di 61 tra S-53bis e S-55 su un percorso di 2804 km da Orbetello alla penisola Iberica e ritorno. L'anno successivo dal 5 al 19 giugno 35 aerei S-55 volano per 4667 km, effettuando la crociera Atene-Istanbul-Varna-Odessa-Costanza, con rientro ad Orbetello. Tutti gli aerei erano dotati di radio modello T346 WL della Telefunken associata al radiogoniometro DRP AFS 35.

Un'intera Divisione Navale fornì il supporto dei collegamenti radio tra la formazione in volo, le basi e la madrepatria, il rilevamento dei velivoli durante il tratto oceanico e il servizio meteorologico. Una dotazione radioelettrica più completa fu quella adottata per la crociera aerea dell'Atlantico del Nord, effettuata dal 1 luglio al 15 agosto 1933 con velivoli S.55X, dove furono installati nuovi radiogoniometri oltre ai trasmettitori e ricevitori di ultima generazione che consentivano trasmissioni in fonia e telegrafia. I nuovi radiogoniometri, o indicatori di rotta, erano di progetto e costruzione Telefunken mod. SPEZ 173 N, funzionante nella gamma  $170 \div 750$  kHz ed utilizzavano 9 valvole.

Oltre alla dotazione comune a tutti i velivoli, per i capi squadriglia vi era un apparato trasmittente che poteva essere utilizzato per le comunicazioni tra i velivoli. Gli apparati, realizzati su specifiche della DSSE di Guidonia, erano noti con la sigla R.A. 351/1 e furono costruiti dalla SAFAR. I dati tecnici essenziali erano:

- 1 cofano trasmettitore (che impiegava 3 valvole), funzionante su 3 gamme:
  - onde lunghe, da 300 a 1000 kHz;
  - onde medie, da 850 a 1500 kHz;
  - onde corte, da 3,5 a 8,5 MHz;con modulazione telegrafica e telefonica, o con telegrafia ad interruzione di portante;
- 1 cofano ricevitore (che impiegava 4 valvole), funzionante su 6 gamme:
  - da 7,0 a 15 MHz;
  - da 3,8 a 15 MHz;
  - da 1,8 a 4,1 MHz;
  - da 0,85 a 2 MHz;
  - da 350 a 890 kHz;
  - da 160 a 420 kHz.

La DSSE di Guidonia fu sempre molto attiva nella preparazione delle specifiche degli apparati da utilizzare a bordo degli aerei, la cui costruzione fu fatta principalmente da importanti industrie nazionali, come SAFAR e Magneti Marelli.

Verso la fine degli anni '30 e sino all'armistizio furono realizzati apparati a onde ultracorte (secondo la dizione dell'epoca) ovvero, con la dizione attuale, in gamma VHF, dalla IMCARADIO con un complesso ricetrasmittente costituito da:

- un trasmettitore (che impiegava 5 valvole) con potenza di 20 W, mod. SIM 6020, funzionante in gamma 59-65 MHz con generazione della frequenza

a quarzo, così che il cambio di frequenza richiedeva il cambio del quarzo e l'apparato era fornito di una serie di quarzi;

- un ricevitore (che impiegava 7 valvole) mod. IF607 funzionante in gamma 59-65 MHz.

La società IMCARADIO produsse anche un complesso ricetrasmittente da 0,4 W con trasmettitore mod. IF602, ricevitore mod. IF607 e alimentatore IF21S, il tutto racchiuso in un cofano molto maneggevole, che fu prodotto in pochi esemplari.

Le caratteristiche degli apparati aeronautici (non era ancora “avionica”<sup>19</sup>) venivano elaborate dalla DSSE di Guidonia e poi realizzate dalle società come la SAFAR, l'Allochio-Bacchini e la Magneti Marelli, mentre per la Marina le specifiche erano elaborate a Livorno e poi realizzate dalle Officine Marconi di Genova. Per l'Aeronautica una parte importante delle apparecchiature di bordo era costituita dai radiogoniometri o indicatori di rotta, tipico quello utilizzato nella Crociera del Nord-Atlantico nel 1933, di progetto Telefunken mod. SPEZ 173 N che impiegava 9 valvole. Si arrivò così al secondo conflitto con apparati della stessa tecnologia di quelli descritti e le cui varianti, in potenza, peso e dimensioni erano dettate dall'impiego.

Nell'immediato dopoguerra l'Aeronautica costituì un reparto, per razionalizzare tutte le componenti “volanti”, comunicazioni, navigazione, che fu inserito in un “Nucleo Sperimentale Volo” (che nel 1949 divenne *Reparto Sperimentale Volo*) costituito nel 1948. Dal 1986 il Reparto Sperimentale è stato incorporato nella Divisione Aerea, Studi, Ricerche e Sperimentazioni.

### *La ricostruzione*

Nell'immediato dopoguerra gli aerei furono forniti, per la maggior parte, dall'United States Air Force (USAF), completamente equipaggiati con ricetrasmittitori americani (essenzialmente Collins) ed è solo nel 1958 che la Fiat Aviazione partecipa al concorso NATO per la scelta del *Light Weight Strike Fighter*, che avrebbe dovuto equipaggiare le forze aeree dei Paesi dell'Alleanza, con il G-91 progettato da Giuseppe Gabrielli, che viene dichiarato vincitore.

Questo aereo, poi adottato solo dalla Germania e dall'Italia, ha equipaggiato una serie di reparti operativi e le Frece Tricolori oltre a costituire, nella versione G-91 T, il biposto da addestramento. Nel 1962 nasce dal binomio Macchi-Bazzocchi l'MB-326 pensato come addestratore ma poi costruito e riprodotto in moltissimi esemplari (oltre 4000) in tutto il mondo per utilizzazioni operative. L'MB-326 sostituirà i G-91 nella pattuglia acrobatica (le Frece Tricolori) sino agli anni '80, sostituiti a loro volta dagli MB-339 in servizio sino ad oggi.

Malgrado queste brillanti affermazioni l'industria aeronautica nazionale ha problemi di sopravvivenza che si riflettono ovviamente anche sulla parte “avio-

<sup>19</sup> Il termine composto “avionica” sta ad indicare l'insieme di apparati “elettronici” impiegati a bordo degli aerei.

nica". La scarsità di progetti nazionali negli apparati di comunicazione, ma in genere in tutti gli apparati avionici, ha dei riscontri oggettivi che ne rendono difficile sia la progettazione, sia la produzione. In primo luogo le quantità richieste, in genere, sono piccole; anche oggi che la diffusione del mezzo aereo è molto estesa non si realizzano grandi serie di aerei e, di conseguenza, di apparati e questo fatto incide in misura notevole sui costi. Le serie, almeno per quanto si riferisce all'Italia, non superano quasi mai il centinaio e spesso sono frazionate nell'arco di più anni, cioè con produzioni realmente poco significative.

Per contro le caratteristiche ambientali richieste sono molto severe o, in alcuni casi, severissime. Si pensi ad un velivolo a terra, su un qualsiasi aeroporto, con temperature ambientali che sono spesso superiori ai 10° C che, su comando, decolli e si porti a più di 4000 metri, in tempi estremamente ridotti (pochi minuti), con temperature ambientali molto sotto lo zero. È evidente lo stress ambientale che deve essere fronteggiato da una accurata progettazione circuitale che compensi le inevitabili derive che ne conseguono. Alle brusche variazioni termiche si associano altri fattori come le vibrazioni e altre sollecitazioni meccaniche. Poi, per evidenti motivi di sicurezza, è richiesto che per tutte le apparecchiature installate a bordo esista una accurata e precisa documentazione, sia in termini di configurazione, sia in termini di componentistica. In altre parole è necessario conoscere in qualunque istante della vita dell'apparato il suo stato reale.

Con questi requisiti lo sviluppo di apparati avionici non è certamente attraente, sotto il profilo economico, ed è nella realtà affrontato da poche industrie, per lo più statunitensi dove le quantità, seppure non grandi, sono sufficienti a supportare progetti complessi e che spesso risultano essere dei *by-product* di apparati militari. Per questi ultimi sono previsti finanziamenti per la ricerca base e per lo sviluppo per renderne accettabile la produzione. Tutti questi fattori fanno sì che le industrie preferiscano intraprendere le riproduzioni su licenza anziché investire nei progetti che spesso portano a risultati economici poco remunerativi. Naturalmente questo va a scapito di un avanzamento tecnologico che deve essere così "aiutato" pena un impoverimento del patrimonio tecnologico-industriale. Infatti è cosa sufficientemente provata che i progetti e le produzioni industriali di apparati per impieghi militari che richiedono, per vari motivi, caratteristiche e prestazioni "spinte" cioè particolari, danno lo spunto per lo sviluppo di tecnologie avanzate.

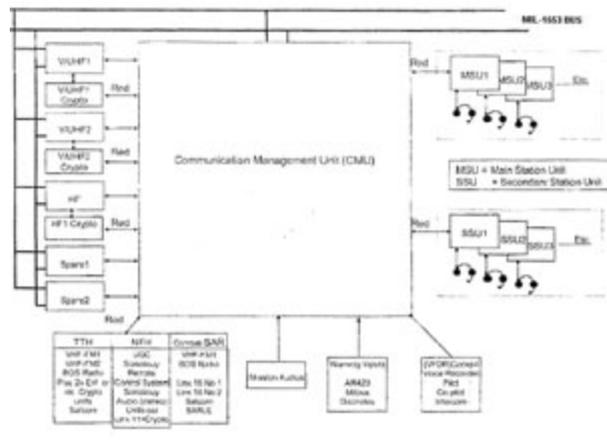
Per superare queste difficoltà, comuni nel mercato europeo tuttora molto frastagliato, sono sorti, a partire dalla fine degli anni '60, progetti internazionali tra due o più nazioni per realizzare aerei ed elicotteri militari, irrealizzabili da una singola nazione europea. Il primo progetto fu il "Tornado" iniziato nel '69, tra Germania, Inghilterra e Italia, per terminare ai nostri giorni con l'EFA (European Fighter Aircraft) tra Germania, Inghilterra, Italia e Spagna. Tuttavia, mentre alcune industrie italiane si lanciano nel progettare e produrre apparati per la navigazione, gli apparati di comunicazione sono ancora americani o riprodotti su licenza e solo ultimamente sono comparsi apparati di progetto e produzione italiana. In ogni caso le comunicazioni necessarie o disponibili a bordo di un aereo o elicottero sono riassumibili nelle seguenti bande:

- VHF 30-88 MHz per i collegamenti con le forze terrestri (FM);
- VHF 118-136 MHz per le comunicazioni ATC (Air Traffic Control) (AM);
- VHF 156-174 MHz banda marittima (FM);
- UHF 225-400 MHz comunicazioni (AM/FM).

Per rendersi conto della complessità dell'impianto di bordo è sufficiente considerare un tipico impianto per le comunicazioni e successivamente confrontarlo con tutto il complesso necessario al volo. Nel paragrafo che segue è stato preso in esame un impianto di comunicazione per un elicottero medio (in dotazione alle nostre forze armate) per confrontarlo successivamente con il complesso avionico che, con un termine anglosassone, è detto EFIS (Electronic Flight Instrumentation System).

### *Sistema di comunicazione (tipico) per elicottero*

L'impianto per le comunicazioni tipico per un elicottero è riportato come schema a blocchi in Figura 14. Un bus di tipo militare tipo MIL 1553° connette tra loro tutte le utenze con l'Unità Centrale di Controllo (CMU – Communication Management Unit) che ne assicura la gestione. Spesso questa unità è denominata MFD (Multi Function Display) o CMA (comprende infatti al suo interno anche un calcolatore con relativo display per la presentazione dei dati).



**Figura 14.** Sistema di comunicazioni (tipico) per elicottero.

Sul lato sinistro dello schema sono indicati gli apparati di comunicazione, nell'ordine:

Sul lato sinistro dello schema sono indicati gli apparati di comunicazione, nell'ordine:

- V/UHF nelle bande:
  - 30-88 MHz (FM)
  - 108-116 MHz (AM - solo ricezioni)
  - 116-156 MHz (AM)
  - 156-174 MHz (FM)
  - 225-400 MHz (FM/AM)
  - 400-470 MHz (FM)

per la trasmissione dati o voce con possibilità di utilizzare un canale cifrato (canale duplicato) dove con "Red" si identifica una linea con segnali in chiaro, cioè non protetti e quindi eventualmente da cifrare;

- HF nella banda 2-30 MHz (UBS-LSB-AM) ed anche qui esiste la possibilità di utilizzare una cifrante per i canali in chiaro (Red)
  - due unità di scorta da determinare in funzione delle esigenze.

In basso, a sinistra, possono esistere (non contemporaneamente) o:

- una unità per elicotteri da trasporto tattico (TTH) dotata di due canali VHF-FM, di una unità cripto ed un adattatore SATCOM;
- una unità per elicotteri imbarcati su fregate (NFH) dotata di sistemi per sonoboe, Link11 e unità cripto;
- una unità per elicotteri da combattimento (Combat-SAR) dotata di un canale VHF-FM, n. 2 Link16, adattatore SATCOM.

Inoltre:

- un ingresso per gli allarmi su bus AR429;
- un dispositivo per la registrazione vocale del pilota o co-pilota che agisce da intercom.

Sul lato destro sono sistemati gli ingressi, tutti in chiaro (quindi Red) delle postazioni principali e secondarie per i membri dell'equipaggio.

*Complesso CNS per aereo da trasporto*

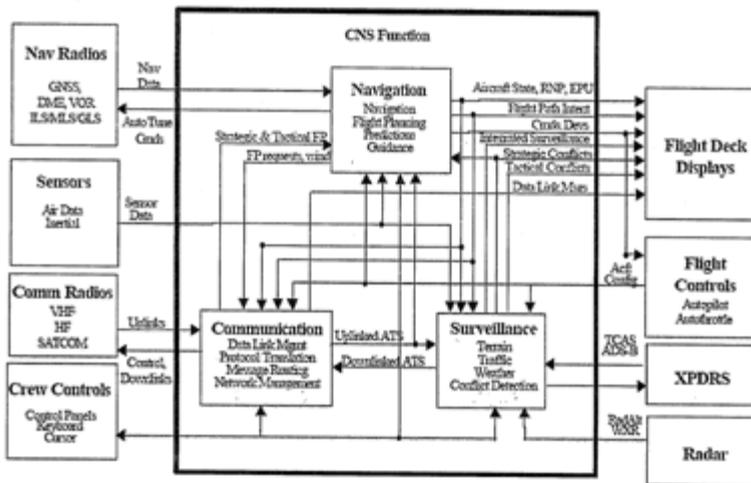


Figura 15. Complesso CNS per aereo da trasporto.

Infine, come ultimo esempio, è presentato in Figura 15 lo schema di un complesso CNS (Comunicazioni, Navigazione, e Sorveglianza) per un aereo militare da trasporto. In questo caso il blocco centrale di controllo CNS è

gestito direttamente dall'equipaggio (*Crew Controls*) che dispone sul *Cockpit* le presentazioni relative (*Flight Deck Displays*). Sul lato sinistro sono presenti:

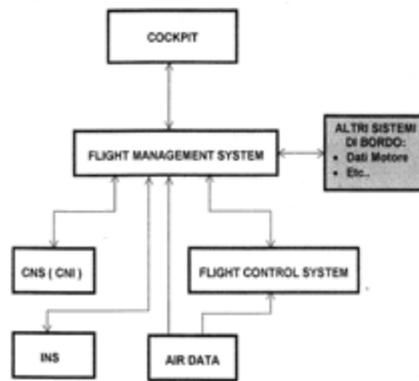
- il blocco apparati per la navigazione (Nav Radios), comprendente: GNSS, DME, VOR/ILS/MLS/GLS;
- il blocco sensori dati aria e inerziali (Sensor);
- il blocco apparati di comunicazione (Comm Radios), comprendente: apparati V/UHF, HF, SATCOM.
- Sul lato destro sono presenti:
- il blocco dei dati per la presentazione sul Cockpit (*Flight Deck Displays*);
- l'insieme dei controlli di volo (*Flight Controls*);
- i trasponder ATC e TCAS (*Traffic Collision Avoidance System*);
- il complesso dei radar presenti (*Altimetro, Meteo, ecc.*).

Anche in questa architettura è chiaramente evidente la priorità assegnata alla navigazione ed ai controlli di volo rispetto alle comunicazioni.

### *Avionica attuale (2005)*

L'avionica utilizzata sui moderni velivoli può essere rappresentata con uno schema a blocchi comprendente 6 sottosistemi rappresentativi delle funzioni essenziali per la gestione del velivolo (Fig. 16), cioè:

- FMS (*Flight Management System*);
- Cockpit;
- CNS (*Communication, Navigation and Identification*);
- INS (*Inertial System*);
- AIR DATA;
- FCS (*Flight Control System*).



**Figura 16.** Sistema di bordo – architettura attuale.

Il sistema FMS ha la funzione essenziale di gestire tutti i dati concernenti:

- il Velivolo;
- il Cockpit;
- la Navigazione;
- l'Atterraggio;
- l'FCS (*Flight Control System*).

Ed infine gestire anche l'insieme di tutti gli apparati di bordo relativi a:

- comunicazioni terra-bordo-terra (TBT);
- comunicazioni aria-aria;

- misura della posizione, velocità e accelerazione del velivolo;
- sistema di identificazione del velivolo.

Queste funzioni sono raggruppate sotto la voce: Comunicazione, Navigazione e Identificazione (CNI).

Il sottosistema Comunicazioni (CNI) raggruppa tutte le radio multicanale di bordo che operano, per i velivoli civili, nella banda HF (2-30 MHz) e nella banda VHF (118-136 MHz) mentre per i velivoli militari esse operano nelle bande HF (2-30 MHz), VHF (30-88 MHz, 108-156 MHz e 156-174 MHz – Frequenza Marittima) e UHF (225-400 MHz). Il sottosistema Inerziale (INS), utilizzato per la misura di posizione e della velocità, ed il sottosistema Air Data, che misura pressione, temperatura e direzione dell'aria, sono indispensabili per i calcoli di navigazione. Il sottosistema FCS (Flight Control System) ha il compito principale di trasformare i comandi del pilota in comandi alle superfici mobili del velivolo tramite le quali il velivolo esegue i "movimenti" comandati e quindi esegue cambiamenti di direzione del volo nel piano X,Y e Z.

Nello schema di Figura 16 rientrano anche i sistemi visti in precedenza, basta osservare come nell'FMS esistano tutte le funzioni espletate dal CMU di Figura 13 o dal CNS di Figura 14, utilizzando segnali numerici (digitali) che permettono, con le tecnologie elettroniche attuali, una integrazione spinta sia nei sottosistemi, sia tra i sottosistemi.

Naturalmente al crescere della integrazione aumenta la necessità di un S/W particolarmente evoluto che per certe funzioni inerenti al volo o ai suoi comandi diventa critico (Critical Safety S/W) e deve essere compilato e collaudato con regole particolarmente rigorose, che rendono costosa la sua elaborazione e ciò è particolarmente vero per i sistemi militari.

## Conclusioni

Le comunicazioni di bordo aereo sono principalmente utilizzate, allo stato attuale dei fatti, dal pilota per i colloqui con le torri di controllo che sono i riferimenti necessari e obbligatori in ogni volo. Così un aereo si mette in moto dopo il benestare della torre di controllo e, sempre dalla torre riceve il via libera per il decollo. Successivamente raggiunta la quota di crociera programmata colloquia con la torre interessata alla sua rotta e nella aerovia assegnata (o più torri in sequenza per i voli lunghi).

In prossimità dell'aeroporto di destinazione riceve disposizioni dalla torre terminale per l'atterraggio e per tutti i movimenti a terra.

In altri termini l'aereo è sempre in contatto con almeno una torre, che gestisce il traffico sulle aerovie e sui corridoi di accesso all'aeroporto. Le torri 'vedono' l'aereo con i radar e ne determinano la posizione, così che l'accesso alle aerovie ed ai corridoi di decollo e atterraggio possono essere gestite in sicurezza. Questa modalità di gestione del traffico aereo è stato definito dalla "European Civil Aviation Conference" (ECAC) negli anni '90 come "Air Traffic Control – En Route" (ATC-En Route).

Gli utilizzatori degli spazi aerei gestiti dall'ATC sono essenzialmente i voli commerciali per il trasporto di passeggeri e merci, ma gli stessi spazi sono utilizzati da velivoli privati (*business aircraft, executive ecc.*) e velivoli militari per i loro trasporti e/o trasferimenti.

Molti velivoli militari utilizzano lo spazio aereo non controllato, cioè dove i servizi ATC sono assenti. Spesso però i velivoli militari operano sotto il controllo di un loro servizio ATC militare che si coordina con il servizio ATC civile.

Tuttavia l'incremento di traffico, le maggiori velocità dei mezzi, la necessità di non subire, per il traffico commerciale, ritardi o intralci ai voli programmati, ha indotto la

creazione, in Europa, di un centro per preparare norme e disposizioni tali da rendere gestibile la situazione nel nuovo contesto che, con le vecchie norme, rischia di risultare inaccettabile (vedi la Nota finale "La gestione dello spazio aereo").

L'organismo creato è l'Agenzia Eurocontrol, con sede a Parigi, che coinvolgendo tutti gli elementi interessati al volo, ivi compreso l'aereo ed il suo pilota, inclusi gli elementi terminali (i *Gates* di accesso al volo) gestirà il traffico aereo "Gate-to-Gate" (ATM – Gate to Gate): Si potrà così, secondo le previsioni, ridurre le distanze e le quote degli spazi di sicurezza, fornendo al pilota in ogni punto del volo la situazione del traffico aereo entro il quale il suo aereo si trova. Questo nuovo concetto di gestione ATM (AirTraffic Management) rivoluzionerà i cockpit degli aerei e le comunicazioni relative, anche se permarranno tutte le condizioni di colloquio tra aereo e torre.

Lo schema a blocchi della Figura 16, che rappresenta l'architettura attuale dell'avionica di bordo, si trasformerà per fornire al pilota tutte le informazioni relative allo spazio aereo di sua competenza. Lo schema del blocco avionico potrà, con buone probabilità, diventare quello di Figura 17 in cui i vari blocchi hanno le stesse funzioni con in più i Data Link che permettono lo scambio di informazioni sullo spazio aereo che lo circonda.

**Nota**

*La gestione dello spazio aereo*

I Ministri dei Trasporti europei sono riuniti in un organismo denominato *European Civil Aviation Conference (ECAC)* per gestire i problemi degli spazi aerei e del relativo traffico che vi si svolge. Ovviamente sono inclusi nell'ECAC

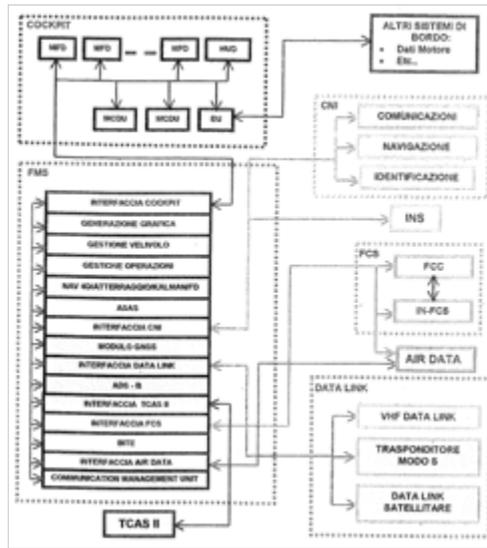


Figura 17. Avionica ATM.

tutti i Ministri della comunità europea. Per gli anni '90 la Conferenza aveva approvato il documento: "ECAC En-route and Airport Strategy of the European Air Traffic Control Harmonisation and Integration Program" (EATCHIP) e il "Airport/Air Traffic System Interface".

Tuttavia con l'aumento vertiginoso del traffico aereo e con l'incremento delle velocità dei mezzi e delle capacità di trasporto, la strategia dell'"ATC-En route" è stata ritenuta non più sufficiente. Così nel quinto meeting dei Ministri dei Trasporti ECAC (Copenhagen, 14 febbraio 1997) è stato approvato il documento: "Istitutional Strategy for Air Traffic Management in Europe" ed è stato deciso che l'Agenzia Eurocontrol – con sede a Parigi – sarebbe stata l'organismo per sviluppare la strategia istituzionale. I Ministri hanno richiesto infine un documento che descrivesse la strategia ATM con il concetto Gate-to-Gate.

Il Direttore Generale di Eurocontrol, di concerto con i Direttori Generali dell'Aviazione Civile degli Stati ECAC, ha insediato una commissione: "ATM 2000+Strategy Board" per sviluppare il documento richiesto. Nel 7° meeting dei Ministri (Parigi 2000) il documento dal titolo "ATM Strategy for 2000" è stato discusso e approvato.

Il calendario definito nel documento, che fissava i tempi in cui il sistema ATM, con il controllo Gate-to-Gate, avrebbe dovuto sostituire l'ATC, con il controllo En-route, è stato oggetto di una revisione dopo gli attentati dell'11 settembre 2001, per tener conto della grave crisi economica che le compagnie aeree hanno subito.

## APPENDICE (a cura di EUGENIO COSTAMAGNA)

### Tecniche di trasmissione a banda espansa

**Introduzione.** Terminato il secondo conflitto mondiale fu firmato un trattato (marzo 1948) di difesa tra la Francia, la Gran Bretagna e le tre nazioni del Benelux, per contrastare l'organizzazione (ottobre 1947) del Cominform da parte dell'Unione Sovietica, forte di una rete di 23 nazioni firmatarie di trattati bilaterali di alleanza. Al trattato anglo-francese si aggiunsero nell'aprile 1949 le due potenze dell'America del Nord, Stati Uniti e Canada, trasformando il trattato in un'Alleanza del Nord Atlantico (NATO). Dalla nascita dei vari trattati e fino alla caduta del muro di Berlino (novembre 1989), le forze militari dei due blocchi hanno operato in regime di "Guerra Fredda" cercando di prevalere uno sull'altro con mezzi potenzialmente sempre più decisivi.

Nelle telecomunicazioni nacque subito il filone della "Guerra Elettronica" che si avvaleva di forme sofisticate di intercettazione delle comunicazioni avversarie, del loro disturbo per annullarne l'efficacia o infine dell'inganno con emissioni 'false' in senso lato.

La risposta alle minacce era basata su sistemi che rendessero minimo e/o altamente oneroso il disturbo, in termini di livelli di potenza necessari, in modo da impedirne l'impiego su larga scala. Con altri sistemi si cercava di rendere quanto mai difficile l'intercettazione ma, una volta intercettati, si affidava la sicurezza dei messaggi e delle informazioni alla cifratura dei segnali.

Sono nate così varie tecnologie *ad hoc* destinate a contrastare vari tipi di minaccia, ma, spesso, esse vengono sovrapposte per garantire prestazioni maggiori. Nel seguito compare una breve rassegna di queste tecnologie che, nate in verità già in ambito

analogico, si sono largamente diffuse con l'adozione dei segnali numerici che rendono assai più semplice e flessibile la loro realizzazione e la loro gestione.

Le misure che conferiscono una adeguata capacità di protezione alle comunicazioni sono note come EPM (Electronic Protection Measures) o anche, tradizionalmente ECCM (Electronic Counter Measures). Tra le EPM si sono particolarmente sviluppate le tecniche indicate nella letteratura internazionale come *spread spectrum*, appunto a banda espansa, che costituiscono una risorsa ormai irrinunciabile per i nuovi apparati, ivi compresi quelli civili. Poiché in qualche modo l'impiego di queste tecniche dava luogo a problemi di pianificazione di sistema e di metodologia di impiego inconsueti, vale la pena, nel ricordare la loro introduzione nelle trasmissioni militari nazionali, di soffermarsi un poco sulle loro caratteristiche innovative.

**Generalità sulla banda espansa.** Si tratta di effettuare la trasmissione dei segnali utili occupando con il loro spettro una banda maggiore e tipicamente molto maggiore di quella che sarebbe strettamente necessaria, allo scopo di ottenere notevoli vantaggi in termini di capacità operative.

La base concettuale va ricercata nel teorema fondamentale sulla capacità di canale o teorema della codifica del canale, dovuto a Shannon<sup>20</sup>, che era stato esposto nel 1948, e i possibili vantaggi, che verranno richiamati tra poco, sono apparsi subito interessanti in ambito militare e più tardi sono diventati evidenti e tecnologicamente conseguibili anche in ambito civile, cosicché oggi proprio in questo si hanno le applicazioni più diffuse e alcuni degli studi di applicazione più raffinati.

Di fatto, le prime applicazioni sono state studiate in ambito militare ed i primi apparati militari destinati ad una utilizzazione diffusa apparvero all'inizio degli anni '60 e sembra<sup>21</sup> che il primo apparato avionico sia stato il modem per fonia (e anche telemetria) Magnavox ARC-50. Possiamo poi collocare nei primi anni '70 lo sviluppo di un vasto interesse e della diffusione dello studio di queste tecniche anche al di fuori dell'ambito militare, con l'apparire in letteratura di testi che mettevano a disposizione trattazioni organiche della materia<sup>22</sup> e con la pubblicazione di numeri dedicati da parte di riviste di ricerca prestigiose, come ad esempio le *IEEE Transactions on Communications*<sup>23</sup>.

Dopo il già ricordato Magnavox ARC-50, poi ARC-148, ed i loro successori e derivati (tra cui una serie di modem forniti dalla ditta Elmer alla Marina Militare già negli anni '70), vanno ricordati<sup>24</sup> i sistemi NATO Have Quick, di tipo FH nella banda UHF, e SINCGARS (Single Channel Ground-Airborne Radio System, Cincinnati Electronics, ITT) in banda VHF, anch'essi realizzati in Italia su licenza dalla Elmer, e poi, ancora per le comunicazioni tattiche, i sistemi di origine inglese JAGUAR (Racal) e SCIMITAR (Marconi) ed altri meno diffusi. A livello di sistema integrato nello scenario tattico terrestre ed aeronavale la realizzazione più notevole è costituita dal sistema di comunicazione comando e controllo statunitense chiamato JTIDS, Joint Tactical Information Distribution System. Con questo poteva essere gestito in modo coordinato tutto il sistema di comunicazioni di una formazione aeronavale, inclusi la protezione aerea e l'aeromobile di sorveglianza radar AWACS<sup>25</sup>.

<sup>20</sup> Shannon 1948.

<sup>21</sup> *Spread Spectrum Communications*, 1973; Dixon, 1976; Torrieri, 1981.

<sup>22</sup> *Spread Spectrum Communications*, 1973; Dixon, 1976; Torrieri, 1981.

<sup>23</sup> *IEEE Transactions on Communications*, 1977.

<sup>24</sup> *Spread Spectrum Communications*, 1973; Dixon, 1976; Torrieri, 1981.

<sup>25</sup> Elson 1976; Lightfoot et al. 1976; [http://en.wikipedia.org/wiki/Joint\\_Tactical\\_Information\\_Distribution\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Joint_Tactical_Information_Distribution_System); Golliday Jr. 1985.

Si noti anche che è relativamente precoce l'impiego di sistemi *spread spectrum* su piattaforma satellitare con il TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System)<sup>26</sup>, in cui l'espansione di banda assicurava non solo capacità antidisturbo ma anche, con la corrispondente riduzione della densità spettrale di potenza, compatibilità elettromagnetica con i segnali trasmessi a terra sulle stesse bande, e poi con il ben noto sistema di posizionamento GPS.

Occorre ricordare subito, però, che le tecniche comunemente indicate con la locuzione *spread spectrum* non permettono di ricavare alcun vantaggio in termini di rapporto segnale/disturbo nei confronti del rumore termico. Nel caso invece di disturbi concentrati su bande relativamente strette si ottiene un vantaggio cospicuo, direttamente riconducibile all'espansione della banda utilizzata, e questo è particolarmente desiderabile proprio nel caso delle comunicazioni militari.

Si descriveranno ora brevemente le principali tecniche di *spread spectrum*, i relativi vantaggi e le principali difficoltà di realizzazione, con uno sguardo al mondo delle comunicazioni militari in Italia, limitando le citazioni bibliografiche a lavori che possano illustrare, almeno in modo parziale, le prime attività condotte in tale ambito e con il supporto delle Forze Armate da enti industriali ed universitari italiani.

I vantaggi ottenibili, di cui negli anni '70 si aveva piena percezione in ambito militare, possono essere così elencati:

- robustezza della trasmissione in presenza di disturbo intenzionale (*jamming*) o non intenzionale;
- resistenza alla scoperta e alla radiogoniometria, assenza di firma spettrale (*signature*) che caratterizzi la stazione trasmittente, resistenza all'inganno;
- resistenza all'intercettazione della trasmissione da parte di un utilizzatore non autorizzato, nel senso dell'intelligibilità del contenuto;
- vantaggi nell'accesso multiplo alla risorsa globale spazio, tempo e banda di frequenza di trasmissione, con possibili vantaggi nella riduzione del disturbo su altre trasmissioni "amiche" e/o nel numero di trasmissioni contemporaneamente effettuabili con qualità accettabile;
- vantaggi in particolari condizioni del canale e possibilità di far fronte all'interferenza intersimbolica causata da propagazione a cammini multipli (*multipath propagation*), fonte primaria, tra l'altro, di andamento a *burst* degli errori in ricezione.

Conviene ora raggruppare le principali tecniche di realizzazione in tre grandi famiglie e cioè i sistemi cosiddetti a sequenza diretta, *pseudo noise-direct sequence*, i sistemi a salto di frequenza, *frequency hopping*, e i sistemi a salto nel tempo, *time hopping*, cercando di distinguere le relative possibilità e debolezze.

**Espansione di banda a sequenza diretta (PN-DS).** Consideriamo un sistema che trasmetta una successione di simboli binari mediante impulsi di forma rettangolare (bit), ad esempio positivi o negativi, senza sostanziale perdita di generalità perché è noto che la scelta della forma d'onda non è rilevante se si impiega in ricezione il relativo filtro adattato o l'equivalente ricevitore a correlazione. In verità, a parte particolari strutture nelle famiglie dei simboli, qualunque sistema costruito secondo tale criterio, a parità di energia di trasmissione impiegata per i relativi simboli, garantisce sempre la stessa prestazione ottimale nelle condizioni per così dire naturali

<sup>26</sup> *Spread Spectrum Communications* 1973.

per le radiotrasmissioni, cioè in presenza di un disturbo con distribuzione spettrale di potenza uniforme e con distribuzione di probabilità delle ampiezze gaussiana, quale il rumore termico.

Ora, se tutto questo è vero, al posto dell'andamento nel tempo rettangolare se ne può imporre uno diverso, in particolare uno costituito da una successione impulsi rettangolari più brevi (*chip* nella letteratura), il cui segno dipenda sia dal segno del bit che da una regola aggiuntiva nota ai due corrispondenti (sequenza di *spread*). È chiaro che l'energia trasmessa è ancora quella dell'impulso originale. Cambia invece lo spettro, che si espande in ragione della cosiddetta *chip rate* invece che della *bit rate*, conservando nella fattispecie la forma. La densità spettrale di potenza diminuisce quindi in ragione del rapporto tra le due velocità, detto guadagno di processo, e ciò permette tra l'altro di nascondere la presenza della trasmissione a un intercettatore abbastanza lontano, che avrebbe difficoltà a notare la sua presenza mascherata in ricezione dal rumore termico. Dal punto di vista dello scenario militare si sono presto trovate efficaci contromisure a questo tipo di camuffamento, ma la cosa conserva grande rilievo dal punto di vista dell'accesso multiplo ed è uno dei motivi dell'attuale successo della tecnica PN-DS anche nella telefonia civile: entro limiti dettati dal guadagno di processo, anche trasmissioni non rese perfettamente ortogonali dalle rispettive sequenze di *spread* possono convivere ed essere trattate come il disturbo intenzionale. Se poi fossero perfettamente ortogonali, l'accesso multiplo avverrebbe senza reciproco danno. Di fatto si è notato che era possibile effettuare facilmente, sovrapposte nella stessa banda espansa, un numero di trasmissioni analogo a quelle possibili con le tecniche tradizionali ma con il vantaggio di poterne accogliere altre in soprannumero con degradazione della qualità accettabilmente progressiva (*graceful degradation*). Era nata la pratica del Code Division Multiple Access (CDMA), in cui la discriminazione del segnale ricevuto era affidata ad una caratteristica intrinseca del segnale stesso e non alla sua diversificazione dagli altri in tempo o in frequenza.

Conviene ora esaminare le prestazioni del *direct sequence* nella resistenza al disturbo intenzionale, le più importanti, forse, dal punto di vista dell'impiego militare. Per averne un'idea intuitiva, basta pensare ad un processo di rivelazione semplicissimo, non molto diverso dall'ottimo, che consiste nel moltiplicare il segnale ricevuto per una copia della sequenza di *spread* usata in trasmissione per poi filtrare il risultato con un qualunque filtro avente una larghezza di banda simile a quella del segnale prima dell'espansione. Il segnale utile viene perfettamente recuperato, perché le due moltiplicazioni successive si cancellano qualunque sia il segno dei chip. Un altro segnale a banda stretta, invece, in ricezione viene moltiplicato per la stessa sequenza di *spread* che aveva causato l'espansione di banda del segnale utile e quindi si trova sottoposto ad una espansione analoga. Basta allora il filtro a banda stretta posto all'uscita del moltiplicatore per escludere dalla risposta tutti i contributi in frequenza esterni alla banda del segnale originale e quindi moltiplicare il rapporto segnale/disturbo per un fattore dell'ordine del guadagno di processo.

L'espansione di banda e il guadagno di processo possono essere dell'ordine delle migliaia o dei milioni di volte, a seconda delle bande dei segnali e delle bande totali disponibili, e si capisce allora l'interesse nei confronti del disturbo intenzionale. In Torrieri 1981 sono stati studiati in particolare vari casi, per valutare l'efficacia della protezione con vari tipi e allocazioni in frequenza del disturbo: qui basta accennare al fatto che il disturbatore è costretto ad aumentare enormemente la potenza del disturbo sia che voglia operare a banda stretta che volendo operare a banda larga. C'è però un problema. Per quanto grande, il guadagno di processo resta finito e il problema della resistenza al disturbo e dell'accesso multiplo, così brillantemente risolto in generale, re-

sta senza soluzione nel caso che il disturbo riesca comunque ad eccedere la protezione fornita dal guadagno di processo. Ora l'attenuazione dei segnali varia con la distanza secondo l'inverso di questa elevato a qualche potenza compresa tra 2 (propagazione nello spazio libero) e 4 o anche valori superiori: già negli anni '50 erano disponibili modelli di propagazione sufficientemente affidabili<sup>27</sup>. Non è quindi troppo difficile che un segnale utile lontano possa essere sopraffatto, nonostante il guadagno di processo, da un disturbo vicino, tipicamente, nella radiomobile campale, da una trasmissione dello stesso sistema effettuata da un reparto contiguo: è il cosiddetto problema del *near-far*.

Ritornando alle sequenze di *spread*, i primi studi, anche in Italia, avevano mostrato lo scarso interesse rivestito da brevi sequenze ripetute ad ogni bit e che invece era importante che le sequenze fossero molto lunghe e di difficile riproduzione da parte dell'intercettatore o del disturbatore. Il problema è analogo a quello delle cifranti a *bit stream*: non potendo ricorrere in pratica allo schema perfetto delle sequenze casuali, occorre generare le sequenze con un algoritmo pseudocasuale inizializzato con dati di limitata capacità di informazione, e questo le espone a tentativi di riproduzione.

In definitiva, si è pensato che la vera segretezza dovesse essere garantita da vere cifranti e che bastasse che una sequenza di *spread* potesse resistere quanto basta per la sua utilizzazione in campo tattico, per tempi cioè dell'ordine delle ore o dei giorni.

Va sottolineato però che il problema della lunghezza non è il solo: per garantire la discriminazione dei segnali occorre anzitutto che le sequenze manifestino una buona funzione di autocorrelazione e contemporaneamente una modesta e possibilmente nulla correlazione mutua con le altre utilizzate nel sistema.

Buone proprietà di autocorrelazione garantiscono anche la possibilità di discriminare le varie componenti del segnale eventualmente ricevute in condizioni di propagazione a cammini multipli, materializzando in modo cospicuo l'ultimo dei vantaggi a suo tempo elencati.

Infine si può confrontare il tempo di arrivo con quello di partenza per mezzo di riferimenti opportuni, poiché il segnale *direct sequence* contiene implicita una misura del tempo di transito lungo il canale in termini di chip ricevuti. Con la velocità di propagazione si può risalire alla distanza percorsa e si può istituire un sistema analogo ma duale di quello della radiogoniometria tradizionale, basata su rilievi di direzione e su triangolazioni. La precisione dipende dalla durata del chip e si possono ottenere risultati notevoli anche nelle trasmissioni campali. Operando secondo questo principio e con una costellazione di satelliti, risultati assolutamente ragguardevoli sono stati ottenuti dal sistema GPS che, messo a punto negli anni '60-'70, è ormai entrato nell'uso comune.

**Frequency Hopping (FH).** Si tratta di una tecnica concettualmente forse più semplice, parente della consolidata pratica dell'evasione in frequenza, che in sostanza prevede che a tempi determinati una trasmissione per il resto convenzionale venga traslata dalla frequenza di lavoro ad una nuova frequenza e che qui resti per un tempo stabilito, in attesa di un nuovo salto di frequenza. Come si vede, è una specie di multiplexazione in frequenza con assegnazione dinamica delle frequenze e con un moderato aumento della banda di trasmissione per compensare opportuni tempi morti in corrispondenza degli istanti di salto. Se il ritmo di salto è sufficientemente lento e traslazioni a parte, lo spettro è ancora quello di una trasmissione convenzionale; se invece l'alternarsi delle frequenze è abbastanza rapido, lo spettro comincia ad assomigliare a quello di una modulazione *direct sequence*, nel senso che si espande la banda istantanea.

<sup>27</sup> Si veda, ad esempio, Egli 1957.

Se il ritmo di salto è sufficientemente veloce, il disturbo intenzionale a inseguimento viene costretto ogni volta alla ricerca della nuova frequenza di trasmissione e, anche nel caso di tempi di ricerca trascurabili, esso può andare deluso se i tempi di propagazione sui due cammini, trasmettitore-ricevitore e trasmettitore-intercettatore/disturbatore-ricevitore differiscono per almeno un tempo di salto. Tale condizione si dimostra ottenibile abbastanza facilmente in scenari tattici plausibili, rendendo il sistema efficace sia contro il disturbo che contro la stessa intercettazione.

Si è pensato anche a ritmi di salto multipli (piccoli) della bit rate, onde avere una diversità di frequenza implicita nella trasmissione di ogni bit al prezzo di una modesta espansione della banda occupata.

Se il disturbo a inseguimento non ha successo, il disturbatore può scegliere di occupare stabilmente una o più d'una delle frequenze di salto e con ciò disturberà la trasmissione con una probabilità proporzionale al rapporto tra numero di frequenze disturbato e numero di frequenze totale. Sarà anche bene che queste frequenze siano variabili, almeno lentamente, perché il trasmettitore vittima non impari troppo facilmente ad evitarle. In ogni caso la potenza di disturbo non subirà continuamente una attenuazione valutabile con il guadagno di processo considerato nel caso del PN-DS, ma si usa definire come guadagno di processo il rapporto tra numeri di frequenze di cui sopra, ciò che porta a parità di banda totale occupata allo stesso valore numerico anche se con significato operativo assai diverso. Esso misura poi direttamente l'incremento di potenza a cui il disturbo è costretto nel caso che voglia disturbare tutte le frequenze, mantenendo su tutta la banda di sistema la stessa densità spettrale di potenza.

Nell'accesso multiplo, più trasmissioni possono condividere la banda di sistema occupando ad ogni istante una frequenza diversa (modalità di salto detta ortogonale, che richiede un coordinamento di sistema) oppure rischiando ad ogni salto di collidere in frequenza con un'altra (salto di frequenza non ortogonale). Ambedue le modalità possono essere convenienti sul campo di battaglia, dove la situazione è fluida e poco nota a priori.

Anche la tecnica del salto di frequenza può assicurare qualche vantaggio in termini di propagazione multicammino se la banda di sistema è abbastanza grande da offrire all'occasione condizioni di propagazione significativamente diverse da un estremo all'altro.

**Time Hopping (TH).** È la tecnica duale rispetto al *frequency hopping* ed assomiglia alla moltiplicazione nel tempo come quello assomigliava alla moltiplicazione in frequenza. In termini di accesso multiplo è di nuovo analoga ai sistemi di modulazione tradizionali ma la banda a radiofrequenza e la densità spettrale di potenza sono simili a quelle caratteristiche di un *direct sequence* che abbia una chip rate pari alla bit rate del *time hopping*. A parità di tecnica di modulazione a radiofrequenza, infatti, la forma nel tempo del segnale di bit, compresso per fare posto a quelli pertinenti agli altri canali multiplati, viene a coincidere con la forma consueta del chip nel *direct sequence*.

All'atto della trasmissione il bit di informazione non è protetto da un guadagno di processo basato su un meccanismo analogo a quello del *direct sequence*: qui la protezione è offerta dalla posizione occupata in modo pseudocasuale dal bit pertinente al singolo canale lungo la trama di moltiplicazione nel tempo, sia che venga trasmesso un singolo canale o che siano presenti più canali in accesso multiplo. Anche qui si definisce un guadagno di processo numericamente analogo ai precedenti e costituito dal rapporto tra tempo utile al disturbo del singolo bit e tempo di trama totale.

Gli effetti del disturbo possono essere descritti in modo del tutto analogo a quanto accennato per il salto di frequenza, sostituendo tempi e durate a frequenze e bande di trasmissione.

**Breve confronto tra prestazioni e sistemi ibridi.** Quanto detto può essere completato confrontando le prestazioni di un sistema PN-DS e di un sistema FH nei confronti di disturbo o interferenza in condizioni critiche di disturbatore prossimo al ricevitore. Si è detto che se il rapporto in potenza tra disturbo e segnale in arrivo eccede il guadagno di processo, o, più precisamente il rapporto necessario alla corretta demodulazione moltiplicato per il guadagno di processo, la ricezione del PN-DS è compromessa. Può invece essere ancora possibile in un sistema FH insediato nella stessa banda totale, e quindi con un guadagno di processo nominalmente analogo, se il numero di frequenze disturbate è abbastanza piccolo da garantire ancora una probabilità di errore ragionevole e se la protezione del singolo canale resta garantita da un'attenuazione fuori banda dei filtri di ricezione abbastanza grande. Questa in effetti può garantire rapporti di attenuazione tipicamente superiori a rapporti di espansione di banda dell'ordine di decine di miliardi, quindi in molti scenari il *frequency hopping* si dimostra vantaggioso.

Se la banda totale di sistema e le modalità di impiego lo consentono, comunque, si può pensare di utilizzare in cascata sistemi di espansione diversi, realizzando i cosiddetti sistemi ibridi o misti. Ciò dà luogo alla necessità di studi di sistema approfonditi per ogni scenario prevedibile, a suo tempo condotti anche in Italia come si vedrà tra poco.

**Cenno ad applicazioni e studi nazionali.** Sarebbe troppo lungo elencare in generale applicazioni delle varie tecniche ma può essere interessante ricordare, oltre alla già citata produzione di apparati militari da parte della ditta Elmer, alcuni degli studi realizzati a suo tempo in ambito nazionale, che hanno dato luogo, tra l'altro, a pubblicazioni destinate a rendere immediato e proficuo, quando possibile, lo scambio di idee ed esperienze tra le varie ditte e anche nei rapporti con l'ambiente militare.

Notiamo che i primi studi, negli anni '70, erano condotti mentre venivano avviati o perfezionati i primi software di analisi, di progetto e di ottimizzazione al calcolatore sia per catene di trasmissione che per reti e circuiti con componenti concentrati e distribuiti di varia natura. La Fast Fourier Transform, strumento principe in queste attività, era stata concepita da poco e la sua applicazione era ancora oggetto di studio, come, ad esempio, per il contratto con l'Agenzia Spaziale Europea condotto presso l'Università di Genova nel 1975<sup>28</sup>. Si ricordano a questo proposito, da parte mia, contatti e scambi di esperienze tra la Marconi Italiana e il Politecnico di Torino, il Politecnico di Milano, la Selenia S.p.A e soprattutto l'Università di Bologna.

Tornando allo *spread spectrum* e alle telecomunicazioni militari e studi affini, è opportuno ricordare almeno alcuni lavori legati sostanzialmente agli studi di scenario e di interoperabilità collegati al CATRIN o alla *combat net*, senza alcuna pretesa di esaustività. Così in Costamagna 1978 si era provato a delineare un sistema tra terminali mobili, destinato a fonia e dati, presentandone gli aspetti essenziali in una sessione della LXXIX Riunione Annuale dell'AEI, nel 1978, dedicata ai sistemi di telecomunicazioni per i servizi con terminali mobili marittimi. Parallelamente, con il coordinamento della Marina Militare, progettisti della Elmer presentavano tecniche di *spread spectrum* e sviluppi futuri nelle comunicazioni navali in Costamagna 1978. Un'ampia panoramica sulle varie prospettive veniva presentata poco dopo sulla Rivista della Marconi Italiana in Cucinotta 1978.

In Costamagna e Falciasacca 1983 si era studiato l'impiego di segnali dati a bassissima velocità ma trasmessi in *spread spectrum* PN-DS con elevato guadagno di processo, per poter utilizzare la banda della diffusione televisiva allo scopo di costruire reti di

<sup>28</sup> Bertora et al. 1975.

telerilevamento di dati ambientali e di Protezione Civile. Proprio a causa dell'espansione di banda, tali segnali non sarebbero stati disturbati dal segnale televisivo e a loro volta sarebbero stati immuni da interferenza significativa. Si trattava quasi di una rete di sensori in senso moderno, cui faceva difetto solo la limitata capacità di elaborazione dei terminali allora disponibili.

Due contributi del 1987<sup>29</sup> e del 1992<sup>30</sup> avevano suggerito l'impiego opportunistico di *transponder* satellitari per sovrapporre a segnali di traffico multiplati in frequenza segnali dati di telerilevamento o di emergenza e soccorso a bassa velocità ma a banda grandemente espansa in PN-DS, onde non creare o subire significative interferenze con i segnali multiplati.

Falciasecca e Frullone<sup>31</sup> avevano esposto le possibilità della divisione di codice nell'ambito dei sistemi radiomobili, argomento di evidente rilevanza per tutti gli scenari civili e militari.

Infine, sono stati condotti vasti e approfonditi studi<sup>32</sup> sulle possibilità di vari protocolli di espansione di banda, di vari tipi di sequenze di *spread* nello scenario radiomobile e di varie realizzazioni di sistemi ibridi (sistema HYDRA in particolare, proposto dalla ditta Telettra).

Su questi temi la Marina Militare ha avviato negli anni '80 un programma di ricerca e sviluppo interforze denominato MM108, avente lo scopo di realizzare, a cura delle ditte Elmer e Telettra, un sistema sperimentale capace di operare sia in FH che in tecnica ibrida DS – FH. L'ibrido DS-FH è stato oggetto di una proposta di standard NATO, poi abbandonata a causa di incompatibilità con altri sistemi standardizzati nel frattempo.

Non mancano, naturalmente, contributi classificati, ma sarebbe arduo tentare di produrne un elenco significativo.

## Bibliografia

- AA.VV., *Le Trasmissioni dell'Esercito nel tempo*, Ed. Rivista Militare, 1995.
- Aeronautica Militare, 2002, *Il Ruolo delle Armi. Dal Regio Corpo degli Aeroporti ad oggi*, [.....].
- Azzarone Raffaele, Costamagna Eugenio, 1987, *Accesso multiplo a satellite con segnali spread spectrum per dati a bassa velocità*. XXXV Convegno Internazionale delle Comunicazioni, Genova, 12-14 Ottobre, "Relazioni e memorie", pp. 321-329.
- Baker W.J., 1970, *A History of the Marconi Company*, London, Methuen & Co. Ltd.
- Benvenuto Nevio, Guidotti Gianni, Pupolin Silvano, 1988, *Performance of a digital acquisition circuit for hybrid FH-DS spread spectrum systems*, MILCOM 1988, IEEE Military Communication Conference, vol. 3, pp. 971-975.
- Benvenuto Nevio, Pupolin Silvano, Guidotti Gianni, 1986, *Probability of outage in multiple access spread spectrum systems due to autointerference*, MILCOM 86, IEEE Military Communication Conference, vol. 1, pp. 2.1.1-2.1.4.

<sup>29</sup> Azzarone e Costamagna 1987.

<sup>30</sup> Costamagna e Sanna 1992.

<sup>31</sup> Falciasecca e Frullone 1981.

<sup>32</sup> Pupolin e Tomasi 1982; Longhi e Pupolin 1983; Benvenuto et al 1986; Benvenuto, Guidotti e Pupolin 1988; Guidotti et al., 1987; Benvenuto Guidotti e Pupolin 1988; Montanari e Pupolin.

- Benvenuto Nevio, Guidotti Gianni, Pupolin Silvano 1988, Performance evaluation of multiple access spread spectrum systems in the presence of interference, *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, vol. 37, no 2, pp. 73-77.
- Bertora F., Braccini C., Gambardella G., Musso G., 1975, *Study on the use of the Fast Fourier Transform in Spectral Analysis*, ESOC Contract n. 486173, Settembre.
- Bisio Carlo, Maestrini Raulo, Perrone Giorgio, 1970, *Considerazioni e prospettive sulle reti integrate*, XVIII Convegno Internazionale delle Comunicazioni, Genova.
- Caboara Maddalena, Maestrini Raulo, 1964, *Note su alcuni sistemi di modulazione*, Atti del XII Convegno Internazionale delle Comunicazioni, Genova.
- CATRIN, 1976, "Tactical Area Communication System", *Italian General Army Staff, Signal Inspectorate*, Gennaio.
- Corpo del Genio Aeronautico, 1998, Edizione fuori commercio.
- Corpo del Genio Aeronautico, 2006, *Il Genio Aeronautico e la Ricerca nell'Aeronautica Militare*, Edizione fuori commercio.
- Costamagna Eugenio, 1978, *Lineamenti di un sistema di comunicazioni tra terminali mobili marittimi. Rendiconti della LXXIX Riunione Annuale AEI*, Catanzaro, 24-29 Settembre, Memoria II-1.
- Costamagna Eugenio, 1980, "Prospettive d'impiego delle "modulazioni a Spread Spectrum" nelle radiocomunicazioni militari", *Marconi, Rivista di Elettronica, Telecomunicazioni e Televisione della Marconi Italiana S.p.A.*, vol. XXII, n. 3, pp. 16-29.
- Costamagna Eugenio, Falciasacca Gabriele, 1981, *Trasmissioni a spettro distribuito in sistemi radio di raccolta dati a bassa velocità per la sorveglianza del territorio*. XXIX Convegno Internazionale delle Comunicazioni, Genova, 6-9 Ottobre, "Relazioni e Memorie", pp. 611-617 (poi ripreso in Sistemi di Telecomunicazione, dicembre 1983).
- Costamagna Eugenio, Sanna Stefano, 1992, *Multiple access to a non linear satellite transponder by low bit rate spread spectrum data and telephone FDMA-MSK channels*. Proc. of the 1992 URSI Internat. Symposium on Signals, Systems and Electronics ISSSE'92, Paris, 1-4 Sept., pp 397-400.
- Cucinotta G., 1978, *Nuovi metodi di modulazione e sviluppi futuri delle comunicazioni navali*, Rendiconti della LXXIX Riunione Annuale AEI, Catanzaro, 24-29 Settembre, Memoria II-3.
- Dixon Robert C., 1976, *Spread spectrum communications*, New York, Wiley.
- Egli John J., 1957, "Radio propagation above 40 MC over irregular terrain", *Proc. IRE*, vol. 45, pp. 1383-1391.
- Elson B. M., 1976, "AWACS Communication evaluation set", *Aviation Week & Space Technology*, May, pp. 48-51.
- Falciasacca Gabriele, Frullone Mario, 1981, *Tecniche di divisione di codice in sistemi di radiocomunicazione con mezzi mobili a grande capacità*. Seminario-incontro sul tema "Servizi radiomobili terrestri", Villa Griffone, Pontecchio Marconi, 2-3 luglio.
- Golliday C. Leslie Jr., 1985, "Data link communications in tactical air command and control systems", *IEEE Journal on Selected Areas of Communications*, vol. 3, n. 5, pp. 779-791.

- Guidotti Gianni, Lo Muzio Pierluigi, Montanari Mauro, 1987, "Effetto dei cammini multipli nella trasmissione dati in sistemi a spettro espanso", *Rivista Telettra*, n. 41, pp. 25-34.
- Hopkins G.G., "The Poldhu Story", *The Marconi Review*, Supplement to vol. XIV, n. 103.
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Joint\\_Tactical\\_Information\\_Distribution\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Joint_Tactical_Information_Distribution_System), ultima consultazione il 24 febbraio 2010.
- IEEE Transactions on Communications*, 1977, Special Issue on Spread Spectrum Communications, vol. 25, n. 8.
- Leoni Marco, 1994, "Le sperimentazioni di Guglielmo Marconi nella Marina Militare Italiana", *Notiziario della Marina*, vol. XLI, n. 3, p. 24.
- Lightfoot F. M., Smith W. B., Wilson S. G., Petrino A. R., 1976, "TDMA net meet AWACS multiple communications needs", *MSN*, oct./nov., pp. 76-81.
- Longhi Sauro, Populin Silvano, 1983, *Performance of all digital differential PSK direct sequence spread spectrum receiver*, MILCOM 1983, IEEE Military Communication Conference, vol. 2, pp. 424-427.
- Maestrini Raulo, 1965, "Note di confronto tra la PCM e la DM", Istituto di Elettrotecnica, Rapporto Interno n. 2.
- Montanari Mauro, Pupolin Silvano, *Sistemi di trasmissione a spettro Espanso*, Edizioni Scientifiche Telettra.
- Parolin Gino, 1969, "L'Ammodernamento dei mezzi di Trasmissione per il 'Dopo il 70'", *Rivista Militare*, n. 6.
- Parolin Gino, "Le Trasmissioni campali di 'Dopo il 1975'", *Rivista Militare*, n. 7.
- Pertica Remo, Maestrini Raulo, 1966, *Considerazioni e risultati sperimentali di un sistema di modulazione Delta*, Atti del XIV Convegno Internazionale delle Comunicazioni, Genova.
- Pupolin Silvano, Tomasi Carlo, 1982, *Moments of the weights of pseudo-noise subsequences*, MILCOM, IEEE Military Communication Conference – Progress in spread spectrum communications, vol. 1, pp. 15.3-1-15.3-4.
- Rider John F., 1934, *Servicing Superheterodynes*, John F. Rider 1440 Broadway, New York City, p. 1.
- Salasso M., Graticci M., 1992, *La Radio in Grigio-Verde*, Faenza, Edizioni C&C-C.P. 69.
- Scholtz Robert A., 1982, "The origins of spread spectrum communications", *IEEE Trans. on Commun*, May.
- Shannon Claude, 1948, "A mathematical theory of communication", *Bell System Technical Journal*, vol. 27, parte I, pp. 379-423, e parte II, pp. 623-656.
- SME, Ispettorato delle Trasmissioni, 1969, "Le Trasmissioni dell'Esercito, 'Dopo il 1975'" Roma.
- Spread Spectrum Communications*, 1973, NATO Advisory Group for Aerospace Research and Development, AGARD-LS-58, maggio.
- Torrieri Don J., 1981, *Principles of military communication systems*, Dedham, Artech House.



## Lo sviluppo del radar in Italia ed all'estero

### Le fonti, le origini, le premesse

Nel capitolo “Il contributo della Marina Militare Italiana allo sviluppo delle radiocomunicazioni” a cura di Vincenzo Carulli, Giuseppe Pelosi, Stefano Selleri e Paolo Tiberio, è descritta una parte essenziale dello sviluppo del radar in Italia dagli anni '30 al secondo conflitto mondiale, con gli studi e le esperienze presso il RIEC (Regio Istituto per l'Elettronica e le Comunicazioni) di Livorno e la realizzazione di un apparato navale operativo, il Gufo EC3.

Nel presente capitolo si intende ampliare l'orizzonte alle altre Organizzazioni, all'Europa e al dopoguerra.

La bibliografia sulle origini del radar e i suoi sviluppi tecnici ed applicativi fino alla Seconda Guerra Mondiale e oltre è decisamente vasta, spaziando da volumi orientati alla storia della tecnologia radar, primo e più pregevole tra i quali è *Technical history of the beginnings of RADAR*<sup>1</sup>, o alla storia, sempre su base tecnica, di sviluppi nazionali, come nel notevole lavoro<sup>2</sup> pubblicato in occasione del “centenario” del radar (2004), a opere orientate agli aspetti più strettamente storici e/o operativi, come in Castioni 1987 che è ricchissimo di informazioni sui radar italiani del periodo bellico o in Price 2009 che contiene interessanti dati relativi alla difesa elettronica ed ai radar di superficie tedeschi e giapponesi. Un libro più recente è Watson 2009. Tra i libri in lingua italiana sullo sviluppo del radar, e particolarmente sugli sviluppi italiani, si segnala Musto 1990 – ormai fuori commercio – D'Avanzo 1990 – dedicato alla navigazione aerea ma ricco di notizie anche sui radar – Lomaglio 2004– dedicato alla storia della Selenia/Alenia/AMS e allo stabilimento del Fusaro, e Marchesini 2009, dedicato alla figura di Carlo Calosi. Infine, un'introduzione al radar in lingua italiana a livello universitario, con alcuni cenni storici, è presentata in Galati 2009a, e una raccolta di presentazioni sullo sviluppo del radar in Italia è in Galati 2009b.

Dopo le sperimentazioni di Michael Faraday del 1831 che misero in luce l'intima connessione tra elettricità e magnetismo e dopo la formulazione fisico-matematica dell'elettromagnetismo e delle onde dovuta a James Clerk Maxwell

<sup>1</sup> Swords 1986.

<sup>2</sup> Bremer e van Genderen 2004.

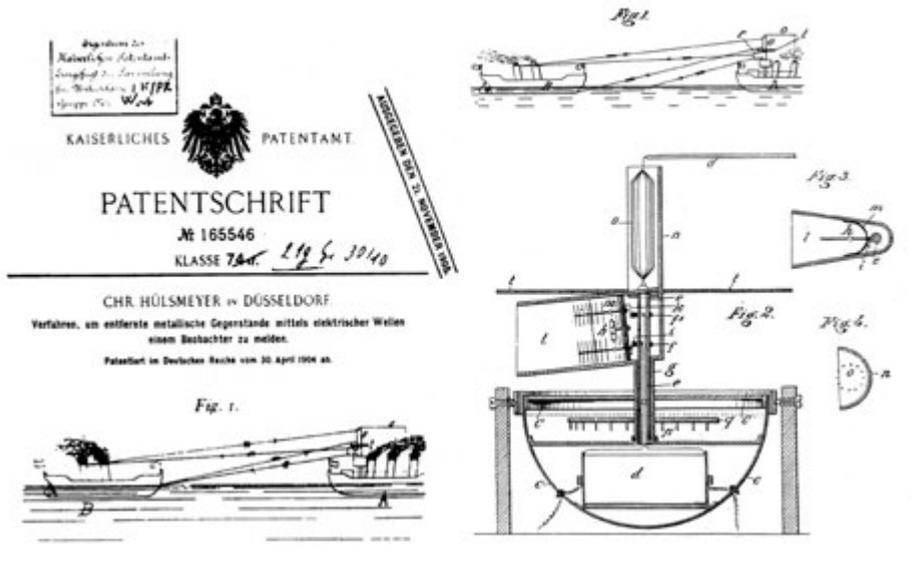


Figura 1. Prima pagina del brevetto di Hülsmeier, 1904.

e pubblicata nel 1865, la scoperta dei principi base della tecnica radio e radar risale agli anni '80 dell'Ottocento con i primi esperimenti condotti da Heinrich Hertz sulla generazione delle onde elettromagnetiche e la loro riflessione da parte di corpi metallici (1886) e con lo sviluppo degli elementi base per i processi di emissione e ricezione delle onde. Un terzo elemento fondamentale del radar, il *display*, ha la sua prima realizzazione nel *tubo a raggi catodici* dovuto a Carl Ferdinand Braun (Fulda, 6 giugno 1850 - New York, 20 aprile 1918), lo scienziato insignito, insieme a Guglielmo Marconi (Bologna, 25 aprile 1874 - Roma, 20 luglio 1937), del premio Nobel per la fisica nel 1909.

Le osservazioni di onde radio riflesse furono ripetute molto tempo dopo dall'ingegnere Christian Hülsmeier di Düsseldorf, il quale il 30 Aprile 1904 ottenne il brevetto n. DE 165546 (Fig. 1) relativo al sistema da lui sviluppato per "rilevare la presenza di oggetti metallici (navi) a mezzo di onde elettriche". La prima dimostrazione ebbe luogo il 18 Maggio 1904 a Colonia, con rilevamento di una nave a distanze massime dell'ordine di uno o due km, mediante un sistema che oggi chiameremmo *bistatico ad onda continua* e che operava a lunghezze d'onda di circa mezzo metro. Il brevetto fu esteso anche all'estero (in Fig. 2 è mostrata l'estensione all'Italia), tuttavia non seguì un grande interesse per questa scoperta, dato che mancava (e sarebbe mancato fino agli anni '30) un preciso e pressante requisito operativo.

I primi esperimenti "radaristici" che dimostrano, oltre alla capacità di rivelazione, la misura della distanza sono condotti in Inghilterra da Edward V. Appleton e Miles Barnett nel Dicembre 1924 usando quello che oggi chiameremmo un *radar bistatico ad onda continua modulata in frequenza*, nel quale la frequenza di battimento tra il segnale diretto e quello riflesso dalla ionosfera è proporzionale all'altezza

dello strato ionosferico riflettente, secondo una tecnica utilizzata ancora oggi nei cosiddetti radar altimetri (o radio altimetri). Nell'estate del 1926 gli statunitensi Gregory Breit e Merle Antony Tuve utilizzano quello che può essere considerato il primo radar ad impulsi per misurare la distanza degli strati ionosferici. Quindi se è vero che la nascita del radar inteso come rivelatore risale al 1904 (e in effetti nel 2004 presso varie istituzioni si è celebrato il centenario del radar, vedi ad esempio Bremer e van Genderen 2004), forse è più corretto affermare che il primo sistema di rivelazione e misura mediante onde radio, cioè il primo radar vero e proprio, è del 1924 (in onda continua modulata) e del 1926 (ad impulsi)<sup>3</sup>.

Malgrado questi interessanti risultati tecnico-scientifici, fino agli anni '20 del secolo scorso manca un grande

interesse per il radar come prodotto industriale. Nikola Tesla, in un suo articolo su *The Electrical Experimenter* pubblicato nell'agosto del 1917, preconizzò l'uso del radar scrivendo: "[...] we may produce at will, from a sending station, an electrical effect in any particular region of the globe; we may determine the

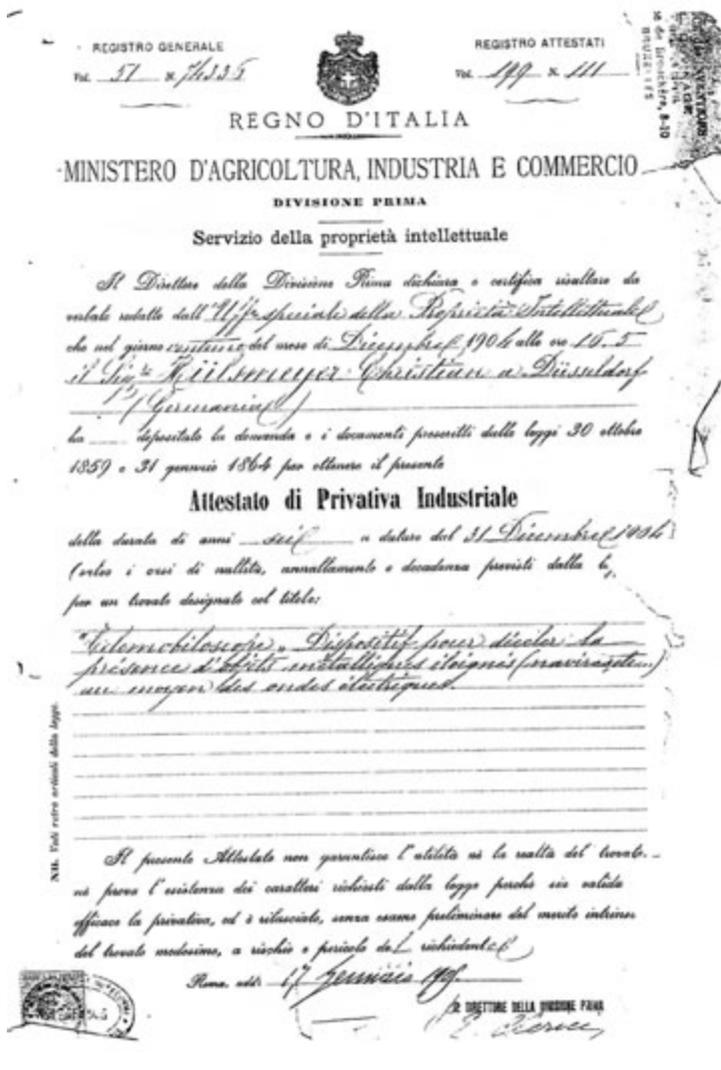


Figura 2. L'attestato italiano di privativa industriale del 1908 (brevetto di Hülsmeyer) cortesemente fornito dal dr. Carlo Falessi di Selex Sistemi Integrati.

<sup>3</sup> La dualità: onda continua – impulsi caratterizza da sempre la ricerca e lo sviluppo dei radar; tra i fautori della soluzione impulsata è noto Ugo Tiberio, mentre tra quelli dell'onda continua emerge Guglielmo Marconi (che per altro nel 1937, anno della sua morte, stava lavorando sui radar ad impulsi). Di entrambi i personaggi si parla nel seguito.

relative position or course of a moving object, such as a vessel at sea, the distance traversed by the same, or its speed”.

Guglielmo Marconi ripropone il concetto nel famoso discorso all’*American Institute of Electrical Engineers* e al *Institute of Radio Engineers* il 20 giugno 1922 e in un articolo dello stesso anno<sup>4</sup>, ma una pressante esigenza operativa militare è ancora *in fieri*. Ad esempio, le navi sono prive di strumenti capaci di individuare e segnalare ostacoli con nebbia o di notte: alle 02:20 del 15 Aprile 1912 il Transatlantico Titanic, orgoglio della Marina britannica, si inabissa, durante il suo viaggio inaugurale, dopo aver urtato un iceberg non visto nella nebbia.

Una prima esigenza, di natura civile, fu dunque la rivelazione di ostacoli e di natanti per la sicurezza del traffico marittimo in condizioni di scarsa o nessuna visibilità, che portò negli anni ’30 ad interessanti realizzazioni come il radar di produzione francese installato sul piroscafo di linea Normandie. Tale apparato, operante alla lunghezza d’onda di 15 cm (straordinariamente piccola all’epoca) era capace di rivelare imbarcazioni in un arco di 45° a prua, fino a circa 12 miglia. Il brevetto N. FR788795 (A) “Nouveau système de repérage d’obstacles et ses applications” pubblicato il 16.10.1935 (depositato il 20.07.1934) ha per oggetto un radar bistatico, del quale si riporta qui la frase che illustra molto chiaramente il contesto applicativo: “Les applications de l’invention sont nombreuses et variées; elle peut servir par exemple à avertir de l’approche d’un obstacle un navire ou un avion navigant par temps de brouillard ou la nuit, et même à repérer la position de l’obstacle par rapport à l’émetteur, par exemple iceberg pour un navire, montagne ou sol pour un avion”. Anche in Germania si lavora per la sicurezza marittima: nell’autunno del 1934, Hans-Karl von Willisen e Paul-Günther Erbslöh fondano la società GEMA (la sigla significa: *Gesellschaft für Electroakustische und Mechanische Apparate*) che costruisce il primo radar commerciale navale. Funzionava sulla lunghezza d’onda dei 50 (e successivamente, 60) cm e poteva rilevare navi fino a 10 km (ma senza le informazioni di direzione e distanza); fu il padre del radar militare Seetakt (1935). Un impulso notevole allo sviluppo del radar tedesco è dato dal generale Martini<sup>5</sup>.

Nel 1934 Marconi realizzò i primi esperimenti radar in vista di applicazioni militari, usando apparecchiature fornite dall’Istituto Militare Superiore Trasmissioni (IMST) dell’Esercito, in Roma. Gli esperimenti, riguardanti la rivelazione di automobili e pedoni, ebbero luogo a Cornegliano (Genova) nel 1934, e ad Acquafredda (vicino Roma) il 14 maggio 1935, presenti il Gen. Arturo Giuliano, il Gen. prof. Luigi Sacco<sup>6</sup> e il capo del Governo, Benito Mussolini. Gli

<sup>4</sup> Marconi 1922.

<sup>5</sup> Wolfgang Martini (20 settembre 1891 – 6 gennaio 1963), fu capo del Servizio Telecomunicazioni della *Luftwaffe* e, dal 1941 al 1945, *General der Lufnachrichtentruppe*. Malgrado i rapporti non buoni col suo diretto superiore – e massimo ufficiale della Wehrmacht in quanto feldmaresciallo, e dal 1940 *Reichmarshall* – Hermann Goering, che non lo stimava, Martini stimolò lo sviluppo dei noti radar tedeschi *Seetakt* e *Freya*. Rientrato in Germania nel 1947 dopo un periodo di prigionia, riprese la carriera nella *Bundeswehr* (Forza di Difesa Federale), e poi nella NATO. È citato da Watson Watt, con cui entrò in amicizia, nella sua autobiografia del 1959.

<sup>6</sup> Luigi Sacco (1° agosto 1883 – 5 dicembre 1970) è l’autore del notissimo *Manuale di Crittografia* ed è considerato *l’ispiratore* del radar italiano; all’epoca, era capo del Reparto Trasmissioni

esperimenti furono ripetuti il 17 maggio 1935 sull'autostrada Roma – Ostia e il 20 maggio 1935 sulla Via Boccea – Roma. Gli apparati “Radiotelemetri” di Marconi furono poi trasferiti al Centro Radio Sperimentale del CNR in Torre Chiaruccia (sul litorale tirrenico a nord di Roma nel comune di Santa Marinella) ma vennero asportati o distrutti durante la Guerra: la stessa Torre fu completamente distrutta il 1° febbraio 1944.

Già nel 1935 esistevano quindi in Italia le basi teoriche e sperimentali per la realizzazione di radar sia in onda continua che ad impulsi. Il funzionamento e l'impiego del magnetron, come generatore di potenza elettromagnetica ad alta frequenza, era noto e dominato in Italia fin dai primi anni '30. Nel periodo 1935-1943 oltre alle attività che fanno capo ad Ugo Tiberio, descritte nel seguito, vanno ricordate quelle dei due studiosi Giorgio Barzilai<sup>7</sup> e Gaetano Latmiral (1909-1995)<sup>8</sup> i quali spesso collaborarono. Oltre alla Marina Militare va menzionato l'Esercito, con la sua Direzione Superiore Studi ed Esperienze di Guidonia (vicino Roma) dove operò Barzilai nel 1941-43. Infine, la Ditta SAFAR di Milano realizzò, su progetto del suo ing. Arturo Vittorio Castellani, i radiotelemetri Lince (1939) e Veltro/RDT 4 (al quale seguì la versione gigante RDT 4 bis) per avvistamento a grande distanza e guida caccia. Gli studi italiani sul radar nel periodo 1935-43 sono tra i più avanzati del mondo: ad esempio la domanda di brevetto n. 3340, del 27 ottobre 1942 di SAFAR/Castellani prevede una localizzazione con fascio a scansione elettronica su due piani ortogonali, in maniera simile a una scansione televisiva (a 441 righe), con la capacità di generare immagini del bersaglio e dell'ambiente circostante.

Successivamente, presso il RIEC della Marina con sede a Livorno il prof. Ugo Tiberio proseguì gli studi sul radar per usi navali; tuttavia data la scarsità di risorse allocate dalla stessa Marina vi furono grandi difficoltà ad ottenere prodotti significativi dal punto di vista operativo. Va comunque citato l'impulso alla realizzazione del radar italiano dovuto alla sconfitta di Capo Matapan del 28 marzo 1941 ad opera degli Inglesi le cui navi erano dotate di radar. In tale battaglia la marina italiana perse tre incrociatori da 10.000 tonnellate, due caccia e ben 2300 uomini. Solo dopo questa sconfitta – quindi, assai tardi rispetto alle altre nazioni – esplose infatti l'attenzione della Marina Militare per i radar navali. Il Gufo EC 3 era un'apparecchiatura radar per la scoperta di navi o aerei, che operava con una lunghezza d'onda di 70 cm ed utilizzava, come altri apparati dell'epoca, due antenne, la trasmittente e la ricevente. Alcune decine di questi

nella Direzione Superiore Servizio Studi ed Esperienze del Genio. Nel 1926, per caratterizzare l'irradiazione delle antenne a grandi distanze, introdusse il concetto di *Forza Cimomotrice*, poi ripreso da Tiberio e da Barzilai.

<sup>7</sup> Bernardi, Lampariello e Frezza 2007. Giorgio Barzilai (1911-1987) è stato vicedirettore del Centro Guglielmo Marconi a Torre Chiaruccia, dove ha condotto ricerche sulle antenne e sulla propagazione delle onde radio. Durante la guerra è stato chiamato – come tenente del Genio Aeronautico Ruolo Ingegneri, GARI – presso la DSSE di Guidonia, dove si è occupato di diversi tipi di radar: a lunga portata, per aerosiluranti e per caccia, nonché di disturbatori per i radar avversari.

<sup>8</sup> Franceschetti 2005.

strumenti furono in dotazione alle unità italiane solo dal 1943 e quindi verso la fine della guerra, o almeno della guerra a fianco dei tedeschi: il 20 aprile 1941 un radar EC 3 fu installato sul Carini e fu in grado di rivelare una nave fino a 12 Km e un aereo fino a 80 Km, e successivamente l'apparato fu installato sull'incrociatore Littorio e su altre unità. Secondo Castioni<sup>9</sup> all'armistizio del 8 settembre 1943 erano in servizio circa 100 Gufo (EC-3 ter) ed altri 40 erano pronti per l'installazione. Una versione del Gufo operante a lunghezza d'onda doppia, cioè su 1,5 metri, fu progettata per la difesa costiera e chiamata Folaga; un suo esemplare fu affidato al gen. Algeri Marino<sup>10</sup> presso la Direzione Superiore Studi ed Esperienze dell'Aeronautica, a Guidonia, per ricavarne una versione terrestre per la scoperta aerea, che fu chiamata Argo e raggiunse la notevole portata di 250 km. La Magneti Marelli realizzò una sua versione del Folaga con antenna a cortina a sei elementi e nel 1943 la SAFAR realizzò un radar di tiro, il Lince, operante sui 70 cm (come il Gufo) con portata superiore ai 150 km. Infine nel 1941 la SAFAR depositò il brevetto di un radar per usi avionici; da esso fu ricavato il radar Veltro per il tiro contraereo. L'uso operativo di questi Radiotelementi italiani, molto avanzati ma che arrivarono troppo tardi (confermando la lezione di Watson Watt sul "third best", illustrata nel seguito) fu assai ridotto se non nullo: la difesa aerea italiana fino all'8 settembre 1943 utilizzò i radar tedeschi. Una rete di radar Freya, ribattezzati Felino, posti a distanza, uno dall'altro, poco inferiore alla portata di 150 km, copriva il territorio nazionale, e a ogni "Felino" erano associati uno o due "Volpe" (Würzburg) o "Volpe Gigante"; una squadra di 11 unità era addetta al funzionamento di ogni Volpe, mentre per il Felino la squadra era di 8 addetti. Come appena visto, l'alleato germanico installò radar di sorveglianza costiera del tipo Freya in Italia ma, salvo un cenno in Franceschetti 2005, non risultano documenti relativi a significativi scambi di tecnologia tra la Germania e l'Italia.

Lo sviluppo del radar in Europa, particolarmente dopo il 1937, più che da esigenze della marine militari fu fortemente influenzato dalla necessità di difesa da attacchi aerei. Infatti, negli anni '20 e '30 si assiste ad un rapido progresso delle tecniche aeronautiche, con forte incremento della capacità di carico utile e della massima distanza, fino a rendere possibili prima i voli postali e poi i voli commerciali. Il 17 dicembre 1935 ha luogo il primo volo del DC 3, primo grande aereo di linea, e nel 1935/36 entrano in funzione negli USA i primi sistemi, privati e poi federali, di controllo del traffico aereo.

Le stesse tecniche aeronautiche creano parallelamente una nuova potenziale minaccia, quella dei bombardieri, non contrastabile efficacemente con i mezzi del tempo. Lo sviluppo dei bombardieri raggiunse il suo apice alla fine del 1943, con l'entrata in servizio del B 29, che nasceva già dotato di *ground mapping radar* (radar capace di produrre mappe del terreno). L'aereo aveva peso massimo al decollo di

<sup>9</sup> Castioni 1987.

<sup>10</sup> Algeri Marino (Casoli, 1894 - Roma, 1967) pioniere dell'uso della radio in aviazione, fu generale del genio aeronautico, e direttore delle ricerche del Ministero dell'Aeronautica; nel 1948 divenne professore ordinario di comunicazioni elettroniche presso l'Università di Roma "La Sapienza".

67 tonnellate, la cabina pressurizzata e poteva trasportare fino a circa 3 tonnellate di bombe alla distanza di 2700 Km. Era protetto con un armamento di bordo molto ricco: 12 mitragliere da 12,7 mm e un cannoncino da 20 mm. Alla fine della Seconda Guerra Mondiale i migliori bombardieri degli Alleati, il B 17 (USA) e il Lancaster (Regno Unito) raggiungevano le 55 tonnellate a pieno carico. Tra i caccia-bombardieri leggeri era eccellente il temibile bimotore inglese Mosquito, dotato del radar H2S, e capace di operare a 12.000 m di quota e con velocità massima di 635 km/h, superata solo dal caccia a reazione tedesco Me 262 che vide la luce alla fine della guerra ed operò per un periodo molto breve. Naturalmente la minaccia aerea è amplificata dalle capacità di volo (e bombardamento) notturno, rese possibili da ingegnosi e precisi sistemi di navigazione e guida, per i quali si rimanda a Price 2009 da cui si riporta, dalla prefazione di G. Alegy, quanto segue:

Le varie applicazioni dei sistemi radioelettrici – dalla navigazione alla scoperta, dalle comunicazioni all'avviso di intercettazione radar – agirono da moltiplicatore dell'efficacia dei mezzi aerei, tanto nella loro funzione offensiva quanto in quella difensiva... Uno dei pilastri della teoria del potere aereo [...] era [...] scavalcare la staticità della frontiera e rendere l'intero territorio nemico un obiettivo [...] Alla base di questa convinzione stava l'idea dell'impossibilità di fermare un attacco aereo perché ... nel cielo non è possibile stendere filo spinato. La storia delle operazioni aeree della Seconda Guerra Mondiale dimostrò i limiti di questa concezione [con] l'introduzione di una rete difensiva di sistemi radioelettrici in grado di scoprire le formazioni dei bombardieri e dirigervi contro la caccia [...] In compenso, altri sistemi radioelettrici li aiutavano a trovare gli obiettivi ed a tornare alla base [...].

Si posero così le basi<sup>11</sup> dei moderni sistemi CNS (Communications, Navigation, Surveillance) e C<sup>3</sup>I (Command, Control, Communications, Intelligence) con: radio aiuti alla navigazione e per l'atterraggio, radio comunicazioni terra/bordo/terra, radar per scoperta e inseguimento, sistemi militari per Identificazione amico/nemico (IFF) e per l'intercettazione e il disturbo dei radar, dei radio aiuti e della radio comunicazioni del nemico.

Il riarmo della Germania, malgrado gli accordi di Versailles, diventa importante con l'avvento al potere di Hitler. Nel 1933 Goering, asso dell'aviazione e comandante della celebre Squadra di Caccia Richthofen nella guerra 14-18, diviene "Ministro dell'Aria" e compaiono i primi aerei (Junkers, Heinkel, Focke Wulf) equipaggiati con mitragliatrici. Già dal 1935, anno di costituzione della Luftwaffe, è evidente, specie nel Regno Unito, la necessità di mezzi di difesa da attacchi aerei: mentre per le nazioni europee l'aviazione militare ha essenzialmente scopi difensivi, per Goering – capo della Luftwaffe – essa nasce con scopi aggressivi. Le nuove tattiche di combattimento messe a punto da Goering si dimostrarono tragicamente efficaci durante la guerra civile di Spagna: il 20 aprile 1937, giorno di mercato nel villaggio basco di Guernica, un attacco prima dei caccia He-51 e poi dei bombardieri He-11 distrugge completamente il villaggio (come ricorda,

<sup>11</sup> Price 2009.

con grande impatto emotivo, il notissimo dipinto di Picasso conservato a Madrid): in sole tre ore mille e seicento tra uomini, donne e bambini sono massacrati. In sostanza, all'inizio della Seconda Guerra Mondiale (1° settembre 1939) la Germania ha sviluppato l'aeronautica e la connessa strumentazione più di ogni altra nazione europea; la capacità produttiva della Germania arriva a picchi di 3000 aeromobili al mese (contro 1000 all'inizio del conflitto) e durante il conflitto, fino alla sua conclusione con la resa del 7 maggio 1945, la Luftwaffe perde complessivamente circa 95.000 aerei di ogni tipo e circa 200.000 tra ufficiali e soldati.

Per la difesa aerea il Regno Unito e altri paesi avevano realizzato sistemi di localizzazione sonora. Si erano realizzati ed erano operativi numerosi sistemi di ogni tipo e dimensione; alcuni, destinati alla difesa del territorio, erano fissi al suolo e basati su "riflettori di suono", realizzati con muri a profilo parabolico, molto larghi (anche 60 m) e alti (anche 10 m), oppure con riflettori metallici orientabili di dimensioni metriche, come mostrato nella copertina di Bremer e van Genderen 2004, per poter riflettere e trasferire nelle orecchie dell'operatore, con o senza microfoni, il suono di aerei in arrivo.

In un discorso di Churchill<sup>12</sup> alla Camera dei Comuni il 14 Marzo 1933 non si parlava esplicitamente di radar ma veniva espressa la necessità di disporre di uno strumento per migliorare la difesa aerea:

Mi è spiaciuto apprendere dal Sottosegretariato che noi siamo la quinta potenza aeronautica e che il problema decennale è stato rimandato di un altro anno. [...] sarebbe saggio da parte nostra concentrarsi con uno sforzo sempre più grande sul problema dello sviluppo della nostra difesa aerea.

Gli Inglesi negli anni 1935-40 grazie alla maturità della loro cultura industriale, ed alla capacità di collaborazione fra enti ed istituzioni diverse – militari, civili, accademiche e industriali – furono i primi a mettere in campo un sistema di difesa aerea capace di coprire l'intera nazione. Conseguentemente ai discorsi di Churchill, Sir Robert Watson-Watt<sup>13</sup> risponde alle richieste del Direttore del Reparto Ricerche Scientifiche del Ministero dell'Aeronautica, Harry Wimperis:

[...] cosa ne direbbe se in ogni caso localizzassimo gli aeroplani prima che questi arrivassero? Se noi potessimo stabilire con sicurezza stanno arrivando da quel determinato punto, non sarebbe già un grande aiuto?.

Sollecitato dallo Scientific Survey of Air Defense, ovvero Comitato Tizard dal nome del suo presidente, il colonnello Henry T. Tizard, a febbraio 1935 Watson-Watt presentò al Comitato un memorandum dal titolo *Intercettazione e localizzazione di un aeroplano a mezzo radio* nel quale si presentava un sistema radar

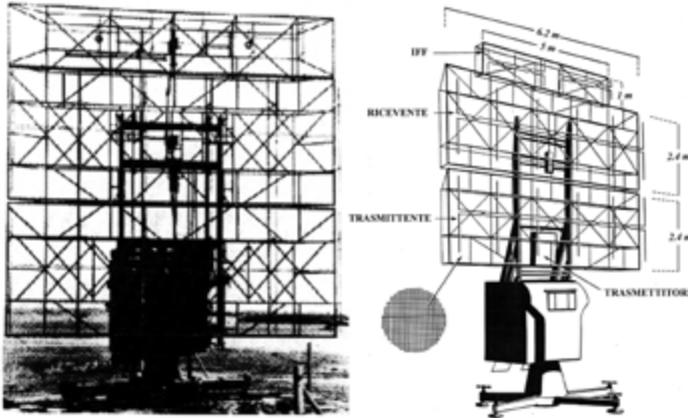
<sup>12</sup> Sir Winston Leonard Spencer Churchill (30 novembre 1874 - 24 gennaio 1965), politico, storico e giornalista, come primo ministro del Regno Unito dal 1940 al 1945 ha guidato la Gran Bretagna durante la Seconda Guerra Mondiale.

<sup>13</sup> Sir Robert Alexander Watson-Watt (13 April 1892 - 5 December 1973), il 1° settembre 1936 fu nominato Direttore della Bawdsey Research Station, nuovo istituto dell'Air Ministry, il Ministero che controllava la RAF.

per rivelare aeromobili e localizzarli in tre dimensioni. A tale scopo si propone la tecnica ad impulsi (con la possibilità di passare all'onda continua se le tecnologie impulsive fossero risultate poco praticabili), con misura degli angoli di azimut e di elevazione, esattamente come nei radar moderni. Watson Watt era confortato dal successo degli esperimenti che ebbero i primi risultati positivi il 26 febbraio 1935 a Daventry, dove Watson Watt e il suo assistente Arnold Wilkins realizzarono e provarono – alla presenza del solo A.P. Rowe – una sorta di radar passivo che utilizzava come emettitori le stazioni radio nella gamma dei 49 metri della BBC: in diverse occasioni, un bombardiere Heyford che fu fatto volare nella zona causò la deflessione del segnale di un indicatore a raggi catodici. Dopo il successo dell'esperimento, fu creato un piccolo laboratorio, in una località segreta ed isolata (ad Orfordness nel Suffolk, costa del mare del Nord), diretto da Watson-Watt.

Solo cinque mesi dopo (luglio 1935) Watson-Watt ed i suoi colleghi dimostrarono la rivelazione e la misura della distanza di aeromobili. La celerità della realizzazione può essere spiegata con l'approccio pragmatico di Watson Watt, la connessa teoria del "third best", secondo la quale la soluzione *migliore in assoluto* pur costituendo l'ottimo non va perseguita perché in pratica non arriverà mai, la *seconda soluzione* (dopo l'ottimo) non è praticabile perché arriverà dopo il termine ultimo di utilizzabilità (cioè *troppo tardi per il cliente*), e infine "auspicabilmente" la terza soluzione potrà andare bene. In effetti, uno dei vincoli del progetto della Chain Home era l'uso di dispositivi e componenti già disponibili: lo sviluppo di nuovi elementi non fu considerato compatibile coi tempi e coi rischi accettabili.

Il radar di Watson-Watt, operante inizialmente a 6 MHz e poi, nella versione definitiva, a 12 MHz, costituì la base del sistema di difesa aerea (il primo del mondo con copertura di un'intera nazione) denominato *Chain Home* il quale funzionò ininterrottamente durante la Seconda Guerra Mondiale. Nacquero così le prime stazioni della Chain Home (abbreviazione di Chain Station Home Service, in sigla C.H.) con grandi antenne fisse operanti a lunghezze d'onda decametrica mentre le stazioni della C.H.L. (Chain Station Home Service Low Cover), per la scoperta a bassa quota (500 piedi) operavano a circa 200 MHz (onde di un metro e mezzo), con potenza inferiore. Già allora era noto che l'angolo di elevazione minimo per vedere bersagli sul mare è proporzionale al rapporto tra la lunghezza d'onda del radar e l'altezza dell'antenna, per il fenomeno del *lobing*, che fu anche sfruttato dagli attaccanti tedeschi i quali impararono a volare a bassa quota durante gli attacchi a Londra nel 1939. Le antenne delle stazioni C.H. erano fisse, quelle delle stazioni C.H.L. erano rotanti e montate su alti tralicci. Entrambe utilizzavano due sistemi di antenne, uno trasmittente ed uno ricevente. Alla fine del 1940 erano operative 22 stazioni C.H. e 28 stazioni C.H.L. Il sistema radar fu progettato in base all'esperienza di Watson Watt nelle tecniche HF (*High Frequency*, da 3 a 30 MHz) e nella diffusione radio della BBC. Era molto rudimentale rispetto ai radar tedeschi (il mito che gli inglesi abbiano inventato il radar è ben sfatato in vari documenti tra cui Clark 1997): ogni stazione trasmittente richiedeva quattro tralicci – alti 110 m e distanti 54 m – tra i quali venivano stesi i fili dell'antenna, che illuminava staticamente un settore azimutale di 110°. Era possibile la sola misura della distanza, e per localizzare il bersaglio occorreva la radiogoniometria



**Figura 3.** Il Freya, uno dei primi radar di avvistamento tedeschi, utilizzava una lunghezza d'onda di circa 2,4 metri (da 2,5 a 2,3 m). Il concetto dell'IFF (o SSR nel caso civile) co-rotante è applicato anche oggi.

con triangolazione da almeno due antenne riceventi. Ognuna di esse era sostenuta da quattro tralicci alti 72 m. Un simile sistema era idoneo alla difesa aerea costiera ma non a quella su terra. Il contributo importante di Watson Watt fu, invece, l'idea di raccogliere i rilevamenti dei diversi radar in un'unica sala, la *Filter Room*, dove veniva creata graficamente un'immagine del traffico aereo, dando inizio ai moderni siste-

mi di difesa aerea territoriale e successivamente di controllo del traffico aereo.

Inoltre Sir Watson-Watt fornì indicazioni sulla possibilità di dotare gli apparecchi inglesi di una trasmittente di bordo in grado di rispondere ad un impulso di richiesta con un determinato segnale che gli aeroplani nemici naturalmente non avrebbero prodotto. In tale modo si prefigurava la tecnica di identificazione amico-nemico (IFF – *Identification Friend or Foe*) ancora oggi utilizzata sia nell'ambito militare sia nel sistema civile del Radar Secondario di Sorveglianza (SSR). Un primo radar aviotrasportato fu l'ASV (*Airborne Search for Surface Vessel*, che operava sulle lunghezze d'onda degli 1,5 metri) di Edward Bowen – uno dei più stretti collaboratori di Watson Watt – il cui primo volo avvenne il 4 Settembre 1937 a bordo di un *Ansen* della RAF. Quattro di questi radar erano già installati all'inizio della guerra.

Anche in Germania si passò con rapidità dalle conoscenze di base ad una varietà di apparati operativi, efficienti ed affidabili, anche se la rivalità tra Kriegsmarine e Luftwaffe (ed il conseguente scarso coordinamento tra le Ditte: GEMA che – su commesse della Marina – sviluppò il Seetakt e il Freya, e Telefunken che sviluppò le varie versioni del Würzburg per la Luftwaffe) ritardò notevolmente lo sviluppo di radar interforze. All'inizio degli anni '30 gli studi sui radar vennero affidati allo NVA (*Nachrichtemittel Versuch Anstalt*: Istituto Sperimentale per i mezzi di Comunicazione e Avvistamento) della Marina Tedesca. Sono del 1933 i primi esperimenti alla lunghezza d'onda di 13,5 cm. In Germania il primo avvistamento di bersagli navali (e, casualmente, aerei) avvenne nel corso degli esperimenti del NVA (dr. Rudolf Kühnold): il 24 Ottobre 1934 a Pelzerhaken nella baia di Lubecca vengono ricevuti gli echi del battello Grille fino a 12 km di distanza, e si capta anche l'eco di un aeroplano che transita nel fascio d'antenna. L'emissione è ottenuta con un apparato a magnetron operante sui 50 cm di lunghezza d'onda, ad una frequenza, cioè, molto

alta per l'epoca. Il successo di questi prototipi convinsero la Marina a finanziare studi ulteriori finalizzati all'eliminazione delle doppie antenne (sviluppo del Duplexer), alla modulazione ad impulsi e alla visualizzazione su tubo di Braun. Nel frattempo la NVA realizzò un apparato operante su una lunghezza d'onda di circa 80 cm (da 368 a 390 MHz), poi industrializzato dalla GEMA (direttore dell'ufficio tecnico era il prof. Pintsch) e chiamato *Seetakt*. Era in grado di scoprire navi a più di 20 Km di distanza, in base all'altezza dell'antenna. La Marina germanica decise di installarlo dal 1937 sulle sue unità diventando la prima Marina militare ad equipaggiarsi con una vera apparecchiatura radar. Nel 1938 entra in servizio il *Freya*, operante in onda metrica (attorno a 2,4 m) dove era possibile generare elevate potenze (decine di kW). Il radar di avvistamento *Freya* (Fig. 3) aveva una portata su bersagli aerei fino a 120 km, copertura di 360° grazie all'antenna rotante, ed operava su frequenze attorno a 120 MHz, mediamente quattro volte maggiori di quelle della Chain Home. Sviluppato dalla GEMA nel 1938, e con una potenza di picco di 8 kW, tale radar rivelava bombardieri alla quota di 5000 metri fino a distanze di 70 km ed aveva una risoluzione di 150 m in distanza e 5° in azimut.

Anche in altre nazioni oltre a quelle già nominate (principalmente in Giappone, Francia, Olanda ed Ungheria) si svilupparono in quegli anni apparati radar. Oltre l'Atlantico, negli Stati Uniti, gli esperimenti dapprima con radar ad onda continua (Taylor, Young e Hyland, 1932-34) e poi con radar ad impulsi furono condotti dal *Naval Research Laboratory*. I primi echi impulsati furono osservati il 28 Aprile 1936 alla frequenza di 28.3 MHz ed il 22 Luglio 1936 alla frequenza di 200 MHz. Anche negli Stati Uniti militari, scienziati e industriali furono i protagonisti dei primi sviluppi dei radar. L'esigenza primaria degli USA negli anni '30, a differenza che in Inghilterra, non era quella della difesa del territorio, ma la difesa di navi ed aerei. Tutti questi requisiti richiedevano l'uso di alte frequenze per motivi di ingombro ed efficacia. Per lo stesso motivo gli americani si concentrarono molto presto nelle ricerche sul "duplexer" che permetteva di evitare l'uso di due antenne. Lo sviluppo fu svolto presso il Naval Research Laboratory e presso il MIT. Vennero realizzati radar terrestri SCR-268 (Fig. 4) per l'inseguimento e la direzione del tiro antiaereo, e l'SCR-270 e 271 (versione fissa) per la scoperta aerea. Ulteriori notizie sugli sviluppi negli USA sono riportate in *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine* 2000 e in Barton 2010.



Figura 4. Il radar statunitense SCR-268.

L'avvicinarsi della guerra provocò una accelerazione dello sviluppo di apparati radar. Le prime installazioni operative per protezione antiaerea furono realizzate nel 1937 ancora dagli inglesi (la già citata *Chain Home*); a queste seguirono due radar americani, il già citato SCR-268 (1938) e il CXAM (1941). Le due grandi potenze alleate intensificarono nel corso della Seconda Guerra Mondiale gli sforzi congiunti per giungere a sistemi sempre più affidabili e dotati di portata maggiore. In questo periodo venne introdotto il *magnetron a cavità* (più esattamente, con anodo a cavità multi risonanza) costruito da John Randall e Harry Booth presso l'università di Birmingham e funzionante il 21 Febbraio 1940, producendo ben 400 W (e successivamente oltre 1 kW) in onda continua ad una lunghezza d'onda compresa tra 9 e 10 cm. Tale tubo oscillatore a microonde è simile a quelli utilizzati ancora oggi.

## La Seconda Guerra Mondiale e i suoi lasciti

Dal punto di vista tecnico, all'inizio della guerra e fino al 1940-41 si assiste a una situazione di superiorità tedesca relativamente alla navigazione aerea ed ai radar<sup>14</sup>. Una missione del dirigibile Graf Zeppelin LZ 130 della Luftwaffe, con a bordo persino il generale Martini, iniziata il 2 agosto 1939 (meno di un mese prima dell'invasione della Polonia) e durata ben 48 ore, cercò di analizzare i segnali utilizzati dai sistemi radio e radar inglesi, senza grande successo: fu la prima missione Elint (Electronic Intelligence). In base alle esperienze tedesche sullo sviluppo dei radar, i segnali dei radar inglesi furono cercati sopra i 100 MHz, mentre come si è visto la Chain Home operava a frequenze più basse.



**Figura 5.** La "Corazzata tascabile" Graf Spee con il Seetakt sulla torre telemetrica.

Con la crisi e poi il crollo del sistema industriale tedesco si ha invece la superiorità inglese e statunitense dopo il 1941-42. In particolare gli Alleati erano particolarmente forti nel settore dei radar avionici. L'H2S inglese fu il primo "ground mapping radar" del mondo, operativo dal 1943 su diversi bombardieri della RAF, dotato dell'allora segretissimo magnetron a cavità che emetteva alla lunghezza d'onda di 9,1 cm con successive versioni a 3 cm – nello stesso periodo gli USA avevano l'SCR 720 /AI Mark X operante sui 10 cm.

Fino al 1941 gli Alleati sapevano pochissimo degli sviluppi del radar in Germania, salvo che per l'appara-

<sup>14</sup> Price 2009.

to navale *Seetakt* (FuMG 39, con successive versioni FuMO 22, 26 e 27), per sorveglianza e controllo del tiro, che, come già illustrato, era entrato in servizio nel 1937 su navi come il Graf Spee (Fig. 5).

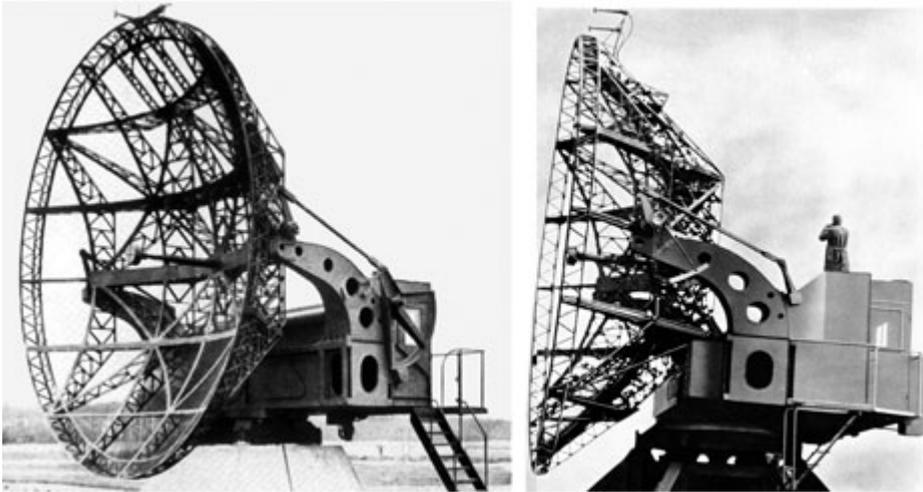
Dalla primavera 1940 i bombardieri della Royal Air Force (RAF) iniziarono ad effettuare missioni di bombardamento notturne contro la Germania, principalmente nella zona della Ruhr<sup>15</sup>; pertanto la Luftwaffe decise – solo allora – di costituire reparti specifici per la difesa aerea notturna, alla cui supervisione ed organizzazione fu demandato il colonnello (poi generale) Josef Kammhuber (1896-1986). Il 20 luglio 1940, il primo *Nachtjagdgeschwader* (Stormo da Caccia Notturna) entrò ufficialmente in servizio. Per dirigere i caccia (o, se in posizione utile, l'artiglieria contraerea) sui bombardieri era necessario illuminarli con potenti fotoelettriche o razzi illuminanti lanciati da aerei attrezzati. Tuttavia esisteva il serio pericolo del “fuoco amico”.

Kammhuber capì che la risposta era la realizzazione di una rete difensiva avanzata (verso la direzione degli attaccanti), distante dalle batterie antiaeree, dotata di fotoelettriche e di stazioni radar di precisione, capaci di guidare i caccia in posizione d'attacco sugli aerei nemici; essa fu denominata Sistema Himmelbett (*letto a baldacchino* o, secondo alcuni, *letto celeste*), operativo dall'estate del 1941 fino alla fine del conflitto. La linea difensiva Kammhuber si estendeva lungo la costa del mare del Nord, dalla Danimarca fino alla foce della Schelda (Paesi Bassi); il Freya rivelava i bombardieri nemici fino alla distanza di circa 120/150 Km senza però fornirne la quota; alla fine del 1940 la linea fu completata con i più precisi Würzburg, che localizzavano l'obiettivo in tre dimensioni. Era necessario un sensore radar con precisione e risoluzione ben superiori al Freya ed ai radar degli avversari: la Telefunken aveva messo a punto, già dal 1939, il radar Würzburg sulla base di un ordine di 5000 esemplari. Il *Würzburg* (Fig. 6 (a) e (b)), progettato per la direzione del tiro antiaereo, fu



**Figura 6.** Il radar tedesco Würzburg in due versioni (a) e (b); si tratta del primo radar con la precisione sufficiente alla batterie contraeree di colpire un bersaglio in assenza di visibilità ottica.

<sup>15</sup> Friedrich 2004



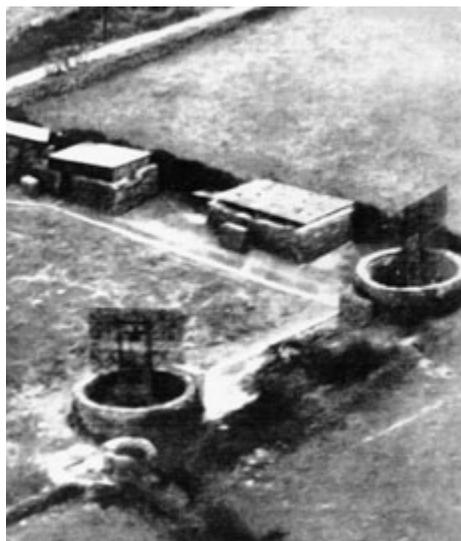
**Figura 7.** Il “Würzburg-Riefe” (Würzburg gigante) aveva un riflettore parabolico di 7,5 m di diametro e pesava circa 10 t, offriva un raggio di osservazione di 80 Km ed una precisione in distanza di 25 m ed inferiore a mezzo grado in azimuth e elevazione.

il progenitore dei moderni radar di inseguimento. La produzione di serie da parte della Telefunken cominciò nel 1940, e il radar divenne operativo nell'estate del 1940. Aveva un'antenna a paraboloidale dal diametro di 3 metri. La risoluzione in distanza era di 25 metri; era capace di misurare distanza, azimuth ed elevazione e inizialmente operava da 553 a 566 MHz. Alle prime versioni A e B, la versione “Würzburg C”, aggiunse la tecnica “lobe switching” per migliorare l'accuratezza angolare, e la versione D introdusse la scansione conica, con un feed d'antenna rotante a 25 Hz; tale tecnica è stata utilizzata nei radar di inseguimento per oltre 20 anni, prima che prendesse il sopravvento il “monopulse”<sup>16</sup>. La misura angolare molto precisa, entro  $\pm 0,75^\circ$ , era idonea alla condotta del tiro antiaereo. Il Würzburg superò in prestazioni tutti i radar d'inseguimento dell'epoca, almeno fino all'avvento del SCR-584. Quando per esigenze operative fu necessario migliorarne la risoluzione angolare, ebbe luogo lo sviluppo del *Würzburg Riese* (W. Gigante; Fig 7) operante alle stesse frequenze del Würzburg ma dotato di antenna a paraboloidale di ben 7,5 metri; il radar, che entrò in funzione nella seconda metà del 1941, aveva una precisione angolare di  $\pm 0,25^\circ$ . Del Würzburg furono prodotti migliaia di esemplari (da 3000 a 4000 secondo le fonti, più 1500 esemplari del Würzburg Riese). Le stazioni di Himmelbett erano dotate di un radar Freya per acquisire il bersaglio a distanza, di un primo radar Würzburg Riese per l'inseguimento preciso dei bombardieri nemici e di un secondo radar Würzburg Riese per il controllo dei caccia notturni che venivano diretti via radio verso i bombardieri. La scarsa risoluzione del Freya avrebbe confuso aereo da caccia e bombardiere nemico sul monitor radar prima che il caccia

<sup>16</sup> Barton 2010.

avvistasse il bombardiere, mentre i Würzburg distinguevano i due aerei grazie al loro ottimo potere risolutivo dovuto alla maggiore frequenza, alle grandi dimensioni dell'antenna e all'impulso corto. Presso il centro di coordinamento dei caccia, le posizioni rilevate dai Würzburg venivano mostrate su una tavola orizzontale di vetro smerigliato (*Tavola di Seeburg*), proiettando dal basso un punto luminoso rosso per il bombardiere, ed un punto blu per il caccia.

Delle numerose installazioni di radar tedeschi, alcune erano in prossimità della costa; tra di esse, quella di Bruneval (Costa nord della Francia, presso Le Havre) che, fotografata da un intercettore britannico nel 1941, rivelò le installazioni del radar Freya (Fig. 8) e, a febbraio 1942, fu oggetto



**Figura 8.** Fotografia aerea presa da un Spitfire della RAF il 22 febbraio 1941 a Bruneval che diede la prova agli inglesi dell'esistenza del radar tedesco.

di un raid alleato<sup>17</sup> che permise di acquisire molte informazioni sul Würzburg (del quale furono smontate e asportate numerose parti), installato in prossimità dei Freya.

Sul fronte avversario, gli attacchi tedeschi contro le città dell'Inghilterra centrale e meridionale iniziarono a settembre 1940, con un bilancio di 30.000 vittime a marzo 1940, e la Chain Home (C.H. e C.H.L.) si rivelò efficace in occasione del primo bombardamento di Londra, quando le perdite dei bombardieri tedeschi raggiunsero l'altissimo valore di 56, oltre un quarto della forza impiegata: la mancata supremazia aerea della Germania – dovuta anche ai radar dell'avversario – convinse Hitler a rimandare *sine die* l'operazione di sbarco in Inghilterra denominata “Seelöwe”, Leone Marino, che avrebbe forse rovesciato le sorti del conflitto. Con i primi bombardamenti notturni di grande intensità della RAF (Amburgo, 30 e 31 gennaio 1943), fu messo a punto il radar H2S che permetteva di individuare città distanti fino a 40 km. Le città fornivano segnali d'eco molto più intensi di quelli della campagna che a sua volta era più intensa delle superfici acquee, e sul display di bordo, con la scansione azimutale dell'antenna, si formava una sorta di mappa del territorio sottostante, con possibilità di guidare l'aereo sull'obiettivo a patto di riconoscere le caratteristiche salienti del territorio: laghi, fiumi, estuari, e le città stesse. Erano così possibili bombardamenti di precisione notturni (anche senza luna); i tedeschi ignorarono questo rivoluzionario apparato – dotato del magnetron a cavità a loro sconosciuto – solo per tre giorni. Infatti la notte tra il 2 ed il 3 febbraio 1943 un Pathfinder Stirling fu abbattuto presso Rotterdam, e gli esperti tedeschi ne studiarono le

<sup>17</sup> Price 2009.

parti. Come prima contromisura, fu rapidamente messo a punto il ricevitore Naxos e furono persino studiati – ma non realmente applicati – dei tentativi di inganno del H2S con gruppi di *corner reflectors* che – posti, in gran numero, in zone non abitate dovevano simulare gli echi delle città. I radar avionici tedeschi, di diverso scopo, cioè la guida dei caccia verso i bombardieri nemici, comparvero a metà del 1941 col Lichtenstein FuG 202 e successivamente col Lichtenstein SN 2 – montato sul caccia notturno Ju 88 – che funzionava a 85 MHz.

Con le operazioni belliche che utilizzavano radar (e in generale sistemi radio) nacquero quasi immediatamente le contromisure elettroniche<sup>18</sup>. Furono sviluppati sia dei generatori di rumore (jammer) che dei generatori di falsi segnali radar tramite ritrasmissione degli impulsi radar: in tale quadro è notevole, nel 1943-45, l'attività di Giorgio Barzilai<sup>19</sup>.

Di particolare rilevanza, pratica e bellica, è lo sviluppo e l'uso del disturbo radar passivo, usato anche oggi e chiamato *chaff*, che durante la guerra fu denominato Window dagli inglesi e Düppel dai tedeschi. Già nel 1937, Reginald Victor Jones<sup>20</sup> aveva suggerito che sottili e leggere strisce metalliche lasciate cadere possono creare echi radar; l'idea fu poi messa a punto, tramite esperimenti, tra la fine del 1941 e marzo 1942 da Joan Currain, ricercatrice del Telecommunications Research Establishment (T.R.E.), che definì lo schema basato su pacchetti di strisce di alluminio. Si osservò che un pacchetto di soli 40 fogli di alluminio produceva, sul radar Type 11 operante ad una lunghezza d'onda prossima a quella del Würzburg, un eco simile a quello di un bombardiere bimotore. Independentemente, i tedeschi, intorno al 1940, avevano avuto la stessa idea, ma Goering proibì la ricerca in tale settore e persino il parlarne: dato che non era nota nessuna contromisura, entrambe le parti erano riluttanti ad usare le Window/Düppel temendo che il nemico avrebbe scoperto facilmente questo nuovo tipo di "invincibile" disturbo. La RAF fu autorizzata (anzi, invitata) da Churchill ad usare le Window solo a partire da metà 1943, con immediato inizio della loro produzione di massa in Inghilterra. Si calcolò che le Window, se utilizzate da inizio 1942, avrebbero salvato oltre 300 bombardieri e i loro equipaggi. Il primo uso delle Window avvenne assai presto: nella notte del 24 luglio 1943, la RAF diede inizio all'*Operazione Gomorra*, un attacco su vasta scala ad Amburgo. L'attacco fu regolarmente rivelato dai grandi radar Wassermann e Mammut poco prima delle 23:00. I primi lanci di Window avvennero alle 00.25; gli operatori delle stazioni *Himmelbett* della Difesa Aerea germanica avvistarono una gran quantità di falsi bersagli, fermi o in lento movimento, ed ebbero insormontabili difficoltà a individuare le vere minacce e a guidare i caccia. Anche i radar *Lichtenstein* montati sui caccia furono confusi dalle Windows, rendendo difficilissimo l'ingaggio dei bombardieri della RAF. Nel complesso,

<sup>18</sup> Price 2009.

<sup>19</sup> Bernardi, Lampariello e Frezza 2007.

<sup>20</sup> Reginald Victor Jones (1911-1997), fisico ed esperto di questioni militari, nel 1939 fu assegnato alla *Intelligence Section* del *Air Ministry*; studiò le misure contro le armi innovative dei tedeschi, tra cui il sistema di navigazione/guida "Knickebein" che utilizzava due fasci di onde radio che si intersecavano sull'obiettivo, le V1 e molte altre.

della grande forza d'attacco il comando RAF perse solo 12 aerei (1,5% contro le usuali percentuali del 5% o 6%), e quindi circa 35 aerei furono salvati dalla dispersione di 50 tonnellate di Window, pari a 92 milioni di striscioline di alluminio lunghe circa metà lunghezza d'onda del radar Würzburg (i radar Freya, in onda metrica, non furono disturbati). Nei giorni immediatamente successivi, dal 25 al 27 luglio, su Amburgo vi furono due attacchi diurni della statunitense USAAF e altri tre raids notturni della RAF con uso di bombe incendiarie. I numerosi incendi si unirono causando una *tempesta di fuoco*, evento<sup>21</sup> di capacità distruttive superate solo dalla bomba atomica, con distruzione della maggior parte della città e uccisione di oltre 45.000 persone, in massima parte civili.

Anche contro Window/Düppel i tedeschi riuscirono ad inventare delle contromisure, che oggi si chiamerebbero *Anti-chaff*; entrambe furono applicate al Würzburg. Il sistema Würzlaus utilizzava l'effetto Doppler, sfruttando la più bassa velocità (quella del vento) delle Window rispetto a quelle dei velivoli: in sostanza si realizzava quello che oggi chiameremmo un filtro MTI (Indicatore di bersagli mobili) con banda opaca centrata sulla velocità radiale nulla ed estesa fino a 20 km/h<sup>22</sup>. Il sistema Nürnberg utilizzava la modulazione del segnale d'eco dovuta alla rotazione delle eliche riconosciuta in cuffia dall'operatore radar e ovviamente assente nell'eco di *chaff* (una sorta di antesignano della Jet Engine Modulation oggi utilizzata per riconoscimento e classificazione dei bersagli aerei). Oltre ai concetti di radar Doppler e di analisi spettrale dell'eco, gli scienziati ed ingegneri tedeschi anticiparono anche quello, oggi in voga, di *radar passivo con illuminatori di opportunità* (PCR, Passive Covert Radar, o PCL: Passive Coherent Location) con un assai ingegnoso sistema – chiamato *Kleine Heidelberg Parasit* – che sfruttava la natura “floodlight” della trasmissione della Chain Home per rivelare e seguire gli aerei britannici<sup>23</sup>. Nel 1942 installarono vicino Oostvoorne, Sud dell'Olanda, un ricevitore che captava sia il segnale diretto di un radar della Chain Home sia l'assai più debole eco dei bersagli; il ritardo tra di essi, che veniva misurato, definiva il luogo dei punti su cui doveva trovarsi il bersaglio come un'ellisse i cui fuochi erano rispettivamente l'antenna trasmittente (nel territorio inglese in posizione nota ai tedeschi) e quella ricevente di Oostvoorne (Fig. 9). La posizione sull'ellisse era ottenuta tramite misura angolare con un'antenna direttiva. Si ottenevano portate fino a 400 km, precisioni in distanza dell'ordine del km e in azimut dell'ordine del grado, ed il sistema non era disturbabile dagli inglesi.

La conclusione della Seconda Guerra Mondiale, con il lancio delle bombe atomiche su Hiroshima e Nagasaki (6 e 9 agosto 1945) vide ancora una volta l'uso del radar, che, sotto forma di altimetro, era installato a bordo delle bombe

<sup>21</sup> Friedrich 2004.

<sup>22</sup> Quindi poco efficace nel caso di forti venti in quota con componente significativa nella direzione del radar; una soluzione semplice e di provata efficacia a tale problema fu trovata solo molti anni dopo la guerra con l'invenzione dell'MTI adattivo ad anello aperto (SACE / RALA: Soppressore Adattivo di Clutter Esteso basato su un Rifasatore Adattivo a Loop Aperto) e la prima pubblicazione in “open literature”, che segue il relativo brevetto, è Galati e Lombardi 1978.

<sup>23</sup> Griffiths 2010.

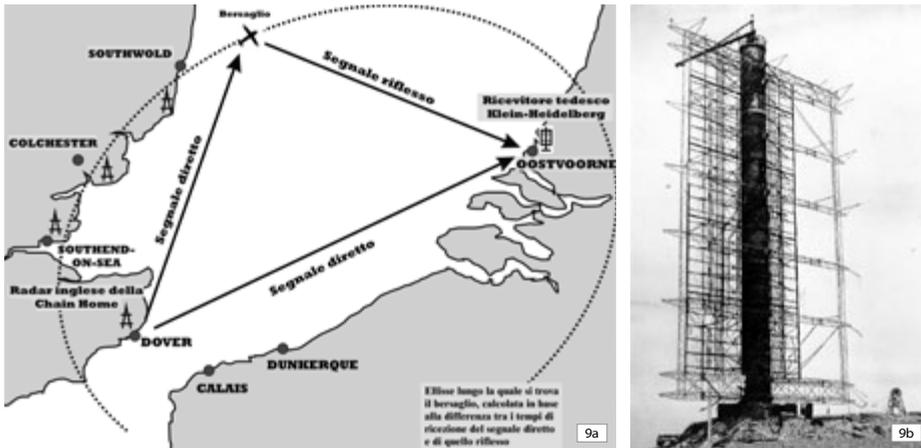


Figura 9. Radar passivo *Kleine Heidelberg Parasit* (a) Schema del sistema. (b) Antenna ricevente.

per farle detonare alla quota ottima di 580 metri (quella che avrebbe massimizzato vittime e distruzioni).

Alla fine della Seconda Guerra Mondiale si concludeva una fase di sviluppo impetuoso delle tecnologie e dei sistemi radar. Oltre che in Francia, in Germania, in Italia, nel Regno Unito e negli Stati Uniti, lo sviluppo avvenne in Giappone, Olanda, Russia e, infine, in Ungheria, dove nel 1946 fu portato a conclusione un progetto scientifico proposto all'inizio del 1944 dal dr. Zoltán Bay e interrotto dall'occupazione germanica e successivamente (1945) dall'arrivo dell'Armata Rossa: si trattava di trasmettere un segnale sulla Luna e riceverne l'eco (data la distanza media Terra-Luna di 384.400 km, il ritardo è di circa 2,6 secondi). L'esperimento si svolse con successo il 6 febbraio 1946.

Durante la Seconda Guerra Mondiale si assiste in Europa e negli USA ad uno sforzo progettuale e costruttivo mai eguagliato, con impegno di migliaia di ricercatori e tecnici e una spesa, nei soli Stati Uniti, di 2,7 miliardi di dollari (quasi il doppio della spesa che fu necessaria per realizzare la bomba atomica), contro una spesa equivalente a soli sessantamila dollari per lo sviluppo del radar in Italia. Si svilupparono con grandissima velocità, pur in assenza di mezzi di calcolo automatico e simulazione, tecniche quali: le *microonde* (si arrivò, già nel 1943, a radar avionici operanti a 9-10 GHz e negli ultimi anni della Guerra la lunghezza d'onda scese a 3 cm e addirittura a 1,5 cm in un apparato sperimentale germanico del 1945 capace di fornire immagini radar dei bersagli), il *riconoscimento del bersaglio e forme primitive di radar imaging*<sup>24</sup>, il *disturbo attivo* (ECM: Electronic Counter Measures) e le relative contromisure (ECCM: Electronic Counter Counter Measures) tra le quali l'*agilità di frequenza*, il già analizzato *disturbo passivo del Chaff*, l'*inseguimento mediante sequential lobing*, scansione conica,

<sup>24</sup> Alla fine della guerra i tedeschi avevano, in sperimentazione, il sistema *Barbara* che associava la lunghezza d'onda dei 9 cm con l'enorme antenna del Würzburg gigante e realizzava una scansione per righe del bersaglio.

e *monopulse*, l'integrazione degli impulsi, forme embrionali di *cancellazione degli echi fissi* o lentamente variabili (*clutter, chaff*) sfruttando l'effetto Doppler, e altre ancora. A livello di sistema, subito dopo i radar navali e terrestri nacquero, come già visto, i radar avionici e persino quelli per sommergibile. Il *periscopio Funkmess* "Berlin U 2" permetteva agli U-Boot in immersione a quota periscopica di vedere i convogli fino a 20 km, oltre alla linea di costa e alle boe.

I due aspetti applicativi del radar maggiormente enfatizzati nel dopoguerra, dopo pochi anni quasi interamente dedicati alla ricostruzione, furono: le applicazioni civili, pochissimo sviluppate fino ad allora, e la difesa dalle nuove possibili minacce legate al blocco sovietico.

Tra le applicazioni civili e della tecnologia radar si impose come la più naturale e promettente quella per il Controllo del Traffico Aereo. Negli anni '60 e '70 fu possibile passare dalle notevoli separazioni tra aeromobili che erano tipiche del controllo procedurale, basato sui "riporti" di posizione fatti in radiotelegrafia dai piloti, alle ben più ridotte *separazioni radar*. Emergono diversi tipi di requisiti, a seconda della porzione di spazio aereo e di segmento delle rotte che si voleva sorvegliare. Si hanno così i radar per il controllo in rotta (En Route Radar), per l'area terminale e l'avvicinamento (TMA/APP Radar) e per il controllo aeroportuale (ASMI-ASDE-SMR). Tra queste applicazioni variano i requisiti relativi a: massima distanza di scoperta (la cosiddetta portata radar), risoluzione in distanza e in azimut, periodo di aggiornamento dei dati. Come ausilio all'atterraggio, in particolare nel mondo militare, alla fine della guerra emerse il sistema Ground Control of Approach, o GCA, basato su una coppia di radar, dei quali uno di precisione (PAR: Precision Approach Radar) che permetteva all'operatore di localizzare in modo molto preciso l'aeromobile in atterraggio (da circa 30 km in giù) e condurlo, con comandi via radiotelegrafia, in prossimità della soglia pista; il primo di tali sistemi è stato l'AN/MPN 1 della Gilfillan Brothers, poi ITT Gilfillan. Il GCA fu usato nel 1948-49 durante il noto "Ponte Aereo" di Berlino, con un picco di 1398 atterraggi (sul totale degli aeroporti berlinesi) nella giornata del 15 aprile 1949. Il GCA è tuttora usato per l'atterraggio (o l'appontaggio) di aerei militari.

L'entrata in vigore della Convenzione di Chicago (4 aprile 1947) determinò l'inizio del funzionamento della ICAO (International Civil Aviation Organization) ICAO rese possibile, tramite l'emissione di standard, l'uniformità a livello globale di procedure ed impianti di assistenza al volo, con forte impulso al loro sviluppo. Dal sistema bellico per Identification Friend of Foe (IFF/SIF dove SIF sta per Selective Identification Feature), tuttora in uso con sviluppo dei successivi "modi" di funzionamento 1, 2...5, si creò così il radar secondario di sorveglianza SSR, attualmente di "modo" S (Selettivo), che nel suo "modo" A coincide col "modo" 3 del IFF/SIF.

Nacquero pure i radar, denominati "primari" per distinguerli dal Radar Secondario (cioè dal SSR), inizialmente derivati dai radar militari di avvistamento a lungo raggio, come – alla fine degli anni '40- il Radar Primario Marconi S264 di produzione inglese derivato dalla modifica del radar militare Type 11, che per una trentina d'anni ha fornito il servizio intorno agli aeroporti di Linate e di Fiumicino, dove era installato. L'S264 operava sulla lunghezza d'onda decimetrica,

in particolare quella di circa 50 cm (questa scelta della lunghezza d'onda era in contrasto con la filosofia, di origine americana, orientata su lunghezze d'onda più brevi (tra 23 e 10 cm) che successivamente è stata quella vincente: oggi è usata la Banda L per i radar di rotta, e la Banda S per quelli di area terminale, mentre le lunghezze d'onda sui 50 cm (gamma UHF) sono state attribuite alla diffusione televisiva.

Le bande di frequenza utilizzabili dai radar (e anche nelle altre applicazioni: telecomunicazioni e navigazione) sono denominate ancora oggi con delle lettere – volutamente prive di significato – che risalgono alla Seconda Guerra Mondiale: L, S, C, X, K, ecc. e che sono state recepite dalla IEEE come standard per la designazione delle bande radar<sup>25</sup>. Gli intervalli di frequenza corrispondenti a queste denominazioni sono riportate nella Tabella 1.

L'assegnazione delle bande di frequenza utilizzabili dal radar, così come la gestione dell'intero spettro elettromagnetico, è compito della International Telecommunications Union (ITU/UIT) attraverso una serie di conferenze periodiche, chiamate WARC (*World Administrative Radio Conference*). Le gamme di frequenza sotto la banda millimetrica per utilizzo radar sono sostanzialmente quelle della WARC-79, riportate in un documento della ITU (International Telecommunications Union) del 1990.

Tabella 1 – Denominazione delle gamme di frequenza (IEEE Std. 521, 1984).

Banda	Frequenze
HF	3-30 MHz
VHF	30-300 MHz
UHF	300-1000 MHz
L	1-2 GHz
S	2-4 GHz
C	4-8 GHz
X	8-12 GHz
Ku	12-18 GHz
K	18-27 GHz
Ka	27-40 GHz
V	40-75 GHz
W	75-110 GHz
mm	110-300 GHz

Tra le applicazioni militari nel dopoguerra emergono, come si è detto, quelle legate alle minaccia sovietica, il cui timore originò, tra l'altro, la costituzione della USAF (US Air Force) nel 1947 e la nascita della NATO nel 1949.

Tra le principali tappe tecnologiche del dopoguerra si possono ricordare l'introduzione del tubo amplificatore a microonde chiamato *klystron* (più potente

<sup>25</sup> Si noti che altre lettere (progressive: D, E, ... J, K ...) designano le bande degli apparati di guerra elettronica e a volte, per complicare le cose, anche le bande radar, per cui la banda L viene anche indicata con la lettera D, la banda X con I/J ecc. secondo uno standard della NATO.

del magnetron, con spettro di emissione più puro, e, a differenza del magnetron, adatto all'uso di forme d'onda codificate) negli anni '50, e quindi dei *tubi ad onda progressiva* (TWT), caratterizzati da una maggiore larghezza di banda; in tempi più recenti i tubi sono stati sostituiti da dispositivi a stato solido per le applicazioni che richiedono potenze di picco minori.

L'effetto del rumore nelle telecomunicazioni fu magistralmente analizzato da Claude Shannon subito dopo la Seconda Guerra Mondiale<sup>26</sup>, e dopo la fine del conflitto, in particolare verso il 1955-1960, vennero sistematizzate le teorie di base per i sistemi radar, in gran parte derivate dagli studi svolti nel periodo bellico. A riguardo vanno citate: la teoria della rivelazione di bersagli fissi immersi nel rumore<sup>27</sup> estesa ai bersagli fluttuanti da Peter Swerling<sup>28</sup>, quella della stima dei parametri del bersaglio<sup>29</sup> e quella del filtro adattato e della "pulse compression"<sup>30</sup>. In tale quadro vanno anche ricordati i 28 volumi del Radiation Laboratory (MIT, *Massachusetts Institute of Technology*, USA) che coprono le principali tecnologie, in particolare quelle a microonde (trasmettitori, ricevitori, antenne a microonde). Il Radiation Laboratory, situato a Cambridge nel Massachusetts presso il Massachusetts Institute of Technology (MIT), operò da ottobre 1940 fino alla fine del 1945 come il National Defense Research Committee (NDRC), un Comitato costituito dal presidente Franklin D. Roosevelt.

Si citano qui tre soli titoli su ventotto, quelli dei volumi 1, 6, 24 del *MIT Radiation Laboratory Series*, che sono rispettivamente:

- Louis N. Ridenour, *Radar System Engineering*;
- George B. Collins, *Microwave Magnetrons*;
- James L. Lawson and George E. Uhlenbeck, *Threshold Signals*.

I volumi sono stati editi da McGraw-Hill, New York nell'immediato dopoguerra, e dopo sessant'anni conservano gran parte del loro valore.

### **La situazione nazionale nel dopoguerra: SMA, Microlambda, Sindel, Selenia**

Gli sviluppi industriali del radar in Italia furono, come si è visto, assai modesti prima del 8 settembre 1943, con alcune Ditte situate principalmente nel nord Italia, come SAFAR, Fivre, Magneti Marelli, Allocchio Bacchini, S. Giorgio, Galileo<sup>31</sup> impegnate in produzioni in piccole serie (decine di esemplari) neppure lontanamente comparabili alle produzioni in serie di migliaia di apparati dalle Ditte tedesche ed anglo-americane. Quindi, dopo la limitata produzione

<sup>26</sup> Shannon 1949.

<sup>27</sup> Marcum 1960.

<sup>28</sup> Swerling 1957.

<sup>29</sup> Manasse 1995.

<sup>30</sup> Turin 1960; Klauder, Price, Darlington e Albersheim 1960.

<sup>31</sup> Castioni 1987,



**Figura 10.** Selex Galileo (SMA) – Gruppo Antenna del radar CFL-3 (anni '50; pubblicata per cortese concessione di Selex Galileo).

di radar nel periodo bellico, che include il Gufo costruito dalla SAFAR ed i successivi radar Lince Vicino, Lince Lontano, Folaga, costruiti dalla San Giorgio in collaborazione con Marelli, Allocchio Bacchini e Galileo, nel corso della ricostruzione post-bellica nacquero o si svilupparono in Italia importanti industrie di tecnologia avanzata.

Prima in ordine di tempo fu la fiorentina SMA – Segnalamento Marittimo ed Aereo SpA, fondata il 2 agosto 1943 a Firenze per iniziativa di Enrico Bocci, Lorenzo Fernandez e Giuseppe Salvini allo scopo di produrre apparecchiature meccaniche ed ottiche di segnalamento di progettazione francese. La SMA realizzò e produsse in serie nel 1949 il primo radar post-bellico italiano. Si tratta del CFL-3, in Banda X, progettato da Nello Carrara, Lorenzo Fernandez e Pietro Lombardini, per la condotta del tiro di artiglieria (Fig. 10).

Nel 1950 la SMA stipulò un contratto con la Marina militare italiana per la fornitura di dieci radar di navigazione, sempre in Banda X, denominati 3N10 (sigla MMI: NMS 8) che furono consegnati nel 1952. Segue lo sviluppo di diversi radar per usi militari, principalmente radar di navigazione e radar di scoperta aerea per le unità navali. Negli anni '60 viene approntato lo stabilimento che verrà utilizzato per oltre un quarto di secolo, presso la bellissima Villa San Martino a Soffiano, sopra Firenze, successivamente ampliato pur con le notevoli difficoltà dovute ai vincoli paesaggistico-ambientali. Nel 1975 inizia lo sviluppo del radar per elicotteri APS 705, restato in servizio (con diverse varianti ed ammodernamenti) per oltre 20 anni. Nel 1976 inizia lo sviluppo dei radar navali di scoperta della Serie 700, tra cui SPS 701 su aliscafo Nibbio e l'SPS 702 sulle fregate ASW classe Maestrale. Negli anni '80 la SMA cerca la diversificazione sul fattore civile: acquisisce il settore Radar di Navigazione della Selenia dando vita a Selesmar, partecipa allo sfortunata Società Consortile T.I.M (Tecno-Idro-Meteo) per la radar-meteorologia, la gestione del territorio e l'ambiente, e nel 1987 inizia l'altrettanto sfortunata collaborazione con Fiat per il radar anticollisione automobilistico (Fig. 11). Parallelamente, sviluppa apparati avionici di successo come lo SCP 01 per l'AMX – versione per il Brasile (Fig. 12), e l'APS 717.

Nel 1988 l'EFIM ne acquisisce quote azionarie fino a oltre il 98%. All'inizio degli anni '90 la SMA sviluppa il radar meteorologico GPM 500, il primo appa-

to Doppler e polarimetrico in Italia. Il 18 luglio 1992 l'EFIM è posto in liquidazione; pochi giorni prima era scomparso l'ing. Gustavo Stefanini, "padre" dell'azienda spezzina OTO Melara<sup>32</sup>; nel gennaio 1993 (a 50 anni dalla fondazione della SMA) il Commissario liquidatore decide che la Ditta passa in affitto a Finmeccanica. Nel 1994 le attività ex-SMA di Finmeccanica si svolgono tramite la Ditta Galileo (Campi Bisenzio, Firenze), e nel 1995 la SMA diventa *Sistemi per la Meteorologia e l'Ambiente*. Nel 2001 viene privatizzata: di fatto, si chiude così la storia della più antica azienda italiana del settore che ha operato con continuità dalla Seconda Guerra Mondiale e per oltre mezzo secolo nel segnalamento civile e militare, costruendo radar navali e terrestri, sistemi per il monitoraggio ambientale, sistemi e radar meteorologici, apparati biomedici. Il *know-how* SMA, molto rilevante nell'area dei "piccoli" radar su piattaforma mobile, in particolare su mezzi aerei, tuttavia non è andato perduto, essendo passato alla ditta Galileo Avionica, successivamente Selex Galileo.

La SMA è culturalmente figlia della "scuola toscana" di Microonde e Radar, cioè di Carrara (che ne fu presidente) e di Tiberio, a cui si affianca la scuola di Barzilai e Latmiral che furono principalmente attivi nel centro-sud; la scuola "del centro-sud" vede nell'ing. Francesco Musto<sup>33</sup> e nel prof. Giovanni Picardi<sup>34</sup>



**Figura 11.** Selex Galileo (SMA) Radar Anticollisione per Autovettura sviluppato in collaborazione con il Centro Ricerche FIAT(anni '80; per cortese concessione di Selex Galileo).

**Figura 12.** Selex Galileo (SMA) – Radar Multimodo Avionico SCP-01 (Scipio) sviluppato in collaborazione con la Aeronautica Brasiliana (Anni '80; per cortese concessione di Selex Galileo).

<sup>32</sup> Maragnani 2010.

<sup>33</sup> Francesco Musto (Cerignola, 25 aprile 1928), studia Ingegneria a Roma e partecipa al corso di specializzazione post-laurea sulle tecnologie radar, di due anni, finanziato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche e dal Ministero della Difesa. All'atto della fusione che dette luogo alla Selenia, è capo dei Sistemi Radar in Microlambda ; trasferito allo stabilimento di Roma, dove si concentra la progettazione, lasciando la produzione a Napoli, è prima capo della progettazione Radar di Avvistamento, e poi di tutti i sistemi radar; successivamente, direttore della Divisione Radar. Nel periodo 1975-1990 dirige la Direzione Formazione ed Addestramento (la ben nota DFA che produsse attività formative di livello mondiale).

<sup>34</sup> Giovanni Picardi (Sarnano, MC, 16 dicembre 1936), laureato in Ingegneria Elettrotecnica presso l'Università di Roma "La Sapienza" nel 1960, nel 1961 inizia l'attività di progettazione presso la Selenia nel settore di elaborazione dei segnali radar. Successivamente è professore ordinario all'Università La Sapienza dove si occupa di radar spaziali, sia del tipo SAR, che del tipo altimetrico e per il "sounding" dei corpi celesti.

due esponenti di gran rilievo. Proprio nel centro-sud della Penisola si sviluppa infatti, dopo la guerra ed in maniera sostanzialmente indipendente, la maggiore industria radaristica nazionale, su una base creata dal contesto internazionale di quegli anni. In tutta Europa, infatti, un impulso notevole all'affermarsi dell'industria e delle competenze radaristiche derivò dalla produzione su licenza di radar americani. Il sistema radar militare AN/TPS 1-A della Raytheon americana è un apparato radar mobile di sorveglianza e scoperta aerea sviluppato per l'U.S. Army durante la Seconda Guerra Mondiale. A fine conflitto venne consegnato un numero consistente di questi radar a paesi alleati per la sorveglianza dello spazio aereo e per l'assistenza al volo. Una successiva versione, l'AN-TPS 1D della Raytheon, di cui in Europa furono prodotti migliaia di esemplari per le forze NATO, costituì il banco di prova di molte aziende europee nascenti.

In Italia<sup>35</sup>, esso fu prodotto dalla società Microlambda – Società per Studi ed Applicazioni di Elettronica – che vide la luce per opera di Carlo Calosi<sup>36</sup>, studioso e uomo d'industria di livello internazionale, inventore – prima dell'armistizio – del Siluro Italiano Calosi e, successivamente ad esso, pioniere dell'industria radar negli USA ed in Italia. Calosi fece da ponte tra la scuola radar toscana e quella del “centro sud” consentendone un grandissimo sviluppo dagli anni '50 agli anni '70. Al suo fianco fu un più giovane, altrettanto memorabile toscano: l'ing. Franco Bardelli<sup>37</sup>, che in Selenia (ditta ricchissima di laureati in ingegneria oltre che in altre discipline tecnico-scientifiche) tutti – incluso l'autore di queste pagine – chiamavano semplicemente e con rispetto “l'ingegnere”. La nascita di Microlambda è così ricordata dall'ing. Bardelli, in un suo scritto che si riferisce a Calosi:

[...] abbiamo avuto insieme la grande opportunità di creare dal nulla la prima azienda nel 1951, in una cantina di Via Ferdinando di Savoia, vicino Piazza del Popolo [...] L'avevo conosciuto appena laureato e lui mi chiamò perché voleva creare un gruppo di lavoro nel nostro Paese, appoggiandosi alla Finmeccanica, allora il gruppo base per questo settore. Calosi portò in Italia una consistente commessa per la produzione di 300 grandi radar. La Finmeccanica e la Raytheon crearono la Microlambda e lo misero a capo. Dalla cantina, più tardi, ci trasferimmo a Napoli in un vecchio stabilimento di siluri<sup>38</sup>.

<sup>35</sup> Musto 1990; Marchesini 2009.

<sup>36</sup> Marchesini 2009. Carlo Calosi (Intra, 25 settembre 1905 - Roma, 12 giugno 1997), si laureò con lode a Genova nel 1927 avendo concluso il biennio di ingegneria a Pisa nel 1924; lavorò al Regio Silurificio del Fusaro (Napoli) e fu inventore del sistema “esplosivo magnetico” per siluri brevettato come SIC- Siluro Italiano Carosi. Fuggì nell'inverno del 1944 dal Lazio occupato dai Tedeschi; richiamato in servizio come maggiore delle armi navali dal governo badogliano di Brindisi, fu inviato in missione speciale negli USA (1944-46) e nel 1951 fu nominato “vice-president” della Raytheon, e presidente della sua “Microwave and Power Tube Division”, che all'epoca deteneva le più avanzate tecnologie radaristiche, e poi consulente di Finmeccanica.

<sup>37</sup> Marchesini 2009. Franco Bardelli (Alessandria, 19 Ottobre 1925 - Pisa, 21 Gennaio 2010), dopo la laurea in Ingegneria industriale all'Università di Pisa nel 1948, si avvicina alla tecnologia dei radar all'Accademia Navale di Livorno; nel 1951 contribuisce alla nascita della Microlambda, nel 1956 della Sindel, nel 1960 della Selenia, infine nel 1980 fonda la IDS – Ingegneria dei Sistemi SpA.

<sup>38</sup> Locatelli 2004.

Si tratta del ben noto stabilimento del Fusaro, operativo ancora oggi. Si deve a Calosi l'accordo tra Raytheon e la finanziaria pubblica Finmeccanica (nata nel 1948 dal gruppo IRI) che portò alla fondazione di Microlambda, costituita il 16 aprile del 1951 come *joint venture* delle due realtà statunitense ed italiana. La Microlambda costruì (su licenza Raytheon) per la Marina Militare USA un lotto di 250 radar TPS 1D in tre anni (a cui si aggiunsero altri 50). La consegna dei primi apparati, completamente realizzati negli stabilimenti della Microlambda al Fusaro (vedi la Fig. 13) nel 1953, avvenne in anticipo rispetto agli impegni contrattuali.



**Figura 13.** Consegna dell'ultimo TPS 1 D presso lo Stabilimento del Fusaro; da sinistra a destra si notano, in piedi: un ingegnere della Raytheon, Corbò, Cassia, Isidori, Calosi, Bardelli (per gentile concessione dell'ing. Franco Bardelli).

La Microlambda nacque quindi attorno ad un primo importante contratto (dal valore di 15 milioni di dollari) di produzione su licenza di radar della Raytheon, destinati ai “marines”, apparati di cui produsse varie centinaia in pochi anni, migliorandone anche alcune prestazioni; per esempio le antenne (Microlambda progettò e realizzò nello stabilimento di Fusaro diverse varianti migliorative tra le quali la sostituzione dell'antenna originale con una antenna molto più grande a “cosecante quadrata modificata”). Cominciò a produrre fin dall'inizio anche radar per applicazioni civili, in particolare per la navigazione delle navi medio-grandi, inizialmente ancora su licenza Raytheon (in effetti, come direttore di Microlambda Calosi dovette interrompere la produzione di radar per la marina italiana per far posto al TPS 1 D). Ma la lungimiranza del professor Calosi puntò da subito ad un obiettivo molto più ambizioso, che pochissimi altri in Italia ed in Europa si sentirono o furono capaci di perseguire in condizioni analoghe: creare in Italia gradualmente una capacità completamente autonoma di progettazione e produzione di radar, in competizione mondiale a quella della Raytheon; e come seguito sviluppare analoghe capacità in tutti gli altri campi e settori applicativi che potevano derivare dalle tante tecnologie di base che concorrono a costituire i radar. Nel 1954, chiuso brillantemente il contratto per la Marina statunitense e concluso il grosso sforzo, si manifestano opinioni diverse: Calosi e Bardelli intendono progettare e sviluppare nuovi apparati (furono presi contatti con la Contraves, del gruppo svizzero Oerlikon Bürle) ma le divergenze tra le strategie di Finmeccanica e quelle di Calosi provocano assai presto il suo rientro negli USA, presso la Raytheon. Bardelli, con il collega Roberto Corbò, nell'aprile del 1956 – incoraggiato a distanza da Calosi – fonda lo Studio Tecnico di Consulenza (STC) a Roma, in via Tomassetti vicino alla via Nomentana, al quale si associano presto altri “transfughi” della

Microlambda, scontenti della gestione e dello scarso interesse all'innovazione di quella Ditta; tra i primi dei quali (in STC da agosto 1956) va citato il dr. Antonio Teofilatto<sup>39</sup>. Già dal mese di maggio lo Studio prende contatti con la Edison che presto avrà molti capitali da investire per via della nazionalizzazione dell'energia elettrica, e che rileva lo Studio a settembre 1956, assumendo Bardelli, Corbò e gli altri, e creando la Sindel, forte di 25 dipendenti dei quali 10 ingegneri; Bardelli, a partire da maggio, progetta un nuovo, efficiente radar di tiro e puntamento dell'artiglieria (dal nome interno Ugo, poi Orion 1A) per usi navali, che propone alla Contraves, produttrice di centrali di tiro. In soli sei mesi il radar è costruito e apprezzato dalla Marina e dalla Contraves, che lo adottano; la Edison costruisce lo stabilimento al Km 12,4 della via Tiburtina, che diviene sede della Sindel e sarà il nucleo della sede romana della Selenia. La Microlambda lamenta concorrenza sleale a dicembre 1956 e la polemica attraverso Finmeccanica raggiunge Calosi, che fa una visita in Italia per tornarvi definitivamente nel 1959.

Un ricordo di quegli anni è registrato da Francesco Musto:

Io ero stato assunto in *Microlambda* a novembre del 1956, pochi mesi dopo il grande esodo dei "transfughi", che includevano anche il professor Calosi; e che avevano appena fondato a Roma la *Sindel*, finanziati dalla Edison. Con la Sindel quindi noi in *Microlambda* per quattro anni, fino alla fusione ed alla nascita della *Selenia*, ci facemmo una dura concorrenza. La *Microlambda* per assumermi mi fece "ponti d'oro"<sup>40</sup>.

Il presidente ed amministratore delegato di *Microlambda*, Leone Mustacchi (che gode della piena fiducia di Finmeccanica), con grande lungimiranza capisce l'opportunità di un'alleanza con *Sindel*; nel frattempo è partito il grandioso programma *Hawk* della NATO, per il quale le Ditte Europee indicate dalla Raytheon produrranno su licenza le batterie missilistiche con relativi radar, e Calosi ne ha ricavato i finanziamenti per *Microlambda* e per la fabbrica palermitana di tubi da lui fondata, la *Elsi* (oggi, stabilimento di Selex Galileo). Così a inizio 1960 inizia la creazione della *Selenia*, fondata il 22 marzo 1960, con sede a Napoli, dalla fusione di *Sindel* e di *Microlambda*, con il nome di *SIPel - Società industriale prodotti elettronici SpA*; un successivo Atto notarile del 6 giugno 1960 registra la nascita di *Selenia Industrie Elettroniche Associate SpA*, con un pacchetto azionario così ripartito: 40% Finmeccanica, 40% Raytheon e 20% Edison. Mustacchi ne diviene direttore generale, Bardelli direttore tecnico. I dipendenti, nei due stabilimenti della Ditta, sono settecento: saranno circa quattromila nel 1970 e circa seimila cinquecento alla data del venticinquesimo anniversario (1985). Calosi, da poco tornato in Italia, ne diviene presidente ed amministratore delegato, e manterrà tale posizione per tutti gli anni '60. La figura di Carlo Calosi è stata

<sup>39</sup> Nato a Roma il 23 febbraio 1927, è progettista in *Sindel* e poi in *Selenia* dove già da metà anni '60 si occupa di tecnologie spaziali con il Satellite Test Vehicle (STV) per ELDO. Successivamente è responsabile del progetto Sirio.

<sup>40</sup> Musto 1990.

ricordata da Franco Bardelli e da Raffaele Esposito, Francesco Musto e Carlo Alberto Penazzi e in occasione della inaugurazione del Museo del Radar presso lo stabilimento del Fusaro di Selex Sistemi Integrati e della presentazione del libro *Il Navigatore. Vita nomade di Carlo Calosi* di Matteo Marchesini.

### Il consolidamento delle conoscenze Selenia e le crisi degli anni '70 e '90

Allo scopo di creare un unico soggetto industriale a partire da una realtà manifatturiera (Microlambda) e una orientata alla progettazione (Sindel), nasce quindi nel 1960 la Selenia, in grado di progettare (a Roma, nello stabilimento di Via Tiburtina) e produrre (presso lo stabilimento del Fusaro, vedi la Fig. 14) apparati e sistemi elettronici, in particolare radar. Essa si conquisterà presto fama mondiale grazie ai radar e sistemi di sorveglianza per applicazioni sia civili sia militari.

Nel 1961 la Selenia avvia lo sviluppo autonomo di una nuova linea di radar di controllo del traffico aereo. Pur partendo dall'esperienza di apparati realizzati ex-novo negli Stati Uniti (ad esempio l'ARSR-1<sup>41</sup>), considerato anche il rapporto diretto con l'azionista americano, la Selenia realizzò per il cliente di lancio svedese, il primo ATCR-2 in banda L (lunghezza d'onda di 23 cm) e con antenna G7, vedi la Figura 15, risultato alla fine diverso al 70% dall'apparato americano e di prestazioni adeguate agli standard dell'epoca. Il primo ATCR-2 sarebbe



**Figura 14.** Lo stabilimento Microlambda al Fusaro (per gentile concessione dell'ing. Franco Bardelli).

**Figura 15.** L'antenna G 7 (per gentile concessione dell'ing. Franco Bardelli).

<sup>41</sup> I radar per il traffico aereo sono indicati negli USA con le sigle ARSR (Air Route Surveillance Radar) per il controllo in rotta (rete delle aerovie) e ASR (Airport Surveillance Radar, dove il termine Airport è in realtà improprio) per il controllo nell'Area Terminale di manovra (TMA) intorno ad uno o più aeroporti.

stato installato con successo in Svezia presso l'Aeroporto di Bromma. In Italia l'Aeronautica Militare (che attraverso il suo Ispettorato Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo – ITAV – curava gli *Air Navigation Services* su tutto lo spazio aereo nazionale) decise di installare due sistemi ATCR-2 completi, rispettivamente presso Fiumicino e Milano Linate, operativi a partire dal 1967 fino all'inizio degli anni '90. Alla fine degli anni '60 su iniziativa di Calosi parte in Selenia il processo di diversificazione dei prodotti con formazione di strutture orientate al mercato, chiamate Divisioni.

Negli anni '70 la Selenia era arrivata ad essere la numero due al mondo per numero di aeroporti civili attrezzati e funzionanti coi suoi Sistemi di Controllo del Traffico Aereo (sistemi ATC), basati anzitutto sui suoi radar, che ne erano il prodotto principale e più originale. Al primo radar per il controllo del traffico aereo, l'ATCR 2 in Banda L a lungo raggio per controllo del traffico sulla rete delle aerovie, "figlio" del TPS 1 e dotato ancora di cancellatore MTI con tecnologia analogica (linee di ritardo a quarzo) seguì nel 1972/73, per il cliente svedese, il radar PS-810 in banda S per il controllo del traffico aereo militare, dotato di MTI digitale.

Negli anni immediatamente precedenti il 1980 ebbe luogo una importante gara internazionale, bandita dal governo dell'Unione Sovietica, per la fornitura e la messa in funzione di quattro impianti di Sistemi di Controllo del Traffico Aereo (Air Traffic Control, ATC) per la regione di Mosca in vista delle Olimpiadi: era una eccezionale occasione e dimostrazione di apertura verso l'occidente, ma anche di esposizione delle carenze esistenti. E naturalmente tutte le grandi aziende europee ed americane erano ansiose di partecipare e di aggiudicarsi la gara; in ballo in quel caso non c'era soltanto un importante contratto, ma l'occasione di introdursi positivamente in un enorme mercato nuovo, che era stato fino ad allora completamente chiuso o inaccessibile; era questo per le aziende occidentali il primo significato del "disgelo". Pur tenendo un basso profilo (o forse proprio grazie ad esso: ai Sovietici non piaceva mettere troppo in evidenza la loro dipendenza da tecnologie straniere per applicazioni così importanti e critiche riguardo la sicurezza) la Selenia vinse la gara entrando così nel ristretto gruppo (tre o quattro Ditte nel mondo) di fornitori di sistemi ATC. Nello stesso anno 1961 la Selenia iniziò lo sviluppo dei radar meteorologici col Meteor 200 TRM 1 C. Sempre all'inizio degli anni '60 furono lanciati i radar di tiro navali (RTN) della fortunata serie Orion il cui capostipite, l'ORION RTN 1A (vedi la Fig. 16) era stato sviluppato in Sindel dal gruppo dell'ing. Bardelli pochi anni prima. Ad essi si aggiungono i sistemi anticollisione navali – inizialmente su licenza Raytheon – della serie 1600, i radar militari di sorveglianza navale a lungo raggio con l'Argos 5000 (dal quale nei primi anni '70 nasce l'apparato di avvistamento terrestre a lungo raggio Argos 10 prodotto nel 1972-75 ed utilizzato nella difesa aerea nazionale). Cosa ancora più notevole, per l'aeronautica svedese fu sviluppato il radar di avvistamento terrestre a bassa quota Argos 2000 chiamato – in codice – "Paolo", con soluzioni tecniche assolutamente originali, prodotto in diverse unità nel 1964-71.

Nel 1966 parte il programma NADGE (NATO Air Defense Ground Environment), sistema di difesa aerea che integra le coperture radar delle nazioni europee aderenti alla NATO per coprire lo spazio aereo dalla Scandinavia alla

Turchia. Per la Selenia (si tratta, secondo Marchesini 2009, dell'ultimo grande colpo della Selenia di Calosi, la prima Ditta in Europa ad adottare la tecnologia digitale) costituisce l'ingresso nel mondo delle tecniche digitali e dei sistemi di calcolo automatico (viene sviluppato il primo computer Selenia, il GP-16). Negli stessi anni, con rapida progressione, l'elaborazione dei segnali radar viene svolta sempre di più per via numerica, con una logica cablata che inizialmente è una semplice trasposizione dei precedenti schemi analogici. Solo dopo una ventina d'anni (forse troppi) si passa con fatica alle architetture parallele e modulari già studiate nei primi anni '70 ma non applicate – anzi, criticate per una comprensibile ma non giustificabile resistenza interna all'azienda – e ai dispositivi programmabili (microprocessori, DSP, e successivamente FPGA). Nel 1973 nasce la “Divisione Informatica e Telecomunicazioni Civili (ITC)”, trasferita a Pomezia dal 1973/1974 e successivamente a Giugliano nel Napoletano, alla testa della quale viene posto nel 1975 un altro notevole toscano, Pier Francesco Guarguaglini<sup>42</sup>, precedentemente responsabile dell'Unità ABCS (Analisi di Base e Calcolo Scientifico) della Direzione Ricerche diretta da Aldo Gilardini<sup>43</sup>. La nascita in Selenia delle attività di informatica e telecomunicazioni civili all'inizio degli anni '70 è connessa agli eventi di fine anni '60 (il periodo dello Statuto dei Lavoratori e del '68) quando la Raytheon,



**Figura 16.** L'Orion, capostipite dei radar di tiro (per cortese concessione di Selex Sistemi Integrati).

<sup>42</sup> Pier Francesco Guarguaglini (Piero per gli amici), nato a Castagneto Carducci il 25 febbraio 1937, ingegnere elettronico e dottore di ricerca presso l'Università della Pennsylvania, assistente all'Università di Pisa dal 1961, in Selenia da febbraio 1963 (la sua prima attività è stata l'Analisi di Sistema) a novembre 1983, poi direttore generale delle Officine Galileo, successivamente amministratore delegato di diverse Società, dal 2002 presidente e amministratore delegato di Finmeccanica, cavaliere del lavoro dal 2004.

<sup>43</sup> Aldo Gilardini, nato il 16 agosto 1926 a Torino, laureato in ingegneria elettrotecnica al Politecnico di Milano nel 1948, libero docente in elettronica applicata, ha svolto attività di ricerca presso il CNR, l'Istituto Superiore del Ministero P.P.T.T. e il Massachusetts Institute of Technology. In Selenia dal 1957 al 1990, ne è stato Direttore Centrale per le Ricerche dal 1974 al 1986. Tra i diversi volumi da lui pubblicati, che includono il noto *Low Energy Electron Collisions in Gases* edito da J. Wiley (1972), l'autore di queste pagine desidera citare, avendo avuto il privilegio e il piacere di collaborare col prof. Gilardini, l'opera collettiva in due volumi *Tecniche e Strumenti per il Telerilevamento Ambientale*, edita da G. Galati e A. Gilardini e pubblicati negli anni 2000 e 2002 per la collana *Monografie Scientifiche* – Scienze della Terra del CNR. L'opera è stata pensata e voluta dal prof. Aldo Gilardini, il quale è purtroppo mancato il 23 agosto 2000 durante l'organizzazione e la messa a punto della versione finale.



**Figura 17.** Il radar di tiro navale monopulse coerente RTN 30 X (per cortese concessione di Selex Sistemi Integrati).  
**Figura 18.** Il radar di avvistamento terrestre tridimensionale RAT 31 SL (per cortese concessione di Selex Sistemi Integrati).

non troppo soddisfatta della crescente autonomia della sempre più agguerrita Selenia, non ebbe più fiducia in Calosi (anche per la questione Elsi, ben descritta in Marchesini 2009) e ridusse, fino ad annullarla nel 1969, la partecipazione azionaria. Il “cambio della guardia” avviene nel 1970. In tale anno il governo italiano decide di trasferire la Selenia nel gruppo STET – *Società Finanziaria Telefonica p.A.* (che nel 1997 diventerà Telecom Italia SpA), e l’ing. Marcello Biagioni viene nominato amministratore delegato al posto di Calosi, restando in carica Franco Bardelli e Leone Mustacchi.

La STET impone alcune scelte non sempre condivise dalla “vecchia guardia” quali la produzione di apparati di comunicazione e di supporto ai servizi telefonici. Nel 1975 parte il programma FDM con inaugurazione dello stabilimento di Giugliano nel 1977, nel 1978 presso Giugliano parte il programma TUT. Tuttavia permane l’innovazione, con sviluppo produzione nelle aree più consone alla natura dell’azienda: si ha la conclusione del NADGE, lo sviluppo dei sistemi e dei radar ATC, dei sistemi e dei radar navali (della serie di avvistamento, sigla RAN, e di inseguimento o “tiro”, sigla RTN, che passano dalla scansione conica del modello 10X alla tecnica *monopulse* (che negli anni ’70 ed ’80 si sviluppa con gli RTN 20X, RTN 30X – che è stato in servizio sulla navi di diverse marine militari per oltre un ventennio – e RTN 25X) e lo sviluppo dei nuovi radar terrestri di avvistamento (sigla RAT) tra i quali i nuovi radar capaci di fornire anche la

misura della quota del bersaglio, chiamati perciò *tridimensionali* o 3D, primo dei quali il RAT 31 S (radar 3D “Medium Range” in banda S capostipite di una lunga e fortunata generazione di apparati che include la versione Long Range 31 SL e quella – standard NATO – in banda “D” cioè L, vedi le figure 17, 18 e 19).

Pur con il nuovo a.d., negli anni '70 permane l'impostazione aziendale dovuta a Calosi ed a Bardelli, con il gruppo dirigente da loro costruito che comprende persone (la lista è parziale) come, Domenico Formato, Paolo Piqué, Cesare Iorio, Marcello Franchetti Pardo, Osvaldo Abbondanza, il già citato Francesco Musto, e con Aldo Gilardini a capo della Direzione Ricerche. Alle strutture centrali come la Direzione Tecnica con il Laboratorio Sviluppo, diretto da Benito Palumbo<sup>44</sup>, si affiancano le strutture divisionali orientate al mercato: sistemi d'arma (missili), elaborazione dati e controllo del traffico aereo, informatica, telecomunicazioni ed attività spaziali, queste ultime descritte più avanti. Su un altro fronte, cresce il peso (trascurabile alle origini della Selenia) della "politica" e dei politici all'interno dell'azienda, come del resto avviene un po' in tutta Italia. A febbraio 1980 Franco Bardelli lascia la Selenia, dopo averne ispirato le scelte tecnologiche e le strategie per un ventennio.

All'inizio degli anni '90, con la caduta del Muro, la dissoluzione dell'Unione Sovietica e i conseguenti sconvolgimenti geopolitici, entra in crisi l'intero settore industriale della difesa e con esso la Selenia, dove a ritmo più lento che in passato vengono sviluppati nuovi radar, tra cui il RAN 20 S, radar terrestri 3D come il RAT 31 SL, ed il primo radar a Phased Array (passivo), l'apparato multifunzionale navale EMPAR, vedi la Fig. 20.



**Figura 19.** Il radar di avvistamento terrestre tridimensionale RAT 31 DL (per cortese concessione di Selex Sistemi Integrati).

**Figura 20.** Il radar navale multifunzionale EMPAR (per cortese concessione di Selex Sistemi Integrati).

<sup>44</sup> Benito Palumbo, nato a Castelluccio Valmaggiore (FG) il 01 agosto 1936, in Selenia è stato responsabile prima della progettazione antenne e poi dell'intera progettazione specialistica (Laboratorio Sviluppo): antenne, microonde, circuiti a media frequenza, circuiti video e digitali, elaboratori dedicati.

La Selenia compete direttamente, sul mercato mondiale dei radar e dei sistemi che usano i radar, con le due principali realtà europee, la Thompson – CSF (poi Thales), erede della scuola francese, e la Marconi Electronic System, erede della scuola inglese – alle quali si è accennato precedentemente. Nel 1990 la Selenia si fonde con l’Aeritalia, azienda leader dell’industria aerospaziale italiana. L’operazione dà vita ad una nuova società chiamata Alenia, attiva nei settori aeronautico, radar, navale, sistemistico, missilistico, spaziale, motoristico aeronautico. Alenia cresce rapidamente e alla fine degli anni ’90 viene suddivisa in due aziende distinte: Alenia Aerospazio, per la progettazione e la costruzione di velivoli e sistemi spaziali, e Alenia Difesa. Nel 1999, nasce Alenia Marconi Systems (ragione sociale poi abbreviata nella sigla AMS), società con partecipazioni paritetiche di Finmeccanica e GEC-Marconi. Pochi mesi dopo la Marconi viene rilevata dalla British Aerospace, colosso dell’aerospazio e difesa che, in seguito all’unione con GEC-Marconi, assume la denominazione di BAe Systems. La fusione crea una non banale evoluzione dei modelli organizzativi provenienti da Selenia/Alenia e delle regole di comportamento del personale, dirigenti inclusi<sup>45</sup>. Nel 2005 la Finmeccanica di Piero Guarguaglini rileva il 100% delle azioni italiane di AMS e nello stesso anno nasce l’erede della storica Selenia col nome di Selex Sistemi Integrati che presto si dà una nuova missione, quella dei “grandi sistemi” (all’anglosassone, *systems of systems*).

### Dai radar terrestri ai radar spaziali: l’avventura del SAR nazionale

È assai significativa, per lo sviluppo dei radar spaziali (radar ad apertura sintetica SAR, radar altimetri per satelliti di telerilevamento, radar per le sonde dello spazio profondo) la storia delle attività spaziali, che vanno inquadrare nel contesto nazionale ed internazionale e con le pietre miliari:

- 1959 (8 Settembre): nasce la *Commissione per le Ricerche Spaziali* (CRS) del CNR presieduta da Luigi Broglio; un anno dopo, in aprile, viene firmato il primo accordo di collaborazione scientifica tra CRS e NASA, e l’anno seguente (1961) nasce Telespazio;
- 1968 inizia il programma *SIRIO* (*Satellite Italiano per la Ricerca Industriale Operativa*), un satellite sperimentale comunicazioni nella gamma dei 12 e dei 18 GHz;
- 1971 (fine): il programma Sirio è gestito dal nuovo *Servizio Attività Spaziali* (SAS) del CNR;
- 1977 (25 agosto): Sirio è lanciato da Cape Canaveral dopo la gestazione di 10 anni e l’imponente spesa di 90 miliardi di lire;

<sup>45</sup> Commento dell’ing. Musto (2001), da Sito Web: “secondo me è un fatto positivo che il nocciolo più critico e pregiato della Selenia sia oggi praticamente gestito dalla Marconi inglese: ci serve lo straniero. La Marconi è sicuramente un’azienda seria e competente, e capace di sviluppare tutte le potenzialità esistenti, e ‘fare cultura’, anche verso i nostri ‘strateghi’ politico-industriali”.

- 1979 (25 ottobre): approvazione del *Piano Spaziale Nazionale* da parte del *Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica* (CIPE) con allocazione di 200 miliardi di lire per le attività spaziali nel quinquennio 1979–83, dei quali 98 per i primi tre anni;
- Fine anni '70 – inizio anni '80:** l'Italia partecipa a programmi ESA di telerilevamento, quali *ERS-1*, un satellite per il telerilevamento radar;
- 1988 (30 maggio): viene costituita l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

Per quanto riguarda i radar basati nello spazio, il primo sistema per applicazioni civili è il *Seasat*, sviluppato dal Jet Propulsion Laboratory (JPL) e lanciato il 26 giugno 1978; a bordo, insieme ad altri sensori (Radar – Altimetro, Scatterometro, Radiometro a Microonde) il SAR in banda L (23.5 cm) con polarizzazione HH, puntamento del fascio (largo  $1^\circ \times 6^\circ$ ) a  $20^\circ$  dalla verticale; benché concepito per monitoraggio oceanico, il SAR del *Seasat* ha prodotto interessanti immagini radar della superficie terrestre nei soli tre mesi del suo funzionamento, ed è il capofila di una serie di SAR con caratteristiche sempre più complesse: multifrequenza, multi polarizzazione, interferometria, modi *Scansar wide swath* e *Spot light*,....., con capacità di estrarre informazioni ambientali di numero e qualità via via crescente.

In Selenia le attività spaziali cominciano con la Divisione Spazio che nel 1983 diviene una nuova Ditta, controllata dalla Selenia: la Selenia Spazio SpA, poi Alenia Aerospazio divisione Spazio e subito dopo Alenia Spazio (1990), società del gruppo Finmeccanica, specializzata nel realizzare componenti, sottosistemi e sistemi per missioni spaziali. Nel 2005 la Alenia Spazio si fonde con l'azienda francese Alcatel Space dando vita a una nuova società denominata Alcatel Alenia Space (AAS) avente in Francia e in Italia la maggior parte delle sue attività progettuali e produttive. Il 5 aprile 2006 Alcatel decide di vendere la sua partecipazione in Alcatel Alenia Space al gruppo Thales. L'operazione va a buon fine il 10 aprile 2007 con la costituzione di Thales Alenia Space per la componente di manifattura spaziale, partecipata per due terzi del gruppo Thales e per un terzo del gruppo Finmeccanica (ed articolata nelle due aziende TAS-I e TAS-F, rispettivamente di diritto italiano e francese), mentre la componente di servizi viene gestita con la società Telespazio, per due terzi del gruppo Finmeccanica e per un terzo del gruppo Thales.

Le attività di sviluppo di radar spaziali in Selenia iniziano negli anni '80 con il progetto di un radar ad apertura sintetica (SAR) in banda X per lo Space Shuttle, sotto l'egida del SAS / CNR e su fondi del Piano Spaziale Nazionale, dal quale si origina il SAR-X (o X-SAR) sviluppato in collaborazione con la tedesca Dornier che, come sistema integrato Shuttle Imaging Radar SIR-C/X-SAR, vola in aprile del 1994 con la Missione STS-59 (e successivamente con la missione STS-68, dal 30 settembre all'11 ottobre 1994) dello Shuttle Endeavour. Il programma di radar d'immagine (SAR) spaziali tedesco risale agli anni '80 con l'esperimento Microwave Remote Sensing (MRSE) della prima missione SPACELAB nel 1983, della quale SAR-X costituisce il proseguimento. Operante alla lunghezza d'onda dei 3,1 cm e nella polarizzazione VV, questo SAR, sebbene privo della capacità polarimetrica del SIR-C, costituisce un importante complemento al SIR-C costruendo un sistema a tre bande (L, C e X). Un esempio

di prodotto è l'immagine della regione di 20 x 17 km attorno Firenze, presa il 14 aprile 1994, con il Nord nella direzione in alto a sinistra dell'immagine, dove si notano l'Arno, il Ponte Vecchio e la stazione di S. Maria Novella come grosso blocco scuro a forma di V al centro, vedi la Figura 21.

Al programma X-SAR e alle citate missioni SRL-1 di aprile 1994 e SRL-2 di ottobre 1994 si aggiungono, per Alenia Spazio: i radar-altimetri di ERS-1 (1991) e di ERS-2 (1995), la sonda Cassini con lo strumento *Titan radar mapper* sviluppato assieme al JPL (1997), la missione Shuttle Radar Topography (SRTM) del 2000, con interferometria nella singola orbita, l'altimetro RA-2 per Envisat del 2002, la sonda MARS EXPRESS (2003) e Mars Reconnaissance Orbiter MRO (2005) con *radar sounder* (ShaRad: *Shallow Radar*) per l'analisi *sub surface*, e infine il COSMO SkyMed (2005) descritto di seguito.

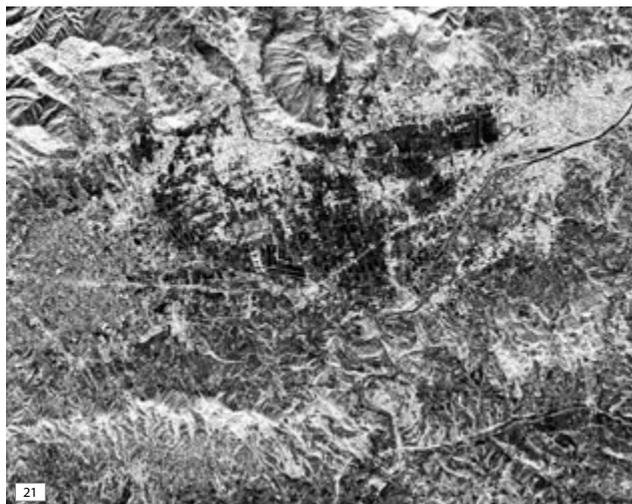
Dopo il SAR-X, Alenia Spazio, poi TAS-I, ha intrapreso lo sviluppo di Cosmo SkyMed, un SAR "tutto italiano" in banda X, stavolta con antenna a *phased array* attivo (SAR-X aveva un'antenna a guida d'onda fessurata, con puntamento meccanico del fascio) per uso duale, finanziato dall'ASI e dal Ministero della Difesa. Il radar ha piene capacità polarimetriche, essendo disponibili i segnali HH, VV, HV, VH, e può operare in modalità interferometrica. Il sistema COSMO SkyMed si basa su una costellazione di quattro satelliti identici, in grado di effettuare fino a 450 riprese al giorno della superficie terrestre, pari a 1800 immagini radar, ogni 24 ore con grande flessibilità di utilizzo: in modalità *spotlight* (concentrandosi su un'area di pochi km quadrati, con risoluzione fino al metro per gli usi civili e sotto il metro per le applicazioni militari), *stripmap* (osservando una striscia continua di superficie) o *ScanSAR* (coprendo una vasta regione di 200 km di lato). I tempi di risposta vanno da 72 ore quando si opera in condizioni di *routine*, fino a meno di 18 ore in condizioni di emergenza ovvero in alcune zone del globo. Una sintesi delle diverse modalità di funzionamento è mostrata in Tabella 2.

Tabella 2. Modi Operativi di Cosmo-SkyMed (per gentile concessione di TAS-I).

	HIMAGE	PINGPONG	SPOT#2	WideRegion	HugeRegion
Dimensione (km x km)	40 x 40	30 x 30	10 x 10	100 x 100	200 x 200
Risoluzione (m x m)	3 x 3	15 x 15	1.0 x 1.0	30 x 30	100 x 100
Immagini al giorno	375	375	75	150	75
Agilità	-	-	4 immagini In 300 km	-	-
Regione di accesso	20°-59.5° > 600 km	20°-59.5° > 600 km	20°-59.5° > 600 km	20°-59.5° > 600 km	20°-59.5° > 600 km

Il primo satellite della costellazione, detto COSMO SkyMed 1, è stato lanciato il 7 giugno 2007 dalla base californiana di Vandenberg, con il vettore Boeing Delta II. Il secondo satellite è stato lanciato il 9 dicembre 2007 dalla

stessa base con il medesimo vettore. Il suo segnale è stato acquisito un'ora e 5 minuti dopo il lancio e viene ricevuto dalla stazione del Fucino, gestita da Telespazio. Il terzo satellite della serie è stato lanciato con successo il 25 ottobre 2008 dalla stessa base. Il quarto lancio, con completamento della costellazione, è avvenuto alle 3,20 del 6 novembre 2010 (ora e data italiane). Un esempio di immagine ad alta risoluzione di Cosmo Skymed è mostrata nella Figura 22.



### “Non solo Finmeccanica”: lo sviluppo di Contraves, GEM, IDS

Un altro “prodotto” post-bellico della “scuola toscana del radar” è il gruppo di progettazione radar della Contraves SpA diretto dal livornese ing. Giuseppe Gommellini (Direttore degli Studi, cioè della R & S,) coadiuvato dal suo vice dr. Leonetto Bianucci, allievo del prof. Ugo Tiberio. Gommellini e Bianucci si formarono all'Accademia di Livorno: Gommellini nei calcolatori analogici e Bianucci nei radar. Gommellini entrò in Contraves nel '53 e condusse le attività di Ricerca e Sviluppo fino a fine '89, quando è subentrato l'ing. Umberto Fazio. Una volta in Contraves Gommellini convinse Bianucci a venire a Roma e quindi a lasciare il prof. Carrara con cui lavorava. Il gruppo ha operato a Roma dai primi anni '50 del secolo scorso. La svizzera Oerlikon Contraves<sup>46</sup> è una ditta nata nei primi anni del Novecento nota per aver prodotto mitragliere e cannoni antiaerei utilizzati nelle prima e Seconda Guerra Mondiale. La Contraves AG è stata fondata nel 1936 come società del gruppo Oerlikon Contraves con la missione dei sistemi di difesa a



**Figura 21.** Immagine SAR della zona di Firenze presa dal SIR-C/ X-SAR, aprile 1994 (immagine resa di pubblico dominio dal JPL).

**Figura 22.** Immagine SAR (Cosmo Skymed), centro di Roma (per gentile concessione dell'Agenzia Spaziale Italiana).

<sup>46</sup> Malgrado l'opinione corrente, gli svizzeri sono a volte fantasiosi, come dimostra la scelta del nome, con genesi latina: Contra-Aves = Anti-Aerea.



**Figura 23.** La prima sede italiana della Contraves, in Roma (per cortese concessione di Rheinmetall Italia).

**Figura 24.** Gli stabilimenti Contraves in Roma: (a) anni '50, Via Tiburtina; (b) anni '80 e successivi, Via Affile (per cortese concessione di Rheinmetall Italia).

**Figura 25.** Il radar in gamma millimetrica per applicazioni aeroportuali (a) l'apparato in funzione a Venezia (b) un'immagine dell'aeroporto di Venezia: si nota, sulla Taxiway, un aeromobile con la sua ombra elettromagnetica, e sulla destra, la serie di cartelli all'inizio della laguna (foto di G. Galati).

corto raggio. Nel 1952 sono iniziate le attività Contraves in Italia, presso la sede romana di Lungotevere delle Armi 12 (vedi la Fig. 23).

Nel 1954 è inaugurato lo stabilimento di via Tiburtina zona Ponte Mammolo (demolito molti anni dopo per costruire la sede romana di Telespazio), dove

la Contraves si trasferisce (Fig. 24a) e successivamente, nel 1978 si inaugura il nuovo, grande stabilimento di Via Affile (sempre nella “Tiburтина Valley”), vedi la Fig. 24b, con il trasferimento completo delle attività nel 1979/1980; in questa decade l’occupazione arriva a ben 1200 unità di personale. Nello stesso anno nasce il settore Spazio della Contraves; tra la fine degli anni ’80 e l’inizio degli anni ’90 ha luogo un grave periodo di crisi legato alle mutate condizione geo-politiche (ed al conflitto in Medio Oriente); nel 1993 la Ditta si fonde con *Oerlikon Italia* e diventa *Oerlikon Contraves Italiana* (OCI) SpA, poi *Oerlikon Contraves SpA*; nel 1999 è acquistata dal gruppo tedesco Rheinmetall e diviene *Rheinmetall Italia SpA*, dall’inizio del 2009 parte del gruppo Rheinmetall Air Defense.

La situazione di “radar house” del gruppo (il primo radar fu consegnato intorno al 1958) ha fatto nascere e crescere in Contraves le conoscenze necessarie allo sviluppo di radar a corto raggio (ordine delle decine di km) capaci di operare in ambienti con forti echi indesiderati o “clutter” e con disturbo elettronico o “jammer”, tra le quali quelle relative alle tecniche Doppler (uso della FFT), al Pulse Doppler, alla tecnica Monopulse e all’inseguimento di precisione, alle microonde, specialmente nella banda X che è di gran lunga la più usata (ma non l’unica: esistono sviluppi nelle bande C, Ku e W oltre che nelle banda L per l’IFF). Riguardo alla banda W, va citato il radar di tiro degli anni ’90 operante alla lunghezza d’onda sui 3 mm per inseguimento a bassa e bassissima quota, in ausilio alla Banda X, e successivamente, con hardware parzialmente derivato dal precedente, il radar “millimetrico” – poi chiamato SMART – per il controllo della superficie aeroportuale. Tale apparato fu sviluppato e provato<sup>47</sup> all’aeroporto di Venezia nei primi anni del Duemila sulla base di uno studio dell’Università di Roma Tor Vergata, vedi la Fig. 25.

I sensori per le centrali di tiro contro minacce aeree, a corto raggio e bassa quota, sono il prodotto principale della Ditta fin dagli anni ’50, sia per applicazioni terrestri che navali. Le prime centrali, prodotte in oltre un migliaio di unità dagli anni ’50 agli anni ’60 e oltre, sono il *Superfledermaus* e la CT 40 (Fig. 26) per l’Esercito, con le tecnologie di allora: trasmettitore a magnetron, scansione conica. I calcoli sono svolti con mezzi analogici (condensatori di cal-



**Figura 26.** La centrale di tiro antiaereo per l’esercito CT 40 (per cortese concessione di Rheinmetall Italia).

<sup>47</sup> A cura di un’Associazione Temporanea di Scopo costituita tra Università “Tor Vergata”, Thales ATM (Gorgonzola, Milano) ed Oerlikon Contraves Italia.



27



28

**Figura 27.** La centrale di tiro navale Vitex, derivata dal Superfledermaus (per cortese concessione di Rheinmetall Italia).

**Figura 28.** Il sistema ADATS (per cortese concessione di Rheinmetall Italia).

colo). Negli anni '60 e '70 la Contraves sviluppa autonomamente il Vitex, (Fig. 27) sistema radar navale derivato dal Superfledermaus, e il radar di scoperta a corto raggio (20 km) LPD 20 con trasmettitore a Klystron; hanno luogo le prime applicazioni delle tecniche digitali. Negli anni '70 ed '80 avviene lo sviluppo, su licenza Ericsson (e il miglioramento) del diffusissimo *Skyguard*, sistema carrato di ricerca ed inseguimento per guida delle armi antiaeree balistiche e missilistiche (tra queste ultime, l'Aspide). Nel 1979 inizia lo sviluppo di radar coerenti, a TWT, con agilità di frequenza e di PRF, impulsi codificati (*pulse compression*), tra i quali l'ADATS di ricerca (Fig. 28), primo della Ditta ad usare massicciamente le tecniche digitali, il cui prototipo cominciò a funzionare nel 1982, e il X-BTR di inseguimento per usi navali.

Tra i prodotti recenti, oltre al carrato Shorar (Fig 29) e allo Skyshield, al già citato radar millimetrico e alla sua versione per la funzione FOD (Foreign Object Detection) sulle piste e sui raccordi aeroportuali, sono notevoli il radar di tiro, tutto posto in parte mobile dietro l'antenna, X-BTR Mk 2 con trasmettitore a mini-TWT e il radar di sorveglianza X-TAR 3D (Fig. 30), un Target Acquisition Radar tridimensionale in banda X con 12

fasci in elevazione, *digital beam forming*, trasmettitore distribuito e diagramma di trasmissione programmabile, molto compatto e col ricetrasmettitore in parte rotante, particolarmente adatto al contrasto alle nuove minacce dei razzi e proiettili di mortaio.

Il quadro delle industrie radar nazionali si completa con due società private di origine più recente, la GEM e la IDS.

La prima, che ha sede a San Benedetto del Tronto, è stata fondata nel 1977 da Giuseppe Merlini (nato a S. Benedetto del Tronto il 9 agosto 1945, attuale titolare ed amministratore), il quale all'epoca si occupava della manutenzione dei radar di navigazione dei numerosi pescherecci della zona (S. Benedetto del Tronto è uno dei principali porti europei per la pesca) e con notevole spirito imprendi-

toriale pensò di produrre in proprio e vendere quei non complicati e molto diffusi apparati. La GEM è cresciuta fino ad occupare oltre trecento persone nei settori dei sistemi per la sicurezza della navigazione marittima, dei radar di navigazione per imbarcazioni civili e militari e radar costieri per il *Vessel Traffic System (VTS)* – dei quali oltre 35 sono funzionanti in Italia per il VTS nazionale – e per la sicurezza costiera. Prodotti recenti sono il sistema a lungo raggio *Sea Falcon*, con ricetrasmittitore in banda X da 50 kW a diversità di frequenza, accoppiabile alle antenne da 19 piedi (circa 5,8 metri di larghezza), da 21 piedi (circa 6,4 metri) ad alto guadagno a singola o (per gli ambienti con molto clutter) a tripla polarizzazione, e il sistema di sorveglianza marittima a medio e corto raggio ed alta risoluzione a doppia banda, X e Ka. Un prodotto per scopi militari o paramilitari (*Security*) è il radar a stato solido SENTINEL-200 con capacità di tracciare fino a 1000 bersagli.

La IDS – Ingegneria dei Sistemi è stata fondata – e presieduta fino all'inizio del 2010 – dall'ing. Franco Bardelli, il quale, lasciata la Selenia a febbraio 1980, crea la nuova Società con l'obiettivo di realizzare nuove capacità innovative, facendo leva su competenze altamente specialistiche (elettromagnetismo, elaborazioni dei segnali etc...) in quattro linee di attività e di mercato. Le prime tre riguardano prodotti Software (Framework Progettuali) per le Procedure di Navigazione Aerea e per il controllo e la capacità di simulazione e di previsione del comportamento elettromagnetico nel campo navale, aeronautico-spaziale ed aeroportuale. A titolo di esempio è nato un Laboratorio Radar Cross Section con capacità di simulazione, previsione, interpretazione e misura. La quarta linea di attività fa leva sul radar come sensore per indagini non distruttive (*Ground Probing Radar, Trough the Wall Radar, ecc.*): un aspetto del radar molto diverso dai sensori tradizionali e con una grande dinamica applicativa. In tale settore la IDS già dagli anni



**Figura 29.** Il sistema Shorar (per cortese concessione di Rheinmetall Italia).

**Figura 30.** Il radar tridimensionale di sorveglianza X-TAR 3D (per cortese concessione di Rheinmetall Italia).



**Figura 31.** Radar interferometrico ad apertura sintetica IBIS della IDS (per gentile concessione della IDS SpA).

è del tipo ad Apertura Sintetica basato a terra, cioè lo spostamento del sensore avviene mediante traslazione su una guida (Fig. 31); la variazione della fase, per ogni pixel dell'immagine, permette di rilevare con precisione sub-millimetrica<sup>48</sup> i movimenti della superficie osservata, che nel caso delle cave di pietra a cielo aperto sono indicativi di imminenti frane e cadute di massi.

La Società oggi ha oltre 400 persone ed ha come suo obiettivo l'esportazione, sono nate quattro Società: IDS UK, IDS North America in Canada, IDS Australasia in Australia, IDS Brasile. I prodotti IDS hanno clienti in circa 35 paesi.

### Alcune considerazioni sugli sviluppi del radar

Dalla precedente, sintetica descrizione degli sviluppi dei sistemi di identificazione, navigazione e guida nel corso della Seconda Guerra Mondiale e dei successivi sviluppi nazionali ed esteri nel dopoguerra e nei periodi successivi, risulta che i concetti fondamentali e le principali architetture per i radar (e per la difesa elettronica) sono stati sviluppati con grandissima efficacia e tempestività sotto la spinta delle esigenze belliche. Si è visto che risalgono agli sviluppi della Seconda Guerra Mondiale concetti e metodi come il *beam splitting* per l'inseguimento, su cui si innesta il *Monopulse*, la scansione elettronica e le antenne a *Phased Array*, i radar bistatici e passivi, l'agilità di frequenza come *anti-jammer*, l'analisi nel dominio della frequenza Doppler (e il filtraggio MTI) per discriminare echi indesiderati come il *Chaff*, la cooperazione di radar di avvistamento (acquisizione di bersagli) e tiro (inseguimento continuo e preciso dei bersagli), e altri ancora, che in larga misura mantengono la loro validità anche oggi.

Fondamentalmente, dal dopoguerra in avanti questi concetti sono stati 'rivisitati' alla luce delle nuove tecnologie che si rendevano via via disponibili e, per le

'80 ha sviluppato i RIS (Radar per l'Ispezione del Sottosuolo), apparati di tipo GPR (Ground Probing Radar) inizialmente commercializzati per la localizzazione dei servizi (cavi e tubi) sotto il manto stradale. È seguito lo sviluppo di apparati "Trough the Wall Radar" e di radar terrestri ad apertura sintetica. Un esempio di questi ultimi è il radar IBIS, in banda Ku, che

<sup>48</sup> Mecatti et al. 2010.

applicazioni militari, dell'evoluzione della minaccia. Fanno eccezione pochissimi elementi realmente nuovi rispetto alla Seconda Guerra Mondiale, tra i quali il SAR (Synthetic Aperture Radar) che fu utilizzato dagli statunitensi durante la Guerra Fredda, dagli anni '50 in poi, per monitorare l'Unione Sovietica<sup>49</sup>.

Il fervore della ricostruzione post-bellica ha fatto nascere e crescere in pochi anni (tra la fine degli anni '40 e l'inizio dei '50), ben quattro industrie italiane o comunque basate in Italia (SMA, Microlambda, Sindel, Contraves) capaci di sviluppare ex-novo radar di prestazioni avanzate e caratteristiche innovative, grazie alla preparazione all'impegno di tutto il personale e in particolare di quelle persone straordinarie, delle quali "si è perso lo stampo", che sono state ricordate – almeno in parte e per quanto possibile – in queste pagine. Molte di esse, come si è visto, hanno tratto giovamento dagli insegnamenti di Tiberio e di Carrara: lo stesso ing. Bardelli dopo la laurea ebbe dall'Accademia Navale l'incarico di assistente di Ugo Tiberio. Va anche osservato che nel primo dopoguerra, a fronte dell'importante e crescente contributo industriale, quello delle università ed enti pubblici di ricerca, così significativo prima e durante la guerra, sembra affievolirsi, limitandosi in sostanza alla didattica e alla formazione avanzata. Tale situazione cambierà solo a partire dagli anni '70 ed '80, che vedono un rinnovato interesse di alcune Sedi universitarie, particolarmente nell'Italia centrale (dove maggiore è la presenza di industrie radaristiche) nelle teorie e tecniche radar e nel telerilevamento attivo a microonde, con significative collaborazioni Università-Industria-Enti pubblici.

Conclusa la fase del dopoguerra, le aree di maggiore sviluppo delle tecniche e dei sistemi radar, sia in Italia che all'estero, negli anni '60 e '70 hanno riguardato:

- catene ricetrasmittenti sufficientemente stabili per una ottima prestazione MTI, in grado di consentire la rivelazione di bersagli aerei in presenza di forti echi fissi; i cancellatori MTI inizialmente analogici, furono poi realizzati con tecniche numeriche;
- sistemi di inseguimento precisi e relativamente immuni ai disturbi con tecnica *monopulse*;
- radar avionici con capacità MTI e *pulse doppler*;
- prime applicazioni dell'elaborazione numerica dei segnali (DSP, Digital Signal Processing)<sup>50</sup> e dell'elaborazione automatica dei dati radar;

<sup>49</sup> La piattaforma di questo primo SAR, l'aereo da ricognizione U-2, poteva volare fino a 70.000 piedi, oltre 21 km di quota; tale quota secondo gli *esperti USA* – che, come spesso capita, si sbagliavano – lo rendeva invisibile ai sistemi di sorveglianza sovietici. Lo stesso concetto del SAR restò rigorosamente segreto fino all'abbattimento sul territorio sovietico, il primo maggio del 1960, del U-2 pilotato da Francis G. Powers della CIA.

<sup>50</sup> Merrill I. Skolnik, l'autore del noto volume "Introduction to Radar Systems", indica quella della elaborazione numerica come una delle "rivoluzioni silenziose" della tecnologia: gli ingegneri erano troppo impegnati a svilupparla ed applicarla per propagandarla, e il passaggio dall'analogico al numerico, che nei sistemi radar avvenne ancor prima dei sistemi di telecomunicazione, avvenne "senza squilli di tromba", il che è degno di nota e, come si capisce se si ci si guarda un attimo intorno, assai raro.

- radar meteorologici, inizialmente privi delle capacità Doppler;
- radar ad antenna sintetica (SAR, *Synthetic Aperture Radar*) su piattaforma avionica e successivamente spaziale.

Nei decenni successivi hanno luogo numerosi sviluppi, sia di sistema (per le applicazioni civili e per la difesa) che tecnologici.

Tra i primi vanno ricordati:

- SAR per usi civili su satellite e su piattaforma aerea, multifrequenza e multi polarizzazione, praticamente in tutte le bande radar da UHF a Ka;
- radar meteo con capacità Doppler e polarimetrica nelle bande C, S e successivamente X;
- radar 3D (cioè capaci di localizzare in tre dimensioni) per la difesa aerea – nelle bande S ed L – che hanno sostituito la precedente “accoppiata” di un radar 2D a lungo raggio con un radar “quotometro” per la misura della quota della minaccia;
- radar anticollisione e ICC (*Intelligent Cruise Control*) per le autovetture, nelle gamme dei 22/24 GHz e dei 76/77 GHz.

Tra i secondi si citano:

- grande sviluppo delle tecniche di elaborazione numerica (Digital Signal Processing), tra le quali, gli elaboratori MTD (*Moving Target Detector*) e MTI adattivo; dai circuiti digitali dedicati si è passati a quelli programmabili, con uso, spesso congiunto, di microprocessori e di *chip* DSP e FPGA (Field Programmable Gate Array);
- tecniche di tracciamento (TWS: *Track-While-Scan*) completamente automatiche (ADT = *Automatic Detection and Tracking*) che utilizzano modelli sempre più complessi per la dinamica dei bersagli;
- tecniche di rice-trasmissione in gamma millimetrica (particolarmente intorno a 35, 76, 94 GHz); tecniche opto elettroniche<sup>51</sup> per la generazione di segnali ad alta stabilità;
- tecniche di estrazione automatica della posizione, “forza” ed estensione del bersaglio;
- tecniche di riconoscimento (identificazione/classificazione) dei bersagli (NCTR: *Non – Cooperative Target Recognition*);
- trasmettitori modulari allo stato solido, inizialmente per scopi militari e poi per scopi civili, prima nel contesto ATC (bande S ed L) e poi anche per navigazione e sorveglianza marittima (bande X e Ka per il corto raggio); lo stato solido in trasmissione ha portato all’uso della *pulse compression* anche nei radar civili;
- antenne a schiera (*phased array* con trasmettitore concentrato e *corporate feed* oppure, nelle versioni più sofisticate e costose, con moduli ricetrasmittenti;

<sup>51</sup> Zmuda e Toughlian 1994.

si assiste, parallelamente, ad una rapida riduzione del numero di nuovi radar con antenna a riflettore).

I radar multifunzionali per aerei militari (*airborne radar* o *nose radar*) dell'ultima generazione sono ormai del tipo AESA (*Active Electronically Scanned Array*), con centinaia, a volte migliaia (a seconda della missione e dello spazio a bordo degli aerei) di trasmettitori/ricevitori elementari chiamati moduli T/R o TRM.

Oltre che nel campo avionico, in molte altre applicazioni si è avuto un notevole sviluppo dei radar a *phased array* attivo; in esso, dal concetto di organizzazione dell'array in subarray, essendo analogico il trattamento del segnale all'interno di ogni subarray e digitale a valle di esso, con possibilità di formazione numerica dei fasci d'antenna necessari nelle varie fasi operative, si sta passando in alcuni domini applicativi a sistemi<sup>52</sup> in cui esiste un convertitore analogico-numeric per ogni elemento dell'array, e il trattamento pertanto è completamente numerico.

La tecnica *phased array* permette di progettare sistemi con capacità multifunzionali e di auto-adattamento all'ambiente, e aprono interessanti prospettive di integrazione in un'unica antenna delle tre funzioni di base: radar, guerra elettronica e comunicazioni (*shared aperture*) e di configurazioni fisiche non più planari ma "conformi" alla struttura della piattaforma<sup>53</sup>. È facile prevedere che questi nuovi tipi di apparato – ed altri ancora – saranno impiegati sugli UAV/UAS (*Unmanned Aerial Vehicles/Systems*, in italiano: Velivoli a Pilotaggio Remoto) in particolare nelle missioni ISR: Intelligence, Surveillance, Recognition.

La multifunzionalità è resa possibile anche grazie ad un opportuno progetto della forma d'onda trasmessa, che può utilizzare codifiche e modulazioni tipiche delle telecomunicazioni, come la OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*): i radar acquisiscono la capacità di trasmissione dati.

Nel campo civile, interessanti possibilità di integrare la sorveglianza degli aeromobili – in particolare di quelli non cooperanti – con la sorveglianza meteorologica e l'analisi della precipitazione sono offerte dallo studio teorico e sperimentale del sistema multifunzionale a *Phased array* – MPAR (Multifunction Phased Array Radar) in banda S, del quale negli USA è in funzione – come *test bed* – un prototipo derivato dal radar AN/SPY-1 del sistema di difesa navale AEGIS.

Ulteriore frontiera dei radar è quella dei sistemi multi-statici, con diversi trasmettitori e ricevitori distribuiti sul territorio, radar che attualmente va di moda indicare con la sigla MIMO (Multiple-Input, Multiple-Output)<sup>54</sup> e che furono anticipati da Bernard D. Steinberg con il concetto di *radio camera* ed i suoi notevoli tre volumi dei quali il più antico è *Principles of Aperture and Array System Design*<sup>55</sup>, e da molti altri tra cui V. Chernyak<sup>56</sup>.

<sup>52</sup> Odile 2010.

<sup>53</sup> Holpp 2006.

<sup>54</sup> Li e Stoica 2009.

<sup>55</sup> Steinberg 1976.

<sup>56</sup> Chernyak 1988.

Infine, si parla molto<sup>57</sup> di *Cognitive Radar*, vedi ad esempio Haykin 2010, metodologia con la quale il radar si coordina con il proprio ambiente operativo in modo automatico ed in tempo reale, ottimizzando i processi di trasmissione e ricezione; in realtà senza usare nomi così accattivanti, già dagli anni '80 i progettisti radar utilizzano mezzi, spesso chiamati “mappe” di *clutter* fisso (terra) o variabile (pioggia) per analizzare l'ambiente, in particolare il *clutter* e l'eventuale disturbo attivo o *jammer*, registrarne le caratteristiche rilevanti (intensità, velocità radiale ecc.) su apposite memorie (prima, magnetiche; oggi, del tipo RAM) organizzate in distanza, azimut ed eventualmente elevazione e ottimizzare di conseguenza: la ricezione (ad es. con inserimento di attenuatori), l'elaborazione (filtraggi Doppler ed altri), il processo di rivelazione, spesso con soglia adattiva (CFAR: *Constant False Alarm Rate*), e in alcuni casi la forma d'onda trasmessa.

In conclusione, diversi indicatori (numero di addetti, di lavori pubblicati, di partecipanti alle Conferenze ...) mostrano, pur nelle situazioni di crisi industriale e sociale come quella in cui l'Italia si trova oggi<sup>58</sup>, che permane un grande (e non del tutto previsto) sviluppo del radar in Italia e altrove. Forse questo può essere spiegato dall'aspetto *darwiniano*<sup>59</sup> del radar, che è in grado di cambiare continuamente per adattarsi alle diverse esigenze, senza dimenticare gli insegnamenti della sua lunga storia.

## Bibliografia

- Baroni Piero, 2007, *La guerra dei Radar. Il suicidio dell'Italia 1935/43*, Greco&Greco Editori.
- Barton David K., 2010, “History of Monopulse Radar in the US”, *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, March, Insert.
- Bekker Cajus, 1960, “Duelli nelle tenebre”. *Il Radar nella Seconda Guerra Mondiale*, Baldini Castoldi, Milano.
- Bernardi Paolo, Lampariello Paolo, Frezza Fabrizio (a cura di), 2007, *Ricordo di Giorgio Barzilai*, Borgia S.r.l..
- Bonhoeffer Dietrich, 1970, *Resistenza e resa: lettere e appunti dal carcere* Milano, Bompiani (ripubblicato dalle Edizioni Paoline nel 1989 con il titolo *Resistenza e resa: lettere e scritti dal carcere*).
- Bremer Frans O.J., van Genderen P. (ed. by), 2004, *Radar developments in the Netherlands*, Thales Netherlands.
- Brown Louis, 1999, *A Radar History of World War II*, Bristol and Philadelphia, Institute of Physics Publishing.
- Castioni Luigi C., 1987, “I Radar Industriali Italiani. Ricerche, ricordi, considerazioni per una loro storia”, *Storia Contemporanea*, vol. XVIII, n. 6, pp. 1221-1264.

<sup>57</sup> Sentendo o leggendo questi termini roboanti viene da pensare che si stia verificando, con riferimento alla Nota n. 50, una “pseudo-rivoluzione rumorosa”.

<sup>58</sup> Gregory 2010.

<sup>59</sup> Charles Darwin: “Sopravvive non il più forte, ma il più flessibile nel cambiamento”.

- Cellini Maurizio, Piccini Pietro, 1989, "S.M.A.A profile of radar activities", *Alta Frequenza* (English Edition), vol. 58, Mar.-Apr., p. 115-123.
- Chernyak Victor S., 1988, *Fundamentals of multisite radar systems: Multistatic radars and multiradar systems*, Gordon and Breach Science Publisher.
- Clark Gregory C., 1997, "Deflating British Radar Myths of World War II - A Research Paper Presented To The Research Department -Air Command and Staff College- in Partial Fulfillment of the Graduation Requirements of ACSC" AU/ACSC/0609F/97-3, March, [www.radarpages.co.uk/download/AUACSC0609F97-3.pdf](http://www.radarpages.co.uk/download/AUACSC0609F97-3.pdf)
- Commemorazione Marconiana di Stoccolma, 2009, [arlab.disp.uniroma2.it/Seminari/Stoccolma\\_2009\\_Galati\\_Radar%20History.pdf](http://arlab.disp.uniroma2.it/Seminari/Stoccolma_2009_Galati_Radar%20History.pdf)
- Comunicazione privata del prof. Franco Giannini, 13 e 15 settembre 2010.
- Comunicazione privata del prof. Giorgio Gerosa, 15 settembre 2010.
- D'Avanzo Giuseppe, 1990, *Radiazioni per Volare*, Science Technology History Editrice SaS, Undicesimo Capitolo.
- Franceschetti Giorgio, 2005, "Il Professor Gaetano Latmiral nel ricordo di un Suo allievo", *Quaderni della Società Italiana di Elettromagnetismo*, vol. 1, n. 1.
- Friedrich Jörg, 2004, *La Germania Bombardata. La popolazione tedesca sotto gli attacchi alleati 1940-1945*, Milano, Mondadori.
- Galati Gaspare, 2009a, *Teoria e Tecnica Radar*, TexMat, Roma.
- Galati Gaspare, 2009b, (coordinatore) Giornata di Studio "Lo sviluppo del Radar in Italia" organizzata dalla AICT tramite il Gruppo Tematico "Sistemi di Rilevamento, Monitoraggio e Navigazione" Roma, 18 giugno 2009 (copia delle presentazioni è disponibile ai Soci nella sezione riservata del Sito WEB della AICT; vedi anche Vizzarri 2009).
- Galati Gaspare, Lombardi Paolo, 1978, "Design and Evaluation of an Adaptive MTI", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-14, Nov., pp. 899-905.
- Gregory Tullio, 2010, *Cronache Marziane da un Paese che non c'è - Cinismo, disinteresse, volgarità*, "Il Corriere della Sera", 27 ottobre.
- Griffiths Hugh, 2010, "The Klein Heidelberg", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic System*, vol. AES 46, n. 4, Oct.
- Haykin Simon, 2010, *New generation of radar systems enabled with cognition*, IEEE Radar Conference, 2010, Arlington, USA, 10-14 May.
- Holpp W., 2006, "The future of radar has begun", *Military technology*, vol. 30, n. 7, pp. 100-102.
- [http://www.selex-si.com/SelexSI/IT/Corporate/chi\\_siamo/storia/index.sdo](http://www.selex-si.com/SelexSI/IT/Corporate/chi_siamo/storia/index.sdo)
- IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 2000, Jubilee Issue, October, vol. 15 n. 10.
- Klauder, Price, Darlington, Albersheim, 1960, "The Theory and Design of Chirp Radar", *Bell System Technical Journal*, vol. 39, n. 4, pp.745- 808.
- Li Jian, Stoica Petre, 2009, *MIMO Radar Signal Processing*, New York, J. Wiley & Sons.
- Lomaglio Delio, 2004, *Il radar in Italia- storia di un prodotto di eccellenza*, Massa Editore (disponibile anche in lingua inglese: *The Radar in Italy*, Massa Editore, 2006).

- Locatelli Luigi (a cura di), 2004, “Franco Bardelli. I Miracoli Tecnologici delle Piccole Imprese” [http://www.specchioeconomico.com/2004novembre/pers\\_del\\_mese.html](http://www.specchioeconomico.com/2004novembre/pers_del_mese.html)
- Lucidi Roberta, 1995, “Un’industria bellica del mezzogiorno: Il Silurificio Italiano dal 1922 al 1945”, *Società di Storia Militare - Quaderno*, pp. 161-199.
- Manasse R., 1995, “Range and velocity accuracy from radar measurements”, *MIT Lincoln Laboratory report*, pp. 312-326.
- Maragnani Laura, 2010, *I ragazzi del 76 - Vite parallele di Gustavo Stefanini e Sergio Ricci*, UTET.
- Marchesini Matteo, 2009, *Il Navigatore. Vita nomade di Carlo Calosi*, Torino, UTET Libreria.
- Marconi Guglielmo, 1922, “Radio Telegraphy”, *Proceedings of Inst. Radio Engrs.*, vol.10, pp. 215-238.
- Marcum J. I., 1960, “A statistical theory of target detection by pulsed radar”, *IRE Trans.*, vol. IT-6, pp 145-267.
- Mc Kinney J.B., 2006, “Radar: a Case History of an invention”, *IEEE AES Systems Magazine*, vol. 21, n. 8, part II.
- Mecatti Daniele et al., 2010, *Monitoring Open-Pit Quarries by Interferometric Radar for Safety Purposes*, Proceedings of the 7th European Radar Conference, EuRAD 2010, Paris, 29 Sept-1 Oct.
- Musto Francesco, 1990, *Storia delle Tecnologia Radar*, Torino, Bariletti Editore.
- Musto Francesco, 2001, “Puglia, radar e guerra fredda. Pensieri sulla storia di una grande avventura industriale e culturale: *la Selenia*”, <http://www.carlopelanda.com/theunedited/magusto/pugliaradareguerrafredda.htm>.
- Odile Adrian, 2010, “M3R Aesa Technology for Extended Air Defense” *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, August, pp 11-16.
- Price Alfred, 2009, *Guerra segreta nei cieli 1939-1945: misure e contromisure elettroniche nelle operazioni aeree*, Libreria Editrice Goriziana.
- Shannon Claude, 1949, “Communication in the Presence of Noise”, *Proceedings of the IRE*, vol. 37, n. 1, pp.10- 20.
- Stato Maggiore Marina, 1998, “L’insegnamento e l’opera di Ugo Tiberio”, Allegato al *Notiziario della Marina* n. 10, Ottobre.
- Steinberg Bernard D., 1976, *Principles of Aperture and Array System Design*, New York, J. Wiley & Sons.
- Swerling Peter, 1957, “Detection of fluctuating pulse signals in the presence of noise”, *IRE Trans.*, vol. IT-3, pp. 175-178.
- Swords Sean S., 1986, *Technical history of the beginnings of RADAR*, London, Peter Peregrinus – IEE, History of Technology Series 8 (poi London, The Institution of Engineering and Technology (IET), 2008).
- Tazzari Oreste, 1939, “Radiotelemetria”, *Rivista Marittima*.
- Tiberio Ugo, 1939, “Misure di distanza per mezzo di onde ultracorte (radio telemetria)”, *Alta Frequenza*, vol. 8, maggio.
- Tiberio Ugo, 1946, “Introduzione alla Radiotelemetria (Radar)”, Edizione Speciale della *Rivista Marittima*.
- Tiberio Ugo, 1951a, *Note di Radiotelemetria*, Livorno, Tipo-Litografia Accademia Navale, A.n. 10-39.

- Tiberio Ugo, 1951b, *Lezioni di Radiotelemetria*, Livorno, Tipo-Litografia Accademia Navale, A.n. 10-53.
- Tiberio Ugo, 1979, “Ricordo del primo radar navale italiano”. *L'Elettrotecnica*, vol. LXVI.
- Tiberio Ugo, 1979, “Some Historical Data Concerning the First Italian Naval Radar”, *IEEE Trans. AES*, vol. 5.
- Tiberio Ugo, 1988, “Studio sulla possibilità di utilizzare a fini militari gli effetti di riflessione delle onde ultracorte. Radiotelesmetro per il tiro notturno navale, aereo ed antiaereo (Rapporto segreto)”, in *L'insegnamento e l'opera di Ugo Tiberio*, Ed. Rivista Marittima.
- Turin George L., 1960, “An Introduction to Matched Filters”, *IRE Transactions on IT*, June, pp. 311-329.
- Uff. Storico della Marina Militare, 1957, *La Marina Italiana nella Seconda Guerra Mondiale: l'organizzazione della Marina durante il conflitto*, vol. XXI, Tomo I.
- Vizzarri Alessandro, *AICT*, 2009, sintesi del convegno AICT “Sviluppi del radar in Italia”, 18 giugno, Roma, [www.associazioneaict.it/asp\\_getfile.asp?f=944&gi=go&io=](http://www.associazioneaict.it/asp_getfile.asp?f=944&gi=go&io=).
- Watson, Raymond C. Jr., 2009, *Radar Origins Worldwide*, Trafford Publishing.
- Zmuda Henry, Toughlian Edward N., 1994, *Photonic Aspects of Modern Radar*, Artech House.



### L'inizio delle telecomunicazioni spaziali

La realizzazione dei primi satelliti artificiali terrestri per telecomunicazioni negli anni attorno al 1960 rappresentò una svolta epocale per lo sviluppo delle telecomunicazioni mondiali. Infatti la possibilità di stabilire collegamenti attraverso stazioni radio in orbita terrestre per comunicazioni sicure e di alta qualità tra punti qualsiasi della superficie terrestre, nonché di diffondere in modo semplice e diretto segnali d'informazione su aree vastissime del globo consentì un enorme sviluppo dei servizi di telecomunicazione, a partire dalla telefonia e dalla diffusione televisiva. Di fatto consentì per il nostro mondo l'introduzione della metafora del "villaggio globale". Un satellite in orbita può collegare con un solo ripetitore terminali terrestri con esso in visibilità, e può diffondere segnali di comunicazione su grandi porzioni della superficie terrestre senza incontrare ostacoli alla propagazione delle onde radio, almeno finché si utilizzano gamme di frequenza inferiori (circa) ai 10 GHz, soglia alla quale comincia a manifestarsi il fenomeno dell'assorbimento causato dalla pioggia.

Naturalmente la comunicazione mediante satellite era solo un'idea fintantoché non ebbe inizio l'era delle esplorazioni dello spazio con il lancio del primo satellite artificiale terrestre, lo *Sputnik* nel 1957. Già nel 1945 Arthur C. Clarke, tra l'altro anche famoso scrittore di fantascienza, aveva proposto, in un articolo<sup>1</sup> dal titolo "Extra-Terrestrial Relays" sulla rivista *Wireless World*, l'idea di collegamenti radio attraverso satelliti in orbita geostazionaria, cioè ruotanti sull'equatore in sincronia con la Terra (e quindi ad una altezza rispetto alla superficie terrestre di circa 36.000 km). Più tardi nel 1955 il noto ricercatore in scienza delle comunicazioni John R. Pierce, dei Bell Telephone Laboratories (U.S.A.), aveva illustrato in un suo contributo<sup>2</sup> dal titolo "Orbital Radio Relays" le possibilità offerte da satelliti in orbita attorno alla Terra, in specie per le telecomunicazioni intercontinentali. Solo nel 1956 era stato posato il primo cavo telefonico transatlantico sottomarino Transatlantic 1 (TAT-1) con capacità di 36 canali telefonici! In quegli anni cavi in rame sottomarini e sistemi radiotelefonici ad onde corte consentivano una capacità molto limitata di comunicazione transoceanica.

<sup>1</sup> Clarke 1945. La Figura 1 riporta la figura originale che nell'articolo illustra con chiarezza l'idea.

<sup>2</sup> Pierce 1955. Nell'articolo si discutono varie possibili configurazioni di sistemi di comunicazione con satelliti passivi o attivi e con vari tipi di orbite.

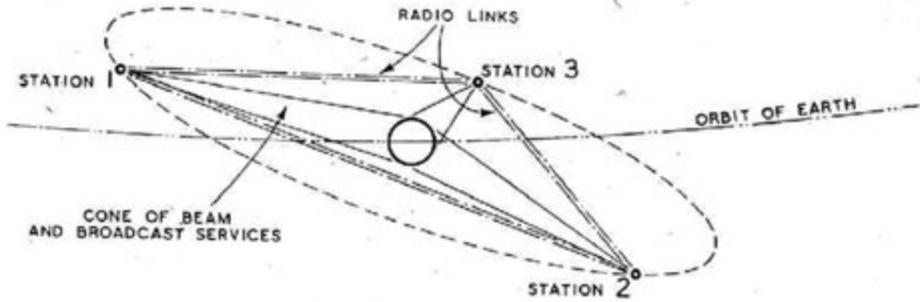


Figura 1. Copertura del globo mediante tre stazioni satellitari geostazionarie (da Clarke 1945).

Il lancio effettuato con successo in USSR nel 1957 del primo satellite in orbita, lo *Sputnik*, scatenò una corsa ai lanci di satelliti nello spazio in vista delle varie possibili applicazioni militari e civili. Si condussero vari esperimenti con satelliti passivi o attivi non stazionari in orbita bassa e con ridotte capacità di comunicazione, fino a che nel 1962 ebbero pieno successo due progetti di satelliti per telecomunicazioni, *Telstar* condotto dai Bell Telephone Laboratories (del gruppo AT&T American Telephone and Telegraph) e *Relay* promosso dalla NASA, l'ente spaziale pubblico statunitense.

*Telstar* è il primo satellite attivo per telecomunicazioni. Satellite all'incirca sferico con peso 77 kg e diametro 90 cm, lanciato in orbita ellittica intorno alla Terra con periodo di rotazione orbitale di circa 2 ore e stabilizzato per *spin* (cioè per la rotazione intorno al proprio asse longitudinale), richiedeva evidentemente a terra stazioni ricetrasmittenti in grado di inseguire la posizione orbitale del satellite e consentiva la comunicazione, per stazioni in vista col satellite, fino ad una capacità di 600 canali telefonici, operando nella gamma 4 GHz nella tratta in discesa verso terra e a 6 GHz in salita verso il satellite. Si apriva così la strada per comunicazioni radio efficienti e sicure attraverso gli oceani. Un ulteriore passo veniva compiuto l'anno successivo con il primo lancio riuscito in orbita geosincrona di un satellite, il *Syncom* che recava a bordo un trasponditore di comunicazioni (1963). Risolti i problemi di lancio in orbita e di controllo della posizione orbitale, la soluzione satellitare geostazionaria apparve allora la più conveniente e venne adottata per lo sviluppo delle reti civili di comunicazione satellitare, nonostante i problemi posti dalla grande lunghezza del collegamento radio (attenuazione del segnale e ritardo di propagazione).

*Telstar* e *Syncom* rappresentano l'innovazione tecnica che introduce lo sviluppo delle nuove reti di telecomunicazioni spaziali. A seguito della scelta americana di puntare direttamente sul mercato commerciale, viene creata nel 1964 una organizzazione internazionale intergovernativa per lo sviluppo delle comunicazioni civili satellitari a livello globale denominata INTELSAT (International Telecommunication Satellite Organization). Il primo satellite della lunghissima serie INTELSAT inaugura nel 1965 l'era delle comunicazioni satellitari commerciali. Si chiama *Early Bird* (INTELSAT I), ha una capacità di 240 circuiti telefonici tra Europa e Stati Uniti, e utilizza la banda C (4-6 GHz).

La rete INTELSAT diviene in breve capace di fornire una affidabile alternativa al collo di bottiglia dei cavi transatlantici. Nel 1969 INTELSAT, con la sua rete di satelliti geostazionari, realizza la copertura dell'intero globo. Seguiranno nei decenni successivi satelliti via via più avanzati con capacità di decine di migliaia di circuiti telefonici o decine di canali televisivi.

### I primi sviluppi delle telecomunicazioni spaziali in Italia (anni '60)

Alla fine degli anni '50, a seguito del lancio dei primi satelliti, si moltiplicano nel mondo studi e progetti di esperimenti e applicazioni basate su satelliti. In Italia possiamo rintracciare le prime attività legate alle telecomunicazioni spaziali negli studi sulle prospettive di ricerca e sviluppo nelle telecomunicazioni nell'ambito del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), nonché nella costituzione nel 1960 da parte delle aziende RAI e Italcable di una società apposita, Telespazio, che diventa concessionaria esclusiva del Ministero delle Poste e Telecomunicazioni per le comunicazioni via satellite (e in tal veste diventerà partner in INTELSAT in rappresentanza dell'Italia). Inoltre alcune attività vengono intraprese nel campo della comunicazione satellitare da parte di aziende attive nel settore della radiocomunicazione.

Il primo esperimento italiano è il collegamento con i satelliti *Telstar* e *Relay* avvenuto nel 1963 nella piana del Fucino da parte di una stazione ricevente progettata con Telespazio dai Laboratori della Magneti Marelli di Sesto S. Giovanni (MI) (Fig. 2).

Il progetto era stato intrapreso dal gruppo tecnico di Telespazio diretto da Piero Fanti e dal Laboratorio centrale della Magneti Marelli diretto da Francesco Carassa. Il Laboratorio Magneti Marelli aveva condotto, a partire dalla fine della Seconda Guerra Mondiale, ricerche e sviluppi di avanguardia nel campo dei ponti radio a microonde a grande capacità, sotto la guida di Francesco Vecchiacchi. Dopo la prematura scomparsa di Vecchiacchi nel 1955, la responsabilità dell'attività di ricerca e sviluppo era passata a Carassa e negli anni attorno al 1960 lo sforzo di sviluppo era concentrato sui ponti radio a microonde a grande capacità per collegamenti televisivi e multiplex telefonici (1800 canali e oltre, fino a 2700). Il Laboratorio, per le competenze e l'esperienza nelle tecnologie trasmissive a microonde, si ritrovava naturalmente attrezzato per affrontare i problemi dei collegamenti satellitari. Per questi si richiedevano infatti tecniche avanzate di modomodulazione e dispositivi a microonde particolarmente efficienti, quali ad esempio amplificatori a basso



**Figura 2.** Stazione per il collegamento con i primi satelliti per telecomunicazioni dalla piana del Fucino (1963).



**Figura 3.** Francobollo celebrativo per il progetto San Marco.

il primo satellite artificiale italiano, il San Marco 1, con un lanciatore americano, lo Scout, nel quadro di un accordo con gli Stati Uniti in campo spaziale. Con tale lancio l'Italia viene ad essere la prima nazione, dopo Russia e Stati Uniti, a disporre di una propria capacità completa di accesso allo spazio, utilizzata poi a partire dal 1967 per il lancio di piccoli satelliti scientifici nazionali da una piattaforma galleggiante equatoriale, il poligono San Marco in Kenia. La Figura 3 mostra il francobollo celebrativo emesso nel 1975 per il progetto San Marco.

Per quanto riguarda le applicazioni alle telecomunicazioni, nel 1964 il CNR istituisce una Commissione per lo studio e la promozione di attività di ricerca per le telecomunicazioni via satellite, nell'ambito della quale ha luogo una visita in USA da parte di Carassa, nel 1962 chiamato alla cattedra di Comunicazioni Elettriche presso il Politecnico di Milano, e Bruno Peroni professore all'Università di Roma La Sapienza. Nel quadro di questa attività nasce l'Impresa di ricerca sulle Telecomunicazioni mediante satelliti, cui partecipano gruppi universitari e centri di ricerca (Politecnici di Milano e Torino, Università di Roma, Pisa, Bologna, Genova, Istituto Elettrotecnico Nazionale G. Ferraris, Fondazione U. Bordoni) che sviluppano ricerche coordinate nell'area delle tecniche e dispositivi di trasmissione per collegamenti radio spaziali. Questa Impresa confluirà poi nel 1972 assieme ad altri gruppi di ricerca nel nuovo Gruppo nazionale CNR per le Telecomunicazioni e la Teoria dell'Informazione per il coordinamento delle attività di ricerca nelle telecomunicazioni presso università e centri di ricerca.

Nel corso di questi anni '60 Carassa, nell'ambito dell'attività del Laboratorio di Comunicazioni Elettriche che egli dirige al Politecnico di Milano, matura l'idea di un progetto di ricerca nuovo riguardante l'impiego di nuove frequenze per le comunicazioni radio satellitari, in considerazione anche del fatto che le

rumore per i quali il gruppo guidato in Magneti Marelli da Giovanni B. Stracca aveva prodotto notevoli risultati.

Sul fronte della ricerca in campo spaziale in generale si aprono attività di esplorazione e promozione presso organi del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Già nel 1959 viene creata una Commissione per le Ricerche Spaziali del CNR presieduta da Luigi Broglio, di cui fanno parte rappresentanti dei Ministeri interessati, dell'industria spaziale e della ricerca universitaria (Edoardo Amaldi, Nello Carrara, Corrado Casci, Mario Boella, Giampietro Puppi, Guglielmo Righini). Nel 1963 viene creato un Istituto del CNR per le ricerche spaziali per il coordinamento della ricerca di base e applicativa. Nel 1964, nell'ambito di un programma guidato da Luigi Broglio, viene lanciato

gamme utilizzate fino a quel momento (4 e 6 GHz) erano destinate prima o poi alla saturazione a causa del prevedibile sviluppo del traffico di comunicazioni a livello internazionale. Si trattava di esplorare la possibilità di uso di bande sopra la soglia dei 10 GHz, bande che presentavano ampie capacità di trasmissione ma anche problemi per la propagazione delle onde radio causati dai fenomeni atmosferici, in particolare la pioggia. Nasce da questo studio una proposta presentata al CNR nel 1967 per la sperimentazione di collegamenti via satellite in nuove gamme di frequenza (esperimento SHF, Super High Frequency). In una visione di lunga prospettiva appariva infatti necessario, per l'utilizzazione di nuove bande di frequenza per i futuri sistemi di comunicazione via satellite, acquisire una conoscenza statistica adeguata delle caratteristiche trasmissive dei collegamenti radio terra-satellite nelle nuove bande, essenzialmente le bande denominate Ku e Ka tra i 10 e i 30 GHz.

In campo industriale, in corrispondenza del grande sviluppo mondiale delle telecomunicazioni satellitari guidato soprattutto dalla serie di satelliti INTELSAT, aziende italiane sviluppavano una rilevante attività produttiva nel segmento dei satelliti per telecomunicazioni e in quello delle stazioni di terra. Le aziende GTE, SIT-Siemens e SIRTÌ attraverso il consorzio STS coprivano una percentuale di rilievo del mercato internazionale delle stazioni di terra mentre la Selenia iniziava alla fine degli anni '60 la fornitura di antenne satellitari per una lunga serie di satelliti del sistema INTELSAT.

In Europa si conducevano varie attività in campo spaziale a livello nazionale e fin dai primi anni '60 si erano formate organizzazioni europee per il coordinamento di tali attività, in particolare la European Launcher Development Organisation (ELDO) per lo sviluppo di un lanciatore comune europeo cui si affiancava la European Space Research Organisation (ESRO) per la ricerca di tipo fondamentale nello spazio. Nella serie di lanci sperimentali europei in ambito ELDO, il lancio ELDO-F9 prevedeva il trasporto in orbita di un carico costituito da un trasponditore per telecomunicazioni a 4-6 GHz progettato dall'azienda italiana FIAR, ma il lancio, avvenuto nel 1970, fallì. Sempre nell'ambito dei programmi ELDO fu avanzata da parte italiana la proposta di utilizzare il satellite di prova, previsto nell'ambito dello sviluppo del lanciatore EUROPA II (progetto ELDO-PAS), per la sperimentazione di canali radio satellitari nella gamma SHF secondo la proposta di Carassa. Tale progetto, dapprima approvato in sede europea, fu poi cancellato per sopravvenute difficoltà tecniche ed economiche. Con questa cancellazione vengono meno le speranze italiane di accreditarsi come leader in Europa nel settore della costruzione dei satelliti per telecomunicazioni ed in parallelo Francia e Germania decidono di dare priorità allo sviluppo di un lanciatore europeo ottimizzato per l'orbita geostazionaria, non più in sede ELDO, di cui anzi si chiede la chiusura, e contestualmente avviano un progetto di cooperazione bilaterale per lo sviluppo di un satellite di telecomunicazioni, il programma *Symphonie*.

### *Il progetto SIRIO*

Per effetto della cancellazione del progetto ELDO-PAS e su spinta del mondo scientifico e industriale, nasce allora l'idea di un programma nazionale,

condotto dal CNR, di ricerca e sperimentazione scientifica e tecnologica per le telecomunicazioni via satellite nella gamma SHF, e precisamente nelle bande attorno ai 12 e 18 GHz. Il programma, oltre all'obiettivo di ricerca scientifica sulle caratteristiche del canale radio sopra ricordato, si allarga a comprendere obiettivi tecnologici legati allo sviluppo dell'intero sistema di comunicazione via satellite, ad esempio dispositivi a microonde, e anche ad acquisire capacità industriali di progetto di sistema. Il SIRIO (da Satellite Italiano Ricerca Industriale Orientata) è un satellite geostazionario sperimentale per telecomunicazioni, stabilizzato per *spin*, di progettazione e costruzione italiana. Il programma incontra nel 1969 la preliminare approvazione del CIPE (Comitato Interministeriale Programmazione Economica) ed inizia il cammino per il finanziamento e la realizzazione fino alla messa in orbita del satellite.

### **I programmi nazionali ed europei dagli anni '70 al 2000 e lo sviluppo del progetto SIRIO**

Le attività spaziali europee si strutturano negli anni '70 sempre più in forma coordinata. Le attività delle già menzionate organizzazioni ELDO ed ESRO confluiscono nel 1973 nella nuova Agenzia Spaziale Europea (ESA) che promuoverà lo sforzo coordinato europeo nello spazio. La cooperazione franco-tedesca conduce nel 1974 al lancio dal Kennedy Space Centre in USA del *Symphonie*, primo satellite europeo per telecomunicazioni. Si tratta di un satellite geostazionario stabilizzato a 3 assi, operante nella gamma tradizionale già adottata da INTELSAT dei 4/6 GHz con a bordo 4 trasponditori a larga banda, e utilizzato principalmente per la sperimentazione di vari servizi di telecomunicazione.

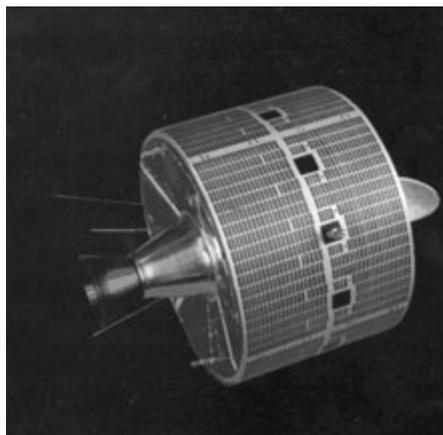
In Italia l'attività per le telecomunicazioni spaziali è concentrata sul programma SIRIO, che si propone un obiettivo ambizioso legato ad una prospettiva a lungo termine non ancora esplorata e che comporta quindi all'inizio una complessa fase di organizzazione. La decisione italiana di realizzare un satellite con missione sperimentale a frequenze elevate (12 e 18 GHz), non ancora utilizzate nelle telecomunicazioni commerciali, si differenzia nettamente dalle linee di sviluppo decise da Francia e Germania, che con il programma *Symphonie* si erano orientate in direzione più operativa nella prospettiva dell'utilizzazione commerciale della già consolidata banda C (4/6 GHz).

Il CNR, che dirige il programma attraverso il suo Servizio Attività Spaziali (SAS) istituito nel 1970, conferisce al Laboratorio di Comunicazioni presso il Politecnico di Milano diretto da Carassa la responsabilità scientifica degli esperimenti SHF<sup>3</sup>, istituendo anche nel 1971, presso il Politecnico stesso, un Centro CNR di Studi sulle Telecomunicazioni Spaziali (CSTS) con annessa stazione sperimentale spaziale di Spino d'Adda nelle vicinanze di Milano. Un altro organo del CNR, il CNUCE di Pisa, ha compiti di supporto a SAS e a Telespazio per il calcolo dei parametri orbitali ed il controllo del satellite, mentre le fondamentali attività legate

<sup>3</sup> Carassa 1978.



**Figura 4.** Il lancio da Cape Canaveral del satellite SIRIO (1977).

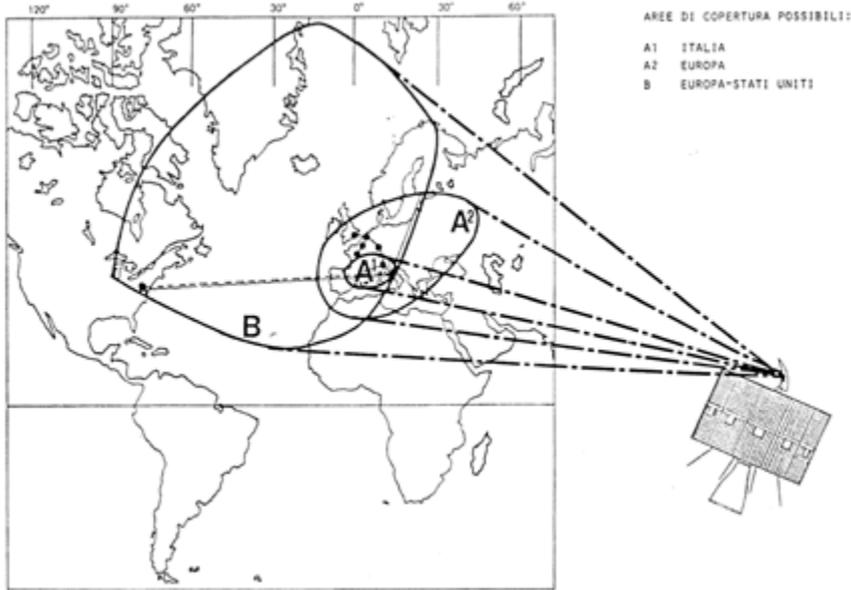


**Figura 5.** Il satellite SIRIO.

alla realizzazione del sistema satellite sono affidate ad un consorzio di aziende CIA (Compagnia Industriale Aerospaziale) costituito da Selenia (realizzazione apparati di bordo per l'esperimento SHF e altre parti del sistema satellite), FIAR (parti del sistema satellite), Aeritalia e Galileo (struttura del satellite, controllo orbitale e di assetto), SNIA e OTO-Melara (componenti del sistema di propulsione), Laben e OTE. Telespazio<sup>4</sup> ha la responsabilità degli studi di sistema, delle attività legate al comando e controllo del satellite, e delle stazioni di terra. Il lancio in orbita del satellite sarà effettuato dalla NASA con il lanciatore Delta. Alla sperimentazione partecipano vari enti di ricerca europei, arricchendo il programma scientifico con la possibilità di coordinare le misure di propagazione realizzate dai vari enti ed accrescere la base di dati sperimentali. L'attività di coordinamento internazionale parte già nel 1970 con una riunione presso il Politecnico di Milano degli enti interessati (le Università tecniche di Helsinki, Lyngby Danimarca, Lovanio, Delft e Eindhoven in Olanda, e gli istituti di ricerca CNET Francia, FTZ Germania, British Post Office e Radio Space Research Center nel Regno Unito). Più tardi si uniranno al programma di sperimentazione scientifica altri centri di ricerca in Inghilterra, Francia, Germania, Olanda, Stati Uniti e Cina.

Nel 1971 la legge di finanziamento per il programma è approvata dal Parlamento italiano. Attraversando varie difficoltà organizzative legate agli aspetti finanziari e contrattuali (i finanziamenti vengono resi disponibili solo nel 1973), il programma giunge infine al lancio del satellite in orbita geostazionaria (alla longitudine di 15° Ovest) dalla base della NASA di Cape Canaveral il 25 agosto 1977 (Fig. 4). La Figura 5 mostra il satellite, che in orbita geostazionaria, dopo lo

<sup>4</sup> A partire da un accordo con la NASA nel 1974, Telespazio dà inizio anche al progetto TERRA (Tecnica di Elaborazione e Rilevamento delle Risorse Ambientali) per l'attivazione di un sistema di ricezione, elaborazione, memorizzazione e ritrasmissione agli utenti di dati relativi all'ambiente terrestre rilevati da satelliti.



**Figura 6.** Coperture geografiche del satellite SIRIO.

sparo del motore d'apogeo, ha una massa di 224 kg, mentre la Figura 6 mostra le coperture di irradiazione sull'Europa e sull'Atlantico.

Intanto era partito anche a livello internazionale l'interesse all'esplorazione delle nuove bande di frequenza per la trasmissione satellitare, negli Stati Uniti con il satellite sperimentale ATS-6 lanciato nel 1974, in Giappone nel 1977, e in Europa dove l'ESA realizza il satellite OTS (12 e 14 GHz) che verrà lanciato un anno dopo il SIRIO. Queste attività di sperimentazione nelle bande di frequenza al di sopra dei 10 GHz avrebbero poi reso disponibili dati essenziali per la futura utilizzazione di tali bande per le telecomunicazioni spaziali. SIRIO è il primo satellite in Europa a condurre esperimenti sistematici di propagazione e comunicazione<sup>5</sup> a frequenze superiori a 10 GHz per un ampio arco di tempo, rimanendo operativo fino al 1983 nella sua posizione orbitale originaria e trasferendosi poi in una nuova posizione (longitudine 65° Est) per consentire lo sviluppo di attività sperimentali in cooperazione con la Cina fino al 1985. Durante la sua vita ha consentito di effettuare anche numerosi esperimenti di comunicazioni telefoniche e televisive. La seconda metà degli anni '80 vedrà poi in Europa la realizzazione dei primi satelliti commerciali operanti nelle nuove bande superiori ai 10 GHz, e le conoscenze acquisite attraverso la sperimentazione con il satellite SIRIO risulteranno preziose. Oltre ai risultati di natura scientifica e tecnologica, il programma ha portato, nell'ambito industriale italiano, all'acquisizione di esperienze e capacità per lo sviluppo e la gestione di progetti completi (segmento spaziale e segmento a terra) nel settore delle telecomunicazioni spaziali.

<sup>5</sup> Carassa, Maffioli, Paraboni, Rocca, e Tartara 1978.

Nel 1977 viene creata EUTELSAT organizzazione intergovernativa per lo sviluppo e la gestione delle telecomunicazioni commerciali via satellite in Europa, ente che va ad aggiungersi all'ESA nella struttura di coordinamento per le attività spaziali europee. Più tardi nel 1979 verrà creata anche INMARSAT, un'altra organizzazione internazionale per la gestione dei satelliti di telecomunicazioni marittime ed aeronautiche. Nel 1978, come già anticipato, ESA lancia il suo primo satellite sperimentale OTS-2 (Orbital Test Satellite), stabilizzato a 3 assi, per esperimenti di telecomunicazione nelle nuove bande di 12 e 14 GHz (banda Ku). Questo satellite apre la strada allo sviluppo dei satelliti per telecomunicazioni europei. Gli anni '80 infatti, a partire dal 1983, vedono la realizzazione in Europa, da parte di ESA con EUTELSAT come operatore, della serie di satelliti a copertura regionale europea commerciali per telecomunicazioni (ECS European Communication Satellite per telefonia, dati e distribuzione di segnali TV) operanti nella banda Ku.

Dopo il programma OTS, ESA prosegue la promozione dello sviluppo nelle telecomunicazioni spaziali attraverso la sperimentazione di nuove tecnologie e servizi per i futuri satelliti per telecomunicazione con il satellite sperimentale Olympus, che verrà lanciato nel 1989. I principali filoni applicativi nelle telecomunicazioni spaziali appaiono essere da un lato quello tradizionale della trasmissione di telefonia, dati e segnali televisivi punto-punto, e dall'altro quello della diffusione di canali televisivi direttamente ai ricevitori d'utente in accordo con la normativa approvata nella conferenza mondiale dell'ITU (International Telecommunication Union), la WARC 77. Il programma ESA denominato L-sat (Large satellite), poi ribattezzato *Olympus*, era basato su una piattaforma di sperimentazione per vari servizi innovativi di comunicazione in banda Ka (20 e 30 GHz) e in banda Ku (12 e 14 GHz) con l'uso di tecnologie avanzate quali antenne a molti fasci e commutazione tra i fasci a bordo del satellite. Inoltre, insieme a trasponditori per comunicazioni da punto a punto ed esperimenti di propagazione alle frequenze 12, 20, e 30 GHz, il satellite trasportava anche un sistema per la diffusione televisiva (adottando lo standard della WARC 77) direttamente a piccoli terminali riceventi (DTH, Direct To Home), sistema che verrà utilizzato per sperimentazione dalla Radiotelevisione Italiana RAI (programma Raisat).

In conclusione in Europa si realizza nel corso degli anni '70 e '80 un grande sviluppo delle comunicazioni satellitari nelle nuove bande Ku, per applicazioni regionali sia di tipo telefonia e dati sia di diffusione televisiva, mentre per le comunicazioni intercontinentali INTELSAT estende il suo predominio, operando nella consolidata banda C (4-6 GHz). C'è da osservare anche che alla fine degli anni '70, sotto la spinta di Francia e Germania, si arriva alla realizzazione del lanciatore *Ariane* che consente all'Europa di raggiungere finalmente l'autonomia dagli USA per il lancio dei propri satelliti sia commerciali che scientifici.

In quest'ottica non va dimenticato lo sfortunato secondo lancio di qualifica nel 1985 del vettore Ariane con a bordo il satellite SIRIO 2, derivato dal SIRIO 1, e realizzato dall'industria italiana con contratto ESA nel quadro del programma europeo Meteosat. Il satellite aveva un carico utile per la trasmissione di dati meteorologici ed un esperimento per la sincronizzazione di segnali tempo via satellite, proposto dall'Istituto Nazionale Galileo Ferraris e denominato LASer Synchronization from a Stationary Orbit (LASSO).

*Il programma ITALSAT*

In Italia, il Piano Spaziale Nazionale approvato nel 1979 decide di proseguire, dopo il successo ed in continuità con il programma SIRIO, nella direzione dello sviluppo di nuovi sistemi puntando su un programma avanzato di telecomunicazioni con obiettivi anzitutto pre-operativi per l'integrazione della comunicazione satellitare nella rete di telecomunicazioni sul territorio nazionale (telefonia e dati). Alla concezione e definizione del progetto dà ancora un contributo determinante Carassa. Su questa linea viene varato il programma ITALSAT<sup>6</sup>, le cui caratteristiche principali sono: uso delle nuove bande Ka attorno ai 20 e 30 GHz, mai usate in satelliti per telecomunicazioni operativi anche se già esplorate in programmi sperimentali (vedasi SIRIO, OTS, *Olympus*); satellite, stabilizzato a 3 assi, con antenne a più fasci che collegano aree geografiche distinte coprendo l'intero territorio nazionale; trasponditori di bordo non convenzionali (rigenerativi anziché trasparenti) e sistema di instradamento del traffico mediante stadi di commutazione spaziale con tecnica di accesso al satellite del tipo SS-TDMA (Satellite Switched Time Division Multiple Access)<sup>7</sup>; esplorazione delle caratteristiche di propagazione delle nuove bande di frequenza attorno ai 40 e 50 GHz (oltre che 20 GHz), proseguendo ed ampliando il percorso avviato dal programma SIRIO. ITALSAT è il più ampio ed ambizioso programma spaziale italiano nel settore delle Telecomunicazioni, sia per obiettivi che per tecnologie messe in campo. Esso parte nel 1981 e coinvolge nel successivo decennio tutto il settore delle telecomunicazioni spaziali nazionale fino al lancio che avverrà nel 1991, dalla base spaziale ESA di Kourou (Guiana francese) con il razzo Ariane 4. Esso si propone il potenziamento dei servizi di telecomunicazioni all'interno del paese aumentando la flessibilità della rete telefonica nazionale nonché lo sviluppo di tecnologie di avanguardia in vista della crescita del mercato internazionale nel settore. L'obiettivo primario è la realizzazione di un innovativo sistema domestico di telecomunicazioni (telefonia e dati) pienamente integrato con la rete terrestre, operando nelle nuove bande di frequenza a 20 e 30 GHz che rendono disponibile una grande capacità di trasmissione. Il programma, avviato dal CNR, è poi condotto a completamento dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), che viene istituita nel 1988 per lo sviluppo di missioni spaziali con obiettivi scientifici e applicativi nei settori dell'osservazione dell'universo e della terra, delle telecomunicazioni e navigazione satellitare, dei lanciatori e dell'abitabilità dello spazio. Essa succede al CNR nella promozione e gestione dell'attività spaziale raccogliendone l'eredità e i progetti.

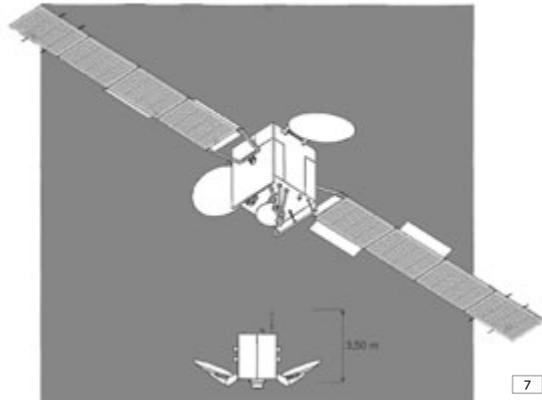
Il programma ITALSAT prevede due satelliti (F1 lanciato nel 1991 e F2 lanciato nel 1996) (Fig. 7) che portano a bordo un carico utile di tipo rigenerativo a copertura multifascio che copre il territorio nazionale con 6 fasci ad alta direttività (apertura dei fasci 0.4 gradi) (Fig. 8), ed opera integrandosi con i nodi della rete telefonica interdistrettuale.

<sup>6</sup> Marconicchio, Tirrò e Valdoni 1981.

<sup>7</sup> Dinaro, Marconicchio, Morris, Saitto, Saggese e Valdoni 1988.

Accanto al carico utile multifascio su entrambi i satelliti F1 ed F2 era imbarcato un carico utile composto da tre trasponditori trasparenti operanti sempre in banda Ka, con copertura nazionale globale. Il satellite F1 portava inoltre un carico utile per misure di propagazione operante alle frequenze di 40 e 50 GHz, mentre sul satellite F2 veniva imbarcato un carico utile per i servizi mobili (EMS – European Mobile Services), operante in banda L con copertura dell'Europa e del Nord Africa. Quest'ultimo realizzato in cooperazione con l'ESA ed utilizzato operativamente da Telespazio.

Per la parte industriale, dopo l'esperienza durante il programma SIRIO del consorzio CIA (in seguito ridenominato CNA Compagnia Nazionale Aerospaziale), si era formata nel 1983 la nuova compagnia Selenia Spazio (gruppo IRI STET). Selenia Spazio aveva avuto una parte importante nella realizzazione del programma *Olympus* come responsabile dell'intero carico utile per gli esperimenti di comunicazione e TV diretta trasportati dal satellite. Nel programma ITALSAT assume la responsabilità industriale del programma conducendo la parte principale delle attività di progetto legate al satellite. Telespazio ha in carico le attività legate al sistema e cura, oltre che il controllo in orbita del satellite, anche la gestione delle stazioni di terra per Telecom Italia. Varie altre aziende nazionali partecipano al progetto. Per la piattaforma satellitare collaborano Aeritalia, Snia BPD, Galileo (sensori), FIAR, Laben (telemetria) e altri gruppi internazionali. Per il carico utile del satellite, cioè i vari "pacchi" di comunicazioni, contribuiscono la Siemens Telecomuni-



7



8

**Figura 7.** Il satellite ITALSAT.

**Figura 8.** Copertura da ITALSAT del territorio nazionale con sei fasci direttivi.

cazioni<sup>8</sup>, per i modemodulatori in TDMA a bordo del satellite, e la FIAR. Per le stazioni a terra partecipano Siemens Telecomunicazioni, Telettra e FIAR. Lo sviluppo in quegli anni in Italia di tecnologie per l'elettronica e le telecomunicazioni applicate allo spazio conduce ad un processo di aggregazione tra gli attori industriali del settore. Selenia Spazio e Aeritalia, entrambe controllate da IRI Finmeccanica, nel 1990 si fondono generando Alenia Spazio.

Il sistema ITALSAT ha avuto una vita operativa di oltre un decennio (1991-2002). Tuttavia quello che limitò lo sfruttamento del sistema a copertura multifascio fu la quasi contemporanea maturazione tecnologica e diffusione delle centrali di commutazione elettroniche e dei cavi in fibra ottica che con le loro enormi capacità permisero di risolvere il problema dei "colli di bottiglia" presenti nella rete nazionale degli anni '70 ed '80. Mentre del sistema a copertura nazionale globale, data la sua maggiore flessibilità, si fece uso per una varietà di collegamenti, inclusi quelli con le forze italiane in Bosnia negli anni '90.

Infine ITALSAT ha consentito una lunga e quindi efficace sperimentazione e valutazione statistica delle caratteristiche del canale radio alle altissime frequenze (20, 40, 50 GHz), essendo la responsabilità della progettazione e della gestione affidata al Centro Studi Telecomunicazioni Spaziali CNR e al Politecnico di Milano. La sperimentazione fu condotta attraverso stazioni riceventi in Italia (Spino d'Adda Milano; Torino; Pomezia Roma), con la partecipazione anche di vari sperimentatori europei in Inghilterra, Germania, Olanda, Spagna, Austria e in ESA<sup>9</sup>.

La linea di sviluppo rappresentata da ITALSAT appariva negli anni '90 la direttrice naturale per le future reti satellitari ad alta capacità per collegamenti punto-punto. Nel 1993 la NASA lancia il satellite ACTS (Advanced Communication Technology Satellite)<sup>10</sup> per la sperimentazione delle tecnologie già introdotte per ITALSAT, con ulteriori innovazioni quale l'utilizzazione a bordo di stadi temporali e di fasci di antenna adattativi. Questi programmi, al di là delle incertezze sul tipo di sviluppo futuro del traffico di telecomunicazioni satellitari in relazione anche allo sviluppo delle reti terrestri su cavi in fibra ottica che si verifica in quegli anni, aprono comunque la strada ai futuri sistemi di telecomunicazioni satellitari che useranno le tecnologie proprie della banda Ka.

Negli anni '90 in Europa si sviluppa fortemente la linea dei sistemi satellitari per la diffusione di canali televisivi direttamente a piccoli terminali riceventi (DTH), in forza della naturale predisposizione per questa applicazione del mezzo radio satellitare (si tratta di ripetitore radio geostazionario che 'vede' aree geografiche di dimensioni più che continentali) e a seguito dei programmi di sperimentazione sviluppati nell'ambito dell'Agenzia Spaziale Europea (OTS-2 e *Olympus*) e di vari programmi nazionali in Europa. Anche in Italia si lavorò, a valle dei progetti *Olympus* e ITALSAT, ad un progetto di satellite nazionale per la diffusione diretta TV e altri servizi speciali sul territorio nazionale, il programma

<sup>8</sup> Si tratta di ciò che era negli anni '50 e '60 la già ricordata Magneti Marelli, diventata poi, attraverso cambi di proprietà e sigle aziendali, GTE ed infine Siemens Telecomunicazioni.

<sup>9</sup> Paraboni, Masini, Mauri, Polonio e Riva 1999.

<sup>10</sup> Acosta, Bauer, Krawczyk, Reinhart, Zernic e Gargione 1999.

SARIT<sup>11</sup>, sostenuto dalla RAI, che non arrivò però alla fase attuativa. Il settore dei servizi di diffusione TV in Europa ed aree limitrofe si sviluppa quindi in quegli anni appoggiandosi alle due piattaforme trasmissive satellitari gestite da EUTELSAT e dall'altro operatore SES Astra.

In questi anni l'attività di ricerca e sviluppo industriale è condotta in Italia principalmente da Alenia Spazio e da Telespazio. Parte di questa attività è inquadrata per quanto riguarda le telecomunicazioni satellitari nei programmi ESA, in particolare in ARTES (Advanced Research in Telecommunications Systems), un programma volto allo sviluppo di prodotti e servizi innovativi per le comunicazioni via satellite. Un esempio nel campo dei dispositivi di bordo è dato dallo sviluppo di un sistema per realizzare, a bordo del satellite, la rigenerazione di segnali provenienti da stazioni terrene diverse e l'aggregazione in un unico segnale multiplex da trasmettere per la ricezione a terra (sistema Skyplex). Lo sviluppo è stato finanziato in ambito ESA (ARTES 5) in "partnership" da ASI e da Alenia Spazio, primo contraente, con l'EUTELSAT come operatore. Lo Skyplex è stato imbarcato su molti dei satelliti della flotta EUTELSAT, attualmente operativi. È opportuno citare la definizione del nuovo standard per la DTH, il DVB-S (Digital Video Broadcasting via Satellite), impostosi come standard internazionale per la trasmissione di segnali televisivi digitali via satellite. Esso ha aperto la strada, con l'introduzione del canale di ritorno RCS (Return Channel via Satellite), alla utilizzazione della banda Ka in associazione alla banda Ku per offrire connettività Internet via satellite in contemporanea con la ricezione dei canali televisivi in banda Ku. Sulla elaborazione dello standard e sul suo sviluppo hanno lavorato, dando un contributo fondamentale, il Centro Ricerche RAI<sup>12</sup>, Thales Alenia Space, Telespazio, Space Engineering e vari gruppi universitari italiani. Infine non vanno dimenticati gli studi e sviluppi prototipali nel campo delle antenne, a fasci multipli e a fascio sagomato, che hanno consentito all'industria europea ed in particolare a quella italiana di mantenere una riconosciuta eccellenza nel settore.

## Gli anni 2000

Verso la fine del Novecento, un nuovo orientamento si manifesta nel processo di sviluppo del settore delle telecomunicazioni spaziali. Questo si può far risalire a vari fattori legati alla evoluzione sia delle tecnologie e dei servizi di comunicazione che dei modelli economici ed organizzativi. Negli anni '60 il satellite aveva rappresentato l'elemento chiave per la comunicazione globale; il primo cavo transatlantico sottomarino in rame (TAT-1), posato nel 1956, aveva infatti una capacità di trasmissione corrispondente a soli 36 canali telefonici. Nel 1988 il primo cavo transatlantico sottomarino in fibra ottica (TAT-8) portava 40.000 circuiti telefonici. Chiaramente lo sviluppo rapido dei sistemi

<sup>11</sup> Perrotta, Manoni e Bardelli 1990.

<sup>12</sup> Morello e Mignone 2006.

di comunicazione in fibra ottica che avviene negli anni '90 segna una svolta, portando gradualmente i sistemi satellitari a spostarsi verso i tipi di applicazione più 'congeniali' alle caratteristiche del mezzo trasmissivo. Le comunicazioni del tipo punto-multipunto pongono il satellite geostazionario (che può collegarsi via radio con ogni punto di aree vastissime, infatti bastano tre satelliti per la copertura globale della terra) in posizione di vantaggio rispetto ad altre soluzioni basate su reti terrestri. Il caso tipico al riguardo è la diffusione diretta TV. D'altra parte anche le caratteristiche di traffico e servizio mutano: dal traffico tradizionale (telefonico, trasmissione dati e segnali televisivi punto-punto) si passa ad un traffico di comunicazioni molto più articolato, con lo sviluppo della comunicazione multimediale e della diffusione TV, e l'esplosione di Internet.

Altri fattori da considerare sono di natura economica e organizzativa. Nel 2001, nel quadro delle tendenze alla liberalizzazione nelle telecomunicazioni mondiali da tempo emerse, l'organizzazione intergovernativa europea EU-TELSAT viene trasformata in compagnia privata così come anche INTELSAT, l'organizzazione che nella fase iniziale dell'era delle telecomunicazioni spaziali ne aveva governato lo sviluppo a livello globale. Si delinea poi, nel settore delle telecomunicazioni spaziali, un modello organizzativo basato da un lato su iniziative "governative" (in senso stretto) volte a soddisfare esigenze precise dell'amministrazione pubblica (Difesa, Protezione Civile), e dall'altro su iniziative a "partnership" pubblica/privata per soddisfare la domanda commerciale di servizi di comunicazione a valore aggiunto. Il ruolo delle Agenzie spaziali nelle Telecomunicazioni tende progressivamente a ridursi poiché il settore ha raggiunto una significativa maturità tecnologica e sistemistica. D'altra parte i grandi operatori commerciali internazionali traggono profitti sfruttando appieno il parco di tecnologie e di soluzioni sistemistiche sviluppato nei decenni precedenti con i finanziamenti pubblici delle Agenzie spaziali. Ne viene quindi un ripensamento delle strategie di investimento pubbliche.

In Italia, dopo il lancio con successo di ITALSAT F2 avvenuto nel 1996, non vengono avviati nuovi programmi satellitari di telecomunicazioni ma l'attenzione si rivolge da un lato all'impiego della piattaforma già sviluppata per ITALSAT per applicazioni non commerciali civili e militari, e dall'altro ad altri settori applicativi quali ad esempio le Osservazioni della Terra con il progetto *CosmoSkyMed*<sup>13</sup> e la navigazione satellitare con la partecipazione al programma *Galileo* dell'Unione Europea (EU). In questo mutato contesto nel 2001 viene lanciato il primo satellite operativo italiano per la Difesa denominato SICRAL 1A (cui seguirà nel 2009 il lancio di SICRAL 1B) e, nelle Telecomunicazioni, si vanno a privilegiare principalmente studi e sviluppi tecnologici anche a supporto di progetti decisi ed avviati autonomamente dall'industria sulla base di programmi giudicati validi e promettenti.

Negli anni attorno al 2000 si presentano sulla scena internazionale nuovi sistemi satellitari commerciali non più geostazionari ma basati su costellazioni di satelliti orbitanti a quote dalla superficie terrestre relativamente basse, ad esempio

<sup>13</sup> Caltagirone, Marano, Angino e Impagnatiello 2009.

dell'ordine dei 700 km. Sono i sistemi "LEO" (Low Earth Orbit) il cui obiettivo è fornire un servizio di comunicazione a copertura globale per telefonia e dati (a bassa velocità) per piccoli terminali mobili portatili. L'orbita bassa, oltre che consentire l'uso di piccoli terminali personali (dimensioni poco maggiori dei telefoni cellulari), presenta ritardi di propagazione limitati ma richiede una costellazione numerosa di satelliti per la copertura del globo ed una rete complessa per l'instradamento del traffico di comunicazione. Esempi sono il sistema *Iridium* (USA 1998, rete di 66 satelliti con elaborazione a bordo notevolmente complessi, instradamento del traffico attraverso collegamenti intersatellite in banda Ka) ed il sistema *Globalstar* (USA, 1998, rete di 48 satelliti con ripetitori trasparenti collegati a stazioni di transito a terra che curano l'instradamento del traffico attraverso la rete terrestre). Del consorzio *Globalstar* per la realizzazione della rete cellulare, Alenia Spazio diventa partner con un ruolo importante nella realizzazione del carico utile e integrazione dei satelliti, e Telespazio partecipa in *Iridium*. Questi sistemi si trovano ad affrontare una difficile fase di avviamento iniziale dovuta anche alla competizione con le reti cellulari terrestri in fase di fortissimo sviluppo. Di fatto queste reti satellitari si rivolgono oggi a quell'utenza particolare dotata di terminali portatili operante in zone (mare, deserti, altre zone del globo) non servite dalle reti cellulari terrestri.

Nel campo dei sistemi satellitari a larga banda, dopo l'esperienza dei primi satelliti in banda Ka (come ITALSAT e ACTS della NASA), per rispondere alle esigenze crescenti di comunicazioni multimediali e accesso a Internet con terminali di costo e dimensioni limitati, vengono intrapresi a livello internazionale vari progetti di sistemi satellitari geostazionari ad alta capacità (dell'ordine dei 10 Gbit/s totali). Essi prevedono l'utilizzazione dell'ampia banda disponibile nella gamma Ka, l'impiego a bordo del satellite di antenne con una molteplicità di fasci di irradiazione, di trasponditori rigenerativi e di dispositivi di commutazione per l'instradamento del traffico, e a terra stazioni di transito per l'interconnessione con la rete terrestre. In America fioriscono verso la fine degli anni '90 iniziative per sistemi commerciali operativi in banda Ka (Astrolink, SpaceWay, WildBlue, Teledesic, ecc.) e la Alenia Spazio finanzia e sviluppa il progetto Euroskyway con il contributo dell'ASI ed il coordinamento ESA nell'ambito dei programmi ARTES.

In ambito ESA l'Italia partecipa ai progetti di sviluppo per le telecomunicazioni, in particolare il programma ARTEMIS (Advanced Relay and Technology Mission). Questo satellite, posto in orbita geostazionaria nel 2003, sperimenta funzioni di raccolta e ritrasmissione a terra di dati da altri satelliti in orbite varie e con vari tipi di applicazioni (osservazioni della Terra ecc.), mediante collegamenti radio e ottici; inoltre opera come componente del sistema europeo EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) che verrà integrato nel nuovo sistema di navigazione satellitare *Galileo*.

Negli anni più recenti il forte e continuo aumento del traffico di comunicazioni legato a Internet ha accentuato la spinta verso sistemi satellitari a larga banda con capacità trasmissive sempre maggiori in grado di servire gli utenti in particolare in aree geografiche non adeguatamente coperte dalle reti terrestri. Uno dei primi esempi è il satellite ANIK F2 (Wildblue), e oggi sono in corso

di realizzazione a livello internazionale satelliti di nuova generazione con grande capacità trasmissiva (dell'ordine dei 100 Gbit/s come flusso d'informazione globale) operanti nella banda Ka già menzionata. Questi sistemi prevedono, per la trasmissione di grandi flussi d'informazione ad esempio su un'area continentale, antenne satellitari con molti fasci di irradiazione, tali da illuminare ciascuno un'area geografica limitata con diametro pari a qualche centinaio di km; inoltre segmenti della banda totale utilizzata vengono riutilizzati più volte, in aree non adiacenti sufficientemente distanti da non presentare interferenze significative tra loro. Il traffico raccolto dai fasci d'antenna satellitari con relativi trasponditori viene poi convogliato ad un numero limitato di stazioni di transito a terra collegate tra di loro e alla rete terrestre. In tal modo le operazioni di commutazione e instradamento delle comunicazioni vengono trasferite a terra riducendo la complessità e criticità delle elaborazioni a bordo del satellite. Nel prossimo futuro è previsto il lancio del satellite americano Viasat 1 e del satellite europeo KA-SAT (EUTELSAT)<sup>14</sup>.

Si apre poi in questi anni in tutta Europa, con rilevanti ripercussioni in Italia, una fase di consolidamento dell'industria aerospaziale. Nell'ambito di questo consolidamento Alenia Spazio entra nell'orbita di Alcatel e poi, a seguito di fusioni successive, di Thales, divenendo Thales Alenia Space partecipata al 70% dal capitale francese. Analogamente Telespazio diventa una società di servizi italo-francese operante nel settore dei servizi aerospaziali con partecipazione del gruppo Finmeccanica (maggioritaria) e del gruppo francese Thales.

Passando a considerare il fronte più propriamente nazionale delle applicazioni di interesse pubblico va menzionato il tentativo, giunto a notevole livello di maturazione tecnica, per un sistema satellitare domestico in banda Ka (denominato *KaBSat*)<sup>15</sup> costituito da due satelliti per servizi governativi e militari. Il progetto non è giunto a realizzazione ma è confluito in attività volte alla realizzazione di sistemi satellitari cosiddetti *duali* (civili e militari insieme) che permettano di dividere i costi per sistemi indipendenti di telecomunicazioni per usi non commerciali. Un esempio è il progetto Athena-Fidus<sup>16</sup> che si sviluppa in un contesto di cooperazione fra l'Italia e la Francia, per un satellite geostazionario per telecomunicazioni con una missione sia militare che civile per servizi istituzionali non commerciali.

Così il nuovo orientamento formatosi a partire dai primi anni 2000 ha portato l'Agenzia spaziale italiana ad abbandonare interventi diretti nel settore delle telecomunicazioni satellitari di interesse commerciale concentrando le risorse disponibili in progetti di telecomunicazioni per missioni istituzionali civili e militari. L'Agenzia è pur sempre impegnata, in ambito ESA, nel sostegno degli sviluppi tecnologici di base per le telecomunicazioni satellitari fra cui la partecipazione ai progetti ESA: Alphasat, il cui lancio è previsto nel 2012, ove realizzerà esperimenti di comunicazione nelle bande di frequenza sopra i 40 GHz

<sup>14</sup> Fenech, Lance, Tomatis e Kalama 2009.

<sup>15</sup> Losquadro e Winkler 2005.

<sup>16</sup> Russo, Durando, Diris e Dumont 2009.

(lunghezze d'onda millimetriche) per verificarne l'impiego in future applicazioni commerciali; EDRS (European Data Relay Satellite) destinato principalmente al collegamento tra satelliti non geostazionari, veicoli spaziali vari e le stazioni a terra; IRIS (ARTES 10) per le comunicazioni fra velivolo e terra ed infine, non ultimo per dimensione dell'intervento ed importanza, insieme a gran parte del settore spaziale europeo, lo sviluppo del sistema di navigazione *Galileo*. In questi programmi l'industria italiana partecipa con Thales Alenia Space, Telespazio, Space Engineering e altri alla realizzazione sia dei satelliti che del segmento di terra. C'è infine da sottolineare, in tutti questi anni di sviluppo delle telecomunicazioni satellitari, la costante partecipazione di molti ricercatori di varie università e centri di ricerca in Italia ai programmi di ricerca nazionali e internazionali, in particolare negli ambiti ASI ed ESA, nonché nei programmi dell'Unione Europea.

A partire dal 2008 si nota una significativa ripresa di interesse dell'ASI per le telecomunicazioni, in particolare quelle rivolte al soddisfacimento di bisogni di tipo istituzionale duale, che viene testimoniato al massimo livello dai recenti interventi ufficiali del Presidente dell'Agenzia Enrico Saggese che in occasione della sua audizione alla X Commissione della Camera dei Deputati (febbraio 2010) ha indicato le linee di sviluppo dell'ASI:

[...] L'Agenzia intende connotarsi sempre più come struttura per la realizzazione di iniziative strategiche, nel quadro della politica infrastrutturale e di sviluppo dei servizi decisa dal Parlamento e dal Governo, al fine di favorire la diffusione di applicazioni ad elevato contenuto scientifico e tecnologico. I due programmi SIGMA e Athena Fidus configurano una strategia integrata, volta a consentire all'Italia di colmare un gap crescente nel settore delle telecomunicazioni satellitari maturato durante l'ultimo decennio rispetto agli altri Paesi europei.

L'Italia non possiede infatti più alcuna partecipazione nei grandi consorzi internazionali proprietari di capacità satellitare, e non dispone di propri sistemi in grado di coprire le esigenze a carattere istituzionale, governativo e strategico, mentre invece le esigenze di telecomunicazioni satellitari per scopi istituzionali, di sicurezza e difesa e commerciali sono in costante espansione [...].

Concludiamo quindi questa sintesi storica sulle telecomunicazioni spaziali italiane con una nota di ottimismo per il futuro, con l'auspicio del raggiungimento di ulteriori importanti traguardi, come lo sono stati nel passato quelli raggiunti dai progetti SIRIO ed ITALSAT.

## Bibliografia

- Acosta R.J., Bauer R., Krawczyk R.J., Reinhart R.C., Zernic M.J., Gargione F., 1999, "Advanced Communication Technology Satellite (ACTS): Four-Year System Performance", *IEEE Journal Selected Areas in Communications*, vol. 17, pp. 193-203.
- Caltagirone F., Marano G., Angino G., Impagnatiello F., 2009, "COSMO-SkyMed- The Italian EO Constellation for Risk Management and Security:

- Performance, Potentiality and Evolution”, Proceedings of 15<sup>th</sup> Ka and Broadband Communications Navigation and Earth Observation Conference, 27-34, Cagliari, Italy.
- Carassa F., 1978, “The SIRIO Programme and its Propagation and Communication Experiment”, *Alta Frequenza*, April, pp. 233-239.
- Carassa F., Maffioli F., Paraboni A., Rocca F., Tartara G., 1979, “The SIRIO SHF Experiment and its First Results”, Proc. of 29<sup>th</sup> Int. Astronautical Congress, Dubrovnik, October 1978, in *Astronautics for Peace and Human Progress*, Pergamon Press, pp. 299-318.
- Clarke A. C., 1945, “Extra-Terrestrial Relays”, *Wireless World*.
- Dinaro M., Marconicchio F., Morris A., Saitto A., Saggese E., Valdoni F., 1988, “Italsat: the first preoperational SS-TDMA system”, Proc. of GLOBECOM '88, IEEE Global Telecommunication Conference, Hollywood Florida.
- Fenech H., Lance E., Tomatis A., Kalama M., 2009, “The KA-SAT System”, Proceedings of 15<sup>th</sup> Ka and Broadband Communications Navigation and Earth Observation Conference, 67-74, Cagliari, Italy.
- Losquadro G., Winkler R., 2005, “Design of the KaB-sat satellite system”, Proceedings of the 11<sup>th</sup> Ka and Broadband Communication Conference, pp. 529-535, Roma, Italy.
- Marconicchio F., Tirrò S., Valdoni F., “The ITALSAT Preoperational Program”, XXXII Congress of the International Astronautical Federation, Rome, September 1981.
- Morello A., Mignone V., 2006, “DVB-S2: The second generation standard for satellite broadband-services”, *Proc. IEEE*, vol. 94, pp. 210-227.
- Paraboni A., Masini G., Mauri M., Polonio R., Riva C., 1999, “Summary of propagation results obtained in 5 years of ITALSAT experiment in Milano”, *International journal of satellite communication*, vol. 17, pp. 169-175.
- Perrotta G., Manoni G., Bardelli L., 1990, “Progress in the definition of SARIT, the Italian satellite for DBS and infrastructural communications”, 13<sup>th</sup> AIAA Int. Communication Satellite Systems Conference, Los Angeles, pp. 858-863.
- Pierce J.R., April 1955, “Orbital radio relays”, *Jet Propulsion*.
- Russo E., Durando G. B., Diris J. P., Dumont P., 2009, “ATHENA FIDUS Satellite: a flexible system to insure broadband communication capabilities to Italian and French government institutions”, Proceedings of 15<sup>th</sup> Ka and Broadband Communications Navigation and Earth Observation Conference, pp. 107-110, Cagliari, Italy.

# L'ORGANIZZAZIONE DEI SERVIZI E IL RUOLO DELL'INDUSTRIA

---



Sensore di una *wireless sensor network* su base Zigbee (breve raggio) e rete cellulare (lungo raggio). La parte cellulare è garantita dal chip Telit – di fabbricazione italiana – al centro della scheda.

## Successi e decadenza delle industrie di telecomunicazioni

### Avvertenza

La presente storia delle telecomunicazioni elettroniche in Italia, che copre il periodo che va dagli anni '40 agli anni 2000, si concentra sulla descrizione degli sviluppi delle telecomunicazioni (TLC) in tecnologia elettronica, quindi, all'inizio della sola trasmissione e poi della commutazione e dell'accesso dagli anni '80 ad oggi.

Questa storia considera i contributi allo sviluppo delle reti di telecomunicazione fornite dalle aziende industriali, con particolare riferimento a quelle che hanno, o hanno avuto, al loro interno tutta la catena del valore: dalla pianificazione strategica alla Ricerca e Sviluppo (R&S); dalla industrializzazione alla produzione e, quasi sempre, alla messa in campo del sistema e la consegna all'operatore. Parleremo quindi delle aziende che hanno fatto ricerca industriale nel settore specifico delle TLC *per uso civile*, le quali hanno fatto ricerca applicata finalizzata all'innovazione del prodotto, promossa e sviluppata *a spese e rischio dell'azienda stessa*.

Infatti, questa storia si basa sul principio che, in un'azienda ad alta tecnologia, come quelle di cui si parla, il successo e la decadenza dipendono prevalentemente dalla originalità, vivacità, efficienza e indipendenza dei reparti di R&S dell'azienda stessa e quindi dagli investimenti in competenze distintive.

La strategia delle aziende vincenti è stata "first to market", cerco di essere il primo nel mio mercato, o anche quella di "quick follower", il rapido inseguitore, magari di una tecnologia introdotta dai Bell Laboratories.

Per questa ragione, la presente è anche una storia dei successi realizzati nel nostro Paese e della decadenza successiva dei reparti di R&S industriali.

Le produzioni e le commercializzazioni che alcune aziende multinazionali hanno fatto nel nostro Paese su licenza della casa madre, non fanno quindi parte della nostra storia – questo è particolarmente vero per la produzione di commutazione elettromeccanica, che costituisce il maggiore investimento in rete – mentre vi entrano i risultati che le stesse multinazionali hanno ottenuto facendo R&S con propri laboratori in Italia.

Non si farà riferimento alle telecomunicazioni spaziali, che pure hanno avuto un notevole sviluppo nel nostro Paese. Di questo si parlerà in un altro capitolo. Analogamente, non saranno considerati gli sviluppi delle telecomunicazioni in campo militare.

Anche gli sviluppi dell'operatore attraverso lo CSELT (Centro Studi e Laboratori di Telecomunicazioni – Torino), saranno descritti da un capitolo parallelo a questo.

Vi sono state collaborazioni importanti e proficue tra alcune aziende protagoniste della nostra storia e l'ambiente universitario, cui si darà il dovuto rilievo.

## Profilo

L'Italia, tra le nazioni dell'Europa Occidentale, ha coperto un ruolo di notevole rilievo, nello sviluppo delle telecomunicazioni elettroniche, sia dal punto di vista industriale-realizzativo e dell'export, che da quello accademico.

Per un lungo periodo del secondo dopoguerra, in Italia vi sono stati punti di eccellenza a livello europeo nelle università; queste università hanno sviluppato collaborazioni, mutuamente proficue, con le migliori industrie produttrici di sistemi e con l'operatore; queste industrie, per molto tempo, hanno ottenuto una leadership tecnologica in Europa, notevole successo nell'esportazione, riuscendo a diventare le uniche aziende europee che contrastavano efficacemente i colossi giapponesi sui mercati internazionali.

L'operatore raggiunse nel 1972 un record con la teleselezione integrale da utente e, a cavallo degli anni '80 e '90, realizzò il Piano Europa, che riportò la penetrazione ed il servizio telefonico in Italia al livello dei paesi europei più avanzati.

Ancora: la collaborazione tra tre aziende italiane (il Polo nazionale di commutazione elettronica), attuò il progetto di un sistema nazionale di commutazione, alla pari con i grandi Paesi industriali ed un altro sforzo congiunto Università-industria spaziale, portò al successo dell'esperimento SIRIO.

L'Italia ben onorava l'eredità di Guglielmo Marconi, scienziato ed ingegnere. Purtroppo, ad una tale vivacità scientifico-tecnologica, corrispondeva (e corrisponde) una debolezza delle strutture istituzionali e proprietarie. Lo Stato italiano, al contrario degli omologhi comunitari, non ha mai compreso l'importanza, per tutto il Paese, di certi settori ad alta tecnologia. Il capitalismo italiano si è dimostrato inadeguato a fare impresa in settori avanzati sopra certe dimensioni.

Il punto di svolta è stato, oltre alla vendita di alcune aziende italiane a concorrenti esteri, la disastrosa privatizzazione di Telecom Italia, che ha creato problemi sui quali ancora presentemente ci dibattiamo e per i quali stiamo accumulando gravi ritardi. Questa iniziativa, di carattere storico, vuole ricordare che l'Italia è stata capace di leadership in questo settore high-tech e vuole essere soprattutto un incoraggiamento per una possibile ripresa.

## Dal periodo bellico ai primi anni '60

### *Il periodo bellico e l'immediato dopoguerra*

A parte la Marconi Italiana che, prima della guerra, montava prodotti inglesi, due centri di ricerca industriale sono stati importanti negli anni '30 e '40 del

secolo scorso: si tratta della SAFAR (Società Anonima Fabbrica Apparecchi Radiofonici) e della Fabbrica Italiana Magneti Marelli (FIMM), nel settore radio professionale.

La SAFAR impiegava alcune decine di ingegneri e progettisti che svilupparono, nel periodo bellico, importanti apparecchiature di telecomunicazioni. Nomi importanti per le telecomunicazioni italiane si formarono nei laboratori della SAFAR, primo fra tutti l'ing. Virgilio Floriani, che poi fondò la Telettra.

I laboratori della SAFAR, sotto la guida dell'ing. Arturo V. Castellani e del prof. Maurizio Federici, svilupparono un primo sistema di televisione ed inoltre costruirono il prototipo dell'RDT/5 Veltro, radar italiano contraereo occupandosi anche di altri tipi di radar durante il conflitto, che però non ebbero mai introduzione presso le nostre Forze Armate (Mario Zanfi, giovane ricercatore alla SAFAR, che poi diventerà DG della Telettra, raccontava spesso l'episodio che, alle prime prove ufficiali con Marina ed Aeronautica, gli impulsi di ritorno, così chiari in Laboratorio, non funzionavano più. Dopo varie prove si accorse che l'Aeronautica aveva mandato aeroplani di legno!!!).

La FIMM, nel Laboratorio Centrale Radio, diretto dal 1932 dal prof. Francesco Vecchiacchi, aveva sperimentato la diffusione circolare della televisione nel 1939 e costruito in laboratorio gli apparati di ripresa in studio ed il trasmettitore televisivo (oltre al ricevitore domestico). Per quanto riguarda i radar, dopo i brevetti iniziali di Ugo Tiberio del 1936, realizzati a Livorno presso l'Istituto delle Comunicazioni della Marina, era stato messo a punto il radar costiero Folaga, la cui serie di produzione non fu avviata a causa di una tardiva commessa delle Autorità militari (vedi il capitolo di G. Galati).

La SAFAR cessò ogni attività nel 1947.

Al contrario la FIMM, che era legata alla FIAT per la sua produzione di componenti per l'auto, sopravvisse anche nel settore radio professionale (oltre che civile). Per un periodo dell'immediato dopoguerra, la FIMM fu l'unica azienda che facesse ricerche e sviluppo di tipo industriale nel settore delle apparecchiature di telecomunicazioni ad un certo livello.

### *I laboratori della Fabbrica Italiana Magneti Marelli*

Nello stabilimento di Sesto S. Giovanni, corso Italia 1, vi erano due gruppi separati di ricercatori progettisti nel campo dei ponti radio; il primo gruppo era il già citato Laboratorio Centrale Radio, diretto dal prof. Vecchiacchi, che aveva come suo vice il giovane ingegnere Francesco Carassa, destinato a lasciare una traccia fondamentale nelle TLC italiane.

Il secondo gruppo era diretto dall'ing. Gaetano Monti Guarnieri (soprannominato "il leone") ed era suddiviso in divisioni progettative, le quali avevano la missione di progettare sistemi destinati ad una più larga produzione. A capo del gruppo di divisioni per ponti radio vi era l'ing. Bruno Peroni, coadiuvato dal dr. Ettore Viti e dall'ing. Gaetano Parmeggiani nel campo della componentistica a microonde.

Il compito principale di questi due gruppi era di sviluppare la nascente tecnologia dei ponti radio che portavano numerosi messaggi vocali telefonici



**Figura 1.** Tracciato del ponte radio Milano-Roma.



**Figura 2.** Cortina di dipoli a Monte Terminilluccio (1941).

affasciati mediante multiplex a divisione di frequenza (FDM), oppure a divisione di tempo ad impulsi.

Il vero problema del Paese era ricostruire una rete telefonica utilizzando non solo le antiche linee aeree o i cavi pupinizzati, ma introducendo sistemi più sofisticati, che usassero l'elettronica e portassero numerosi canali contemporaneamente, sia via cavo o a linee aeree, sia via etere con la nuovissima tecnica dei ponti radio. Un altro problema di attualità era portare il segnale televisivo, prodotto negli studi di Torino e poi Milano, fino a Roma e poi fino a Palermo, in modo da alimentare con questo segnale i trasmettitori sparsi in tutto il Paese. Ai lavori della FIMM si affiancarono, dal 1946, i lavori di una piccola azienda appena fondata: la Telettra, che, per i primi tempi, si specializzò nei sistemi telefonici a piccola capacità.

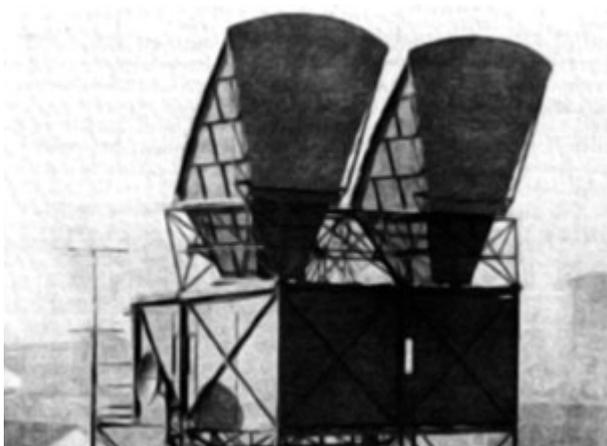
Ma torniamo alla FIMM; il prof. Vecchiacchi, fin dal 1939, lavorava al ponte radio Milano-Roma. Questo collegamento aveva due ripetitori: uno a Monte Cimone ed uno a Monte Terminilluccio (Fig. 1 e Fig. 2). I ripetitori dovevano essere tra loro e con i terminali in visibilità ottica allo scopo di evitare l'effetto della curvatura della terra, che praticamente bloccava la propagazione delle onde oltre l'orizzonte. Quel ponte radio era a 200 MHz (1,5 metri di lunghezza d'onda). Il collegamento, sospeso per la guerra e ripreso nel 1946, ebbe successo e dimostrò che l'Italia, che è una penisola molto montagnosa, è una terra adatta ai ponti radio per la facilità di trovare siti per i ripetitori.

Iniziarono progetti di ponti radio a frequenze più elevate, sino a frequenze superiori ad 1 GHz, che portavano segnali molto complessi, come quello rappresentato da molti canali telefonici (fino a 960 canali) affasciati in un multiplex FDM, oppure addirittura un canale televisivo. Questi segnali modulavano in frequenza la portante a microonde, dopo tentativi non riusciti di altri tipi di modulazione.

Completata la prima ricostruzione, nei primi anni '50, tutto il Paese entrò in una fase di grande crescita. Vi erano grandi flussi migratori all'interno, fiorivano gli affari e vi era grande bisogno di collegamenti telefonici. La FIMM si occupò di collegamenti radio a grande capacità e lunga distanza, mentre la neonata Telettra di quelli a piccola capacità, richiesti dalle concessionarie telefoniche. La Società Italiana Telecomunicazioni (SIT) Siemens importava dalla casa

madre i sistemi coassiali a grande capacità, messi in campo dalla SIRT, ed iniziava a produrre ed installare le prime centrali di commutazione elettromeccanica automatica.

La FIMM ebbe l'ordine dalla RAI, che stava installando i primi trasmettitori *broadcasting* di televisione, di costruire un ponte radio che portasse il segnale televisivo da Milano fino a Palermo e viceversa,



**Figura 3.** Antenne "Horn reflector" del Ponte Radio televisivo Milano-Palermo.

alimentando così i trasmettitori circolari distribuiti su tutto il territorio italiano. Il ponte radio televisivo Milano-Palermo impegnò per alcuni anni il laboratorio centrale radio, sempre guidato da Vecchiacchi e Carassa. Questo collegamento fu preceduto da un collegamento televisivo Milano-Trivero-Torino, che connetteva gli originali studi televisivi di Torino con quelli milanesi. Il ponte radio funzionava a 900 MHz ed adottava particolari antenne direttive chiamate "horn reflector" (Fig. 3). Il complesso progetto di tutti i componenti, sia a microonde, che a frequenza intermedia, sia in banda base, era realizzato nei laboratori italiani, ma era ispirato dai lavori analoghi fatti dal Bell System Laboratory del gruppo AT&T. Le informazioni arrivavano sia attraverso le pubblicazioni, sia attraverso visite nei laboratori statunitensi.

Contemporaneamente a questo sviluppo, la FIMM ebbe l'ordine dall'Azienda di Stato per i Servizi Telefonici (ASST), che si occupava di collegamenti a lunga distanza (complementando le concessionarie telefoniche, che si occupavano dei collegamenti interdistrettuali), per il progetto e l'esecuzione di un ponte radio che collegasse i cavi coassiali che scorrevano lungo il Tirreno e l'Adriatico e che trasportasse 960 canali telefonici da Roma a Pescara.

Questo progetto di un ponte alla frequenza di 4 GHz, fu affidato alle divisioni progettative guidate da Monti Guarnieri e Peroni, e seguiva una realizzazione analoga eseguita dai Laboratori Bell: il sistema radio TD2.

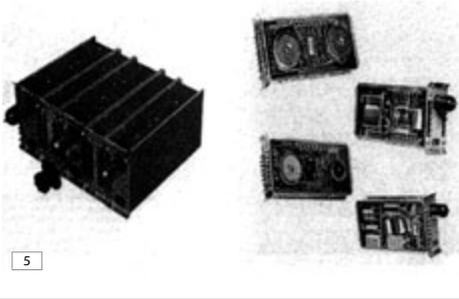
Anche le divisioni progettative furono occupate da questo progetto per alcuni anni, realizzando un sistema che aveva poco in comune con quello realizzato dal laboratorio centrale radio.

Per la verità i componenti a microonde dovevano essere diversi, ma molti componenti a frequenza intermedia in banda base e molti strumenti di misura progettati ad hoc perché irreperibili sul mercato, potevano essere simili. Non fu così, ogni laboratorio non poteva accettare un componente progettato dall'altro laboratorio. Si tratta del famoso principio "not invented here", molto diffuso nei laboratori di tutto il mondo.

Anche i trasmettitori televisivi della RAI erano progettati e costruiti dalla FIMM attraverso il laboratorio trasmettitori, guidato dall'ing. Luigi Monachesi, coadiuvato dall'ing. Vittorio Raviola.

Per quanto riguarda i multiplex FDM che modulavano di frequenza la portante radio a microonde, essi erano la specialità di Telettra, cui ora rivolgiamo la nostra attenzione.

### *La Telettra*



**Figura 4.** L'ingegnere Virgilio Floriani fondatore e Presidente di Telettra.

**Figura 5.** Il multiplex compandorizzato e i suoi circuiti principali: era, nel 1953, un'apparecchiatura unica in Europa.

Virgilio Floriani (Fig. 4) che, a mio avviso, è stato il più grande imprenditore italiano del dopoguerra, fondò la Telettra nel 1946, con dodici collaboratori, in un sito in affitto in via Marcona a Milano. L'idea imprenditoriale era di progettare e fornire apparecchiature per le cinque concessionarie telefoniche dell'epoca (Stipel a Torino, Telve a Venezia, Timo a Bologna, Teti a Roma e Set per il Sud e le Isole). La prima apparecchiatura progettata permetteva ad un'unica portante in linea aerea, di trasmettere prima 5 poi 12 canali telefonici. Si chiamavano apparecchiature a frequenze vettrici. Con semplici apparecchiature terminali si moltiplicava la capacità di traffico intercomunale; fu un grande successo e la società partì con numerosi ordini: "erano i clienti che venivano da noi [...] Uno di questi [...] mi disse: non riuscirà mai a produrne tanti di questi apparecchi quanti noi ne abbiamo bisogno"<sup>1</sup>. Fu quindi progettata un'apparecchiatura a 12 canali con compandor, che, sostituendo la

pupinizzazione, usava il doppino come portante; si chiamò TA12 (il compandor è un circuito che riduce la dinamica del segnale in linea, migliorando il rapporto segnale/rumore) (Fig. 5). Questa apparecchiatura antesignana per il tipo di applicazione in rete del PCM, costituì il cavallo di battaglia della società e ne accompagnò lo sviluppo per molto tempo, con successive generazioni che seguivano il progresso della tecnologia elettronica.

<sup>1</sup> V. Floriani 1981, *Ricordi della mia vita*, Milano.

Il successo di questi due sistemi (oltre al sistema ad onde convogliate – vedi più avanti) presso le concessionarie telefoniche permise di sviluppare la società progettando ulteriori apparecchiature.

Si progettò il sistema base per i multiplex FDM, che era costituito da 12 canali allocati tra 60 e 108 KHz (4 KHz per canale), separati tra loro da filtri molto impegnativi da progettare e costruire. Il filtro di canale che, infatti, ogni due o tre anni veniva riprogettato con nuovi complicati sistemi di calcolo e di costruzione, fu uno dei prodotti base della Telettra per quasi tutta la sua esistenza, cioè fino a quando la tecnica digitale soppiantò quella analogica

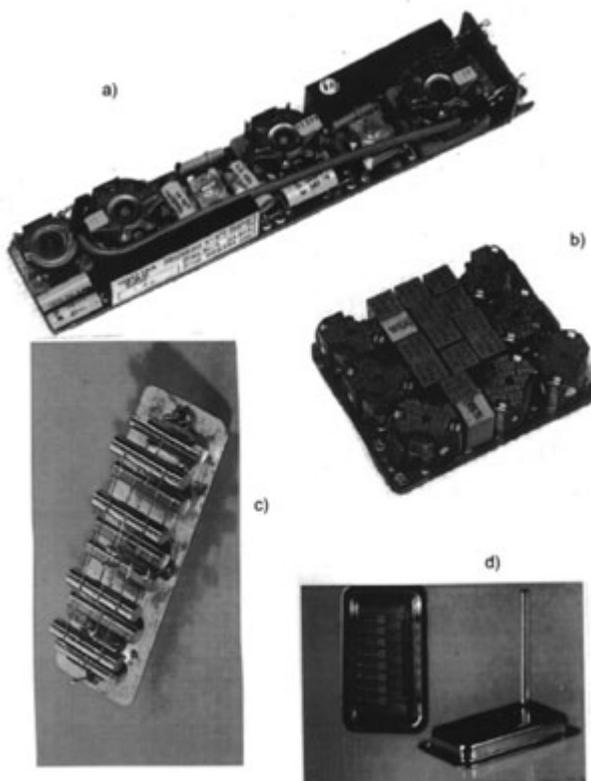


Figura 6. Telettra – Evoluzione del filtro di canale del Multiplex FDM.

L'ing. Evangelo Lyghounis, fino al 1960 circa, poi l'ing. Francesco Molo, coadiuvato dall'ing. Giuseppe Stacchiotti, guidarono il gruppo che continuamente studiava miglioramenti per il filtro di canale. La Figura 6 mostra esempi di filtro di canale adottati in diverse generazioni di multiplex FDM, che in Telettra si chiamavano PST1, PST2, ecc. La Figura 6a) mostra un filtro che adotta bobine, condensatori e quarzi, quella 6b) solo bobine e condensatori ed in fine, quella 6c) raffigura un filtro originale studiato con oscillatori meccanici.

Questo filtro, l'ultimo della generazione analogica, fu riprodotto in un milione di esemplari nello stabilimento di Trieste con metodi produttivi fortemente automatizzati. In Figura 6d), invece, vi è un prototipo di filtro monolitico a quarzo, poi non adottato per difficoltà di riproduzione (anni '70).

Nei primi anni '50 fu iniziata anche la progettazione dei ponti radio a microonde di piccola capacità. Dopo un primo collegamento sperimentale, nel '52 uscì il ponte radio a 1,5 GHz e 24 canali FDM (H5) e nel '55 il ponte radio a 60 canali FDM (H8). Questa apparecchiatura, che funzionava nella gamma dei 7 GHz, fu adottata largamente dalle concessionarie telefoniche per collegare tra loro due città di medie dimensioni. Per questa utilizzazione fu introdotto



7



8



9

**Figura 7.** Telettra – Specchio passivo nel collegamento Como-Sondrio.

**Figura 8.** Il prof. Vecchiacchi (al centro a braccia conserte) e collaboratori: F. Carassa è al centro, a fianco di Vecchiacchi; al centro della foto verso destra A. Luna e P. Quarta (1954).

**Figura 9.** Il percorso del ponte-radio televisivo Milano-Palermo (1956).

il grande specchio passivo. Si trattava di un'idea originale degli ingg. Pasquale Tartara e Florio Fabbri. Nella collina che separava la città A da quella B e che impediva la diretta visibilità, veniva montato uno specchio di grandi dimensioni (67 mq), che rifletteva il fascio di onde proveniente dal terminale A e lo dirigeva verso B e viceversa (Fig.7). Naturalmente ciò determinava una significativa perdita di intensità di campo, ma risparmiava l'impiego di un ripetitore attivo. Questa pratica fu progettata ed installata solo dalla Telettra e ne determinò la leadership nel campo dei ponti radio a piccola capacità. La realizzazione più nota fu quella del ponte radio Milano-Como-Sondrio.

### La FIMM

Nel novembre 1955 a soli 53 anni Francesco Vecchiacchi scomparve e Carassa divenne il suo successore alla guida del Laboratorio, che sarà intitolato a F.Vecchiacchi (Fig. 8).

Il lavoro del ponte radio televisivo Milano-Palermo proseguì fino a quando “nel giugno 1956 il segnale arrivò finalmente a Palermo [...]. Potevamo confrontare a Milano i due monitor affiancati, il segnale originario e quello che ci giungeva dopo i 3300 chilometri del percorso Milano-Palermo e ritorno” (Carassa 1985) (Fig. 9). Quasi contemporaneamente (nel 1957) le divisioni progettative portarono a termine il ponte radio a 4 GHz con la prima realizzazione sul collegamento Roma-Pescara. Nel giugno 1957 fu tenuto a Roma un grande convegno sui ponti radio, organizzato dalla FIMM, per presentare la realizzazio-

ne del Milano-Palermo e del Roma-Pescara. Al congresso parteciparono, con memorie, anche alti dirigenti dei Bell Laboratories. Con questo congresso la prima grande fase di realizzazione dei ponti radio a microonde a grande capacità e concorrenti del cavo coassiale, utilizzando le valvole termoioniche, poteva considerarsi conclusa. Ora bisognava introdurre il transistor, almeno nelle parti di banda base ed a frequenza intermedia delle apparecchiature.

### *La Telettra dei primi anni '60*

Negli ultimi anni '50 Telettra era diventata un'azienda che aveva superato le cinquecento persone impiegate e si avviava rapidamente verso le mille, numero già critico per un'azienda di elettronica, tenuto anche conto che una larga percentuale era concentrata nei laboratori di R&S.

Nel campo dei multiplex FDM si perfezionava con continuità il "Gruppo Base" che, partendo dai 12 canali a 60-108 KHz, attraverso processi di modulazione e filtraggio, formava le gerarchie superiori fino ai 960 canali ed oltre.

Nel campo dei ponti radio, rinforzato opportunamente il laboratorio, che era sempre l'elemento base per lo sviluppo dell'azienda, si era deciso di avviare la progettazione dei ponti radio a larga banda (960 canali telefonici o un canale TV in bianco e nero, poi in seguito 1800 canali telefonici o un canale TV a colori). L'obiettivo era quello di diventare fornitori non solo delle concessionarie telefoniche, ma anche dell'ASST e della RAI e mettersi quindi all'inseguimento della FIMM.

Il progetto del sistema completo dell'antenna Horn reflector, di filtri direzionali per accoppiare all'antenna più canali radio, di ricetrasmittitori funzionanti a 4 GHz, di sistemi di scambio N+1, occuparono gli anni 58-62, arrivando ad un collaudo soddisfacente da parte dell'Istituto Superiore Poste e Telecomunicazioni e della RAI. Nel 1962 viene introdotta una delle prime medie frequenze integralmente a transistor in un ponte a 300 canali interamente allo stato solido (eccetto il klystron di uscita).

Oltre a questi sistemi, la Telettra, fin dai primi anni (1948) si occupava di "onde convogliate". Si trattava di apparecchiature atte a convogliare un canale telefonico nelle linee elettriche ad alta tensione e quindi di utilità dei produttori, trasportatori e distributori di energia elettrica. Questi canali ad onde convogliate trasportavano il segnale proveniente dalle apparecchiature di telesegnali e telecomando. Ciascuno di questi messaggi utilizza pochi bit di informazione (per es. un connettore è chiuso o aperto) ed un numero elevato di questi segnali e telecomandi entrava nel canale telefonico a 4 KHz. Nacque quindi un reparto del laboratorio che progettava i sistemi adatti alle grandi *utilities* (per es. l'ENEL che era da poco nata), comprendente telesegnali e telecomandi che, affasciati in multiplex di teleoperazioni, usavano spesso come portante appunto l'onda convogliata.

In conclusione, agli inizi degli anni 60 il laboratorio Telettra era diviso in tre parti: l'una dedicata allo sviluppo di multiplex FDM, la seconda per lo sviluppo dei ponti radio e la terza per lo sviluppo delle teleinformazioni. Quindi in poco più di 10 anni, partendo da dodici persone, si era sviluppata in Italia un'azienda di dimensioni ragguardevoli, che avrebbe avuto in seguito ottimi sviluppi internazionali.

*La FIMM dei primi anni '60*

Alla fine degli anni '50 ed agli inizi degli anni '60, la FIMM, sia nel laboratorio centrale radio, sia nelle divisioni progettative, procede ad importanti miglioramenti tecnologici introducendo la transistorizzazione dei circuiti a frequenza intermedia e di quelli in banda base, in parallelo alla disponibilità dei componenti. In particolare, nel laboratorio centrale radio, guidato dall'ing. Francesco Carassa, si studiano tecniche di amplificazione/conversione a basso rumore (amplificatori e convertitori parametrici). La cosa più rilevante, però, fatta dal laboratorio centrale nei primi anni '60, è lo studio di fattibilità del ponte radio per 2700 canali telefonici. I cavi coassiali, che erano la vera alternativa al ponte radio, avevano già raggiunto questa capacità. Il successo dello studio di fattibilità per questa capacità, permetteva ai sistemi radio di inserirsi nelle reti a lunga distanza e grande capacità, in modo omogeneo con i sistemi coassiali.

Carassa fa eseguire, utilizzando prototipi di ricetrasmittitori radio modificati per disporre di una banda adatta ai 2700 canali, una campagna di misure di propagazione mirate; quindi dimostra a livello mondiale la fattibilità dei ponti a 2700 canali; trattasi di una ricerca originale di avanguardia.

Carassa promuove il riconoscimento mondiale di questi risultati; l'Amministrazione Italiana aderisce, prende l'iniziativa e propone con successo l'emissione di una nuova Raccomandazione del CCIR durante l'assemblea plenaria del 1963, convincendo le delegazioni scettiche ed ottenendo l'assegnazione per questo sistema di una banda di frequenza e della canalizzazione radio.

Merita anche di essere ricordata la sperimentazione della guida d'onda circolare operante nel modo superiore TE<sub>01</sub>, che, a cavallo degli anni '50-'60, appariva promettente per i collegamenti di grande capacità su lunga distanza. Con questo studio il laboratorio centrale radio si inseriva nel novero ristretto dei laboratori avanzati a livello mondiale. Come avvenne per analoghi programmi nel resto del mondo, la ricerca fu poi sospesa attorno al 1965 e definitivamente chiusa quando l'invenzione della fibra ottica aprì prospettive di portata molto più ampia.

Nel gennaio '61 nasce la Marelli Lenkurt, joint venture tra la FIMM e la californiana Lenkurt Electric del Gruppo GTE (secondo operatore telefonico statunitense, che aveva attività manifatturiere, in particolare nel settore della commutazione, in America ed anche una sede in Italia). I laboratori di radio professionale si spostano dallo storico edificio Marelli di Sesto San Giovanni ad una nuova sede a Cassina de' Pecchi. Il 1962 è l'anno di nascita della Facoltà di Ingegneria Elettronica in Italia: vi fu un famoso concorso, che mise in cattedra di Comunicazioni Elettriche Carassa al Politecnico di Milano, Ercole De Castro all'Università di Bologna e Peroni alla Sapienza a Roma.

Carassa continua a mantenere un rapporto di consulenza con la Marelli Lenkurt. Nel frattempo era nato il nuovo, promettente settore dei satelliti di comunicazione. Il Bell System, solito iniziatore di tutte le grandi novità, mette in orbita il primo satellite attivo di telecomunicazioni Telstar, attorno al 1962. In Italia nasce Telespazio come operatore satellitare ed il laboratorio centrale radio della Marelli Lenkurt diviene fornitore di Telespazio, in particolare di ricevitori a

basso rumore con un amplificatore parametrico raffreddato ad azoto liquido (opera della sezione dell'ing. Giovanni B. Stracca) (Fig. 10).

Nel 1965 l'azienda diventa tutta americana; assume il nome di GTE Telecomunicazioni e diviene la responsabile del settore trasmissione di tutto il Gruppo GTE. Nel 1966 il prof. Stracca diverrà ufficialmente capo del laboratorio centrale radio. L'appartenenza al Gruppo GTE favorisce esportazioni internazionali di apparati di trasmissione della GTE Telecomunicazioni; l'Italia diventa un Paese esportatore nel settore delle trasmissioni elettroniche.

Anche Telettra aveva già avuto alcuni successi internazionali, come vedremo in seguito.



**Figura 10.** Laboratorio Centrale Radio Sezione Microonde. Giovanni B. Stracca al lavoro (1957).

### *La Marconi Italiana*

La Officina Radio Marconi, a Genova, aveva avuto lo stabilimento gravemente danneggiato dagli eventi bellici della Seconda Guerra Mondiale. Alla fine delle ostilità, si sistemò in Via Negrone e prese il nome di Marconi Italiana. Fino ai primi anni '50, però, le attività sia di R&S, sia di produzione, erano praticamente inesistenti. Fu ai primi anni '50, appunto, che la Marina Militare Italiana prima e l'Esercito poi, commissionarono alla Marconi Italiana il progetto di ricetrasmittitori HF e di stazioni ricetrasmittenti montate in shelter, sempre in HF. Questo fu l'inizio di un lungo percorso che la società compì nel dopoguerra nella progettazione e produzione di apparecchiature di TLC con caratteristiche adatte all'impiego militare. Su questo segmento Marconi Italiana conquistò e mantenne una leadership in Italia.

La società si cimentò anche nelle apparecchiature ad uso civile, in particolare, un gruppo guidato dall'ing. Sebastiano Amara, progettò multiplex per linee aeree, che furono forniti a due concessionarie telefoniche del Nord Italia. Nel 1960, la responsabilità dell'intera azienda fu assunta dall'ing. Marcello Biagioni, proveniente dalla Telettra. Biagioni impostò una strategia dell'azienda basata sullo sviluppo di prodotti di propria progettazione, non in concorrenza con la casa madre, potenziando il Laboratorio ed affidandone la responsabilità all'ing. De Lotto, proveniente dalla Fabbrica Italiana Magneti Marelli. Continuò ad avvalersi della consulenza del prof. Maurizio Federici ed iniziò una collaborazione con l'Università di Genova (prof. Giuseppe Biorci).

Con l'uscita dei nuovi prodotti, fu riconquistata la fiducia dei clienti e la società ritornò ad avere bilanci positivi ed in grado di continuare a produrre prodotti allo stato dell'arte della tecnologia.

L'azienda acquistò un significativo posizionamento anche nelle TLC civili a partire dagli anni '70, quando la responsabilità di questo comparto fu assunta dall'ing. Aldo Olivari, il quale guidò la progettazione di apparecchiature civili in tecnica digitale, ottenendo risultati competitivi in Italia ed all'estero. L'azienda è sempre rimasta proprietà degli inglesi, però, almeno fino agli anni 2000, si conquistò una sempre maggiore indipendenza operativa, grazie ai buoni risultati conseguiti.

### *La Siemens*

Chiudiamo questo excursus sulle vicende della R&S industriale nel nostro Paese dagli anni di guerra ai primi anni '60 ( al culmine del miracolo italiano) parlando della Siemens, che poi si chiamerà Italtel.

Nell'immediato dopoguerra le strutture aziendali della Siemens A.G. in Italia furono confiscate dallo Stato italiano a fronte dei danni di guerra. Dopo un percorso complicato, la parte telecomunicazioni fu totalmente assegnata, per iniziativa principale di Guglielmo Reiss Romoli, al Gruppo STET di Torino, capogruppo di tre concessionarie telefoniche, che in tal modo avrebbe formato un gruppo integrato comprendente l'esercizio telefonico e l'azienda manifatturiera, a lontana imitazione del Bell System statunitense.

L'azienda manifatturiera, che si chiamò da un certo momento in poi SIT Siemens, aveva un accordo di tecnologia con la casa madre tedesca. L'accordo permetteva di commercializzare ed installare in Italia prodotti di telecomunicazione provenienti dalla Germania e/o impiantare su licenza delle produzioni in Italia. In poco tempo la SIT Siemens ebbe una grande crescita occupazionale per produrre delle centrali di commutazione automatica elettromeccanica (EM) di tecnologia Siemens A.G. per il mercato italiano. Nel comparto della commutazione elettromeccanica, qualche particolare sistema fu progettato, sempre utilizzando la tecnica tedesca, su iniziativa di un gruppo di progettisti facente capo all'ing. Giorgio Dal Monte, che a lungo fu il Direttore Tecnico della Società. Alla SIT Siemens fu assegnata, in questo periodo, una larga quota del mercato italiano, in concorrenza con la Ericsson, la ITT e la GTE; tutte utilizzavano apparecchiature con tecnologie provenienti dalle case madri estere, pur producendole, in tutto o in parte, nel nostro Paese.

Negli anni '50 SIT Siemens fu attiva anche nel campo della trasmissione, fornendo apparecchiature di origine tedesca, come gli amplificatori per linee coassiali, che non erano coperti dalla FIMM o dalla Telettra. In quest'ultimo comparto della trasmissione, SIT Siemens, agli inizi degli anni '60, cominciò ad investire in una R&S autonoma dalla Germania. Dei risultati di questa attività ci occuperemo successivamente.

## **L'inizio dell'era digitale e l'affermazione dello stato solido**

### *La Telettra*

Il decennio '60 vide il definitivo consolidamento di questa società, sia nei prodotti a piccola e grande capacità analogica, sia per aver dato inizio all'era

digitale in Europa, sia per la conquista di un significativo “market share” nel nostro Paese, ed infine per il notevole livello raggiunto nell’export. Alla base di tutto ciò sta naturalmente la crescita quantitativa e qualitativa del reparto di R&S; importante per questa crescita è stato l’instaurarsi di una collaborazione con l’Università, in particolare con l’Università di Bologna (in parte anche con quella di Padova). Il prof. Ercole De Castro (Fig. 11), ordinario di Elettronica all’Università di Bologna, diede un contributo fondamentale alla crescita scientifica del Laboratorio Telettra. Egli fu coadiuvato da Leonardo Calandrino. Occorre ricordare, alla fine degli anni ’60, i contributi allo sviluppo della commutazione digitale, realizzati da Roberto Laschi e Aurelio Boari, sempre dell’Università di Bologna e quelli dei proff. Gianfranco Cariolaro e Silvano Pupolin per la trasmissione digitale ed il “digital processing”, dell’Università di Padova.



**Figura 11.** Prof. Ercole De Castro, Ordinario di Elettronica, Facoltà di Ingegneria, Bologna.

All’inizio degli anni ’60 Telettra procedette alla transistorizzazione completa dei multiplex FDM (1961), mentre quella dei ponti radio, che usavano frequenze molto più alte, fu più graduale; comunque è del 1965 la disponibilità di un ponte radio HT12 per 1800 canali, tutto transistorizzato, tranne l’amplificatore finale con tubo ad onde progressive.

I transistor di potenza a frequenze elevate non erano ancora disponibili, ma tutti i circuiti in banda base e l’amplificazione della portante modulata a 70 MHz, usavano transistor, prima dell’*up-converter* che portava alla frequenza a microonde.

Nel componente più delicato, il modulatore di frequenza, ci fu un decisivo intervento di De Castro, con l’assistenza di E. Proni. Egli concepì di adottare un “push/pull” di due oscillatori con diodi varactor modulati in controfase. Si ottenne così, con questo artificio, un modulatore di buona linearità e stabilità in frequenza, pur utilizzando questo diodo di caratteristiche poco lineari. L’idea fu brevettata internazionalmente, ma negli anni successivi fu adottata praticamente da tutti i costruttori di ponti radio. La soluzione del problema relativo alla eliminazione anche l’ultimo tubo rimasto per la potenza di uscita, che aveva bisogno di un alimentatore molto complicato e critico, è rimandato alla prossima sezione.

I Laboratori Bell, che solitamente davano l’inizio a tutte le grandi novità, avevano introdotto, a fine anni ’50, il T1, multiplex a 24 canali PCM (Pulse Code Modulation), in cui il segnale telefonico veniva campionato e poi codificato, formando quindi un “*bit stream*” di 1,5 Mbit/s. Telettra mise in esercizio nel 1962, prima in Europa, un multiplex PCM a 24 canali DT24. Dopo gli Stati Uniti, anche in Europa era nata l’era digitale nelle telecomunicazioni. Il multiplex PCM era nato per moltiplicare la capacità dei doppi telefoniche già installati, inserendo, ogni due chilometri, un rigeneratore. Telettra pensò ad una alternativa: trasmettere il segnale a 24 canali PCM attraverso un ponte radio a frequenze alte (13 GHz), che comportava un’antenna di piccole dimensioni, dietro la quale era sistema-



**Figura 12.** Lo stabilimento principale della Telettra Española a Torrejon (Madrid) che comprende laboratori e reparti produttivi. Altre sedi produttive sono a S. Roque (Algeciras) e a La Coruña.

Per completare la descrizione dell'attività della Telettra negli anni '60, dobbiamo ricordare il forte impulso che la società diede all'esportazione. Già negli anni '50 era stata montata in tutta la Turchia una grande quantità di chilometri di circuito con multiplex telefonici e telegrafici; nei primi anni '60 una rete in Irlanda con i ponti radio a grande capacità. In entrambi i casi dovettero essere superate difficoltà dovute all'inesperienza, anche con l'aiuto di tecnici del laboratorio, che completavano la loro esperienza e formazione ingegneristica contribuendo a fare funzionare in campo le apparecchiature da loro progettate. È questa una delle fondamentali differenze tra la ricerca e sviluppo accademica e quella industriale: in quest'ultimo caso il progettista si sente responsabile del suo prodotto in tutto l'iter che segue il progetto, cioè la produzione e, appunto, il funzionamento in campo.

Alla fine degli anni '60, la Telettra aveva conquistato una reputazione che le permise di entrare nel mercato spagnolo con un accordo con la CTNE (la compagnia che gestiva i servizi telefonici spagnoli). Con questo accordo nacque una Telettra Espanola, che arrivò ad occupare 2500 persone ed era dotata di un buon reparto di R&S, che, integrato con quello italiano, aumentava la capacità innovativa della società (Fig. 12). L'azienda fu guidata dall'ing. A. Odello e quindi dall'ing. C. Morino.

### *La Siemens*

Avevamo lasciato la SIT Siemens impegnata, all'inizio degli anni '60, in opere di R&S autonome nel campo della trasmissione. In effetti, in questo settore, la società ebbe successo in due sistemi importanti: il ponte radio a grande capacità transistorizzato ed inizialmente con il tubo ad onde progressive come trasmettitore e successivamente con il trasmettitore allo stato solido; il secondo sistema fu il multiplex PCM a 30 canali. La prima realizzazione fu dovuta all'impegno del gruppo coordinato dall'ing. Leandro Dobner. Per questo sistema si segnalano, tra le altre, le installazioni nel collegamento Verona-Brennero in Italia ed in Etiopia, di un ponte tutto allo stato solido per 960 canali. Molto successo

to il ricetrasmittitore. Questo insieme (H17), poteva essere installato su una semplice palificazione e costituire quindi una facile alternativa al doppino; un'idea di Giorgio Cenzatti.

Per il multiplex PCM, il CEPT, Ente di standardizzazione, scelse uno standard di 30 canali, che comportava un "bit stream" di 2 Mbit/s. Responsabile del nuovo progetto fu F. Vagliani.

ebbe il PCM a 30 canali nel mercato nazionale, in perfetta concorrenza con l'analogo sistema della Telettra. Questo risultato fu dovuto al gruppo guidato dall'ing. Pietro Baldin, coadiuvato dall'ing. Gianpiero Candiani.

### *La Selenia*

Negli anni '60, la Selenia era un'azienda controllata da Finmeccanica, partecipata da Raytheon e guidata dal prof. Carlo Calosi. Negli anni '60, con alcune produzioni di ponti radio su licenza Raytheon, costituisce una divisione telecomunicazioni, a fianco della sua prevalente attività radaristica. In questa divisione vengono progettati una serie di ponti radio allo stato solido per il settore civile: la serie SRL60, con capacità diverse da 60 fino a 1800 canali e praticamente in tutte le canalizzazioni disponibili da 1 a 10 GHz. Questi prodotti furono venduti nel mercato italiano (SIP,ASST) ed anche all'estero (Svezia, Australia, Egitto), dove Selenia era conosciuta come costruttore di radar. Infatti, questi ponti servivano talvolta come collegamenti per portare i dati dei radar aeroportuali. Ponti radio di piccola capacità (12, 24, 60 canali telefonici) furono indirizzati alle reti private (Eni, ecc.). Gli uomini di punta di questi progetti di ponti radio a piccola e grande capacità furono: Bruno Basini, un ingegnere molto creativo formatosi in FIMM (Fig. 13) e M. Massani.



**Figura 13.** Selenia. Ing. Bruno Basini.

Nel 1969, la Selenia passò al Grupo STET e a fine anni '70, la Società, facendo leva sul *know-how* informatico acquisito con lo sviluppo di computer proprietari (GP16, GP160), originariamente dedicati alla automazione industriale, venne impegnata nello sviluppo e realizzazione di sistemi di supervisione di reti e centrali di commutazione EM. La realizzazione più importante fu per il TUT (Tariffazione Urbana a Tempo) per le centrali Siemens e GTE. Questo sistema permetteva di rilevare una serie di dati dagli organi di centrale, tracciando la telefonata e fornendo la tariffazione a tempo ed altri servizi; il tutto fu poi conglobato nelle centrali elettroniche. Selenia ed AET di Torino svilupparono il Seldis/Fama, un sistema di supervisione per le reti trasmissive, installato su tutta la rete della SIP.

Va ricordato inoltre, che Selenia svolse un'importante attività spaziale, descritta in altro capitolo. La Selenia ritornò nel Gruppo Finmeccanica nel 1989.

### *La ARE*

La ARE nacque a Castellanza (VA) nel 1948 ad opera di Franco ed Umberto Baratelli e Carlo Bertolasi, per realizzare collegamenti in Ponte

Radio di media capacità. Negli anni '70, il Laboratorio, guidato dall'ing. Giovanni Roda, occupava una cinquantina di persone, che svilupparono prodotti innovativi, quali Ponti Radio troposcatter e modem dati. Furono realizzati, tra gli altri, i collegamenti troposcatter Sicilia-Lampedusa per SIP e Toscana-Sardegna per Enel ed all'estero collegamenti per piattaforme petrolifere in Congo per Agip e per il PTT dello Jemen. Negli anni '80 il gruppo svedese LM Ericsson acquisì il pacchetto di maggioranza e affidò la guida della società all'ing. Franco Arzano, prima di farla confluire completamente nel Gruppo.

### *La Telettra nei primi anni '70*

Vanno segnalate alcune realizzazioni della Società in questo periodo. In primo luogo la progettazione degli apparati di linea per cavo coassiale. Questi sistemi erano formati da due apparecchiature: l'amplificatore di linea bidirezionale e l'apparato terminale dotato della testata per le segnalazioni diagnostiche e di manutenzione. Dapprima venne disponibile il sistema di linea a 300 canali FDM; successivamente quelli a più larga banda e, per completare, quello al top della gerarchia FDM, a 60 MHz di frequenza massima per 10.000 canali telefonici. I sistemi furono omologati da ISPT e trovarono applicazione nella rete della ASST e furono seguiti da tutta la famiglia dei sistemi digitali fino a 565 Mbit/s.

È il caso di segnalare che nessuna altra azienda con laboratori nel nostro Paese si cimentò con questi sistemi di linea (così come avverrà per tutta la famiglia digitale fino a 565 Mbit/s), per cui le tratte installate da Telettra in Italia furono le uniche formate da apparati *progettati* e costruiti in Italia. Il gruppo fu guidato da Guido Vannucchi con L. Bellato ed A. Tavella ed aprì successivamente la scuola Telettra dei sistemi in fibra ottica.

La validità di questo gruppo fu riconosciuta anche da Alcatel, che gli diede la guida della divisione ottica. Gli eredi di questo gruppo, ancora oggi, a seguito della fusione Alcatel-Lucent, si trovano in posizione di leadership all'interno di quelli che furono i Bell Laboratories.

Nel campo dei ponti radio fu eclatante la ricerca e la realizzazione di un ripetitore nella gamma dei 2 GHz; esso, che si chiamò IR20 (Injection Repeater 2GHz), aveva tutta la trafila ricevente e trasmittente collocata alle frequenze di microonde, non passando a frequenza intermedia, come di solito. L'effetto di amplificazione variabile del segnale ricevuto, necessario per contrastare l'effetto fading, fu ottenuto usando un particolare diodo "tunnel" che, oltre ad avere un basso fattore di rumore, permetteva una notevole dinamica per la portante d'ingresso. Anche per ottenere la potenza di uscita a 2 GHz (0,5 Watt) si scoprì che un oscillatore a microonde poteva essere agganciato da un segnale modulato in frequenza. Il ripetitore era quindi molto semplice: consumava solo 6 Watt e la completa stazione ripetitrice 1+1 bidirezionale, inclusi i servizi, consumava 28 Watt in tutto, un ordine di grandezza più basso della normale stazione ripetitrice, e quindi poteva essere alimentata con pile a secco aventi una autonomia di circa 6 mesi.



**Figura 14.** L'On. Giulio Andreotti incontra i responsabili della R&S durante l'inaugurazione della sede di Vimercate (1968).  
**Figura 15.** Una stazione ripetitrice nodale del collegamento della Nuova Guinea con apparati IR20, situata ad oltre 2500 metri di altitudine e raggiungibile solo in elicottero.

Fu un grande momento di creatività che generò molti articoli scientifici e vari brevetti internazionali. Fu studiato da un gruppo comprendente A. Picchio, P. Mastalli, E. Proni, Guido Vannucchi (Fig. 14 al centro) e Salvatore Randi (Fig. 14 a destra) e, per lo studio impiantistico da G. Strocchi. Era il ripetitore dei casi difficili, dove il sito fosse raggiungibile solo mediante elicotteri. La sua applicazione più importante, fu un collegamento che attraversava la Nuova Guinea e che fu ordinato nel 1972 dal Post Master General australiano (Fig. 15).

Purtroppo, durante un volo per definire i siti di ripetizione, un elicottero cadde e persero la vita l'ing. Carlo Naggi della Telettra e due tecnici del PMG australiano. La sempre maggiore penetrazione della Telettra nel mercato internazionale, era alimentata anche dalla reputazione che l'azienda si era fatta come capace di risolvere i "casi difficili". Talvolta era necessario realizzare collegamenti con tratte particolarmente lunghe per superare un tratto di mare.

Mediante lunghi studi di propagazione e complicati calcoli teorici, condotti dall'ing. L. Moioli e dal prof. U. Mengali dell'Università di Pisa, era stato messo a punto un sistema che usava due antenne separate da una "opportuna" distanza e corredate da un combinatore che, lavorando sui due segnali in arrivo, faceva arrivare all'ingresso ricevente, il segnale giusto. Fu così realizzata, ad esempio, la tratta radio di 360 chilometri, che attraversava il Mar Rosso tra l'Egitto e l'Arabia Saudita; era un record mondiale di lunghezza.

Altro caso difficile: la dorsale in ponte radio (con apparati a basso consumo in shelter pre-tarati in fabbrica), che attraversava tutta la Siberia per 2700 chilometri (1978). È opportuno segnalare che gli uomini di punta del Laboratorio Ponti Radio erano Giacomo Crippa e Gabriele Marzocchi.

### *La SIAE Microelettronica e la Selta*

Ritengo a questo punto opportuno segnalare il contributo innovativo di alcune aziende di successo, che definirei di medie dimensioni e che operano



16



17



18

**Figura 16.** SIAE Microelettronica – E. Mascetti.

**Figura 17.** SIAE Microelettronica – U. Cucina.

**Figura 18.** Le origini Selta: da sinistra G. Bertolini, D. Carpani e L. Malagoli.

tuttora sul mercato. Mi riferisco a SIAE Microelettronica ed a Selta. Edoardo Mascetti (Fig. 16), nel 1952 fondò la SIAE (Società Italiana Apparecchiature Elettroniche), operante nella produzione di strumentazioni di misura; dal 1958 essa decise di occuparsi di sistemi di telecomunicazione. Nel 1958 fu fondata da cinque persone la Microelettronica, con l'obiettivo di progettare e produrre apparati di TLC. SIAE e Microelettronica si fusero e la compagine, che porta l'attuale ragione sociale, si stabilì a Cologno Monzese, dove è tuttora e dove è cresciuta nel corso degli anni. All'inizio, SIAE Microelettronica si occupò anche di

onde convogliate, ma poi si concentrò nel progettare e produrre ponti radio a microonde in banda UHF. All'azienda si associò un bravo tecnico proveniente dalla FIMM, di nome Umberto Cucina (Fig. 17). L'azienda ha un notevole successo anche internazionale, esportando in Norvegia ed in Gran Bretagna. Grazie ad un gruppo di progetto autonomo, è molto efficiente e non produce niente su licenza. Ha raggiunto un fatturato annuo di 100 milioni di Euro.

La Selta (Società Elettronica Trasmissione ed Automazione) nasce nel 1972 a Milano, quando un gruppo di progettisti, comprendente D. Carpani, G. Bertolini, L. Malagoli (Fig. 18) e C. Tagliaferri, si staccò dalla Telettra, con l'obiettivo di formare una nuova azienda capace di progettare sistemi di telecontrollo e di trasmissione su elettrodo ad alta tensione (onde convogliate).

La società, per merito del proprio gruppo di progetto molto efficiente, crebbe rapidamente e nel 1980 costruì uno stabilimento a Cadeo (Piacenza) e successivamente, nel 1982, un nuovo sito produttivo a Porto D'Ascoli, denominato Selta Sud, ora Selta Tel specializzato nella produzione di sistemi di comunicazione aziendale (centralini privati). Selta ha consolidato la propria presenza nel mercato delle *utilities* (ENEL, Ferrovie, ecc.) in Italia ed anche all'estero. Oggi, oltre ad approfondire le proprie competenze nel core business di automazione

delle stazioni elettriche e per il segnalamento ferroviario e quello dei centralini privati, si dedica anche alle TLC pubbliche, in particolare ai sistemi di accesso. Anche su questi sistemi ha acquisito un significativo posizionamento nel mercato; il fatturato si aggira intorno ai 50 milioni di Euro.

### *La IPM di Napoli e la URMET di Torino*

Le due aziende, come fornitori esclusivi della SIP, hanno portato avanti la progettazione, produzione ed installazione dei telefoni pubblici collocati nelle cabine telefoniche nel nostro Paese.

All'inizio, in collaborazione con una o l'altra delle due aziende, SIP scriveva le specifiche e una azienda progettava il prodotto e lo metteva in produzione; anche all'altra azienda veniva data la possibilità di produrre il nuovo prodotto; cosicché SIP poteva disporre di due fornitori. Questo comportava, per le due aziende, di possedere competenze distintive, sia di elettronica, sia di elettromeccanica.

Come telefono pubblico largamente diffuso nel nostro Paese, ricordiamo il Rotor del 1984, che gestiva contemporaneamente gettoni e monete (Fig. 19). Questo stretto legame progettuale con la SIP fu poi allentato e le due aziende usarono il *know-how* acquisito per proporre soluzioni proprie e per allargare il proprio catalogo ai molti tipi di terminali telefonici.



**Figura 19.** Rotor del 1984.

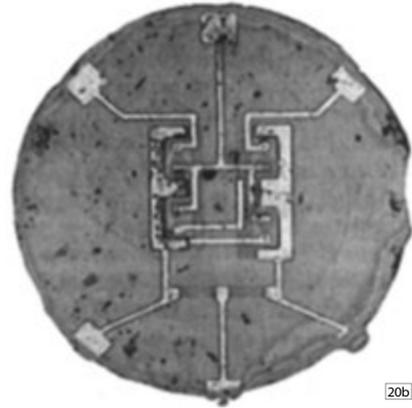
La IPM (Industrie Politecniche Meridionali) dei fratelli De Feo offrirà inoltre, in Italia ed all'estero, apparati per la trasmissione voce e dati a larga banda. Particolare successo ebbe la IPM all'estero con i suoi terminali. Arrivò a fatturare circa 70 milioni di Euro, esportando circa il 50% della propria produzione.

La URMET di Torino, di Massimo Mondardini, si occupa di telecomunicazioni e di domotica, svolgendo un'intensa attività di R&S. Nel campo TLC, oltre ai già citati telefoni pubblici, negli anni '80, è stata pioniera nella realizzazione di terminali ed infrastrutture di reti urbane *cordless*. Si occupò inoltre di reti di gestione di reti urbane con tecniche di segnalazione "overvoice". Arrivò a fatturare fino a 100 milioni di Euro, esportandone oltre il 30%.

## **L'introduzione dei circuiti integrati e la potenza di uscita allo stato solido**

### *L'introduzione dei circuiti integrati*

La storia che stiamo raccontando non sarebbe stata possibile senza l'invenzione delle valvole termoioniche prima, del transistor poi, ed infine del circuito integrato. Dall'invenzione del triodo (1907), l'elettronica ha compiuto ormai



**Figura 20a.** Replica del primo transistor costruito nei laboratori della At&T Bell Labs nel 1947.

**Figura 20b.** Il primo circuito integrato costruito con il processo planare sulla superficie di una piastrina di silicio monocristallino.

oltre cento anni. Nel 1947 tre scienziati dei Bell Labs, inventarono il transistor allo stato solido (Fig. 20a), e con esso nasce la microelettronica. La successiva svolta avvenne nel 1959 con l'introduzione del processo planare di Jean Hoerni alla Fairchild Semiconductor, che permise a Robert Noyce di costruire il primo circuito integrato, sempre alla Fairchild Semiconductor (Fig. 20b). Parlando della microelettronica, è opportuno ricordare che anche l'Italia partecipò a questo sviluppo con l'iniziativa di Virgilio Floriani, insieme a Roberto Olivetti, di fondare la Società SGS, oggi divenuta STM (dopo una fusione con la Thompson francese), che occupa una posizione di primo piano mondiale del settore. Floriani, peraltro, era in buoni rapporti con Robert Noyce, cofondatore della Intel.

A seguito di queste fondamentali scoperte, alla fine degli anni '60 ed agli inizi degli anni '70, il settore telecomunicazioni e della trasmissione elettronica, è stato caratterizzato da una continua e rapida evoluzione tecnologica. Ora le apparecchiature sono tutte allo stato solido con transistor: fanno eccezione solo alcune particolari valvole termoioniche, usate per generare potenza nelle portanti radio alle frequenze da 1 a 10 GHz ed oltre, quali il tubo ad onda progressiva, un amplificatore ed il klystron, un oscillatore.

Ora, nello stesso "chip" sta un intero circuito, non un solo transistor. Nel tempo cresceva il numero di funzioni contenute in uno stesso chip; esso cresceva con una dimensione individuata dalla legge di Moore: per ogni 18 mesi, per effetto dei miglioramenti nella tecnologia, tale numero raddoppiava. Questo ebbe effetti molto importanti per l'industria elettronica, sia per le telecomunicazioni, sia per l'informatica. Innanzitutto comportava una certa semplificazione nella progettazione hardware ed una riduzione degli spazi occupati dalla stessa funzione, facendo attenzione a non introdurre nello stesso spazio maggiori consumi, perché l'aumento di temperatura di lavoro dei chip ne diminuisce l'affidabilità. Ne nasceva inoltre una tendenza al passaggio di valore aggiunto dalle aziende di apparecchiature ai produttori di circuiti microelettronici, chiamati comu-

nemente circuiti integrati. Per particolari applicazioni, prevalentemente in alta frequenza, si fecero circuiti integrati non supportati da chip di silicio, ma da piastrine vetrose; furono i circuiti a film sottile o a film spesso, a seconda della tecnica di collegamento tra i componenti.

Sempre per particolari applicazioni, poteva capitare che il progettista di apparecchiature non ritrovasse nei cataloghi dei costruttori di circuito integrato, un circuito adatto alla specifica applicazione. Questo portò le ditte di apparecchiature a formare dei gruppi di progetto capaci di disegnare la maschera di un circuito integrato particolare, che fu detto “ASIC” (Application Specific Integrated Circuit). In questo caso l’azienda di semiconduttori eseguiva la fusione<sup>2</sup>.

### *Potenza di uscita allo stato solido*

In un ricetrasmittitore per ponte radio, la residua presenza di tubi per ottenere la potenza di uscita, abbassava l’affidabilità dell’apparecchiatura, perché i tubi richiedevano un complicato alimentatore ed avevano una vita limitata.

Le aziende occupate nel costruire i ponti radio allo stato solido affrontarono la sfida di eliminare i tubi, cercando di ottenere la potenza di uscita necessaria, mediante dispositivi allo stato solido.

A parte l’exploit di Telettra con l’IR20, che emetteva solo mezzo Watt, occorre trovare una soluzione per gli apparati con media frequenza a 70 MHz. Siccome non esistevano transistor di potenza a microonde, una soluzione adottata era quella di ottenere potenza a frequenza più bassa, quindi agendo una moltiplicazione di frequenza con diodi varactor di potenza ed infine facendo l’“up-conversion” con il segnale eterodina.

Queste soluzioni furono adottate da tutti i costruttori di ponti radio degli anni ’70, sia dalla GTE Telecomunicazioni, sia dalla Telettra, che fronteggiavano i competitori giapponesi (NEC e Fujitsu), ma anche dalla SIT Siemens e dalla Selenia.

### **La commutazione elettronica**

Grande sviluppo fu dato nel nostro Paese alla R&S di sistemi di commutazione elettronica. A questo sviluppo partecipò la SIT Siemens, poi Italtel (da ora in poi la chiameremo Italtel) ed anche la Telettra, seppure per motivi strategici diversi. Esso occupò buona parte degli anni ’70, tutti gli anni ’80 e parte degli anni ’90. Gli investimenti in R&S ed in industrializzazione, furono macroscopici: la Italtel arrivò ad occupare, solo in questo settore, un gruppo di oltre duemila ricercatori e circa cinquecento ne arrivò ad occupare la Telettra.

Fino agli inizi degli anni ’80, furono montate in Italia, centrali di tecnica elettromeccanica (EM), tutte di tecnologia importata, ma in parte o in tutto, costruite su licenza in stabilimenti italiani.

<sup>2</sup> Vedi anche: Federico Faggin 2009, “Dalla Microelettronica alla Nanoelettronica”, *Mondo Digitale*, Marzo.

SIP, società che nel gruppo STET (IRI) aveva assorbito tutte e cinque le concessionarie telefoniche ed era così divenuta il cliente monopsonistico delle imprese manifatturiere, aveva diviso il territorio nazionale italiano in zone, all'interno delle quali si montava omogeneamente una tecnica, così da semplificare la manutenzione ed evitare il costo dell'interfaccia fra tecniche diverse. Italtel, con tecnica Siemens, aveva circa il 40% di market share; circa il 25% era in tecnica Ericsson e minori quote ad Alcatel (che aveva rilevato il gruppo ITT con la Face Standard) e GTE.

Costruire tutti i componenti (relè) per mettere in campo le centrali EM era molto oneroso in termini di mano d'opera, come pure il montaggio in campo; le quattro aziende fornitrici di SIP di centrali EM avevano ingrossato il proprio organico, in particolare nel periodo di grande domanda che precedette la crisi petrolifera del '74. SIP spinse la installazione di centrali automatiche fino a raggiungere un record europeo: estendere la teleselezione automatica da utente a tutto il Paese; ciò avvenne nel 1972.

Il grande progresso della microelettronica, che stava determinando in parallelo un grande avanzamento dei calcolatori, che erano diventati tutti allo stato solido, tranne le memorie, ispirava nelle società di costruzione di apparati di TLC, l'idea che la centrale di commutazione potesse essere costituita da una matrice di connessione, governata da un calcolatore che trasmetteva alla matrice gli ordini che gli pervenivano dalla segnalazione di utente. Ci si aspettava, da questo mutamento, una notevole e continua diminuzione dei costi, in parallelo allo sviluppo dei circuiti integrati legato alla già citata legge di Moore.

La curva ad S (che rappresenta il "ciclo di vita" di ogni tecnologia) della commutazione EM era arrivata alla saturazione. Un nuovo ciclo di vita poteva iniziare solo su una nuova curva corrispondente ad una nuova tecnologia. Un secondo vantaggio era costituito dall'attesa di prestazioni molto più interessanti: una *release* software poteva fornire all'utenza finale certe prestazioni; la *release* successiva prestazioni più avanzate. Vi erano attese anche sui servizi interni alla centrale: per es. la diagnostica avrebbe consentito di individuare la piastra guasta entro gli armadi di centrale, e così via.

Così in tutto il mondo si formarono laboratori di elettronica per progettare sistemi di commutazione del nuovo tipo. È appena necessario dire che il progetto di una centrale di commutazione elettronica, equivale almeno al progetto di un calcolatore *mainframe*. Nel mondo pochi avevano avuto successo in questo e nessuno in Italia, dopo l'Elea di Olivetti.

Il primo gruppo di ricerca al mondo ad ottenere un risultato positivo nel progetto di una centrale a comando elettronico, fu, al solito, quello dei Bell Laboratories, che installarono a Succasumma, nel 1965, dopo un primo tentativo fallito nel 1962, la ESS n. 1 (Electronic Switching System n. 1), sistema di connessione elettromeccanica; esso era in effetti una centrale EM a comando elettronico a programma registrato. Più tardi, negli anni '70, furono realizzate, anche fuori dagli USA, centrali semielettroniche; in particolare la ESK 10.000 di Siemens, la prima AXE di Ericsson, la SP1 di Northern Telecom (Canada) ed il D10 di NEC (Nippon Electric Company).

La via maestra per il futuro completamente elettronico e digitale venne indicato in un articolo di H. E. Vaughan che descriveva un sistema integrato a

divisione di tempo fondato sullo standard T1 (24 canali PCM già citato), che apparve addirittura nel 1959 nel Bell System Technical Journal (BSTJ).

Questo articolo fece col tempo partire le due aziende italiane: la Italtel e la Telettra, che naturalmente avrebbero usato lo standard del PCM a 30 canali. Le due decisioni aziendali furono molto, molto coraggiose: per entrambe la R&S informatica era nuova e per Italtel era abbastanza nuova l'esperienza di R&S tout court.

Difatti, per Italtel, il percorso fu travagliato.

### *La commutazione Telettra: la partenza*

Durante gli anni '60 i collegamenti settore-distretto con PCM 30 ebbero un grande successo. Una comunicazione da utente proveniente dal settore del distretto A (o da centrale periferica da rete urbana) e diretta ad un settore del distretto B, compiva il tragitto seguente. Il messaggio vocale in banda base attraversava la centrale EM periferica indirizzata verso una giunzione di uscita; se questa giunzione era servita da un PCM 30, come era sempre più frequente, il messaggio veniva campionato, codificato, prendeva uno slot di 64 Kbit/s e, arrivando al proprio centro di distretto, subiva il processo opposto per attraversare la centrale di transito distrettuale EM che la presentava ad una giunzione eletta alla destinazione prescelta; quivi, di nuovo incontrando un PCM 30, percorreva il percorso dal distretto A al distretto B e, con doppio processo di campionamento e codifica, si presentava in banda base alla centrale terminale di destinazione. Venne subito l'idea che la centrale di transito analogica più i terminali PCM 30 ad essa adiacenti potessero essere vantaggiosamente sostituiti da una matrice a divisione di tempo digitale governata da un calcolatore.

Tutti i centri di distretto erano collegati a stella alla periferia; quanto più i bracci della stella fossero stati composti da collegamenti PCM, tanto più il gruppo di transito centrale a divisione di tempo si sarebbe rivelato opportuno. I messaggi avrebbero evitato numerosi passaggi analogico-digitali, ricevendo la codecodifica in partenza ed in arrivo. In prospettiva, il numero di terminali PCM in rete si dimezzava e la rete sarebbe stata composta prevalentemente da centrali a divisione di tempo digitali (reti integrate).

Questa visione prospettica spinse la Telettra ad attrezzare un laboratorio di commutazione; all'inizio (1964 in campo) Giuseppe Dallargine progettò un concentratore con commutazione remota con tecnica digitale (Sintel 1) che funzionò egregiamente (come al solito, prima realizzazione del genere nel nostro Paese). In seguito furono fatti studi di fattibilità per la centrale di transito distrettuale (N. De Polo) e di una centrale terminale (Dallargine), mentre la SIP, che sempre aveva incoraggiato Telettra nella trasmissione, vedeva male l'introduzione di un quinto fornitore nella commutazione (già quattro erano troppi). Comunque, la strategia di fondo della società (fai un buon prodotto innovativo ed il mercato verrà) prevalse ed alla fine degli anni '60 fu presa la decisione ufficiale di investire significativamente nella commutazione elettronica e conseguentemente di convergere verso di essa preziose professionalità.

*La Ricerca Italtel: la Seam ed il Proteo*

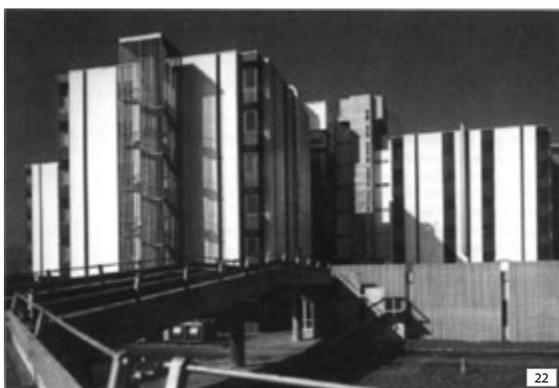
L'Italtel (allora SIT Siemens) era una grande azienda di commutazione elettromeccanica, che lavorava su licenza Siemens AG, aveva oltre il 40% del mercato italiano ed è arrivata ad occupare più di 30.000 persone. A fronte di questa grande occupazione per la produzione ed i montaggi, le persone occupate nella R&S erano relativamente poche. Abbiamo parlato dei contributi dati alla trasmissione ed agli sviluppi ottenuti in commutazione, usando la tecnologia dei relè Siemens AG.

Vi erano ottimi tecnici di commutazione classica: di Giorgio Dal Monte si è parlato, di Eros Mignani, Augusto Romagnoli e Filiberto Fiumi occorre parlare per la realizzazione della centrale semielettronica Seam, attivata in servizio sperimentale a Roma nel luglio 1965; essa era realizzata con relè Esk e con organi di comando elettronici e fu un esempio di collaborazione tra SIT Siemens e Siemens AG. Questa centrale semielettronica, che fu una delle prime tre installate in Europa e ricevette una visita molto accurata dai tecnici del PMG britannico, rappresentò una maniera per introdurre l'elettronica nella commutazione; in effetti le matrici a divisione di spazio con relè, rimasero competitive per molto tempo.

Questa scelta, per un certo tempo, tenne lontana la Siemens AG dalla tecnica digitale tutta elettronica, ma non la SIT Siemens italiana. Al suo interno si era formato il laboratorio sistemi speciali, guidato da Saverio Martinelli (Fig. 21), che stava lavorando a concepire il Proteo, un sistema di rete tutta elettronica, con centrale terminale PAM (Pulse Amplitude Modulation), chiamata CT, il successivo passaggio al PCM (la codifica PCM per linea era ancora troppo onerosa); la centrale di transito, chiamata TN, in tecnica PCM, governata da un computer, chiamato Leone.

Occorre, a questo punto, ricordare al lettore che i calcolatori usati per la commutazione si servivano della tecnica informatica, mentre per le TLC si doveva progettare un oggetto un po' diverso dai calcolatori usati per i sistemi informativi aziendali e altri scopi scientifici. Infatti, il calcolatore aziendale poteva fermarsi per un po' di tempo, ma non era tollerabile che sbagliasse i calcoli. Viceversa, per il calcolatore che guida una centrale telefonica, non è grave commettere un errore di indirizzamento della comunicazione, ma non è tollerabile che si fermi. Ogni utente non può avere più di trenta minuti di fermo all'anno (l'obiettivo di fermo era un'ora in 40 anni) e quindi, se per la connessione una via è preclusa se ne può trovare certamente un'altra, ma il comando deve sempre essere disponibile. Questo è il motivo per cui nessuna azienda al mondo ha usato calcolatori commerciali per le proprie centrali, ma quasi sempre due calcolatori di progettazione interna, in parallelo microsincronizzati. In qualche caso compariva un elaboratore di servizio commerciale per la diagnostica della centrale.

La conclusione è che in SIT Siemens si formarono due partiti: l'uno capeggiato da Giorgio Dal Monte favorevole alla collaborazione con Siemens AG ed alla tecnica semielettronica, l'altro, dei giovani leoni, capeggiato da Saverio Martinelli, per la tecnica digitale e quindi l'affrancamento, in prospettiva, dalla licenza Siemens AG.



**Figura 21.** Italtel. S. Martinelli.

**Figura 22.** Il Quadrifoglio. Edificio per la R&S a Castelletto di Settimo Milanese.

Il progetto Proteo, così configurato, con tecnica totalmente elettronica, ebbe l'appoggio del rag. Ingo Ravalico, all'epoca AD di Italtel, un capo carismatico. Egli fece approvare il progetto di finanziamento agevolato IMI dal CdA Italtel nel febbraio 1970. Al partito Proteo (nome di una costellazione), si associarono molti "giovani" anche in funzioni aziendali esterne alla R&S: era l'inizio di una nuova strategia aziendale; l'aumento del proprio spessore scientifico ed in prospettiva l'indipendenza tecnologica.

I giovani leoni che avevano concepito il Proteo sulla leading edge della tecnologia del tempo e che affiancarono Martinelli, si chiamavano: Giuseppe Valbonesi, Giorgio De Varda, Sergio Dal Monte e quindi Roberto Galimberti per la TN ed il Leone (che poi uscì e divenne un importante imprenditore) e Giovanni Barbieri (che successe a Randi come AD della Società nel '98). Nella maggior parte essi venivano dal Politecnico di Milano ed avevano avuto, come maestri, il professor Carassa (che in seguito divenne Presidente della Società e successivamente Presidente Onorario) e il professor Luigi Dadda. Siccome il Leone era un calcolatore a programma registrato, furono introdotti in azienda numerosi softwaristi, che negli anni '90 divennero la principale forza della Ricerca.

In Italtel, essendo molto aumentato il numero degli addetti ai Laboratori, fu costruito a Castelletto di Settimo Milanese (già sede produttiva della Società), un nuovo edificio tutto dedicato alla Ricerca e Sviluppo, nominato, per la sua struttura, Quadrifoglio (Fig. 22).

La Italtel (allora SIT Siemens) passò un periodo molto tumultuoso dal '70 all'80. Nei primi anni '70 la domanda della SIP era molto elevata; l'operatore telefonico voleva giungere alla TSU, teleselezione da utente poi raggiunta nel 1972. La TSU provocò una grande crescita della domanda e STET/SIP sottoscrisse una "convenzione aggiuntiva" che le imponeva di realizzare programmi di sviluppo per eliminare la domanda giacente. L'Italtel, per soddisfare questa domanda, si ingrandì molto, in tempi brevi, fino a raggiungere, nel luglio '75 le 30.000 unità, anche se divise in molti stabilimenti, prevalentemente al Sud.

La commutazione era la parte di gran lunga più importante dell'investimento in rete e, mentre si assumevano tante persone per costruire e montare la commutazione elettromeccanica, in laboratorio si lavorava a progettare un sistema di commutazione per produrre il quale sarebbe bastata una popolazione operaia di dieci volte più piccola. Questo fenomeno avrebbe coinvolto in prospettiva tutte le aziende di TLC.

Contemporaneamente la Società fu investita, più di tutti i concorrenti italiani, dall'effetto "autunno caldo" e successivamente dalla nascita delle Brigate Rosse. La Direzione Generale fu portata lontana dalle zone di conflitto, ma emerse anche uno scontro tra l'AD Ravalico ed il rappresentante dell'azionista STET, Carlo Cerutti. Ravalico puntava sul Proteo, che appariva sempre più incompatibile con la linea di sviluppo della Siemens AG verso la tecnica semielettronica EWS. Cerutti chiese a Ravalico di portare la Direzione Generale a Roma e di cominciare a produrre in Italia la EWS, che era evidentemente più avanti nella sua industrializzazione, del Proteo che, da parte sua, procedeva con una certa lentezza; evidentemente la EWS era considerata una buona riserva nel caso di fallimento del Proteo. Peraltro, anche l'opinione pubblica esterna all'Italtel, voleva il successo del Proteo ed era diventato politicamente scorretto parlare dell'insuccesso. Ravalico era un uomo integro e non accettò di fare una cosa che non condivideva e quindi uscì dal Gruppo nel giugno 1975.

Nel 1974 la SIP, a seguito della recessione economica provocata dalla crisi petrolifera, con conseguente inflazione e blocco delle tariffe, diminuì gli investimenti. L'Italtel iniziò una lunga crisi, che la portò sull'orlo del fallimento (1980/81) e che si risolse solo nel 1983/84. La diminuzione degli investimenti SIP determinò dissaturazione nel personale di produzione ed inoltre un aumento delle giacenze fu provocato da una certa rigidità all'interno della società nel controllo del processo produttivo. In aggiunta, la SIP, che in presenza di una inflazione a due cifre non otteneva adeguamenti tariffari, allungò sensibilmente i termini di pagamento, creando in Italtel, gravi problemi finanziari. Chi lavorava al Proteo, lavorava di certo in un ambiente poco sereno e, un pò per questo motivo, un pò per inesperienza, il progetto procedeva lentamente.

Una centrale terminale in tecnica PAM fu testata in rete nel 1975. La centrale di transito PCM, chiamata TN, arrivò in servizio sperimentale a Milano solo nel 1979. Le difficoltà del progetto erano state ampiamente sottovalutate (cosa peraltro naturale in progetti di questa entità) e la vera industrializzazione era ancora lontana. Saverio Martinelli si era nel frattempo gravemente ammalato; il Vice Direttore Generale, ing. Francesco Miccinelli, avocò a sé la responsabilità della Ricerca. Fu fatto un Master Plan nel quale si diceva che per la centrale terminale in futuro andava abbandonato il PAM e che una centrale terminale PCM avrebbe potuto essere provata solo nel 1983, per consegne nel 1985. Di qui l'esigenza di trovare aiuti dall'esterno.

### *La Ricerca Telettra in commutazione (anni '70)*

Dopo l'esperienza del SINTEL1 e, successivamente, del SINTEL2, che furono interamente sperimentali e non entrarono mai in servizio commerciale, come

si è detto, a cavallo degli anni '60-'70, prevalse il consueto approccio aziendale propenso al rischio e furono impostati due nuovi progetti.

I protagonisti di questa nuova avventura furono: Sebastiano Corrà, Alessandro Bellman,

Mario Caporale, cui presto si unirono Gianni Grazia, Michele Morganti, Guido Granello, Alberto Resta, Bruno Gobbi e tanti altri, con il sostegno dei proff. Roberto Laschi e Maurelio Boari.

Si creò il più efficiente ed entusiasta gruppo di R&S industriale che mai, chi scrive queste note, abbia visto all'opera.

Per gli sviluppi di commutazione fu costruito un nuovo stabilimento a Gorgonzola MI (Fig. 23).

I nuovi progetti riguardavano:

- lo sviluppo di una centrale interamente elettronica, affidata all'ing. Caporale, di tipo analogico a divisione di spazio (DST1); l'elemento di commutazione era un cross point elettronico e la logica di controllo era cablata, basata sulla tecnologia CMOS, che proprio allora stava diventando disponibile. Per le centrali terminali si giudicava che la soluzione analogica (nel caso a divisione di spazio) fosse ancora più economica di una soluzione PCM con codifica per linea;
- lo studio di una centrale totalmente numerica, affidata all'ing. Bellman, di dimensioni medio-grandi (SINTEL3) e per applicazioni di transito (rete integrata) basata su reti di commutazione digitale e controllo a calcolatore (a programma registrato).

Questi due progetti comportarono lo studio di tecnologie relativamente nuove per un'industria di telecomunicazioni, in particolare sull'unità di elaborazione ridondante ( mutuando parallele esperienze Bell System), con controllo microsincronizzato tra due elaboratori, oltre allo studio di un software real time ad alta affidabilità ed usando la programmazione strutturata.

Il problema principale per Telettra era di tipo strategico: occorreva accedere al mercato italiano (SIP), in assenza del quale sarebbe stato impossibile entrare anche sul mercato estero, nonostante la grande penetrazione che Telettra aveva su quest'ultimo mercato, cui era indirizzata la maggiore quantità della sua produzione.

In effetti, un quinto fornitore era per SIP oggettivamente problematico, ma Telettra fu in grado di ottenere una via d'accesso al mercato in due specifiche nicchie:

- centrali terminali in container da 1000 numeri; DST1 aveva bassi consumi e si prestava allo scopo;



**Figura 23.** Telettra – Stabilimento di Gorgonzola (MI) dedicato alla commutazione elettronica.

- una rete sovrapposta per i clienti affari, che anticipasse le funzionalità innovative proprie della tecnologia elettronica – la Rete Fonia e Dati (RFD). A questo scopo fu facile adattare lo studio in atto della centrale di transito PCM come AFD (Autocommutatori Fonia e Dati). La AFD costituiva il nodo di transito PCM; la raccolta utenti era fatta in vario modo; ad es. con concentratori decentrati in tecnica ESK.

Nel 1976 a Reggio Emilia fu fatta la prima sperimentazione in campo della DST1, mentre a Torino, sempre nel 1976, fu sperimentato il primo nodo AFD (prima centrale numerica nel nostro Paese). La DST1 ebbe un certo successo; la produzione fu decentrata nel 1979 a Chieti; si è protatta fino agli anni '80, introducendo in rete più di 500 apparati.

La rete RFD fu attivata per l'utenza amica nel 1978, mentre alla fine del decennio '70, quattro AFD erano in rete (TO – MI – Roma – NA). Con la RFD furono implementate Reti Private Virtuali per grandi utenti (ad es. per il Gruppo FIAT) ed il servizio Numero Verde (800), quest'ultimo solo nel 1985.

### *Gli anni '80 per Italtel, Telettra e GTE in commutazione*

Alla ricerca di aiuti esterni, l'Italtel incominciò a studiare accordi di collaborazione con Telettra. Nei colloqui tra le parti, furono spese moltissime parole, ma uscirono pochissimi fatti. Un grande risultato, invece, sortì da un viaggio in USA di un gruppo di tecnici: essi scoprirono l'ABC di Dallas – Texas ed il suo capo John Israel. Costui era un fantasioso e dinamico progettista di PABX, senza alcuna esperienza di centrali pubbliche, che però, invece, Italtel conosceva bene ed i due gruppi avevano quindi un certo grado di complementarietà. Dai vari colloqui Italtel/ABC scaturì il progetto della UT10/3. L'UT fu concepita come una centrale urbana o di transito cui si potessero collegare da alcune centinaia fino a diecimila linee di utente e fino a tremila giunzioni. Fu adottata la tecnica PCM con una codifica per linea; quindi la rete di connessione era totalmente numerica (del tipo TST). Le funzioni di elaborazione e di comando furono concepite a più livelli: per ogni otto linee di utente un microelaboratore (Z80) aveva funzioni di preelaborazione. I singoli moduli da mille linee dell'UT erano autosufficienti ed erano collegati fra loro a maglia, essendo l'autocommutatore privo di un controllo centrale, ma dotato però di un elaboratore di servizio dove erano inseriti i dati di centrale e che svolgeva le funzioni di diagnosi. Per implementare questo progetto, fu creato a Dallas un gruppo misto di ingegneri americani ed ingegneri italiani provenienti dal gruppo Proteo (questi ultimi raggiunsero gli ottanta addetti nel momento di punta): il gruppo stava quindi lavorando al "Proteo di seconda generazione". Con la supervisione di G. Barbieri e S. Dal Monte furono "distaccati" a Dallas Ugo Ferrari, Valerio Legnani ed altri (Fig. 24a). L'accordo con ABC fu raggiunto nei primi mesi del 1980; nel gennaio '81 una missione STET/SIP/CSELT si recò in visita a Dallas e davanti a loro si presentò una realtà inattesa: una piccola centrale in corso di collaudo. Il grosso del progetto americano fu trasferito, nell'autunno 1981, nei laboratori milanesi di via Valtorta (mentre al Quadrifoglio di Castelletto continuava in parallelo il progetto



**Figura 24a.** Gruppo di progetto UT a Dallas.

**Figura 24b.** L'ingegnere Domenico Faro insieme a Marisa Bellisario.

del Proteo, diciamo, di prima generazione) e, contemporaneamente, un prototipo di UT10/3 fu installato in rete nella centrale di via Stelvio, sempre a Milano.

Contemporaneamente alla svolta progettuale nel sistema di commutazione, Italtel ebbe una fondamentale svolta a livello di vertice. La situazione economico finanziaria della Società negli anni '80 e '81 si aggravò ulteriormente per le ragioni brevemente illustrate in precedenza. Il bilancio al 31/12/1980 chiuse con una perdita ufficiale di 141 miliardi di lire su un fatturato inferiore ai 450 miliardi. Tale perdita era perciò pari al doppio del capitale sociale e l'indebitamento altissimo. Con un processo di circa un anno e mezzo la situazione portò al totale cambiamento del vertice aziendale. Presidente rimase Carassa, l'Amministratore Delegato Giorgio Villa, che era succeduto a Ravalico, fu sostituito da Marisa Bellisario. Fu fatto un aumento di capitale di 250 miliardi da parte della STET. Marisa Bellisario scelse come Direttore Generale chi scrive queste note, che svolgeva la stessa funzione in Telettra. La coppia Bellisario/Randi riportò in utile la società in tempi relativamente brevi e portò in produzione i progetti in corso.

Nel frattempo, per adeguarsi a regole interne al gruppo IRI, Carassa si dimise da Presidente e fu nominato Presidente Onorario. Fu nominato Presidente l'ing. Domenico Faro, persona di grande equilibrio e grande esperienza nell'esercizio telefonico (Fig. 24b che rappresenta la coppia Bellisario/Faro).

L'opera Bellisario/Randi avvenne con grande determinazione, ma con un grande contorno di scetticismi, che coinvolgevano sia la Capogruppo STET, sia, in parte, la SIP, nonché le organizzazioni sindacali e politiche. In questo clima fu dato l'avvio all'accordo con Telettra e GTE per formare il Polo Nazionale che sosteneva il Sistema Italiano di commutazione. Fu stabilita una ripartizione dei costi fra i tre attori e quindi della titolarità del Sistema Italiano. Si stabilì pure che, per le centrali medio piccole si puntava sull'UT10/3, mentre per quelle urbane o di transito di grandi dimensioni, fino a 100.000 linee e 48.000 giunzioni, si sareb-



Figura 25. Visita del prof. Carlo Rubbia ai Laboratori R&S di Italtel.

aggiunto). La collaborazione tra i membri del Polo non contribuì molto all'accelerazione dei progetti, ma ebbe un certo effetto dal punto di vista dell'immagine.

Il progetto UT10/3 proseguì con fervore per il lavoro del gruppo di ritorno da Dallas ed inoltre di Antonino D'Angelo, Sandro Guidorizzi (con funzione di project manager), Attilio Vittadini, Franco Serio e del fenomenale collaudatore di SIP, Agostino Vailati.

Nel 1983, Bellman si trasferì da Telettra ad Italtel, assumendo la guida della R&S di commutazione. Inoltre, Maurizio Decina lasciò i Laboratori Bell in Illinois, prese un'aspettativa da professore universitario ed assunse l'incarico di Direttore Centrale della R&S in Italtel. Randi aveva così creato uno squadrone scientifico del più alto livello (Fig. 25 che mostra la visita del Premio Nobel, Rubbia, ai Laboratori di Castelletto; Bellman è seminascosto dal prof. Rubbia e Decina a sinistra di Bellisario).

Finalmente, la macchina UT divenne passabilmente stabile, per cui SIP, nei primi mesi dell'84, validò il progetto (la coraggiosa decisione fu presa dall'ing. Eros Mignani, con l'accordo dell'ing. Francesco Giacometti) e, nello stesso anno, furono consegnate alla rete e messe in esercizio quarantamila linee totali (anziché le centomila promesse). Comunque la macchina produttiva era avviata e la consegna, negli anni successivi, seguì una curva monotona sempre crescente.

Anche il Proteo di prima generazione entrò in servizio in rete con esemplari di TN e di CT2. Il laboratorio, dopo il 1984, era concentrato a far crescere le prestazioni dell'UT10/3, rilasciando due *release* software ogni anno (la prima *release* dell'UT dell'84 era infatti povera di prestazioni e fu chiamata "uno scheletrino"). Inoltre il laboratorio di commutazione cominciò ad impegnarsi fortemente nello sviluppo dell'UT100.

Nell'ambito del Polo Nazionale, Telettra assunse l'impegno di sviluppare l'unità remota di concentrazione MIC240 e di alcuni moduli specifici per l'UT100 quali il sistema di segnalazione a canale comune CCITT n. 7.

La GTE Telecomunicazioni si occupò dello sviluppo della piastra d'utente dell'UT e della europeizzazione del GTD5, usato in rete in attesa dell'UT100.

be usato il sistema della GTE internazionale, ossia il GTD5, adattato allo standard CEPT europeo. Fu anche definito che il Sistema Italiano atteso sul medio termine sarebbe stato composto dall'UT10/3 con l'aggiunta di moduli addizionali atti sia ad espandere la capacità fino a 100.000 linee/60.000 giunzioni, sia a fornire nuove avanzate prestazioni (servizi a valore

## Gli studi di trasmissione degli anni '70 ed '80

Grandissime novità furono sviluppate in questi anni nel campo della trasmissione; prima fra tutte l'introduzione delle fibre ottiche e dei componenti ottici, che rivoluzionarono la trasmissione a grande capacità ed a lunga distanza, soppiantando completamente il cavo coassiale. Vi sarà anche una grande utilizzazione nelle reti di accesso, sfruttando l'elevata capacità di cifra. La tecnologia ottica iniziò con lo sviluppo del laser (Light Amplifier by Stimulating Emission of Radiation), avvenuto negli USA all'inizio degli anni '60. Il laser è un generatore di emissioni ottiche coerenti (in pratica monocromatiche). Purtroppo l'utilizzo del laser fu all'inizio problematico, perché la portante ottica aveva ovvie difficoltà di propagazione nell'atmosfera terrestre (non fuori dall'atmosfera), però la portante ottica era attraente per la grandissima capacità di informazioni che poteva portare. La soluzione fu un processo decennale di perfezionamento di fibre di vetro – appunto le fibre ottiche – ottenuto sia aumentando la purezza del materiale per abbassare l'attenuazione del segnale ottico, sia costruendo la fibra con una variazione in senso radiale dell'indice di rifrazione del vetro, così da guidare il segnale ottico lungo la fibra. Si arrivò ad individuare tre finestre nello spettro ottico, nelle quali l'attenuazione del segnale è dell'ordine 0,2/0,4 dB/km. La prima applicazione delle fibre ottiche avvenne nel 1976-77 con frequenze di cifra 34-144 Mbit/s con distanza di 10 km. Con uno sviluppo di un decennio, arrivarono a portare 2,5 Gbit/s con il protocollo SDH (Synchronous Digital Hierarchy) su una distanza di circa 100 km. Alcune aziende italiane si impegnarono a sviluppare i componenti ottici, raggiungendo livelli significativi.

### *La Pirelli*

Per ottenere un amplificatore ottico occorre risolvere il problema dell'accoppiamento della fibra con l'amplificatore stesso ed inoltre quello della sorgente ottica di pompa. Il laboratorio della Pirelli Cavi e Sistemi diede una soluzione a questi due problemi e, per prima al mondo, offrì commercialmente gli amplificatori ottici in fibra pompata con diodi laser. La prima applicazione in rete fu commissionata dalla MCI per una tratta di 2500 km da Chicago a Denver e Salt Lake City, che portava un segnale di 2,5 Gbit/s; questa realizzazione fu del 1993. Gli amplificatori erano di ampiezza di banda ottica sufficiente, per cui fu possibile introdurre nelle fibre varie lunghezze d'onda ottiche; si creò quindi la tecnica del WDM (Wavelength Division Multiplex), che aumentava considerevolmente la capacità di informazione che la fibra poteva portare. Infatti, pur mantenendo apparati di trasmissione e ricezione a 2,5 Gbit/s, questa capacità poteva gradualmente arrivare fino a valori di decine di Gbit/s. Naturalmente, oltre all'amplificatore furono sviluppati tutti i componenti ottici, quali gli add-drop multiplexer per estrarre o inserire un canale e quelli necessari per costruire una rete ottica a lunghissima distanza di tipo magliato.

A questi sviluppi dei sistemi in fibra ottica si dedicarono anche Telettra, GTE e Marconi Italiana. GTE Telecomunicazioni, il primo gennaio 1988, diviene

Siemens Telecomunicazioni; come responsabile della Siemens Telecomunicazioni fu confermato Giorgio Scanavacca.

Telettra, dopo il ritiro di Floriani nel 1976, rimase FIAT al 100% fino a quando, nel 1990, FIAT la cedette ad Alcatel; Raffaele Palieri rimase Presidente e Domenico Ferraro divenne Amministratore Delegato. Va invece segnalato l'atteggiamento di Vannucchi (Fig. 14), all'epoca Direttore Generale della società; egli sentiva dentro di sé l'orgoglio di lavorare in un'azienda italiana leader nel suo settore in campo internazionale e, considerando intollerabile la nuova situazione, lasciò la società. Egli, per un breve periodo si associò all'Italtel come consulente, fino a quando la RAI "dei professori" lo nominò Vice Direttore Generale, responsabile dell'area tecnica.

Entrambe le aziende continuano, seppure con le limitazioni derivanti dal coordinamento del corporate internazionale, a lavorare nel loro filone principale di trasmissione, sia in fibra ottica, sia per ponte radio. A questo punto, però (siamo arrivati agli inizi degli anni '90), tutto il mondo TLC diviene digitale.

### Le TLC tutte digitali

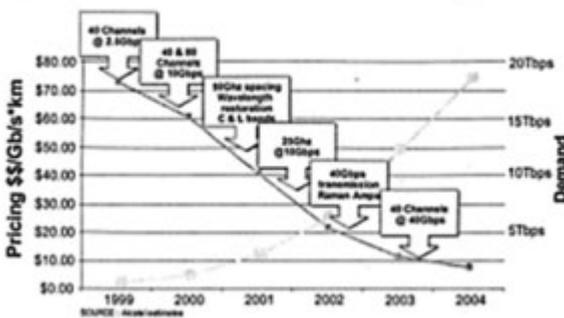


Figura 26. Sviluppo della tecnologia ottica per le reti di dorsale (Alcatel).

gerarchie dette plesiocrone. Si diffonde la trasmissione dati e i segnali voce, dati, immagini, vengono indifferentemente trattati in flussi di bit. Quando la velocità di cifra cresce, diventa sempre più essenziale l'utilizzo delle fibre ottiche.

Nascono le nuove gerarchie di trasmissione numerica: la necessità di aggiungere nel "bit stream" degli "overload" per facilitare le operazioni di amministrazione del flusso, favorire gli add-drop, ecc., comporta che le velocità di cifra non siano tra loro in un rapporto esatto. La più importante gerarchia sincrona è la SDH (Synchronous Digital Hierarchy) in Europa e la SONET (Synchronous Optical Network) in America. Questa gerarchia SDH parte da STMO, che vale 51,84 Mbit/s e va fino a STM256, che vale 39.813,2 Mbit/s. La più usata nelle fibre ottiche è inizialmente la STM16, pari a circa 2,5 Gbit/s.

La tecnologia ottica rese possibile una "escalation" che mostrava come la capacità di informazioni trasportabili in fibra potesse assumere valori elevatissimi (Fig. 26) a costi decrescenti. Le aziende italiane già citate contribuirono a questa "escalation".

Agli inizi degli anni '90, guidato dallo sviluppo impressionante della microelettronica, troviamo che le centrali di commutazione sono interamente digitali; i collegamenti di trasmissione tra distretti e compartimenti e quelli a lunga distanza sono o PCM a 30 canali, o multiplati TDM (Time Division Multiplex), con

Marconi Italiana si dedicò brillantemente allo sviluppo di apparecchiature della gerarchia SDH, come multiplatori a doppio stadio con uso di un numero ridotto di velocità di cifra e l'introduzione di matrici programmabili (*cross connect*), posizionate nei nodi di transito della rete. Particolare successo di Marconi Italiana fu lo sviluppo di multiplex flessibili per la raccolta del traffico proveniente dagli utenti, specializzando il servizio fornito a ciascun utente.

Anche i ponti radio dovettero abbandonare il segnale analogico FDM; con una portante non ottica, non si poteva andare, per ragioni di larghezza di banda, oltre certe velocità di cifra ed inoltre fu necessario escogitare sofisticati tipi di modulazione, sempre per contenere la larghezza di banda. Va citato un ponte radio GTE Telecomunicazioni a 140 Mbit/s, con modulazione 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) a 11 GHz di portante, montato in Australia (1982) e, parallelamente, sempre 140 Mbit/s con modulazione 16 QAM per la ASST di Telettra. Ancora, GTE/Siemens ha sviluppato la "Trellis Code Modulation" (TCM) e questo sviluppo ha portato, nel 1991, ad una prima mondiale di ponte radio modulato TCM a 128 livelli per la trasmissione di 155 Mbit/s.

Telettra, nel 1983, per supportare la linea di ponti radio ad onde millimetriche, impiantò una facility di dispositivi all'arseniuro di gallio (GaAsFET di potenza).

Si è detto che un *bit stream* portava indifferentemente segnali vocali, dati, di immagini ferme o in movimento. Quest'ultimo segnale televisivo in edizione standard è caratterizzato da un bit-rate di 160 Mbit/s. Nel caso di segnali televisivi ad alta definizione (HDTV), la trasmissione diventava proibitiva (quasi 1Gbit/s). Era quindi importante studiare tutte le possibili forme di riduzione di ridondanza. Uno studio importante è stato fatto in Italia da Telettra, in consorzio con RAI, RTVE (Spagna) ed il Politecnico di Madrid. Questo studio, in concorrenza con un altro grande programma europeo, mise insieme un sistema di compressione digitale basato sull'algoritmo DCT (Discrete Cosine Transform). Lo studio RAI-Telettra, fu vincente con largo anticipo sui concorrenti. Il gruppo di studio fu condotto da F. Molo ed S. Cucchi. Da qui nascerà, nel 1992, con il fondamentale contributo di Leonardo Chiariglione (dirigente CSELT), lo standard MPEG1 (Motion Picture Expert Group 1).

### *Sistemi per applicazioni speciali*

L'introduzione massiccia della tecnica digitale nelle reti di telecomunicazione, ha fornito alle aziende produttrici di queste reti, un'esperienza in grandi sistemi utilizzando l'hardware ed il software. Alcune aziende hanno avuto il compito, da grandi operatori internazionali, di automatizzare processi capaci di coprire tutto il territorio del Paese.

Selenia si occupò di una rete per l'automazione del gioco del lotto; progettò e fornì sia il controllo centrale del sistema, sia tutti i terminali. In seguito Selenia visse alcune vicende societarie che comportarono una confluenza con la Marconi Italiana per la sua divisione di apparati per la difesa. L'intera attività quindi ritornò in Finmeccanica nella Selex Telecommunications.

La Telettra, che nonostante lo spin-off della Selta, aveva mantenuto una divisione di teleinformazione e telecontrollo per servire le *utilities*, si aggiudicò la gara per la messa in opera del dispacciatore nazionale dell'ENEL. Si trattava di un sistema centralizzato per controllare la distribuzione (dispacciamento) dell'energia elettrica in modo da fare coincidere localmente l'offerta di energia con la domanda. Il progetto, che ha comportato un grosso impiego di software, fu guidato dall'ing. R. Varriale nello stabilimento di Rieti, del quale era responsabile l'ing. O. Bertoni.

### Collaborazione Università-Industria



**Figura 27.** Da sinistra: Carassa, Randi, Decina, festeggiano la nascita del Cefriel.

del Politecnico di Milano, con la Pirelli per i sistemi ottici e del prof. Aldo Roveri, della Sapienza di Roma, sia con la Telettra, stabilimento di Rieti, sia con l'Italtel, con il reparto Ricerca Centrale.

A Milano è stata studiata una forma nuova di collaborazione Università-Industria: tutte le ditte di TLC ed informatica stipularono con il Politecnico un accordo per creare un apposito laboratorio riguardante queste due discipline, che poi sarebbero confluite nella ICT (Information and Communication Technology). Parteciparono a questo progetto, oltre alle istituzioni (il Comune di Milano e la Regione Lombardia), l'Assolombarda di Ottorino Beltrami, la Bull di Carlo Peretti, l'IBM di Ennio Presutti, la Italtel di Marisa Bellisario e Salvatore Randi, la Pirelli di Gavino Manca e Giovanni Nassi, la Telettra di Raffaele Palieri e Guido Vannucchi ed ovviamente il Politecnico di Milano di Emilio Massa. Il progetto si chiamò CEFRIEL. Venne scelto a Direttore Scientifico il prof. Maurizio Decina (Fig. 27 a destra in un incontro presso Italtel con Carassa, a sinistra, Presidente onorario e con Randi, al centro, all'e-

I successi dell'industria italiana di telecomunicazioni, sono molto legati ad importanti personaggi del mondo accademico. Abbiamo ricordato la collaborazione di Carassa con FIMM/GTE e quella di De Castro e Cariolaro con Telettra. Alcune leggi approvate dai Governi dell'epoca, rendevano difficili queste fruttifere collaborazioni. In tempi più recenti va ricordata la collaborazione del prof. Mario Martinelli,

poca Amministratore Delegato di Italtel). Decina, che era ordinario di Telecomunicazioni alla Sapienza di Roma fu chiamato da Carassa al Politecnico di Milano. Decina aveva esperienza accademica ed industriale, avendo passato un periodo di lavoro presso i Bell Laboratories in Illinois e quattro anni come Direttore della Ricerca in Italtel, proprio nel periodo caldo della progettazione del sistema di commutazione.

### Le valorose aziende di nicchia negli anni '90-2000

Negli anni '90 e 2000 le valorose aziende di nicchia citate precedentemente, continuano a stare brillantemente nel mercato, coltivando con le proprie abilità di R&S, il proprio business; queste aziende sono ai giorni nostri presenti in completa autonomia ed indipendenza. Si vedrà in seguito che le aziende maggiori perderanno negli anni '90, chi più, chi meno, la loro indipendenza e quindi il loro slancio competitivo autonomo. Non così queste medie aziende, guidate da imprenditori capaci e decisi.

SIAE Microelettronica ha rinnovato, con le proprie tecnologie digitali, i propri ponti radio, avendo grande successo nell'export.

SELTA ha fornito ai propri clienti (le grandi *utilities* ENEL, Ferrovie, ecc.) sistemi di telecontrollo e centralini privati. Un settore quest'ultimo, nel quale anche aziende molto più grandi, hanno avuto gravi difficoltà. La consociata SELTASUD si è introdotta nel mondo pubblico IP con tecnologie di accesso XDSL e con particolari applicazioni.

IPM acquista nel 2001 la Landys & Gyr Communication (L&G Ginevra), uno dei competitori più forti di telefonia pubblica, diventando leader mondiale del settore.

URMET progetta e commercializza, con significativo successo, telefoni fissi e *cordless* con funzionalità analoghe a quelle dei telefoni cellulari (vedi linea Aladino), inclusa la videoconferenza. Inoltre, la diffusione della rete IP permette ad URMET TLC di fornire apparati di rete, quali Application Server, Dslam, ecc.

In fine è opportuno segnalare che negli ultimi anni si è introdotta nel mercato, molto vivacemente, la AETHRA di Ancona, fondata e diretta da Giulio Viezzoli. L'azienda ha sviluppato sistemi per audio e videoconferenza, per i quali ha conquistato un importante market share.

Nel nostro Paese esistono altre piccole e medie imprese di TLC che, con spirito analogo a quello delle aziende citate, stanno su mercati di nicchia<sup>3</sup>. Le cinque citate sembrano, all'autore di queste note, le più rappresentative.

<sup>3</sup> Per conoscerle tutte, si veda: Enzo Pontarollo 2006, *Reti e Servizi per il XXI secolo: il ruolo dei fornitori di tecnologie*, pubblicato a cura dell'Associazione Nazionale Telecomunicazioni Informatica ed Elettronica di Consumo-ANIE ed i precedenti volumi dello stesso autore, sempre in collaborazione con ANIE ICT e CE del 2002 e del 2000 (entrambi Franco Angeli Editore) e del 1998 (Sole 24Ore Libri Editore).

## Gli artefici dei successi

Giunti a questo punto, credo che sia opportuno illustrare i meriti di alcuni di coloro che, a livello manageriale, hanno guidato le aziende che, a giudizio di chi scrive queste note, hanno svolto il ruolo maggiore. Mi riferisco a: FIMM, poi GTE Telecomunicazioni, la SIT Siemens, poi Italtel e, infine, la più intraprendente fra tutte, la Telettra. Parlerò dei manager più significativi, assumendomi tutte le responsabilità di tali giudizi.

Il giudizio è veramente personale, avendo l'autore conosciuto dall'interno tutte e tre le aziende. Infatti, egli ha passato i primi cinque anni di carriera alla FIMM come progettista di componenti a microonde, i successivi ventitre anni alla Telettra come responsabile del Laboratorio Ponti Radio, quindi come responsabile di tutta la Ricerca e Sviluppo ed alla fine come Direttore Generale. L'ultima parte della carriera, dal 1982 al 1998, prima come Direttore Generale, poi come Amministratore Delegato alla Italtel (a parte una parentesi di tre anni come Direttore Generale della Capogruppo STET).

Parlando di Partecipazioni Statali, si è detto che Guglielmo Reiss Romoli formò un gruppo societario che conteneva le tre concessionarie telefoniche del Nord e la società SIT Siemens. Reiss Romoli aveva come modello, seppure in scala molto ridotta, il Bell System degli Stati Uniti, che conglobava le società di servizio, il Bell System Laboratory, che guidò per anni l'evoluzione del settore, e la società manifatturiera, Western Electric. Egli fondò anche il Laboratorio CSELT a Torino per la ricerca dedicata ai problemi dell'operatore. Da triestino di grande personalità, egli riuscì a formare questo gruppo all'interno dell'IRI, arginando le pretese delle aziende americane (in particolare la International Telegraph & Telephone – ITT) di prendere in mano tutte le telecomunicazioni nel nostro Paese. Reiss Romoli, quindi, va considerato il padre delle telecomunicazioni italiane (fondatore dell'attuale Telecom e dell'attuale Italtel).

Abbiamo visto come, nella storia di Italtel ci fu una spinta interna per acquisire un'indipendenza tecnologica dalla Siemens di Monaco. L'Amministratore Delegato che difese e promosse questo movimento, fu il rag. Ingo Ravalico – triestino come Reiss Romoli – uomo di grande carisma ed onestà intellettuale. Egli difese questa indipendenza tecnologica specialmente nei confronti della Capogruppo STET, la quale, non amando i rischi imprenditoriali, vedeva male una separazione in prospettiva dalla tecnologia di Siemens AG, posizione che all'epoca molti giudicavano ragionevole. Dopo le dimissioni di Ravalico, Italtel passò il periodo di grave difficoltà precedentemente descritto.

Nel 1979, quando l'Italtel era sull'orlo del fallimento, il mondo politico (che di solito interviene nelle aziende pubbliche in maniera sbagliata) fece una scelta indovinata, imponendo al management STET, che era tutto di stretta osservanza democristiana, un manager gradito ai socialisti: Marisa Bellisario, che era un ottimo manager. La personalità della Bellisario indirizzò l'azienda sulla strada

giusta; essa aprì un dialogo con le organizzazioni sindacali, sostituì i vecchi manager ed ebbe una tale capacità di proporsi verso il mondo esterno, che riportò la fiducia verso l'azienda e dentro l'azienda. L'azienda ritornò in utile nel 1983 e nel 1984/5 la centrale di commutazione elettronica, progettata interamente in Italia, entrò in rete con successo.

Purtroppo, Marisa Bellisario non riuscì a sconfiggere un male inesorabile e mancò il 4 agosto del 1988, lasciando in eredità un'azienda completamente risanata.

La Fabbrica Italiana Magneti Marelli (FIMM), che poi, entrata nel gruppo GTE, assunse il nome di GTE Telecomunicazioni con la responsabilità, a livello di gruppo, della trasmissione elettronica, ebbe, come manager significativi, il prof. Francesco Carassa, l'ing. Gaetano Monti Guarnieri, che erano due grandi tecnici, successivamente l'ing. Aldo Cardarelli, che era un grande commerciale ed infine l'ing. Giorgio Scanavacca.

Di Carassa, che dal 1963 in poi si dedicò prevalentemente agli studi universitari, si può dire che era una personalità eccezionale. Aveva un carattere sereno e sicuro di sé, anche nei momenti tempestosi e idee chiare sugli obiettivi da perseguire, che erano principalmente la difesa dell'indipendenza ed originalità italiana nelle tecnologie. Fu promotore del progetto SIRIO, che dimostrò la possibilità di utilizzare frequenze al di sopra dei 10 GHz per le comunicazioni satellitari, dando a queste comunicazioni un impulso notevole. Chi scrive ha riconosciuto in lui un maestro di lavoro e di vita.

Gaetano Monti Guarnieri, che guidava tutte le divisioni progettative della FIMM, usciva improvvisamente dal suo ufficio, con passo deciso, a metà mattina. Il soprannome di "Leone" deriva anche da questa sua improvvisa comparsa, che un po' terrorizzava tutti i suoi collaboratori, specialmente quelli che si occupavano del progetto di suo interesse al momento.

Aldo Cardarelli (Fig. 28, al centro con l'abito chiaro) era dotato di un'intelligenza estremamente vivace e di una cultura molto estesa, che gli permetteva di trattare con i più alti livelli delle aziende clienti, di qualsiasi sistema di TLC. Aveva una velocità di ragionare così alta, che le parole dette per intero gli erano difficili, per cui non era insolito che si mangiasse metà delle parole, pretendendo



**Figura 28.** GTE Telecomunicazioni. Ing. Aldo Cardarelli (al centro).

che l'interlocutore le capisse per intero. Anche lui è mancato prematuramente per un male inesorabile. Il suo migliore allievo, che aveva un background anche di laboratorio, fu Giorgio Scanavacca, persona intelligente, onesta e chiara con cui era un piacere lavorare.

La figura dominante del periodo d'oro delle telecomunicazioni italiane, tuttavia, è stata quella di Virgilio Floriani. Egli si era formato tecnicamente alla SAFAR con il prof. Federici e, nell'immediato dopoguerra, dopo un breve impiego alla LESA di Nello Meoni, fondò, scegliendosi dodici collaboratori, la Telettra in un disagiato locale di via Marcona a Milano, con chiare idee su come ricostruire le comunicazioni telefoniche nel nostro Paese. Ebbe un rapido successo con apparecchiature di trasmissione multipla, prima su linea aerea, poi su cavo e quindi su ponte radio, che furono tutte ed in quantità adottate dalle concessionarie telefoniche per rispondere alle crescenti esigenze di traffico dell'Italia post bellica.

Erano tutte apparecchiature per corta distanza e non grande capacità.

Floriani, personalmente, guidava il laboratorio di progettazione e sceglieva i nuovi collaboratori per fare fronte alla rapidissima espansione della società.

I problemi di produzione ed industrializzazione dei prodotti sviluppati dai laboratori, erano seguiti da Libero Confalonieri (Vice Presidente fino al 1967), un abile tecnico nell'ideare sistemi automatici per la produzione. Floriani aveva una personalità forte e nei primi dieci anni di sviluppo dell'azienda, tendeva a controllare personalmente tutto, lasciando poco spazio alla delega per i collaboratori. Tuttavia, era così intelligente, che quando l'azienda superò una certa dimensione (circa 500 persone), mutò completamente il suo atteggiamento, impostando una nuova organizzazione, nella quale concedeva la massima delega ai responsabili.

Floriani era una persona aperta e trasparente e pretendeva lo stesso atteggiamento dai collaboratori; infatti, questo atteggiamento di trasparenza, collaborazione e lealtà, era lo spirito con cui si lavorava in Telettra, non ultimo motivo dei suoi successi. Floriani fu, per tutti quelli che hanno avuto la fortuna di frequentarlo, un maestro di vita eccezionale. Egli riceveva tutti i nuovi libri di management, li leggeva e li regalava ai collaboratori, affinché crescessero insieme a lui; teneva rapporti ad alto livello con i grandi imprenditori statunitensi, come David Packard (fondatore dell'HP), Robert Noyce e Roger Moore (fondatori dell'INTEL). Floriani favorì inoltre la collaborazione dei laboratori Telettra in particolare con l'Università di Bologna e l'Università di Padova. Egli stabilì una sincera amicizia con il prof. Ercole De Castro (forse il più importante scienziato del nostro settore che l'Italia dell'epoca avesse). Si è già detto che De Castro (con i suoi assistenti), contribuì a trasformare il laboratorio Telettra, da quello artigianale dei primi tempi, a quello altamente scientifico della fine anni '60, '70 e seguenti.

A Virgilio Floriani fu offerto di diventare Cavaliere del Lavoro; egli si lamentò con i propri diretti collaboratori che l'offerta comportasse un esborso di denaro: osservava che un riconoscimento che si paga non è più un riconoscimento e quindi rifiutò il cavalierato. L'episodio va ad onore di Floriani, ma non dell'organizzazione dei Cavalieri del Lavoro.

Floriani lasciò completamente l'attività di imprenditore nel 1976, al compimento del settantesimo anno. Quando lasciò, la Telettra impiegava 5000 persone in Italia, divise in sei stabilimenti e 2500 persone in Spagna, oltre ad alcune centinaia in Brasile e Messico. La grande parte della produzione era esportata in tutto il mondo, in concorrenza con i colossi giapponesi.

Floriani aveva anche fondato, con Roberto Olivetti, la Società Generale Semiconduttori (SGS), che ora, attraverso vari passaggi societari e la fusione con la Thompson Semiconductors, è la STMicroelectronics, una delle maggiori imprese mondiali del settore microelettronico.

Nel 1976 cedette l'intero pacchetto azionario della Telettra alla Fiat, credendo con questo di fornire alla società una base azionaria solida e nazionale. Tutti abbiamo visto come è andata a finire.

È interessante a questo punto confrontare il comportamento dello Stato francese con quello italiano. In Francia esisteva la ditta CIT Alcatel, un'azienda fornitrice di France Telecom, che la Telettra non aveva mai incontrato sul mercato internazionale. Siccome il già citato gruppo ITT, un conglomerato che, tra le altre attività, aveva in Europa importanti fabbriche e laboratori di TLC (in Italia la Face Standard), aveva mostrato la disponibilità a cedere le proprie attività di telecomunicazioni, il Governo francese sostenne la CIT Alcatel, poi semplicemente Alcatel, nell'acquisire tutte queste attività. Così l'Alcatel divenne una grande società internazionale.

Pochi anni dopo, il Governo italiano non seppe intervenire per favorire la fusione fra Telettra ed Italtel, anzi la ostacolò e non cercò di impedire la vendita della Telettra ad Alcatel. Così si smantella l'industria high-tech del proprio Paese.

Alla fine vorrei ricordare che anche la Face Standard, già citata come azienda italiana del Gruppo ITT, aveva un manager di rilievo: Umberto Ferroni. Un collega che curava la commutazione elettromeccanica alla SIP scoprì che l'ultima generazione di centrale elettromeccanica della Face Standard aveva una malfunzione di fondo. In questa occasione, fu ammirevole ed ammirato l'impegno di Umberto Ferroni, sia in fabbrica, sia nelle centrali già in campo, per trovare il modo per superare tale malfunzione a fianco dei tecnici, senza risparmio di energie. Finalmente gli sforzi portarono ad un risultato positivo e Ferroni guadagnò la stima di tutta la comunità delle telecomunicazioni. Forse era il clima dell'epoca!

Naturalmente a questi personaggi che ho citato, vanno associati quegli imprenditori di aziende di nicchia, menzionati precedentemente.

## Gli anni '90 e 2000: la decadenza delle aziende industriali italiane

### *Il quadro istituzionale*

Nel 1988 STET e SIP varano il Piano Europa. Questo Piano prevedeva che la rete telefonica italiana raggiungesse una penetrazione ed una qualità

del servizio, pari a quella dei più avanzati Paesi europei. Negli anni '88 – '92, grandi investimenti vengono fatti dal gestore per raggiungere questi obiettivi, provocando nelle aziende fornitrici italiane un periodo di prosperità. Paradossalmente, proprio in questo periodo, comincia la decadenza per l'industria e per la R&S italiana di TLC.

Dapprima (1988) fallisce, per miopi interessi politici, il progetto di fusione Italtel – Telettra (IRI/STET vs FIAT). Le due aziende erano quasi completamente complementari e la loro unione avrebbe potuto creare un player di statura internazionale. È evidente che sia la FIAT, la quale, essendo in periodo di crisi tendeva a concentrarsi sul core business, sia la STET, non vedono nelle aziende manifatturiere di TLC, che sono quelle che sviluppano la tecnologia, un asset strategico; questo risulta chiaro subito dopo, infatti:

FIAT vende Telettra ad Alcatel, realizzando una plusvalenza che sistema il suo conto economico in grave deficit.

La Telettra era un “campione” nazionale. Aveva raggiunto una leadership internazionale nella trasmissione elettronica ed esportava oltre il 60% della produzione degli stabilimenti italiani, senza contare quanto prodotto localmente in Spagna, Messico, Brasile e così via. Molti spin-off furono originati da dipendenti Telettra: essa era anche una fabbrica di imprenditori, ma la perdita di un campione “nazionale” lascia totalmente indifferente la classe politica.

Poco prima, GTE aveva venduto GTE Telecomunicazioni a Siemens AG.

In fine, nel 1995, STET cede il 50% di Italtel, che era nel pieno della produzione ed installazione dell'UT100 e che, con questa macchina aveva avuto qualche successo anche all'estero, particolarmente in Russia, alla Siemens AG; questo fatto provoca la fusione fra Italtel e Siemens Telecomunicazioni Italiana (ex FIMM ed ex GTE). Questa fusione dura fino al 1999, anno nel quale le due aziende si riseparano.

Praticamente le aziende di punta delle TLC italiane, persero, negli anni '90, la loro autonomia, dovendo dipendere da partner od azionisti esteri. Questo significava che, non solo i programmi di R&S andavano concordati con il partner o da lui decisi, ma anche l'attività nei mercati internazionali era ugualmente condizionata. Si osserva che questi mercati erano i punti di forza di Telettra e GTE Telecomunicazioni e stavano diventando promettenti anche per Italtel, che finalmente poteva esportare una centrale di sua progettazione.

Era la fine del periodo d'oro delle aziende di TLC, che avevano dato lustro al nostro Paese all'estero e dei cui successi vi è ancora memoria presso i concorrenti. Naturalmente i laboratori di R&S continuarono a lavorare anche nelle mutate condizioni, spesso raggiungendo risultati significativi, grazie al progresso *know-how*.

La decadenza delle aziende industriali di TLC è stata un fatto di grave nocimento per il Paese, perché si tratta della decadenza di aziende che, tra le organizzazioni industriali, presentano il maggiore investimento in Ricerca e Sviluppo sul fatturato. Credo che sia interessante confrontare alcuni dati significativi relativi al comparto preso nel suo insieme.

A fine anni '90 le aziende di TLC spendevano mediamente più dell'8% del fatturato in R&S, contro il totale del settore industriale in Italia, che era pari allo 0,8%! Nel 2005 questa percentuale, per le aziende di TLC, si era ridotta al 6,5%, il livello comunque di gran lunga più elevato fra i comparti industriali. Di conseguenza il contrarsi delle notevoli capacità innovative all'interno del Paese, frena la creazione di nuove aziende "start up" e frena l'export.

Non c'è bisogno di ricordare che in ogni occasione istituzionale, nel nostro Paese, coloro che guidano il Paese, invitano ad investire in Ricerca e Sviluppo ed innovazione, salvo poi fare, in pratica, il contrario.

### *La liberalizzazione del servizio telefonico*

In un processo che parte dal 1994 e termina nel 1997, la ASST confluisce nel Gruppo STET, formando con SIP ed Italcable un'unica società, che prenderà il nome di Telecom Italia. Si crea così un unico grande operatore monopolistico, che però dal 1° gennaio 1998 si trova ad operare in un mercato liberalizzato, nel quale nascono numerosi nuovi operatori.

Tra questi mi piace segnalare Fastweb, che ha costruito una intera rete in fibra ottica per l'accesso agli utenti, anticipando i tempi; poi è stata venduta a Swisscom, confermando la tendenza speculativa dei capitalisti italiani.

Nello stesso periodo, Telecom viene totalmente privatizzata ed inizia da parte di Telecom un periodo di bassissimi investimenti per la rete fissa e di conseguenze nocive per i fornitori. I privati addossarono i debiti contratti per comprare il controllo della società, alla Telecom stessa. L'azienda, così gravata di debiti, ha molto rallentato gli investimenti, anche se, in un primo tempo, compensati da quelli dei nuovi operatori, in particolare di radiomobile; dopo il 2002-2003, si assistette ad un generale calo degli investimenti in rete, con conseguente degrado dei servizi, crisi delle aziende manifatturiere, diminuzione degli sforzi di R&S e perdita dei mercati internazionali.

Gli anni '90 furono un periodo di grandi cambiamenti nelle telecomunicazioni. Infatti, oltre ai cambiamenti regolatori già citati, lo sviluppo tecnologico permise l'introduzione di due novità di grandissima importanza: *l'introduzione del radiomobile e la diffusione mondiale della rete Internet.*

Entrambi i servizi sono così importanti, come vedremo, da cambiare la qualità della vita degli utenti. Le aziende italiane avranno un ruolo marginale nello sviluppo delle reti per questi servizi, come pure le classiche aziende multinazionali.

### *Il sistema radiomobile*

Non occorre spiegare ad un lettore italiano che, mediamente, possiede più di un portatile, cosa sia il servizio radiomobile. Questo servizio è sostenuto da una rete che divide tutto il territorio nazionale in piccole celle (rete cellulare). Al centro di ogni cella c'è un'antenna radiante; queste antenne sono collegate da una rete complessa quasi come la rete fissa e sovrapposta ad essa.

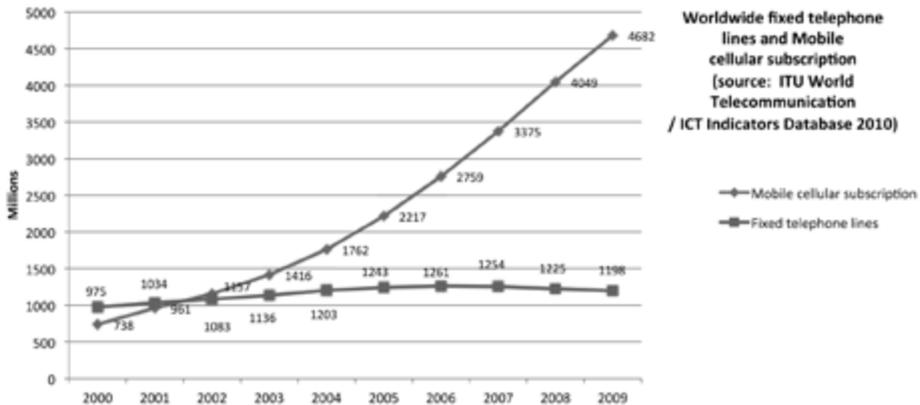


Figura 29. Confronto tra utenti della telefonia mobile e di quella fissa.

Il servizio ha avuto un successo, a cominciare dai primi anni '90, che è illustrato dalla Figura 29, che confronta nel mondo gli utenti del sistema cellulare agli utenti del classico sistema fisso.

Si noti che nel mondo gli utenti del sistema cellulare superano ormai i quattro miliardi.

In Italia la penetrazione di questo servizio è di 152,6%, cioè ogni abitante possiede mediamente un telefonino e mezzo, che è la più alta in tutta l'Unione Europea.

Sul sistema radiomobile, numerose aziende italiane hanno fatto sforzi di R&S, anche significativi, sia nei radiomobili pubblici, sia nei sistemi più ristretti privati/professionali. Italtel sviluppò ed attivò, sotto la guida di Decio Ongaro, un sistema radiomobile pubblico in gamma UHF, prima degli anni '90, anche con concezioni originali. Il sistema, che era coevo dell'analogo NMT della Ericsson, funzionava, ma ebbe una limitata diffusione.

L'Italia capì che non era opportuno aspettare la definizione delle apparecchiature in standard GSM ed anticipò la diffusione del radiomobile, rispetto ad altri Paesi europei, adottando il sistema analogico TACS (Total Access Communication System), per cui, quando il GSM fu diffondibile, l'Italia aveva già alcuni milioni di utenti collegati al sistema analogico.

Italtel da sola e, dopo il 1995 in collaborazione con Siemens Telecomunicazioni, sviluppò due generazioni di sistemi cellulari completi di tipo GSM. Questo sistema ebbe un buon successo commerciale in Cina, per altro frenato dall'opposizione dell'azionista Siemens AG, che vedeva Italtel, come concorrente, fuori dal mercato italiano. Molto lavoro fu speso peraltro per cercare di rendere coerenti i due sistemi di provenienza Italtel e Siemens per il mercato italiano.

Siemens, precedentemente, su questo tema aveva fatto una collaborazione con Marconi Italiana, sviluppando stazioni radio base GSM. Telettra, in collaborazione con Matra, sviluppò una generazione di stazioni radio base GSM, prima di confluire nel Gruppo Alcatel.

OTE, società di Firenze, poi confluita nella Selex Communications, si specializzò in sistemi radiomobile completi professionali per Polizia, Forze Armate, ecc., anche del tipo Tetra.

Anche SIAE Microelettronica sviluppò, parallelamente ad un analogo sviluppo di Italtel, un sistema nazionale multiaccesso (RIAM) per ENEL.

Motorola creò a Torino un gruppo di Ricerca sul tema radiomobile, arrivato a 400 persone e dismesso nel 2008.

Telital di Trieste sviluppò e produsse terminali di vario tipo, poi chiuse l'attività.

Purtroppo le aziende italiane (ed anche molte delle aziende europee) non sono riuscite a raggiungere una leadership tecnica o commerciale in questo importante settore che ha raggiunto una diffusione straordinaria. In realtà le aziende leader delle reti radiomobile sono state (entro lo standard GSM ed UMTS): la LM Ericsson svedese e la Nokia finlandese, quest'ultima essendo praticamente una newcomer.

### *La rete Internet, i suoi servizi ed il tema dell'accesso a larga banda*

In Europa, a metà degli anni '90, la maggior parte dei ricercatori esperti di reti di TLC, perseguivano, con un approccio dogmatico e di continuità, un percorso di ricerca mirante alla creazione di una rete digitale integrata nelle tecniche – trasmissione e commutazione – e nei servizi – fonìa, dati, video. Questa rete era chiamata Broadband ISDN (Integrated Services Digital Network) e si basava sulla tecnologia ATM (Asynchronous Transfer Mode).

La tecnologia ATM fa uso di un pacchetto fisso di byte, è guidata da un sistema di segnalazione in modo da creare una commutazione di circuito “virtuale”. In alcune industrie TLC si lavorava su questa rete: per esempio la ricerca centrale Italtel progettò ed installò con successo degli autocommutatori ATM.

Purtroppo questo disegno ha sottovalutato il gap esistente tra la piattaforma ATM e le applicazioni ed i terminali che si collegano alla rete per accedere ai servizi di telecomunicazione ed informatica; inoltre le industrie europee non riuscirono a sostenere con efficacia la soluzione ATM.

Negli Stati Uniti, prima in ambito universitario (con la rete ARPANET), nacque e si sviluppò una rete basata sul protocollo IP (Internet Protocol) a commutazione di pacchetto, che ha il vantaggio di agganciare con semplicità la sua piattaforma alle applicazioni informatiche, garantendo inoltre l'interlavoro tra i sistemi informatici e tra reti eterogenee. Peraltro questa è una via creata per comunicazioni tra calcolatori, con servizi a pacchetto in modalità “best effort”, ossia senza garanzie di qualità. Queste carenze ormai sono state colmate; si è creato uno dei fenomeni più rilevanti del nostro tempo, proprio a partire dalla metà degli anni '90, che è la rete Internet, con il modello WWW (*World Wide Web*), per lo scambio di informazioni tra due utenti qualsiasi, la realizzazione di banche dati distribuite in rete e la possibilità di lavorare con servizi informatici tipo ERP (Enterprise Resource Planning), CRM (Customer Relationship Management), ecc., per rendere più efficiente e produttiva qualsiasi organizzazione o il rapporto fra più organizzazioni. Con ciò si raggiunge una integrazione tra telecomunicazioni ed informatica, cui si dà il nome di Information and Communication Technology (ICT).

Dal punto di vista tecnologico, diviene sempre meno importante l'hardware e sempre più importante il software, usato sia per l'intelligenza di rete, sia per supportare i servizi. Lo sviluppo dell'utenza della rete Internet è stata nel

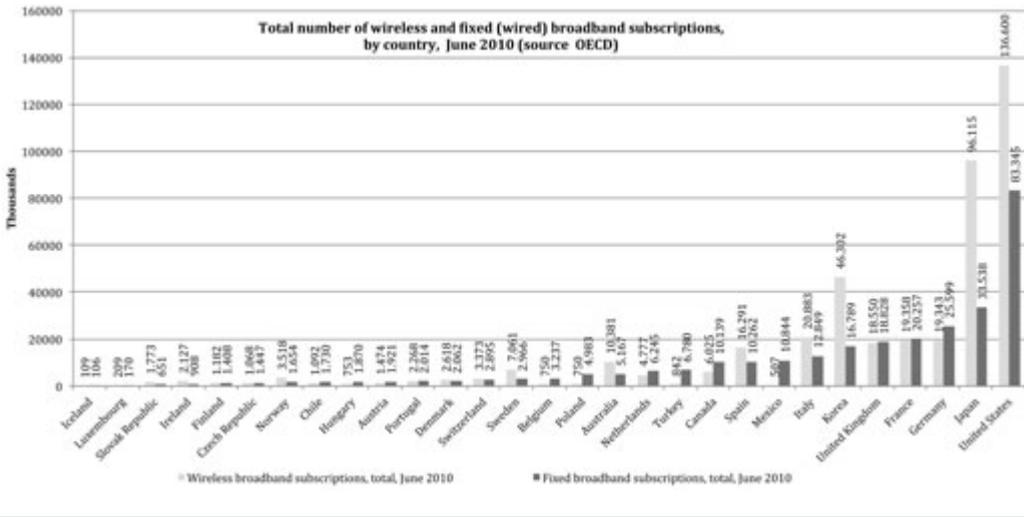


Figura 30. Utenti con accesso a banda larga verso Internet

mondo come un’inondazione. Nella Figura 30 sono rappresentati gli utenti della rete che hanno un accesso a larga banda verso la rete, come è logico per un corretto utilizzo. Anche le reti mobili di nuova generazione permettono di accedere a internet a larga banda (2÷10 Mbit/s). La penetrazione è rappresentata in Figura 30<sup>4</sup>.

In Italia, lo sviluppo della rete cablata, contrariamente a quanto è successo per il servizio radiomobile, è stata inferiore alla media dei Paesi EU. Un dato EITO, ripreso dal Piano di Innovazione Digitale della Confindustria, segnala che l’Italia investe in ICT, ogni anno, un punto di PIL in meno (circa 15 miliardi di Euro) rispetto alla *media* europea. Infatti, a gennaio 2008, il numero di connessi a larga banda era di 11,3 milioni, che rappresenta un tasso di penetrazione del 19%, in confronto al valore medio dell’UE, che è pari al 22,9%.

Inoltre, le aziende italiane (compresa la Pubblica Amministrazione) usano i servizi informatici forniti dalla rete molto meno dei nostri partner europei, per cui le aziende sono penalizzate nel loro miglioramento di produttività. Gli scarsi investimenti dell’operatore incumbent e la debolezza delle imprese di TLC, non sono estranei al fenomeno. Alla diffusione della rete hanno partecipato tutti gli operatori già presenti ed inoltre molti nuovi Internet Service Provider (ISP).

*Le aziende industriali che sono state leader nel fornire i componenti del sistema, si trovano tutte nella West Coast degli USA; sono tutte aziende sorte per supportare la rete IP ed i relativi personal computer. Esse sono: la Netscape e poi la Microsoft per il “browser” che facilita la navigazione in rete, la Cisco per i “router” che permettono l’indirizzamento dei pacchetti, la Apple e quindi la Microsoft per la fornitura del sistema operativo del Personal Computer con il corredo di decine e decine di software applicativi.*

<sup>4</sup> Vedi V. Trecordi, “Verso la quarta generazione radiomobile”, *Mondo Digitale*, marzo 2011.

Quindi le classiche aziende di TLC, sia europee, tutte orientate all'ISDN Broadband, sia anche nordamericane, sono state penalizzate da questa 'inondazione'.

Con lo svilupparsi della rete IP e dei servizi ad essa collegati, era fondamentale collegare l'utente finale mediante una banda (e quindi una velocità di cifra) sempre maggiore. A questo obiettivo furono dedicate molte delle residue ricerche italiane degli anni 2000.

Italtel progettò, a fine anni '90, il suo Softswitch, una centrale che poteva collegarsi sia alle reti classiche digitali TDM, sia alle reti IP, che ebbe un certo successo. Siemens Telecomunicazioni progettò i nuovi sistemi radio a larga banda, tipo Wimax e contribuì allo sviluppo del sistema UMTS del gruppo Siemens. Italtel, Alcatel, Pirelli ed altre minori, progettaronο e fornirono i sistemi ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), che permettono di aumentare la larghezza di banda inseribile nelle reti di accesso in rame in modo asimmetrico.

Marconi Italiana ha avuto un significativo successo con una seconda generazione di DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer). Successivamente la Marconi Italiana, nella sua divisione civile, si è fusa con Ericsson, formando la Ericsson Marconi (mentre la parte militare entra in Selex Communication).

Il gruppo Alcatel, grazie ai laboratori ex Telettra, ha sviluppato la tecnologia su fibra ottica SiGe per progettare una famiglia di moltiplicatori alle varie gerarchie SDH, accoppiati a sistemi di Network Management. Nei ponti radio si mantenne un impegno nello stabilimento di Concorezzo. Con questi sviluppi, il gruppo Alcatel guadagnò una posizione di rilievo nel mercato mondiale della trasmissione digitale in F.O. e radio.

Il Gruppo Pirelli cede rispettivamente a Cisco System ed a Corning l'attività nei sistemi di telecomunicazioni terrestri e quella sulla componentistica optoelettronica, concentrando gli sforzi sui sistemi sottomarini con amplificatori ottici sommersi e sulla consueta produzione di fibre ottiche e cavi ottici. Successivamente, la Pirelli si dedica alla fotonica di seconda generazione, realizzando un laser sintonizzabile, utile per l'impiego nelle fibre predisposte a portare diversi "colori". Nel 2004, le attività cavi e fibre ottiche sono confluite nella società Prysmian e la fotonica è stata ceduta alla PGT Photonics. La residua attività di TLC è concentrata in Pirelli Broadband Solution, che ha realizzato apparati chiamati "Access Gateway" per le reti di accesso in rame.

Queste apparecchiature HAG (Home Access Gateway) sono progettate e prodotte nel nostro Paese anche dalla ditta Telsey, un'azienda molto promettente e vivace, allocata nel Nord-Est italiano. Le apparecchiature HAG sono infatti usate da alcuni operatori (Vodafone, Fastweb, Telecom) per offrire accessi integrati alla rete fissa e mobile.

Oggi si discute di una rete di accesso, per servire gran parte degli utenti con velocità di cifra fino a 100 Mbit/s in fibra ottica nel caso fisso e 40 Mbit/s nel caso mobile, in concomitanza con la rete Internet Web 2.0 allo scopo di fornire servizi di qualità ed alte prestazioni, sostenendo lo sviluppo dei Paesi.

Il mondo va certamente in questa direzione, ma in Italia la rete di accesso è in mano a Telecom, che non dispone dei capitali per rinnovarla con le fibre ottiche. La soluzione di questo problema economico e l'avvio della costruzione

della NGN (Next Generation Network) potrebbe dare linfa vitale alle residue aziende di telecomunicazioni in Italia.

### *Alcuni commenti*

Il panorama mondiale delle industrie di TLC è quindi molto cambiato nel corso delle due decadi '90-2000.

All'inizio degli '90, in Europa, si prevedeva un aumento ulteriore degli investimenti di R&S, traguardando gli investimenti per il radiomobile di prima e seconda generazione e gli studi per la rete a commutazione di circuito ISDN broadband e per risolvere il problema dell'accesso dell'utente a larga banda con l'alternativa fra l'utilizzo della fibra ottica o l'introduzione dei nuovi sistemi DSL (Digital Subscriber Line).

Gli strateghi delle TLC valutavano che sarebbero rimaste sul mercato, nel mondo occidentale, solo quattro o cinque grandissime aziende; quelle che avevano la scala giusta e quindi avrebbero potuto permettersi gli investimenti necessari. Ne facevano anche i nomi: Alcatel che, da media azienda francese, aveva assorbito l'ITT (International Telegraph Telephone), ditta statunitense che aveva sedi solo fuori dagli USA, principalmente in Europa e che, per questo, era stata promossa a grande; la Siemens AG di Monaco e la LM Ericsson di Stoccolma.

Per il Nord America, includevano la Lucent – così venne chiamato lo spin off manifatturiero della AT&T, che aveva al suo interno i gloriosi Bell Laboratories – ed infine la canadese Northern Telecom.

Questo fu l'argomento strategico con cui FIAT giustificò la cessione di Telettra ad Alcatel e STET l'accordo riguardante Italtel con Siemens AG.

Si è assistito anche ad un fenomeno di separazione azionaria, quando esistente, fra l'operatore e la manifatturiera, vedi AT&T e Lucent, GTE Telecomunicazioni venduta a Siemens AG e STET che cede il 50% di Italtel a Siemens AG (STET avrebbe venduto il controllo di Italtel a Siemens AG, ma ragioni di opportunità glielo impedirono).

Quest'ultimo fenomeno è probabilmente legato alla liberalizzazione del servizio, a seguito del quale, gli operatori dovettero concentrarsi sulla concorrenza tra di loro. A parte questo, per le aziende manifatturiere si cercava l'economia di scala. Abbiamo visto come sono andate le cose.

Le vincitrici sul mercato delle reti e servizi dell'ICT sono state le aziende della West Coast che abbiamo già citato. Queste aziende hanno portato avanti con grande successo una strategia di differenziazione – che significa: “faccio il business in modo diverso”.

Alle aziende già citate si sono unite molte aziende per dare servizi sulla rete; per fornire i server, i motori di ricerca, ecc. Tra queste la principale è certamente Google, che, nato come motore di ricerca a livello mondiale, grazie all'approccio completamente innovativo nel gestire la pubblicità on line, è diventato in pochi anni uno dei protagonisti nell'evoluzione dell'intero settore ICT.

Tutte queste aziende hanno fatto utili straordinari in questi anni. Nessuna delle cinque 'vecchie' aziende è leader sul mercato e tutte faticano ad arrivare al

breakeven; persino LM Ericsson ha ceduto la palma di leader nel radiomobile alla efficientissima finlandese Nokia.

Le altre aziende si stanno difendendo utilizzando la solita strategia della ricerca dell'economia di scala: infatti, come si è detto, Ericsson si è fusa con Marconi, Lucent si è fusa con Alcatel, Siemens ha scorporato a Monaco la parte TLC, con tutte le consociate, compresa quella italiana ed ha fatto una fusione con Nokia.

Questa è evidentemente l'unica strategia per loro praticabile; per fare delle differenziazioni occorrono nuove idee globali. Northern Telecom è fallita. In un mondo così vario, articolato e mutevole, ci può essere spazio per iniziative italiane?

Queste possibili iniziative, potranno sortire dalle aziende di nicchia già più volte citate, che sono molto vivaci in realtà; oppure dai residui reparti di R&S rimasti nel nostro Paese delle multinazionali che ancora li sostengono. L'elenco è presto fatto:

Italtel (che, a parte la proprietà, si può dire ancora nazionale); Siemens Nokia (con quel che rimane dei laboratori di Cassina de' Pecchi); Alcatel Lucent con i laboratori di Vimercate ed Ericsson Marconi.

Selex Telecommunications di Finmeccanica è più orientata al progetto e produzione per impieghi militari o delle Forze dell'Ordine.

Questo anno 2009 è di grave crisi. Tutte le aziende ICT, sia le aziende maggiori, sia le piccole/medie aziende, soffrono di un grave "shortage" di mercato. Per alcune è addirittura in pericolo la sopravvivenza.

Non è previsto alcun sostegno governativo per le aziende ICT, sostegno per altro presente in molti altri settori industriali. Probabilmente il Governo non considera prioritario il nostro settore, facendo un importante errore di visione perché, dal corretto ed esteso uso dei servizi informatici, dipende una gran parte dell'aumento di produttività del Paese.

Cosa rimarrà di queste aziende alla fine della crisi? Qualcuno estrarrà dal cilindro qualche notevole invenzione?

### *Ringraziamenti*

Sono debitore verso molti amici e colleghi.

Per la Siemens/Italtel mi sono largamente avvalso del libro di Pio Cammarata – La chiameremo Italtel – Edizione Alpha Centauri 2001.

Per la Telettra sono debitore a Guido Vannucchi, Guido Granello e Gabriele Marzocchi.

Per la FIMM/GTE/Siemens ad Emanuele Pietralunga.

Per i sistemi radiomobile a Decio Ongaro.

Per le reti internet a Vittorio Trecordi.

Per la Marconi Italiana ad Aldo Olivari, a Raulo Maestrini ed a Marcello Biagioni.

Per Selenia a Raffaele Esposito ed a Roberto Faggi.

Per la IPM Group ai fratelli De Feo.

Mi sono avvalso di alcuni paragrafi del libro: *Telecomunicazioni e Liberalizzazione in Italia*, a cura di Aldo Roveri, pubblicato nel 2000 da Franco Angeli su incarico dell'ANIE Associazione ICT e CE.

In particolare ho utilizzato informazioni tratte da un intervento di Paolo Boero e Paolo Vergnano, "Pirelli Cavi e Sistemi".

Un particolare ringraziamento va al prof. Enzo Pontarollo dell'Università Cattolica di Milano per i numerosi suggerimenti ed a Cesare Mossotto, che ha verificato, dall'angolatura dell'operatore, alcuni miei punti di vista.

Ho trovato informazioni sulla rete specialmente per gli avvenimenti più lontani.

Nonostante gli screening ripetuti, qualcosa di valido ho certamente trascurato; me ne scuso con i lettori e gli interessati.

L'insieme di questi importanti suggerimenti, non mi esime dall'assumere personalmente tutta la responsabilità di quanto contenuto nel testo.

## Premessa

Nella storia delle Telecomunicazioni hanno avuto un ruolo rilevante, ma ultimamente non del tutto valorizzato, quelle imprese e società di ingegneria che hanno partecipato alla progettazione, realizzato le infrastrutture e poi curato la manutenzione della rete. Oggi poche di quelle imprese e società sono ancora attive e presenti sul mercato, molte sono state incapaci di seguire l'evoluzione delle tecnologie, altre hanno avuto problemi finanziari, altre sono state acquisite e inglobate in altre aziende; purtroppo di alcune si è persa ogni traccia identificativa poiché molto spesso nei documenti si trova citato il nome dei fornitori di apparati e di cavi ma non il nome di chi ha fisicamente realizzato e installato l'impianto. Di solito poi, nei non molti casi in cui si cita il nome della società che ha eseguito i lavori, ciò che viene riportato non mette in risalto gli importanti contributi che con uomini e mezzi sono stati apportati per rendere possibile la realizzazione. Molto di più, specie sino al 1956 dicono le fotografie<sup>1</sup>, che bloccano dei momenti più o meno significativi della realizzazione delle infrastrutture, illustrano nomi, attività, problemi e soluzioni. Nel seguito oltre ad illustrare come sono evoluti nel tempo l'assetto delle telecomunicazioni, la tecnologia e l'infrastruttura delle Telecomunicazioni, si evidenzieranno i contributi delle società di ingegneria impiantistica alla realizzazione di tale infrastruttura supportandoci con documenti e immagini d'epoca e per i periodi più recenti con i ricordi delle persone, citate nei ringraziamenti, che hanno partecipato direttamente alle realizzazioni. Il documento considera l'arco temporale dal 1881 ad oggi suddiviso in sei periodi, il primo sino allo scoppio della Prima Guerra Mondiale, il secondo sino allo scoppio della Seconda Guerra Mondiale, il terzo sino alla definizione del Piano Regolatore Telefonico Nazionale, il quarto sino alla introduzione dei cavi ottici in rete, il quinto sino all'avvio della deregolamentazione dei servizi, il sesto sino ad oggi.

## Le infrastrutture dal 1881 al 1915

### *Assetto telecomunicazioni*

L'esercizio era affidato a 37 società private che al termine della concessione venticinquennale dovevano restituire gratuitamente la rete allo

<sup>1</sup> SIRTI 1957.

Stato<sup>2</sup>; questo rallentò lo sviluppo e la diffusione della telefonia in Italia non consentendo tra l'altro il contemporaneo sviluppo della rete interurbana curata, invece, direttamente dallo Stato tramite il Ministero Poste e Telegrafi. Allorché lo Stato, per accelerare lo sviluppo, decise, nel 1907, di anticipare la restituzione delle reti urbane, riscattando gli impianti dei due maggiori concessionari, con importi che risultarono eccessivi, dopo che fu constatato lo stato delle reti stesse, gli abbonati erano 42.734, dei quali solo 11.490 delle Concessionarie<sup>3</sup>.

Venne allora varato un Piano di realizzazioni che lo scoppio della Guerra Mondiale bloccò quasi del tutto<sup>4</sup>.

### *Reti urbane*

Nel 1881 furono inaugurate le prime reti telefoniche urbane a Milano, Genova e Torino. Le reti erano aeree, realizzate con fili normalmente in rame nudo o bronzo fosforoso e si avvalevano di isolatori fissati a sostegni su pali in legno o alle pareti delle case. Ad esempio, a Milano, le linee aeree stese dalle due società concessionarie locali, erano costituite da fili di bronzo fosforoso o di acciaio zincato da 3 mm, che venivano ancorati sui tetti o lungo le facciate delle case raggiungendo gli abbonati della città e dei dintorni<sup>5</sup>.

Ciascun collegamento utilizzava un singolo filo, la terra assicurava la chiusura del circuito. Negli anni seguenti, sotto la supervisione del Genio Militare ed in parte direttamente da personale dell'Amministrazione Statale<sup>6</sup>, vennero realizzate le reti urbane delle più importanti città italiane, non senza problemi con gli abitanti che negavano il permesso di utilizzare le pareti delle loro abitazioni e con le autorità locali che pretendevano documentazioni complesse e pagamento di tasse anche esose<sup>7</sup>.

### *Reti interurbane*

I primi collegamenti interurbani vennero realizzati a partire dal 1898, tutti aerei su palificazione e spesso utilizzando gli stessi pali degli impianti telegrafici posati lungo le linee ferroviarie, a quel tempo non ancora elettrificate. I fili, a differenza di quelli telegrafici in ferro, erano normalmente in rame o bronzo fosforoso e avevano diametri sino a 5 mm per poter limitare l'attenuazione e raggiungere località distanti anche centinaia di km.

In quegli stessi anni venivano realizzati i primi impianti per il trasporto dell'energia elettrica: ci si accorse subito che l'induzione elettrica determinava seri disturbi ai collegamenti telefonici e di conseguenza si cercò di evitare pa-

<sup>2</sup> Antinori 1963, pp. 24-25

<sup>3</sup> *Ibid.* p. 35.

<sup>4</sup> *Ibid.* pp. 37-38.

<sup>5</sup> Lapini 2004.

<sup>6</sup> Bonavoglia 1992, p. 125.

<sup>7</sup> Magagnini 1922, pp. 294-309.

rallelismi ed incroci arrivando sino allo spostamento delle linee elettriche per eliminare rumori, induzioni e malfunzionamenti<sup>8</sup>.

Dopo che, nel 1907 lo Stato si era riappropriato delle reti, vennero emanate leggi includenti un piano di realizzazioni che lo scoppio della prima guerra mondiale non consentì di attuare

Il rallentamento nella realizzazione delle infrastrutture non risultò peraltro del tutto negativo poiché le ricerche in corso a livello mondiale stavano rendendo disponibili due importanti innovazioni: la pupinizzazione e la lampada a tre filamenti<sup>9</sup>, ovvero il triodo.

La pupinizzazione consentiva tramite bobine note come Pupin collegate in serie al circuito di aumentare l'induttanza del circuito stesso realizzando la condizione per cui sino a 2900Hz l'attenuazione del circuito risultava molto bassa permettendo quindi di aumentare la distanza coperta, ovvero di ridurre il diametro dei conduttori a parità di distanza coperta. La pupinizzazione non risultava peraltro compatibile con gli impianti aerei a filo singolo<sup>10</sup> per cui si cominciarono a mettere a punto i cavi con uno o più doppiini sia per posa aerea che per posa sotterranea.

A dire il vero venne messo a punto anche un altro metodo per ottenere lo stesso risultato, metodo noto come krarupizzazione: in Italia non ebbe molta diffusione e venne utilizzato solo per il cavo del Sempione, e per i cavi sottomarini nello stretto di Messina, nel Golfo di Napoli e nel canale di Piombino<sup>11</sup>.

Il triodo consentiva l'amplificazione del segnale fonico, permettendo di superare, con più amplificazioni, qualsiasi distanza e di ridurre ulteriormente il diametro dei conduttori da utilizzare.

## Le infrastrutture dal 1919 al 1940

### *Assetto telecomunicazioni*

A seguito delle operazioni condotte nell'anteguerra le reti erano nelle mani dello Stato che le gestiva tramite la Direzione Generale dei Servizi Elettrici. Questa iniziò ad attuare i progetti definiti prima dello scoppio della Guerra ma non riuscì ad ottenere i risultati che il Governo si attendeva.

Così, nel 1925, il Governo decise una nuova privatizzazione e il territorio italiano venne diviso in 5 aree assegnate a concessionari privati:

- la 1<sup>a</sup> Zona (Stipel) comprendeva Piemonte e Lombardia;
- la 2<sup>a</sup> Zona (Telve) comprendeva Veneto, Friuli-Venezia Giulia e Trentino-Alto Adige (nonché, inizialmente, Zara);

<sup>8</sup> “Gravi disturbi al servizio telegrafico e telefonico dovuti a linee elettriche ad alta tensione”, 1920, pp. 90-92

<sup>9</sup> Marchesi 1922, pp. 108-109.

<sup>10</sup> Pession e Di Pirro 1931, p. 7.

<sup>11</sup> ASST 1932-33, p. 39.

- la 3<sup>a</sup> Zona (Timo) comprendeva Emilia, Marche, Umbria, Abruzzi e Molise;
- la 4<sup>a</sup> Zona (Teti) comprendeva Liguria, Toscana, Lazio e Sardegna;
- la 5<sup>a</sup> Zona (SET) comprendeva Campania, Puglia, Basilicata, Calabria e Sicilia.

Venne poi creata l'ASST –Azienda di Stato per i Servizi Telefonici- cui fu assegnato il compito di gestire il servizio telefonico interurbano a grande distanza, quello internazionale, nonché di esercitare una funzione di controllo sulle cinque Concessionarie<sup>12</sup>.

Stipel era di proprietà di SIP – Società Idroelettrica Piemonte. Quando a seguito della crisi del 1929 il settore entrò in crisi, intervenne l'IRI – Istituto per la Ricostruzione Industriale che fondò nel 1933 STET – Società Torinese per l'Esercizio Telefonico, e tramite questa acquisì le azioni di SIP – Stipel, ed anche quelle di Telve e Timo.

La proprietaria della SET – Società Esercizi Telefonici era, invece, la FATME – Fabbrica Apparatì Telefonici e Materiale Elettrico. FATME venne fondata nel 1918 da un gruppo di industriali, in maggioranza lanieri biellesi, che diversificarono così i propri investimenti derivanti dagli utili maturati con le forniture di guerra, quando in tutto il territorio nazionale si conta appena un apparecchio telefonico ogni 2243 abitanti. Poco prima della privatizzazione FATME era entrata a far parte della LM Ericsson di Stoccolma, una delle più grandi case mondiali produttrici di materiali telefonici. L'intesa stabilita con la Ericsson era stata decisiva per l'aggiudicazione della quinta zona telefonica. Su iniziativa della stessa Ericsson il 2 dicembre 1925 a Genova venne fondata la Società Ericsson Italiana – SEI S.A., con il compito di installare le reti telefoniche. L'insediamento della SEI S.A. e il suo ingresso in partecipazione nella Cirt – (Compagnia Installazioni Reti Telefoniche- di Napoli, crearono le premesse per la costituzione a Milano nel settembre 1927 di una holding finanziaria, la Setemer – Società Elettro Telefonica Meridionale), nella quale confluiscono la FATME, la SET e la SEI. La Setemer si presentava di fatto come il gruppo più omogeneo nel settore telefonico sia dal lato della specializzazione tecnologica che da quello tecnico operativo. Nel biennio 1926-1927 la SEI operava con i suoi 40 cantieri in tutto il territorio nazionale e realizzava sistemi di telecomunicazioni comprendenti forniture di centrali, reti telefoniche urbane e interurbane. Nel corso del 1933 la Cirt venne incorporata nella SEI, che nel novembre di quello stesso anno, assunse la nuova ragione sociale di SIELTE – Società Impianti Elettrici e Telefonici Sistema Ericsson<sup>13</sup>.

### *Reti aeree ed urbane*

Al termine della guerra lo sviluppo della rete riprese con rapidità, ripartendo dai piani che erano stati preparati sino al 1915.

La Direzione Generale dei Servizi Elettrici intraprese un programma di riordinamenti, ottimizzazioni e di ampliamenti della rete telefonica aerea per

<sup>12</sup> SIP 1981, p. 216.

<sup>13</sup> Ericsson-Setemer, 1990.

far fronte all'incremento del traffico interno ed internazionale e per ridurre i costi della rete. Ad es. nel 1922, a fronte di una rete di fili telefonici di circa 100.000 km vennero attivati nuovi fili telefonici da usare in Italia per 3720 km e per usi in ambito internazionale per 1600 km ed erano in corso lavori per 7250 km<sup>14</sup> utilizzando fili in bronzo di diametro 3 mm.



**Figura 1.** Lavori in rete urbana a Verona.

Nel 1922 venne anche posto in opera il cavo a 10 coppie krarupizzato per una lunghezza complessiva di 22 km lungo il traforo del Sempione.

La Direzione Generale dei Servizi Elettrici iniziò anche a realizzare, con un cavo sottomarino per piccole profondità, i collegamenti delle isole alla nuova centrale di Venezia, ultimata insieme al completo rinnovo della rete urbana<sup>15</sup>.

La rete urbana di Venezia era in pessime condizioni sin dal 1904, ma il nuovo progetto non fu pronto sino al 1912. I lavori vennero però rinviati a causa della guerra 1915-18 e iniziati solo nel 1919. Venne deciso si realizzare la rete, sostanzialmente la rete primaria, con cavi sotterranei e aerei e la rete secondaria con coppie di fili isolati sotto piombo o nudi. La centrale fu acquistata dalla Kellog di Chicago rappresentata da FATME, alla quale, furono anche affidati i lavori di rete esterna. Furono usati cavi da 300 coppie con fili diametro 0,7 mm, realizzati da Pirelli, Tedeschi e Sice, in pezzature da 190 m.

Nei punti, denominati “colonne montanti” (oggi diremmo armadi ripartilinea) ove i cavi sotterranei fuoriuscivano dal sottosuolo i cavi vennero diramati in cavi con potenzialità da 5 a 120 coppie arrivando sino a cassette (“di distribuzione”) in ghisa da 25, 15, 10, 5 coppie contenenti fusibili da 3 A e scaricatori a carbone. Dalle cassette si raggiunsero direttamente gli utenti.

La parte aerea venne collocata lungo i muri delle case e in piccola parte sopra i tetti, e venne realizzata incontrando ostilità e resistenze da parte dei proprietari di casa che non sembravano interessati al servizio telefonico: a quei tempi la rete contava 2400 abbonati e venne dimensionata per 6000 per tenere conto delle nuove richieste e disporre di scorte sin oltre il 1930<sup>16</sup>.

Attività simili a quelle di Venezia vennero nel corso del periodo realizzate in altre città; la Fig. 1 rappresenta un momento dei lavori di rete realizzati da SIEL-

<sup>14</sup> “Cavi telefonici interurbani” 1924, p. 99.

<sup>15</sup> Magagnini 1922, pp. 294-309.

<sup>16</sup> *Ibid.* pp. 302-306.



**Figura 2.** Lavori in rete urbana a Milano.

TE a Verona, mentre la Fig. 2 raffigura attività di installazioni di tubazioni interrate a Milano.

### *Reti Interurbane*

Le imprese costruttrici di cavi si accorsero tempestivamente che la rete interurbana avrebbe richiesto progetti ed attività molto più complessi che lo Stato non poteva autonomamente eseguire, sia perché, per adeguarla ai tempi ed alle nuove tecnologie, la rete doveva essere realizzata con cavi interrati seguendo tracciati che evitassero interferenze con le linee elettriche e con le linee ferrate (in corso di elettrificazione), sia perché occorreva realizzare ad intervalli regolari lungo il tracciato camerette ove ospitare le bobine Pupin e costruire stazioni amplificatrici dotandole di alimentazione elettrica

da rete e prodotta da generatori locali<sup>17</sup>. Per questo, nel 1919, in modo da poter affiancare validamente la Direzione Generale dei Servizi Elettrici nella progettazione e realizzazione dell'infrastruttura, la società Pirelli, la ditta ing. V. Tedeschi, e la Western Electric Company costituirono un "Sindacato" che due anni più tardi si sarebbe trasformato nella S.I.R.T.I. – Società Italiana Reti Telefoniche Interurbane – la più grande società italiana nel campo dell'ingegneria delle reti<sup>18</sup>.

Il primo importante impianto realizzato con cavo sotterraneo pupinizzato e amplificato fu il Torino Milano Genova, noto come T.M.G. Il contratto da 50 milioni di lire, fu siglato nel 1922, e l'arteria telefonica che aveva una lunghezza complessiva stimata di circa 310 km, avrebbe utilizzato un cavo con potenzialità media di 40 bicoppie<sup>19</sup>. Il "Sindacato" studiò con la Direzione Generale dei Servizi Elettrici l'incremento prevedibile del traffico, innanzitutto, per definire la potenzialità del cavo che avrebbe dovuto consentire di sostenere lo sviluppo del traffico fino al 1940. Partendo dai dati statistici disponibili ed ipotizzando una crescita media annuale del traffico del 7%, si determinò il numero dei circuiti progressivamente necessari in base al traffico allora ammesso di cento conversazioni giornaliere per ciascun circuito. Nella realtà la crescita di traffico risultò molto superiore alle previsioni e si dovette anticipare la messa in servizio dei circuiti di riserva<sup>20</sup>.

<sup>17</sup> *Ibid.* pp. 130-138.

<sup>18</sup> SIRT.I, 1957, p.13.

<sup>19</sup> "Cavi telefonici interurbani", 1924, p. 99.

<sup>20</sup> Magagnini 1924, pp. 130-138.

Il cavo venne realizzato in pezzature da 230 m e rivestito con guaina in piombo, già sperimentata all'Estero non rilevando inconvenienti (che invece si ebbero in questo impianto).

Il tracciato venne studiato nei minimi dettagli identificando la località di San Giuliano Vecchio come sede adatta per la stazione amplificatrice. A Milano, Torino e Chieri vennero predisposte, sin dal 1922, le canalizzazioni destinate all'impianto. Fu previsto di utilizzare tubazioni in gres negli attraversamenti dei centri abitati, tubazioni speciali in ferro per attraversare i ponti e altri manufatti e cunicoli in cotto lungo la sede stradale. Nelle vicinanze di Genova si dovette abbandonare la provinciale per evitare i disturbi da induzione dalle linee elettriche già presenti lungo la stretta valle dello Scrivia già percorsa dalla ferrovia e da un elettrodotto. Per allocare le camerette destinate alle bobine Pupin, che dovevano essere distanziate di circa 1830m, secondo la tecnica in uso negli USA, venne effettuato un accurato sopralluogo per evitare di dover posizionare le camerette in posti non adatti, quali ponti e attraversamenti stradali. La realizzazione delle 164 camerette venne avviata in modo che le stesse fossero pronte prima dell'arrivo del cantiere mobile. SIRTÌ incontrò notevoli problemi nel tratto tra Milano ed il Po a causa dell'abbondanza di acqua nel sottosuolo che inondava gli scavi. Il problema fu risolto utilizzando idrovore e speciali cassoni in lamiera di ferro per realizzare pozzetti e camerette. Anche nelle vicinanze di Genova, a causa del tracciato irregolare e tortuoso di montagna si dovettero studiare speciali cunicoli in gres divisi in due parti cosicché la parte inferiore viene immersa nel calcestruzzo steso sul fondo a formare una platea allo scavo in roccia<sup>21</sup>.

Lungo la sede stradale l'attività venne organizzata in modo tale che la squadra che eseguiva lo scavo della trincea precedesse di circa 1 km la squadra che posava sul fondo dello scavo metà del cunicolo. La squadra degli operai specializzati adagiava, a mezzo del carro posa bobine, il cavo nel cunicolo che veniva poi chiuso adattandovi la metà superiore. Un'ultima squadra eseguiva il lavoro di rinterro e di ripristino della sede stradale. L'avanzamento a seconda delle diverse difficoltà fu di 400-1000 m al giorno. Per la posa in tubazione vennero utilizzati argani e vennero controllati con dinamometri gli sforzi di trazione per evitare di danneggiare il cavo.

Le bicoppie delle due pezzature di cavo, prima di eseguire i giunti, vennero misurate per rilevare gli sbilanciamenti di capacità e scegliere le coppie da giuntare tra loro in modo da ottenere i minori sbilanciamenti finali. Le misure furono ripetute dopo aver giuntato tutte le coppie per verificare la bontà dei risultati ottenuti. Terminata una sezione di pupinizzazione venivano eseguite tutte le misure elettriche e veniva testata la tenuta a pressione dei giunti immettendo anidride carbonica nel cavo. Tenendo conto della sequenza delle varie attività il cantiere era distribuito su di un fronte di 7-10 km continuamente sorvegliato e coordinato dai responsabili lavori<sup>22</sup>.

Il collegamento venne attivato nel 1925.

<sup>21</sup> *Ibid.* p. 133.

<sup>22</sup> *Ibid.* p. 136.



**Figura 3.** Preparativi per il pasto in un accampamento SIELTE degli anni '30.

A cavo in esercizio si rilevarono ben presto dei bassi isolamenti causati da corrosione della guaina in piombo. Nei tratti interessati si dovette recuperare il cavo e sostituire il cunicolo in cotto con cassette di legno riempite con guttaperca o con bitume<sup>23</sup>.

L'impianto Milano Torino Genova prevedeva l'allacciamento a Casteggio con il cavo Bologna-Firenze-

Roma-Napoli. Il progetto completo del Cavo Interurbano Nazionale, come stabilito dalla legge 253 del 20 marzo 1913, comprendeva anche le diramazioni Bologna-Venezia e Firenze-Livorno. Questi impianti vennero realizzati da SIRTI tra il 1927 e il 1932. Tra il 1933 e il 1937 furono realizzati da SIRTI ed entrarono in esercizio i collegamenti Napoli-Bari, Atena-Reggio Calabria, Mili Marina-Palermo, Trento-Bolzano e Torino-Modena. Nel 1941 furono attivate la Bologna-Verona, e la Verona-Brennero. Foto d'epoca mostrano le difficoltà tecniche e logistiche incontrate per realizzare, le varie tratte. Per mancanza di alloggi, le maestranze venivano normalmente ospitate in campeggi e accampamenti che seguivano l'avanzamento dei lavori, come mostrato in Fig. 3.

A partire dal 1928, ASST affidò a SIRTI anche l'incarico di effettuare la manutenzione ordinaria e straordinaria di tutta la rete nazionale in cavi: per svolgere questa attività la Società creò una speciale organizzazione dedicata a questo compito, addestrando un gruppo di tecnici in grado di intervenire tempestivamente e di sopperire rapidamente a qualsiasi necessità impiantistica.

La SIRTI realizzò collegamenti interurbani anche per le concessionarie. Uno dei più importanti fu l'impianto Torino-Milano-Laghi del 1932 noto come cavo Ponti.

La SIRTI realizzò inoltre numerose installazioni nelle Colonie Italiane.

Anche SIELTE operò nelle Colonie Italia, in Libia, Etiopia, e poi in Albania. Le due Società misero a frutto le competenze maturate in Italia ed esportarono le capacità organizzative ed ingegneristiche delle proprie maestranze.

### *Cavi sottomarini*

Tra il 1920 ed il 1930 vennero anche installati alcuni cavi sottomarini prodotti e installati da Pirelli con la nave posacavi Città di Milano. SIRTI curò gli

<sup>23</sup> ASST 1932-33, p. 22.

approdi e l'installazione dei terminali terrestri e l'interconnessione con la Rete in cavo sotterraneo. Nel 1923 venne installato attraverso lo stretto di Messina il cavo a 2 coppie lungo 18 km, ad inizi anni '30 il cavo Fiumicino-Terranova, per assicurare i collegamenti con la Sardegna<sup>24</sup>.

### *Ponti Radio*

Le prime applicazioni risalgono al 1929-30 con il collegamento Fiumicino-Golfo Aranci che venne potenziato nel 1938 utilizzando un multiplex a due canali. Nel 1942 SIRTÌ effettuò test in vista della realizzazione di un sistema in ponte radio a 6 canali tra Roma e Milano con ripetitrici su Terminillo e Monte Cimone: causa la guerra l'impianto non venne realizzato<sup>25</sup>.

## Le infrastrutture dal 1946 al 1957

### *Assetto telecomunicazioni*

Al termine del conflitto mondiale l'assetto delle telecomunicazioni era ovviamente lo stesso dell'anteguerra. La rete italiana di telecomunicazioni era però in condizioni disastrose e la sua consistenza ridotta a circa 150.000 km/ccto mentre nel 1941 la consistenza era di oltre 360.000 km/ccto. Molti cavi erano interrotti, alcune centrali importanti completamente distrutte. Il personale di tutte le aziende coinvolte lavorò per ripristinare la rete in cavo ed aerea utilizzando le scorte e recuperando quanto possibile.

Occorreva però rinnovare la rete ed adeguarla alle nuove esigenze in virtù delle quali il servizio telefonico non era più considerato un lusso ma un bene strumentale<sup>26</sup>. Nel 1950 era pronto il programma per l'Italia Centrale e Settentrionale per la R.T.N., Rete Telefonica Nazionale che includeva molti cavi coassiali ed un limitato numero di ponti radio. Nel 1952 vide luce il piano per l'Italia Meridionale. La decisione di puntare sui cavi coassiali, pur non abbandonando i cavi a coppie, venne assunta, dopo numerose discussioni cui parteciparono anche SIRTÌ e SIELTE, poiché i coassiali consentivano un numero maggiore di circuiti adottando la tecnologia delle frequenze vettrici. Si poteva, inizialmente, con i sistemi a 4 MHz, realizzare 960 canali, incrementabili, in caso di future necessità, a 2700 con i sistemi a 12 MHz. La tecnologia delle frequenze vettrici sui cavi coassiali era all'epoca molto più matura dell'analogica tecnologia sui ponti radio<sup>27</sup>.

Nel 1951 su proposta del Consiglio Superiore Tecnico delle telecomunicazioni venne costituita la commissione ministeriale per la redazione del Piano

<sup>24</sup> ASST 1932-33, p. 79.

<sup>25</sup> Antinori 1963, p. 5.

<sup>26</sup> ASST 1948-49, p. 37.

<sup>27</sup> Antinori 1963, p. 97.

Regolatore Telefonico Nazionale cui parteciparono anche rappresentanti delle concessionarie (che anche in funzione di questa partecipazione costituirono l'ASCOT – Associazione nazionale delle Società Concessionarie Telefoniche) e delle aziende manifatturiere e di impiantistica, tra le quali SIRTI e SIELTE. I lavori della Commissione andarono a rilento sia per le intrinseche difficoltà tecniche di trovare una soluzione comune per l'interconnessione di impianti eterogenei sia per gli interessi contrastanti dei diversi soggetti ed il Piano regolatore venne emesso solo nel 1957<sup>28</sup>.

Il Piano Regolatore conteneva anche previsioni di sviluppo del servizio per il periodo '59-'62, previsioni che furono significativamente superate. Dette previsioni avevano lo scopo di formalizzare (e quantificare) l'impegno richiesto ai concessionari necessario per un significativo sviluppo del servizio telefonico in tutte le aree del Paese. Impegno che era sino ad allora mancato nelle Zone servite dalle concessionarie private, anche a causa della prevista possibilità di riscatto degli impianti da parte dello Stato a partire dal 1956.

### ***Rete interurbana ASST***

A partire dal 1947 la SIRTI si dedicò alle riparazioni definitive di quasi tutte le tratte in cavo sotterraneo della R.T.N. sostituendo gli spezzoni di cavo disomogenei e di fortuna con spezzoni di cavo originali, rifacendo i giunti, installando nuove casse Pupin, ribilanciando sezioni e tratte e ricostruendo le stazioni amplificatrici. La tratta Roma-Napoli venne ripristinata da SIELTE, che fornì ex novo in opera od ampliò le centrali interurbane di Palermo, Napoli Bari e Milano.

Nel 1948 si disponeva di circa 260.000 km/ccto, con buona efficienza distribuiti su 3500 km/cavi<sup>29</sup>.

Le realizzazioni in cavo coassiale si ebbero a partire dal 1950. Il cavo conteneva 4 tubi di rame (2,5/9,4) ed una corona di 23 o 24 bicoppie, le pezzature avvolte su bobine erano lunghe 150 m. Per il funzionamento dei collegamenti era necessario amplificare il segnale ogni 9,5 km circa per ottenere una banda netta di 4 MHz, ossia 960 canali.

La rete richiese alle società di ingegneria impiantistica studi approfonditi sulle prestazioni ottenibili, sui metodi di misura, sulle protezioni del cavo contro corrosioni e fulminazioni<sup>30</sup>.

SIRTI e SIELTE, separatamente, misero a punto le tecniche di giunzione. SIRTI ebbe contratti per gran parte della rete del Centro Nord Italia.

La SIELTE ottenne, da ASST, nel Dicembre 1950, il contratto per la linea Roma-Napoli e per il terminale di Torino e nel Luglio del 1952 il contratto per i cavi coassiali dell'Italia Centro Meridionale<sup>31</sup>.

<sup>28</sup> Ministero Poste e Telecomunicazioni, 1958.

<sup>29</sup> ASST 1948-49, pp. 43-45.

<sup>30</sup> Bonavoglia 1992, p. 125.

<sup>31</sup> ASST, 1950-1951.

Le SIETTE – Società Impianti Elettrici Telefonici Telegrafici e costruzioni Edili, fondata nel 1931, iniziò ad operare sui cavi coassiali dell'ASST nel 1951<sup>32</sup>.

La rete in cavo coassiale venne per lo più realizzata lungo le strade statali. Gli scavi, realizzati a lato della carreggiata, non vennero più eseguiti solamente a mano come per le installazioni della rete in cavi a coppie, ma si utilizzarono macchine operatrici. Squadre di giuntisti operavano lungo il tracciato eseguendo le giunzioni e le attestazioni nelle stazioni amplificatrici, piccoli edifici necessari per consentire la successiva manutenzione della rete, preventivamente realizzate ogni 9,5 km. A metà di ciascuna tratta



**Figura 4.** Posa di cavo coassiale lungo una strada statale.

**Figura 5.** Esecuzione di un giunto su cavo coassiale.

venne lasciata una ricchezza di cavo necessaria per la possibile successiva introduzione dei sistemi a 12 MHz che necessitavano di un passo di amplificazione di 4,65 km. Al termine di ciascuna sezione venivano eseguite le misure elettriche e trasmissive per verificare che il lavoro fosse stato eseguito correttamente. Anche in questo caso le società di ingegneria impiantistica dimostrarono grande capacità organizzativa e competenza tecnica, risolvendo i vari problemi che si ponevano in corso di esecuzione. La Fig 4 raffigura un momento dei lavori di installazione di un cavo coassiale, la Fig. 5 l'esecuzione di un giunto.

### *Rete in ponti radio*

A partire dal 1948 SIRTI progettò e realizzò alcuni dei più importanti collegamenti in ponte radio, tra questi il primo collegamento televisivo Roma-Milano,

<sup>32</sup> ASST, 1951-1952.



**Figura 6.** Antenne di ponti radio in cima alla Paganella innevata.

le realizzazioni eseguì anche prove per collegamenti di notevole lunghezza e studi sulla propagazione dei segnali che consentirono ad esempio di realizzare il collegamento tra Roma-Monte Cavo e Cagliari-Monte Serpeddi di 380 km. La realizzazione dei collegamenti più importanti realizzati con ponti radio a microonde a 4 GHz richiesero la costruzione di stazioni ripetitrici, in visibilità diretta, distanziate di circa 50 km<sup>33</sup>. Si trovano quasi sempre in località montuose, difficili da raggiungere, ove le condizioni climatiche sono spesso sfavorevoli. La Figura 6 rappresenta una stazione radio dopo una abbondante nevicata.

Le costruzioni, il posizionamento delle infrastrutture l'allineamento delle antenne venne eseguito con abnegazione e perizia dagli uomini delle società di ingegneria impiantistica riuscendo sempre ad attivare i collegamenti ottenendo prestazioni per lo meno uguali a quelli di progetto.

### *Reti urbane e interurbane delle concessionarie*

La necessità di riparare i danni di guerra rappresentò anche una opportunità per gli imprenditori che costituirono nuove società per realizzare lavori a livello locale. Tra queste, “a.e.t. – applicazioni elettrotelefoniche”, fondata nel 1935 per progettare e costruire apparati telefonici da utilizzare sui circuiti a frequenza vocale.

a.e.t. nel 1946 iniziò la sua attività nel campo delle installazione di cavi interurbani in ambito locale e distrettuale. Negli anni '50 operò sui cavi interurbani di STIPEL ripristinando il cavo “Ponti”, Torino-Milano- Laghi e di TIMO ripristinando il cavo a coppie, Bologna-Pesaro-Ancona. Entrambi i cavi vennero recuperati, le guaine furono bonificate, i cunicoli in cotto sostituiti da cassette di legno, nelle quali il cavo venne adagiato. Le cassette vennero riempite con bitume per evitare che si ripresentassero i problemi di basso isolamento dovuti a

<sup>33</sup> Bonavoglia 1992, p. 157.

Seguirono altri collegamenti, tra i quali, nel 1952, il ponte radio Milano-Andrate-Torino che aumentava il numero di canali disponibili tra le due città ed era atto a costituire una riserva in caso di avaria dei collegamenti in cavo. La rete in ponte radio che si stava cominciando a realizzare aveva una lunghezza complessiva di oltre 4400 km. SIRT I oltre

corrosione della guaina in piombo. Parte delle coppie vennero spuinizzate per attivare i sistemi a 12 canali, a valvole, con passo di amplificazione di 18 km<sup>34</sup>.

### *Reti sottomarine*

In ambito cavi sottomarini, utilizzando la motozattera “Aniene” appositamente costruita, già nel giugno del 1951 la Pirelli aveva posato il primo cavo in politene tra Napoli e le isole di Ischia e Procida. Il cavo di Procida fu poi seguito da un altro collegamento simile tra Piombino e Isola d’Elba, mentre a primavera 1952 a La Spezia già era in lavorazione un nuovo cavo telefonico destinato al tratto di mare fra Trapani e l’isola di Favignana.

SIRTI, predispose tutti gli amarri, installò tutti gli apparati terminali ed eseguì posa e giunzione dei cavi della tratta terrestre<sup>35</sup>.

## Le infrastrutture dal 1958 al 1982

### *Assetto telecomunicazioni*

L’11 dicembre 1957 venne approvato, con Decreto Ministeriale, il Piano Regolatore Telefonico Nazionale che definiva le norme fondamentali per l’espletamento del servizio telefonico e, tra queste, l’organizzazione territoriale in Compartimenti (21), Distretti (231) e Settori (1400), il Piano di Numerazione, i criteri di istradamento delle comunicazioni e gli altri criteri utili a definire le modalità di interconnessione tra gli impianti delle 5 concessionarie e l’ASST. Esso rappresentava una premessa essenziale per superare le dimensioni ancora prevalentemente locali della telefonia e dare impulso allo sviluppo della teleselezione (sia da operatrice sia da utente).

Il 29 ottobre 1964 venne stipulato l’atto di fusione nella SIP, che assunse la denominazione di Società Italiana per l’Esercizio Telefonico p.a., delle sue controllate elettriche e delle 5 concessionarie.

È importante ricordare che il quadro complessivo dell’assetto industriale manifatturiero comprendeva nel 1964, la SIT Siemens, la Face Standard del Gruppo americano ITT, la FATME della LM Ericcson svedese, la GTE succursale dell’omonima società americana, la Telettra e la Marconi Italiana. A queste si aggiungevano la Pirelli, la Ceat e la Incet per la fornitura di cavi per telecomunicazioni<sup>36</sup>.

Il 5 dicembre 1964 venne costituita a Torino la società CSELT (Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni) appositamente creata per lo svolgimento di attività di studio, ricerca applicata e sviluppo nel campo delle telecomunicazioni nell’interesse sia delle concessionarie (SIP e successivamente anche Italcable e

<sup>34</sup> *Ibid.* p. 127.

<sup>35</sup> Pirelli 2010.

<sup>36</sup> Min. Poste e Telecomunicazioni 1972.

Telespazio) sia di SIT Siemens e successivamente di SIRTI); si era così costituita la premessa per una minore dipendenza dall'estero anche nel settore delle tecnologie avanzate.

La Convenzione del 1968 attribuì all'ASST la competenza esclusiva sul traffico telefonico interurbano nazionale svolto tra 37 Distretti (i distretti dei 21 Centri di Compartimento più 17 distretti che, in gergo, vennero detti "assimilati") e tutto il rimanente traffico nazionale alla SIP. SIP ebbe l'obbligo di completare la realizzazione della teleselezione in ambito nazionale entro 30 mesi e divenne l'unica interfaccia verso l'utente, del servizio di trasmissione dati

Nel 1971 venne revisionato il Piano Regolatore Telefonico Nazionale e fu introdotto "il servizio radiomobile" accanto ai servizi urbano, interurbano ed internazionale<sup>37</sup>.

### *Reti urbane*

SIRTI in ambito interurbano era la commissionaria esclusiva di SIT Siemens e di Face Standard per le apparecchiature e di Pirelli e di Ceat per i cavi provvedendo alle vendite ed alle installazioni.

Nel 1966, anche in relazione al continuo evolversi delle tecniche le manifatturiere avocarono a sé la vendita dei loro apparati. Nel contempo si stava sempre più riducendo il programma di realizzazioni di reti a lunga distanza non solo dell'ASST, ma anche della SIP e delle FS: per mantenere i livelli di fatturato e di occupazione SIRTI necessitava di entrare nel mercato della costruzione delle reti telefoniche urbane. Per conseguire questo risultato Pirelli e STET si accordarono affinché quest'ultima divenisse l'azionista di riferimento.

La partecipazione STET passò dal 10% (precedentemente della Siemens Halske e che la STET acquistò nel 1948 dall'amministrazione giudiziale) al 50%. Le altre quote erano così suddivise: Pirelli 30%, Isec (ITT) 10%, Ceat (10%). Come conseguenza dell'acquisizione del controllo da parte STET, SIRTI iniziò a svolgere un ruolo che divenne nel seguito ancora più importante nei programmi di sviluppo delle reti urbane, in particolare reti di distribuzione. SIRTI tramite accordi con SIP divenne inoltre l'installatore di fiducia per gli equipaggiamenti trasmissivi prodotti da tutte le ditte costruttrici<sup>38</sup>.

Si segnala che in ambito reti urbane operavano molte decine di aziende locali, le più importanti a livello nazionale oltre a SIRTI sono SIELTE, SIETTE che nel 1962 è stata acquisita da Face del Gruppo ITT ed a.e.t..

La Fig. 7 raffigura squadre al lavoro in rete urbana a Firenze, Roma e Napoli..

### *Reti interurbane ed a lunga distanza*

Di fronte al rapido aumento del traffico interurbano la rete a 4 tubi coassiali e quella in ponte radio risultarono presto insufficienti. Sulle direttrici più vicine

<sup>37</sup> *Ibid.*

<sup>38</sup> SIRTI 1970.

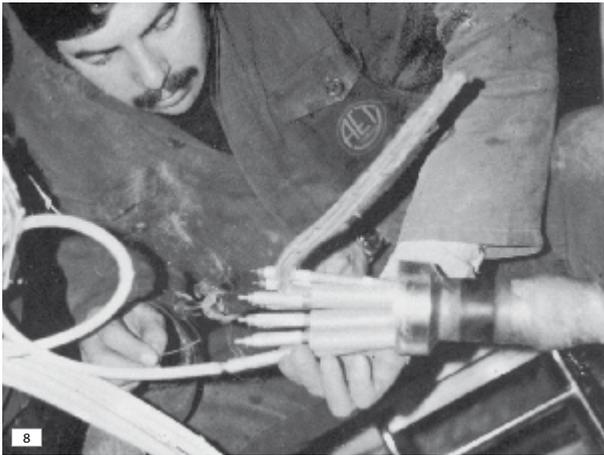


**Figura 7.** Lavori in rete urbana: Firenze (a), Roma (b) e Napoli (c).

alla saturazione si installarono prima del previsto i sistemi a 12 MHz. Si completò anche la rete in ponte radio a 4 GHz, capace di 960 canali per portante radio. Negli anni '60 si iniziò a progettare e realizzare una nuova rete con cavo a 8 tubi coassiali, pressurizzabile, avente guaina in alluminio e protezione esterna in polietilene.

I progressi tecnologici che vennero conseguiti nel periodo, in particolare l'avvento dei transistor, consentirono di introdurre in rete nuovi apparati con migliori prestazioni ed affidabilità e dimensioni così ridotte da poter ospitare gli amplificatori in contenitori metallici stagni pressurizzabili e interrabili. La nuova rete ASST venne progettata per essere installata lungo le autostrade, ponendo il cavo o lungo una delle due scarpate laterali o, in pochi casi, al centro tra le due carreggiate. Le società di ingegneria impiantistica dovettero affrontare il problema dell'installazione del cavo lungo i viadotti ove il cavo, zancato al manufatto sarebbe stato soggetto a forti escursioni termiche. Vennero messi a punto da SIRT, dei particolari contenitori, detti giunti di dilatazione, in grado di dissipare al loro interno le variazioni di lunghezza del cavo. Anche SIP realizzò una rete coassiale autostradale e molti collegamenti lungo strade statali<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> Bonavoglia 1992, p. 137.



**Figura 8.** Esecuzione di un giunto di un coassiale con la tecnica della brasatura.

**Figura 9.** Esecuzione di misure su di un cavo coassiale.

Il coassiale (2,6/9,5), utilizzato da ASST per i collegamenti a lunga distanza, inizialmente per sistemi a 4 MHz, con passo di amplificazione medio di 9.3 km, e poi per sistemi a 12 MHz, con passo di amplificazione 4.65 km, e venne infine usato per sistemi a 60 MHz, con passo di amplificazione 1.55 km. SIP adottò cavi con dimensioni inferiori e precisamente il coassialino (1,2/4,4) utilizzabile per sistemi a 4 MHz, con passo di amplificazione pari a 4 km, e per sistemi a 12 MHz, con passo di amplificazione 2 km e il microcoassiale (0,7/2,9) che venne usato per sistemi a 4 MHz con passo di amplificazione pari a 2 km.

Le società di ingegneria impiantistica curarono la progettazione dell'impianto definendo

con precisione il tracciato, studiando le protezioni da adottare contro le interferenze da elettrodotti e le fulminazioni e individuando la posizione ottimale dei ripetitori, che lungo le autostrade vennero preferibilmente interrati in piazzole appositamente realizzate. La progettazione del tracciato implicò sopralluoghi dettagliati e la produzione di disegni particolareggiati a seguito di accurati rilievi topografici. La protezione dalle interferenze elettromagnetiche avvenne avvolgendo nastri di acciaio attorno al cavo per uno spessore calcolato in base a parametri e variabili che venivano valutati caso per caso a seconda si trattasse di parallelismo o di incrocio. L'allocazione dei ripetitori venne valutata tenendo conto della distanza nominale prevista, la tolleranza su tale distanza e l'opportunità che il ripetitore venisse installato in posizione facilmente accessibile.

Per quel che concerne la giunzione, in particolare per garantire l'utilizzabilità del cavo a 60 MHz, si mise a punto la tecnica della brasatura forte per il conduttore interno e della brasatura dolce per il tubo conduttore esterno.

Per assicurare una buona resistenza meccanica si utilizzò una lega di argento e fosforo. Per garantire la resistenza al calore alcuni dei dischi isolanti di politene posti attorno al conduttore centrale venivano sostituiti con altrettanti di teflon. In Fig. 8 un momento di una giunzione con tecnica della brasatura ed in Fig. 9 l'esecuzione di misure su di un cavo coassiale

Nel 1972, dopo aver superato l'esame tecnico da parte di ASST dimostrando la piena capacità di utilizzare le tecniche su descritte, a.e.t. acquisisce il contratto per il cavo coassiale Trento-Bolzano, e successivamente gli impianti Parma-Berceto e Verona-Trento.

### *Reti satellitari*

A partire dal 1967, SIRTI si inserì nel mercato delle telecomunicazioni satellitari operando attraverso la collegata S.T.S.. Nel 1969 acquistò disegni, progetti e *know-how* tecnico dell'antenna per comunicazioni spaziali dalla Blaw Knox (che cessò l'attività). La S.T.S. era un consorzio, cui oltre a SIRTI partecipano in maniera paritaria SIT-Siemens e G.T.E., all'avanguardia nella costruzione di stazioni terrene per telecomunicazioni via satellite. Realizzò, tra l'altro, la seconda grande antenna del Fucino per Telespazio, le due stazioni del progetto Sirio, le stazioni di Gera Lario 1 (1976) e 2 (1984), nonché le stazioni terrene di Balcarce (1 e 2) in Argentina, di Tanum in Svezia, delle Isole Fiji ed altre in Oman, Thailandia, per un totale di 30 stazioni<sup>40</sup>.

### *Reti in ponte radio*

La rete ASST a 4 GHz venne rapidamente implementata per far fronte all'incremento del traffico, prima nella versione a 960 canali, poi in quella a 1800 canali. Si realizzarono poi i collegamenti nella gamma a 6 GHz con fasci radio aventi capacità 2700 canali. Anche SIP ed enti militari commissionarono a SIRTI studi e realizzazioni di ponti radio; si utilizzarono anche le bande dei 2,7 e 11 GHz in configurazione  $o\ n+1$  o  $n+2$  fasci radio. Nel 1972, SIRTI, fu incaricata da ASST di studiare la revisione della rete in ponte radio, "Progetto Marconi". Esistevano infatti tratte comuni a più collegamenti con riduzione al 50% della capacità di traffico e nei centri radio principali veniva anche convogliato il traffico in transito insieme a quello terminale. Nei due anni successivi SIRTI studiò come procedere alla revisione della rete senza dover interrompere il traffico. Allo scopo furono predisposte stazioni provvisorie in *shelter* operanti nelle gamme utilizzate da ASST per dare continuità al servizio, stazioni che venivano eliminate una volta realizzati i raccordi in cavo coassiale tra l'ultimo ripetitore e il centro radio in città, che veniva disattivato. Per recuperare la capacità di traffico vennero previste ed, in parte, realizzate nuove stazioni ripetitrici.

<sup>40</sup> *Ibid.* p. 204.

### *Sperimentazione di cavi in fibre ottiche*

Nel 1976 all'interno del cortile dello CSELT, SIRTI realizzò la trincea e posò il COS1 – Cavo Ottico Sotterraneo 1, cavo sperimentale di circa 1 km, con 6 fibre ottiche multimodo. Il cavo ha entrambe le teste terminali collocate nel laboratorio del centro di ricerca per consentire test di giunzione, di misura e di trasmissione.

Nel 1977, un secondo cavo sperimentale denominato COS2, con 3 fibre multimodo venne, sempre da SIRTI, installato tra due centrali telefoniche urbane di Torino, con un tracciato di 4 km. Le fibre vennero giuntate utilizzando giunti meccanici “Springroove” ideati da CSELT e che SIRTI stava industrializzando nei suoi laboratori di via Vida a Milano.

Passò poco più di un anno e, nell'estate del 1979, venne realizzato il primo collegamento a fibre ottiche denominato COS3/FOSTER, entrato in servizio nel 1981. Il collegamento, realizzato da SIRTI, interessò alcune centrali telefoniche urbane della rete pubblica SIP di Roma, e due centrali interurbane ASST, Roma Centro e Roma Sud. Era lungo 16 km, con fibre di lunghezza complessiva 288 km.

L'esperimento COS4 del 1982 consistette in un cavo aereo di 1 km posato da SIRTI su di una palificazione a Prato alla Drava, nelle vicinanze di San Candido, Val Pusteria. Il cavo Pirelli venne esposto a temperature variabili da -25° a +50° evidenziando variazioni di attenuazione tali da richiedere la riprogettazione del cavo. La nuova versione venne posata da a.e.t. nel maggio del 1984.

Nel giugno 1982 vennero posati ancora da SIRTI, 35 chilometri di cavo Pirelli in fibra ottica tra la centrali ASST di Padova e di Mestre seguendo il tracciato dell'autostrada A4. Il successo di questo impianto segna praticamente la fine degli impianti in cavo coassiale.

## **Le infrastrutture dal 1983 al 1997**

### *Assetto delle telecomunicazioni*

A seguito delle normative CEE che prevedevano la separazione tra la gestione del servizio e la normazione e controllo del settore furono trasferiti, a inizio 1993, ad Iritel, interamente partecipata da IRI, le attività di telefonia e dei servizi radiomarittimi.

Nel 1994 avvenne l'ultimo grande riassetto nel settore delle telecomunicazioni, prima della nuova liberalizzazione del servizio: Italcable, Telespazio, Iritel, e Sirm furono incorporate in SIP, ribattezzata Telecom Italia, che diveniva il gestore unico del servizio telefonico in Italia.

Ancora nel 1994 venne costituita Tim – Telecom Italia Mobile

Nel 1997 venne creata l'Autorità delle Telecomunicazioni e il 20 ottobre Telecom Italia venne privatizzata.

Nel 1989 STET, per impedire che la società venisse ceduta alla concorrenza, acquisì a.e.t., la riorganizzò e la ribattezzò AET Telecomunicazioni. Il 1 gennaio

1995, poco prima che avessero inizio i lavori del Progetto SOCRATE, trattato nel seguito, divenne, però, operativa la fusione per incorporazione, di AET Telecomunicazioni in SIRTI, per quanto concerneva le Divisioni Rete ed Impianti. La Divisione Trasmissione entrava a far parte di Italtel.

Reti urbane in fibra ottica

Nel 1983 SIP avviò l'utilizzo della fibra ottica nella rete di giunzione urbana e distrettuale e, per fornire servizi avanzati alla

grande utenza affari realizzò anche collegamenti in ambito rete di distribuzione. Gli impianti di Verona (SIRTI) e di Padova (a.e.t.) furono fra i primi installati allo scopo di collegare le locali centrali urbane. Venne utilizzato un nuovo tipo di cavo con guaina esterna in poliuretano ed elementi di tiro in filati di kevlar che si dimostrò inadeguato a sopportare le esigenze di posa in un tracciato urbano, ove era impossibile applicare solo alla testa del cavo gli sforzi di trazione necessari per portare a termine l'installazione dovendo attraversare camerette intasate di cavi a coppie in rame e caratterizzate da cambi repentini di direzione e livello di posa.

Il cavo verrà dopo pochi mesi sostituito con un altro più robusto, dotato tra l'altro di guaina in nastro in acciaio corrugato, che conferiva al cavo robustezza e contemporaneamente flessibilità.

La Fig. 10 rappresenta lavori di installazione di un cavo ottico in rete distrettuale.

Per soddisfare le esigenze impiantistiche della fibra ottica, a.e.t. sviluppò il nuovo telaio in tecnica N2 di terminazione cavi, da utilizzare nelle strutture di fila standard che la stessa a.e.t. aveva progettato e realizzato e che erano largamente utilizzate nelle centrali SIP. All'interno del telaio vennero alloggiati sino a 4 subtelai ciascuno adatto per ospitare 12 terminazioni con connettori ottici. Il subtelaio venne sviluppato congiuntamente da SIRTI ed a.e.t. che misero a fattor comune le capacità ingegneristiche e svilupparono una soluzione che soddisfaceva pienamente alle esigenze del nuovo mezzo trasmissivo.

Per contenere i giunti tra i cavi, SIRTI, SIELTE, a.e.t. e SIETTE progettarono muffole di tipo diverso ma, comunque, in grado di contenere i giunti in appositi vassoi che garantivano il rispetto dei raggi di curvatura minimi delle fibre



Figura 10. Installazione di cavo ottico in rete distrettuale.

atti a assicurare una durata delle fibre di almeno 25 anni. Durante il processo di filatura, che verrà successivamente notevolmente migliorato, si producevano infatti delle fenditure trasversali che ingrandendosi potevano portare alla rottura delle fibre: a tutt'oggi non si sono verificate che pochissime rotture e le soluzioni messe a punto in quegli anni si sono quindi dimostrate adeguate. I giunti meccanici Springgroove, che non si erano rivelati del tutto idonei, soprattutto per l'indisponibilità di adesivi in grado di fissare nel tempo vetro e metallo in condizioni di elevata umidità, furono nel frattempo sostituiti da giunzioni a fusione ottenute, soprattutto, tramite arco elettrico. I test di trazione eseguiti dalle società di ingegneria impiantistica dimostrarono che tale tipo di giunzione non indebolisce sostanzialmente la fibra, anche se il punto di giunzione, privo di rivestimenti plastici, necessita di una protezione che viene tuttora ottenuta con un manicotto termo restringente irrobustito da una barretta metallica.

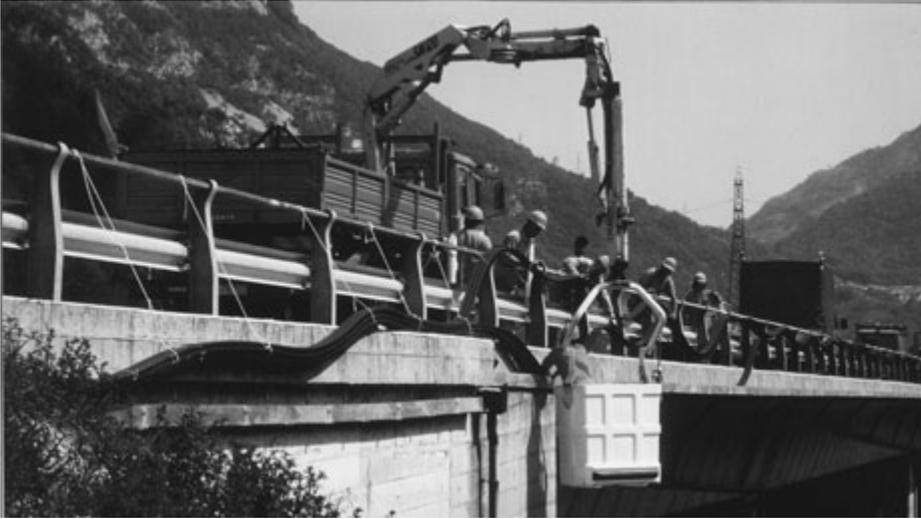
La giunzione a fusione si dimostrò anche utilizzabile con fibre monomodo, che nel frattempo erano state perfezionate e che rapidamente soppiantarono negli impianti le fibre multimodo utilizzate nei primi anni. Le fibre monomodo hanno infatti attenuazione e dispersione modale molto basse e consentirono di utilizzare sistemi funzionanti a 565 Mb/s con passi di rigenerazione di oltre 40 chilometri.

Un importante contributo, fornito da SIRTI e da a.e.t., fu lo studio e la messa a punto dei connettori ottici. SIRTI, grazie agli accordi con AT&T, produsse in Italia il connettore detto biconico, ottenuto da stampaggio di materiale plastico indurito, direttamente attorno alla fibra. Il connettore ottimo per le fibre multimodo si dimostrò insoddisfacente per utilizzo con fibre monomodo. a.e.t. utilizzò nei suoi primi impianti il connettore Diamond, montabile in campo, che garantì buoni valori di attenuazione e buona ripetibilità, richiedendo peraltro molta manualità in fase di esecuzione. NTT, in Giappone, mise, nel frattempo, a punto il connettore noto come FC, caratterizzato da un corpo interno detto ferrula in cui viene inserita la fibra ottica e da una ghiera esterna a vite, connettore che fondamentalmente è tuttora in uso.

### *Reti interurbane*

Le caratteristiche delle fibre ottiche rivoluzionarono completamente le modalità di realizzazione delle infrastrutture interurbane. Il cavo all'inizio, aveva una lunghezza di 1-2 km, lunghezza che in breve raggiunse anche i 5 km, un peso attorno ai 200 kg/km e si prestava alla posa un tubi con diametro 34 mm. SIRTI propose un trafilato in politene con tre tubi tra loro collegati lungo un asse, il "tritubo", che poteva essere lungo 500 m e avvolto in matasse. Le infrastrutture vennero realizzate scavando una trincea di profondità non inferiore a 70 cm lungo la carreggiata autostradale. Uno o più tritubi, per poter infilare ulteriori cavi, successivi al primo senza dover eseguire ulteriori lavori civili, vennero posati sul fondo dello scavo e interrati. La Fig.11 rappresenta una fase dell'installazione di tre tritubi lungo un viadotto.

Ogni 500 m si realizzò un pozzetto per facilitare la successiva posa del cavo e ogni 1000-2000 m una cameretta ove alloggiare la muffola con i giunti tra le due pezzature contigue. Una cameretta, appositamente studiata da SIRTI, più grande



**Figura 11.** Installazione di tritubi lungo un viadotto.

venne interrata ogni 40 km per ospitare gli apparati di rigenerazione. L'alimentazione necessaria venne fornita tramite coppie metalliche inserite nel caso. Predisposta l'infrastruttura venne posato il cavo ottico utilizzando opportuni argani dotati di dispositivi di limitazione del carico di trazione esercitato per eliminare eventuali danni alle fibre. Nelle camerette lungo linea vennero lasciate extralunghezze di cavo per eventuali riparazioni a seguito di danneggiamenti, e ospitati i giunti tra le pezzature e le relative muffole. Metodologie impiantistiche completamente diverse da quelle dei cavi coassiali ed a coppie descritte in precedenza.

Come già accennato l'avvento dei cavi in fibra ottica segnò la fine dei cavi coassiali. I piani relativi a realizzazioni di impianti in cavo coassiale vennero cancellati. Alcuni impianti in corso di realizzazione o da poco ultimati non vennero mai equipaggiati con apparati e non vennero mai utilizzati. Anche i progetti relativi ai ponti radio vennero solo parzialmente implementati.

L'ASST progettò una nuova rete che venne sostanzialmente realizzata lungo le autostrade seguendo per lo più gli stessi tracciati dei cavi coassiali.

Nel 1992 tale rete era praticamente ultimata, trasportava una quantità enorme di comunicazioni e si temeva che le fibre ottiche potessero avere una vita breve a causa dei problemi realizzativi, degli stress eventualmente subiti durante la posa, per le curvature cui le fibre sono assoggettate nelle muffole e nei subtelai di terminazione. Prevenire le rotture che avrebbero causato interruzione di importanti flussi di comunicazioni era un tema molto dibattuto cui si stava cercando una soluzione.

AET (acquisita nel 1989 da STET) esaminò la problematica e studiò una soluzione economicamente sostenibile. Si trattava di verificare periodicamente l'attenuazione del collegamento in fibra ottica effettuando misure con la tecnica della retrodiffusione. Se rispetto ad una curva di riferimento si fossero rilevati aumenti si effettuava automaticamente una misura dettagliata per individuare

la causa o le cause di tali incrementi. Il problema sarebbe stato segnalato e si sarebbe potuto porre rimedio prima che la comunicazione si interrompesse. Per eseguire periodicamente la misura si mise a punto un commutatore ottico meccanico controllato da remoto che consentiva di cambiare la fibra in misura e per eseguire il test senza disturbare il segnale utile tipicamente a 1310 o a 1550 nm, AET propose l'utilizzo di una lunghezza d'onda fuori banda pari a 1625 nm. Tale lunghezza d'onda venne riconosciuta dal CCITT come lunghezza d'onda per il monitoraggio delle fibre ottiche. AET studiò anche le modalità di immissione dei due segnali nella fibra, specificando le caratteristiche di un accoppiatore/divisore in grado di mescolare e separare le due diverse lunghezze d'onda. Il dispositivo WDM venne commissionato a Sumitomo. Ottenuto il contratto da Iritel, subentrata nel frattempo ad ASST, il sistema sviluppato da AET, denominato SMART FO, venne installato sulla rete italiana a lunga distanza. Telecom Italia decise di non estendere il sistema alla propria rete in quanto ritenne che i RED (Ripartitori Elettronici Digitali) 4:4 potessero intervenire rapidamente e re-istradare il traffico nei pochi casi in cui il cavo ottico fosse stato la causa della perdita di servizio. Una volta che il cavo fosse stato fuori servizio si poteva intervenire, localizzare e riparare il guasto. La riparazione era inclusa nel contratto per la manutenzione dei cavi della rete a lunga distanza da anni ad appannaggio di SIRTU, che era stato rinnovato da Telecom Italia inserendovi oltre i cavi a coppie DM ed i coassiali anche i cavi in fibra ottica.

### *Reti di distribuzione urbane*



**Figura 12.** Giunzione di un cavo con isolamento in PVC.

Nel periodo in considerazione la rete di distribuzione venne ulteriormente ampliata e grazie al “Progetto Europa” anche in parte ammodernata con l'utilizzo di cavi con isolante PVC in sostituzione dei cavi a coppie simmetriche isolati con carta e aria. In rete primaria si mantenne la pressurizzazione con aria secca, mentre in secondaria i cavi erano tamponati con gel. L'utilizzo dei nuovi tipi di cavo richiese la messa a punto di nuovi accessori e di nuovi metodi di lavoro: il contributo delle società di ingegneria impiantistica fu ancora una volta significativo e l'introduzione della nuova tecnologia avvenne senza particolari problemi. La Figura 12 rappresenta la realizzazione di un giunto di un cavo con isolamento in PVC

Nel 1993 le imprese che operavano nelle reti urbane erano oltre 30, di queste solo 5 con quote di mercato superiori al 5%: SIRTU, SIELTE (Ericsson), SIETTE (Alcatel Italia), Site e AET Telecomunicazioni. Negli anni successivi il numero si ridusse progressivamente, assorbite dalle aziende superstiti, avendo Telecom Italia deciso di ridurre il numero delle società con cui avere contratti diretti.

## Progetto SOCRATE

Nel 1995, Telecom Italia promosse la realizzazione di un grande piano denominato “Progetto Socrate”, con l’obiettivo di portare servizi a larga banda agli utenti residenziali.

Venne costituito un gruppo di lavoro congiunto Telecom Italia – SIRTI, con la finalità di definire l’architettura di rete più idonea e i relativi costi impiantistici per la fornitura di servizi TV, Video On Demand e nuovi servizi multimediali e di servizi tradizionali, telefonia e dati.

I risultati emersi dallo studio del gruppo di lavoro portarono a scegliere, come migliore architettura di rete, la tipologia HFC – Hybrid Fiber Coaxial.

L’architettura di rete scelta era essenzialmente costituita da tre parti:

- rete di trasporto in fibra ottica dalla Stazione di Testa al Nodo di Distribuzione e da questo al Nodo Locale ubicato nella Centrale da servire;
- rete primaria in fibra ottica, dal Nodo Locale ai Nodi Ottici ubicati sul territorio dell’area di Centrale;
- rete secondaria coassiale, dal Nodo Ottico alla borchia d’utente. I collegamenti in fibra ottica punto-punto fra il Nodo Locale e i Nodi Ottici erano realizzati mediante una rete ad anello che garantiva un più alto livello di affidabilità.

Il Nodo Ottico, tramite appositi apparati ubicati in un armadio, convertiva il segnale da ottico ad elettrico e lo distribuiva verso l’utenza della propria area tramite la rete in cavo coassiale.

La rete secondaria coassiale aveva una struttura ad albero realizzata mediante l’impiego di diramatori di segnale (*splitter*) ed amplificatori a più uscite ubicati in contenitori. Detta rete secondaria comune a più utenti era distinta in rete principale e terminale; essa distribuiva il segnale alle varie Unità Immobiliari tramite i Tap ubicati in cabinet esterni o all’interno dell’edificio

Il piano di Telecom Italia per il “Progetto Socrate” prevedeva di raggiungere nell’arco di 3 anni oltre 6.500.000 Unità Immobiliari distribuite in tutte le regioni del territorio nazionale. La prima fase comprendeva 14 città ed aveva l’obiettivo di realizzare nel biennio ’95-’96 una infrastruttura di rete in grado di collegare circa 1.400.000 utenze. Per lo svolgimento dei lavori vennero creati 3 consorzi: Consorzio CORED (SIRTI, ITALTEL-SIEMENS, PIRELLI), Consorzio EMT (Ericsson-SIELTE, Marconi, Tratos), Alcatel-SIETTE.

Data la grande dimensione del piano e gli stretti tempi a disposizione per la sua realizzazione, Telecom Italia chiese alla SIRTI di destinare un apposito gruppo di tecnici alla progettazione esecutiva di tutte le reti previste dal piano nel rispetto dei tempi programmati.

Detta progettazione doveva tener conto di tutte le infrastrutture esistenti e di tutti i cavi ottici già installati per ridurre al minimo i costi di realizzazione. Occorreva inoltre effettuare delle *survey* in campo, sia per la scelta dei tracciati ottimali in esterno sia per definire i percorsi dei cavi all’interno degli edifici.

Per realizzare tutto questo la SIRTI organizzò 2 Centri di progettazione, uno a Milano, l’altro a Roma.

Per la fase di progettazione esecutiva, data la sua complessità derivante soprattutto dalla parte di rete coassiale, la SIRTI mise a punto un sistema di progettazione CAD, denominato SIREN LB con software appositamente sviluppato sulla base delle esperienze acquisite in Inghilterra nella progettazione e realizzazione di reti CATV.

I Consorzi EMT ed Alcatel eseguirono il progetto delle loro reti, utilizzando il sistema SIREN LB.

Gli investimenti vennero interrotti dopo circa un anno e mezzo avendo constatato l'eccessiva onerosità del progetto e la dubbia validità tecnica a medio-lungo termine: la fibra ottica poteva essere utilizzata anche nell'ultima parte della rete eliminando completamente il cavo coassiale.

Siena fu l'unica città ove la rete HFC venne ultimata da SIELTE a copertura dell'intero nucleo urbano. La rete è ad oggi perfettamente operativa ed utilizzata per la diffusione di segnali video e per servizi internet veloci. Il servizio internet veloce utilizzando la tecnologia ADSL sui cavi a coppie simmetriche è stato invece introdotto da Telecom Italia nel 1999 e via via è stato diffuso in tutti i più importanti centri urbani italiani.

Una conseguenza dell'interruzione del Progetto Socrate fu la caduta occupazionale e le aziende di ingegneria impiantistica coinvolte nel progetto ne furono pesantemente coinvolte. SIETTE venne smembrata e ceduta da Alcatel ad imprese minori. SIELTE, nel 1998, venne ceduta da Ericsson ad ITEL

### *Rete a lunga distanza in ponte radio*

Come noto la propagazione dei segnali condiziona pesantemente la bontà delle comunicazioni radio. Il *fading*, variazione dell'attenuazione della portante del segnale radio, può essere piatto, agendo tutta la banda di frequenze di interesse oppure selettivo, lento anziché veloce. AET nel 1989 mise a punto un sistema che correlava il peggioramento della qualità del canale radio con il *fading* diagnosticandone la causa e la necessità/possibilità di intervenire per eliminare il problema. Il Sistema denominato SMART PR venne adottato dall'ASST e installato nelle stazioni terminali e ripetitrici della rete in ponte radio a lunga distanza. Il sistema venne utilizzato per diversi anni sino a che Telecom Italia non decise lo switch off della rete, la cui qualità era decisamente inferiore a quella della fibra ottica.

### *Rete radiomobile*

Le società di ingegneria impiantistica sono state pesantemente coinvolte nella realizzazione delle reti di tutti gli Operatori, Tim, Vodafone, Wind, H3G, svolgendo attività specifiche o fornendo siti in modalità "turn key", partendo cioè dall'acquisizione del sito e dalla sua validazione, continuando con la richiesta dei permessi, la realizzazione delle opere civili ed elettriche, con la installazione delle antenne, degli apparati di alimentazione, di condizionamento e degli apparati rice-trasmissivi, per finire con l'attivazione del sito e i test drive per verificare la corrispondenza di copertura reale e calcolata del territorio.

Nella fase di maggiore espansione delle reti, SIRTI venne incaricata anche di progettare la copertura cellulare di vaste aree includenti un centinaio di siti, partendo dall'orografia del territorio ed arrivando sino alla individuazione dei canali radio da utilizzare nelle varie celle. Tale attività venne svolta da SIRTI, tra il 1999 e il 2001, per Wind, nel proprio *design centre* di Milano, utilizzando il programma di pianificazione reti cellulari Planet della società MSI, dopo aver adeguatamente addestrato il proprio personale.

## Le infrastrutture dal 1998 ad oggi

### *Assetto Telecomunicazioni*

Il 1 gennaio 1998 ci fu il debutto in Italia ed a livello europeo della Deregulation, ovvero della completa liberalizzazione delle infrastrutture e dei servizi.

Nacquero parecchi operatori alternativi sia di rete fissa, sia di rete mobile, tra questi: Infostrada, Tiscali, Tele2, Albacom, Edisontel, Plug it, Fastweb, ePlanet, Atlantnet, Colt Telecom, eVia, Eutelia, Aaxis Wind, Omnitel-Vodafone, Blu, IPSE2000. Molti ebbero vita brevissima travolte dallo scoppio della bolla speculativa delle così dette società "dot.com". Attualmente offrono servizi di rete fissa-mobile e TV (triple play) Telecom Italia – Tim, Fastweb (acquisita da Swisscom), Wind (passata da ENEL a Orascom e recentemente acquisita da WimpelCom) e Vodafone. COLT e BT offrono servizi all'utenza affari, Interroute, servizi di rete.

Nel 2000 Telecom Italia cedette SIRTI ad un gruppo di investitori italiani riuniti nella società Wiretel.

### *Cablaggio ottico di Milano*

Uno dei più significativi investimenti attuati a seguito della liberalizzazione è stato il Cablaggio Ottico di Milano ovvero la realizzazione di una grande rete ottica di accesso.

Nel 1998 il Comune di Milano intuì per primo la rilevanza strategica delle tecnologie ICT e dei servizi avanzati connessi e predispose, per i singoli Operatori TLC interessati a cablare la città, un Regolamento e una Convenzione per la concessione del suolo, del sottosuolo e delle infrastrutture municipali esistenti.

Gli interventi degli Operatori TLC in città iniziarono nel gennaio del 1999 e si conclusero nel 2006, con una crescita rilevante soprattutto dal 1999 fino al 2002.

Il Regolamento prevedeva che i vari Operatori TLC mettessero a punto un unico progetto integrato per l'installazione delle infrastrutture, in modo da eseguire un unico scavo ed evitare ripetute rotture del suolo pubblico.

Per ovviare alle difficoltà incontrate nella scelta ottimale dei tracciati, data la mancanza di una mappatura precisa del sottosuolo per l'individuazione dei servizi esistenti, e per ridurre al minimo il rischio di danneggiamenti delle reti esistenti di altri servizi pubblici, la SIRTI mise a punto una serie di nuove soluzioni tecniche con l'impiego di attrezzature e macchine speciali e anche di nuove tipologie di infrastrutture.

Per conoscere esattamente la posizione delle varie infrastrutture, manufatti, servizi, reperti archeologici ed altri ostacoli vari presenti nel sottosuolo, SIRTI, in base alle esperienze acquisite con il sistema G.P.R. (Ground Probing Radar), in collaborazione con la società IDS di Pisa, mise a punto un nuovo sistema più avanzato denominato R.I.S. (Radar Introspezione Sottosuolo) che consentiva maggiori profondità d'indagine e maggiore precisione e di organizzare dei cantieri di scavo compatti posizionando lungo il tracciato le macchine di scavo subito dietro l'apparecchiatura R.I.S.

Per ottenere un minor ingombro dei cantieri, una maggiore velocità di avanzamento e quindi un minor disagio per i cittadini e per il traffico veicolare SIRTI ha inoltre studiato le modalità denominate Microtrincea e Minitrincea che consentono di ridurre il più possibile la sezione dello scavo, sia in larghezza che in profondità.

In Milano SIRTI cominciò ad usare, specie per gli attraversamenti stradali, ma anche per perforazioni lungo le strade, la tecnica nota come "Trenchless" ed in particolare macchine operatrici per "Microtunnelling" che realizzano fori diametro 125 mm e oltre e per "Directional Drilling" che realizzano fori con diametro 50-70 mm. Tutte le precedenti metodologie di realizzazione dell'infrastruttura di posa sono tuttora utilizzate.

### *Infratel e iniziative locali*

Infratel Italia – Infrastrutture e Telecomunicazioni per l'Italia SpA – è la società di scopo costituita per eliminare il digital divide realizzando infrastrutture di rete di telecomunicazioni a banda larga organiche ed integrate sul territorio nazionale.

Operativa dal giugno 2004, Infratel Italia agisce oggi su tutto il territorio nazionale per attuare il Programma Larga Banda – ai sensi dell'art. 7 della Legge n. 80/2005 – sulla base di un Accordo di Programma stipulato nel dicembre 2005 con il Ministero delle Comunicazioni. È di fatto l'unica società che a livello nazionale sta implementando, con cavi in fibra ottica, significative opere consistenti in collegamenti di molti centri minori alla rete nazionale.

A livello locale, sia regionale come in Piemonte, Emilia-Romagna, Friuli, Marche, sia a livello provinciale come ad esempio a Bergamo e Trento, sono state o sono in corso di realizzazione reti locali per lo più destinate ad essere utilizzate dalla Pubblica Amministrazione.

In questi impianti si sono utilizzate nuove soluzioni messe a punto dalle società di ingegneria impiantistica in collaborazione con aziende manifatturiere, quali, ad esempio i microtubetti in politene giuntati tramite appositi accessori a tenuta di pressione per cavi ottici soffiati che hanno reso possibile l'installazione di tratte di notevole lunghezza in tempi molto contenuti.

### *Reti FTTH*

Le telecomunicazioni odierne richiederebbero una larghezza di banda superiore a quella ottenibile attraverso i sistemi xDSL per portare a tutti i vari

servizi che sono o stanno per divenire disponibili. La fibra ottica sino all'utente è in grado di soddisfare a queste esigenze. Per realizzare la rete FTTH – Fibre To The Home, le società di ingegneria impiantistica hanno collaborato, con propri studi, *test plant*, partecipando a sperimentazioni, nel mettere a punto le varie soluzioni, quali fibre con grande insensibilità alle curvature, connettori di facile assemblaggio anche nella casa d'utente, soluzioni a una o più fibre per il tratto verticale di risalita in edificio, cavi per posa sotterranea ed aerea di tipo tradizionale o soffiata, permutatori in centrale per operare su migliaia di fibre e dispositivi WDM e accoppiatori/divisori per realizzare architetture PON anziché punto-punto. I programmi di realizzazione di questa rete risultano essere più che mai di lungo periodo e relativi ai soli grandi centri urbani. Gli investimenti, così diluiti, insufficienti a sostenere l'industria, in particolare le società di ingegneria impiantistica non traggono lo sviluppo del Paese e il medio lungo periodo, ma puntano a ritorni nel breve, brevissimo tempo. Se si guarda al passato ci si accorge che gli investimenti nelle telecomunicazioni sono sempre stati ripagati ed in periodi inferiori a quelli inizialmente stimati e che i tempi richiesti per la realizzazione di una rete capillare che raggiunga ogni comune ed ogni abitazione possono eccedere i dieci anni.

## Reti radiomobile e radio

Le reti radiomobile dei vari Operatori sono ormai diffuse capillarmente nel territorio assicurando una copertura quasi totale. Le attività che vengono richieste alle società di ingegneria impiantistica sono sempre più limitate a cambi e ad aggiornamenti di tecnologia. Si realizzano inoltre ottimizzazioni di rete con spostamento di siti e concentrazione di più Operatori nello stesso sito.

In ambito reti radio sono molto diffuse a livello locale le soluzioni Wi-Fi e HiperLan, che per lo più vengono realizzate da installatori locali.

Relativamente alle reti WiMax, alcuni Operatori che hanno acquisito le licenze a livello regionale e nazionale hanno iniziato nel 2010 le realizzazioni. In particolare Aria ha affidato a SIELTE, riconoscendole indubbie capacità ingegneristiche ed organizzative, la realizzazione integrale della propria rete.

## Conclusioni

Il lungo percorso descritto evidenzia il ruolo fondamentale svolto dalle società di ingegneria impiantistica, in primis SIRTI, nello sviluppo delle telecomunicazioni, un ruolo estremamente importante che non può essere sottovalutato.

Queste società hanno contribuito alla progettazione, alla implementazione ed alla manutenzione delle reti in modo decisivo, non solo per la capacità di acquisire delle tecniche e di rinnovarle continuamente seguendo e accompagnando l'evoluzione delle tecnologie, ma anche per aver saputo continuamente adeguare i propri modelli operativi ed organizzativi. Ciò ha consentito alle società di ingegneria impiantistica di operare con successo non solo in Italia ma anche all'estero.

In questo processo un ruolo determinante è da attribuire all'attività intellettuale di un organismo complesso, particolarmente importante in questa tipologia di Aziende. Persone di qualità che hanno saputo unire alle profonde conoscenze tecniche, un encomiabile spirito di abnegazione che ha positivamente contribuito all'evoluzione di un settore strategico come quello delle telecomunicazioni.

L'elevato livello qualitativo delle attività di progettazione, di implementazione e di manutenzione ha conservato nel tempo le funzionalità delle realizzazioni tanto che, quelle nate per espletare il solo servizio telefonico oggi sono utilizzate per la fornitura di servizi sempre più evoluti.

### *Ringraziamenti*

Gli autori ringraziano tutti coloro che hanno consentito la stesura di questo capitolo. In particolare la biblioteca del Ministero dello Sviluppo Economico, l'Archivio Storico di Telecom Italia (specificatamente la prof. C. Ottaviano) e l'Archivio Storico Ericsson e gli amici F. Canonico, U. Conforto, M. Malerba, F. Romano, F. Riccioni e M. Vivarelli.

### **Bibliografia**

- Antinori Albino, 1963, *Le telecomunicazioni italiane 1861-1961*, Edizioni dell'Ateneo, pp 24-25.
- ASST, 1932-33, "Relazione esercizio finanziario 1932-33", p. 39.
- ASST, 1948-49, "Relazione Esercizio Finanziario 1948-1949", p. 37.
- ASST, 1950-1951, "Relazione Esercizio Finanziario 1950-1951".
- ASST, 1951-1952, "Relazione Esercizio Finanziario 1951-1952".
- Bonavoglia Luigi, 1992, *Le telecomunicazioni in Italia e il museo della Sirti*, Bariletti, p. 125.
- "Cavi telefonici interurbani", 1924, *Telefoni e Telegrafi*, p. 99.
- "Cavi telefonici interurbani", 1924, *Telefoni e Telegrafi*, p. 99.
- Ericsson-Setemer, 1990, "Una storia di domani".
- "Gravi disturbi al servizio telegrafico e telefonico dovuti a linee elettriche ad alta tensione", 1920, *Telegrafi e Telefoni*, pp. 90-92.
- Lapini Gian Luca, 2004, "Milano al telefono", <http://www.storiadimilano.it/città/milanotecnica/telefoni>.
- Magagnini Giacomo, 1922 "Il nuovo impianto telefonico di Venezia", *Telefoni e Telegrafi*, pp. 294-309.
- Magagnini Giacomo, 1924, "I lavori d'impianto del cavo telefonico sotterraneo Milano-Torino-Genova", *Telefoni e Telegrafi*, pp. 130-138.
- Marchesi G., 1922, "Ripetizione telefonica amplificata con la lampada a tre elettrodi", *Telegrafi e Telefoni*, pp. 108-109.
- Ministero Poste e Telecomunicazioni, 1958, "Piano Regolatore Telefonico Nazionale".
- Ministero Poste e Telecomunicazioni, 1972, "Convenzione aggiuntiva tra il Min. Poste e Telecomunicazioni, e la SIP".

- Pession G. e Di Pirro C.G., 1931, "Sviluppo e stato attuale della rete telefonica interurbana in Italia", in *La Rete dei Cavi Telefonici Interurbani in Italia*, Ed. SIRTU, p. 7.
- Pirelli, 2010, "Da La Spezia ad Arco Felice" , [http://www.it.pirelli.com/web/group/history/storia\\_cavi/telefonia\\_dopoguerra/default.page](http://www.it.pirelli.com/web/group/history/storia_cavi/telefonia_dopoguerra/default.page).
- SIP, 1981, "Regio Decreto 23 aprile 1925 n. 505", in *Il telefono 1881-1991 cento anni al servizio del Paese*, p. 216.
- SIRTU, 1957, *Records of thirty-five years of activity in the Italian telecommunication field*, Ed. SIRTU.
- SIRTU, 1970, "Bilancio 1970".



## Il ruolo dei gestori nelle comunicazioni nazionali

Centocinquant'anni orsono (anno più, anno meno) due italiani, Innocenzo Manzetti e Antonio Meucci, inventano e realizzano, ciascuno per proprio conto e a livello di prototipi, il telefono, o meglio, come lo chiamarono allora il “telettrofono” o il “télégraphe vocal”. I tempi sono evidentemente maturi perché quasi contemporaneamente e forse anche tramite qualche “migrazione” di informazioni, anche altri Paesi si muovono nella stessa direzione. Comunque la primogenitura dell'invenzione rivoluzionaria che cambierà il pianeta Terra è universalmente attribuita ad Antonio Meucci: dal 2002 anche il Congresso degli Stati Uniti ha ufficialmente e definitivamente riconosciuto Antonio Meucci come “primo inventore del telefono”. L'industrializzazione di questa invenzione dà il via ad una rivoluzione planetaria che esplose, evolve e si impone fino ai giorni nostri: l'Information Communication Technology, il terzo Business del pianeta, altro non è che la naturale evoluzione di quella straordinaria intuizione. È una rivoluzione industriale, economica, sociale che permea la vita dei singoli e della società, delle aziende e del lavoro, della cultura e della scienza, dei Paesi e delle Nazioni tutte. Ed è una rivoluzione che dalla nascita ha un ben preciso marchio d'origine: quello del “Made in Italy”. Con tali premesse sarebbe stato lecito attendersi che nel Paese, che sotto tutti i profili ha fatto da incubatrice al mondo delle comunicazioni (e non si può certo dimenticare, parlando del mondo delle “comunicazioni”, il ruolo straordinario di un altro grande italiano, il premio Nobel Guglielmo Marconi) il settore godesse di uno sviluppo rapido quasi orgoglioso. Invece ... Invece nel corso dei circa cento anni di vita del settore si sono succeduti eventi, scelte, protagonisti, che in presenza di regole e presidi altalenanti, hanno determinato situazioni instabili, senza adeguate prospettive di lungo termine e visione strategica.

Trascurando la fase di *start up*, scarsamente regolamentata e gestita da una pluralità di soggetti intraprendenti sì, ma inadeguati sotto molti profili, primo fra tutti quello finanziario, saranno nel seguito presi in esame gli accadimenti degli ultimi novanta anni, quelli più regolamentati, ma, nonostante tutta la regolamentazione, anche molto “variegati”.

### Riferimenti storici

1924 – Nel settembre 1924 viene indetto dal Governo Italiano un bando di gara per la concessione dell'esercizio telefonico ai privati, attraverso la

riorganizzazione dell'intero sistema telefonico nazionale e la suddivisione del territorio in cinque aree geografiche, comprendenti ciascuna alcune regioni (Fig. 1). Vengono così assegnate le concessioni a cinque gruppi:

- **STIPEL** (Società Telefonica Interregionale Piemontese E Lombarda): con competenza su Piemonte e Lombardia e principale azionista la **SIP** (Società Idroelettrica Piemonte);
- **TELVE** (TELEfonica delle VEnezie): con competenza su Veneto, Friuli Venezia Giulia e Trentino Alto Adige e principale azionista la **SIP** (Società Idroelettrica Piemonte);
- **TIMO** (Telefoni Italia Medio Orientale): con competenza su Emilia-Romagna, Marche, Umbria, Abruzzo e Molise e principale azionista la **SIP** (Società Idroelettrica Piemonte);
- **TETI** (TELEfonica TIRrena): con competenza su Lazio, Sardegna, Toscana e Liguria. Dal 1958 l'IRI (Istituto per la Ricostruzione Industriale) acquisisce il pacchetto azionario di maggioranza e lo trasferisce alla STET (Società Torinese Esercizi Telefonici);
- **SET** (Società Esercizi Telefonici): con competenza su Campania, Puglia, Calabria e Sicilia. Dal 1958 l'IRI acquisisce il pacchetto azionario di maggioranza e lo trasferisce alla STET.

1925 – Il 14 giugno, con Regio Decreto n. 884, viene istituita l'ASST (Azienda di Stato per i Servizi Telefonici) alla quale viene attribuito il compito di controllo sui servizi telefonici in concessione, lo svolgimento diretto del traffico internazionale europeo e del Bacino del Mediterraneo, la rete per i Servizi di Stato, il Telex e la gestione dei collegamenti fra le cinque concessionarie.

1929-1933 Dopo la crisi del '29 la **SIP**, che controllava, oltre alla **STIPEL**, anche la **TELVE** e la **TIMO** (60% del sistema telefonico italiano), fu coinvolta nel crollo della Italgas e della Banca Commerciale. Per la sorte di queste Società fu decisivo l'intervento dello Stato mediante il ruolo dell'IRI, fondato per rilevare tutte le partecipazioni industriali delle grandi Banche in crisi. In questo contesto il 21 ottobre 1933 venne fondata a Torino la **STET**, la prima finanziaria del settore delle telecomunicazioni dell'IRI. Compito della **STET** era quello di controllare e coordinare da un punto di vista amministrativo e finanziario tre delle cinque società telefoniche concessionarie, cioè il 60% delle telecomunicazioni italiane.

La **STET** offrì al pubblico, come azionariato, un prestito obbligazionario di 400 milioni di lire, pari all'ammontare del suo capitale; al termine delle conversioni, il 42% del capitale **STET** risultò appartenere ad azionisti privati. La formula IRI-STET rappresentava un originale modello di Società con capitale misto pubblico-privato: il settore telefonico, per più della metà controllato dalla **STET**, fu quindi gestito attraverso un sistema "intermedio" tra il pubblico ed il privato.

1964 – Il processo di unificazione del sistema telefonico nazionale, attraverso la fusione per incorporazione delle cinque concessionarie nella **SIP** "elettrica", il

29 ottobre 1964, portò alla nascita della nuova **SIP** (Società Italiana Per l'esercizio telefonico): acronimo singolare che ci accompagnerà fino ai giorni nostri.

1990 – Nell'aprile 1990 la SIP, attraverso la divisione "Servizi Radiomobili", attiva la rete TACS (Total Access Communications System) a 900 MHz, con tecnologia analogica, divenendo in breve tempo, il primo operatore cellulare europeo per numero di abbonati.

Il 19 giugno 1990 nasce **Omnitel**, Sistemi Radiocellulari Italiani.

1992 – In ottemperanza alla normativa europea che prevedeva, nel settore delle telecomunicazioni, la separazione delle funzioni di regolazione dalle strutture operative, il Parlamento, con Legge n. 58 del 28.1.92, decide la soppressione dell'ASST che il 1° gennaio 1993 viene acquisita dall'IRI con il nome di **IRITEL** (IRI Telecomunicazioni):

dopo un percorso durato 66 anni, il Gestore operativo di Stato nelle telecomunicazioni nazionali e internazionali, con modifiche delle competenze e delle responsabilità nel tempo, scompare. È il segnale di partenza per una rivoluzione che in 6 anni muterà completamente il panorama delle telecomunicazioni italiane.

1994 – Il 28 marzo **Omnitel Pronto Italia** (controllata per il 70% da Olivetti) vince la gara per l'assegnazione della seconda concessione GSM (Global System for Mobile communications) in Italia.

Il 27 luglio 1994 viene firmato l'atto di fusione delle cinque società SIP – IRITEL – Italcable – Telespazio – SIRM (Società Italiana Radio Marittimi). Nasce **Telecom Italia (TI)**: STET ne è l'azionista di maggioranza assoluta e per la prima volta l'Italia ha un gestore unico per tutte le tipologie delle tele-



**Figura 1.** Il territorio italiano suddiviso nelle cinque zone di competenza delle concessionarie telefoniche STIPEL, TELVE, TIMO, TETI, SET (1925-1964). Carta del 1947 (da Archivio Storico Telecom Italia).

comunicazioni, fisse e mobili, escluso il servizio telegrammi, la posta elettronica e la telematica pubblica, svolti attraverso gli uffici postali.

1995 – Nel febbraio 1995 viene firmato il Decreto Presidenziale che rende immediatamente operativa la concessione rilasciata a Omnitel.

Il 28 giugno 1995, tramite un atto di scissione parziale della società da Telecom Italia, nasce **Tim** (Telecom Italia Mobile): gli obiettivi della nuova società sono la realizzazione, gestione e sviluppo dei sistemi di telefonia mobile.

1997 – Fusione per incorporazione di Telecom Italia in STET. La nuova Società mantiene il nome **Telecom Italia**: il controllo è ancora in mani pubbliche, l'IRI è l'azionista di riferimento e di maggioranza.

Il 18 luglio 1997 il Consiglio dei Ministri firma il decreto per la **Privatizzazione di Telecom Italia**; il 20 ottobre 1997 viene avviata la vendita del 35,26% del capitale ricavando circa 26.000 miliardi di lire; il 27 ottobre 1997 Telecom Italia, privatizzata, viene ammessa agli scambi in borsa. Nasce così la prima “public company” italiana, la nuova Telecom Italia SpA, una società per azioni ad azionariato diffuso e lo Stato esce dalla presenza sia operativa, sia finanziaria delle Telecomunicazioni del Paese.

Il 19 settembre 1997 con il Decreto Legge n. 318, a firma del Presidente della Repubblica e del Presidente del Consiglio, viene sancita la **Liberalizzazione delle Telecomunicazioni Italiane**. Il Decreto stabilisce che

La società Telecom Italia è l'organismo di telecomunicazioni incaricato di fornire il servizio universale su tutto il territorio nazionale [...] e a partire dal 1° gennaio 1998 possono essere incaricati della fornitura del servizio universale anche altri organismi di telecomunicazioni [...] su tutto il territorio nazionale o su parte di esso.

1998 – L'applicazione del Decreto Legge 318 determina, dal 1° gennaio 1998, la nascita di nuovi gestori delle reti di telecomunicazioni: il primo nuovo gestore che entra nel mercato, dopo la liberalizzazione, è **INFOSTRADA** (Società fondata nel 1995 dal Gruppo Olivetti e da Bell Atlantic) che ottiene la licenza nel febbraio 1998. Quasi contemporaneo è l'ingresso di **TISCALI** e rapidamente seguono numerose altre licenze che hanno portato, in breve tempo, il numero dei gestori, in possesso di licenza, ma non certo operativi, ad oltre 200.

2000–2010 Negli ultimi dieci anni si registrano due fatti nuovi particolarmente significativi. Il primo, prevedibile e forse anche scontato, vede una serie di fusioni, acquisizioni, convergenze, integrazioni, che rendono più competitivi e robusti alcuni dei nuovi operatori e segnano la contestuale scomparsa di altri.

Il secondo, invece, è un elemento in certa misura sorprendente: tutti i più importanti nuovi operatori, all'inizio della loro attività controllati in tutto o in maggioranza da capitale ed imprenditoria italiana, passano pro-

gressivamente di mano e diventano controllati da capitale e imprenditoria straniera. E così:

- ENEL, che controlla il 100% di Wind, prima acquisisce INFOSTRADA e la conferisce a Wind (INFOSTRADA era detenuta da Vodafone che l'aveva acquisita con *takeover* ostile su Mannesmann che, a sua volta, l'aveva acquisita da Olivetti) e poi cede Wind a Naguib Sawiris maggiore azionista e Presidente di Orascom Telecom (Egitto); il 20 marzo 2011 il Gruppo russo Vimpelcom, operante nel settore delle Tlc, assume il controllo del 51,7% di Orascom e del 100% di Wind Telecomunicazioni;
- Omnitel Pronto Italia, ceduta da Olivetti a Mannesmann, viene acquisita da Vodafone con *takeover* ostile e diventa prima Vodafone Omnitel, poi Vodafone Italia e si trasforma da "Gestore Mobile" a "Gestore Globale";
- Swisse Telecom acquisisce Fastweb;
- British Telecom acquisisce Albacom che si ripropone sul mercato con il nome di "BT Italia";
- ecc. ecc.

Si tratta, da un lato, di esigenze del mercato: il cliente, in generale, preferisce avere un gestore globale che gli consenta di usufruire di tutti i servizi che la tecnologia rende disponibili mentre il gestore, dal canto suo, può, attraverso la tecnica del *crossselling*, meglio acquisire e fidelizzare il cliente; da un altro lato emergono i problemi di "dimensione": nella competizione con Telecom Italia, che, nell'ambito della telefonia fissa, è tuttora "monopolista" di fatto della rete di accesso su tutto il territorio nazionale, il fattore dimensionale riveste importanza strategica.

### I gestori nei primi 40 anni delle telecomunicazioni italiane: 1925-1965

Il ruolo svolto dai cinque gestori territoriali (STIPEL, TELVE, TIMO, TETI, SET) e dall'ASST è stato un ruolo importante, che ha posto le basi e le premesse per quel percorso che porterà, alla fine degli anni '90, il gestore italiano (sia pure ancora monopolista e a gestione partecipata in maniera determinante dalla componente pubblica) ad essere il sesto gestore mondiale, sia per dimensione del Business, sia per presenza a livello internazionale.

La concessione rilasciata dal Governo affidava ai Concessionari lo sviluppo e la modernizzazione degli impianti telefonici, l'acquisizione e la gestione degli utenti, i collegamenti fra le centrali all'interno delle zone di competenza.

All'ASST veniva affidata l'attività di controllo e sorveglianza sia tecnica che regolamentare dell'attività delle cinque concessionarie e l'attività di sviluppo ed esercizio delle dorsali di maggiore importanza e traffico del Paese. Quest'ultima responsabilità muterà i suoi contenuti specifici, nel tempo, con lo sviluppo e la dinamica di cambiamento della tecnologia e delle conseguenti gerarchie funzionali della rete nazionale.

La frammentazione territoriale delle competenze costituiva per i cinque gestori un implicito limite ad una visione di ampio respiro non solo a livello internazionale, ma anche a livello nazionale. E così i primi dieci anni sono

quelli della partenza, quelli del telefono quasi “status symbol” elitario, dei telefoni bianchi, delle attese e delle raccomandazioni dei clienti (anzi, allora, degli “Utenti”) per poter disporre dell’oggetto del desiderio. Sono anche gli anni dei primi importanti ed impegnativi investimenti: la progettazione e la costruzione della rete, delle infrastrutture, dei Ponti Radio di Marconiana memoria, dei cavi in rame, degli autocommutatori elettromeccanici, della creazione dell’organizzazione, delle centrali manuali, delle operatrici ecc., cose di cui oramai si trova traccia solo in Musei rari e spesso in via di dismissione. Certo i tempi di risposta dei cinque gestori non erano né adeguati alla richiesta, né uniformi sul territorio nazionale. I tempi di attesa per l’ottenimento del servizio telefonico e la loro diversità sul territorio erano in parte fisiologici (la partenza di un servizio, soprattutto innovativo, non può essere caratterizzata da tempi di risposta generalmente uniformi, senza attese: basti pensare al lancio ai nostri giorni dell’iPad) e in parte condizionati dalla forza finanziaria dei protagonisti e dalla necessità di ottimizzare gli investimenti. Viene data perciò precedenza agli investimenti nelle aree urbane, densamente popolate rispetto alle aree periferiche e agricole, introducendo un divario che richiederà mezzo secolo per essere superato.

Compare, forse per la prima volta, una debolezza “istituzionale” del “sesto” Gestore, l’ASST: il suo ruolo è demandato ai cinque Ispettorati di Zona con competenza sui territori assegnati ai cinque gestori operativi. L’attività svolta è di tipo ispettivo-tecnico, prevalentemente interpretata in chiave burocratica e senza mai sfiorare gli aspetti di fondo.

Segue poi l’intervallo del periodo bellico, durante il quale ovviamente l’impegno prioritario dei gestori è stato quello di garantire la sopravvivenza degli impianti e il mantenimento di un livello accettabile del servizio.

Si deve arrivare al 1946 per ripartire con gli investimenti, avviare il recupero degli anni perduti, rinnovare ed innovare. Lo sviluppo delle telecomunicazioni italiane accompagna lo straordinario e vorticoso periodo di sviluppo dell’economia del Paese. Ed è anche il momento in cui emergono vistosamente i limiti di un sistema che risente del “peccato originale”: la frammentazione dei soggetti protagonisti, responsabili, solo a livello operativo, di un settore di cui, 40 anni prima, non si era messa a fuoco (o, peggio, non si era compresa) la valenza strategica né a livello di business né a livello di presupposto di base per lo sviluppo culturale ed industriale sia a livello nazionale che internazionale. I cinque soggetti operatori a livello di raggruppamenti territoriali regionali interpretavano il ruolo in maniera autonoma, mentre l’Azienda di Stato per i Servizi Telefonici, cui erano stati affidati compiti di controllo e che, di fatto operava anch’essa a livello periferico, non esprimeva alcun ruolo di tipo politico-strategico, “di governo”.

Le conseguenze erano:

- la fornitura del servizio risultava molto diversa da zona a zona del Paese ed anche da area ad area nell’ambito del territorio di competenza dello stesso gestore;
- gli investimenti erano pure molto diversi da zona a zona del Paese: venivano privilegiate le aree urbane più densamente popolate. Gli investimenti in tali

- aree garantivano maggiore redditività, evadevano un maggior numero di “domande” e supportavano lo sviluppo industriale;
- a livello Paese si venivano a creare aree con sviluppo delle telecomunicazioni assolutamente inadeguato: SUD rispetto al NORD ed aree periferiche e agricole rispetto ai centri urbani, nell’ambito della stessa regione e anche provincia, con uno standard di servizio profondamente diverso e discriminante. Oggi si parla di *Digital Divide* per quanto attiene al mondo della larga banda, allora esisteva (anche se non si era conosciuta alcuna sigla) il *phone divide* che spesso era anche oggetto di interrogazioni parlamentari, che comunque non incidono minimamente sulla risoluzione del problema di fondo;
  - il servizio internazionale era svolto esclusivamente dalle operatrici (Servizio manuale), aveva costi proibitivi, qualità scadente con attese di ore e con forti limitazioni geografiche. Anche a livello nazionale il servizio teleselettivo, in numerosi collegamenti di lunga distanza, era svolto tramite operatrici;
  - in sintesi estremamente semplificata, ma efficace, l’evasione di una domanda di collegamento telefonico poteva richiedere anni, anche 4-5 anni. Comunque l’attesa media, a livello di aree geografiche di ciascun gestore si posizionava fra quattro e sei mesi: e per evitare che si pensi ad epoche lontanissime è opportuno precisare che questa realtà durerà fino a quando esisteranno i cinque gestori e [...] non solo, come si vedrà più avanti.

## I gestori Italcable e Telespazio

Nell’affollata costellazione della telefonia italiana operano anche altri due gestori di estrema rilevanza: Italcable e Telespazio.

**Italcable** viene fondata il 9 agosto 1921 e per i primi 40 anni della sua vita svolge un’intensa ed apprezzata attività a livello internazionale nel campo della progettazione, realizzazione e gestione di cavi sottomarini per servizi telegrafici e di telecomunicazioni intercontinentali. Fino allo scoppio della Seconda Guerra Mondiale svolge un ruolo di primo piano a livello internazionale sia per volume di attività sia per numero di collegamenti radio telegrafici e telefonici. Svolge poi un ruolo fondamentale nel periodo post bellico nella riattivazione dei collegamenti transoceanici che erano stati tutti tagliati ed interrotti, riconquistando rapidamente il proprio ruolo e la propria collocazione a livello internazionale.

Con l’avvento delle prime telecomunicazioni via satellite, Italcable e RAI, nel 1961 diedero vita a **Telespazio** sotto gli auspici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e del Ministero delle Poste e Telecomunicazioni: ai primi due soci fondatori, nel 1963, si aggiungerà, come terzo socio alla pari, la STET. Nel 1962 tra la Telespazio e la NASA (Ente Spaziale Americano) viene sottoscritto un “Memorandum d’Intesa” per la partecipazione agli esperimenti con i satelliti Telstar e Relay e, sempre nel 1962, tra Telespazio ed il Ministero delle Poste e Telecomunicazioni viene stipulata una Conven-



**Figura 2.** Piana del Fucino, veduta aerea del Centro Spaziale per le telecomunicazioni satellitari, 1963 (da Archivio Storico Telecom Italia).

**Figura 3.** Modello del satellite Intelsat V.A., 1985 (da Archivio Storico Telecom Italia).

zione per la concessione in esclusiva a Telespazio “dell’impianto ed esercizio di sistemi sperimentali per telecomunicazioni a mezzo di satelliti artificiali” (Fig. 2 e Fig. 3).

Nel 1964 Italcable entra a far parte del Gruppo STET in quanto la STET era entrata nella compagine azionaria con il 47,45% del capitale sociale e quindi STET diventa anche azionista di maggioranza della Telespazio.

Nel 1965 Telespazio ottiene la Concessione in esclusiva dei pubblici servizi di telecomunicazioni e televisivi, a mezzo di satelliti artificiali, dal Ministero delle Poste e Telecomunicazioni.

### *La SIP: 1964-1994*

Il 27 luglio 1964 nasce la SIP acronimo della fu “Società Idroelettrica Piemontese” che per l’occasione viene ribattezzata “Società Italiana Per l’esercizio telefonico” (Fig. 4, 5 e 6).

Con un pesante ritardo storico, sociale, strategico, la nascita della SIP pone i presupposti per la nascita delle moderne telecomunicazioni italiane.

La SIP ingloba i cinque gestori regionali nati nel 1924 e diventa il gestore unico delle telecomunicazioni nazionali, anche se sopravvive l’ASST, il cui ruolo e le cui competenze progressivamente, nel tempo, sono cambiate, fermo restando comunque il ruolo ispettivo e di controllo.

Anche in Italia si può finalmente iniziare a parlare, nel settore delle telecomunicazioni, di strategie, internazionalizzazione, innovazione, investimenti, tecnologie, automazione, servizi, in un’ottica “Paese”.

Anche se tutto ciò costituisce un passo avanti fondamentale per il mondo delle telecomunicazioni nazionali, non si può dimenticare la pluralità dei soggetti che ancora opera nel settore:



**Figura 4.** Nasce la SIP telefonica: frontespizio dell'atto di costituzione societaria, 29 ottobre 1964 (da Archivio Storico Telecom Italia).

**Figura 5.** Il logo della SIP telefonica in uso dal 1964 fino agli anni '70 (da Archivio Storico Telecom Italia).

**Figura 6.** Il logo SIP con il tetragramma rosso ondulato che simboleggia i cavi usati per la comunicazione telefonica, 1983 (da Archivio Storico Telecom Italia).

- **SIP**, controllata da **STET**, azionista di maggioranza assoluta del gruppo **IRI**;
- **ASST**, ente di Stato, con competenza operativa per il traffico internazionale europeo e del bacino del Mediterraneo, per il traffico fra i Centri di Compartimento della rete nazionale, oltre al ruolo di controllo ed ispettivo di cui si è già detto;
- **Italcable**, controllata da **STET**, con competenza operativa per il traffico intercontinentale;
- **Telespazio**, controllata da **STET**, carrier del traffico satellitare, concessionaria dei servizi di telecomunicazioni a mezzo di satelliti artificiali e per ciò stesso socio di Consorzi internazionali e, nel tempo, gestore di satelliti di proprietà;
- **SIRM**, ente di stato, con competenza per l'assistenza ai naviganti in mare.

Un punto di forza del sistema che si è venuto a creare è dato dalla presenza di un unico soggetto, la STET, finanziaria dell'IRI, che controlla e coordina oltre l'85% del settore e che è caratterizzata dalle seguenti specificità e punti di forza:

- appartenenza all'IRI, cioè ad una struttura pubblica, che pur con i vincoli che tale caratteristica poteva comportare, ha una visione di largo respiro e, soprattutto, non solo ispirata a logiche di business;
- grande capacità finanziaria, presupposto fondamentale per avviare un'opera di recupero e sviluppo del settore;
- pur appartenendo al settore pubblico, mantiene, almeno per i primi 25 anni, una totale estraneità della politica nella gestione delle proprie controllate, che possono quindi contare su una classe dirigente orientata all'efficienza e ai risultati.

La SIP si presenta con un biglietto da visita da tutti apprezzato: il completamento dell'attivazione della teleselezione automatica per tutte le comunicazioni all'interno del Paese: scompaiono le Signorine "SIP desidera?" (Fig. 7 e 8) dalla nostra vita quotidiana e compaiono i primi "Piani decennali" di sviluppo delle telecomunicazioni, Piani che nei primi 20 anni di attività, pur rimuovendo le disparità più macroscopiche fra area e area del Paese, non riescono ad annullarle completamente: in generale la risposta del settore non è sufficiente rispetto alle necessità ed alla domanda di servizi sempre crescente. La situazione può così essere sintetizzata:

- l'economia del Paese marcia a ritmi elevati: è il periodo del "miracolo economico";
- lo sviluppo del traffico telefonico è sempre crescente e continua ad essere soffocato dall'inadeguatezza impiantistica;
- la domanda di nuovi collegamenti è fortissima, fenomeno assolutamente fisiologico in un Paese che, rispetto agli altri Paesi europei con i quali collabora e compete, ha una densità telefonica del 20% inferiore;
- l'attesa per l'evasione delle domande non è più di anni, ma spesso è di diversi mesi con masse di domande giacenti di numerose centinaia di migliaia;
- la tecnologia necessita di urgenti ammodernamenti;
- in sintesi è necessario uno sforzo straordinario finanziario – realizzativo – tecnologico.

Partono così due progetti, profondamente diversi per origine ma accomunati dal medesimo obiettivo: coprire in tempi rapidi i divari che affliggono l'Italia, quelli interni e quelli nei confronti degli altri paesi europei.

SIP lancia il "**Piano Europa**" (Fig. 9), un piano per recuperare in tempi brevi il gap tecnologico-impiantistico e consentire una risposta tempestiva alla domanda del mercato: il Piano viene lanciato nel 1988 e si realizza praticamente in circa 4 anni (1989-1992) con investimenti per circa 44.000 miliardi di lire.

La **Comunità Europea** lancia un suo piano di finanziamenti per i progetti che favoriscono lo sviluppo rapido delle telecomunicazioni nelle zone depresse



Nuovo Piano Quinquennale 1988-1992

# EUROPA, ECCOCI

**Il Consiglio d'Amministrazione della nostra Società ha approvato i lineamenti del nuovo Piano Quinquennale, portando il volume degli investimenti da 27.500 miliardi, previsti dal precedente programma, a 36.300. Vediamo i dettagli.**

Il Consiglio d'Amministrazione della nostra Società ha approvato i lineamenti del nuovo Piano Quinquennale, portando il volume degli investimenti da 27.500 miliardi, previsti dal precedente programma, a 36.300. Vediamo i dettagli.

**PRINCIPALI OBIETTIVI**

- Il nuovo Piano 1988-1992 si propone di imprimere una forte accelerazione al volume degli investimenti, in particolare nel settore delle telecomunicazioni nazionali in modo da assicurare positive ricadute sull'economia del paese e sull'occupazione del settore.
- Strutturazione degli investimenti generali del nuovo Piano garantendo di volume in misura consistente e per nazionali rispetto al precedente e diversificando maggiormente nei confronti dei paesi europei più sviluppati attraverso il conseguimento dei seguenti principali obiettivi:
  - diffusione telefonica dell'ordine di 42 milioni per 100 abitanti, con un'andamento decisamente in corso anche europea;
  - incremento della società (in termini di in mini) che consentirà, nel periodo in esame, una riduzione del tempo di attesa di servizio al servizio ed una riduzione per la massima parte dell'attesa attesa ad a circa due volte rispetto al livello attuale;
  - accelerazione del processo di sostituzione degli impianti con conseguente miglioramento delle prestazioni delle reti;
  - diversificazione dei servizi di intervento nella riparazione dei guasti, con particolare riferimento a quelli generali e di qualità superiore alle dimensioni per i servizi di rilevante interesse nazionale e per l'utenza affari;
  - massima efficienza di impiego impianti telefonici, mediante la riduzione della carta di credito e carte di debito e l'ottimizzazione operativa dei guasti;
  - accorpamento delle reti di altre specie di telecomunicazioni (T.V., radiotelevisiva, ed altre di nuova concezione) e l'impiego del sistema binario con la modernizzazione delle telecomunicazioni telefoniche.
- Nell'ambito degli obiettivi sopra menzionati saranno individuati investimenti anche in maggior misura di telecomunicazioni specie di tipo quantitativo che consentiranno in occasione dei capisaldi programmati di carico del 1990, che sarà il livello di impiego in Italia.

**ABBONATI**

Anno	Abbonati (circa)
1987	18.000
1988	19.000
1989	20.000
1990	21.000
1991	22.000
1992	23.000

7

8

9

**Figura 7.** Telefonista addetta ai Servizi Speciali della centrale interurbana di Milano, fine anni '50 (da Archivio Storico Telecom Italia).

**Figura 8.** Telefoniste della centrale interurbana di Torino, anni '60 (da Archivio Storico Telecom Italia).

**Figura 9.** "Europa, eccoci", dall'house organ "Selezionando SIP", 1988 (da Archivio Storico Telecom Italia).

dei Paesi d'Europa: per l'Italia il SUD e poche altre aree: anche questo Progetto rende disponibili investimenti mirati che contribuiscono ad un recupero accelerato in alcune aree del SUD Italia.

La massa di investimenti che investe le telecomunicazioni italiane alla fine degli anni '80 e nei primi anni '90 determina risultati efficaci e tangibili non solo per il miglioramento sostanziale del servizio offerto agli utenti e all'intero Paese, ma anche per l'economia italiana e per le telecomunicazioni nel loro complesso, cioè non solo per i Gestori delle Telecomunicazioni, ma anche per l'industria delle Telecomunicazioni. Sono gli anni d'oro per aziende come l'Italtel, la Sirti, la Telettra (le prime due controllate dalla STET, la terza dalla FIAT). Si arriva a pensare alla possibilità di dare vita ad una grande impresa italiana in grado di competere con i colossi internazionali come Ericsson, Alcatel, Siemens: sarebbe

stata una grande risorsa soprattutto nella competizione internazionale che era prossima a decollare con la ormai imminente privatizzazione e la conseguente liberalizzazione del settore. “Sarebbe stata”, ma non si è verificata: la inadeguatezza della classe politica e meri interessi di bottega da parte dell’imprenditoria privata hanno fatto sì che quel disegno di interesse nazionale naufragasse miseramente e definitivamente. Da nessuna componente della classe dirigente del Paese si è levata una sola voce a chiedere ragione di tale naufragio, forse perché criticare i poteri forti, molto forti, non è mai stato uno sport molto praticato in Italia.

Questa considerazione offre lo spunto per fare con buona chiarezza, almeno a posteriori, una prima sintetica valutazione delle caratteristiche e del ruolo che aveva il gestore pubblico italiano delle telecomunicazioni:

- capacità operative buone;
- capacità finanziarie adeguate alle necessità del momento;
- visione strategica di lungo termine inadeguata o comunque detenuta o attribuita o trattenuta al di fuori della realtà aziendale;
- autonomia limitata.

La componente pubblica è prevalente sia a livello finanziario, sia a livello strategico e per di più è protetta, per gli aspetti tariffari, dall’autoreferenzialità che, di fatto, consente che chi chiede la determinazione della remunerazione del Business sia lo stesso soggetto che poi la concede. È chiaro che questa impostazione non prepara alla competizione in arrivo perché non abitua alla logica del business: la gente lavora e lavora “tecnicamente” bene, ma con tranquillità, cioè senza la sollecitazione “mercattistica”.

Bene o male? Ovviamente il “bene” e il “male” dipenderanno dal contesto futuro e questo lo vedremo più avanti.

Ritornando alla storia si può ragionevolmente affermare che la situazione delle telecomunicazioni italiane migliora sostanzialmente, talché nei primi anni ’90, cioè dopo 25 anni di gestione SIP, la situazione delle telecomunicazioni nel Paese può essere considerata a livello dei Paesi Europei d’avanguardia. Anche sotto il profilo tecnologico sono state fatte scelte adeguate utilizzando i prodotti d’avanguardia dell’industria mondiale e di quella italiana che si presenta competitiva: è il tempo delle centrali elettroniche, delle fibre ottiche e dell’avvio dei servizi radiomobili: questi ultimi prima con tecnologia analogica a 450 MHz, poi con il sistema TACS, già citato, ancora in tecnologia analogica a 900 MHz, poi con il sistema GSM in tecnologia digitale a 900 MHz, nasce **Tim**.

Muove i primi passi quello che in tempi brevissimi diventerà un successo ed un fenomeno nazionale, studiato anche a livello internazionale: la nascita dei servizi mobili che in breve tempo diventeranno il “Servizio Radiomobile”, la “Telefonia Mobile”, e poi il “Telefonino”, “l’iPhone” e ora “l’iPad”. Ma, procedendo per ordine, il primo servizio di mobilità che nasce e va sul mercato è il “Teledrin”, un piccolo dispositivo portatile, dotato di display, associato ad un numero di rete fissa che evidenzia, nelle aree dotate di apposita copertura radio, il numero da cui è stata inviata una chiamata al numero di rete fissa collegato. Il servizio, che si avvaleva di una rete in tecnologia analogica a 160 MHz, è stato un servizio

di un certo interesse in alcune fasce della società, ma con seri limiti: interattività inesistente, copertura nei soli centri abitati e in poche altre aree coperte, limiti di velocità molto restrittivi per garantirne la funzionalità. Alla metà degli anni '80 fanno la loro comparsa i primi esemplari del servizio radiomobile portatile: sono "valigette" a mano del peso di 2,5-3 chilogrammi o apparati idonei all'installazione in auto, funzionanti con tecnologia analogica sulla frequenza di 450 MHz. L'oggetto, in pochi mesi, diventa *status symbol* e ci sono negozi che vendono dei facsimile, all'apparenza identici a quelli montati su auto, al prezzo di 51.000 delle vecchie lire, al solo fine di consentire agli "spasimanti" la parvenza del possesso dell'oggetto del desiderio! Ma sono fenomeni di brevissima durata: nel 1990, in concomitanza con l'inaugurazione del Campionato Mondiale di calcio, assegnato all'Italia, viene lanciato il servizio radiomobile vero e proprio: il telefono portatile, a tutti gli effetti, il "Telefonino", funzionante con tecnologia analogica TACS sulla frequenza di 900 MHz. L'Azienda titolare del servizio è la SIP con la sua divisione "Servizi Radiomobili", ancora monopolista, ma per breve periodo, esattamente fino al 1995: un percorso assimilabile ad una cavalcata vittoriosa. Nel 1995 nascerà Tim e sarà un esempio di successo nazionale e internazionale.

Ne esamineremo il percorso più avanti.

## ASST e IRITEL

Il primo quarto di secolo di vita della SIP, per l'esattezza i primi 28 anni, rappresentano per l'Azienda di Stato il suo ultimo periodo di vita, periodo durante il quale avvengono molteplici cambiamenti di ruolo.

In base alla Direttiva 90/388/CE della Comunità Europea, che stabiliva la separazione tra l'attività di gestione del servizio e quella di normazione e controllo del settore delle telecomunicazioni, il 31 dicembre 1992 l'ASST conclude il suo ciclo e viene rilevata a far data dal 1° gennaio 1993 dalla Società IRITEL SpA, 100% proprietà dell'IRI (Fig. 10).

È la premessa di due eventi storici:

- l'uscita dello Stato dalle Telecomunicazioni Italiane, sia come soggetto operativo sia come soggetto incaricato e responsabile del controllo del sistema;
- unicità dell'azionista di riferimento di tutti gli operatori rimasti sulla scena: SIP, IRITEL, Italcable, Telespazio e SIRM rispondono tutti all'IRI, direttamente o attraverso la STET.

È pur vero che IRI e STET sono organi controllati dallo Stato, ma i principi economici, le logiche gestionali, gli obiettivi strategici hanno una buona impostazione di tipo imprenditoriale-privatistico in grado di iniziare ad esprimersi efficacemente in campo internazionale anche a livello di competizione nel business delle telecomunicazioni.

Fino a questo momento, in campo internazionale, la presenza del gestore italiano delle telecomunicazioni era stata forte ed universalmente riconosciuta nel settore della standardizzazione e della ricerca e sviluppo attraverso l'opera di SIP, CSELT e delle manifatturiere, ma ora si apre anche un altro aspetto,

# GAZZETTA UFFICIALE



## DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTE PRIMA

Roma - Mercoledì, 5 febbraio 1992

SI PUBBLICA TUTTI  
I GIORNI NON FESTIVI

### LEGGI, DECRETI E ORDINANZE PRESIDENZIALI

**LEGGI** 29 gennaio 1992, n. 58.

*Disposizioni per la riforma del settore delle telecomunicazioni.*

La Camera dei deputati ed il Senato della Repubblica hanno approvato;

IL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA

PROMULGA

la seguente legge:

Art. 1.

*Gestione dei servizi di telecomunicazioni  
ad uso pubblico*

1. Il Ministro delle poste e delle telecomunicazioni, sentito il Ministro delle partecipazioni statali, entro sei mesi dalla data di entrata in vigore della presente legge, affida in concessione esclusiva i servizi di telecomunicazioni ad uso pubblico, nonché l'installazione e l'esercizio dei relativi impianti, attualmente gestiti dall'Azienda di Stato per i servizi telefonici e dall'Amministrazione delle poste e delle telecomunicazioni, ad una società appositamente costituita per la durata di dieci anni dall'Istituto per la ricostruzione industriale (IRI), di seguito denominata "Società", la totalità delle cui azioni sia posseduta direttamente dal medesimo Istituto. La concessione ha una durata pari al tempo necessario per il perfezionamento degli adempimenti di cui ai commi 4 e 6 e comunque non superiore ad un anno. Non sono compresi nella concessione i servizi dei telegrammi, di posta elettronica e di telematica pubblica svolti attraverso gli uffici postali, nonché, fino all'estinzione dei relativi atti concessori, i servizi radiomartirimi concessi.

2. All'atto di concessione di cui al comma 1 è annessa una convenzione la quale, in conformità delle disposizioni recate dal capo III del titolo I del libro quarto del codice postale e delle telecomunicazioni, approvato con decreto del Presidente della Repubblica 29 marzo 1973, n.156, prevede tra l'altro:

a) il mantenimento degli standard di servizio assicurati dall'Azienda di Stato per i servizi telefonici e dall'Amministrazione delle poste e delle telecomunicazioni e le modalità di proseguimento dei piani di investimento intrapresi dalle stesse con riferimento ai servizi di cui al comma 1;

b) la facoltà per il Ministero delle poste e delle telecomunicazioni di effettuare i controlli necessari a garantire l'osservanza degli obblighi derivanti dalle norme vigenti e dalla convenzione stessa;

c) i criteri per la determinazione delle modalità di utilizzo degli impianti e delle reti della Società da parte dell'Amministrazione delle poste e delle telecomunicazioni e di altre società concessionarie dei servizi di telecomunica-

zioni ad uso pubblico, di seguito denominate "concessionarie", per la determinazione dei relativi corrispettivi correlati ai costi e per le modalità di subentro nei rapporti attivi e passivi di cui al comma 1 dell'articolo 3.

3. L'Azienda di Stato per i servizi telefonici, istituita con regio decreto-legge 14 giugno 1925, n. 884, convertito dalla legge 18 marzo 1926, n.562, è soppressa a far data dall'entrata in vigore della convenzione di cui al comma 2.

4. Il Ministro delle partecipazioni statali, di concerto con il Ministro delle poste e delle telecomunicazioni, entro novanta giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge, presenta al Comitato interministeriale per la programmazione economica (CIPE), sulla base di indicazioni dell'IRI, una proposta di delibera concernente i criteri generali di riassetto del settore delle telecomunicazioni.

5. La proposta indica l'assetto e l'organizzazione delle attività svolte dalle concessionarie in conformità a criteri di omogeneità di funzioni, di efficienza ed economicità di gestione, di trasparenza nell'articolazione tra servizi in monopolio e in concorrenza, nel rispetto della normativa comunitaria e garantendo altresì il necessario coordinamento dei servizi.

6. Il CIPE delibera entro novanta giorni dal ricevimento della proposta di cui al comma 4 e l'IRI, nei successivi centottanta giorni, provvede alla conseguente attuazione. Qualora la delibera del CIPE lo richieda, il Ministro delle poste e delle telecomunicazioni emana appositi atti aggiuntivi alle concessioni dei servizi di telecomunicazioni ad uso pubblico in vigore e stipula atti integrativi alle annesse convenzioni. La delibera del CIPE è trasmessa ai Presidenti della Camera dei deputati e del Senato della Repubblica ai fini del deferimento alle competenti commissioni parlamentari permanenti.

Art. 2.

*Tariffe dei servizi di telecomunicazioni*

1. Il Ministro delle poste e delle telecomunicazioni, entro sei mesi dalla data di entrata in vigore della presente legge, propone al Comitato interministeriale prezzi (CIP), sentiti i Ministri del tesoro, del bilancio e della programmazione economica e delle partecipazioni statali, un piano di ristrutturazione delle tariffe dei servizi di telecomunicazioni da realizzarsi entro il 1992, volto a stabilire, contestualmente, una stretta correlazione tra le tariffe dei singoli servizi ed il costo delle relative prestazioni, nonché una armonizzazione con le tariffe in vigore nei Paesi della Comunità economica europea paragonabili all'Italia per sviluppo del servizio ed estensione territoriale.

2. Dalla data di approvazione da parte del CIP del piano di ristrutturazione di cui al comma 1 e comunque non oltre

Figura 10. La legge che attua la soppressione dell'ASST. Gazzetta Ufficiale 5 febbraio 1992 (da Archivio Storico Telecom Italia).

inizialmente quasi non considerato come rilevante: IRITEL eredita da ASST le responsabilità operative e di business derivanti dall'“*l'Internazionalità*”.

Qual è, in questo contesto, il senso, il contenuto, del termine “Internazionalità”?

Ovviamente la responsabilità della gestione e dello svolgimento del servizio telefonico con l'Europa e il Bacino del Mediterraneo; ovviamente la gestione e lo sviluppo degli Impianti e dei Centri internazionali; ovviamente la realizzazione di una serie di Progetti internazionali giacenti, già finanziati dallo Stato. E anche se la cultura è certamente arretrata e l'iniziativa lenta e altamente burocratica, tuttavia per la nuova proprietà il grande valore che viene acquisito è la possibilità di operare, confrontarsi, competere con gli altri gestori dei Paesi Europei.

E nel pur breve periodo di vita dell'IRITEL (30 mesi) vengono realizzati numerosi, ed in alcuni casi, storici progetti: emblematico, uno per tutti, è la realizzazione della prima grande via di comunicazione fra l'Europa Occidentale e l'ex Impero Comunista. L'iniziativa, finanziata e progettata dall'Italia, collega, con cavo in fibra ottica di grande potenzialità, Italia – Turchia – Ucraina – Russia, ITUR il nome del progetto. La realizzazione dell'opera fu un successo tecnologico e commerciale di gran lunga superiore ad ogni più ottimistica previsione e una grande vittoria italiana nonostante la fortissima e dichiarata concorrenza della Francia, alleata con altre nazioni, per un analogo progetto.

Al di là dell'importanza intrinseca di questo successo ciò che viene acquisito, e resterà nel seguito, è la consapevolezza di poter competere e poter avere la meglio nei confronti internazionali, consapevolezza che sarà preziosa negli anni a seguire quando si scatenerà la competizione per le partecipazioni e/o per le acquisizioni di gestori in Paesi stranieri.

### Telecom Italia: 1994-2010

Il 27 luglio 1994, sotto la regia e la guida di Ernesto Pascale (Fig. 11) protagonista straordinario della storia delle telecomunicazioni italiane degli anni '80-'90, dalla fusione di SIP, IRITEL, Italcable, Telespazio, SIRM nasce un nuovo, anzi “*IL*” nuovo soggetto, il gestore unico delle telecomunicazioni italiane: **Telecom Italia**, le cui caratteristiche innovative sono:

- visione strategica dei problemi sia a livello nazionale che internazionale;
- unificazione dei ruoli e delle responsabilità;
- competenze nazionali ed internazionali;
- razionalizzazione dei sistemi;
- economie di scala e di gestione;
- cultura professionale del personale completa e di ampio respiro;



**Figura 11.** Ernesto Pascale, Amministratore Delegato Italcable prima, Presidente e Amministratore Delegato Telecom Italia poi, Amministratore Delegato STET infine (da Archivio Storico Telecom Italia).

- organizzazione efficiente anche per la scomparsa di innumerevoli vincoli;
- maggior potere contrattuale nei confronti dei fornitori.

L'IRI, azionista di riferimento, delinea subito la strategia di Telecom Italia con chiarezza e con il consenso del Ministero del Tesoro, strategia che s'incentra su due temi fondamentali:

- **la privatizzazione**
- **l'internazionalizzazione.**

Nel 1997 Telecom Italia viene incorporata per fusione in STET: il nuovo soggetto conserva il nome di Telecom Italia assumendo dimensioni finanziarie quasi doppie rispetto al precedente.

Il 18 luglio 1997 il Consiglio dei Ministri firma il Decreto per la privatizzazione di Telecom Italia. Il 20 ottobre 1997 la privatizzazione viene attuata con grande successo sotto la regia efficace e brillante del binomio Guido Rossi, Presidente e Tomaso Tommasi di Vignano, Amministratore Delegato: con la vendita del 35,26% del capitale si ricavano circa 26.000 miliardi di lire.

La privatizzazione, che comporta la quasi totale uscita del Ministero del Tesoro dal capitale Telecom (conserva solamente il 3,5% e la *Golden Share*, con diritto di veto su alcune tematiche strategiche), viene realizzata con la modalità del cosiddetto “nocciolo duro”. In altre parole si vende cercando di creare un gruppo di azionisti che siano in grado di farsi carico della gestione della società. Purtroppo questo obiettivo viene vanificato dalla inadeguata risposta degli investitori italiani e il “nocciolo duro” non è tale: il gruppo che lo compone ha come capofila la Famiglia Agnelli, riunisce solamente il 6,62% del capitale della società e si rivelerà molto fragile, per non dire inesistente, se non peggio.

Contrariamente alle aspettative si apre un periodo di instabilità senza precedenti: quella che avrebbe potuto essere un'occasione straordinaria di sviluppo ed innovazione naufraga miseramente per faide interne, per inadeguatezza ed arroganza di personaggi totalmente estranei, sotto il profilo della competenza, rispetto al business loro affidato, aprendo così la via a quello che dalla fine degli anni '90 sarà un vero e proprio “assalto alla diligenza Telecom Italia”.

In sintesi ecco quello che succede a partire dalla Liberalizzazione del settore, nel campo strategico e delicatissimo della **Governance di Telecom Italia**, nella fase estremamente critica del passaggio dal mondo pubblico a quello privato, nel momento dell'esplosione dei mercati e dell'avvento dell'Information and Communication Technology (ICT) che modifica completamente tutti i paradigmi tradizionali, in una parola, in un momento storico:

- febbraio 1998: appena tre mesi dopo il grande successo universalmente riconosciuto della privatizzazione, il “nocciolo duro” esprime un nuovo Presidente nella persona di Gian Mario Rossignolo: dopo otto mesi sarà sfiduciato dai suoi stessi mandanti;
- ottobre 1998: Pres. Bernardino Libonati – AD Franco Bernabè;

- giugno 1999: successo dell'OPA ostile Olivetti: Pres. Esecutivo Roberto Colaninno. Il Ministero del Tesoro, in qualità di titolare della *Golden Share* aveva la facoltà di esprimere il diritto di veto sull'operazione, ma non si presentò all'Assemblea degli azionisti che avrebbe dovuto decidere le contromisure alla scalata (OPA);
- luglio 2001: Pres. Marco Tronchetti Provera – AD Carlo Buora e Riccardo Ruggiero. Il passaggio di proprietà avviene a seguito di prolungate trattative, con un accordo con Tronchetti Provera e il Gruppo Benetton;
- marzo 2005: OPA di Telecom Italia su Tim;
- settembre 2006: Dimissioni di Tronchetti Provera. Nuovo Pres. Guido Rossi;
- aprile 2007: Pres. Esecutivo Carlo Buora a seguito dimissioni di Guido Rossi;
- aprile 2007: Presidente di transizione Pasquale Pistorio;
- ottobre 2007: la cordata italo – spagnola composta da Mediobanca, Assicurazioni Generali, Intesa Sanpaolo, Sintonia (Gruppo Benetton) e Telefonica de España, denominata Telco (patto di controllo che detiene il 23% della azioni di Telecom Italia) assume il controllo di Telecom Italia;
- dicembre 2007: Pres. Gabriele Galateri di Genola – AD Franco Bernabè;
- ottobre 2009: la cordata italo – spagnola Telco (ad eccezione di Sintonia) rinnova, per altri tre anni il patto di controllo su Telecom Italia.
- aprile 2011: l'Assemblea di Telecom Italia nomina Franco Bernabè Presidente Esecutivo e Marco Patuano Amministratore Delegato.

In questa sede non vengono né elencate e tantomeno prese in esame le “scatole cinesi” che nelle diverse scalate ed anche nel corso delle singole gestioni disegnano i variegati strumenti finanziari di controllo della Società Telecom Italia. Vengono esclusivamente elencati gli accadimenti e le conseguenze risultanti a valle del primo decennio di regime “liberalizzato”.

Una turbolenza di tal genere, nella totale assenza dell'azionista titolare della *Golden Share* e di una qualsiasi guida competente, rende impraticabile la messa a punto di qualsiasi Strategia, di qualsiasi Piano a medio – lungo termine e in breve tempo porta ad una situazione efficacemente e fedelmente fotografata dai seguenti indicatori che saranno presi in esame di seguito: ammontare annuo degli investimenti, consistenza degli *Asset* strategici della Società, livello dell'indebitamento e valore del titolo.

### *Investimenti*

L'insieme degli investimenti (materiali ed immateriali) di Telecom Italia e della sua controllata Tim realizzati nell'anno 1997 ammontava a circa 7 miliardi di euro. Viene presa in esame la somma degli investimenti delle due Società per poter avere un perimetro di riferimento omogeneo con la situazione che si determinerà a seguito dell'OPA di Telecom Italia su Tim nel 2005 e con la quale si vuole fare il confronto fino ai nostri giorni. Nel 1998 il valore non si discosta in maniera rilevante in quanto i programmi sono quelli definiti ed avviati dalla precedente gestione, mentre nel periodo 1999–2009 il valore medio annuo si riduce ad un valore inferiore a 4 miliardi di euro.

Una contrazione di oltre il 40% del valore medio annuo degli investimenti per un intero decennio rispetto allo standard medio dei precedenti 10 anni (ricordiamo il Piano Europa e gli investimenti, anche in campo internazionale, degli anni successivi) è stata una pietra tombale per l'evoluzione e la crescita della Società. E sì che in qualsiasi sede, dai Centri Studi più avanzati all'occasionale articolo sul più sprovveduto dei settimanali, dai Consulenti di settore più rinomati ai numerosi Convegni in campo nazionale ed internazionale, il settore in esame è sempre citato a lettere cubitali e a clamor di popolo come il settore *CAPITAL INTENSIVE* per eccellenza.

### *Asset strategici*

All'atto della privatizzazione Telecom Italia era certamente il quarto Gestore europeo e il sesto a livello mondiale: era presente come operatore autonomo dotato di licenza o azionista strategico, ancorché di minoranza, di numerosi gestori, sia di rete fissa, sia di rete mobile in molti Paesi: Argentina, Austria (rete fissa e rete mobile), Bolivia, Brasile (rete fissa e rete mobile), Cechia, Cile, Cuba, Francia, Grecia, Israele, Perù, San Marino, Serbia, Spagna (rete fissa e rete mobile), Turchia, Ucraina, Venezuela ecc.

Nella fusione per incorporazione con STET aveva acquisito il controllo di numerose Società di primario livello operanti nell'ambito dell'ICT, in Italia e all'estero: ITALTEL, SIRTI, TELESOFT, FINSIEL, MEIE, SEAT, ILTE, TELELEASING, per citare solo quelle di maggiore dimensione e fatturato.

Possedeva oltre 11.000 immobili, la gran parte dei quali ad uso industriale, ma alcune centinaia di straordinario valore per dimensioni, posizionamento strategico nel cuore di grandi città, prevalentemente adibiti ad uso uffici delle varie Direzioni, centrali e periferiche, della Società: un patrimonio edilizio che non aveva l'eguale in Italia.

Dopo 10 anni la Società ha ceduto:

- quasi tutte le Società, sia di rete fissa che mobile, partecipate/controllate nello scenario mondiale dei gestori di telecomunicazioni nel quale era stata protagonista, ad eccezione di Telecom Argentina, Tim Brasil, Cuba e qualche altra marginale partecipazione: il ricavo derivato da tali cessioni è stato pari a poco meno di 10 miliardi di euro;
- una gran parte delle Società possedute e/o partecipate: SIRTI, MEIE, ILTE, FINSIEL, SEAT, Telespazio, SOGEI, TELELEASING e numerose altre: il ricavo di tali cessioni non è esattamente quantificabile, ma certamente valutabile in alcuni miliardi di euro;
- 1900 stabili, dei quali 600 di grandi dimensioni e di elevato pregio. Le finalità dell'operazione sono difficilmente decodificabili, visto che gli stabili ceduti sono comunque rimasti affittati a Telecom Italia, per l'uso consueto. Il ricavo derivato da tali cessioni è stato pari a circa 5 miliardi di euro.

Le riduzioni di perimetro dei capitoli sovramenzionati sono solamente quelle più macroscopiche, ma molte altre hanno caratterizzato la vita dell'azienda nel

periodo in esame: ricordiamo le numerose ed importanti riduzioni del personale, l'esternalizzazione di molte attività, anche strategiche per la vita stessa dell'azienda come, ad esempio, tutta l'attività riguardante l'IT (Information Technology), il parco automezzi, ecc. ecc.

A fronte di scelte tanto drastiche, che si potrebbero capire solo come mezzo estremo per la riduzione dei costi di gestione, il miglioramento della situazione economica e il rafforzamento della società, i dati numerici riferiti ai parametri più significativi, indebitamento della Società e valore del titolo, sono i seguenti:

### *Indebitamento*

Il livello dell'indebitamento contabile netto di Telecom Italia e della sua controllata Tim a fine 1997 è pari a circa **7,8 miliardi di euro**; a fine 2001 ammonta a 38 miliardi di euro; a fine 2004 è pari a 33 miliardi di euro; a fine 2005 raggiunge i **40 miliardi di euro**; a fine 2006 arriva a **36 miliardi di euro** e il dato di bilancio 2009 evidenzia un valore pari a **34.747 miliardi di euro**, a fronte di ricavi pari a 27,2 miliardi di euro (128% dei ricavi).

### *Valore del titolo*

Il valore di mercato del titolo all'atto della privatizzazione è pari a 5,80 €, presenta una forte impennata a 11,50 € in occasione dell'OPA di Olivetti e successivamente scende a circa 2 € nel 2007 e a circa 1 € nel 2009, valore intorno al quale oscilla tuttora.

A nessuno sfugge che tutto il settore in esame ha vissuto ridimensionamenti fortissimi delle quotazioni di borsa, ma non sfugge neppure che la lievitazione dell'indebitamento e il concomitante crollo degli investimenti e del valore del titolo sono componenti di un cocktail non esente da forti preoccupazioni e da altrettanto forti perplessità.

I dati riportati, nella loro sinteticità, semplicità ed oggettività evidenziano, senza bisogno di commenti, il percorso di Telecom Italia nel decennio successivo alla liberalizzazione del settore:

- scomparsa dal novero dei grandi gestori mondiali delle Telecomunicazioni protagonisti dell'ICT;
- crescita paurosa dell'indebitamento;
- riduzione drastica degli investimenti;
- vendita imponente di *asset* strategici;
- crollo del valore del titolo;
- ininterrotte turbolenze gestionali.

Meglio il monopolio dunque? Non ha alcun senso, né alcuna utilità vagheggiare patetiche nostalgie antistoriche, ma, come è stato ripetutamente denunciato, la liberalizzazione del settore e la privatizzazione di Telecom Italia sono avvenute "all'italiana", cioè male. Altri Paesi, non certo sprovveduti (Germania

e Francia ad esempio), hanno seguito percorsi ben diversi, e, non a caso, con risultati ben diversi.

All'uomo della strada resta solo la constatazione della dilapidazione di un gioiello di famiglia, "di famiglia" perché realizzato con i soldi pubblici degli Italiani (attraverso la catena: Stato – IRI – STET – Concessionarie) e l'amarezza di un sistema Paese che si è indebolito in un settore, l'ICT, che costituisce il terzo Business del pianeta ed è universalmente considerato strategico per lo sviluppo e la competitività di ogni Paese, particolarmente in un momento storico – economico come quello attuale.

Le responsabilità di questo straordinario insuccesso sono da attribuirsi ad una serie di numerosi fattori che richiederebbero una approfondita analisi, molteplici competenze ed ampio spazio, ma questa non è la sede appropriata. Ci limitiamo pertanto solamente a richiamare alcuni fatti noti e di grande portata:

- Telecom Italia è stata privatizzata: era però una SpA quotata in Borsa. Di fatto lo Stato Italiano ha venduto la sua quota di proprietà per note esigenze di cassa;
- Lo Stato Italiano si era riservata la Golden Share per garantirsi la possibilità di intervento su temi strategici riguardanti la nuova società;
- Lo Stato Italiano (Ministero del Tesoro) aveva conservato un pacchetto azionario del 3,5% della nuova società (2 miliardi di euro);
- Lo stato Italiano, al fine di garantire un periodo di stabilità iniziale al management, aveva stabilito che il vertice della società (Presidente e Amministratore Delegato) non potessero essere rimossi per tutto il loro primo mandato triennale;
- Lo Stato Italiano aveva introdotto la formula del già citato "nocciolo duro";
- Il modello di riferimento della tipologia che assumeva la nuova società era quello, praticamente inesistente in Italia, ma molto diffuso nel mondo anglosassone, della "public company".

Bene. Se il lettore analizza quanto successo nel breve periodo che va dall'ottobre '97 (Privatizzazione di Telecom Italia) al giugno '99 (successo dell'OPA ostile di Olivetti su Telecom Italia) può facilmente verificare come in nessuna delle molteplici situazioni di criticità in cui è venuta a trovarsi la nuova società vi sia stata l'applicazione o anche il solo tentativo di utilizzo degli strumenti previsti e predisposti. Anzi, si è fatto ricorso, in più di qualche occasione, a "diplomatiche non verità" per consentire quegli accadimenti dai quali si era dichiarato di volersi salvaguardare.

Il 17 ottobre 2009 sul "Sole 24 Ore" un articolo dal titolo: "Telecom Italia e il 'disastro' privatizzazione" riporta alcune valutazioni di uno dei consulenti d'Impresa più quotati d'Italia, Nino Lo Bianco, fondatore di Telos, Amministratore Delegato della Deloitte Consulting, ecc. Lo Bianco evidenzia un "bilancio disastroso se lo misuriamo con il parametro degli interessi nazionali: mentre in altri Paesi europei come Francia, Germania e Spagna, nella telefonia, si sono costruiti dei campioni in grado di essere competitivi sui mercati e di produrre

dividendi eccellenti, la navicella Telecom (Ndr “Italia”) arranca nel mare aperto della telefonia in continua evoluzione”.

Verdetto impietoso, ma purtroppo “Taylor made”.

## I nuovi gestori: 1998-2010

Dal 1° gennaio 1998 vengono rilasciate le concessioni ai nuovi gestori delle telecomunicazioni. In breve tempo ottengono la Concessione centinaia di nuovi soggetti, la grande maggioranza dei quali non diventerà mai operativa, mentre altri entreranno nella storia delle telecomunicazioni italiane: Omnitel Pronto Italia, Infostrada, Albacom, Tiscali, Tele2, Fastweb, Wind. Per comprendere lo scenario pirotecnico che tanto rapidamente si viene a creare nel settore delle Tlc è importante ricordare che gli anni di cui stiamo parlando erano caratterizzati da aspettative esasperate e senz’altro esagerate per tutto il settore dell’ICT. Basti ricordare la straordinaria *performance* di una di queste nuove Società, quotata in borsa dall’inizio della sua attività: nel secondo anno di vita raggiunge un fatturato di 30 miliardi di lire, un indebitamento di 60 miliardi e una capitalizzazione di borsa superiore a quella della FIAT! Questi pochi elementi, di per sé sorprendenti, illustrano, meglio di ogni più approfondita analisi, quali erano le aspettative e il clima generale, non solo in Italia, di fronte all’ICT liberalizzata.

Le prime mosse dei nuovi gestori, sono tutte orientate alle seguenti strategie:

- la comunicazione: grande utilizzo di pubblicità, spot televisivi, *testimonial* famosi, ecc.;
- i risparmi: tariffe ridotte rispetto a quelle dell’ex monopolista;
- Internet: per tutti e a costi marginali, spesso anche azzerati.

La novità, mista alla curiosità, induce molti “ex utenti” della telefonia, ora “clienti” del “nuovo mondo informatico” corteggiati da più parti, a “provare”: operando con la tecnica della *Carrier pre-selection* (selezione del numero identificativo del nuovo operatore) non si rischia nulla perché resta, comunque, sempre disponibile l’accesso a Telecom Italia.

L’entusiasmo del mercato preoccupa Telecom Italia, che reagisce inseguendo i nuovi operatori sul terreno minato delle riduzioni tariffarie.

A prima vista sembrerebbe ragionevole considerare altamente positivo un processo di tal genere, ma in realtà in brevissimo tempo la situazione che si viene a creare presenta le seguenti caratteristiche non tutte favorevoli alla gran massa dei potenziali utilizzatori:

- molteplicità delle offerte;
- molteplicità delle promozioni;
- tariffe per rete fissa, per rete mobile, per fisso-mobile incrociati, per Internet, per “tutto compreso”, per molteplici fasce orarie, per giorni feriali o festivi, per numerazioni preferenziali, ecc.;

- offerte spesso di breve durata o a scadenza ravvicinata;
- cambiamenti/aggiornamenti/arricchimenti continui;
- ecc.

In pratica il cliente, trovandosi all'improvviso e impreparato di fronte a svariate decine di offerte, non è più in grado né di seguire e, spesso, nemmeno di capire, le proposte che si susseguono e si modificano rapidamente: l'organo di garanzia, l'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni (AGCOM), cui compete l'emanazione delle "Regole", il controllo della loro applicazione, la tutela dei diritti di tutti e la trasparenza, istituito con Legge 249 del 31 luglio 1997, non ha ancora raggiunto la pienezza operativa e, mancando in questa fase riferimenti certi, ciascun operatore interpreta liberamente il proprio ruolo.

È la fase iniziale del cambiamento in atto, la fase di start up, fase, se vogliamo, naturalmente turbolenta, che si è poi via, via andata assestando, talché oggi è possibile fare un punto abbastanza preciso della situazione, almeno per i gestori più rappresentativi.

### *Wind*

L'azienda è profondamente e ripetutamente cambiata dalla nascita. Alla nascita gli azionisti fondatori erano: ENEL, Deutsche Telekom e France Telecom. Usciti progressivamente Deutsche Telekom prima e France Telecom nel 2003, acquisita Infostrada nel 2001, nel 2005 ENEL, rimasto azionista unico, cede la Società, per 12,5 miliardi di euro, a Naguib Sawiris.

Sawiris, Presidente e maggiore azionista della Società ORASCOM Telecom, gestore di telefonia fissa e mobile, leader nei paesi del Mediterraneo, ha il progetto di trasformare Wind in un polo *hub* internazionale per il traffico tra Europa, Asia e Africa.

A fine 2009 Wind è il secondo gestore delle telecomunicazioni italiane, con 18,4 milioni di clienti nella telefonia mobile, 2,83 milioni di clienti su rete fissa (2,04 milioni in accesso diretto – *unbundling*), 1,9 milioni di clienti Internet (1,64 milioni *broadband*).

Dal momento del trasferimento in mani straniera l'azienda gode anche di un più che soddisfacente risultato economico.

### *Omnitel Pronto Italia – Vodafone Italia*

L'azienda (controllata da Olivetti e partecipata da Mannesmann) inizia ad operare sul territorio nazionale il 7 dicembre 1995: a fine '98 risulta essere il secondo gestore mobile europeo. Nel 1999, Olivetti, a seguito dell'acquisizione di Telecom Italia, conformemente a quanto previsto dalle norme sulla concorrenza, cede le sue quote di partecipazione azionaria in Omnitel e Infostrada, a Mannesmann. A sua volta Mannesmann nel 2001, a seguito di *takeover* ostile, cede il settore delle telecomunicazioni a Vodafone e così Omnitel cambia nome: prima Omnitel – Vodafone (2001), poi Vodafone – Omnitel (2002) e infine l'attuale *brand*, **Vodafone Italia**, dal 2003.

A partire dall'ottobre 2007 Vodafone lancia sul mercato italiano “*Vodafone Casa*” un'opzione che consente al cliente di avere Vodafone come gestore anche per il numero fisso, che può essere un nuovo numero fisso Vodafone o un numero fisso di Telecom Italia.

A giugno 2009 Vodafone Italia conta un numero di clienti (USIM attive) pari a 29,42 milioni, pari ad una quota di mercato del 34% per quanto attiene alla telefonia mobile e 600.000 clienti *Vodafone Casa*.

Le performance economiche sono ampiamente positive.

### *Fastweb*

Fastweb nasce nel 1999 da una *joint venture* tra e.Biscom e la *multiutility* comunale milanese AEM, con l'obiettivo di realizzare una rete in fibra ottica su tutta l'area del Comune di Milano. Quotata in borsa dal marzo 2000, dal 2003 la società entra a far parte dell'indice S&P Mib che raggruppa le 40 maggiori società italiane per capitalizzazione.

Il 22 marzo 2007 la compagnia telefonica Svizzera Swisscom lancia un'OPA amichevole sulla totalità delle azioni Fastweb al prezzo di 47 euro cadauna, portando la valorizzazione della società a 3,7 miliardi di euro. Il 15 maggio 2007 l'OPA si chiude con l'acquisizione dell'82% dei titoli oggetto dell'offerta.

La situazione attuale può essere così sintetizzata:

- i lavori per la posa di cavi in fibra ottica destinata all'utenza residenziale (FTTH Fiber To The Home) sono sospesi e il raggiungimento di questo tipo di clientela, nelle zone non già raggiunte dalla fibra ottica, verrà realizzato con connessioni ADSL su doppiini Telecom e tale scelta è stata estesa a tutto il territorio nazionale. L'accesso alla rete per la clientela privata può quindi avvenire tramite tre diverse piattaforme: FTTH, là dove è disponibile la fibra ottica; ADSL in ULL, per clienti attestati a centrali allacciate alla rete Fastweb; ADSL, in *wholesale* di Telecom Italia, per clienti attestati su centrali senza allacciamento diretto alla rete Fastweb;
- i clienti Fastweb a fine 2009 ammontano a 1,7 milioni di cui 250.000 utilizzano il servizio Fastweb Mobile: il servizio è stato lanciato nel giugno 2008, grazie all'accordo con “3 Italia” del marzo dello stesso anno;
- i dati economici e finanziari della società sono soddisfacenti ed in costante sviluppo: il business della Società non sembra avere risentito dell'indagine in corso da parte della Procura di Roma in merito alla nota vicenda di false fatturazioni.

### *Albacom – BT Italia*

Albacom SpA nasce nel settembre 1995 da un accordo BT (British Telecommunications) e BNL (Banca Nazionale del Lavoro).

Gli azionisti rapidamente aumentano con l'ingresso di MEDIASET (maggio 1996) e di ENI (dicembre 1997).

Il 4 febbraio 2005 BT acquisisce il completo controllo dell'azienda che assume il nome di BT Italia. BT Italia è, dopo Telecom Italia, il principale fornitore di servizi e soluzioni di comunicazione interamente dedicato alle imprese e alla pubblica amministrazione: conta attualmente su un portafoglio di oltre 250.000 aziende clienti.

Gli aspetti economico-finanziari-gestionali dell'azienda presentano attualmente alcuni aspetti di incertezza.

I quattro nuovi gestori delle telecomunicazioni italiane di cui sono stati forniti alcuni cenni storici ed evolutivi dei primi 10 – 15 anni di vita, non rappresentano certo l'intero universo dei nuovi operatori dopo la liberalizzazione, ma sono certamente quattro esempi significativi, sia per dimensione, sia per capacità finanziaria, sia per visione strategica, per svolgere alcune riflessioni idonee ad arrivare alle considerazioni conclusive che il tema del presente capitolo richiede: il ruolo dei gestori delle telecomunicazioni italiane, i nuovi gestori ed il gestore storico, Telecom Italia.

## Le telecomunicazioni italiane nel 2010

“Telecomunicazioni italiane”? Questo titolo presenta una curiosa improprietà o, meglio, una contraddizione, almeno nei termini: non è infatti curioso che se noi parliamo delle telecomunicazioni dei maggiori Paesi Europei, Germania, Inghilterra, Francia, Spagna e molti altri ancora, queste siano controllate, finanziate, gestite, sviluppate da operatori nazionali, mentre il quadro strategico, finanziario e operativo delle telecomunicazioni italiane è un quadro quanto meno internazionale, per non dire straniero?

Obbiettare che anche in Italia c'è Telecom Italia è un esercizio di patetico patriottismo, per non dire di mistificazione della realtà. A nessun osservatore sfugge, infatti, che l'azionista di maggioranza di Telecom Italia (42,179 % della compagine Telco) è, oggi, Telefonica de España. Ed allora capitali e strategie relative alle Telecomunicazioni, anzi all'ICT, del Paese Italia, appartengono ad investitori che vengono da altri Paesi: Spagna, Inghilterra, Egitto, Svizzera, Russia...

Eppure il Business dell'ICT è il terzo Business del pianeta per dimensione (dopo Alimentazione ed Energia) e il primo per tasso di crescita e, come già ricordato, viene, da tutti i Governi dei Paesi industrializzati, giudicato come il più strategico per la ripresa e lo sviluppo dell'economia, particolarmente nell'attuale fase congiunturale. L'investitore straniero, correttamente, ha una ben precisa focalizzazione sugli aspetti economici, remunerativi, del Business sul quale impegna il proprio capitale e di cui affronta i rischi correlati: non ha alcun motivo di esaminare e preoccuparsi degli aspetti strategici di sviluppo equilibrato di tutte le aree di un Paese.

Il *Digital Divide* non è certo un suo problema! Potrebbe essere questa una delle cause della arretratezza dell'Italia, quando si fanno i confronti con gli altri Paesi sviluppati, nel mondo della *Broad Band*, nell'uso di Internet, nella diffusione

del PC, della fibra ottica, dei miserevoli livelli degli investimenti, oltre alla totale assenza dello Stato nello specifico settore?

Recentemente la Finlandia ha promulgato una legge che definisce “servizio universale” l’accesso alla *Broad Band*, equiparandolo, per priorità e livello di costo, a quello dell’acqua potabile. E il Giappone? Il Giappone detiene il primato mondiale della copertura del territorio e della velocità media di connessione per la larga banda: è il Paese che ha realizzato l’intervento pubblico più imponente al mondo per la diffusione della larga banda investendo nel solo anno 2009, decine di miliardi di USD per l’**accelerazione dei programmi**.

Le considerazioni sovramenzionate circa la massiccia presenza di investitori stranieri in Italia nel campo delle Telecomunicazioni non vogliono essere critiche per nostalgie di monopoli del passato o peggio per patetiche vocazioni autarchiche, anzi, ben vengano gli investimenti stranieri nel nostro Paese e non solo in questo settore, ma non si può non denunciare la totale assenza di una “**Strategia Paese**” in un settore, per l’appunto strategico, come quello dell’ICT.

Oggi, dopo 70 anni di monopolio con forte presenza della mano pubblica e circa 15 di liberalizzazione, è possibile svolgere alcune considerazioni obiettive sul ruolo svolto dai gestori delle telecomunicazioni nella loro oramai quasi secolare storia.

L’anno 1997, punto di arrivo dell’epoca che ha visto la costante presenza della mano pubblica nel settore delle telecomunicazioni e punto di partenza della privatizzazione, fornisce un riferimento temporale estremamente significativo, anche perché, e non solo per l’Italia, le telecomunicazioni, intese come telefonia, diventano una delle componenti di un più vasto aggregato, l’ICT, il cui dirompente e velocissimo sviluppo modificherà molti schemi consolidati da decenni.

Nel 1997 le telecomunicazioni italiane sono: per la rete fissa, “Telecom Italia”, per la rete mobile, Tim (scorporata e controllata da Telecom Italia) e Omnitel Pronto Italia (Olivetti-Mannesmann). I dati peculiari di queste realtà sono:

### *Telecom Italia:*

- opera in regime di monopolio per la rete fissa;
- come ricordato più sopra, è il quarto gestore Europeo e il sesto a livello mondiale;
- detiene partecipazioni strategiche in numerosi gestori di altrettanti Paesi;
- ha portato l’Italia, con il completamento del “Piano Europa”, al livello degli altri grandi Paesi europei, sia per densità telefonica che per potenziamento ed ammodernamento della rete;
- investe circa 7 miliardi di euro;
- i ricavi ammontano a 22,1 miliardi di euro;
- l’indebitamento finanziario netto è pari a 7,8 miliardi di euro, pari al 35% dei ricavi;
- le tariffe sono più alte della media delle tariffe dei Paesi con cui si può confrontare l’Italia;
- organizzazione e caratteristiche delle risorse umane sono scarsamente adeguate al futuro che avanza.



Figura 12. Il 14 luglio 1995 nasce Tim-Telecom Italia Mobile (da Archivio Storico Telecom Italia).

### Tim:

- regime di duopolio con Omnitel Pronto Italia;
- fatturato pari a 4,8 miliardi di euro e utile di 800 milioni di euro;
- 9,2 milioni di clienti;
- indebitamento praticamente nullo;
- organizzazione, dimensionamento e caratteristiche delle risorse umane adeguati alla competizione già in atto;
- azienda di grande successo, nata da appena due anni (Fig. 12).

### Omnitel Pronto Italia:

- regime di duopolio con Tim;
  - fatturato pari a 940 milioni di euro e perdita di 140 milioni di euro;
  - 2,5 milioni di clienti;
  - organizzazione, dimensionamento e caratteristiche delle risorse umane adeguati alla competizione già in atto;
- azienda di grande successo: nel 2008 (con il *brand* Vodafone Italia) sarà infatti il secondo gestore europeo di telefonia mobile.

La condizione delle telecomunicazioni italiane che la gestione del monopolio pubblico-privato, nel 1997, lascia alla libera concorrenza, è soddisfacente e sotto alcuni aspetti di elevato profilo. Una componente che ha contribuito in modo determinante al raggiungimento di questo risultato è certamente da ascrivere ai regimi tariffari che hanno supportato il settore in esame: le tariffe in Italia sono state sempre posizionate, nel confronto con quelle di altri Paesi, in una fascia piuttosto alta e questo ha reso disponibili risorse adeguate agli investimenti e allo sviluppo.

Quello che succede dopo la liberalizzazione del settore va considerato sotto due profili: quello dei nuovi operatori e quello dell'ex monopolista.

Come è già stato detto, i nuovi operatori operano con logica mirata esclusivamente ad acquisire quote di mercato, un mercato che, per dimensione, è il terzo mercato europeo: questa osservazione vuole sottolineare che i nuovi operatori non hanno alcuna visione strategica del settore in chiave nazionale, non hanno strategie di lungo termine, non hanno una visione internazionale incentrata sull'Italia. D'altro canto come potrebbero affrontare un simile approccio senza disporre dell'apparato impiantistico, indispensabile, che è (e non potrebbe essere diversamente se non altro per l'imponenza dei correlati

investimenti) proprietà esclusiva e non replicabile di un ex monopolista: la rete di accesso?

Ed allora è, o meglio sarebbe, o più esattamente dovrebbe essere, Telecom Italia il protagonista ed interprete naturale del ruolo strategico del settore per il Paese Italia e della valorizzazione degli *asset* che detiene in quanto “pagati” dai cittadini italiani. E non sembri questa una retorica populista legata ad archetipi storicamente superati.

Il problema sta a monte: l’assalto alla “diligenza Telecom Italia” che avviene immediatamente a valle della liberalizzazione del settore delle telecomunicazioni è figlio naturale di una incomprensibile indifferenza nei confronti di un “Asset Paese” altamente strategico, della Legge di privatizzazione e della sua inadeguatezza nella fase di approntamento e promulgazione, ed infine, dell’ignavia con cui lo Stato l’ha interpretata nel periodo in cui deteneva il 3,5% del capitale e soprattutto la *Golden Share*.

L’OPA di Olivetti acquisisce il 51% del capitale di Telecom Italia, ivi compreso il ben noto “nocciolo duro”, che nell’occasione sarebbe stato meglio definire “nocciolo molle”. E la *Golden Share*? Quale azione ha svolto? Quando mai si è vista l’assenza di qualsivoglia resistenza nei confronti di un’OPA ostile tanto debole e risicata, da parte di un nocciolo per di più “duro”, su un’azienda strategica di questo tipo?

Risultato: in due anni Telecom Italia non esprime alcuna strategia, avvia la vendita di una serie di *asset*, abbandona ogni competizione internazionale e cresce in una sola voce: l’**indebitamento** finanziario netto, che passa da 7,8 a 27 miliardi di euro.

Da Olivetti a Pirelli: il percorso per l’acquisizione del controllo della Società è formalmente diverso, ma il risultato finale, dopo sei anni di gestione, non cambia: impoverimento, cessione di *asset* strategici, riduzione del personale, OPA su Tim, di cui Telecom deteneva il 62% delle azioni, costosissima e incomprensibile per tutti i mercati finanziari e per tutti gli specialisti di settore.

Risultato: l’**INDEBITAMENTO** finanziario netto cresce fino a 40 miliardi di euro, nel 2005, per scendere a circa 37 miliardi a fine gestione Pirelli.

Da Pirelli a Telco: la nuova cordata che assume il controllo di Telecom Italia con il 22,447% della quota azionaria è composta da Mediobanca, Assicurazioni Generali, Intesa Sanpaolo, Sintonia e Telefonica de España. L’ingresso di Telefonica de España nella compagine Telco con il 46,179% della quota azionaria è evidentemente un fatto strategico.

L’**INDEBITAMENTO** finanziario netto a fine 2009 mostra una modesta riduzione a 34,7 miliardi di euro.

Tuttavia l’elevato valore dell’indebitamento non è l’unico aspetto che rende pesante la situazione dell’azienda Telecom Italia. Gli aspetti problematici sono molteplici:

- assenza di una strategia che tenga conto degli interessi del Paese;
- insufficienza degli investimenti;

- azionista di riferimento straniero;
- riduzione e impoverimento degli *asset*;
- livello di indebitamento elevato.

A valle degli elementi emersi in questo breve excursus non si può fare a meno di riservare un commento al ruolo dell'imprenditoria italiana in questo decennio. Con la privatizzazione e la liberalizzazione delle telecomunicazioni nasceva nel Paese un'opportunità di Business straordinaria: gli imprenditori / investitori stranieri si sono catapultati nel "Bel Paese" (bello veramente per loro!) mentre i loro colleghi italiani si sono catapultati, con la logica del "mordi e fuggi", sulla "diligenza Telecom Italia". I risultati sono sotto gli occhi di tutti, ma non se ne parla molto.

Quali le conclusioni?

Questo capitolo è inserito in un libro che vuole essere e, per quanto possibile è, un "libro di storia" e pertanto, coerentemente con l'impostazione generale, si limita a richiamare alcuni fatti, episodi, documenti e numeri ampiamente noti, al massimo correlandoli tra di loro e proponendone alcune prospettive non proprio largamente utilizzate e tanto meno diffuse, non è del tutto chiaro se per scelta o indifferenza.

Il capitolo non vuole pertanto esprimere né una valutazione, né una critica, ma solo dei dati: nel merito, giudichi il lettore.

Non vi sono pertanto né conclusioni né tanto meno previsioni.

Un dubbio può tuttavia attraversare la mente, almeno quella delle persone non addette ai lavori: "che fosse meglio quando si pensava fosse peggio?"

## Introduzione

Non c'è dubbio che l'avvento dei "telefonini" è stata la più grande rivoluzione nel settore delle telecomunicazioni degli ultimi decenni assieme all'avvento di Internet. Alla base di ambedue le rivoluzioni vi è l'impressionante sviluppo della tecnologia microelettronica che ha consentito di realizzare funzioni prima impensabili. Tuttavia mentre Internet è un fenomeno nato al di fuori del mondo delle telecomunicazioni tradizionali e con il suo sviluppo ha dato una spallata dall'esterno al suo smantellamento, lo sviluppo dei telefonini, rappresentato soprattutto in Europa dall'impresa GSM, è il prodotto di quello stesso mondo, ma la spinta al cambiamento che ha prodotto, in questo caso dall'interno, non è stata di minor importanza ed ha cominciato a produrre effetti ancor prima. Le conseguenze sono state da un lato la rottura dello schema monopolistico, con l'inizio di una vera concorrenza tra gestori pubblici e privati, e dall'altro l'innescò di un processo di sviluppo tecnologico con tempi molto più rapidi rispetto al passato, il che ha costretto a ragionare in modo del tutto nuovo. Si ricordi che l'attuale volume di vendita di terminali nel mondo è dell'ordine di un miliardo di unità all'anno, quando venticinque anni fa probabilmente non superava complessivamente il milione, cioè almeno tre ordini di grandezza in meno. Le reti che nel mondo supportano il traffico cellulare rappresentano investimenti di parecchie centinaia di miliardi di euro. Per la gran parte questi investimenti sono stati messi sul campo nel tempo di pochi lustri. Anche questo è un indice di velocità nell'aggreire le masse che non ha eguali con alcun altro campo delle telecomunicazioni. Il termine correntemente usato per descrivere la realizzazione di una rete cellulare è "roll-out", come fosse un tappeto che viene rapidamente srotolato per coprire il terreno. Tutto questo ha compresso violentemente i tempi degli sviluppi tecnologici, e non sempre ha determinato delle strategie da considerarsi ottimizzate, ma le capacità tecnologiche hanno superato tutte le disottimizzazioni. Basta pensare che un terminale d'utente, al giorno d'oggi, è tipicamente "plurimodale". Può contenere anche tre "anime" tecnologiche differenti, e tre differenti bande radio di funzionamento. Per non parlare delle possibilità di collegamenti *wireless* ausiliari, come Bluetooth e Wi-Fi, che sono ormai considerati funzionalità accessorie normali.

Il mondo della comunicazione mobile è stato dunque una *killer application*, ma ciò non si è compreso immediatamente. Non soltanto perché a lungo lo svi-

luppo del settore è stato sottostimato, ma soprattutto perché la dimensione vera del fenomeno è emersa strada facendo. Si è usato precedentemente il termine telefonino che, pur essendo popolare e non tecnico, ne dà una miglior descrizione. I termini inizialmente usati tra gli addetti ai lavori come autotelefono, sistema radiomobile, telefono cellulare ecc. dimostrano che inizialmente non si era compreso che la vera innovazione stava nell'identificare il terminale con la persona e che naturalmente per fare ciò bisognava disporre di un sistema in grado di inseguire l'individuo dovunque esso potesse collocarsi, in casa come in ufficio, in auto come a passeggio, al lavoro come in vacanza, oltre che, naturalmente, di telefoni di ridotte dimensioni e grande autonomia. Le prestazioni di mobilità diventavano dunque non l'obiettivo ma il mezzo perché si potesse dispiegare questa nuova modalità di comunicazione dallo straordinario impatto sociale. Il servizio diventava potenzialmente un "moltiplicatore personale". Cioè, qualcosa che moltiplicava in maniera pervasiva le opportunità di comunicazione che sono una esigenza naturale di ogni individuo. Altri prodotti ben noti, ciascuno in una sua specifica dimensione, rappresentano un "moltiplicatore personale". In questo il cellulare ha la stessa natura dell'automobile e delle macchine fotografiche e videocamere. Hanno tutti la stessa funzione "moltiplicativa", e tutti sono una *killer application* intendendo con questa definizione che la loro penetrazione "limite" è il 100% della popolazione. Non è un caso che l'attuale telefonino si sia già impadronito oltre che della dimensione della socializzazione, anche di quella temporale, mentre con la sua pervasività sul territorio integra la dimensione sociale e quella spaziale. Questa integrazione non era possibile con la telefonia tradizionale. In questo senso il telefono personale, come possiamo chiamare alla fine questa tecnologia, diventa lo strumento tecnico principe di quella modalità di comunicazione che prevede che le informazioni siano prodotte dagli stessi individui che le scambiano e che attraverso tale processo si mantengano reti sociali, organizzative, famigliari ecc. È appena il caso di accennare che questa modalità di comunicazione si contrappone a quella "televisiva" dove invece la comunicazione avviene a senso unico e la produzione e la fruizione sono due momenti totalmente distinti.

Se dunque il telefono personale non è dal punto di vista sociale il telefono di prima con il filo tagliato, ciò non è vero nemmeno dal punto di vista tecnico. Una prestazione di mobilità locale si può ottenere semplicemente con una tecnologia radio, ma se il servizio deve essere garantito in un territorio vasto, al limite l'intero globo, con corrispondenti che si muovono anche con velocità di centinaia di km all'ora, che sono distribuiti in modo aleatorio, con abitudini e richieste di servizi diversificate, si può comprendere come ciò richieda una nuova architettura di rete specializzata. In effetti una rete GSM è il primo esempio di rete moderna, che poi è diventato paradigma per reti future. Ancora oggi, di fronte all'avvento di nuovi standard *wireless*, Wi-Fi o Wi Max, persiste l'equivoco che si possa ottenere una prestazione simile a quella dei sistemi cellulari, semplicemente agendo sulla parte radio. La telefonia personale si è sviluppata come rete totalmente autonoma da quella fissa e non come appendice *wireless* di quella. Dove ciò non è stato ben capito, ad esempio negli USA, lo sviluppo è stato rallentato. Qui di seguito ecco alcuni dei problemi che devono essere risolti e che non erano parte del mondo della telefonia fissa.

L'utente si aggancia alla rete non da un punto prestabilito fisso ma dovunque. Nascono problemi di validazione degli accessi, tassazione, indirizzamento di una chiamata verso mobile, localizzazione del mobile in tutta l'area di servizio, che è una nazione, un continente ecc. Le varie reti mobili devono essere interoperabili fra loro: un qualunque terminale venduto ad esempio in Italia deve potersi agganciare ad una qualunque rete, in Germania come in Cina. Gli utenti sono statisticamente dislocati, ma la loro collocazione e comportamento può variare nel tempo a seguito di eventi particolari: ingorghi di traffico, emergenze ecc. La collocazione delle risorse, in particolare quelle radio che sono intrinsecamente scarse, diventa dunque un elemento critico della progettazione e della gestione. Deve inoltre essere necessariamente presente una funzione automatica di commutazione del collegamento mobile fra celle adiacenti: è la funzione che più caratterizza le reti cellulari rispetto alle reti radiomobili generiche. L'accesso alla rete dell'utente mobile avviene infatti attraverso una porta radio, la stazione radiobase, che copre una porzione limitata del territorio, la cella: un utente in mobilità deve essere seguito da più porte radio durante una comunicazione e la procedura necessaria, detta *handover*, diventa sempre più critica quando la cella è di ridotte dimensioni, ovvero, per motivi tecnici, proprio dove c'è molto traffico. Non c'è dunque da meravigliarsi se gli addetti ai lavori della telefonia cellulare hanno sviluppato una cultura differenziata da quella di chi proviene dalla rete fissa e ciò si manifesta sia in discussioni tecniche che in problematiche tariffarie. Politica delle tariffe, sovvenzioni sui terminali, strutturazione e segmentazione del mercato, come ogni aspetto di tipo commerciale sono divenute, in questo mondo, un tutto omogeneo con le opportunità offerte dalla tecnologia. Si vedrà come lo sviluppo è stato più rapido laddove si è meglio trovata la giusta combinazione tra tutti questi fattori.

Tutte queste premesse aiutano a comprendere come il settore di cui qui si racconta la storia abbia avuto un suo sviluppo all'interno di una sfera autonoma che, pur interagendo continuamente con il più vasto mondo esterno delle telecomunicazioni, ha a lungo gelosamente salvaguardato i confini, anche se la tendenza generale, tuttora in atto, porta verso una integrazione totale di comunicazioni fisse e mobili, dati e voce, telefonia e Internet ecc. ecc. L'Italia ha avuto un successo particolare in questa evoluzione. Da circa seimila utenti complessivi nel 1985 a circa sessanta milioni nel 2005 (Fig. 1): **QUATTRO DECADI IN QUATTRO LUSTRI!**



Figura 1. La crescita dell'utenza radiomobile in Italia: 4 decenni in 4 lustri!

Questa introduzione inoltre chiarisce come l'obiettivo di questa relazione sia ristretto al mondo della comunicazione pubblica – si esclude quindi l'interessante settore delle comunicazioni tra gruppi chiusi di utenti per le emergenze, la sanità, la manutenzione ecc. – in cui l'accesso viene ottenuto attraverso stazioni radiobase terrestri – non si parlerà quindi delle comunicazioni mobili via satellite che, seppure utili per applicazioni di nicchia sono fuori dal grande contesto di sviluppo del “telefonino”.

## Dai primordi alla prima generazione analogica

### La preistoria: servizi di “supernicchia” e standard nazionali

La preistoria inizia con i primi sistemi radiomobili caratterizzati da un totale automatismo delle funzioni. In altre parole erano automatici sia nell'accesso alle risorse radio, sia nella gestione dell'interfaccia con la rete telefonica. A partire dagli anni '70 entrarono in servizio in vari paesi sistemi radiomobili pubblici di questo tipo, di limitata capacità, visto il tipo di utenza alla quale si rivolgevano. Operavano tipicamente nella banda VHF. Ve n'erano in molte nazioni, ma i più avanzati erano tre, negli USA (IMTS), in Germania (B-Netz) ed in Italia

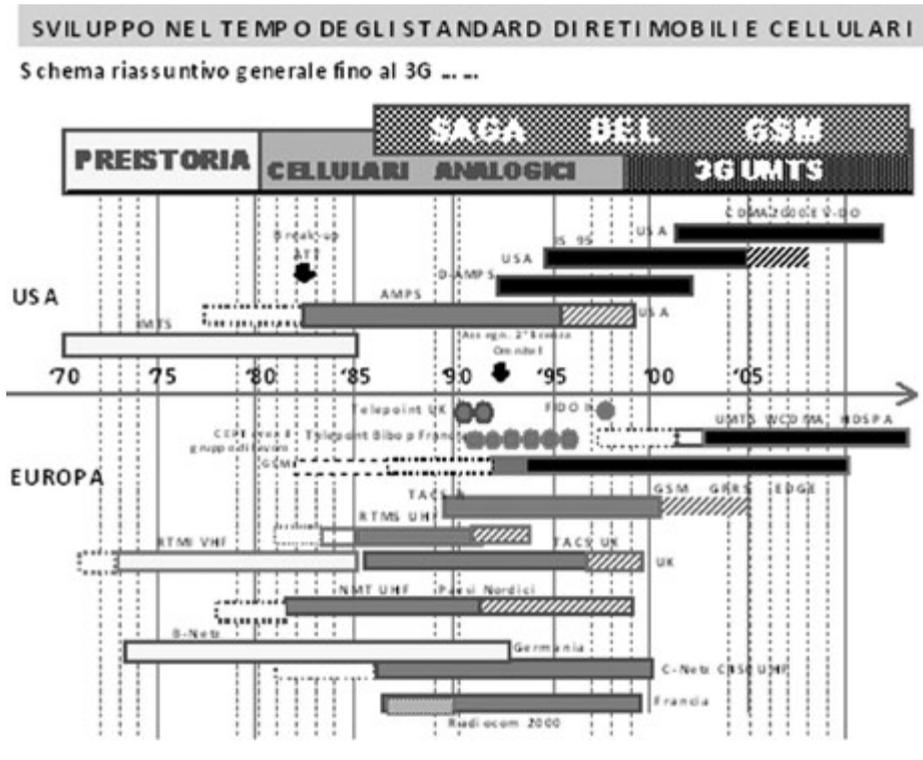


Figura 2. I primissimi servizi radiomobili automatici nel quadro generale degli sviluppi dei sistemi cellulari.

(RTMI)<sup>1</sup>. In un quadro schematico generale nel tempo, il loro ciclo di vita si può ritrovare nella Figura 2 che riproduce l'intera storia di tutti gli standard e di tutte le generazioni.

Il servizio RTMI in Italia (1973-1985) utilizzava una rete di piccola capacità operante nella banda VHF. Era coevo, ed equivalente come prestazioni, degli altri due sistemi indicati nella Figura 2 per gli USA e la Germania. La rete RTMI fu sviluppata da Italtel per SIP. Era particolarmente avanzata per quel tempo perché gestiva in maniera automatica le chiamate in ambedue i sensi. Per le chiamate verso mobile utilizzava un sistema brevettato denominato come “incontro in linea”. È interessante notare che questa prestazione non poté essere concretamente utilizzata per problemi allora non risolti di Convenzione fra SIP ed il Ministero delle Poste e Telecomunicazioni. Per le chiamate a mobile venne sempre interposta l'operatrice.

### *La fase storica: i sistemi cellulari analogici di prima generazione*

*La definizione dei principi generali delle reti cellulari.* La definizione dei principi generali delle reti cellulari fu annunciata dal Bell System, cioè dalla AT&T (American Telegraph & Telephone) negli anni '70. Però solo negli anni '80, molto tempo dopo, su questa base il Bell System (insieme a Motorola) definì poi gli standard del sistema detto AMPS (Advanced Mobile Phone System) americano.

Il sistema NMT (Nordic Mobile Telephone) dei Paesi Nordici fu sviluppato quasi contemporaneamente da un consorzio dei PTT dei paesi nordici con la leadership di Televerket, il PTT svedese. Data la integrazione economica dell'area scandinava, fu il primo sistema con *roaming* internazionale, ovvero con la capacità da parte di un utente di avere servizio in un'area sovranazionale. L'avvio di questo sistema, definito e promosso dagli operatori nordici, costituì una grande opportunità per la Ericsson svedese, che allora era sostanzialmente una società di rete fissa e di commutazione. Ericsson ebbe in particolare la opportunità e la fortuna di sviluppare i nodi di commutazione mobile sulla sua nuovissima piattaforma di commutazione, garantendosi così competitività tecnologica per lungo tempo. Ericsson si riorientò anche decisamente verso le radiocomunicazioni, acquisendo una società svedese specializzata, SRA (Svenska Radio ab), che rimase una società separata del gruppo col nome ERA, Ericsson Radio Systems<sup>2</sup>.

Negli USA invece lo sviluppo del sistema fu condizionato dalle vicende “epocali” dello smantellamento del sistema AT&T (alla quale appartenevano i laboratori del Bell System), nel 1982. In questo periodo fu realizzato un sistema AMPS sperimentale a Dallas, Texas. È interessante sottolineare, come curiosità al riguardo di questo esperimento, che proprio in applicazione dei principi di rottura del monopolio di AT&T, i terminali di questo sistema sperimentale non poterono essere forniti dalla AT&T stessa. In questa prima rete, la giapponese OKI si assicurò il contratto di fornitura dei terminali. Fu il primo ingresso di

<sup>1</sup> Turco e Fedele 2008.

<sup>2</sup> Meurling e Jeans 2000.

non-americani nelle forniture di apparati di telecomunicazioni negli USA. Gli sviluppi successivi del sistema AMPS non furono particolarmente accelerati. Una delle cause di rallentamento risale alla problematica politica legata alla necessità di liberare una nuova banda (quella dei 900 MHz). Dovettero essere superate notevoli resistenze da parte degli assegnatari di allora. Si trattava di *public utilities* che utilizzavano la banda per collegamenti punto-punto, a supporto delle loro reti di comunicazioni di servizio e di teleallarmi. Minacciavano ogni genere di potenziali disastri alle dighe e ad altre installazioni se questi loro collegamenti venissero pregiudicati forzando altri impieghi. Oltre a queste difficoltà, ci fu la defezione iniziale della AT&T stessa. Aveva definito i principi dei sistemi cellulari, ma, probabilmente anche condizionata dai problemi regolatori conseguenti al frazionamento della sua struttura monolitica, imposto da quel governo, si dimostrò meno lungimirante nel mercato che nelle visioni tecnologiche. Ad un certo punto il suo management arrivò infatti alla decisione che non c'erano adeguate opportunità di mercato, e lasciò il campo ad altri. È noto lo studio commissionato da AT&T alla società di consulenza McKinsey, dove si concludeva che la previsione per l'intero mercato mondiale di utenti radiomobili alla fine del secolo era di 900.000 unità. Sbagliando di più di tre ordini di grandezza(!).

Tutto l'opposto successe per il sistema Nordico NMT. Di fatto, per le vaste aree poco abitate dei paesi nordici, un sistema radio, con la sua bassa densità di investimento in infrastrutture, era potenzialmente l'unico sistema di comunicazione proponibile. NMT si sviluppò velocemente anche per questo.

**Il sistema cellulare analogico italiano.** Il sistema italiano denominato RTMS (1985-1990), fu proposto da Italtel e definito in collaborazione con l'operatore telefonico SIP nel 1983<sup>3</sup>. Questo sistema aveva tutte le prerogative di un sistema cellulare. Forniva sia la localizzazione dinamica sul territorio nazionale, sia l'*handover*. Alla gestione dinamica dei processi di *handover* era dedicato un sottosistema specifico nell'ambito dei nodi di commutazione mobile. L'informazione sulla localizzazione dinamica di tutti gli utenti nazionali era disponibile presso ognuno degli otto nodi di commutazione mobile presenti sul territorio. L'aggiornamento veniva diffuso automaticamente tramite una rete dati dedicata ed a doppia via, ogni volta che un mobile si registrava in una zona diversa da quella della sua registrazione precedente. In questo modo ogni nodo di rete mobile disponeva di tutte le informazioni aggiornate per reinstradare le chiamate verso il mobile dalla propria zona a quella dove il mobile effettivamente si trovava in quel momento. Per la protezione contro gli ascolti indesiderati il sistema RTMS impiegava semplicemente l'inversione di banda audio. La rete si sviluppò, prima lentamente e poi sempre più velocemente. Arrivò a contare circa 800 siti e 100.000 utenti.

Sia il sistema NMT che lo RTMS quanto a densità di utenza si svilupparono soprattutto nelle grandi città (Stoccolma e subito dopo Roma e Milano). Per Stoccolma fu realizzata per la prima volta nel mondo una struttura di copertura

<sup>3</sup> Turco e Fedele 2008.

a celle piccole. Fu usata una tecnica a tre anelli di celle concentriche nelle quali il riuso di frequenza era facilitato dalla direttività delle antenne usate nelle celle degli anelli. La stessa tecnica di copertura fu usata immediatamente dopo per Milano e Roma nel '88/'89.

*Il sistema NMT verso la telefonia personale.* Il sistema NMT raggiunse livelli record (per allora) di penetrazione nell'utenza. Per questa ragione fu il primo sistema che abbandonò l'impostazione veicolare andando verso quella "personale". Apparvero infatti sul mercato prima apparati d'utente trasportabili, e poi portatili veri e propri. Nokia cominciò ad affacciarsi sul mercato, prima dei terminali e poi delle infrastrutture, per raggiungere nel tempo un primario ruolo di leadership mondiale in questa area delle telecomunicazioni. Spostò il proprio baricentro di business da quello suo originale di società di trattamento del legno e della gomma a quello tecnologico di società di telecomunicazioni.

*Il sistema tedesco C450.* È importante citare qui l'ultimo arrivato fra i sistemi analogici, il Sistema C450 della Germania occidentale (1985-1993). Fu una proposta esclusiva di Siemens. Siemens convinse il Bundespost a non adottare il sistema NMT Nordico in quanto era possibile usare tecniche ben più sofisticate. Il sistema C450 era infatti di gran lunga il più sofisticato tecnologicamente fra i sistemi cellulari analogici. Il segnale modulante era sì analogico, ma composito. Si trattava infatti di una combinazione sofisticata di fonia e segnalazione. La segnalazione, supportata da un modem analogico piuttosto veloce per quei tempi, era localizzata nella parte centrale della banda della fonia. Lo scopo era quello di seguire fedelmente le sorti di qualità della fonia nel collegamento. Il segnale composito era ottenuto digitalizzando la voce, separandola con filtri numerici in due sottobande per ricavare un intervallo centrale, nel quale veniva inserito il canale di segnalazione. In demodulazione la fonia veniva ricomposta con il processo digitale inverso. Un'altra importantissima innovazione del sistema C450 (altrimenti detto "C-Netz") fu l'introduzione della "scheda d'utente" per personalizzare il terminale. Si trattava del primissimo esempio di SIM card, che poi divenne una caratteristica standard di tutti i sistemi numerici del futuro.

*La differenza di impostazione fra i sistemi cellulari americani e quelli europei.* Una differenza sostanziale di impostazione fra i sistemi cellulari americani e quelli europei, che determinò a lungo andare la prevalenza dell'approccio europeo fu nella numerazione e nella tassazione. Nei Sistemi europei le reti radiomobili nacquero come parte integrata della rete telefonica, ma con una identità autonoma e separata. La numerazione adottata utilizzava prefissi che la caratterizzavano come una "nuova area virtuale" estesa a tutto il territorio. Nella tassazione inoltre fu sempre seguita la filosofia delle reti fisse: *Calling Party Pays*, paga chi chiama e chi è chiamato non paga. Negli USA invece le prime reti mobili erano considerate dal quadro regolatorio esistente come una "appendice" locale, come una parte della rete telefonica locale. La numerazione degli utenti faceva quindi parte della normale struttura di numerazione di area della rete fissa. Pertanto non fu previsto il *roaming* fra le reti. L'abbonato mobile era visto come "utilizzatore

esclusivo” della sua appendice di rete mobile, ed il costo per l’uso di questo segmento gli era sempre attribuito, qualsiasi fosse la direzione della chiamata, sia originata che terminata. Quindi gli era attribuito un costo anche in ricezione di chiamata. Questo principio si mantenne negli anni. Il risultato fu che, per non pagare chiamate non volute, gli abbonati tenevano d’abitudine il telefono mobile spento. Questo comportamento indotto ebbe la conseguenza di degradare la funzionalità percepita, ed in particolare di azzerare il “valore di raggiungibilità” connesso con il servizio mobile. Questo valore d’altra parte era già limitato dalla mancanza di un *roaming* nativo. Il *roaming* fra le reti era infatti lasciato ad accordi bilaterali fra operatori. La procedura di autenticazione nella nuova rete comportava di solito la chiamata ad una operatrice con comunicazione del numero della carta di credito per avere l’autorizzazione ad entrare. Tutte queste vischiosità e tutte queste caratteristiche limitative si tradussero in pratica in un importante freno iniziale alla diffusione e popolarità del servizio.

*Il ruolo di SIP e il problema della fiducia sul nuovo servizio.* In quei tempi in tutti i paesi, inclusa l’Italia, le opinioni sulle potenzialità di mercato dei servizi radiomobili non erano affatto concordi. Come sempre nei servizi realmente innovativi, non si poteva fare alcun riferimento statistico a rassicuranti dati “storici”. Ciò poneva in difficoltà gli “esperti di mercato”. Le previsioni non potevano che essere basate su dati di proiezione del tutto soggettivi, e quindi discutibili. Di conseguenza il management degli operatori era lasciato totalmente a sé stesso, ed al suo grado di ottimismo, o pessimismo. Fortunatamente in alcuni paesi esistevano però “nuclei di credenti” nel servizio. Essi si adoperavano in ogni modo per promuoverlo e fare in modo che si realizzassero le reti. Così fu per i Paesi Nordici, l’Inghilterra e l’Italia. Così non fu ad esempio per la Francia. La Germania si aggregò in seguito. In Italia, in SIP, esisteva un gruppo di dirigenti dell’area di “Trasmissione-Ponti Radio” che credeva fermamente nel futuro del radiomobile. Essi trovarono una attiva controparte in un nucleo di progettisti di Italtel. Di fatto “imposero” con le loro iniziative lo sviluppo delle infrastrutture delle reti mobili anche quando permaneva fra alcuni esperti una incertezza sulle prospettive commerciali di questo servizio. In questo modo si poterono consolidare le basi della rete, costruire l’esperienza e creare le premesse per il mantenimento della posizione di leadership. Per questo motivo quando poi si aprì il mercato, la leadership di SIP si mantenne per molto tempo, contrariamente a quanto successe ad altri *incumbent* ad esempio nel Regno Unito e Germania. Inoltre questo gruppo di persone sostenne sempre, nei limiti del possibile, le iniziative di sviluppo e le tecnologie italiane. Questo almeno fino a quando le iniziative tecnologiche italiane non si esaurirono da sole. Da rilevare inoltre che lo sviluppo di adeguate competenze riguardò anche i laboratori di ricerca CSELT che si misero in grado di sostenere la SIP nella ricerca e nella innovazione.

*I contributi delle università e la ricerca.* I sistemi radiomobili erano una novità anche nell’ambiente universitario. Parecchie università, soprattutto nel nord, erano tradizionalmente molto vicine alle problematiche dell’industria delle telecomunicazioni, soprattutto quelle le cui sedi si trovavano nel territorio ove

si trovavano le sedi principali delle industrie di telecomunicazioni e dell'operatore. La focalizzazione prevalente delle attività era tradizionalmente diretta verso le problematiche delle trasmissioni a microonde ed alle trasmissioni via satellite. Erano questi infatti i campi principali di attività delle industrie stesse. Le problematiche dei sistemi radiomobili, pur avendo alcuni aspetti comuni, erano però parecchio diverse. Non esisteva un corpo teorico consolidato, ad esempio sul modello di canale, cui fare riferimento. Lo stesso avveniva per altre questioni come quelle relative ai fenomeni di interferenza, o per le questioni di efficienza geografica nell'uso delle frequenze, tutte caratteristiche dei sistemi cellulari. Non tutte le Università, anche quelle in cui le radici di telecomunicazioni erano molto forti, afferrarono compiutamente e fin dall'inizio le opportunità offerte dal nuovo campo. Proprio perché il campo era poco esplorato, ed era tradizionale territorio di chi si occupava "artigianalmente" delle piccole reti di "comunicazioni radio professionali" (per polizie, pompieri, taxi, ecc.) esso veniva spesso ridotto a "questioni da radioamatore". Una importante eccezione a questo atteggiamento generalizzato fu rappresentata dalla Università di Bologna, e dalla Fondazione Marconi ad essa contigua. Forse proprio per il fatto che la tradizione delle radiocomunicazioni era nata proprio in quel luogo. Sta di fatto che il "polo universitario di Bologna" (che includeva anche la sede della Fondazione Marconi e la sede locale della Fondazione Ugo Bordoni) si dedicò con slancio alle attività in questo campo specifico. Avviò vari tipi di iniziative, sia di ricerca, che di organizzazione di congressi periodici, ecc. Il gruppo fu così in grado di partecipare fattivamente all'attività di ricerca che nell'ambito del COST 207 appoggiò la definizione dello standard GSM. Portò così un importante contributo ed acquisì una posizione di leadership in questo campo, tuttora in parte mantenuta, seppure in un panorama nazionale profondamente mutato perché il tema delle comunicazioni mobili e personali è diventato nel frattempo uno dei più popolari nelle università italiane.

Dopo un periodo iniziale di incertezza anche all'interno delle manifatturiere con sedi importanti in Italia, per prima la Ericsson, si introdussero unità di ricerca e sviluppo nel territorio nazionale. Più in generale sul *wireless* e i terminali si sono registrate nel tempo iniziative anche di Nokia e Motorola, spesso in collaborazione col mondo universitario.

*Il ruolo di leadership del Regno Unito.* Nel Regno Unito la leadership fu assunta dal Governo Inglese tramite il suo Department of Trade and Industry (DTI). Questo Dipartimento intravvide chiaramente le opportunità offerte dal mercato. Si mosse aggressivamente anche nel definire le condizioni per stabilire per la prima volta una effettiva concorrenza fra operatori, abbandonando così il tradizionale principio del monopolio. Assegnò nel 1983 una prima licenza ad un operatore derivante da British Telecom, che assunse la denominazione commerciale di Cellnet, ed una seconda, scegliendo fra cinque concorrenti, ad un raggruppamento del gruppo Racal, che si chiamò Vodafone. Come standard di sistema (erano i tempi della signora Thatcher) invece di favorire iniziative locali, fu scelta pragmaticamente una versione "europeizzata" del sistema AMPS americano. Essa fu denominata TACS (Total Access Communication System).

Funzionava anch'essa nella banda dei 900 MHz. Le due reti entrarono in servizio all'inizio del 1985. Furono definiti i principi della concorrenza fra gli operatori e fra altre entità, create all'uopo, definite *mobile service provider*. Ad esse competeva l'esclusività della vendita degli abbonamenti individuali. I *service provider* acquistavano "all'ingrosso" il traffico dagli operatori. L'innovativa, anche se un poco artificiosa, strutturazione del mercato definita sopra ebbe effettivamente, almeno nel breve termine, il merito di generare una forte accelerazione nello sviluppo sia delle reti che del servizio. Generò anche però alcune "distorsioni" permanenti. Col tempo la struttura stratificata così inventata sparì del tutto ma per riproporsi successivamente, molti anni dopo ed a mercati ben più maturi, con il nome di MVNO (Mobile Virtual Network Operator). È opportuno qualche commento su questi *mobile service provider* perché la loro presenza influenzò profondamente l'evoluzione del mercato dei terminali, e quindi anche gli obiettivi degli sviluppi tecnologici. I *mobile service providers* nel Regno Unito erano le uniche 'entità' alle quali era consentito vendere gli abbonamenti individuali agli utenti. Non possedevano pertanto reti, ma solo i centri di *provisioning* e di tassazione dell'utenza. Il loro obiettivo principale diventava necessariamente far aumentare rapidamente la propria utenza per consumare i *package* di traffico che avevano acquistato all'ingrosso dagli operatori di rete. La tecnica che divenne molto popolare per i *service provider* nel Regno Unito fu quella di finanziare l'espansione dell'utenza promuovendo gli abbonamenti integrandoli con la vendita sottocosto o addirittura "regalando" i terminali ai nuovi abbonati. Dato che la caratteristica specifica delle reti mobili rispetto a quelle tradizionali di telecomunicazioni fisse è che una parte non trascurabile dell'investimento totale sta nel terminale, questa pratica di fatto sgravò di una parte degli investimenti i conti economici degli operatori, e la caricò sulle spalle di queste nuove entità. Esse così finanziarono indirettamente l'espansione. Il risultato netto fu che negli anni le reti crebbero velocemente, ma i *service provider* non riuscirono a rientrare di questi investimenti, e la quasi totalità andò incontro al fallimento, lasciando sul mercato alcune eredità non facilmente cancellabili. Ad esempio, grazie alle tecniche di *packaging* del terminale nell'offerta di abbonamento, la "percezione di valore" del terminale stesso da parte dell'utente fu minimizzata, perché al terminale l'utente non associava mentalmente alcun prezzo significativo. Questa impostazione ebbe un fortissimo impatto sul prezzo dei terminali. Si generò complessivamente una forte pressione al ribasso sui costi dei terminali stessi che si propagò direttamente ai prezzi ottenuti dai costruttori. Fu l'inizio di una rapidissima selezione e riduzione del numero di costruttori di terminali in grado di sopravvivere a questa pressione. Questo fenomeno non successe invece nei paesi, come l'Italia, dove la figura del *service provider* non fu creata. Apparve solo successivamente, e solo in parte. Tuttavia la pressione al ribasso sul costo dei terminali si propagò anche in questo mercato.

*Lo sviluppo in Italia.* In Italia, il sistema RTMS cominciò a svilupparsi velocemente soprattutto nel 1988 e 1989. L'andamento del mercato in questo lasso di tempo (raddoppio dell'utenza nell'ultimo anno) faceva intravedere la necessità urgente di disporre di capacità complessive di rete ben superiori a quelle

garantibili dalla limitata banda UHF (5 MHz per ognuna delle due direzioni) disponibile. Inoltre in SIP si comprese che i campionati mondiali di calcio che si dovevano tenere in Italia nel 1990 sarebbero stati una occasione importante di promozione della nuova tecnologia. Dopo alcune incertezze, derivanti dal fatto che stava procedendo la standardizzazione del sistema digitale paneuropeo GSM, SIP decise di realizzare l'espansione del servizio con la tecnologia TACS, già consolidata in Inghilterra. I possibili fornitori di tecnologia di infrastruttura di rete erano Ericsson e Motorola, ambedue presenti nelle reti del Regno Unito. Motorola fu esclusa perché non era un fornitore accreditato di tecnologia di commutazione. Invece Ericsson era un fornitore tradizionale della rete fissa italiana oltre ad essere un leader in questa tecnologia. Fu dunque negoziata e definita una alleanza fra Ericsson ed Italtel con lo scopo di realizzare la nuova rete TACS<sup>4</sup>. La rete fu realizzata nel 1989 ed il servizio fu puntualmente lanciato in concomitanza ai mondiali di calcio '90. Come atteso, questo aumentò l'effetto di traino pubblicitario, insieme alla disponibilità dei primi terminali portatili cosiddetti "sexy" (il "MicroTac" a conchiglia di Motorola). Dal punto di vista tecnologico le innovazioni principali furono promosse dallo sviluppo rapidissimo della rete. Il progetto della rete e delle sue estensioni, con il relativo *deployment* (cioè la realizzazione) sul campo, diventava un esercizio ripetitivo, frequente (ogni poche settimane), e "di massa", cioè esteso praticamente a tutto il territorio nazionale.

Tutto questo condusse Italtel e SIP (nella fattispecie i laboratori CSELT di Torino) a mettere a punto processi complessi supportati da calcolatore, sia per realizzare le previsioni di copertura radio del servizio, sia per validare le variazioni dei piani di frequenza, sia per pianificare le riconfigurazioni degli apparati. Italtel organizzò la struttura operativa per mettere in pratica queste funzioni, che sempre dovevano essere gestite in una ottica nazionale.

I successi del sistema TACS in Italia proseguirono. Nel frattempo era nata Telecom Italia Mobile (Tim) e una delle prime mosse di mercato della nuova azienda fu l'introduzione della tariffa "family". Si trattava di una tariffa orientata a sfruttare la capacità disponibile della rete nelle ore non di punta dove il traffico business si riduceva invogliando le "famiglie" a comunicare proprio in queste ore. L'idea era simile ad una tariffa analoga (Roet, o "rossa") appena lanciata nella rete svedese di Televerket ma il successo della tariffa "family" in Italia fu straordinario tanto che le ore di punta della rete diventarono proprio quelle della tariffa "family". Da quel momento la rete venne dunque sviluppata dimensionandola sul traffico "family" e non più su quello "business".

*La concorrenza nei terminali e le vicende dei produttori nazionali.* Si sente spesso formulare la domanda sul perché in Italia non si sia sviluppata una industria dei terminali, nonostante il successo clamoroso che la telefonia cellulare ha avuto nel nostro paese. Poiché la terminalistica portatile è nata in Italia col TACS è opportuno affrontare ora questo aspetto. È stato quello infatti il periodo in cui si

<sup>4</sup> Meurling e Jeans 2000.

manifestarono i primi segni dei meccanismi caratteristici che regolano la competizione tecnologica in questo mercato. Questi meccanismi condizionarono l'impostazione e l'esecuzione dei progetti in maniera sempre più accentuata e hanno continuato a determinarli anche nei periodi successivi. Ma prima ecco alcune informazioni sui terminali necessarie per comprendere il seguito.

*La "natura" del terminale.* In termini un po' semplificativi, un terminale è costituito da:

- un "motore",
- da funzioni ausiliarie come interfacce foniche, microfoni, altoparlanti, alimentazione, servizi/funzioni hw e software,
- da un package meccanico (spesso detto *form factor*). È quello che principalmente definisce l'"immagine" del terminale stesso agli occhi del cliente.

Il "motore" di cui sopra è l'insieme di tutte le funzionalità che permettono al terminale di interfacciarsi correttamente con la rete e con i suoi servizi. Il "motore" ovviamente dipende in modo strettissimo dallo standard di funzionamento della rete. Deve dunque seguirne tempestivamente le evoluzioni quanto a nuove prestazioni. Si tratta perciò di una tipologia di progetto fortemente evolutiva a causa del continuo succedersi di queste nuove prestazioni. Esse debbono man mano essere inglobate nella piattaforma iniziale. Agli inizi, gli elementi chiave del progetto di un terminale si limitavano sostanzialmente al "motore", ed al package meccanico con le funzioni ausiliarie. Quindi, il progetto doveva sostanzialmente affrontare una "problematica di telecomunicazioni", caratterizzata da fattori chiave come il packaging meccanico ed il consumo. I primissimi produttori di terminali erano produttori nazionali, come Italtel. Le divisioni di progetto che si occupavano di terminali erano originariamente parte dell'organizzazione di sviluppo che progettava la rete. Con l'aumentare del successo dei servizi mobili, le "interfacce radio" delle reti vennero aperte da parte degli operatori in modo selettivo a nuovi produttori, sempre nazionali. Ai primi produttori "monopolisti" di terminali, se ne aggiunsero quindi degli altri, ma in maniera limitata e regolata direttamente dall'operatore.

L'estensione di un determinato standard in più paesi generò una prima rottura di questa "competizione confinata". Lo NMT ed il TACS ne furono i due esempi principali. Per questi standard di rete lo stesso terminale poteva infatti essere commercializzato in più paesi, con la possibilità per un produttore determinato di migliorare la presenza sul mercato e migliorare il suo "fattore di scala". Questo fattore di scala aveva un ruolo fondamentale. Basta pensare che il costo globale dei componenti in un terminale – già allora – era almeno l'80% del costo complessivo. Ne seguiva che il volume di pezzi prodotti e venduti determinava in maniera radicale lo sconto di acquisto dei componenti. Quindi chi aveva più mercati aveva volumi maggiori e diveniva fisiologicamente molto più competitivo nei prezzi. Da questo momento dunque il tipo di capacità, tecniche, logistiche e produttive richieste ad un produttore per poter prosperare sul mercato cambiavano radicalmente. Inoltre il fatto che il mercato si orientasse

rapidamente verso connotazioni “consumer” dava luogo a particolarità che lo differenziavano sempre di più da un mercato “professionale”.

L'aspetto più caratteristico rimaneva il ritmo sempre più accelerato di rinnovo dei modelli. Questo ciclo di rinnovo accelerato aveva la conseguenza drammatica che la tempestività del lancio sul mercato delle nuove versioni aveva un impatto determinante sulla dinamica del prezzo di vendita. Infatti, la “novità” di un modello rispetto alla concorrenza determinava in ogni momento il prezzo di vendita ottenibile. Il margine industriale veniva quindi quasi tutto raccolto nei primi pochi mesi di vendita. Successivamente al periodo subito dopo il lancio i prezzi consentiti dal mercato scendevano notevolmente rispetto al prezzo iniziale per mantenere la competitività nei confronti dei nuovi modelli concorrenti. Quindi il margine industriale del prodotto si concentrava praticamente in una “finestra” di pochi mesi. Tutto questo aveva un impatto determinante sull'obbligo di puntualità da parte del progetto. Le conseguenze si estendevano poi in maniera altrettanto violenta alle funzioni di produzione in senso lato: controllo degli acquisti, dei magazzini, delle logistiche di produzione e distribuzione. Il tutto a livelli neanche immaginabili ad esempio da chi si occupava di infrastrutture di telecomunicazioni. Un ritardo anche solo di qualche mese nella conclusione dello sviluppo, con conseguente ritardo nella disponibilità del prodotto sul mercato, aveva effetti economici estremamente negativi. Se le occasioni di ritardo erano ripetitive, il mancato accumulo di margini diveniva devastante per la sopravvivenza stessa della società. Il business dei terminali di larga massa era così diventato una specie di *killer game*. Il mercato non aveva più alcuna caratteristica tradizionale di un “mercato di telecomunicazioni”. Era qualcosa di nettamente diverso.

Successivamente queste differenze di mercato si accentuarono sempre di più. I terminali cessarono di essere prevalentemente “oggetti di telecomunicazioni”, anche perché acquisirono importanza man mano sempre più dominante nel progetto dei terminali i “servizi ausiliari” e le funzionalità hardware/software inclusi nel terminale stesso. Queste funzioni e servizi vennero mutuati in maniera sempre più consistente da altre tecniche e da altri mercati *consumer* come ad esempio videodisplay, GPS, macchine fotografiche, gestione delle immagini, software di vario genere: la terminalistica attuale è il prodotto avanzato di questa tendenza.

*Il ciclo vitale dei produttori di terminali in Italia.* In Italia il primo produttore di terminali fu Italtel, monopolista fino al sistema RTMS. Quando i volumi richiesti dal mercato cominciarono a crescere, vi si affiancarono OTE di Firenze, Telettra di Milano e infine Telital di Trieste. Quando si attivò il mercato del TACS, i produttori nazionali, con l'eccezione della Telital, non compirono il salto di qualità verso una presenza sul mercato internazionale, con tutte le conseguenze del caso. Italtel e Telettra di fatto uscirono dal campo (salvo accordi di licenza con terzi). OTE resistette di più ma per un periodo breve.

Una menzione particolare deve essere fatta riguardo la Telital di Trieste, che poi assunse il nome di Telit. Essa fu di fatto l'unica società che per alcuni anni sviluppò al proprio interno una capacità autonoma di progetto e produzione di

terminali, rimanendo sul mercato per varie generazioni successive di terminali dei vari standard impiegati in Italia. Partendo da origini di sviluppo di terminali radio per applicazioni professionali, Telital fece il suo ingresso nel campo delle reti cellulari con lo sviluppo di un terminale compatibile con il sistema RTMS. Successivamente, all'avvento del TACS, sviluppò una serie di terminali portatili per il mercato italiano. All'avvento del sistema GSM si cimentò con successo nello sviluppo di terminali anche per questo standard: sviluppò autonomamente un "motore" GSM e proseguì poi con i miglioramenti e gli aggiornamenti richiesti dalle nuove prestazioni per alcune generazioni successive. I terminali Telit erano venduti principalmente sul mercato italiano, ma furono acquisiti anche contratti di fornitura in Europa per altri operatori. Telit fu capace di costruire in questo modo una propria notevole capacità di sviluppo tecnologico che andava anche al di là dell'area dei terminali strettamente cellulari. Iniziò un importante programma di espansione, sia acquisendo in Danimarca nella città di Aalborg una piccola società di sviluppo di terminali GSM, diventando così una "piccola multinazionale", e sia acquisendo a Chieti alcuni laboratori di sviluppo di Alcatel. Inoltre avviò un esteso programma di acquisizione di linee di produzione da varie società di telecomunicazioni in Italia per aumentare la propria capacità produttiva. Parallelamente a queste attività definì anche degli accordi con la californiana Qualcomm riguardo il nuovo sistema satellitare Globalstar e sulla base di questi accordi sviluppò un terminale *dual mode* Globalstar/GSM per questo mercato. Telit sviluppò anche un terminale DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone) per il sistema italiano cui venne dato il nome commerciale di Fido, la cui sorte ovviamente seguì quella negativa del programma di Telecom Italia (vedi oltre). Però dopo qualche anno di crescita, e nonostante alcuni successi nei terminali mobili sia GSM che satellitari del sistema Globalstar la società non riuscì a completare il salto di qualità necessario per dominare tutte le caratteristiche sia finanziarie che operative necessarie per gestire la tumultuosa crescita industriale, il che era peraltro necessario per sopravvivere a lungo termine sul mercato.

Fu la fine di una presenza italiana potenzialmente primaria nel campo dei terminali. Come eredità diretta di quella esperienza Telit esistono a tutt'oggi piccole società nate dal nucleo originale che realizzano moduli di terminali cellulari (una di queste mantiene il marchio Telit, altre sono denominate Enteos, a Trieste, e Onda Communications a Pordenone). Si tratta di società molto attive ma che si occupano esclusivamente di applicazioni di nicchia. L'uscita da un ruolo significativo nel campo dei terminali cellulari non fu una eccezione italiana. Infatti, anche se dopo qualche tempo, a partire dal 2000 tutti i produttori di terminali degli altri paesi europei si avviarono lungo la china dell'oblio, ovviamente con l'importante eccezione della Nokia in Finlandia. Si trattava di nomi importanti, come Bosch, Philips, Alcatel, Siemens, ed anche la Ericsson stessa, almeno come marchio originale, uscì dal mercato. Ora, come è noto, l'unico produttore europeo importante è Nokia, che detiene la leadership nel mondo. Negli USA è rimasta solo Motorola. I produttori giapponesi dopo un periodo di successo sono scomparsi. Sono rimasti i coreani, ed avanzano sempre più i cinesi.

## L'evoluzione verso il digitale, la saga del GSM e la seconda generazione

Il sistema GSM è stato uno dei più grandi successi mondiali delle telecomunicazioni, fu sostanzialmente un successo europeo<sup>5</sup> e nel suo campo può essere considerato, per l'Europa, come la nascita della moneta unica. Fu anche la testimonianza di come fosse possibile arrivare ad un solido fronte comune, partendo da posizioni nettamente diverse mettendo a fattor comune tutte le risorse necessarie presenti nei paesi che parteciparono all'impresa, sia sul fronte industriale che su quello della ricerca. Per chi vi partecipò fu un lavoro entusiasmante e probabilmente fu la componente entusiasmo che aiutò in molte occasioni a superare divergenze anche aspre. Il risultato fu un sistema che forse non era ottimale dal punto di vista tecnico ma aperto a molti e imprevedibili sviluppi futuri, come il seguito dimostrò. Venne insomma raggiunto il livello di standardizzazione ottimale per aprire un mercato concorrenziale ampio e non pregiudicare futuri sviluppi tecnologici e di servizio. La principale ragione del suo successo fu il verificarsi di una combinazione di circostanze "unica": "Un sistema omogeneo ed interoperabile perché creato da monopoli NON in competizione [...] ma gestito invece sul mercato in regime di concorrenza".

Fu una sorta di regalo finale che il vecchio mondo delle Telecomunicazioni, dominato dai monopolisti, fece al nuovo nascente mercato. Purtroppo proprio per questi motivi di specificità la lezione del GSM non è stata sufficientemente compresa, anche se molte delle cose che ne determinarono il successo erano, *mutatis mutandis*, ripetibili. Il dopo GSM è costellato di errori che lo dimostrano.

### *L'inizio della storia in Europa<sup>6</sup>*

Il successo crescente ed in buona parte poco previsto dei primi servizi cellulari diede inizio ad una serie di "agitazioni" fra produttori e governi per definire reti cellulari "transnazionali" in Europa. Inizialmente tutte le proposte portate avanti erano di tipo analogico. Sono da ricordare a questo proposito i tentativi di accordo diretto fra Germania e Francia, con i tentativi di coinvolgervi SIP ed Italtel. A quel tempo esisteva una iniziativa di possibili accordi fra i "grandi" delle telecomunicazioni in Europa, soprannominata "banda dei quattro" che vedeva la partecipazione di Siemens, Alcatel, Plessey ed Italtel, il cui Amministratore Delegato, Marisa Bellisario<sup>7</sup>, aveva un ruolo di alto profilo nel gruppo. Altri (fra cui ITT Germania) portavano avanti proposte diverse. Però, più passava il tempo e più le idee convergevano fisiologicamente verso proposte di sistemi digitali. Nel frattempo anche negli USA erano in corso "agitazioni" per definire nuovi standard numerici cellulari. Furono però pesantemente condizionate dalla circostanza di non poter disporre di una banda nuova e di dover quindi coesistere nella stessa banda dei 900 MHz con il sistema AMPS. I sistemi ed i terminali

<sup>5</sup> EC1987.

<sup>6</sup> Bekkers 2001.

<sup>7</sup> Bellisario 1987.

dovevano essere sia analogici che digitali, il che era una grave limitazione. In Europa anche su sollecitazione dei paesi Nordici e dell'Olanda, l'intera questione fu presa in mano dal CEPT (Conferenza Europea delle amministrazioni delle Poste e Telecomunicazioni), che era la associazione dei PTT monopolisti europei. La CEPT aveva effettivamente creato fin dal 1982 un gruppo di lavoro con l'obiettivo di definire un sistema "europeo". Il gruppo era denominato GSM (Groupe Spécial Mobile). Le sue attività ebbero a questo punto una fortissima accelerazione dato l'obiettivo, ora fortemente condiviso a livello politico, di definire un unico standard digitale europeo. Ad esso, fu affidato un compito che definire "molto arduo" era oggettivamente un *understatement*, vista la storia precedente di soluzioni differenziate e contrapposte. Ma avvenne il miracolo: grazie all'atteggiamento positivo di tutti i membri coinvolti nei vari sottogruppi di lavoro, l'obiettivo venne raggiunto in modo sorprendente.

Di fatto l'intero processo fu gestito con grande decisione da un gruppo guida costituito da un "quadrumvirato". Il gruppo era nato inizialmente costituito solo da Francia e Germania. Ad esso si era aggiunta l'Italia tramite accordo fra i Ministeri, e successivamente il Regno Unito. L'impegno degli addetti ai lavori fu caratterizzato dall'entusiasmo per l'obiettivo, dall'esplosione della creatività, ma contemporaneamente dalla raffinatezza nel compromesso per navigare fra le varie proposte, col fine ultimo di convergere su uno standard unico ed abbandonare le divisioni nazionali. Il sistema che si stava definendo veniva sinteticamente chiamato GSM dal nome del gruppo di standardizzazione e questo nome dovette poi essere forzatamente mantenuto, seppure con un differente significato dell'acronimo, al momento della commercializzazione. Uno dei risultati più importanti fu la definizione di una moderna architettura di rete che costituì il riferimento stabile in tutte le successive generazioni di sistemi cellulari.

### *La definizione della "interfaccia radio"*

La principale difficoltà nella standardizzazione era la scelta della tecnica di accesso radio: sul tappeto vennero poste diverse proposte tecniche, molto differenziate fra loro. Come esempio ricordiamo che:

- France Telecom proponeva una tecnica di *frequency hopping*
- un Consorzio ad hoc, formato da ITT-Telefunken-Alcatel-Italtel proponeva un sistema che aveva denominato CD900. Era basato su una tecnica TDMA sincrona ed a larga banda (2MB/s). Fu realizzato a Stoccarda un sistema sperimentale per validare sul campo questa filosofia di accesso.
- i PTT Nordici con Televerket, ed Ericsson proponevano una tecnica TDMA a banda media
- Nokia proponeva una tipologia di accesso ibrida: TDMA a banda media nel senso *downlink*, SCPC (Single Channel Per Carrier) nella direzione *uplink*
- Telettra-Matra proponevano una tecnica SCPC *downlink* ed *uplink*
- Bosch avanzò una proposta TDMA a banda stretta.

Alla fine di una vicenda difficile ma fruttuosa nella quale le azioni di compromesso, in senso positivo, furono veramente notevoli, si affermò, col consenso

della maggioranza, una soluzione composita. Essa era basata sostanzialmente sullo schema della proposta Televerket-Ericsson, ma incorporava in maniera sostanziale diverse caratteristiche fondamentali derivate dalle altre idee. Il vero sconfitto fu il sistema a larga banda CD900, anche perché, data la sua impostazione, non poteva trovare alcun terreno di compromesso con gli altri. Dal compromesso uscì un sistema niente affatto semplice da realizzare: esso tuttavia rispondeva alle diverse esigenze economiche di paesi ad alta concentrazione d'utenza come la Francia e il Regno Unito e paesi, come quelli nordici, con ampi territori da coprire a basso traffico. Anche per questo motivo il GSM si presentò anche al di fuori dell'Europa come un sistema adatto a tutte le esigenze tanto che venne applicato come prima risorsa per comunicare in paesi dove la telefonia fissa tradizionale non si era ancora sviluppata.

### *Altri aspetti del processo di standardizzazione*

La definizione della tecnica di accesso radio era un aspetto fondante delle scelte, ma era lungi dall'essere l'unico. Dovevano essere messi a punto tutti i protocolli di comunicazione, le varie codifiche, in particolare della fonia e, soprattutto, le caratteristiche della infrastruttura. Venne ripreso, dal sistema cellulare analogico tedesco, il concetto fondamentale della SIM-card per i terminali di utente. Venne definita l'architettura di rete in modo da poter gestire in modo nativo il *roaming* degli utenti fra le reti dei vari operatori. Vennero utilizzati in maniera sistematica concetti e protocolli appena definiti nell'ambito delle reti ISDN. Il gruppo si mosse in queste direzioni con grande velocità, con grande entusiasmo e con spirito moderno in tutti i dettagli.

### *I servizi di messaggistica breve SMS*

Particolarmente interessante fu il momento in cui vennero introdotti e formalizzati i servizi SMS (Short Message Service), ovvero di messaggistica breve. Essi vennero inizialmente concepiti a partire da una "opportunità tecnica": infatti il "canale di chiamata" dedicato, così come era stato previsto per il sistema, non sfruttava tutta la capacità disponibile, e quindi sorse l'idea di sfruttarlo anche per trasmettere una messaggistica breve. In un primo momento l'applicazione prevista era per i messaggi di servizio del personale di manutenzione sul campo. Ma poi gli SMS vennero compiutamente definiti come "tele servizio" completo perché si comprese immediatamente che si potevano prestare ad un obiettivo molto più generale: ne derivò una effettiva opzione sfruttabile dagli utenti commerciali, che offrì subito, all'interno delle prestazioni del GSM, la possibilità di integrare un servizio alfanumerico di posta elettronica, limitato ma assai efficace, accanto a quello tradizionale voce.

### *L'attività di ricerca*

L'attività del gruppo GSM venne affiancata da una azione coordinata europea di ricerca, il COST 207, che fu un affiancamento determinante nel processo di

definizione delle specifiche. Era necessario acquisire informazioni mai prima cercate sulla propagazione in ambienti reali così diversificati come accade nel paesaggio europeo. Se ne doveva determinare l'influenza nella propagazione per progettare opportunamente le coperture e per predisporre schemi di contrasto alla distorsione dei segnali; si dovevano definire appropriati schemi di codifica di sorgente e canale. La partecipazione italiana fu importante, e vide la presenza dello CSELT, la società di ricerca del gruppo SIP e del già citato gruppo di ricerca collocato a Villa Griffone con unità della Fondazione Bordoni e dell'Università di Bologna. Lo CSELT seguì anche in modo particolare il processo di definizione e validazione della codifica della fonia e da questa esperienza trasse competenze per i successivi processi di standardizzazione di codifiche audio e video<sup>8</sup>.

### **GSM?**

Come già prima accennato il nuovo sistema doveva ormai chiamarsi GSM, ma occorre un nuovo significato per l'acronimo, più adatto per le azioni di marketing. GSM divenne allora Global System for Mobile communications, e globale lo diventò davvero poiché nel tempo si impose come standard de facto praticamente in tutto il mondo, grazie anche agli errori tecnici e commerciali compiuti dagli USA.

*La storia può anche riflettersi in piccoli aneddoti. In questo caso, il significato 'popolare' attribuito alla sigla GSM, nelle varie fasi della sua vita.*

*Il primo, riflette scherzosamente l'approccio 'idealistico' alla definizione del nuovo standard globale. Avvenne in concomitanza con le vicende per trovare un significato meno burocratico per l'acronimo GSM. Nell'ambito dunque di una assemblea plenaria sullo stato del GSM, ci fu un responsabile del gruppo che lanciò scherzosamente dal pulpito degli operatori alla folla l'affermazione che, visto l'amore viscerale per il sistema GSM chiaramente professato da parte dei suoi creatori, il nome più adatto non poteva che essere "orGaSM".*

*Il secondo, si riferisce ai momenti in cui i tecnologi si cimentarono con lo sviluppo effettivo. La lettura che allora 'girava' fra gli addetti ai lavori era: GSM = Great Software Monster.*

*Il terzo si riferisce alla mancanza di terminali mobili in concomitanza alla prima apertura delle reti: ora la sigla era letta come GSM = God Send Mobiles!*

### **La nascita dell'Istituto di Standardizzazione ETSI. La questione degli IPR**

Nel 1988 venne creato lo ETSI (European Telecommunications Standard Institute). Si trattava (e si tratta) di una organizzazione *non-profit* con il compito espresso dal suo nome. Sede designata fu Sophia Antipolis nel retroterra della Costa Azzurra e il direttore per i primi due anni fu l'italiano Diodato Gagliardi. A questa organizzazione fu trasferito il compito di concludere il processo di standardizzazione del GSM e di emettere e gestire le relative specifiche. Ma a

<sup>8</sup> Achler, 1997; Mouly e Pautet 1992.

questo punto si scatenò improvvisamente il problema degli IPR (Intellectual Property Rights). Fino a che la gestione avveniva nell'ambito CEPT, il problema degli IPR in qualche modo coinvolti dalla definizione di uno standard praticamente non esisteva. I brevetti erano di fatto gestiti solamente come uno "status symbol" tecnologico dei partecipanti, che non avanzavano pretese economiche. L'ETSI era invece una istituzione aperta al mercato e perciò la situazione divenne rapidamente molto complicata. La questione viene sollevata soprattutto dall'americana Motorola. Essa, pur avendo partecipato in modo abbastanza secondario alla definizione dello standard, sostenne di possedere parecchi "brevetti essenziali" che condizionavano lo standard GSM stesso. Secondo lo spirito americano, Motorola si rifaceva aggressivamente al principio della difesa della "proprietà privata", che è uno dei principi fondanti di quella nazione, e che in questo caso si riferiva alla proprietà dei brevetti (cioè gli IPR). In più l'uso americano permette di brevettare i principi, e non solo le realizzazioni. Quindi un investimento fatto sulla registrazione di brevetti sui principi, senza passare alla realizzazione di verifica, poteva "pagare". Il fatto che molte delle soluzioni proposte per il sistema GSM fossero nate autonomamente e proposte da altri, senza l'intervento di Motorola stessa, non cambiava la situazione. Oltre a mettere in azione gruppi di avvocati Motorola attivò anche pressioni da parte del governo USA. L'obiettivo era quello di assicurarsi le *royalties* derivanti da questi brevetti. Qualcuno, esasperato nel corso di questa vicenda, ebbe a commentare – estremizzando – che, se l'avesse saputo, Ohm avrebbe potuto brevettare la sua legge e poi pretendere le relative *royalties* per la sua applicazione... Ma la cosa era invece proprio molto seria. Motorola venne poi seguita in queste azioni da altre società americane (anche quelle che mai parteciparono alla definizione dello standard GSM). Per reazione e difesa vennero seguite dalle società europee. ETSI intervenne nella questione per trovare un accordo per regolamentarla, ma riuscì solo a mettere a punto linee guida molto generiche: in esse venivano riconosciuti i diritti derivanti dagli IPR, si affermava che le *royalties* dovevano essere "ragionevoli e non discriminatorie" e il resto fu lasciato alle trattative bilaterali fra gli interessati.

Il problema non venne mai risolto completamente, neanche negli anni successivi. Una particolarità della situazione stava anche nel fatto che gli operatori di reti cellulari, in prospettiva i massimi beneficiari economici degli sviluppi, pur avendo per questo il maggior peso nelle decisioni e votazioni sullo standard, non ne erano toccati direttamente perché la questione riguardava solo i produttori di apparati. Quindi adottarono spesso un atteggiamento neutro e gli sforzi per seguire gli esempi, molto più ragionevoli, di gestione degli IPR, adottati negli standard di codifica audio e video MP3 e MPEG (Moving Picture Expert Group), non ebbero risultato determinante. Un equilibrio finale fra i principali produttori di apparati venne alla fine raggiunto, con "scambio in natura" dei brevetti e con compensazioni ridotte perché valutate sulle differenze di "parco brevetti" detenuto da ciascuno. In questa situazione di oligopolio i piccoli produttori furono però esposti a tutti gli assalti dei detentori di IPR tanto che un produttore di terminali italiano arrivò alla somma teorica del 70% del costo del terminale sommando tutte le richieste di *royalties* pervenutegli da parte dei

vari detentori di “brevetti essenziali”, terminale che peraltro aveva sviluppato del tutto autonomamente<sup>9</sup>.

Un risultato fondamentale fu però la creazione del “GSM MoU” (Memorandum of Understanding) che includeva tutti gli operatori (inizialmente 13) che supportavano il sistema. La denominazione fu poi cambiata in GSMA (GSM Association). Il piano di *rollout* del GSM venne definito su una dimensione europea e l’entrata in servizio fu ufficializzata per tutta la UE al 1 luglio 1991. Fu questo anche l’inizio della apertura generalizzata alla concorrenza fra operatori, seguendo l’esempio dell’Inghilterra. Germania, Danimarca, Finlandia e Portogallo prevedevano per il GSM due nuovi operatori ciascuno, la Svezia tre.

### *Le politiche industriali in Italia*

Con l’avvento del MoU si avviò ora la fase dei progetti industriali. Si può dire che questo segnò l’inizio della globalizzazione nel mercato delle telecomunicazioni. Per la prima volta al mondo, anche grazie all’avvento di tanti nuovi operatori, c’era la concorrenza su uno standard unico, estesa ad un intero continente, da parte dei produttori di apparati. Veniva così superata la frammentazione in mercati nazionali degli apparati di telecomunicazioni, tradizionalmente consolidata da una differenziazione nazionale delle specifiche, pur sulle basi comuni determinate dalla UIT (Unione Internazionale delle Telecomunicazioni). Lo scenario degli sviluppi in concorrenza fu il seguente.

Ericsson si mosse autonomamente. Avviò un *crash program*, perché aveva intenzione di acquisire contemporaneamente contratti di fornitura in tutte le nuove reti possibili, sfruttando anche le aperture offerte dalla presenza dei primi “secondi operatori”.

Matra collaborava con Telettra (Telettra si focalizzava sulla parte radio). Il ruolo di Telettra in questa collaborazione successivamente sfumò, quando Telettra venne ceduta da Fiat al gruppo Alcatel.

Alcatel, che nel frattempo aveva assorbito la ITT, fra cui la Standard Elektrik Lorenz, formò un consorzio di sviluppo con Telefunken. Invitò Italtel a partecipare a questo consorzio, ma Italtel si defilò. Allora Alcatel si accordò con Nokia, che entrò a far parte della squadra.

Siemens decise di non partire con propri sviluppi. Ritenne che il suo sistema C450 analogico allora in servizio potesse durare a lungo. Formò però una alleanza con Motorola limitando la propria fornitura alle Centrali Mobili, ed utilizzando il sottosistema di stazioni radio di Motorola.

La Siemens Italiana (cioè la filiale ex GTE italiana, leader nei ponti radio a microonde, che era stata recentemente acquisita da Siemens), colse l’occasione offerta dalla posizione attendista di Siemens per farsi autorizzare dalla stessa casa-madre uno “sviluppo locale italiano” del sottosistema BSS (Base Station Subsystem), che avrebbe effettuato in collaborazione con Marconi Italiana.

<sup>9</sup> Bekkers, Rudi et al.2002.

Il management Italtel non credette che il decollo GSM potesse effettivamente avvenire nei tempi previsti. Manteneva l'opinione che il TACS, che continuava ad avere successo, avrebbe soddisfatto per molto tempo il mercato nazionale. Negoziò quindi con Alcatel una licenza "difensiva" per il sistema GSM, senza prevedere un particolare contributo proprio agli sviluppi. L'obiettivo della collaborazione fu per Italtel soprattutto la difesa della sua nuova tecnologia di commutazione UT. L'architettura del nodo di commutazione mobile Alcatel sembrava prestarsi ottimamente a questo fine limitato. Esso infatti consisteva di un Elaboratore dedicato (di origine Thomson) che gestiva tutte le specificità del GSM, ed era interconnesso ad una centrale telefonica "normale" che gestiva il traffico della porzione di rete mobile ad essa sottesa. Nella versione "italiana" di questo sistema GSM di Alcatel le Centrali Mobili (denominate MSC) sarebbero state costituite dall'elaboratore specializzato Alcatel-Thomson che avrebbe "guidato" una centrale UT Italtel. Nell'accordo non furono affrontate le condizioni di licenza per il sottosistema BSS, in quanto nell'ambito del consorzio di sviluppo Alcatel questo sottosistema non era di sua prerogativa esclusiva. Sarebbe occorso aprire una negoziazione con gli altri consorziati, cosa che rimase indeterminata. La Ricerca e Sviluppo Italtel avviò comunque lo sviluppo autonomo della stazione radio base (BTS – Base Transmitter Station) con l'obiettivo di preconfigurarsi una autonomia in questo campo. Però il Progetto Alcatel del Nodo di Commutazione Mobile fallì tecnologicamente. Il "peso elaborativo" dei protocolli di comunicazione fra elaboratore e centrale telefonica finiva per soffocare la capacità di traffico utile esprimibile dal nodo. Italtel si trovò quindi disarmata a fronte dei piani SIP di procedere per andare in servizio nei tempi previsti, il che portava Ericsson ad essere fornitore potenzialmente unico. Italtel negoziò quindi una collaborazione sul GSM con Ericsson, ormai diventata leader in Italia. In base a questo accordo i nodi di commutazione mobile sarebbero sempre stati prerogativa di Ericsson, le BTS Ericsson sarebbero state commercializzate da Italtel che le avrebbe fornite a Telecom Italia insieme al servizio di progetto della rete radio.

Nell'ambito dell'accordo era però autorizzato lo sviluppo da parte Italtel di una BTS. Questa doveva essere necessariamente "compatibile" con il sistema Ericsson, su interfaccia interna proprietaria di quest'ultima. È il caso di ricordare che nella architettura di sistema del GSM esistono, oltre a quelle di interconnessione degli Archivi di Utente (HLR – Home Location Register), due sole interfacce interoperabili e standardizzate: quella "in aria", per l'interoperabilità fra terminali e rete, e quella fra "Nodi di Commutazione Mobile" (MSC) e "Sottosistema di Stazioni Base" (BSS). Ogni altra interfaccia è specifica del produttore, in particolare quella fra le Stazioni Radio Base ed il relativo Controllore. In conclusione, arrivati a questo punto l'unica tecnologia italiana esistente era quella della BSS di Siemens Italiana/Marconi Italiana.

### *GSM in Italia, e l'apertura alla concorrenza con l'avvento di Omnitel-Pronto Italia*

Nonostante lo sviluppo continuo della rete TACS anche in Italia i tempi erano ormai maturi per l'introduzione della tecnologia GSM con l'implicito

ingresso della concorrenza nel sistema delle telecomunicazioni italiane, fino ad allora in mano al monopolista SIP, poi Telecom Italia. In questo periodo si intrecciano gli aspetti relativi ai gestori con i programmi di sviluppo industriale degli apparati di infrastruttura sia da parte Italtel che da parte Siemens italiana. Questo periodo è caratterizzato anche dal rivoluzionamento delle alleanze strategiche di Italtel, che finirà per coinvolgere proprio Siemens.

Telecom Italia Mobile (Tim), lanciò la realizzazione della propria rete nazionale GSM con obiettivo di entrata in servizio ottobre '92. L'obiettivo era coprire le aree urbane di tutte le principali città. La tecnologia dei Nodi di Commutazione era esclusivamente Ericsson. La tecnologia BSS Ericsson, gestita da Italtel secondo gli accordi, copriva il 70% del territorio. La tecnologia BSS Siemens Italiana/Marconi copriva il restante 30% del territorio.

### *L'intervento del Governo per la creazione del Secondo Gestore Cellulare*

La rete GSM di Telecom Italia fu realizzata nei tempi previsti, ma fu confinata ad un servizio solo sperimentale – la cosiddetta utenza amica – perché il governo ne bloccò l'apertura commerciale. Era stata infatti presa la decisione di aprire il concorso per la seconda licenza GSM e si volevano garantire le condizioni perché si realizzasse nel settore una vera concorrenza<sup>10</sup>. Il Ministero delle Comunicazioni faceva capo allora al socialdemocratico Maurizio Pagani che impostò tutto il procedimento in modo coerente con l'obiettivo. Innanzitutto, utilizzando il Consiglio Superiore Tecnico delle Telecomunicazioni, allora importante organo consultivo del Ministero, diede l'incarico ad una apposita commissione, – detta “Commissione Cappuccini” perché allora il Presidente del Consiglio Superiore era il prof. Franco Cappuccini – di studiare attraverso quali modalità tecniche ed economiche si poteva definire un opportuno disciplinare che impedisse il soffocamento sul nascere del nuovo gestore privato. Tra le indicazioni uscite dalla commissione vi fu quella di assicurare al nuovo entrante il *roaming* nazionale ovvero la possibilità di usare la rete Tim, il concorrente, laddove nel transitorio di dispiegamento della rete non era ancora disponibile un servizio autonomo. In questo modo un cliente del nuovo gestore poteva ottenere fin da subito un servizio analogo a quello ottenibile con l'operatore già presente. In cambio vennero fissati degli obiettivi di copertura molto stringenti sia sul territorio sia sulla tempistica per evitare che questo beneficio diventasse un alibi per evitare la realizzazione della nuova rete. Va detto che la medesima Commissione Cappuccini, in alcune udienze apposite, aveva raccolto dai potenziali nuovi entranti l'indicazione che essi volevano assolutamente realizzare una rete autonoma da quella di Telecom per poter garantire ai propri clienti una qualità di servizio eccellente. Dopo una serie di discussioni sulla fattibilità tecnica del *roaming* nazionale il concetto venne infine accettato e fu alla base della rapidità di sviluppo del mercato, anche se il raggiungimento dei vari obiettivi di copertura da parte del vincitore fu oggetto di varie controversie.

<sup>10</sup> EC1987.

Si decise inoltre di assegnare la licenza sulla base del cosiddetto *beauty contest*, cioè equivalente ad un “concorso per titoli”, ovvero si valutavano anche parametri tecnici ed economici di prospettiva oltre all’offerta economica. I concorrenti che si presentarono furono tre consorzi:

- Pronto Italia (costituito da Pacific Telesis, che era una cosiddetta “Baby Bell” degli USA, insieme ad una ventina di imprenditori italiani);
- Omnitel (costituito da Olivetti e Bell Atlantic, che era un’altra “Baby Bell”);
- Unitel (costituito da Fiat e Fininvest, più, come partner operativo, da Racal-Vodafone, cioè il secondo gestore cellulare inglese).

Nel 1993, alla vigilia della data di assegnazione della licenza Omnitel si fuse con il concorrente più temibile, Pronto Italia (Pacific Telesis). Questa nuova entità prese il nome di “Omnitel-Pronto Italia” e Unitel rimase l’unico competitore. A conclusione di tutto il procedimento ad Omnitel-Pronto Italia venne assegnata dal Governo la licenza a fronte di un corrispettivo di 700 miliardi di lire.

Sempre nel 1993 Italtel completò lo sviluppo autonomo della sua BTS, compatibile con sistema BSS Ericsson, sorprendendo in questo l’alleato per la sua rapidità. Seguì una sorda guerriglia interna fra alleati ( di fatto con interessi contrapposti), per la “conquista del territorio” con la propria tecnologia. Le stazioni base Italtel vennero diffuse sul campo in tutte le zone non ancora coperte dalla rete Tim. La rete era infatti rimasta “congelata” dalla fine del 1992 per consentire l’ingresso del secondo gestore. Il problema del mantenimento della compatibilità della stazione base Italtel con la infrastruttura di Ericsson assunse una importanza chiave. Determinava di fatto la sua “sopravvivenza” sul territorio. Vennero usate dai progettisti Italtel anche tecniche di *reverse engineering* sugli apparati di prova, per supplire alla mancanza di informazioni e specifiche aggiornate.

Intanto Siemens Monaco era insoddisfatta della sua alleanza con Motorola. I laboratori di Siemens Monaco iniziarono allora lo sviluppo di una propria stazione base GSM. Nell’ambito del gruppo Siemens, Siemens Italia di Cassina de’ Pecchi a Milano ebbe la missione di sviluppo del Controllore Stazioni Base e del relativo sistema di supervisione. Siemens Italia comunque continuò a mantenere in rete Tim la BSS specializzata, precedentemente sviluppata con Marconi Italiana. In questo lasso di tempo Italtel iniziò anche lo sviluppo sia dei Nodi di Commutazione Mobile che dei Nodi di Gestione delle Stazioni Base (detti BSC – Base Station Controller). Venne impiegata la piattaforma di commutazione proprietaria UT. In questo modo Italtel, disponendo di una propria tecnologia GSM completa, poteva avere la possibilità di vendita autonoma in tutti i mercati di tutto il sistema.

*Per Italtel si rimescolano le carte. Scade, senza risultati di rilievo, l’accordo strategico fra STET ed ATT*

È il 1994: l’accordo strategico generale fra STET ed ATT che riguarda Italtel ha prodotto scarsi risultati, nulli nei sistemi cellulari. Per Italtel è il momento di una ridefinizione delle partnership. Vengono portate avanti negoziazioni con

tutta la gamma dei potenziali partner: ancora ATT, Ericsson, Alcatel e Siemens. Il negoziato con ATT, che potenzialmente porterebbe Italtel al ruolo di partner dominante in Europa per l'alleanza, viene ostacolato dall'altro alleato di ATT, la Philips olandese, che di ATT era stato il primissimo partner storico per l'ingresso in Europa. Viene scelta Siemens come alleato di Italtel. Italtel e Siemens Italiana si fondono. Nell'ambito dell'accordo formalizzato i Sistemi di Stazione Base GSM sono missione di Italtel. Il Top Management di Siemens, riconosce così i propri errori nella sua strategia precedente nel GSM, ma non ha tenuto conto dell'esistenza di sviluppi già in corso nel proprio interno. E sarà presto avvicinato per limiti di età. La conseguenza pratica è che Siemens nell'ambito dell'alleanza immediatamente annuncia al suo partner italiano di voler disattendere l'accordo riguardo le Stazioni Radio Base. Vuole fare convergere l'alleanza sul proprio prodotto BSS come unico prodotto comune. Purtroppo Italtel non riesce a chiarire ed a riprendere in mano la situazione.

### *Gli operatori Tim e Omnitel completano le proprie reti ed entrano in servizio*

Omnitel-Pronto Italia sceglie come proprio fornitore unico Nokia per la sua infrastruttura di rete, nonostante tentativi e pressioni degli altri concorrenti, fra cui Ericsson e Siemens stessa. La rete Tim va in servizio a maggio 1995, e quella Omnitel nell'ottobre 1995 e si scatena competizione fra Tim ed Omnitel sul mercato. Le due reti Tim ed Omnitel si espandono a grandissima velocità. Omnitel, per conquistare quota di mercato, punta in modo determinante sulla qualità del servizio e sulla qualità del rapporto con cliente. La competizione si focalizza quindi fortemente sulla qualità del servizio. Cominciano a crearsi e consolidarsi tecniche "industrializzate" di misura della qualità del servizio sul territorio nell'ottica dell'utente. Viene sviluppato un complesso di metodologie di raccolta automatica di dati dal campo e di sistemi informatici di post-elaborazione dei dati di traffico che permettano di avere un controllo frequente, quasi continuo, della qualità del servizio e per attivare azioni e programmi di miglioramento. Emerge il concetto di *tuning* della rete (cioè di ottimizzazione della messa a punto, come fosse un motore da corsa). La rapidità con la quale si realizzarono le reti cellulari fu in parte dovuta ai tempi stretti indicati nei vari disciplinari, ma anche dal fatto che il ritorno dell'investimento era veramente fulmineo: si è calcolato che una stazione radiobase poteva ripagare il proprio costo nell'arco di qualche settimana. Questa fretta non è stata però senza conseguenze: la popolazione non era preparata a questo massiccio ingresso di tecnologia sofisticata nei quartieri e negli edifici e reagì in modo da ostacolare lo sviluppo. La gestione della problematica, peraltro assai complessa, della protezione dell'uomo da radiazioni elettromagnetiche, ha avuto nel nostro paese momenti di grande tensione anche per la velocità con la quale le antenne sono comparse nelle nostre città.

### *Azioni di disturbo: non basta il wireless*

Non è fuor di luogo ricordare che il successo dei servizi radiomobili cellulari attivò in questo periodo altre iniziative di sistemi mobili "non-cellulari". Essi si

potrebbero considerare come “rami evolutivi laterali” rispetto a quello principale dei servizi cellulari veri e propri. Si possono così ricordare in successione il “Telepoint” nel Regno Unito, il PHS (Personal Handy Phone) in Giappone e la iniziativa “Fido” in Italia. Con l’eccezione (parziale) del sistema PHS in Giappone, con una successiva espansione importante in Cina, furono tutti degli insuccessi drammatici. Traguandandole con gli occhi di allora, queste iniziative rispondevano effettivamente ad una certa logica. Però con grosse criticità nascoste e soprattutto mancanti di una percezione prospettica, sia commerciale che sociale. Allora infatti si riteneva generalmente che il livello di “penetrazione” dei servizi cellulari si sarebbe fermato, per ragioni economiche (tariffe e costo dei terminali) ad una percentuale della popolazione abbastanza inferiore al 50%. La storia seguente dimostrò che non era così, ma allora questo era il consenso generale. Con questa visione, esisteva quindi uno spazio per servizi *wireless* intrinsecamente meno costosi di quelli cellulari. Un modo di rendere questi servizi meno costosi era quello di limitare gli investimenti per la copertura alle sole aree metropolitane dove vi è grande concentrazione della popolazione: in questo modo poteva essere proposto un servizio intrinsecamente meno costoso, che avrebbe potuto aumentare oltre il limite considerato la penetrazione del complesso dei servizi. La storia dimostrò che questa ‘visione’ era totalmente sbagliata. Tuttavia, con questa ottica vennero avviate le iniziative Telepoint e Fido, che andarono incontro al fallimento, ma anche quella visione dei servizi che inizialmente furono denominati in Inghilterra PCS (Personal Communications Services) che subirono un *morfin* verso il cellulare, di cui diremo fra poco.

*TELEPOINT.* Fu una iniziativa inglese: il suo profilo di servizio si può compendiare con le funzioni di una “cabina telefonica *wireless*”. Si trattava in effetti di una tecnologia *cordless* a 900 MHz che realizzava coperture a macchia di leopardo: in questo era simile ai più recenti e noti *hotspot* Wi-Fi il cui successo è però determinato dall’accesso a Internet che nel Telepoint non era nemmeno immaginato. L’idea suscitò allora grande entusiasmo, tanto che quattro operatori diversi nel Regno Unito prepararono le loro reti. Presi dall’ansia della competizione, tutti dimenticarono, fra le altre, una delle ‘lezioni’ del GSM: non si preoccuparono di rendere interoperabili i loro sistemi. Questo fatto, associato alla copertura limitata non fece decollare il servizio. Gli operatori tentarono allora di recuperare la situazione concordando finalmente una “interfaccia in aria” standardizzata, detta CAI (Common Air Interface) ma neanche questo bastò perché i servizi GSM, che nel frattempo si erano pienamente sviluppati, erano troppo più attraenti e le reti morirono una dopo l’altra.

Reti simili comunque furono attivate anche in Francia, col nome di Bibop, e rimasero in funzione dal 1991 al 1995. In Italia Telecom avviò una sperimentazione Telepoint con Italtel, basata sul nuovo *cordless* analogico CT1. La sperimentazione riuscì tecnicamente ma non diede seguito ad alcuna iniziativa commerciale.

*Il servizio Fido in Italia.* Telecom Italia (l’iniziativa si originò nell’ambito della sua area di rete fissa) credette di intravedere una importante nicchia di mercato in sistemi *wireless* cittadini, concepiti senza le limitazioni di Telepoint, facendo

riferimento al nuovo standard *cordless* digitale europeo DECT (inizialmente Digital European Cordless Telephone, poi Digital Enhanced Cordless Telephone) che fu sviluppato dall'ETSI poco dopo il GSM. Questo standard, che opera nella banda 1,7 GHz, basato sulla miscela dinamica della tecnica TDMA (Time Division Multiple Access) con quella FDMA (Frequency Division Multiple Access), può garantire prestazioni molto avanzate con una copertura continua relativamente facile da ottenere. Lo standard DECT infatti non ha bisogno di pianificazioni di frequenza perché permette nativamente ad ogni terminale la ricerca dinamica dei canali non interferiti, slot per slot e portante per portante, eliminando così alla radice i problemi di coordinamento fra celle adiacenti. Data l'origine della tecnologia, concepita per *cordless* domestici, le celle sono intrinsecamente piccole (massimo 100 metri di raggio), per cui è estendibile solo in aree urbane. Il DECT può essere considerato come un precursore delle attuali coperture Wi-Fi poiché è in grado di assicurare mobilità di comunicazione all'interno di un ufficio come di un capannone e si sarebbe anche ben prestato per comunicazioni dati. Da questo standard in realtà ci si aspettava molto di più che la semplice estensione *cordless* del telefono tradizionale: investigare le motivazioni del suo mancato sviluppo e quelle invece del successo del Wi-Fi sarebbe assai interessante ma va al di là degli scopi di questa relazione. Di fatto quello che venne tentato fu un uso improprio della tecnologia sottostante allo standard. Anche l'approccio al mercato aveva tre difetti fondamentali:

- anche se l'architettura era del tutto equivalente a quella del sistema GSM, il servizio era concepito in ottica di rete fissa come "estensione all'esterno" del *cordless* domestico (i terminali non avevano una SIMcard);
- non era stata predisposta una capacità di offerta di una gamma estesa di terminali, che assomigliasse all'offerta di terminali dei sistemi cellulari alla quale il mercato si era ormai abituato. Furono messi a punto solo due modelli di terminale: Siemens ed Urmet;
- soprattutto l'iniziativa era in aperto conflitto con l'intera *lobby* degli operatori mobili, inclusa Tim stessa nell'ambito di Telecom Italia, e quindi provocò la naturale reazione del mondo della telefonia cellulare che reagì in modo da contrastarne lo sviluppo con iniziative commerciali e di pressione.

Venne comunque sviluppato da Italtel un adattamento dello standard DECT, che permetteva una copertura continua di macroaree urbane cittadine sotto controllo di Nodi Centrali. Questi operavano con la stessa architettura delle Centrali Mobili GSM. Anche Ericsson fu della partita. Vennero avviate delle sperimentazioni sul campo a Reggio Emilia che ebbero successo. Il sistema gestiva anche lo *handover* fino ad una velocità del mobile di 50 Km all'ora, seppure con qualche difficoltà. Questo fatto non fu annunciato per non evidenziare la potenziale concorrenza del sistema con i sistemi cellulari. Il sistema Fido venne realizzato sulle principali 28 città italiane, installando circa 60.000 minuscole "picostazioni base" denominate "Dectalk" e sviluppate da Italtel. I luoghi preferenziali di installazione delle antenne furono le cabine telefoniche pubbliche e gli armadi stradali di ripartizione dei doppiini telefonici, oltre che i muri esterni

degli edifici. Le picostazioni ricevevano l'alimentazione dalle centrali tramite i doppiini telefonici. Sotto la pressione degli operatori cellulari il regolatore impose una strutturazione delle tariffe simile a quella delle reti cellulari, con una quota obbligatoria per l'accesso alla rete fissa: questo fece innalzare in maniera sostanziosa le offerte commerciali e siccome contemporaneamente gli operatori cellulari abbassarono le loro, il vantaggio economico che si pensava esistesse non apparve più compensare la riduzione di servizio. Anche l'immagine di Fido non venne percepita come positiva in quanto, nonostante lo sforzo pubblicitario venne denominato "il cellulare dei poveri". In conclusione il sistema Fido non partì mai. Esso tuttavia fu il primo tentativo di utilizzo del *wireless* in controtendenza rispetto al concetto cellulare. La rete cellulare infatti nasce all'esterno e da qui penetra nelle case e negli uffici offrendo colà una possibilità di comunicazione autonoma rispetto alla rete fissa. L'alternativa è arrivare negli interni o in punti definiti via rete fissa e poi da qui costruire una appendice *wireless* negli appartamenti e negli esterni che sia controllata come coda della rete principale. Queste due strategie sono tuttora presenti nello scenario moderno.

Fido non partì mai ma costò un investimento di circa 800 miliardi di lire. Ancora oggi si vedono qua e là tipicamente vicino alle cabine telefoniche, i gusci a doppia antenna di alcune di quelle picostazioni.

### *Il PHS in Giappone*

Per un complesso di ragioni di tipo culturale, il Giappone è stato – almeno nell'area dei servizi radiomobili – un'area nella quale standard, comportamenti e risultati erano sistematicamente diversi dal resto del mondo, sia nella politica industriale come nello sviluppo dei servizi. E così è in buona parte ancora. Il Giappone fu infatti l'unica eccezione nel mondo di parziale successo in reti tipo "Fido". Questo standard ha caratteristiche di rete cellulare, in quanto prevede l'*handover*. La rete, realizzata inizialmente nelle principali città, soprattutto Tokyo, era denominata PHS (Personal Handyphone System), aveva una copertura apprezzabile nelle aree metropolitane e, per un certo numero di anni, raggiunse un numero consistente di utenti fino a che non venne superata dalle reti di terza generazione. Attualmente conta ancora circa 4.5 milioni di utenti, con estensioni in *roaming* a Taiwan e Thailandia. Verrà comunque chiuso entro il 2011.

Ne esiste una versione implementata in Cina da un operatore di rete fissa (China Netcom) che invece raggiunse un notevole successo: raggiunse circa 90 milioni di utenti nel 2007! Comunque anche in questo caso si prevede che l'utenza sarà assorbita nelle reti cellulari "classiche".

### *I servizi PCS e la banda dei 1800 MHz*

Una ulteriore iniziativa condotta dall'Inghilterra si proponeva di individuare un nuovo servizio "parallelo" al GSM<sup>11</sup>. L'Ente regolatore inglese, spinto dal successo

<sup>11</sup> Ramsdale 1994.

dei servizi cellulari, individuò un “nuovo” servizio *wireless* adatto alla banda dei 1800 MHz. L’idea era per così dire giustificata anche da un certo grado di auto-referenziazione. Grazie ai successi della struttura di mercato inventata per il sistema TACS esso si considerava un “leader” nelle intuizioni di marketing dei servizi radiomobili. Sta di fatto che, in un “documento di visione” intitolato “Phones on the Move”, il regolatore individuò ed espone le caratteristiche di un “nuovo servizio” appoggiabile alla banda dei 1800 MHz. Nella “visione” descritta nel documento si trattava di reti e di servizi per certi aspetti simili al “Fido”, di cui si è parlato sopra. La banda dei 1800 MHz, che poteva essere resa disponibile, presentava delle limitazioni di propagazione rispetto alla banda dei 900 MHz ma, proprio per questo fatto, permetteva di realizzare capacità molto alte nelle aree urbane, grazie anche alla possibilità di maggior riutilizzo delle frequenze. Per contro, rinunciando alla copertura nelle aree extraurbane, si evitava la necessità di investimenti maggiori rispetto alle reti GSM a 900 MHz. Veniva così teoricamente individuato un “profilo di servizio” di tipo cellulare, ma esclusivamente metropolitano, meno costoso del cellulare ad estensione “universale”. Questo servizio fu inizialmente denominato PCS, vale a dire “Personal Communications Services” e le reti corrispondenti furono denominate PCN (Personal Communications Networks). Nel Regno Unito vennero dunque attivati i processi per la concessione delle relative licenze con un approccio *technology neutral*, cioè la scelta dello standard di rete era lasciata all’assegnatario della licenza. Vennero assegnate in tal modo tre nuove licenze (che poi si ridussero a due) e subito dopo lo stesso processo si riprodusse in Germania, anche qui con l’assegnazione di due nuove licenze. Fortunatamente, per quello che riguardava la scelta dello standard, il buon senso fece adottare agli operatori coinvolti nell’iniziativa la tecnologia GSM, con gli opportuni adattamenti del caso. Questa scelta fra l’altro consentì di realizzare in modo economico terminali GSM *dual band*, quindi in grado di operare anche sulle reti cellulari preesistenti. La realtà di mercato poi dimostrò che NON si trattava di un nuovo servizio. Gli utenti male accettavano una copertura limitata alle sole aree urbane, e preferivano i sistemi cellulari. Quando alla fine gli operatori PCN presero la decisione di investire per aumentare la copertura e dare continuità geografica al servizio, gli utenti cominciarono a crescere velocemente: si era infine compreso che si trattava semplicemente di un “altro” sistema cellulare, utilizzante frequenze diverse. Da allora, in tutti i paesi europei, ciascuno con le sue particolarità, parte della banda dei 1800 MHz fu assegnata anche ai precedenti operatori cellulari, quando iniziarono a essere evidenti problemi di limitazione di capacità delle loro reti: si arrivò così alla fine ad un unico servizio che utilizzava le bande più adatte a seconda della situazione ambientale – in città o in aree aperte – o di traffico. Nel frattempo però l’aggettivo personale era stato introdotto e si cominciò a comprendere che, al di là della tecnologia, il servizio che si offriva aveva davvero queste caratteristiche, con tutte le conseguenze già indicate.

### *Ulteriori sviluppi in Italia*

Mentre l’utenza GSM nelle due reti Tim ed Omnitel continuava a salire con incrementi a due cifre, nel 1998 viene concessa dal Governo una licenza

di terzo operatore al consorzio Wind (costituito da Enel, France Telecom e Deutsche Telekom) e nel 2000 viene concessa una quarta licenza al consorzio Blu (costituito da Autostrade, British Telecom, banca BNL). La crescita dei nuovi operatori fu più difficile perché Tim ed Omnitel continuarono a detenere il 70% del mercato. Secondo le regole universali espresse dal “ciclo di prodotto”, questa volta applicate ai servizi mobili, uno *shake out* era in vista. Lo *shakeout* è quel meccanismo per cui ad un certo punto dalla nascita di un nuovo prodotto la competizione aumenta ed i concorrenti più deboli cominciano a sparire.

Gli operatori a questo punto cominciano a competere per l’acquisizione della nuova utenza facendo leva soprattutto sui profili tariffari offerti, che si moltiplicano. La politica dei profili tariffari, spesso genera qualche confusione nell’utente, ma ha anche una ragion d’essere non banale. Infatti, uno sconto “trasparente”, se applicato sui profili di tariffa esistenti andrebbe “retrocesso” su tutti gli utenti già presenti con quel tipo di tariffa. Generando così un sostanzioso maggior costo, senza alcun effetto di promozione nei riguardi della acquisizione della nuova utenza.

Sul fronte industriale Italtel disponeva ormai di un proprio sistema GSM completo ed era finalmente in grado di competere nel mercato internazionale. L’attività di esportazione era tanto più importante in quanto l’azienda non poteva diffondere il proprio sistema completo nella rete Tim perché la parte *core* della infrastruttura Tim era infatti ormai consolidata sulla tecnologia Ericsson. Nelle reti dei sistemi di stazione base (BSS) venne invece eseguita una “razionalizzazione territoriale”. Vennero cioè spostati fisicamente da un’area geografica ad un’altra interi gruppi di stazioni base, in modo da rendere ogni area geografica “omogenea” in termini di tecnologia del produttore: in questo modo le varie sezioni di rete divennero più facilmente gestibili. Vennero infine rimosse le “vecchie” stazioni base Siemens Italiana/Marconi, e sostituite con quelle di nuova tecnologia. In questo contesto ad Italtel toccarono sette regioni su venti. Quanto all’attività di esportazione, Italtel realizzò con la sua tecnologia GSM varie piccole reti nelle città minerarie della Siberia, ed acquisì alcuni grandi contratti per realizzare reti in varie regioni della Cina (Hubei, Hebei, Hainan, ecc.). Realizzò anche una grande rete in Iran, a Teheran. In queste azioni sui mercati esteri fu però sempre in scomoda e silenziosa competizione con Siemens. Al suo interno Italtel doveva portare necessariamente avanti un doppio sviluppo: i Controllori di Stazione Base (BSC) con relativo Sistema di Gestione per la Stazione Base “Siemens”, ed allo stesso tempo le evoluzioni del proprio sistema. Una razionalizzazione sarebbe stata logicamente necessaria, ma sarebbe stata equivalente al ritiro dal mercato, e quindi anche dagli impianti esistenti, di una delle due linee di prodotto e questa opzione sarebbe stata estremamente pericolosa nei confronti delle posizioni già conquistate sul mercato con inconvenienti non solo economici: la sostituzione di un prodotto avrebbe avuto impatti sulla qualità di servizio durante il transitorio e problemi di famigliarizzazione sui nuovi apparati da parte dei clienti, nonché il rischio che quest’ultimo decidesse di approfittare dell’occasione per cambiare addirittura fornitore. In una visione più ampia, e più orientata al futuro della strategia del raggruppamento Siemens Italtel, si sarebbe potuto concludere che in realtà questo tipo di problematiche rivestivano una importanza secondaria in

vista degli ulteriori investimenti di ricerca e sviluppo da avviare per iniziare a preparare il Sistema di terza generazione, l'UMTS (Universal Mobile Telephone System), che già si stagliava all'orizzonte. La duplicazione di risorse di Siemens ed Italtel sugli sviluppi di due tipologie di prodotto equivalenti lasciò infatti totalmente disatteso e scoperto ogni sviluppo del futuro sistema 3G. Quando la "chiamata" per la terza generazione, non molto tempo dopo, venne a suonare, Siemens si trovò in una situazione di grave debolezza strategica, dalla quale non si risollevò più. Si può ragionevolmente ritenere che la futura convergenza di Siemens per quanto riguarda le infrastrutture cellulari sotto il nome Nokia nacque in queste circostanze.

Il successo dello standard GSM nel mondo, e la presenza mondiale del gruppo Siemens portarono però anche frutti positivi, almeno dal punto di vista produttivo, perché questa missione rimase prevalentemente Italiana. Venne così aumentata in maniera notevole la capacità produttiva di Stazioni Base per il mercato mondiale di Siemens e per quello di Italtel grazie al fatto che nel mondo nascevano continuamente nuovi operatori GSM e tutti avevano l'obiettivo di realizzare velocemente le proprie reti. La presenza mondiale di Siemens nell'acquisire nuovi contratti fu molto efficace. Italtel, per alimentare queste necessità ebbe a disposizione tre linee di produzione a Marcianise, l'Aquila e Durach in Germania. Arrivò a produrre volumi di parecchie decine di migliaia di ricetrasmittitori di stazione base all'anno.

### *E le reti cellulari analogiche? Quando morirono?*

È importante osservare che l'avvento delle reti cellulari digitali, con tutte le loro novità, fu lungi dal decretare la morte delle reti analogiche. Inizialmente facevano premio a favore delle reti analogiche le migliori caratteristiche di copertura già raggiunte, e le loro prestazioni più semplici ma più consolidate, a fronte dei fenomeni iniziali di instabilità della qualità nelle nuove reti digitali, non ancora messe del tutto a punto. Tutto questo rallentò la migrazione degli utenti dalle reti analogiche verso le reti digitali.

Questo tuttavia non pregiudicò la crescita delle reti digitali. La riserva di nuovi utenti era così grande che bastavano questi a farle crescere in modo più che soddisfacente. Anche con il consolidamento e la crescita delle nuove reti digitali le reti analogiche continuarono così a vivere. Si crearono e continuarono ad esistere consistenti "partiti di aficionados" dei vecchi sistemi. Tutto questo creò una ragione anche economica che continuò a mantenere in vita queste reti per molto tempo. Si noti che in Italia l'utenza TACS continuò a crescere ben dopo l'avvento del GSM. In molti paesi europei le reti cellulari analogiche furono dismesse totalmente solo attorno all'anno 2000, cioè in concomitanza con l'arrivo del UMTS!

### *L'evoluzione negli USA e la competizione con gli standard ETSI nel mondo*

In un mondo globalizzato, come era ormai quello dei servizi radiomobili, ciò che avveniva nelle aree importanti quanto a tecnologia, come gli USA, aveva

effetto ovunque, e indirettamente anche in Italia. Gli standard digitali USA compatibili con il sistema analogico non ebbero in verità un successo neanche lontanamente equivalente a quello del GSM, sia per i peccati originali di impostazione già commentati e sia per difetti intrinseci delle architetture di rete: non esisteva il servizio SMS, l'architettura non prevedeva il *roaming* in modo nativo.

Il sistema GSM, nonostante fosse percepito di matrice europea, e quindi "sospetto" nell'ottica americana, venne preso in seria considerazione da alcuni operatori USA per realizzare le loro reti. Lo chauvinismo è sempre di casa nel mondo, ma la forza del denaro spesso lo può mettere da parte.

Nel 1994 negli USA nasce allora, in contrapposizione al GSM, un sistema in tecnica CDMA (Code Division Multiple Access) a banda intermedia. È proposto esclusivamente dalla californiana Qualcomm, il cui *know-how* è derivato da contratti nelle telecomunicazioni militari. L'italoamericano Andrew Viterbi, autore di tanti studi fondamentali nel campo del radiomobile, ne è uno dei soci. Il sistema viene standardizzato ed è denominato IS95, e successivamente assume anche il nome commerciale di "CDMAOne". Per alcuni aspetti può essere ritenuto più "moderno" (limitatamente alla tratta radio) del sistema GSM, tanto è vero che Qualcomm lo denomina come di generazione 2,5 mentre il GSM è di generazione 2. Qualcomm è aggressiva nel tentare di esportare questo standard in altri paesi al di fuori degli USA e si adopera in tutti i consessi internazionali per dimostrare a tutti che teoricamente IS95 è migliore e più efficiente del GSM. Ciò origina un forte dibattito scientifico perché viene fatto un confronto tra un sistema in esercizio ed uno ancora sulla carta e non del tutto noto. Gli obiettivi di questa aggressività sono tre. Il primo è la vendita di apparati di infrastruttura, il secondo lo sfruttamento degli IPR (brevetti), e il terzo è la vendita di *chipset* soprattutto per i terminali. Per la realizzazione dei *chipset* il *know-how* di Qualcomm per un sistema così complesso è premiante. Comunque i brevetti in particolare costituiscono un vero *core business*. Qualcomm è infatti estremamente aggressiva nella monetizzazione dei suoi "brevetti essenziali" (IPR), per i quali chiede somme ben al di sopra dell'uso corrente.

## La terza generazione<sup>12</sup>

### *1995-2001. I prodromi della terza generazione. La competizione sugli standard è ormai mondiale*

Dopo il 1995 il GSM fu adottato da gran parte dei nuovi operatori e si espanse nel mondo. La GSMA (GSM Association, la associazione degli operatori) superò velocemente il centinaio di membri. La competizione mondiale sullo standard vide ancora come avversario il sistema americano IS95 di Qualcomm. Qualcomm ne dominò la gestione: facendo leva sulle licenze dei suoi IPR confinò su posizioni secondarie gli altri *vendor* americani del sistema (Nortel, ATT,

<sup>12</sup> Bekkers 2001.

Motorola) che furono messi in difficoltà dalle condizioni dei brevetti Qualcomm. Gli altri standard numerici di matrice USA (D-AMPS, ecc.) si dimostrarono perdenti e andarono man mano in dismissione, mentre lo standard IS95 della Qualcomm rimase temibile soprattutto nei paesi soggetti all'influenza economica USA. In Corea del Sud lo standard IS95 fu vincente, venne accettato da un operatore alternativo in Giappone, mentre fu contenuto in Cina. Perse nel tempo la partita col GSM in Sud America ed Africa. Un ruolo essenziale nel consolidare lo standard GSM nel sub-continente sudamericano fu indubbiamente svolto dal gruppo STET che in quel tempo si espanse aggressivamente in quell'area conquistando licenze di reti cellulari in quasi tutti quei paesi.

Intanto Qualcomm iniziò lo sviluppo di una versione a larga banda (con il nome di CDMA-2000 in varie versioni successive) nell'ottica della futura terza generazione (quella detta 3G).

### *La strategia del Giappone sulla terza generazione (3G), ed il ruolo di NTT DoCoMo*

Il Giappone disponeva da tempo di un proprio standard di rete cellulare digitale (PDC) molto sviluppato in termini di utenza, ma limitato al solo territorio nazionale. L'intera strategia industriale del Giappone in questo campo fu tradizionalmente gestita in modo totalmente autocratico dall'*incumbent* che è NTT DoCoMo. DoCoMo è l'acronimo dello slogan "Do Communications Mobile", aggressivo come impostazione, anche se in un inglese non proprio ottimo. La pronuncia corrisponde invece alla parola giapponese "ovunque".

NTT DoCoMo, insieme al proprio governo, decise infine di cambiare la politica isolazionista tradizionale. Avendo perso il "treno" del GSM, puntò sulla conquista di una posizione preminente nel futuro standard 3G, utilizzando un momento di disattenzione di molti produttori europei che, impegnati sui miglioramenti del GSM verso il GPRS per i dati e verso la versione Edge del GSM a banda più larga, non ritennero particolarmente prossima la necessità di una 3G e non prestarono molta attenzione a questo argomento. Inebriati dal successo presente persero un po' di vista la prospettiva di evoluzione. Al contrario NTT DoCoMo investì grandi risorse sia negli studi di fattibilità che negli sviluppi. Per ottenere credibilità e consenso internazionali, si adeguò in questa fase alle linee guida dell'organizzazione internazionale ITU per il sistema 3G. In ITU il sistema era allora denominato burocraticamente con il faticosissimo acronimo FPLMTS (Future Public Land Mobile Telephone System). Poi cambierà questo scioglilingua nel più pronunciabile UMTS. Le linee guida generali di ITU avevano solo un valore "ideale". Erano sostanzialmente un mezzo per ri-affermare il ruolo istituzionale di ITU, messo ormai in pericolo dai successi delle iniziative "regionali" come ETSI in Europa.

Un aneddoto a proposito di queste linee guida. Il fatto che le linee guida fossero solo un desiderio nominale era esemplificato dal fatto che si prescriveva per il sistema 3G una banda di 2 Mb/s per portante, indipendentemente dalla banda RF effettivamente disponibile. A quel tempo non c'era alcun esempio di assegnazione. Questi 2 Mb/s assunsero comunque un significato così "dog-

matico” da impedire alcun dubbio ed alcuna critica sulla effettiva fattibilità. Un meccanismo come quello famoso de “il re è nudo”, lo vedevano tutti ma non lo diceva nessuno. Di fatto, con le assegnazioni di banda di frequenza effettivamente ipotizzate, la banda disponibile per portante si limitò ben più modestamente ai 384 kb/s, ma questa discrepanza non veniva mai ufficialmente sottolineata.

### *L'effettiva scelta dello standard di accesso radio per il 3G. Le premesse*

NTT DoCoMo si orientò verso il CDMA, in particolare per la versione chiamata WCDMA, dove “W” stava per *wideband*. Per internazionalizzare l’impegno della sua decisione, attivò un “sistema ecologico” di sviluppo di ampiezza internazionale. Per la prima volta nella sua storia NTT DoCoMo distribuì, in Giappone, contratti di realizzazione sperimentale del sistema non solo ai suoi tradizionali partner giapponesi come NEC, Panasonic e Fujitsu, ma anche a Ericsson, Nokia, Lucent. Ericsson e Nokia erano i membri europei del mondo NTT DoCoMo, ma erano membri importanti anche di ETSI e erano stati scelti in questo caso perché già presenti in Giappone nelle forniture per il mercato “chiuso” domestico. Ericsson e Nokia percepirono così l’opportunità di guadagnare vantaggio nei confronti dei loro tradizionali competitori in Europa e nel resto del mondo (Siemens, Alcatel, Northern Telecom, ecc.) e fecero propria come loro proposta in ETSI lo standard proposto da NTT DoCoMo.

Ericsson e Nokia dunque, ambedue leader nell’area radiomobile, decisero di dimenticare la loro tradizionale rivalità. Si adoperarono, con successo, per convincere gran parte degli operatori mobili a propendere per questa proposta giapponese: il ruolo degli operatori mobili era determinante, dato il loro “peso” formale nelle decisioni e votazioni di ETSI. Questo approccio di Ericsson e Nokia aveva ovviamente l’obiettivo di mettere in posizione di svantaggio le altre industrie di telecomunicazioni, concorrenti di Ericsson e Nokia. Molte di queste (Siemens, Alcatel, Bosch, Northern Telecom fra le principali, ed Italtel con Siemens), decisero invece di proporre una tecnica diversa, mista TD – CDMA. Vale a dire con accesso CDMA su una struttura a slot a divisione di tempo. Una posizione di rilievo in questa strategia generalizzata degli operatori fu tenuta da Tim, che firmò per conto proprio un accordo formale di collaborazione, direttamente con NTT DoCoMo.

La struttura della divisione di tempo adottata per il TD CDMA era progettata per essere compatibile con il GSM, in modo da semplificarne l’affiancamento in rete, al contrario della proposta WCDMA giapponese. Questa infatti, a questo stadio, nonostante affermazioni ufficiali al contrario, non teneva conto di problematiche di compatibilità con il GSM, per la ovvia ragione che NTT DoCoMo del GSM non aveva alcuna conoscenza diretta, ne’ alcun coinvolgimento storico. La proposta TD CDMA, oltre ad avere le stesse tempificazioni del GSM, aveva inoltre una minore probabilità di scontrarsi con i brevetti Qualcomm. Qualcomm infatti dominava sulla tecnica CDMA e le *royalties* sui suoi brevetti erano un pedaggio obbligato per tutti i produttori. TD CDMA inoltre rendeva possibile una maggiore flessibilità nella distribuzione del traffico grazie ad una opportuna gestione degli slot temporali. Per contro il WCDMA aveva il grosso vantaggio di

essere più consolidato, e di avere dietro di sé una storia di maggiori investimenti e di realizzazioni sperimentali molto più avanzate. Inoltre aveva il consenso e supporto dei principali operatori, consenso che politicamente era molto pesante.

Nello scenario mondiale si affacciò anche la Cina. Con l'UMTS la Cina apparve per la prima volta nelle proposte di standard di telecomunicazioni. La Cina, conscia del fatto che in questo frangente ci si giocava il grado di indipendenza tecnologica a fronte di una potenziale subordinazione, propose uno standard di accesso detto TD SCDMA al quale stava già lavorando da qualche tempo ("S" sta per "sincrono"), "parente" stretto della proposta TD CDMA<sup>13</sup>.

### *Come fu che la proposta WCDMA fu adottata da ETSI*

La decisione su quale dei due standard adottare ebbe luogo a Parigi nel gennaio 1998, nell'ambito di una assemblea generale ETSI. Per statuto, la proposta vincente doveva superare nelle votazioni (pesate) dei membri un quorum maggiore di 70/30. Alla prima votazione il vantaggio del WCDMA fu solo 60/40. Alla seconda un poco di più, ma sempre sotto la soglia necessaria. Nella notte precedente alla ripresa dei lavori per il proseguimento dei turni di votazione, un membro importante del campo TD-CDMA incontrò privatamente il campo avverso e raggiunse separatamente un accordo. Venne concordata una soluzione mista.

Vi si adottava la tecnica WCDMA (da rendere però compatibile con il GSM) come standard nella applicazione principale, vale a dire nelle bande FDD (FDD – Frequency-Division-Duplex, ove le direzioni uplink e downlink sono separate in frequenza). Veniva invece adottata la tecnica TD-CDMA come standard secondario, nelle assegnazioni di frequenza a banda indivisa, cioè con separazione delle due direzioni con la tecnica TDD, Time-Division-Duplex.

Il compromesso così raggiunto fu quindi adottato con votazione a larga maggioranza nel giorno successivo. Il quorum era superato. Non tutti i membri del gruppo delle industrie aderirono al compromesso, anche perché non erano stati informati in anticipo dell'iniziativa, ma ormai la cosa non aveva più rilevanza. Così WCDMA vinse, ma con l'accordo che doveva essere reso compatibile con il GSM<sup>14</sup>. Si noti che questa decisione era estremamente importante, ma non aveva valore mondiale, ETSI infatti aveva "tecnicamente" solo una giurisdizione europea. Ogni altro continente, o meglio, ogni area geografica dove risiedevano gli attori più importanti delle vicende delle reti mobili, aveva una propria organizzazione per la definizione degli standard. Le aree chiave, oltre ad Europa ed USA, erano Giappone, Cina e Corea del Sud. ITU, che invece è parte dell'ONU, effettivamente aveva come propri membri tutte le organizzazioni governative del mondo, ma non era in grado di gestire direttamente una posizione così complessa. Occorreva principalmente includere gli USA, dove la Qualcomm aveva elaborato una sua proposta per la 3G, denominata CDMA2000. Questa

<sup>13</sup> Shi Mingtao 2009.

<sup>14</sup> Bekkers 2001.

proposta era diversa da WCDMA, e se non fosse stata inclusa formalmente nella definizione del nuovo standard 3G, Qualcomm avrebbe potuto assumere una scomoda posizione di disturbo nelle questioni degli IPR. Negli stessi giorni proseguirono dunque le negoziazioni con i rappresentanti degli altri continenti. Fu raggiunto un accordo e fu lanciato il cosiddetto 3GPP (3rd Generation Partnership Project).

Lo scopo del 3GPP era di determinare i dettagli degli standard dell'UMTS. Il 3GPP era poi suddiviso in GPP1, che si occupava del WCDMA, e GPP2, per lo standard americano derivato dal CDMA2000. La Figura 3 rappresenta graficamente sulla geografia mondiale la distribuzione delle organizzazioni leader per lo standard, e riporta questa situazione di compromesso.

Lo standard 3G rimase nominalmente universale nell'ambito ITU e venne definito "famiglia unica di standard" per mantenere almeno nominalmente questa apparenza e prese la denominazione ITU di IMT2000. In realtà i tre membri della "famiglia" che IMT2000 comprendeva erano diversi, per di più in competizione fra loro in moltissime aree geografiche. In questa competizione un aspetto chiave era la compatibilità con il sistema cellulare di generazione precedente. Per questo WCDMA, compatibile con il GSM, era avvantaggiato nelle scelte di realizzazione dove reti GSM esistessero già.

### *3G: un nuovo mercato o una nuova tecnologia evolutiva per lo stesso mercato? L'UMTS come una fase della ricerca continua di una nuova killer application*

Il fantasmagorico successo dei servizi mobili aveva affascinato il mercato, i visionari del marketing e gli investitori. Il successo ed il fatto che venissero continuamente superate le previsioni sembrava la regola. L'aspettativa era che questa situazione dovesse essere continuamente replicata. Per quello che riguardava le reti GSM, esaurita la innovatività nei servizi voce, si era proseguiti con l'inventiva negli schemi tariffari, ma le aspettative erano ormai superiori. L'attenzione era ora focalizzata sui "nuovi servizi" e ovviamente sui ritorni economici che ci si attendeva da essi. I nuovi servizi non potevano che essere basati sulla trasmissione dati e i servizi a pacchetto GPRS sembravano il primo passo in questa direzione.



**Figura 3.** Le principali organizzazioni di standardizzazione che ebbero influenza nel determinare gli standard della terza generazione 3G.

Già era iniziata la ricerca della *killer application*, cioè di quel servizio, ancora non esistente, che potesse potenzialmente interessare al 100% della popolazione di utenti e che producesse un nuovo “flusso” di ricavi aggiuntivi, che si sommasero a quelli raggiunti per i servizi voce. La convinzione che, da qualche parte, esistesse una *killer application* da scoprire, giustificava l’inventiva degli operatori e delle società di sviluppo dei servizi che li affiancavano. La ricerca di questa *killer application* era dunque divenuta una specie di ricerca del “sacro graal”. In questo contesto l’influsso dei responsabili del marketing era diventato sempre più potente e il ruolo della tecnologia declinava nel frattempo. Si pensava che la storia passata, di grande successo, non poteva che ripetersi ed era solo questione di individuare le mosse giuste. Da dove dovevano partire le mosse giuste? La crescita sempre più evidente di Internet (anche trascurando quella che poi diventerà la “bolla internet”) era un chiaro segnale. In questo quadro complessivo la fede nel potere taumaturgico del *First-to-Market* era inoltre cieca. Tutte queste aspettative avevano naturalmente diretta influenza sugli sviluppi tecnologici e sul modo di condurre e finalizzare i progetti. Divenne sempre più diffusa la tattica degli “annunci più veloci del pensiero” ed alcune volte anche più veloci della logica. Tanti esempi, si possono fare, in tutte le direzioni possibili. Si inventò il WAP (Wireless Application Protocol) e lo si promosse come fosse un servizio quando era “solo” una tecnologia di piattaforma. E da mettere ancora a punto (allora fu un “flop” commerciale, ma ora la piattaforma WAP ha mantenuto la sua valenza tecnica ed è comunemente usata). Si moltiplicarono le idee e le sperimentazioni sui servizi di pagamento, ciascuno fatto in modo diverso e dimenticando la necessità di accordi con il mondo bancario, nel cui territorio il servizio si muoveva. Si pensò che la trasmissione di immagini, i cosiddetti MMS, evoluzione naturale degli SMS, fossero la nuova fonte di *revenues* sostanziali. Si cominciò a pensare a servizi video sui telefonini, immaginando che le video conversazioni mobili potessero, loro, essere la nuova *killer application* – dal telefonino al videofonino. Ci si inventò la visualizzazione dei “goal” di calcio sul microschermo dei telefonini. E così via ... Tutti cercavano la scorciatoia giusta, e tutti per la fretta sembravano voler dimenticare che la sequenza inesorabile dello sviluppo di ogni nuovo servizio aveva da sempre seguito la stessa evoluzione a fasi successive:

- prima le grandi organizzazioni ed i business,
- poi i professionisti,
- successivamente i privati ad alto reddito,
- infine i “consumatori”.

Puntare direttamente ai consumatori superando gli altri stadi era una scorciatoia quanto meno concettualmente ardita. Ma poiché la storia non si ripete mai uguale e gli innovatori fanno cose inattese, mentre vanno in stampa queste righe la introduzione dell’i-Phone sembra avere portato alla scorciatoia cercata. Non è emersa la *killer application* e al contrario c’è una miriade di applicazioni disponibili, ma i-Phone sembra avere raggiunto direttamente un particolare gruppo, invero assai esteso, di consumatori di massa. Alcune volte si dice che è Internet stessa ad essere la *killer application*.

### *L'episodio dei servizi PTT, come un esempio indicativo delle disfunzioni nella ricerca della killer application*

Un esempio lampante in questa ricerca della *killer application*, condotta anche in modo un poco avventato, è costituito dalla idea dei servizi cosiddetti PTT (Push-To-Talk). Merita citare questo caso come esempio e compendio dei meccanismi e delle distorsioni che questa ansiosa ricerca generalizzata portava con sé.

Di fatto, l'ansia di competere ed "arrivare primi", produceva una eccessiva indifferenza da parte di chi prendeva le decisioni nei riguardi di aspetti tecnici di fondo che invece potevano giuocare un ruolo fondamentale. Lo si cita qui anche per la rilevanza non trascurabile delle attività di sviluppo che comportò, e per la riscoperta dei problemi di interoperabilità che erano stati la colonna portante del GSM, ma dei quali l'"ambiente" si era evidentemente dimenticato. Il PTT è tradizionalmente la metodologia di comunicazione usata nelle reti radio professionali, quelle della polizia, sicurezza, interventi di protezione sanitaria, ecc. In essa le comunicazioni non sono individuali. Avvengono tipicamente all'interno di uno stesso gruppo che ha un comune obiettivo operativo. La comunicazione di gruppo è una risorsa sempre a disposizione del gruppo interessato, e le procedure di comunicazione sono caratterizzate dal cosiddetto "passo e chiudo" di filmica memoria. È di per sé un modo di funzionare reso necessario da situazioni con limitata disponibilità di canali, o di larghezza di banda, e quindi di risorse. Nacque decenni prima della nascita delle reti cellulari. Il modo PTT è spesso considerato dagli addetti ai lavori come una prestazione di "serie B" rispetto alla chiamata "duplex" tipica della telefonia, in cui ambedue possono parlare contemporaneamente, tipica delle reti cellulari.

La rete americana Nextel fu l'origine di tutto. Era avvenuto che negli USA, grazie alla grande influenza locale della Motorola, leader storico tradizionale nelle reti radio professionali, era stata realizzata una rete nazionale costruita non sullo standard delle reti di telefonia cellulare, ma su una versione moderna degli standard delle reti radio professionali (detta iDEN, di Motorola). Questo standard era orientato a supportare in modo "nativo" il modo PTT. Lo standard Tetra, più noto in Europa, è il cugino di origine ETSI per gli stessi impieghi "professionali" (polizie, pompieri, ambulanze, ecc. ma anche società di manutenzione, società di trasporto, servizi negli aeroporti, ecc.). L'operatore che aveva realizzato e gestiva la rete ed il relativo servizio aveva il nome di Nextel, ed era finanziato in parte da Motorola stessa. Gli utilizzatori della rete Nextel erano organizzazioni professionali, piuttosto che individui. Le tariffe erano particolarmente convenienti, ed il successo era notevole (anche perché le reti cellulari USA esistenti avevano i difetti di origine di cui si è detto più volte). Gli esperti di mercato dei servizi cellulari in Europa intravidero nell'introduzione di questa prestazione PTT nelle proprie reti una grossa nicchia di mercato. Poteva essere indirizzata sia agli utilizzatori professionali e sia ai consumer a bassa spesa, come servizio "di gruppo", legato quindi ad un certo tipo di socializzazione o di attività comune. Pensarono così di introdurla sulle proprie reti cellulari: purtroppo le reti cellulari erano impostate a commutazione di circuito, ed in modo "nativo" su collegamenti duplex e il PTT non gli si confaceva proprio. Il risultato fu che

usarle tal quale in modo PTT si impiegavano più risorse e si faceva aumentare il costo del collegamento, invece di diminuirlo. Dal punto di vista tecnico, l'unico modo conveniente (dal punto di vista dei costi) era allora quello di usare il trasferimento GPRS a pacchetto, con tecniche di *store-and-forward*. Peccato che questo introducesse, fisiologicamente, ritardi fra *push* e *talk* anche di parecchi secondi, e quindi non tollerabili. Invece nelle reti PTT progettate con questo specifico obiettivo, questo ritardo è tipicamente dell'ordine di qualche decimo di secondo e non è percepibile all'utilizzatore. Tutti però dovevano lanciare i servizi PTT, meglio se *first-to-market*. Su questa esigenza si scatenò dunque fra i produttori di infrastruttura una gara per introdurre la prestazione nelle proprie infrastrutture di rete. Naturalmente la competizione eliminava qualsiasi coordinamento. Le soluzioni su tecnologie di infrastruttura diverse erano proprietarie e non interoperabili. Questo conflitto fra *first-to-market* ed interoperabilità era di derivazione dal mondo dell'informatica, dove in generale il primo arrivato è quello che ha successo e poi determina lo "standard de facto". Non è così nel mondo delle infrastrutture "pesanti", ma non tutti se ne ricordarono. Infine, fu grazie ad una iniziativa specifica di Tim nell'ambito della GSM Association che il problema della interoperabilità venne portato all'attenzione. Furono quindi presi i provvedimenti per definire in comune una specifica che tenesse conto dei problemi di interoperabilità, che effettivamente fu poi raggiunta<sup>15</sup>. La questione del ritardo dopo il *push* però non fu mai completamente superata. Il servizio è attualmente un "modo" previsto su gran parte dei terminali di utente che si comprano sul mercato. Ha diversi nomi commerciali a seconda del gestore, ma non è molto usato. Un'altra vittima nella ricerca della *killer application*.

### *Ancora sul ruolo percepito per l'UMTS, e su alcune importanti conseguenze pratiche. I primi sfoltimenti del mercato*

Il consenso generale sulle previsioni di mercato si rifaceva al "mantra" (un termine di gergo divenuto comune per "principio informatore universalmente accettato") che i servizi dati fossero "un nuovo mercato". "Quindi" l'UMTS, che garantiva una banda molto maggiore delle reti precedenti appariva più adatto ai nuovi servizi dati, e quindi era "per definizione" la tecnologia di un nuovo mercato. Ma questi servizi possedevano effettivamente la natura di un nuovo "moltiplicatore personale"? Moltiplicavano qualche esigenza della persona già esistente, o erano solo un ausiliario dei servizi voce? Le conseguenze in termini economici di questa generale aspettativa furono tutt'altro che trascurabili.

### *La prima fu la corsa alle licenze UMTS in Europa ed in Italia*

Il travolgente successo delle reti GSM aveva rinforzato la convinzione dei governi che fosse opportuno appropriarsi, questa volta in anticipo, di una parte della nuova ricchezza che sarebbe stata generata. Il meccanismo che fu generalmente

<sup>15</sup> Nokia White Paper 2003.

individuato era la concessione onerosa delle licenze UMTS. La massimizzazione dei ritorni fu individuata nel meccanismo delle aste. Gli operatori esistenti, o potenziali tali, non potevano evidentemente che stare a questo gioco. In generale sembravano però convinti che il rapporto costi-benefici rimanesse sempre alto, per quanto alto fosse il valore pagato per la licenza. A concorrere alle licenze UMTS, in nazioni dove esistevano già quattro operatori GSM, si presentarono oltre agli operatori esistenti anche consorzi concorrenti nuovi, i cosiddetti *green field*. Questi dovevano puntare su una rete totalmente nuova, senza avere il supporto economico garantito internamente da una rete cellulare esistente. Si “celebrarono” quindi aste di licenze in Inghilterra ed in Germania, seguite poi dall’Italia. I prezzi delle licenze raggiunsero livelli sorprendenti, inverosimili rispetto ad aspettative ragionevoli. Al livello di parecchie decine di MILIARDI di euro in ogni paese, e quasi un centinaio di miliardi di euro complessivamente:

Nel Regno Unito , 5 licenze fruttarono un totale approssimativo di 35 miliardi di euro. In Germania, 6 licenze un totale approssimativo di 48 miliardi di euro e in Italia, 5 licenze un totale approssimativo di 15 miliardi di euro. Questa vicenda era dunque diventata di tale rilevanza economica da assumere sembianze equivalenti ad una forte politica industriale. Si “asportavano” infatti in questo modo dall’industria delle telecomunicazioni risorse complessivamente per un centinaio di miliardi (!) di euro, per iniettarle nei rispettivi bilanci governativi. Era un esempio della fiducia nel “mantra del nuovo mercato”; le licenze erano un anticipo dei guadagni futuri attesi nell’area delle telecomunicazioni.

Il dilemma che nessuno si pose era se tutti quei fondi non sarebbero stati più utili, nell’interesse stesso di ogni singolo paese, se almeno in parte non fossero rimasti nell’ambito dell’area delle telecomunicazioni, piuttosto che per gli impieghi di bilancio che ne avrebbero finito per fare i governi stessi.

### *Le licenze in Italia e l’inizio dello shake out*

La fase di *shake out* è una fase classica nel ciclo generalizzato riconosciuto valido per qualsiasi prodotto/mercato. Essa si presenta quando le circostanze cessano di essere favorevoli indistintamente per tutti i partecipanti. Nessun ciclo di prodotto ne è escluso. Le licenze UMTS furono di fatto l’inizio dello *shake out* fra gli operatori in Italia. A concorrere per l’acquisizione delle licenze si presentarono tutti e quattro gli operatori Tim, Vodafone-Omnitel, Wind e Blu, e due consorzi *greenfield* Ipe2000 e H3G.

Blu si ritirò dalla competizione durante l’asta. Questo fu il primo passo della sua scomparsa dal mercato. Ipe 2000, che aveva come socio più importante Telefonica, il principale operatore spagnolo, si aggiudicò una licenza, ma non cominciò mai a realizzare la rete.

Solo H3G sopravvisse e tentò la sua fortuna. Avviò una politica di immagine di fortissima differenziazione nei servizi rispetto agli altri operatori, che di fatto rimanevano inizialmente alla finestra. H3G, poi semplicemente “3”, inventò anche il nome “videofonino” per sottolineare la sua natura di “mobile video company”. In realtà sul mercato attivò una politica di forti sconti per attirare a sé gli utenti ad alta spesa dagli altri operatori. Tutto questo non risolse del

tutto le sue problematiche economiche e le fece avviare anche iniziative non tradizionali per la riduzione dei costi. Utilizzò infatti anche iniziative innovative nel campo dell'esercizio: ad esempio con l'outsourcing della gestione della rete che fu affidato ad Ericsson.

### *I produttori di tecnologia e l'UMTS*

Dell'intero panorama delle vicende si può menzionare qualche caso che interessa direttamente l'Italia. La Siemens in Italia si era separata da Italtel e nella separazione aveva mantenuto la missione delle infrastrutture cellulari. Fra queste, le risorse di Ricerca e Sviluppo radiomobile precedentemente di Italtel. Per rimanere al passo, ed in mancanza di precedenti propri sviluppi nel WCDMA, Siemens dovette definire un accordo strategico con la giapponese NEC (Nippon Electric Company) partner molto stretto di NTT DoCoMo, leader nelle infrastrutture. In queste condizioni, nonostante alcuni co-sviluppi, il controllo strategico del prodotto rimase però profondamente controllato dall'alleato NEC. Siemens decise comunque di muoversi anche in altri campi. Decise di sviluppare lo standard Cinese TD SCDMA, in collaborazione con industrie cinesi. Avviò questo proprio sviluppo nei laboratori ex Italtel in Italia.

*Le antenne "intelligenti".* Una importante ricerca autonoma svolta dall'area ex-Italtel in questo periodo riguardava le "antenne intelligenti". Questa tecnologia



**Figura 4.** "Antenna intelligente ad "array" (antenna "a schiera") per GSM installata su una cella sperimentale a Milano.

doveva essere in grado di orientare successivamente e dinamicamente il “lobo di irradiazione” dell’antenna di una cella verso il luogo dove effettivamente ogni singolo utente man mano si trovava. Si potevano raggiungere nell’ambito della rete migliori efficienze spettrali, migliore qualità e riduzione delle interferenze, o, a parità di queste, una capacità più alta<sup>16</sup>.

Fu realizzato un sistema sperimentale, e prove sul campo furono eseguite sia in Italtel che nel “campo di misura” dello CSELT a Torino. La Figura 4 è una fotografia dell’antenna intelligente installata presso i laboratori ex-Italtel a Milano<sup>17</sup>.

Siemens continuò ovviamente ad investire grandi risorse anche per gli sviluppi di miglioramento degli apparati di tecnica GSM. Una buona parte di questi sviluppi era condotta in Italia. Gli altri fornitori “italiani” di tecnologia UMTS erano in realtà solo ‘veicoli’ della tecnologia sviluppata nelle rispettive case madri fuori dall’Italia: Ericsson, Nokia, Alcatel, Northern Telecom, Lucent, ecc. Molti di questi, come ad esempio Northern Telecom e Lucent, nei tempi successivi, seguendo le vicende delle loro case madri sparirono del tutto.

### *Un ultimo cenno sulla evoluzione di Qualcomm negli USA*

La Qualcomm aveva conquistato un ruolo dominante nella tecnologia CDMA, in particolare sugli standard CDMAOne e CDMA2000. Aveva però incontrato grosse difficoltà economiche nella parte eminentemente industriale, vale a dire come produttore di apparati di infrastruttura e di terminali. Il suo business di gran lunga migliore erano le royalties sui brevetti, seguito da vicino da quello di realizzazione di chip dedicati che incorporassero le caratteristiche fondamentali dei suoi standard. Qualcomm decise dunque di uscire dal business industriale, che era in forte perdita. Adottò una strategia analoga a quella più nota della Intel nei PC (quindi, parafrasando, dallo slogan “Intel inside” al “Qualcomm inside”), concentrandosi quindi solo sulla componentistica specializzata. Vendette il business delle infrastrutture al suo ex-arcinemico Ericsson. Ericsson così entrò alla grande nello standard cellulare principale USA dal quale era finora preclusa.

### *L’entrata in servizio delle reti UMTS*

Luglio 2001 era la data stabilita a livello mondiale per l’entrata in servizio delle prime reti UMTS.

La data era estremamente ambiziosa: era stata definita quando lo standard era ancora lungi dall’essere totalmente definito. Ad esempio l’introduzione della compatibilità con il GSM fu un duro compito e prolungò la finalizzazione dello standard. Nella realtà la data fu rispettata in maniera formale dalla sola NTT DoCoMo, peraltro con la sua versione originale di sistema, non compatibile col GSM, chiamata FOMA. Il 2003 fu la reale data di entrata in servizio dell’UMTS.

<sup>16</sup> Giancola et al. 1999a, 1999b.

<sup>17</sup> Bucci et al.2000.

Ancora una volta si riproduse il meccanismo dei ritardi nella disponibilità dei terminali in volumi sufficienti per alimentare il mercato, visto per la prima volta già con il GSM. Basta ricordare che in quella circostanza gli operatori con le reti pronte sul campo finirono per coniare per disperazione un altro significato per la sigla GSM: ‘God Send Mobiles’. Questo meccanismo di penuria iniziale di terminali è un fatto fisiologico ed ineludibile per l’avvio di ogni nuovo standard di rete. Infatti, lo sviluppo del servizio è condizionato dalla disponibilità di terminali. Ma questi agli occhi del pubblico debbono essere competitivi sia come costi che come dimensioni, se posti a confronto dei terminali delle generazioni precedenti. Quindi con obiettivi tanto più sfidanti quanto più la rete precedente era sviluppata. Si genera così un evidente circolo vizioso. I produttori di terminali non vogliono e non possono investire pesantemente sui nuovi terminali fino a tanto che non sono sicuri che le reti siano effettivamente messe a punto. Infatti, probabili interventi di correzione su grossi volumi di terminali già forniti agli utenti sono estremamente dannosi per l’immagine, e sono un suicidio economico per il loro costo. Le reti, però, per essere messe a punto, hanno bisogno della presenza in campo di numerosi terminali. Il risultato netto è che la disponibilità dei terminali al lancio di una rete di nuovo standard è particolarmente limitata, e tale rimane per qualche tempo. Una vera disponibilità di terminali su una rete di nuovo standard si verifica solo alla seconda generazione dei terminali, quindi almeno uno/due anni dopo la prima attivazione della rete. Dunque anche laddove esistevano reti i terminali nuovi si vendettero in ridotta quantità, ma l’attesa prodotta dal marketing aggressivo fece ridurre anche la vendita di terminali GSM che il pubblico considerava superati. In tutti i paesi l’entrata reale in servizio dell’UMTS avvenne nell’anno 2003. Per di più non tutti gli operatori assegnatari di licenza realizzarono immediatamente la propria rete UMTS. Alcuni operatori, specialmente gli *incumbent* potevano continuare a sfruttare il flusso di ricavi delle loro reti GSM ed adottarono una posizione di attesa ritardando gli esborsi finanziari per gli investimenti.

### *In Italia il ruolo di trascinamento fu svolto da H3G*

Dati gli elevatissimi livelli di penetrazione già raggiunta da parte dei servizi mobili, non esisteva una “riserva” sostanziale di nuovi utenti potenziali su cui focalizzarsi commercialmente. Tim e Vodafone avevano nell’insieme la grande maggioranza dell’utenza cellulare. Quindi il loro “parco utenti” era la principale sorgente di utenti per H3G. Le iniziative commerciali di H3G ovviamente “attaccarono” questo parco e costrinsero nel tempo sia Vodafone che Tim ad imitarla per difendere la propria utenza. Quanto a Wind, essa aspettò ancora più a lungo a realizzare la propria rete.

### *Anche la concorrenza nella realizzazione delle reti prende nuove forme*

Per quello che riguarda le reti, in questo mercato non più così espansivo, la concorrenza fra provider tecnologici per la realizzazione delle reti cominciò a manifestarsi anche in aspetti non tradizionali. E non solo in Italia. “Tradizio-

nalmente”, la concorrenza nelle infrastrutture, una volta che una rete era stata imposta sul territorio, era condizionata dalle compatibilità fra apparati distribuiti su di esso. Apparati dello stesso fornitore erano compatibili perché avevano le stesse interfacce, ed apparati di fornitori diversi erano incompatibili. Questo aveva condotto, nell’ambito di una rete nazionale, alla creazione di sub-aree “tribali”, ciascuna “monofornitore”. Le espansioni e gli upgrade di prestazioni dovevano così seguire questa stessa filosofia. Introdurre nuove tecnologie avrebbe significato dover dismettere per problemi di compatibilità mutua anche importanti quantità di apparati sullo stesso territorio, spesso non totalmente ammortizzati. Inoltre esisteva il probabile pericolo di prolungate cadute di qualità del servizio. Questa limitazione progressivamente cadde grazie all’esperienza raggiunta nella rapidissima realizzazione di tante nuove reti (il cosiddetto *rollout* già citato). Divenne così d’uso abbastanza frequente il cosiddetto *swap*, cioè la sostituzione in blocco in una determinata area geografica di TUTTI gli apparati di un fornitore (BTS, Controllori di BTS e sistema di supervisione) con gli equivalenti di un altro concorrente più appetibile. Queste dismissioni di massa di apparati, i cui esempi si moltiplicarono, finirono poi anche per alimentare un “mercato dell’usato”. Nacquero quindi a livello internazionale società di “brokeraggio tecnologico” specializzate nell’offerta di ri-uso. Gli apparati di infrastruttura dismessi, riciclati tramite queste organizzazioni di intermediazione, andarono spesso a realizzare nuove reti cellulari in paesi che non disponevano di capacità di investimento tali da permettersi apparati nuovi!

## Conclusione

Le vicende di cui ci siamo occupati proseguono ancor oggi. Poiché questo scritto è una retrospettiva storica si deve decidere quando alla storia subentra la cronaca. Abbiamo deciso, arbitrariamente, di arrestarci al 2005. Nella chiusa finale il lettore può aspettarsi di trovare delle conclusioni. In parecchi punti è possibile trovare alcune commenti parziali che, a modo loro traggono delle conclusioni relativamente alla vicenda narrata. Riflessioni più generali, in grado di mantenere validità nel tempo è assai difficile trarne, data la rapidità con la quale ormai si susseguono le novità tecniche. Dunque con l’interpretazione di ciò che è avvenuto nel passato, dopo averne dato una descrizione, si potrebbe chiudere. Ma gli “ingegneri che parteciparono l’impresa” – e quelli che scrivono furono tra quelli – non riescono ad evitare di pensare a progetti, e quindi di scommettere sul futuro. Ecco dunque perché nel seguito il lettore troverà alcune considerazioni, non conclusive in ogni caso, che si proiettano dall’oggi verso il domani. Tra qualche anno potrebbero rivelarsi fallaci o ingenui. Per queste gli autori invocano comprensione.

Prosegue ancora la ricerca della *killer application*. Per un certo tempo la TV su mobile è apparsa poter assurgere a questo ruolo. Si sono realizzate nuove reti sullo standard specifico DVBH (DigitalVideo Broadcast, Handheld), sovrapposte alle reti cellulari, e apparati terminali *dual mode* per questo scopo. Lo sviluppo del DVBH è tuttora in corso e probabilmente avrà sviluppi, ma non sembra che

nemmeno questa sia la *killer application* tanto cercata. Si è intanto evidenziata una potenziale concorrenza da parte della tecnologia Wi-Fi. Sostanzialmente respinta dagli operatori mobili, che faticavano a capirne le potenzialità complementari, ma sostenuta dall'industria dell'informatica, questa tecnologia finisce per fermarsi a metà strada. Senza il supporto dei gestori delle grandi reti, titolari di consolidati meccanismi di autenticazione di utenti di dimensione mondiale, essa non assurge ad un ruolo veramente importante, ma non muore, perché sostenuta "dal basso" da una industria indipendente, quella dei PC. Rimane però complessivamente una serie di appendici della rete fissa, più o meno pervasive. Ancora una volta si confronta una visione di rete completa, come quella cellulare, con una mera coda *wireless* della rete fissa. Però nel frattempo si è molto sviluppato il VoIP (Voice over IP), e quindi l'accesso a Internet tramite Wi-Fi porta una reale concorrenza soprattutto nelle chiamate originate da mobile in uffici e luoghi chiusi: questo, rimanendo fuori dall'area delle reti cellulari tradizionali, porterà ad una erosione del mercato mobile e potrà rappresentare una possibile tecnologia distruttiva, invece che complementare, in un mercato che nel frattempo in Italia è diventato sempre più avaro negli investimenti. Vi è stato infatti un processo di progressiva internazionalizzazione degli operatori, iniziata con la privatizzazione di Telecom, che ha portato alla progressiva perdita del controllo nazionale di tutti gli operatori alternativi. Ciò ha portato ad un consistente trasferimento all'estero dei profitti conseguiti in Italia per alimentare la casa madre in Inghilterra (Vodafone ex Omnitel) o in Egitto (Wind) ecc. Il territorio italiano è così diventato sempre più luogo di commercializzazione di servizi sperimentati altrove. Dopo che si era già persa la partita degli apparati e terminali con l'uscita di scena delle industrie nazionali è ora in dubbio che il nostro paese continui ad essere teatro di innovazione nei servizi come lo fu in passato. Gli investimenti si sono ridotti anche da parte di Telecom, alle prese con problemi di bilancio e finanziari e tutto ciò ha portato anche alla progressiva perdita di posti di lavoro ben qualificati che si erano prodotti nel momento di sviluppo del mercato. Ciò ha di molto ridotto l'immagine della telefonia mobile, anche se rappresenta tuttora il mercato più proficuo nel campo ICT.

In potenziale linea con Wi-Fi si è introdotta la tecnologia WiMax, per la quale alla data di questa relazione si sta ancora attendendo per capire se annoverarla tra i flop o se essa, riducendo le ambizioni originali, troverà una sua conveniente nicchia, magari nel settore del superamento del *Digital Divide*.

Sul piano dello sviluppo di nuovi servizi, si profila una evidente applicazione su mobile dei servizi internet e di posta elettronica che hanno ormai raggiunto una elevatissima penetrazione dopo che gli utenti ne avevano già fatto l'abitudine nella rete fissa. È un mercato interessante anche se non sarà una nuova *killer application*: infatti non è certo che il livello di profitto che ne conseguirà sarà equivalente ad un "nuovo mercato". Rimane infatti da risolvere il conflitto fra le tariffe *flat* ormai tipiche della rete fissa, e quelle "a consumo" che sono radicate nel DNA dei gestori mobili. Aumenta comunque la banda disponibile sui terminali tramite le tecniche HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) e HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), a dimostrazione di quanto la potenza della tecnologia permetta di superare limitazioni potenziali

create alle prime impostazioni del sistema. Questo fatto, unito alla presenza di terminali smart, i-Phone in testa, sta producendo un sorprendente aumento delle esigenze di banda che stanno crescendo a ritmi vertiginosi, creando sia problemi di incassi – i dati in proporzione rendono meno della voce – sia di sovraffollamento delle reti. La banda larga col mobile e con le “chiavette”, che insistono sulle stesse risorse, sta diventando urgente come la banda larga per il fisso. Se si riusciranno a fare gli investimenti necessari per la nuova rete in fibra ottica – NGN Next Generation Network – di ciò potrà beneficiarne anche il mobile, attraverso l'introduzione di celle piccolissime, femtocelle, che aumenteranno la capacità per utente a parità di banda complessiva disponibile in modo straordinario. A quel punto le due strategie *wireless* – tipo cellulare e Wi-Fi per intenderci – diventeranno probabilmente indistinguibili. È comunque necessaria una rivisitazione della impostazione delle coperture.

Più in generale oggi sia la rete, sia soprattutto il terminale personale, rappresentano un concentrato di tecnologia dalle potenzialità ancora inesplorate. Forse siamo alla vigilia di un nuovo modo di intendere l'uso del “telefonino” e le novità che ci attendono saranno nel campo della sicurezza, della sanità, della cura degli anziani ecc. Potrebbe verificarsi infine che l'immagine tanto sbandierata dello sviluppo del 3G che stava a cavallo tra un illimitato supermercato e un pervasivo Luna Park, si sposti un poco verso un utilizzo più legato ai nuovi bisogni che la società sta esprimendo. I nuovi terminali, sia della Apple che di Google possono condurre anche in questa direzione.

Intanto non si parla più di 4G, o quarta generazione, ma in maniera più *soft* di LTE (Long Term Evolution), e se questo significa che verso i potenziali clienti si pone l'accento non sulla nuova tecnologia ma sui nuovi servizi, che si inseriranno con gradualità nelle nostre abitudini, sarà certamente positivo perché aiuterà ad evitare errori già commessi in passato.

## Bibliografia

- Achler Attilio, 1997, “Easy GSM” Ed Tim Telecom Italia Mobile”.
- Bekkers Rudi, 2001, “Mobile Telecommunications Standards: GSM, UMTS, TETRA, and ERMES”, Artech House Mobile Communications series – Technology and Engineering.
- Bekkers Rudi, Duystens Geert, Verspagen Bart, 2002, *Intellectual Property Rights, Strategic Technology Agreements and Market Structure*, The Case of GSM, Elsevier Science.
- Bellisario Marisa, 1987, *Donna e Top Manager*, Rizzoli.
- Bucci A., Colamonico A., Donati M., Picciriello A., Spagnolini U., 2000, “Smart Antenna BTS Based on Software Radio Technique for GSM/DCS System” IEEE, VTC 2000.
- Cammarata Pio, 2001, *La chiameremo Italtel. Piccola storia di una grande sfida*, Alpha Centauri.
- EC, 1987, “Green Paper on the Development of a Common Market for Telecommunications Services and Equipment”, (COM 87) 290.

- Gatti Nicola, Scarati Carlo, Schinnaia Nicola, 2006, "Attività internazionale: dal Know how Exporting al Know how Sharing", *Notiziario Tecnico Telecom Italia*, n. 3.
- Giancola D., Girola U., Parolari S., Picciriello A., Spagnolini U., Vincenzoni D., 1999a, "Space-Time Processing for Time-Varying Co-Channel Interference Estimation in GSM/DCS Systems", Proceedings VTC'99 Houston, May.
- Giancola D., Girola U., Parolari S., Picciriello A., Spagnolini U., Vincenzoni D., 1999b, "Analysis of the Spectral Efficiency of a Fully Adaptive Antenna Array System in GSM/DCS Networks", Proceedings VTC'99 Houston, May.
- Hillebrand Friedhelm (ed. by), 2002, *GSM and UMTS. The Creation of Global Mobile Communications*, John Wiley&Sons.
- Meurling John, Jeans Richard, 2000, *The Ericsson Chronicle*, Stockholm, Ericsson.
- Mouly Michel, Pautet Marie-Bernadette, 1992, *The GSM System for Mobile Communications*, published by the authors.
- Nokia White Paper, 2003, "Push to Talk over Cellular. Real time Always-On Voice Service", October.
- Ramsdale P.A., 1994, "Personal Communications in the UK-Implementation of PCN using DCS1800", *International Journal of Wireless Information Networks*.
- Shi Mingtao, 2009, "Cellular Network in Germany and China: Policies, Technologies and Markets (Part 1)", *Business & operation*, n. 2.
- Turco Ermanno, Fedele Pasquale, *Le comunicazioni mobili: una storia in movimento*, Atti del 2° Convegno Nazionale. Storia dell'Ingegnere, Napoli 7/9 aprile 2008 Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali dell'Università di Napoli.

## Cinquant'anni di telecomunicazioni digitali ed uno sguardo al futuro: la convergenza informatica-telecomunicazioni e le nuove architetture di rete fissa<sup>1</sup>

### Premessa e fasi storiche dell'evoluzione delle reti

Il percorso verso la Società dell'informazione, in cui oggi siamo ormai pienamente immersi, è stato caratterizzato da una molteplice serie di convergenze tra diverse tecnologie con profondi effetti di *cross-fertilization*.

Particolare importanza, in questi processi, ha assunto la confluenza tra informatica e telecomunicazioni nel nuovo settore ICT (*Information & Communication Technology*) di cui elemento determinante è stato il grande sviluppo trasversale del software.

In realtà, per quanto si parli spesso e quasi esclusivamente di ICT, i *driver* dell'evoluzione delle reti di telecomunicazione sono assai più complessi. Un ruolo decisivo è stato, infatti, giocato dalla microelettronica e dalle tecnologie per la "compressione" dei segnali, discipline non catalogabili a priori in nessuno dei due campi, almeno come intesi tradizionalmente, costituenti l'ICT.

In virtù del comune trattamento numerico di tutti i tipi di informazioni e delle tecniche di trasmissione per pacchetti di *bit*, il primo traguardo conseguito è stato l'unificazione architetture delle reti fisse secondo il modello Internet, anche se con un nuovo e più generalizzato modello di utilizzo rispetto all'idea iniziale del Web. Da tale paradigma discende la possibilità di realizzazione di reti multiservizio in grado di far coesistere tutti i tipi di segnali che possono, per di più, essere erogati in tempo reale o differito e con qualunque modalità di comunicazione adottata (*unicast*, *multicast* od anche *machine to machine*).

Il secondo prossimo traguardo tecnologico sarà l'estensione generalizzata della rete di accesso a bande sempre più larghe mediante l'utilizzo della fibra

<sup>1</sup> Nell'obiettivo dei curatori del presente volume, questo contributo, a differenza degli altri particolarmente centrati sulla storia, si propone essenzialmente di fornire, continuando ad inquadrare la materia con cenni a carattere storico, una sintetica panoramica ed una visione critica dei *driver* che hanno maggiormente contribuito all'evoluzione verso il nuovo assetto delle reti fisse multimediali e multiservizio. In altre parole l'obiettivo perseguito è quello di descrivere – anche per i non addetti ai lavori, quantomeno in qualcuno dei vari campi toccati – lo scenario complessivo dell'evoluzione delle reti fisse nonché di creare un "collante" tra il passato ed il futuro delle reti di telecomunicazioni digitali.

ottica<sup>2</sup> che, nelle aree ad alta densità di utenza, risulterà indispensabile anche per alimentare e raccogliere l'intenso traffico mobile convogliato dalle stazioni radio-base dei futuri sistemi cellulari LTE (*Long Term Extension*)<sup>3</sup>. Nelle aree a bassa densità di utenza, anche se a spese di una banda più limitata, un ruolo rilevante a complemento della fibra verrà giocato dai satelliti e dagli stessi sistemi LTE per evitare situazioni di *Digital Divide*, in particolare quando l'investimento per un'infrastruttura in fibra non risultasse giustificato economicamente in una lunga prospettiva temporale.

A seguito di tutte queste evoluzioni, le reti si stanno proiettando verso un mondo in cui l'informazione è fruita attraverso infrastrutture nelle quali è reso sempre più evanescente il confine tra i domini in cui l'informazione stessa è creata e quelli in cui viene elaborata, archiviata e trasmessa.

Va anche osservato come l'innovazione insita in queste nuove soluzioni architettoniche non è unicamente di tipo tecnologico o di varietà di servizi fruibili ma altresì e soprattutto di tipo funzionale. Internet sta infatti evolvendo da una rete organizzata per accedere ad informazioni (Web come biblioteca universale o come vetrina di prodotti) ad una rete finalizzata, attraverso le *social network*, alla gestione delle relazioni tra individui o come tessuto connettivo per aziende di grandi dimensioni.

Il presente scritto si propone di esaminare il percorso dell'evoluzione delle reti fisse in tecnica numerica<sup>4</sup>, cercando di cogliere gli aspetti salienti delle trasformazioni storiche ed i relativi intrecci e valutando criticamente il contributo delle diverse fasi storiche all'evoluzione dei nuovi modelli di rete.

Per analizzare le trasformazioni è utile storicizzare il relativo percorso con quattro fondamentali fasi che possono considerarsi distintive dei processi di evoluzione:

- a. numerizzazione dei segnali telefonici con avvio e consolidamento delle tecniche di trasmissione digitali (anni '60 e '70) e convergenza tra trasmissione e commutazione (anni '70 e '80);

<sup>2</sup> Sul lungo periodo si può prevedere una sostanziale razionalizzazione dell'eccessivo numero di mezzi trasmissivi oggi adottati nell'accesso all'utente (doppini con ADSL, coassiale, fibra, satellite, Wi-Fi e Wi-Max, *broadcasting* digitale terrestre, ecc.) cui va anche aggiunta la singolare ulteriore differenziazione rappresentata da collegamenti con terminali mobili sempre più usati all'interno delle abitazioni. A tale riguardo si può infatti prevedere una sostanziale semplificazione quando la fibra ottica sarà entrata definitivamente anche nell'area di utente.

<sup>3</sup> LTE (*Long Term Evolution*, ribattezzato recentemente *Long Term Extension*) ed LTE *Advanced* sono oggi le sigle che caratterizzano i sistemi mobili di futura generazione ormai non lontani.

<sup>4</sup> Tenendo in conto la vastità dell'argomento rappresentato dalla rivoluzione delle reti mobili con le innumerevoli architetture di rete via via introdotte (vedi il contributo "Reti, servizi cellulari e *wireless*" di G. Falciasecca e D. Ongaro in questo stesso volume), il presente scritto, anche per esigenze di contenimento delle pagine, evita di prendere in considerazione lo sviluppo di tali sistemi se non per quegli aspetti di correlazione ed interfaccia con le reti fisse. Peraltro, tranne alcuni recenti effetti d'interessante *cross-fertilization*, la convergenza piena delle architetture tra reti fisse e reti mobili è lontana dal vedere un traguardo e si può anche dubitare se mai si realizzerà.

- b. introduzione delle *Computer Network* in campo civile (anni '70 e '80) e confluenza tra informatica e telecomunicazioni nella nuova disciplina ICT (anni '80) attraverso il basilare contributo della microelettronica;
- c. convergenza tra ICT ed audiovisivo (anni '90) con la “compressione” dei segnali e l'introduzione di sistemi trasmissivi e diffusivi digitali a banda larga nell'area di accesso (cfr. nota 2) per tutti i tipi di informazione;
- d. evoluzione delle architetture di comunicazione verso un modello Internet generalizzato (anni '90 e 2000).

I decenni indicati nelle varie fasi individuano, a grandi linee, il periodo da considerarsi più significativo per la definitiva affermazione e sviluppo delle evoluzioni indicate, anche se prime idee (ed eventuali brevetti) possono precedere anche di molti anni ed applicazioni/miglioramenti continuano ad essere perseguiti fino ai giorni nostri.

Avendo a riferimento questo percorso storico, è anche interessante porsi il problema di analizzare se il cammino fatto verso l'assetto delle reti moderne abbia portato a selezionare, tra varie possibili alternative, la soluzione “ottimale” in analogia ad un percorso evolutivistico di carattere biologico.

## Introduzione del PCM e convergenza trasmissione/commutazione

### *La numerizzazione dei segnali e la nascita del PCM*

Il primo basilare *driver* nella trasformazione dei paradigmi delle reti di telecomunicazioni, la numerizzazione delle fonti di informazione, viene da lontano in virtù dell'introduzione dei sistemi telefonici PCM (*Pulse Code Modulation*) in un segmento delle reti urbane.

La fase pionieristica dell'introduzione di questi sistemi caratterizza gli anni '60, anche se l'idea ed il relativo brevetto risalgono a molti anni prima, al 1937, quando l'inglese Alec Reeves dell'ITT aveva proposto – per “affasciare” su un'unica coppia in rame più conversazioni telefoniche – un modello considerato all'epoca complesso e stravagante, articolato in molteplici fasi. In primo luogo il “campionamento” dei singoli canali telefonici con interallacciamento temporale (multiplazione) dei campioni dei diversi canali; la successiva “quantizzazione” dell'ampiezza degli impulsi (approssimati cioè al più vicino numero intero a base decimale); infine la conversione di tali numeri interi decimali in una sequenza rappresentativa a base binaria.

Mediante questa modalità di rappresentazione, i segnali telefonici multiplati potevano essere trasmessi come successione di zeri ed uni avendo fissato il numero di *bit* (*binary digit*) in base alle gradazioni di dinamica ritenute rilevanti per una riproduzione di qualità del segnale vocale.

L'idea di riprodurre elettricamente un'informazione con *bit* risaliva, in realtà, all'invenzione del telegrafo Morse imperniato sull'idea di rappresentare i “caratteri” dell'alfabeto ed altri complementari per un totale di 64 simboli con

una breve sequenza a due soli stati (nel caso telegrafico “punti” e “linee”). Tale modalità si era affermata in quanto particolarmente robusta rispetto ai disturbi di varia natura ed anche Guglielmo Marconi, per le sue esperienze radio sulle lunghe distanze, aveva avuto esclusivamente a riferimento la modalità di trasmissione telegrafica.

La concezione del PCM era però completamente nuova perché riguardava l'identificazione di un'informazione, qual è il segnale vocale, assai più complessa rispetto alla rappresentazione dei caratteri di un alfabeto. Il vero vantaggio che si pensava intrinseco a questo nuovo sistema era, ancora una volta, la maggior robustezza che il segnale avrebbe offerto, rispetto alle tecniche analogiche, nei confronti dei diversi tipi di disturbi trasmissivi ed in particolare delle interferenze presenti in modo sensibile nei vecchi cavi telefonici urbani con coppie in rame.

Tuttavia per la tecnologia dell'epoca (1937), in cui la circuitistica era ancora completamente a tubi elettronici, un sistema come il PCM sembrava essere talmente eccentrico, complicato e costoso da consigliare di mettere rapidamente in un cassetto il relativo brevetto.

A partire dal 1948 Claude Shannon, in un suo fondamentale articolo sul *Bell System Journal*, inquadrava teoricamente tutta la tecnica numerica applicata alle comunicazioni: nasceva così una completa teoria delle Comunicazioni digitali basata sulla rappresentazione numerica di tutti i tipi di informazione per la quale, a seconda dello specifico segnale trasmesso, varia esclusivamente il numero di *bit* al secondo (*bit-rate* o *velocità*) che è necessario trasmettere.

Il capire meglio le cose ed il cominciare a saperle trattare matematicamente non aiutava, tuttavia, a realizzare i sistemi digitali a costi contenuti, rendendone quindi ancora impossibile una loro utilizzazione pratica.

Il brevetto del PCM viene ripescato dai Bell System Labs venti anni dopo il suo deposito (1957) e trasformato in un prodotto industriale solo in quanto – ormai da dieci anni e sempre nei laboratori Bell – era stato inventato il transistor.

Nel 1961 vengono installati in USA in area urbana i primi collegamenti PCM a 24 canali che entrano in servizio commerciale nell'autunno del 1962. Nello stesso anno, in Italia, Telettra installa con la TIMO – una delle diverse concessionarie italiane controllata dalla finanziaria STET (prima ancora della loro unificazione del 1964 nella SIP) – alcuni collegamenti sperimentali PCM a 24 canali che risultano essere i secondi al mondo e largamente i primi in Europa.

Comincia in tal modo, dalle necessità di trasmissioni telefoniche multiplate, il grande cammino della tecnica digitale all'interno del mondo delle telecomunicazioni all'epoca completamente analogico ed addirittura elettromeccanico per quanto riguarda la commutazione.

Nella prima metà degli anni '60 cominciano anche ad apparire i primi elementari circuiti integrati (ad esempio le funzioni di base della circuitistica digitale quali il *flip-flop*, il *Nand*, il *Nor*, ecc.) che, spinti potentemente dallo sviluppo dell'informatica, risultano di utilissimo impiego altresì nella circuitistica PCM per rendere il prodotto più compatto ed economico, estendendo di conseguenza a tratte sempre più corte, nell'ambito delle reti urbane, il campo di impiego economicamente interessante.

Nelle applicazioni iniziali, la tecnica numerica a divisione di tempo viene introdotta esclusivamente per “multiplexare” le conversazioni telefoniche, corrispondenti tra l'altro ad un numero relativamente limitato di conversazioni (all'epoca 24 canali telefonici ispirandosi allo standard USA e, successivamente, 30 canali con il nuovo standard europeo che, volutamente, si era distaccato dai valori americani per difendere l'Europa da un'invasione di apparati USA). Con gli stessi principi si sarebbe potuto realizzare la multiplexazione in unico flusso digitale binario di un numero assai più elevato di conversazioni telefoniche ma si rendevano necessari, a costi ragionevoli, dispositivi assai più veloci di quelli all'epoca disponibili.

La rivoluzione tecnologica ed economica apportata dalla microelettronica nelle Telecomunicazioni sarebbe risultata determinante per tutti i successivi sviluppi di quegli anni, come accennato più avanti.

### *Il consolidamento del PCM e la convergenza trasmissione/commutazione nelle reti TLC<sup>5</sup>*

Nel 1972 viene definitivamente standardizzato il sistema PCM europeo per 30 canali telefonici, standard attualmente impiegato, salvo Nord America e Giappone, in tutto il resto del mondo. Pionieri del nuovo standard, tra altri europei, sono Telettra e SIT-Siemens (divenuta poi Italtel).

L'applicazione del PCM è agli inizi limitata e circoscritta ad un piccolo segmento della rete (la cosiddetta area di “giunzione” urbana per i collegamenti tra centrali di utente e centrali di transito) ed è spinta, soprattutto, dalle caratteristiche di robustezza del segnale digitalizzato che permette di combattere con successo i disturbi da diafonia nei cavi urbani – particolarmente critici se si fosse adottata la tecnica analogica per la multiplexazione – consentendo di aumentare di 15 volte la capacità di trasporto per una singola coppia di rame senza necessità di posare nuovi cavi.

Nessuno, all'epoca, avrebbe potuto immaginare che questo sistema – nato da pure considerazioni di carattere economico in forza della sua caratteristica di “moltiplicare” la capacità telefonica sui vecchi e rumorosi doppini di rame – avesse in sé il germe di una profonda rivoluzione nella tecnologia delle reti di telecomunicazione. Le tecniche alla base del PCM si sarebbero, infatti, rapidamente estese anche alla commutazione dando inizio alla trasformazione dell'intero mondo delle reti analogiche di telecomunicazioni.

Riguardo alla convergenza tra trasmissione e commutazione, occorre peraltro ricordare che quest'ultima aveva già iniziato un proprio percorso di confluenza verso l'IT attraverso l'introduzione dello SPC (*Stored Program Control*), ossia il governo delle matrici di commutazione elettromeccaniche tramite calcolatore. Le prime centrali interamente elettroniche sono le centrali di transito, risultato

<sup>5</sup> Per i dettagli sulla storia della trasmissione e commutazione elettronica si rimanda ai tre contributi in questo volume e più precisamente: “Successi e decadenza delle industrie di telecomunicazioni” di S. Randi; “Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni (CSELT)” di C. Mossotto; “La trasmissione: dalla coppia telefonica ai ponti radio ed alle fibre ottiche” di S. Pupolin et al.

dell'incontro naturale tra commutazione controllata da calcolatore e trasmissione numerica, piuttosto che di una semplice estensione di quest'ultima al livello commutazione.

Dopo l'avvio della tecnica PCM, anche le Centrali terminali a commutazione di circuito si trasformano in sistemi completamente elettronici in tecnica numerica convertendo i canali telefonici all'ingresso della Centrale in flussi digitali PCM guidati, per il loro instradamento, da matrici elettroniche a divisione di tempo. È in particolare quest'ultimo aspetto implementativo che consente notevolissimi risparmi economici rispetto ad una situazione in cui, all'epoca, il maggior peso degli investimenti in apparati per le reti TLC era assorbito dalla commutazione a divisione di spazio.

Si apre di conseguenza negli anni '70 un decennio ricco d'idee e sviluppi nel campo della commutazione elettronica numerica che vede in prima linea l'Italia – come descritto ampiamente in altra parte di questo volume (cfr. nota 5) – anche se il grande sviluppo iniziale era stato avviato nei laboratori Bell della AT&T. Allo stesso tempo si compie un passo fondamentale verso la convergenza tecnologica tra trasmissione (ormai all'epoca completamente elettronica) e commutazione (ancora all'epoca, almeno per le matrici, del tutto elettromeccanica).

Tale obiettivo caratterizzerà completamente gli anni '70 e '80 e, oltre alle Centrali numeriche, si sviluppa una nuova concezione di rete integrata ISDN (*Integrated Service Digital Network*) in cui, per la prima volta, si dispone della facoltà di installare un terminale elettronico presso l'utente in grado di gestire voce e dati con due canali numerici a 64 kbit/s. Peraltro, la concezione ISDN troppo "telefonica" e troppo orientata al circuito ne decreteranno il sostanziale insuccesso (assieme ai relativi servizi) anche per un periodo di gestazione troppo lungo (lo standard definitivo fu completato solo nel 1994)

Sempre in tema di convergenza, in questo caso tra reti di calcolatori e reti di centrali, non va dimenticata l'importanza del cosiddetto sistema di segnalazione #7 (1980) che, in seguito, è risultato elemento essenziale per l'introduzione delle reti e dei servizi nella cosiddetta "rete intelligente".

È importante osservare, ancora una volta e particolarmente in relazione agli effetti economici, come questo processo di convergenza tra trasmissione e commutazione nella comune tecnologia numerica sia stato particolarmente favorito dall'utilizzo congiunto di componentistica microelettronica a cui i due settori hanno potuto attingere in virtù degli sviluppi trascinanti ed impetuosi dell'Informatica. A questo si è aggiunto, con l'evoluzione della digitalizzazione, il vantaggio dell'introduzione del PCM all'interno della Centrale di Commutazione come parte integrante di tale processo.

Un aspetto da sottolineare è, tuttavia, che la tecnologia numerica applicata alla trasmissione ed alla commutazione cambiava, come impiegata all'epoca, la struttura degli apparati ma non la relativa architettura di rete che rimaneva strettamente legata alla commutazione di circuito anche se, progressivamente, con maggiore intelligenza in rete. Peraltro, a livello di sistema, fino a che le velocità di comunicazioni dati ed i volumi di traffico non avessero raggiunto

una sufficiente entità, la commutazione di pacchetto non sarebbe stata adatta ad essere applicata anche per il traffico telefonico.

Quando successivamente sono state realizzate appieno le condizioni sopra menzionate, l'entità degli investimenti in gioco per una completa trasformazione della rete ha agito da freno sugli ex-monopolisti per realizzare una migrazione completa verso le nuove architetture, con il risultato che alcuni *new comers* (nuovi gestori TLC) si ritrovano oggi con reti più moderne.

### *L'affermazione della trasmissione numerica*

Una delle caratteristiche più affascinanti della trasmissione digitale, inimmaginabile in campo analogico, è la proprietà di un segnale numerico di poter rimanere a qualità inalterata<sup>6</sup>, con un'opportuna progettazione di sistema, in presenza di rumore e disturbi anche su percorsi molto lunghi. A tale scopo, è infatti sufficiente "rigenerare" gli impulsi trasmessi in ogni sezione del percorso trasmissivo in cui si riesca ancora ad identificarli correttamente. In tal modo si ottiene l'annullamento di tutti gli effetti dei disturbi accumulati consentendo nuovamente, da quel punto, la ritrasmissione di un flusso di dati privo di rumore e di distorsione degli impulsi<sup>7</sup>.

Tale proprietà e la progressiva numerizzazione della rete spingono, negli anni '70, verso l'utilizzo di circuiti numerici a velocità più elevate del PCM (2 Mbit/s). Questa possibilità di aumentare il *bit-rate* e di estendere la digitalizzazione anche ad informazioni non telefoniche è peraltro fortemente condizionata dalla disponibilità di circuiti integrati a maggiore velocità. La microelettronica ha permesso via via l'estensione della trasmissione digitale anche alle capacità maggiori e su distanze sempre più lunghe, abbattendo decisamente il costo della trasmissione numerica considerata, per molti anni e per segnali che non fossero telefonici o dati, troppo lontana dall'essere competitiva con la trasmissione analogica.

Dopo la standardizzazione in sede ITU (*International Telecommunication Union*) all'inizio degli anni '70 della gerarchia di multiplocazione PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) per la multiplocazione di segnali numerici fino a valori sempre

<sup>6</sup> Tipicamente, al crescere del rumore e dei disturbi, occorre adottare tecniche di correzione degli errori che comportano una contropartita in termini di maggior tempo di ritardo. Nelle comunicazioni interattive, in particolare in quelle vocali, il superamento di un certo limite di tempo comporta un significativo abbassamento della qualità che può essere contrastato con le tecniche di soppressione d'eco fintanto che i ritardi sono comunque piccoli. Questo limite comporta, pertanto, importanti conseguenze in termini di velocità di trasmissione richiesta (per ridurre i tempi di emissione dell'unità informativa) e di riduzione del numero dei nodi di rete da attraversare per una comunicazione *end to end*.

<sup>7</sup> Questa caratteristica, com'è noto, oltre che per la trasmissione, ha il suo corrispondente anche nella "conservazione" delle informazioni digitali che possono essere "lavorate" molte volte senza aggiungere rumore al segnale, elemento di estrema importanza nelle cosiddette post-produzioni degli studi televisivi (in particolare per gli effetti speciali). Analogamente, per una perfetta archiviazione che si mantenga integra nel tempo, l'informazione digitale, se il caso, può essere trasferita su nuovi tipi di supporti che diano maggiori garanzie di vita utile ed affidabile per gli archivi.

più elevati di velocità – in cui l'Italia gioca un importante ruolo con Maurizio Decina, all'epoca in SIP – iniziano ad entrare in rete sistemi digitali (su linea fisica ed in Ponte Radio) progressivamente a maggiore capacità e per distanze sempre più grandi. A partire da metà anni '70 si adottano sistemi digitali prima per il cosiddetto minicoassiale (per applicazioni su medie distanze con velocità di 34 e 140 Mbit/s corrispondenti a 480 e 1920 canali telefonici) e poi per coassiale standard (con velocità di 565 Mbit/s per le grandi distanze corrispondente a 7680 canali telefonici), sostituendo gradualmente i corrispondenti sistemi analogici a grande capacità. In contemporanea anche i Ponti Radio si avviano ad una completa digitalizzazione superando, con le modulazioni multilivello, le limitazioni di banda del canale radio e portando le trasmissioni radio a capacità di 140 Mbit/s sulle grandi dorsali radio.

A partire dal 1980 vengono introdotti i primi sistemi in fibra ottica che avrebbero cominciato velocemente a dominare i sistemi trasmissivi a grande distanza diventando in breve tempo unici protagonisti sulle grandi dorsali e con prestazioni praticamente illimitate di capacità.

In questo progresso svolgono un ruolo pionieristico le aziende italiane dell'epoca (vedi nota 5) e le realizzazioni degli allora gestori SIP ed ASST.

Solo a metà degli anni '80 si sviluppa una nuova gerarchia di moltiplicazione SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*)<sup>8</sup>, studiata anche per interfacce ottiche e con il massimo di flessibilità, il cui standard è pubblicato nel 1988. Con questo protocollo di livello 1 nella pila OSI (vedi più avanti Fig. 1) sono efficacemente introdotte in rete anche le nozioni di protezione dello strato fisico per il reinstradamento automatico del traffico.

Per la prima volta nella storia delle trasmissioni<sup>9</sup>, con l'SDH si adotta uno standard trasparente ed uniforme accettato a livello mondiale che ha avuto una grande affermazione ed è ancora largamente presente nelle reti.

### *Il ruolo della microelettronica<sup>10</sup> come tecnologia abilitante delle comunicazioni digitali*

I decenni '60, '70 ed '80 sono stati caratterizzati dagli sviluppi impetuosi della microelettronica che continuano ancora ai giorni nostri. A tali sviluppi è opportuno dedicare qualche riga per la fondamentale importanza che essi hanno avuto nei progressi delle reti di telecomunicazioni e nella convergenza tra informatica e telecomunicazioni.

Sin dai primi anni '60 il moltiplicarsi delle applicazioni informatiche ed anche il valore commerciale che cominciavano ad assumere le tecniche PCM erano

<sup>8</sup> In USA tale gerarchia di moltiplicazione assume il nome di SONET (*Synchronous Optical Network*) e lo standard, in generale, è noto anche come SONET-SDH.

<sup>9</sup> In generale, per tutto il campo TLC, il primato spetta al sistema di segnalazione #7 il cui standard fu pubblicato nel 1980.

<sup>10</sup> Alla microelettronica ed alla sua evoluzione in Italia sarà dedicato un apposito volume di questa Collana sulla Storia della Tecnologia in Italia. Si è ritenuto tuttavia utile dare qualche brevissimo cenno in questo scritto per enfatizzare l'importanza della microelettronica per la nostra storia.

un obiettivo molto sfidante. La realizzazione di tutti gli elementi di un circuito funzionale (transistor, loro interconnessioni ed anche resistori) in un'unica struttura compatta costituiva, com'è noto, il circuito integrato completamente realizzato su un'unica sottile piastrina di silicio (il *chip*). Le piccole dimensioni comportavano funzionalità accresciute, consumi energetici ridotti, costi rapidamente decrescenti ed affidabilità – prestazione di carattere fondamentale – assai superiore a quella della somma dei singoli componenti discreti.

Nasce così l'idea di costruire circuiti integrati per realizzare una completa funzione interconnettendo su uno stesso *chip* svariati componenti elementari. L'approccio digitale è stato reso vincente dalla combinazione dell'aumento di funzionalità, da un'affidabilità assai elevata nonché da una drastica riduzione – in virtù del processo di costruzione collettivo – dei relativi costi dei dispositivi.

Dopo i circuiti integrati digitali, una pietra miliare nello sviluppo della microelettronica è la realizzazione del primo microcomputer (Intel 4004) che ha avuto luogo presso Intel nel 1971 con l'apporto determinante dell'italiano Federico Faggin che nel 1974 fonda una nuova società, la Zilog, rilevante per i successivi sviluppi dei microprocessori.

Lo sviluppo tecnologico del Microcomputer è alla base della seconda rivoluzione microelettronica, cioè della diffusione d'intelligenza nei più diversi e differenziati apparati. La disponibilità di un *chip* di piccole dimensioni, con consumo limitato, a basso costo, affidabile, programmabile – e quindi adattabile a molteplici usi – è stata fondamentale per sviluppi ed applicazioni anche molto diversi dal computer da tavolo che era l'obiettivo iniziale per il quale esso era stato ideato. Si integra in una singola piastrina di silicio, avente dimensioni dei mm, la parte essenziale di un calcolatore e cioè l'unità centrale di elaborazione (CPU – *Central Processing Unit*).

Il suo impiego ha avuto un ruolo decisivo, oltre che nell'Informatica, negli sviluppi degli apparati di commutazione e di trasmissione (sempre più sofisticati per le esigenze di controllo della rete). Per non parlare, come si vedrà più avanti, dei successivi sviluppi per i nuovi apparati delle *Computer Network*.

È superfluo ricordare quanto dal '71 ad oggi l'evoluzione tecnologica dei microprocessori sia stata impressionante. Su una piccola superficie di silicio si realizzano *chip* con centinaia di milioni di transistor per funzionalità molteplici e variabili ed il singolo transistor ha oggi dimensioni nel campo dei nanometri, centinaia di volte inferiori a quanto era possibile realizzare quaranta anni fa.

Un aspetto caratteristico dei circuiti integrati è legato e sintetizzabile nella cosiddetta “legge di Moore”. Nel 1965, Gordon Moore, cofondatore della Fairchild e dell'Intel, notò come il numero di elementi che si realizzavano su di una piastrina di silicio, a parità di area occupata, raddoppiava ogni dodici mesi<sup>11</sup>. Poiché il costo del dispositivo risultante dipende essenzialmente dalla superfi-

<sup>11</sup> In seguito, alla fine degli anni '80, dopo essere stata controllata su un periodo di tempo più lungo, la legge di Moore è stata riformulata con un raddoppio del numero di componenti elementari con riferimento ad un intervallo di 18 mesi.

cie occupata nel silicio, ne deriva il rapido decrescere negli anni del costo dei componenti elementari e questo elemento distintivo ha continuato e continua a caratterizzare la produzione dei dispositivi al silicio. Ciò ha profondamente inciso nell'adozione, ai diversi livelli, di circuiteria elettronica (in particolare digitale) ed è stato un concreto fattore trainante nell'evoluzione dei sistemi di informatica e di telecomunicazioni.

Un effetto indiretto ma importante della legge di Moore – ricavata, in effetti, dalla semplice osservazione di ciò che era avvenuto nella produzione dei componenti integrati nel silicio – è la sua importanza predittiva. Il passato (legge del raddoppio in dodici ovvero – come puntualizzato in nota 11 – diciotto mesi) è estrapolato e, su tale base, si prevede il futuro. A livello industriale si mette a punto un cammino tecnologico – una *road-map* – che aiuta ad individuare le tecnologie di base da migliorare o da introdurre in produzione per ottenere un processo costruttivo che consenta, estrapolando il passato, di raggiungere quanto previsto dalla *road-map*.

Nell'evoluzione dei processi produttivi dei circuiti integrati, gli aspetti generali risultano in pratica condivisi dalle industrie mondiali nel campo e, malgrado la riservatezza industriale, la finalizzazione temporale degli obiettivi previsti diventa ragionevolmente di pubblico dominio. La *road-map*, in altre parole, consente di prevedere il futuro “possibile”, ma stimola l'impegno affinché le previsioni si avverino e si traducano in realtà, anche se a volte il vero limite è dato dalla capacità degli ingenti investimenti tecnologici richiesti.

Sono proprio le aspettative di un forte aumento nel rapporto prestazioni–costi a portare avanti l'integrazione di sistemi sempre più complessi, consci che i nuovi integrati avranno la capacità di allargare il campo di impiego ad apparati anche non professionali con volumi di ordini di grandezza più elevati e quindi appetibili economicamente in quanto consentono costi per unità sensibilmente minori.

Tale enorme ritmo di progresso, inarrestabile per decenni, va considerato un fenomeno unico nella storia industriale ed è stata la causa principale della rivoluzione digitale e dell'affermarsi della Società dell'informazione. Si pensi solo alla odierna terminalistica, con apparati sempre più complessi e sofisticati e tuttavia caratterizzata da prezzi via via più ridotti. Nessun altro prodotto, nei più diversi campi industriali, ha consentito una paragonabile riduzione di costi dal primo apparire sul mercato a solo pochi anni più tardi.

Si pensi all'importanza oggi assunta dagli integrati per i terminali radiomobili per i quali, data la vendita di miliardi di componenti all'anno, è stato possibile raggiungere l'attuale livello di diffusione commerciale con prestazioni estremamente sofisticate ma, allo stesso tempo, con esigenza di piccolissime dimensioni, consumo ridotto, alta affidabilità e basso costo.

Analoghe considerazioni valgono per i *Set-Top-Box* (o *decoder*) per applicazioni televisive o per i modem ADSL e Wi-Fi, anche se molto meno condizionati da vincoli di volume e consumo rispetto ai cellulari.

Con la loro grande capacità di *vision*, Virgilio Floriani, fondatore della Telettra ed Adriano Olivetti avevano intuito l'importanza di questi dispositivi e ciò portò alla creazione in Italia nel 1957 della società SGS (*Società Generale Semiconduttori*) che ha rappresentato, dopo varie vicende, il nucleo italiano dell'attuale STM

(SGS-Thomson Microelectronics) oggi una delle maggiori aziende mondiali nel campo, controllata in parità da capitali pubblici italiani e francesi<sup>12</sup>.

## *Computer Network e confluenza informatica/telecomunicazioni*<sup>13</sup>

### *Introduzione*

Il decennio '70, oltre che per i grandi progressi della numerizzazione delle reti, è caratterizzato dal consolidamento di una serie di innovazioni nel campo della trasmissione dati (informazione nativamente digitale) che trovano le radici nel decennio precedente per applicazioni a reti militari ad alta sopravvivenza e che progressivamente negli anni '70 vengono estese anche alle reti civili.

Le nuove idee, provenienti da applicazioni che sembravano confinate al solo mondo informatico, risulteranno la base dei progressivi cambiamenti architeturali delle reti ed, in combinazione con la numerizzazione di tutte le fonti di informazione, invaderanno l'intero orizzonte delle reti di Telecomunicazioni ed il campo della comunicazione tra persone. Per conciliare ambedue gli aspetti sarà necessario un processo lungo e faticoso per tener conto di una differenza "filosofica" sostanziale tra esigenze di comunicazione fra computer e quelle di comunicazione fra umani: nel primo caso la priorità è data all'integrità dell'informazione trasportata, anche a costo di interruzioni e ritardi, mentre nel secondo caso ciò che maggiormente interessa è la continuità del flusso di informazione e del controllo sul ritardo, anche a costo di qualche disturbo sul segnale.

Se la digitalizzazione di tutti i segnali è pertanto il mutamento che ha reso possibile la multimedialità, non vi è dubbio che siano state le astrazioni nate con le *Computer network* a creare le premesse per condurci verso la Società dell'informazione.

È pertanto opportuno richiamare con qualche maggior dettaglio le nuove idee per l'importanza che hanno avuto nei cambiamenti dei paradigmi delle reti.

### *La trasmissione a pacchetto e le prime evoluzioni delle reti di calcolatori*

A partire dagli anni '70 nasce da esigenze informatiche – e più precisamente dal crescente volume delle trasmissioni dati (informazione peraltro nativamente digitale) – la necessità di realizzare, in campo civile, reti di calcolatori distribuite sul territorio per utenti *business* e Centri di ricerca. Obiettivo di queste reti è la condivisione di risorse hardware/software con altri utenti in modo da permettere comunicazioni molto efficienti tra computer estendendosi dalle reti locali LAN alle più diverse tipologie di reti di tipo metropolitano (MAN – *Metropolitan Area Network*), geografico (WAN – *Wide Area Network*) e virtuale (VPN – *Virtual*

<sup>12</sup> A prescindere, ovviamente, dalla quota di azioni che la Società ha messo sul libero mercato.

<sup>13</sup> Per i dettagli sulla storia dei contributi italiani in questo settore si veda il contributo "Le reti a pacchetto" di M. Ajmone Marsan et al. in questo stesso volume.

*Private Network*). Si realizzano al tempo stesso sistemi interconnettibili con costi e prestazioni trasmissive in campo dati decisamente più competitive di quelle fino ad allora offerte per lo stesso servizio dagli Operatori TLC (all'epoca ancora monopolisti in quasi tutti i Paesi).

Il costo del *bit* elaborato stava, infatti, subendo una forte diminuzione anno per anno, ma non accadeva altrettanto per il costo del *bit* trasmesso sulle reti esistenti<sup>14</sup>. Ed è questa una delle ragioni per cui le *Computer network* – il cui studio era iniziato nel mondo USA nel decennio precedente per applicazioni militari – entrano sempre più prepotentemente, con interessi scientifici ed applicativi, in campo civile.

La prima idea di realizzare reti di calcolatori con trasmissione ed indirizzamento dei dati per blocchi di *bit* (“pacchetti”) – ossia l'aggregazione in un opportuno contenitore di quantità fisse o variabili di *byte* (1 *byte* = 8 bit) – era stata concepita nel 1959 da Paul Baran alla Rand Corporation. L'idea fu meglio razionalizzata dallo stesso Baran negli anni successivi e mirava esclusivamente ad esigenze nel campo delle reti dati ad uso militare, contraddistinte dalla necessità peculiare di alta sopravvivenza. La spinta iniziale all'idea dei pacchetti nasceva perciò fondamentalmente dall'individuazione di una tecnica che, in caso di distruzione di uno o più nodi di comunicazione di transito, permettesse ad un flusso dati di arrivare correttamente e senza perdita di informazioni, attraverso percorsi alternativi, al nodo di destinazione.

In modo indipendente Donald Davies del *National Physical Lab* proponeva nel Regno Unito la stessa idea nella quale si associano i primi elementari concetti di protocollo tesi a creare “regole di governo” dei *byte* utili attraverso l'ausilio di *byte* di servizio aggiunti al pacchetto.

Nel 1961 Leonard Kleinrock conduceva alcune fondamentali ricerche sulla teoria delle code, rivelatesi basilari per gli studi sulle reti a pacchetto. Nel 1965 Thomas Merrill e Lawrence Roberts riescono a realizzare la prima WAN e nel 1969 le più importanti università californiane si connettono tra loro, attraverso la rete militare Arpanet, alla velocità di 50 kbit/s. Kleinrock gioca un ruolo importante in questa integrazione presso l'Università della California (UCLA) e, per il doppio importante contributo dato a tutta la materia, è considerato con ragione uno dei padri di Internet.

La tecnologia di trasmissione ed indirizzamento dei dati trasmessi a “pacchetti” rappresenta il primo fondamentale contatto tra TLC ed informatica. Tale tecnica – in cui la gestione dei pacchetti s'ispira a principi essenzialmente a carattere informatico – si rivela importante, come già detto, per le reti civili sia per una migliore garanzia nelle comunicazioni dati nell'interconnessione di

<sup>14</sup> Il motivo di una maggior competitività nella trasmissione dati è stato talmente determinante da rappresentare una delle fondamentali spinte iniziali ai processi di liberalizzazione nelle telecomunicazioni. Ciò è particolarmente vero per l'Italia dove le rigide regole del monopolio non permettevano ai privati di impiegare le linee affittate per farne un uso più appropriato ed economico con l'ausilio delle nuove tecnologie “a pacchetto” che, ormai, si stavano diffondendo rapidamente in tutto il mondo.

apparati diversi sia per il forte impulso al risparmio economico mediante un miglior sfruttamento dell'infrastruttura trasmissiva.

Dalla visione a “commutazione di circuito” del mondo telefonico – in cui il collegamento, dopo essere stato instaurato, risulta costantemente impegnato anche quando non percorso da segnali d'informazione – per le comunicazioni dati si apre una visione architeturale a “commutazione di pacchetti” che crea collegamenti virtuali nell'interconnessione tra due utenti: il circuito è utilizzato solo quando effettivamente percorso dal flusso dati mentre le varie sezioni che lo costituiscono vengono lasciate libere per altri utenti quando non effettivamente usate. Si persegue in tal modo la massima efficienza di tipo statistico nello sfruttamento della rete e, nello stesso tempo, la massima rapidità di ripristino in caso di nuovo utilizzo del circuito virtuale creato tra due utenti che hanno aperto una sessione di comunicazione.

Negli anni '70 si consolidano anche i criteri di progettazione dei protocolli di comunicazione, per sempre meglio definire le regole che devono governare il colloquio tra terminali e tra i nodi della rete.

Dai primi protocolli “orientati al carattere” della fine degli anni '60 – nei quali per la “regia” della trasmissione si aggiungevano al messaggio utile alcuni caratteri (*byte*) addizionali di avvio e fine del messaggio eletti a funzionalità di controllo – si passa nei primi anni '70 ai protocolli “orientati al *bit*” che introducono una struttura ben definita del pacchetto in cui, oltre al campo a lunghezza definita o variabile dei *bit* utili, sono aggiunti altri campi dedicati a costituire gli elementi di riscontro della comunicazione (indirizzi mittente/destinatario, controlli di sequenza, caratterizzazione dell'informazione trasmessa, ecc.). Nel flusso di *bit* trasmesso, ogni sequenza assume pertanto un particolare significato non solo per la sua codifica ma anche per la posizione occupata all'interno dei campi che costituiscono il pacchetto.

Con i protocolli “orientati al *bit*”, si superano i forti limiti di ambiguità delle tecniche precedenti e si cominciano ad introdurre i concetti di “architetture di comunicazione” implementate attraverso pile di protocolli ciascuno dei quali regola un aspetto della comunicazione. Si distinguono pertanto elementi di controllo della trasmissione propriamente detta, d'indirizzamento (*switching*) e di applicazioni. Nasce, di conseguenza, il concetto di *suite* di protocolli di comunicazione che attiva i diversi livelli di una pila protocollare (*protocol stack*) in modo che ciascun protocollo di un determinato livello sia in grado di utilizzare in modo flessibile i servizi (protocollari) offerti dal livello inferiore.

Come conseguenza di questa evoluzione – sempre avendo di vista solo ed esclusivamente la trasmissione dati – si comincia a sentire la necessità di realizzare standard aperti, non più legati a concetti di tipo proprietario. Ognuna delle grandi società produttrici di calcolatori (IBM, Digital, Honeywell, Univac, ecc.) aveva, infatti, fino a quel momento sviluppato per la trasmissione dati esclusivamente degli standard architetturelari proprietari (SNA di IBM del 1974, Decnet di Digital, ecc.) fornendo sistemi in cui era impossibile ad altri fornitori

di inserirsi per gli ampliamenti dei Centri di Calcolo essendo il colloquio reso, nella pratica, impossibile.

Questa particolare politica di mercato era una conseguenza dell'originale cultura informatica di forte concorrenza in cui ogni costruttore, dopo aver acquisito un cliente, ne condizionava fortemente tutti i relativi accrescimenti successivi.

I criteri anzidetti differivano profondamente dalla cultura delle telecomunicazioni dell'epoca che – orientata fortemente alla possibilità di facilitare il collegamento tra apparati di costruttori diversi – favoriva la scelta di standard internazionali d'interconnessione anche se la tempistica per la creazione di uno standard trasmissivo e la relativa implementazione erano sensibilmente lunghi.

### *Architetture protocollari a strati e la nascita degli standard aperti*

ISO (*International Organization for Standardization*), giustamente preoccupata dal proliferare di standard proprietari nelle reti di calcolatori, inizia a partire da metà degli anni '70 lo studio di una "architettura" funzionale completa per descrivere la cooperazione di processi remoti. L'obiettivo, perseguito con una concezione ispirata alla cultura delle telecomunicazioni, è molto ambizioso: definire un'architettura che copra tutte le esigenze di comunicazione coinvolgendo numerosi soggetti pubblici e privati. Presupposto importante dello studio è che le specifiche siano definite con il contributo di ogni soggetto che intenda aderire e che i dettagli dei vari protocolli che compongono l'architettura siano disponibili a tutti gratuitamente.

L'ISO pubblica nel 1978 il primo modello della nuova architettura – basato sul concetto di pila di protocolli a strati – denominandolo OSI (*Open Systems Interconnection*). La versione finale dell'OSI uscirà però solo nel 1983 dando piena attuazione, per l'appunto, al concetto di architettura aperta ma portandosi critiche sulla lunghezza dei tempi di definizione.

In un mondo quale quello informatico, uso a tempi di sviluppo estremamente più ristretti rispetto a quelli delle telecomunicazioni, il modello ISO-OSI finisce con il contraddistinguersi per complessità, lentezza nell'evoluzione e scarsa sintonia con le strategie commerciali delle aziende. OSI non ottiene pertanto il successo di mercato sperato dai suoi ideatori ma ha certamente costituito un tappa evolutiva fondamentale che influenzerà lo sviluppo di tutti i successivi protocolli applicativi e di rete.

La Fig. 1 richiama, per la sua importanza storica, l'architettura della pila OSI a confronto della pila Internet storicamente precedente ed assai più semplice e pragmatica. Per i livelli OSI di rete sono anche indicati nella figura alcuni dei protocolli più importanti affermatasi ai vari livelli e che permettono di caratterizzare le funzioni di ciascun strato<sup>15</sup>.

Non è superfluo spendere ancora due parole nel ricordare la differenza concettuale tra pile Internet ed OSI: la prima scaturisce come semplice pila di

<sup>15</sup> Alcuni protocolli possono risultare a cavallo tra due differenti strati.

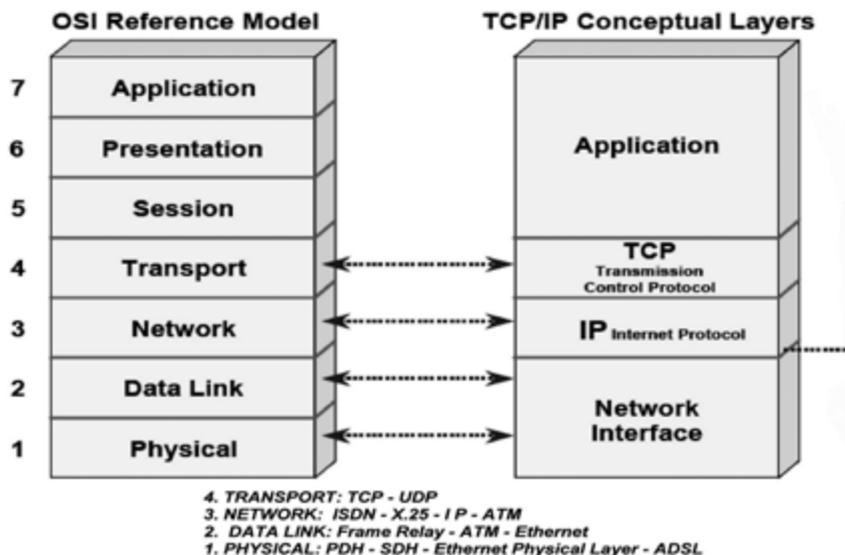


Figura 1. Architettura protocollare OSI e pila Internet.

protocolli per portare avanti un sistema di scambio facile e robusto di trasmissione dei dati in reti eterogenee in cui IP agisce come “collante” universale a livello inter-rete; la seconda nasce come modello di riferimento attraverso un faticoso sforzo di modellizzazione per creare regole di comportamento nell’interconnessione.

In OSI, il fondamentale concetto di “strato” funzionale di un’architettura di comunicazione si identifica come l’insieme delle entità che svolgono una ben determinata attività tra due terminali e la cui cooperazione avviene tramite regole stabilite da un preciso protocollo. Il collegamento dei due terminali avviene virtualmente in termini orizzontali tra strati omonimi, in quanto entità alla pari, ma con una modalità di attuazione pratica gestita per linee verticali.

Questi sono i fondamentali concetti destinati a stravolgere negli anni la tradizionale struttura delle reti di telecomunicazioni classiche: le astrazioni di strato funzionale e di pila protocollare saranno destinate a divenire concetti pervasivi di tutte le successive architetture di comunicazione.

Due, in particolare, sono i motivi per i quali l’eredità OSI, anche senza una sua affermazione commerciale, è stata particolarmente importante: da un lato la capacità di stabilire standard “ai morsetti” per qualsiasi sistema indipendentemente dalle sue caratteristiche e, dall’altro, la flessibilità evolutiva attraverso la quale, senza alterare l’impalcatura generale, si può “sfilare” nella pila una tecnologia e sostituirla con una successiva più innovativa<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> Ad esempio, molti anni dopo, nei sistemi radiomobili i livelli alti sono rimasti inalterati

*L'evoluzione dei protocolli di comunicazione*

Rimanendo sempre confinate allo specifico obiettivo di trasmissione di dati, le reti per calcolatori si avviano, alla fine degli anni '70, all'introduzione di nodi (*router*) concepiti ed ottimizzati per effettuare l'instradamento dei pacchetti. Le tradizionali tecniche per trasmissione dati entro il canale telefonico, appoggiate alle Centrali a commutazione di circuito, vengono così rapidamente abbandonate.

Il primo apparato con funzionalità simili ad un *router* era stato l'IMP (*Interface Message Processor*) del 1972 progettato per la rete Arpanet, anche se occorre attendere fino al 1976 per un apparato che rappresentasse un vero e proprio *router IP* (introdotto nell'ambito del progetto DARPA- *Defense Advanced Research Projects Agency*). Nel 1981 sono studiati in MIT ed a Stanford i primi *router* multiprotocollo.

Parallelamente, negli stessi anni, inizia uno straordinario proliferare di nuovi protocolli di comunicazione per reti locali, metropolitane e geografiche che traggono linfa dagli studi informatici sulle "macchine a stati".

Entrano così in campo i primi gloriosi protocolli di comunicazione per reti geografiche (WAN: *Wide Area Network*) quali l'X.25 (il cui standard esce nel 1976 antecedentemente alla prima pubblicazione del modello OSI che avverrà due anni dopo), il *Frame Relay* (destinato a semplificare l'X.25 e pubblicato nel 1984) ed il protocollo TCP/IP (*Transmission Control Protocol-Internet Protocol*) nato in precedenza, nel 1973, per merito di Robert Khan e Vinton Cerf, nonché infine per le reti LAN (*Local Area Network*) il protocollo Ethernet pubblicato nel 1980 da Robert Metcalfe (anche se concepito alcuni anni prima nei laboratori di ricerca della Xerox fucina di molte idee rivoluzionarie in campo informatico).

A questo punto della nostra storia, nel decennio '80, sono pertanto le tecnologie impiegate per le comunicazioni dati a pilotare l'inizio delle grandi trasformazioni delle reti di telecomunicazioni.

I "comunicazionisti", ispirandosi alla tecnologia del pacchetto, iniziano solo a metà degli anni '80 a pensare ad un nuovo e, per l'epoca, rivoluzionario protocollo denominato in seguito ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) ed il cui studio, come standard, fu completato definitivamente nel 1992. Il nuovo protocollo, appositamente studiato per trasmettere tutti i tipi di informazioni (voce, dati, video, ecc.), si impone di rispettare – anche attraverso l'impiego di pacchetti assai corti<sup>17</sup> per aumentarne la flessibilità di gestione dinamica – le caratteristiche specifiche richieste da ciascuno dei segnali trasmessi (ad esempio, tempo reale, sicurezza, qualità, ecc.).

mentre profonde ed indispensabili modifiche sono avvenute ai livelli bassi. Più recentemente la struttura OSI è servita sempre come base per la creazione di nuove architetture per i *Web service*.

<sup>17</sup> Nel caso ATM i pacchetti (denominati "celle") sono tutti di lunghezza fissa e trasportano solo 53 *byte* di cui 48 di carico utile e 5 *byte* di *header* di servizio. Nell'IP, invece, la lunghezza dei pacchetti è variabile anche se tipicamente è di circa 4000 *byte*.

A titolo di curiosità vale la pena citare come la dimensione del *payload* ATM (48B) sia stato il compromesso salomonico (in effetti la media aritmetica!) tra la visione europea che mirava soprattutto alla flessibilità d'uso (e voleva quindi celle brevi a soli 32B per portare efficacemente anche la voce) e la visione americana che mirava invece alla *performance* del traffico dati (e voleva quindi celle più lunghe a 64B).

Ma qual è la differenza di base tra i due protocolli ATM ed IP?

Fondamentalmente l'evoluzione della filosofia dei protocolli aveva portato all'introduzione di due grandi famiglie di modi trasmissivi – ciascuna delle quali identifica diverse classi di protocolli – che avrebbero avuto importanza basilare negli sviluppi delle reti.

Il primo modo, denominato *connection-oriented*, s'ispira, se così si può dire, alla commutazione di circuito in quanto crea con l'ausilio dei cosiddetti “puntatori” (componente basilare del protocollo) una connessione “virtuale” attraverso i nodi della rete in cui fluisce l'informazione. Tale modo era in linea con le preoccupazioni sulla qualità e sull'affidabilità delle reti allora esistenti, ciò che giustificava una maggiore complessità nei protocolli al fine di creare, attraverso i nodi della rete, un “circuito virtuale” (indicato anche come “circuito logico”) su cui convogliare l'informazione utile.

Al modo *connection oriented* appartengono i protocolli X.25, *Frame Relay* ed il nuovo, all'epoca, ATM<sup>18</sup>. In particolare il protocollo ATM rappresentava lo sforzo di utilizzare il meglio dei due mondi di telecomunicazione ed informatica: da un lato la garanzia di consegna tipica delle reti a commutazione di circuito e, dall'altro, la robustezza, flessibilità ed efficienza delle reti a commutazione di pacchetto. La connessione stabilita, anche se garantita, poteva tuttavia soffrire di variazioni di velocità e ritardi di trasmissione riguardo al carico della rete ed alla lunghezza delle code dei pacchetti ed è questa la ragione per cui l'ATM, per trasmettere tutti i tipi di informazioni, introduce ed instaura la basilare tecnica del controllo della *Quality of Service (QoS)* finalizzata alla fornitura di diverse classi di servizi a qualità differenziata (in base alle esigenze specifiche del segnale trasmesso). In particolare, ad esempio, in caso di congestione ai nodi, i *router* assegnano la priorità ai pacchetti più critici nei riguardi del ritardo, così da garantire una modalità trasmissiva in *real-time* quando indispensabile (telefonia).

Il secondo modo trasmissivo è quello denominato *connection-less* in cui i pacchetti possono essere gestiti in modo autonomo essendo riportati, nei *byte* addizionali di ciascun pacchetto, indirizzo mittente e destinatario nonché numerazione progressiva nel flusso. I pacchetti, pertanto, qualora utile o necessario, possono seguire differenti percorsi nella rete senza un predeterminato circuito di riferimento adottando una “politica” di *best effort* nella loro consegna al destinatario.

I protocolli che governano il modo *connection-less* sono, conseguentemente, sensibilmente più leggeri e flessibili rispetto al modo *connection-oriented* perché trasportano le sole informazioni di servizio relative ai terminali, senza operare alcuna negoziazione nei nodi della rete. In tale modalità, tra l'altro, sono fattibili sia trasmissioni *point-to-point (unicast)* che *point-to-multipoint (multicast o broadcast)* cioè indirizzate ad una molteplicità di terminali. Quest'ultima peculiarità è tutt'altro che trascurabile perché apre la strada a comunicazioni di tipo diffusivo, mentre la modalità *connection-oriented* è, per definizione, solo una trasmissione del tipo *point-to-point*.

<sup>18</sup> Dei tre protocolli citati, X.25 è un protocollo di livello 3 nella pila OSI mentre *Frame Relay* ed ATM sono di livello 2.

In altre parole, nei sistemi *connection-less*, si parte dall'ipotesi di "fidarsi" maggiormente della Rete di comunicazione avviando la connessione diretta tra i terminali in modalità *best effort* e demandando ai protocolli di livello superiore la verifica dell'effettiva consegna del traffico.

Il più significativo rappresentante del modo *connection-less* è il protocollo IP<sup>19</sup> che contraddistingue il paradigma su cui si è sviluppato il mondo Internet. Nato esclusivamente per trasmissioni dati sicure e flessibili, IP non è in grado di garantire per se stesso il controllo degli errori, funzione per la quale deve ricorrere, come costituente della *suite* Internet, ad un protocollo di livello superiore denominato TCP (*Transfer Control Protocol*) che appartiene alla filosofia *connection-oriented*<sup>20</sup>. Al protocollo IP, quando si vogliono trasmettere dati sicuri, è sempre associato il TCP, tanto che per molti anni si è parlato sempre di TCP/IP quasi che fosse un unico protocollo.

Nel suo complesso, tuttavia, la *suite* studiata rimane più agile e flessibile nei confronti dei protocolli completamente *connection-oriented* ed è questa la ragione del suo grande successo. Mentre, infatti, a livello di architettura, una rete ATM presuppone una infrastruttura di *Data Link* (livello 2) omogenea, una rete IP può essere costituita da molteplici sotto-reti basate su tecnologie di *Data Link* diverse, quali ATM, X.25, LAN Ethernet, MAN FDDI, connessioni Punto-Punto, ecc.

Nella valutazione delle ragioni del successo di IP non va inoltre trascurata la progressiva evoluzione verso le architetture *Client/Server* e la diffusione dell'Informatica individuale che hanno favorito la penetrazione pervasiva di ambienti di calcolo basati su sistemi operativi aperti che impiegavano nativamente IP ed Ethernet.

È in questa sfera di "filosofia" che il protocollo IP, nato nel lontano 1973, trova la sua definitiva consacrazione negli anni '90 nell'ambito del successo della rete Internet che lo porterà all'attenzione come "il protocollo della Rete" (si noti bene: *de facto* e non *de jure*, dal momento che su tale protocollo non è stato mai portato avanti un formale processo di standardizzazione internazionale!).

Nondimeno, il successo della *suite* TCP-IP rimane, all'epoca, confinato ai dati e fortemente legata alle applicazioni Internet.

Nel 1991, per merito del CERN di Ginevra nella persona di Tim Berners Lee, avviene l'introduzione del *World Wide Web* (www o semplicemente Web) caratterizzato, senza alcun vincolo di brevetti, da una semplicissima interfaccia di navigazione che consente l'accesso alla rete in modo intuitivo (implementato con due strumenti fondamentali che sono l'http – *HyperText Transfer Protocol* e l'HTML – *HyperText Markup Language*). S'innescò in tal modo un peculiare circolo virtuoso con un'estensione di Internet al grande pubblico: una rete aperta

<sup>19</sup> Il protocollo IP svolge, con riferimento alla pila OSI, funzioni di livello 3 perché in grado di provvedere ad indirizzamento, moltiplicazione e commutazione.

<sup>20</sup> Il protocollo TCP agisce a livello 4 della pila OSI e dovendo instaurare un dialogo tra i due terminali ricade nei protocolli *connection-oriented*, anche se nella trasmissione non si perdono i vantaggi dei pacchetti IP che, come già detto, lavorano a livello 3 in un modo *connection-less* con i relativi vantaggi di flessibilità e di instradamento.

rende possibile il Web; la semplicità del Web avvia una forte espansione della rete aperta; una rete più vasta e capillare rende sempre più potente e universale il Web.

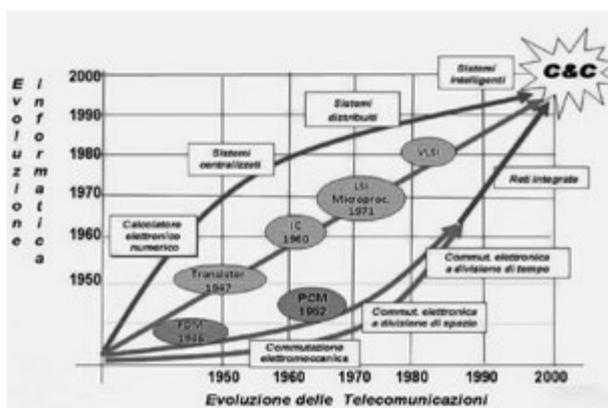
Nei primi anni '90, il quadro creatosi sembra, nonostante tutto, confinare il protocollo IP alle applicazioni Internet mentre, per la trasmissione sulle reti di telecomunicazione aperte a tutti i tipi di informazione, l'evoluzione verso la tecnologia del pacchetto è affidata al nuovo protocollo ATM concepito e studiato per assimilare ogni futura necessità in tale campo. Secondo questo indirizzo i gestori TLC cominciano ad avviare tangibili investimenti in rete in tecnologia ATM con la quale, ancor oggi, si è costretti a fare i conti per problemi di coesistenza.

Dopo la metà degli anni '90 inizia, prima in forma sommersa e poi sempre più dichiarata, un confronto serrato tra ATM ed IP in cui quest'ultimo, soprattutto per decisa volontà della più famosa tra le nuove società manifatturiere nel campo delle reti, la Cisco Systems, viene anch'esso indirizzato ad evolvere in modo da accogliere tutti i possibili tipi di informazioni.

Tale sfida – che si svilupperà al massimo grado solo dopo la convergenza tra mondo ICT ed audiovisivo nel decennio '90 e che vedrà ATM uscire sconfitto – contraddistingue specificatamente la fine degli anni '90 ed il successivo decennio. Inizia, infatti, in tutti quegli anni, come si vedrà più avanti, un lungo processo di arricchimento della *suite* Internet-IP e protocolli correlati per assimilare le più importanti peculiarità di ATM, sforzandosi tuttavia di mantenere gli specifici vantaggi di semplicità e leggerezza che hanno reso IP famoso e universale.

### L'ICT e le nuove aziende di telecomunicazione

La nascita delle *Computer network* rappresenta senza dubbio una delle principali cause di accelerazione del processo di completa confluenza tra informatica e telecomunicazioni, cammino che viene preconizzato nel 1984 da Koji Kobayashi Presidente della NEC<sup>21</sup>. Il diagramma riportato in Fig. 2 che prende il suo nome (presentato ad un Congresso) pre-



**Figura 2.** Il diagramma di Kobayashi: la convergenza informatica -TLC e l'asse portante della tecnologia microelettronica.

<sup>21</sup> La NEC (*Nippon Electric Company*) era all'epoca una delle più grandi manifatturiere in campo elettronico professionale con presenza sia nel settore delle Telecomunicazioni sia in quello dell'informatica sia in campo microelettronico. Ciò spiega una particolare sensibilità al processo di convergenza.

vedeva attorno all'anno 2000 il compimento del cammino di confluenza tra i due grandi settori, anche in virtù del "collante" fornito dall'asse portante della comune tecnologia microelettronica.

Frequenti peraltro, anche negli anni precedenti, erano state le fertilizzazioni reciproche tra i due campi: ad esempio, i transistor – nati per esigenze della trasmissione come sostituto delle valvole – erano stati immediatamente adottati nell'Informatica determinandone l'impetuoso sviluppo; viceversa i calcolatori di processo<sup>22</sup>, gli integrati a larga scala ed i microprocessori, germogliati essenzialmente da esigenze d'Informatica, erano stati impiegati con successo dalla commutazione elettronica ed, in seguito, negli apparati complessi di trasmissione ai quali, anche se con lentezza, si stava progressivamente estendendo la cultura software.

A metà degli anni '80, ciò nondimeno, la previsione di una confluenza tra informatica e telecomunicazioni in un'unica disciplina ha ancora il carattere di una vera e propria profezia. Si adotta, all'epoca, per caratterizzare questa confluenza il nome C&C (*Computer & Communication*), successivamente trasformato nel termine ICT (*Information & Communication Technology*) oggi universalmente impiegato.

Stanno nel frattempo nascendo in California le aziende manifatturiere che avrebbero interpretato il nuovo modo di fare comunicazioni e *networking* con approccio informatico: sorge nel 1979 la 3Com fondata da Metcalfe (inventore del protocollo Ethernet) e indirizzata soprattutto alle reti locali (LAN); nel 1980 la Ungermann-Bass mirata alla connessione in rete di computer di costruttori diversi; nel 1981 la Bridge Communication fondata da Judith Estrin e, proprio nel 1984, anno di presentazione del diagramma, Len Bosak e Sandy Lerner avviano la Cisco Systems che introduce i primi *router* multiprotocollo e si prepara ad assumere un ruolo fondamentale nello sviluppo delle nuove reti in area geografica (MAN e WAN). 3Com nel 1987 acquisirà Bridge ed allargherà il suo campo di azione dalle reti locali a quelle geografiche per poi confluire, nel 2009, nel Gruppo HP.

Nella realtà, l'annunciato processo di convergenza dà origine anche ad errate interpretazioni e molti *merger* di aziende sui due versanti, perseguiti per potenziare i relativi *business*, si rivelano fallimentari per la profonda differenza di cultura tra i due settori. La vera chiave interpretativa del diagramma si è poi palesata essere essenzialmente quella di una forte confluenza tecnologica più che di *business*. In altre parole non occorre necessariamente fondere aziende di informatica e telecomunicazioni: ciò che risultava essenziale ed indispensabile per lo sviluppo di ambedue i settori era la necessità che gli informatici acquisissero, per affrontare la grande rivoluzione di Internet, anche una profonda cultura delle comunicazioni e, viceversa, era vitale per le aziende TLC affrontare gli sviluppi dei loro sistemi con la cultura ed i mezzi dell'informatica.

<sup>22</sup> Vale la pena ricordare che, peraltro, le tecniche di alta affidabilità per i calcolatori (micro-istruzioni in parallelo su due diversi componenti hardware) sono nate e sono state sviluppate nell'ambito della commutazione elettronica per le esigenze di estrema affidabilità che tali apparati richiedevano dal momento che il governo della centrale veniva affidato ad un calcolatore. Tale affidabilità era un ordine di grandezza maggiore delle necessità per l'informatica.

Questo messaggio era stato completamente recepito dalle nuove aziende sopra menzionate fin dall'inizio della loro attività.

Dal punto di vista storico si può osservare come – nei tre decenni '60, '70 e '80 – il percorso verso un modello di rete di tipo Internet è stato essenzialmente pilotato dal mondo USA sia come idee scientifiche che per la fabbricazione dei relativi apparati.

In Italia, l'evoluzione delle Reti di calcolatori<sup>23</sup> viene seguita con interesse. Il CNR implementa una rete OSI nel 1980 con lo scopo di garantire l'interconnessione delle LAN e degli apparati hardware eterogenei dei suoi Centri di ricerca collaborativi.

Nel 1985 si avvia la rete pubblica ITAPAC (*ITALian PACKET Switched Network*), estesa a tutto il territorio nazionale, in grado di gestire i protocolli X.25 e X.28 (quest'ultimo come uno dei protocollo di accesso). La rete, realizzata e gestita congiuntamente dal Ministero e dalla SIP, nel 1989 passa interamente sotto il controllo di SIP anticipando di un paio di anni la riorganizzazione del settore TLC (ASST diventerà Iritel e poi fondendosi con SIP, diventerà Telecom Italia).

Nel 1990 si avvia la rete IUnet, con protocollo TCP/IP, promossa dall'Università di Genova – la prima rete geografica italiana aperta all'utenza non accademica – che, a partire dal 1995, passa sotto la gestione della società Infostrada.

Nel 1994 nasce la rete pubblica "Interbusiness" di Telecom Italia per trasmissione dati con protocollo TCP/IP<sup>24</sup>.

## Confluenza ICT/audiovisivo

### *Introduzione*

Il decennio '90 è particolarmente importante e denso di avvenimenti come preparazione all'avvento della Società multimediale.

In particolare si realizza un più profondo legame tra il mondo ICT dell'epoca – caratterizzato essenzialmente dall'interesse per il segnale telefonico e dati – e quello audiovisivo interessato al trattamento dei segnali radiofonici e televisivi

<sup>23</sup> Per quanto riguarda gli aspetti delle *Computer network*, la debolezza industriale del settore informatico italiano – il cui apporto sulle tematiche di interesse per la nostra storia si chiude praticamente nel 1964 con l'uscita di Olivetti dal campo dei medi e grandi calcolatori – ha certamente limitato i contributi a questa evoluzione, anche se in qualche Università italiana vi sono stati apporti teorici di un certo interesse. Sembra tuttavia giusto ricordare due fasi successive al 1964 dell'Olivetti: il successo della "Programma 101" uscita sul mercato nel 1965 ed ancora, abbastanza più tardi, a metà degli anni '80, con i PC M10, M20 e M24 per i quali Olivetti rimane all'altezza della sua fama. Tali evenienze rappresentarono importanti traguardi industriali (Olivetti all'epoca era il secondo produttore del mondo di PC) piuttosto che scientifici che sono quelli di maggior interesse per quanto riguarda i contributi ai temi di questo paragrafo.

<sup>24</sup> Per qualche maggiore particolare su tutte queste reti nazionali si rimanda al contributo di cui alla nota 13 di M. Ajmone Marsan ed al., con particolare riferimento alla sezione a cura di F. Guadagni.

la cui digitalizzazione era da poco iniziata. In questo ambito un'importanza peculiare stanno assumendo gli studi scientifici e le implementazioni per la "compressione" dei segnali digitali audio-video nonché il lavoro organizzativo e di relazioni per la relativa standardizzazione a livello internazionale.

Il decennio è anche caratterizzato dall'introduzione dei nuovi standard diffusivi digitali che, per la prima volta, vengono sviluppati con prestazioni a carattere multimediale.

In campo puramente trasmissivo, sempre nello stesso periodo, si affermano per le telecomunicazioni nuovi e rivoluzionari sistemi per l'area di accesso.

### *La "compressione" delle informazioni digitali e la nascita degli standard di codifica di sorgente*

Alla fine degli anni '80 i problemi da risolvere per estendere le tecniche digitali a tutte le informazioni diverse dai dati e dalla voce erano ancora molti e di non facile soluzione. Una condizione determinante per l'avvio della Società multimediale rimaneva, in primo luogo, la trasformazione in forma numerica di "tutti" i tipi di segnali ed a tale appuntamento mancava soprattutto l'immagine *full motion* (cioè la televisione), informazione per sua natura particolarmente "pesante" in termini di *Mbit/s* per essere trasmessa ed in termini di *MByte (MB)* per essere immagazzinata.

Anche se inferiori, ancora gravose apparivano le problematiche per immagini fotografiche e per programmi musicali, tipologie di informazioni anch'esse determinanti per lo sviluppo della multimedialità. In assenza di altre elaborazioni, un'immagine fotografica di qualità richiedeva infatti una capacità di memoria dai 30 ai 70 MB (e fino ai 150 MB per le riproduzioni di opere d'arte), mentre un segnale musicale stereofonico esigeva un *bit-rate* minimo di circa 1,5 *Mbit/s* per essere trasmesso e, corrispondentemente, una capacità di archiviazione di poco inferiore ai 700 MB per un'ora di *performance* musicale.

Tali numeri, per quanto molto inferiori a quelli necessari alla numerizzazione di un segnale televisivo, erano considerati, all'epoca, improponibili per applicazioni di multimedialità.

Nel caso di un segnale televisivo digitale a colori SDTV (*Standard Definition TeleVision*), i problemi crescevano esponenzialmente: il minimo *bit-rate* richiesto (facendo riferimento agli standard europei) portava ad un valore di circa 170 *Mbit/s*<sup>25</sup> (2500 volte superiore ai 64 *kbit/s* richiesti per la voce!) ed un'ora di trasmissione televisiva avrebbe richiesto in memoria 80 GB !

<sup>25</sup> Il valore anzidetto (ad essere esatti 166 *Mbit/s*) si ricava dal numero totale di *pixel* effettivi (576 linee attive e 720 *pixel* per linea per SDTV) di un quadro moltiplicato per i 25 quadri interallacciati al secondo, assegnando ad ogni macropixel 8 bit per i campioni di luminosità ed, in media, 4 bit ciascuno per i due segnali di croma (come stabilivano le norme per i segnali televisivi di contributo). Al valore 166 *Mbit/s* si devono poi sommare l'audio ed il teletext che sono quasi trascurabili. Nella pratica, a parità di *bit* per macropixel, il valore effettivo di capacità dipende dalla frequenza di campionamento che viene scelta in base a molteplici fattori.

Per non parlare della HDTV (*High Definition TeleVision*), per la quale i valori sopra menzionati per SDTV dovevano essere moltiplicati per un valore di poco inferiore a 5.

Tutti questi numeri, nella seconda metà degli anni '80, impressionavano i tecnici per le larghezze di banda delle reti di accesso e dei sistemi di diffusione allora disponibili nonché per i costi delle memorie. L'utilizzo di tali tipi di informazioni, per un mondo che si proponeva di giungere al "tutto digitale", sembrava ancora assai difficile o, quantomeno, molto dilazionato nel tempo.

L'obiettivo della completa multimedialità rimaneva, pertanto, del tutto incompiuto.

La definitiva risposta a queste incertezze viene fornita in modo completo e soddisfacente – ed in un arco di tempo relativamente breve – dalle tecniche di riduzione di ridondanza applicate a ciascuno dei tipi di informazioni sopra menzionati. Infatti, nel periodo 1987-1994, sono definiti ed emessi (e per di più con accettazione a livello globale mondiale) i primi fondamentali standard ISO/IEC di codifica di sorgente (in gergo "compressione") quali lo standard del Gruppo JPEG (*Joint Picture Expert Group*) per le immagini fisse e la famiglia di standard del Gruppo MPEG (*Motion Picture Expert Group*) per la suite integrata Audio-Video<sup>26</sup>. I relativi standard audio quali, ad esempio, MP3 ed AAC (*Advanced Audio Coding*) – emessi come parte integrante degli standard MPEG – avranno anche vita a sé per il caricamento da Internet di file musicali o per applicazioni puramente audio come il *broadcasting* radiofonico digitale.

Una peculiarità degli standard di compressione – che non ha il corrispondente nell'analogico – è la loro scalabilità, ossia la possibilità di scegliere il *bit-rate* del segnale compresso secondo la qualità desiderata e le caratteristiche del particolare programma trasmesso. Ad esempio, nel caso televisivo, lo standard MPEG-2 (emesso nel 1994) può ridurre la ridondanza di un programma digitale televisivo dal valore "naturale" anzidetto di 170 Mbit/s ad un valore di 8 Mbit/s ed anche fino a 2 Mbit/s (con un'entità di compressione rispettivamente dell'ordine di 20 ed 80 volte) a seconda che l'immagine sia fortemente in movimento o relativamente statica o, per una prefissata dinamica del segnale, in funzione della qualità desiderata.

Nei lavori di standardizzazione per MPEG-2 viene definito anche il protocollo "*Transport Stream*" (TS) – denominato anche *Multi Programm Transport Stream* – che rappresenterà il formato standard per la trasmissione ed archiviazione di audio, video e dati e che sarà impiegato in tutti i nuovi standard diffusivi digitali. Il TS specifica un *container* di più *stream* elementari (nel caso televisivo i programmi) proponendosi anche di mantenere l'integrità della trasmissione quando il segnale è degradato.

Le applicazioni della compressione MPEG, nate sotto la sollecitazione degli studi HDTV, avevano spostato la loro attenzione, per un lungo periodo di anni,

<sup>26</sup> Per maggiori particolari storici su tali tematiche e la nascita dei relativi standard, si rimanda ai due capitoli di questo stesso volume "Radiofonia e televisione: era analogica" e "Radiofonia, televisione e cinema: era digitale" di G. Vannucchi e F. Visintin.

al campo della televisione standard SDTV al fine di contenere, anche in questo caso, le bande necessarie per la diffusione e per una più efficace occupazione spettrale con possibilità di aumentare il numero di programmi trasmessi.

Nell'attesa che i grandi schermi piatti riportassero l'attenzione verso l'HDTV per una sua effettiva comparsa sul mercato di massa, un nuovo standard di compressione denominato MPEG-4 AVC (*Advanced Video Coding*), esce nel 2003 e porta a raddoppiare ulteriormente la capacità di compressione (da un minimo di 40 fino ad un massimo di 160 volte!) aprendo così le porte alla possibilità di diffondere un programma in alta definizione con un *bit-rate* sui 13-15 Mbit/s.

Un preminente vantaggio degli standard menzionati è stato la loro accettazione a livello mondiale ed anche la condivisione da parte di tutti i grandi e fortemente differenziati settori dei media (*computer, broadcasting, telecomunicazioni e mondo consumer*). Si annullano così le barriere anche commerciali che avevano caratterizzato il mondo televisivo in campo analogico con vari differenti standard quali NTSC, PAL, SECAM ed altro.

La convergenza degli standard diventa, pertanto, un altro aspetto peculiare dei processi che hanno caratterizzato ed accelerato l'avvento della multimedialità e della Società dell'Informazione.

L'importanza ed il ruolo della compressione vanno sottolineate con particolare enfasi in quanto gli effetti benefici della migliore utilizzazione delle bande e dello spettro radio (come si vedrà meglio più avanti) non sono una conseguenza della digitalizzazione come tale – che da questo punto di vista avrebbe, all'opposto, peggiorato notevolmente le cose – quanto piuttosto della compressione, tecnologia di estrema importanza per tutte le applicazioni pratiche e senza la quale il progresso verso la multimedialità sarebbe stato difficile se non impossibile.

È pur vero che la compressione si appoggia al processamento digitale dei segnali, ma va considerata una disciplina a sé stante rispetto alla numerizzazione delle informazioni. Il risultato è stato conseguito attraverso un'analisi approfondita della particolare natura e caratteristiche nonché di tutte le possibili cause di ridondanze ed irrilevanze applicata a ciascuna specifica tipologia di informazione. Attraverso tali studi, si è riusciti ad adottare particolari algoritmi matematici di elaborazione delle informazioni trasmesse che hanno consentito di raggiungere traguardi insperati ai processi di convergenza analizzati in questo scritto.

Nell'ambito del progresso storico dell'audiovisivo si può ricordare come il contributo italiano in questo campo sia stato particolarmente significativo. Senza entrare in maggiori particolari, già riportati in altre parti del presente volume (cfr. nota 26), è sufficiente ricordare il fondamentale contributo alla compressione digitale seguito ad un accordo RAI – Telettra del 1987 che si era posto come obiettivo la realizzazione di un prodotto industriale (con circuiti integrati *ad hoc*) per la trasmissione di programmi in alta definizione (HDTV) per i Campionati del mondo di calcio in Italia del 1990. A seguito di questo accordo, per la prima volta al mondo, i programmi HDTV vengono distribuiti e diffusi in formato completamente digitale in Italia e Spagna, obiettivo impensabile senza la compressione.

Tale sforzo trova, in parallelo, nella peculiare figura di Leonardo Chiari-gliione del CSELT – in qualità di promotore e *chairman* del già citato Gruppo MPEG da lui condotto con estrema determinazione – il protagonista della nascita ed accettazione definitiva dei nuovi standard di compressione Audio-Video.

### *Codici correttori, nuove modulazioni e standard diffusivi digitali*

A partire dall'inizio degli anni '90, in contemporanea agli standard di compressione, vengono creati in ambito europeo – senza pervenire in questo caso ad una condivisione con gli USA – gli standard per la diffusione dei segnali digitali radiofonici e televisivi.

Due sono stati i fondamentali campi della tecnologia che hanno giocato un ruolo rivoluzionario nei nuovi standard diffusivi: da un lato i potenti sistemi di codifica di canale per la correzione degli errori del canale trasmissivo e, dall'altro, i nuovi avanzati sistemi di modulazione. La combinazione di questi due elementi ha contribuito in modo decisivo a conseguire una particolare resistenza a disturbi di varia natura – quali riflessioni, interferenze, disturbi impulsivi, ecc. – con conseguente necessità, a parità di area coperta, di una minor potenza di emissione rispetto al modo analogico.

Per l'importanza che li caratterizza, vale la pena spendere qualche parola sui codici correttori adottati e sui nuovi metodi di modulazione.

Il primo fondamentale sistema di codifica di canale era stato un codice a blocchi, proposto nel lontano 1960 presso il MIT da Irving Reed e Gustave Solomon quando ancora non era noto alcun sistema efficiente di correzione di errori a carattere aleatorio nella trasmissione di un flusso di *bit*. Il sistema prese il nome di codice Reed-Solomon (RS).

Un particolare curioso che vale la pena citare è che l'applicazione su larga scala del codice RS iniziò dopo che, nel 1982, era stato impiegato nei lettori CD, circostanza che aveva consentito, per le quantità in gioco, un approccio con *chip* ad alta integrazione a costi fortemente decrescenti.

Oggi il codice RS continua ad essere impiegato estensivamente nei sistemi *consumer*, ma il suo contributo è stato fondamentale nelle trasmissioni su fibra ottica per grandi distanze e nella esplorazione dello spazio profondo, prima ancora della sua adozione negli standard digitali di trasmissione e di diffusione che vedono la luce negli anni '90.

Il secondo fondamentale sistema di codifica di canale è caratterizzato da una codifica convoluzionale con “decodifica Viterbi”. Il particolare algoritmo- che ne rendeva possibile la realizzazione pratica – fu concepito da Andrew Viterbi nel 1967 ma reso utilizzabile solo a partire dalla fine degli anni '70 in virtù dell'integrazione microelettronica. Tale sistema di codifica di canale è particolarmente adatto a correggere tassi di errore di valore moderato mentre non è indicato per la correzione di tassi di errore molto piccoli perseguito in svariati sistemi (ed è questa la ragione per cui viene sempre usato in combinazione con la codifica RS). Se oggi, per la ricezione televisiva dai satelliti geostazionari,

vediamo sui palazzi parabole di dimensioni contenute (50-60 cm), lo dobbiamo essenzialmente all'adozione ed implementazione pratica dell'idea di Viterbi.

Nuovi ed ancor più avanzati sistemi di codifica di canale (LDPC-*Low Density Parity Code*, Turbo codici, ecc.) sono stati adottati negli standard diffusivi di seconda generazione. Essi hanno portato i flussi digitali trasmessi a raggiungere prestazioni in *bit-rate* praticamente coincidenti con il limite teorico di Shannon che, com'è noto, rappresenta la massima velocità teorica raggiungibile da un sistema trasmissivo di assegnata larghezza di banda e con un certo rapporto segnale/rumore. Tale avvicinamento al limite teorico, fino a non moltissimi anni fa, era considerato un obiettivo del tutto utopico!

Anche se le idee e le basi scientifiche di questi nuovi codici risalgono a molti anni prima, è ancora una volta l'integrazione microelettronica che ne consente la larga utilizzazione in apparati civili a costi particolarmente contenuti.

Per quanto riguarda le novità nel campo delle modulazioni, oltre a metodi più classici e consolidati di modulazioni digitali multilivello, compare sullo scenario del decennio '90 un metodo destinato ad affermarsi quasi universalmente per le sue eccezionali prestazioni di resistenza a molti tipi di disturbo. È il sistema di modulazione OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), impiegato ormai quasi universalmente ad eccezione della televisione via cavo coassiale (perché non necessario) e della televisione via satellite (perché non idoneo per problemi di saturazione del Tubo ad Onda Progressiva).

Una conseguenza della particolare robustezza del sistema OFDM è la possibilità di consentire reti con l'impiego di una sola frequenza anziché le quattro o cinque richieste nel caso analogico per evitare interferenze tra zone contigue. Anche se una tale prestazione non può sempre essere adottata – ad esempio nel caso di programmazioni regionali – ad essa consegue un ulteriore determinante vantaggio nello sfruttamento dello spettro rispetto a quanto già ottenuto con la compressione dei segnali. In particolare l'utilizzo per i programmi a diffusione nazionale di reti a singola frequenza (SFN-*Single Frequency Network*) è risultato determinante, nel complicato e sovraffollato quadro italiano, per gestire il piano di transizione televisiva dall'analogico al tutto digitale da completare entro il 2012.

Agli inizi del 1990 si propone l'applicazione della modulazione OFDM al sistema ADSL ed allo standard diffusivo radiofonico DAB (*Digital Audio Broadcasting*) allora allo studio.

Da queste prime applicazioni, l'OFDM inizia una marcia trionfale che lo vede con rapidità esteso a molti altri sistemi anche in virtù del basso costo dei componenti integrati che effettuano il processamento digitale e che permettono di calcolare la DFT (*Discrete Fourier Transform*) con velocità sempre più elevate.

Il sistema di modulazione OFDM è stato oggi esteso a quasi tutti gli standard televisivi e radiofonici, ai sistemi Wi-Max e più recentemente ne è stata deciso l'impiego anche per il sistema radiomobile LTE (*Long Term Extension*) per la tratta di *down-stream* stabilendo, in tal modo, un elemento di convergenza del mobile con gli altri standard per reti fisse.

Per la particolare ed innovativa estensione della modulazione OFDM ai sistemi ADSL si farà un breve cenno nel seguito.

Dopo il richiamo di questi mattoni fondamentali della catena ricetrasmittiva si può tornare ad esaminare il progresso storico degli standard diffusivi digitali che li hanno intensamente impiegati.

In primo luogo è importante ricordare lo standard DAB che, pur nascendo per la radiofonia, è da considerarsi il fondamentale capostipite di tutta una serie di importanti standard diffusivi digitali sia per radiofonia che per televisione. In particolare con il DAB, approvato definitivamente in ambito ITU nel 1994 – dopo anni di studio, a partire dal 1987, nell'ambito del progetto europeo Eureka 147 – nasce per la prima volta un nuovo standard a valenza multimediale, in grado cioè di consentire la diffusione di suoni, immagini e clip video.

Caratteristica peculiare per il nuovo standard radiofonico è anche la proposta di allocarlo, come occupazione spettrale, in una porzione della banda VHF televisiva<sup>27</sup>, totalmente estranea a quella banda FM oggi ancora impiegata per le trasmissioni radio analogiche.

Al DAB seguiranno, più di un decennio dopo, gli standard DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*) nel 2005 e DAB+ nel 2007, destinati nel prossimo futuro ad affermarsi nei mercati di tutti quei paesi in cui non vi sia già stata un'introduzione massiccia dei ricevitori radiofonici DAB di prima generazione. Con i due nuovi standard si è infatti in grado di ottimizzare meglio lo sfruttamento dello spettro per merito, in particolare, delle nuove avanzate codifiche di sorgente AAC, l'adozione delle quali aumenta sensibilmente la capacità radiofonica a parità di spettro occupato.

In Italia, a causa dei soliti problemi di affollamento del nostro spettro, l'introduzione del DMB e del DAB+ procede con molta lentezza in quanto si è costretti ad attendere lo *switch-off* televisivo del 2012 per poter liberare i canali radio in banda VHF assegnati per l'allocazione radiofonica ma ancor oggi impiegati da televisioni analogiche.

Passando agli standard in campo televisivo per diffusione digitale, gli inizi degli anni 90 vedono l'affermarsi dei vari standard per satellite, per cavo coassiale e per *broadcasting* terrestre. Essi sono mirati alla progressiva introduzione del segnale digitale in luogo di quello analogico, pur mantenendo inalterate le canalizzazioni spettrali già esistenti nate per accogliere programmi analogici e difficilmente modificabili (non fosse altro che per il necessario periodo di coesistenza tra i due mondi).

In particolare va ricordato che il Progetto DVB (*Digital Video Broadcasting*), guidato in ambito EBU (*European Broadcasting Union*) da Ulrich Reimers, è stato un ottimo esempio di cooperazione europea ed ha generato in pochi anni, con criteri comuni e compatibili, tutti gli standard<sup>28</sup> per i diversi mezzi trasmissivi

<sup>27</sup> In realtà è stata anche assegnata la banda L (1,5 GHz) in cui i costi di investimento sono però sensibilmente più alti con un numero di trasmettitori richiesto almeno doppio.

<sup>28</sup> Gli standard fondamentali DVB sono stati emessi in una prima fase dal 1993 al 1995. Più tardi nel periodo 2005-2008 sono stati emessi standard di seconda generazione: tra cui il DVB-H – complementare al DVB-T – per ricezione con terminali mobili (H per *Handheld*).

(satellite, cavo, radio terrestre) quali il DVB-S, DVB-C, DVB-T e, dopo alcuni anni, il DVB-H per *mobile-television*, seguiti più recentemente dai corrispondenti standard di seconda generazione per satellite e terrestre (DVB-S2 e DVB-T2) che hanno ulteriormente migliorato l'ottimizzazione nell'utilizzo dello spettro.

Per quanto riguarda la storia della standardizzazione di questi sistemi, i metodi di lavoro di gruppo adottati rendono difficile o impossibile identificare nomi specifici ed il merito per le innovazioni introdotte non può altro che essere attribuito nel loro complesso ai diversi Gruppi internazionali che le hanno portate avanti. In particolare va però ricordato il ruolo estremamente significativo giocato in questo campo dal Centro Ricerche della RAI i cui contributi di grande importanza apportati nell'ambito degli organismi di standardizzazione hanno, per l'apprezzato lavoro svolto, portato ad una serie di riconoscimenti internazionali<sup>29</sup>.

È importante notare che il pregio di un'estremamente efficiente utilizzazione dello spettro spetta essenzialmente ai metodi di compressione, mentre ai codici correttori ed alle nuove modulazioni va assegnata il merito per la grande resistenza offerta ai disturbi dai segnali diffusivi audio-video digitali.

Per avere un'idea dei vantaggi complessivi di occupazione spettrale raggiunti, nell'ambito degli anni '90 – attraverso compressione, codifiche di canali e modulazioni adottate – è sufficiente ricordare che un programma televisivo digitale non compresso avrebbe occupato uno spettro cinque volte superiore a quello del corrispondente programma in analogico! Adottando la compressione MPEG-2 e con gli schemi di trasmissione adottati, l'occupazione spettrale – anche nel caso di qualità ottimale – si riduce a più di un quarto rispetto al caso analogico, permettendo in tal modo un sensibile aumento del numero di programmi trasmissibili rispetto alla situazione analogica preesistente.

Con l'introduzione successiva, nel 2003, dello standard di compressione MPEG-4-AVC, tale vantaggio raddoppia ulteriormente ed ha aperto, senza eccessive preoccupazioni, alla diffusione di programmi HDTV in alta definizione.

Il conseguente crollo dei costi di diffusione ha aperto la strada ai programmi in digitale per nuovi modi di fruizione televisiva – da satellite e cavo ed oggi estesa al terrestre – con la conseguente introduzione di programmi specializzati (“tematici”) che permettono sia di creare una base per un'offerta ricca e differenziata sia l'opportunità di offrire servizi a pagamento del tipo *Pay-TV* o *VOD-Video on demand*.

È importante infine notare che gli standard DVB approvati negli anni '90 non sono stati concepiti per il nuovo mondo IP, tenuto conto della data in cui gli studi erano partiti nonché delle necessità di compatibilità e di uniformità della famiglia DVB di standard. Pur prevedendo, infatti, una trasmissione a pacchetti, la struttura del multiplo di trasporto DVB è stata studiata per un'applicazione finalizzata alla televisione, mentre solo pochi anni dopo sarebbe stata indirizzata ad adottare

<sup>29</sup> Per maggiori dettagli sulla storia degli standard della diffusione audiovisiva digitale e sul ruolo del Centro Ricerche della RAI si rimanda al secondo dei già citati contributi di G. Vannucchi e F. Visintin di cui alla nota 26.

un'impostazione totalmente di tipo IP. Ciò nondimeno, il ruolo giocato da questi standard diffusivi – e dai concetti alla base del già menzionato *Transport Stream* – è risultato fondamentale in quanto essi hanno rappresentato un aspetto peculiare del cammino verso la completa Società multimediale consentendo, anche lato utente, tutta una serie di prestazioni e di flessibilità prima non conseguibili.

Il decennio 2000 sarà invece, come verrà visto più avanti, caratterizzato da nuovi portanti e standard diffusivi che hanno puntato e puntano ad una completa filosofia IP, in linea con la restante evoluzione di tutta le rete.

### *Lo sviluppo di sistemi trasmissivi nell'area di accesso: fibra ottica e ADSL*

Nel nostro percorso sull'evoluzione delle reti fisse è essenziale aggiungere ancora un tassello importante per entrare nella Società dell'informazione, vale a dire una rete di accesso con velocità adeguata.

Negli anni '90 si comincia assai timidamente a parlare di fibra ottica in area di accesso all'utente. Questo straordinario portante – di cui pioniere della concezione e realizzazione era stato a partire dal 1966 Charles Kao ad Harlow (Regno Unito) – era ormai universalmente impiegato sulle lunghe distanze dall'inizio degli anni '80, ma non ancora in area di accesso in quanto ritenuto troppo costoso per tale applicazione, soprattutto quando si rendono necessari lavori infrastrutturali per interrare i condotti per i cavi in fibra. E questa, purtroppo ancora in massima parte, era ed è la situazione italiana in cui l'ultimo tratto dell'accesso non possiede infrastrutture preesistenti da utilizzare essendo i cavi in rame, per ragioni di carattere storico, direttamente interrati.

La risposta a tale esigenza, su un orizzonte temporale più prossimo e senza necessità immediata dei grandi investimenti richiesti per la fibra ottica (soprattutto per gli scavi connessi), viene dalla proposta di un nuovo straordinario sistema trasmissivo indicato con il nome ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*<sup>30</sup>) – così denominato per la dissimmetria di *bit-rate* che lo caratterizza – in grado di sfruttare la preesistente rete di cavi a coppie di rame. Il nuovo sistema permette di moltiplicare di ordini di grandezza la capacità di trasmissione dei doppi in rame nati originariamente per trasmettere la sola voce analogica!

La prima idea per un nuovo sistema così concepito nasce nel 1987 da Joseph Lechleider della Bellcore che suggerisce per primo l'estensione d'impiego delle coppie in rame e propone la trasmissione asimmetrica con più banda in *down-loading* a spese di quella riservata all'*up-loading*.

Ma è un giovane PhD della Stanford University, John Cioffi, che, sul finire degli anni '80, ancor prima che si parlasse di Internet, si indirizza a risolvere il problema di offrire servizi di *Video on Demand* sulla rete in rame, aprendo la strada alla pratica realizzazione del nuovo sistema.

Per l'applicazione prevista, le specifiche di partenza presupponevano la trasmissione sulla linea di abbonato – caratterizzata in USA da lunghezze massime

<sup>30</sup> L'ADSL si pone nella pila OSI al livello 1, ossia allo strato fisico.

molto maggiori dei 2-3 km tipici dell'Italia – di un segnale televisivo compresso con *bit-rate* di 4-6 Mbit/s. Il sistema adotta le più raffinate tecniche di comunicazioni conosciute: in particolare, codici correttori RS e Viterbi ed una modulazione DMT – *Discrete Multi Tone*, fondamentalmente coincidente con l'OFDM ma integrata da frequenze pilota di ritorno in grado di misurare il rapporto segnale-disturbo per ognuna delle portanti (al fine di ottimizzare i livelli di modulazione sulla base dell'entità di disturbo presente nei vari punti della banda).

L'obiettivo iniziale dell'ADSL è troppo ambizioso: le difficoltà sono molteplici ed il tempo di realizzazione dei relativi componenti integrati si allunga sensibilmente nel tempo. La nascita di Internet per il grande pubblico alla fine del 1995 è, quindi, una grande occasione per accelerare l'utilizzo del sistema senza necessità di soddisfare le prestazioni di targa iniziali troppo spinte per l'epoca. *Bit-rate* più contenuti di quelli necessari alla trasmissione televisiva diventano di grande interesse in ogni caso e l'epoca delle lunghe attese di fronte al computer per il caricamento di *file* dalla Rete sta avviandosi alla fine.

Nel 1998 il sistema comincia, anche se con una certa lentezza iniziale, a diffondersi in Italia. Alla fine del 2000 il numero di ADSL nel nostro Paese forniti da Telecom Italia è però ancora solo di 100.000 terminali con un notevole ritardo rispetto ad altri Paesi che possono, tra l'altro, godere di sistemi con simili prestazioni anche attraverso l'infrastruttura in cavo coassiale spesso presente per la distribuzione televisiva analogica e del tutto assente in Italia.

## Estensione del protocollo IP e reti di nuova generazione

### *La nuova frontiera delle reti a partire dal 2000*

Nel nostro percorso siamo ormai alle soglie del 2000.

Manca l'ultimo tassello per entrare definitivamente nella Società dell'informazione: l'estensione della *suite* IP a tutti i tipi di informazioni per poterne disporre nella generalità dei casi delle reti di telecomunicazioni.

All'Italia, l'inizio 2000 riserva un importante primato pionieristico a carattere sistemistico: prima al mondo, nasce a Milano una rete pubblica in fibra ottica fino all'utente concepita dalla società Fastweb<sup>31</sup> con un'impostazione totalmente IP per tutti i tipi di informazione. L'offerta commerciale è per voce, video e dati (Internet) con velocità di 10 Mbit/s (limitata esclusivamente per ragioni commerciali) nella quale la distribuzione televisiva in IP (IP-TV) comincia da quell'anno a percorrere i suoi primi passi.

Fastweb affronta il problema della posa delle fibre nell'area di accesso con metodologie molto moderne ed efficienti mentre per le reti Metropolitane (MAN) in area milanese è determinante l'accesso ai condotti di Metroweb (all'epoca controllata da AEM) interrati durante i lavori per l'illuminazione delle strade di Milano (vedi nota 34). Per la parte elettronica si mettono in atto

<sup>31</sup> All'epoca il nome della Società Fastweb era "e-biscom".

le modalità IP con il fondamentale supporto degli apparati della Cisco Systems determinanti per la realizzazione della nuova rete.

La rete di accesso in fibra di Fastweb si diffonde velocemente in alcune zone di Milano (ed anche in alcune altre grandi città), ma rimane pur sempre un fenomeno di nicchia fino a che la società, nel 2003, si vede costretta ad appoggiarsi, per ragioni di carattere economico, al sistema ADSL che finalmente si sta affermando sul mercato italiano.

L'utilizzo del sistema su cavi a coppie della rete di Telecom Italia era stato reso possibile dopo che in Italia l'Autorità Garante per le Comunicazioni aveva definitivamente messo a punto l'obbligo per l'ex-monopolista a fornire servizi di *bit-stream* (fornitura del servizio completo su strutture di rete dell'ex-monopolista a prezzi regolamentati) e di *unbundling* (affitto, sempre a prezzo regolamentato, della sola coppia da parte del gestore *new comer* con impiego di suoi apparati proprietari).

Attraverso le coppie in rame, Fastweb riesce sostanzialmente a fornire gli stessi servizi messi a disposizione nelle installazioni in fibra (anche se con velocità inferiore per i servizi Internet) ed in particolare ad assicurare anche la specifica offerta IP-TV (con prestazioni più critiche se l'utente è distante dalla Centrale), precedendo in quest'ultimo servizio Telecom Italia di un paio di anni.

L'obiettivo iniziale con il quale Fastweb era nata – e cioè l'impiego della fibra ottica nel segmento di accesso – rimaneva in tal modo confinato ad un numero circoscritto di utenti a causa dei rilevanti investimenti infrastrutturali richiesti per allargare ulteriormente la propria rete: ciò confermava, nella pratica, il carattere di monopolio naturale di questo segmento della rete e la necessità di collaborazione tra i vari operatori nelle nuove strutture di accesso.

### *L'evoluzione della suite del protocollo IP*

Il protocollo ATM, come già detto, era stato studiato appositamente per tener in conto la possibilità di trasmettere tutti i tipi di informazione con la stessa modalità. L'ATM cominciò ad essere usato nella rete telefonica, in particolare dagli ex-monopolisti, anche per gli apparati ADSL lato centrale (noti col nome DSLAM – *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) e per la rete mobile UMTS<sup>32</sup>.

Alla fine degli anni '90 la *suite* IP inizia, a sua volta, il grande processo di conversione da protocollo dati a protocollo universale. Nessuno, tuttavia, in quegli stessi anni avrebbe scommesso – visti i vincoli ed il tradizionale atteggiamento conservativo dei gestori monopolisti – che IP sarebbe riuscito a vincere la sua battaglia rispetto al più strutturato e dettagliato (anche se più pesante) protocollo ATM (per di più, all'epoca, già introdotto in rete in un notevole numero di apparati).

In questa trasformazione ed adattamento del protocollo, fondamentale è stata la spinta ed il lavoro portato avanti dalla Cisco Systems per indirizzare l'impiego

<sup>32</sup> Nel 2001, la struttura di trasporto per il collegamento delle stazioni radio-base era specificata per poggiare sullo standard ATM. Solo più recentemente è stata consolidata, a livello di standardizzazione, un'architettura *all IP* anche per il trasporto in questi tipi di rete.

delle prestazioni offerte dalla *suite* IP nella direzione che permettesse, nel suo complesso, di risolvere tutti i problemi sopra accennati.

L'obiettivo della trasformazione della *suite* IP era ambizioso: occorreva rivedere tutto il complesso della tematica IP al fine di rendere possibile la trasmissione delle informazioni diverse dai dati, tenendo conto al tempo stesso dei vari problemi di coesistenza con i molteplici protocolli<sup>33</sup> già presenti in rete (ATM, SDH, ecc.). In particolare, l'obiettivo era quello di impiegare la *suite* TCP/IP per due applicazioni per le quali non era mai stata impiegata in precedenza, quanto meno nell'ambito di una rete pubblica di telecomunicazione: la trasmissione di segnali in tempo reale ed il controllo della Qualità del Servizio.

Va detto – anche se questa battaglia vittoriosa è stata condotta per profondi interessi commerciali – che la soluzione finale cui si è arrivati, nonostante la molteplicità dei protocolli di corredo, si è dimostrata nella pratica la più felice perché è riuscita a mantenere le caratteristiche intrinseche di maggiore semplicità e flessibilità di IP con velocità più elevate e prestazioni maggiormente performanti nei sistemi di instradamento (*router e switch*).

La scelta di Fastweb è stata pertanto all'epoca particolarmente coraggiosa per due motivi: le molte innovazioni che venivano simultaneamente introdotte e la non certezza assoluta che la soluzione IP avrebbe prevalso, anche se certamente l'inizio fu tutt'altro che facile per gli utenti nell'impiego della telefonia<sup>34</sup>.

Per quanto riguarda la trasmissione in tempo reale si rende necessario adottare, per la trasmissione dei pacchetti IP di canali telefonici (tranne che per la “segnalazione” che è bene che sia controllata alla stregua di una trasmissione dati), il protocollo UDP (*User Datagram Protocol*)<sup>35</sup> della *suite* IP che opera in modalità *connection-less*. Si consegue in tal modo uno *streaming* delle informazioni voce e video in modalità *best effort* che è in grado di rispettare o, quanto meno, di controllare le modalità di comunicazione in tempo reale. L'impiego di TCP per queste applicazioni non è, infatti, accettabile in quanto le tecniche per il recupero degli errori di rete non sono adatte a supportare servizi real-time.

Per il controllo della Qualità del Servizio, occorre ricordare che ATM aveva sviluppato il miglior modello per erogare servizi in tempo reale per ogni tipo di traffico e per offrire funzionalità accessorie per classi di servizio. Ad esso occorre ispirarsi e l'obiettivo si poteva così sintetizzare: come poteva essere assicurata una qualità del servizio, a livello di singolo utente e di applicazione, in un ambiente di trasmissione IP mantenendone, al tempo stesso, l'originario carattere di semplicità?

<sup>33</sup> Il protocollo Ethernet sarebbe invece tornato utile e sinergico con IP.

<sup>34</sup> Certamente considerevole ed abile fu la scelta di appoggiarsi ai condotti dell'illuminazione dell'AEM (Azienda Elettrica Municipalizzata) del Comune di Milano, per realizzare la parte infrastrutturale della rete a costi contenuti.

<sup>35</sup> Il protocollo UDP lavora, come il TCP, a livello 4 della pila OSI ed era stato già introdotto in Internet, parallelamente al TCP, per le sue proprietà che lo rendevano adatto ai casi di comunicazioni dati con requisiti di tempo reale. Per l'epoca erano applicazioni particolari, quali un inserimento tempestivo di dati in rete o necessità di rispetto della sequenza dati.

Nasce così alla fine del 1998 il modello DiffServ (*Differentiated Services*)<sup>36</sup> che, associato ad IP, permette ad una rete di applicare politiche di gestione differenziata del traffico in base ai requisiti di QoS delle specifiche applicazioni (es. comunicazioni telefoniche, IPTV, ecc.) garantendo il rispetto *end-to-end* dei *Service Level Agreement* anche in presenza di fenomeni di congestione.

Negli anni 2000 e 2001, per completare e generalizzare le problematiche legate ai discorsi delle classi di servizio, viene introdotto anche il protocollo MPLS (*Multi Protocol Label Switching*) che rappresenta una tecnologia di sostegno all'instradamento IP. La tecnologia MPLS nasce dagli sviluppi che Cisco Systems e IBM avevano affrontato per introdurre nel mondo *connection-less* di IP i meccanismi di ingegnerizzazione del traffico utilizzati nelle reti *connection-oriented* ATM e *Frame Relay*.

MPLS offre ai *Service Provider* anche funzioni di *Fast Re-route*, prestazione fondamentale offerta fino a quel momento solo dal protocollo SONET/SDH che consente di progettare le reti per applicazioni sempre più *mission critical*.

L'utilizzo combinato, senza particolari complessità, del modello *DiffServ* e del protocollo *MPLS* permette di ottenere una gestione dinamica della Qualità del Servizio, ottimizzandola sia lato utente che lato *backbone*.

Per quanto si tende oggi a dimenticarlo (od a farlo dimenticare) va ricordato che i principi base dell'ATM hanno avuto importanza fondamentale per le più recenti evoluzioni della *suite* protocollare IP al fine di riuscire ad accogliere, anche in questo caso, tutti i tipi di informazioni e garantirne la Qualità del Servizio. Naturalmente l'attuale presenza di ATM in rete (e di molti altri protocolli storici) porta ad una serie di problemi di compatibilità con il preesistente con conseguenti complicazioni nella gestione del transitorio. Si presenta pertanto spesso la necessità di "incapsulare" la *suite* IP per adattarsi alle interfacce già esistenti (con ovvie riduzioni di prestazioni rispetto a quelle ottimali). Progressivamente il quadro è destinato a semplificarsi, ma il processo sarà lungo e complesso.

Tra i tanti protocolli presenti in rete, quello che sembra destinato a rimanere è il già citato e notissimo protocollo Ethernet<sup>37</sup>, particolarmente favorito dal fatto che moltissimi terminali già esistenti portano, a livello fisico, il relativo connettore. Esso è tuttavia destinato a giocare un suo specifico ruolo primario e significativo tra i protocolli delle future reti NGN (*Next Generation Network*), in quanto sempre più impiegato, al livello 2 della pila OSI, nei nuovi *router* e *switch* e come porte di uscita dei DSLAM.

<sup>36</sup> *DiffServ* è un modello che prevede la categorizzazione dei flussi di traffico sulla base di criteri di priorità e la conseguente gestione e dei pacchetti da parte dei router. Tra diverse possibili strategie alternative di QoS con relativi protocolli il modello DiffServ, di livello 3 nella pila OSI, sembra essere quello che maggiormente si sta affermando nell'uso corrente. Esso fa riferimento alla gestione di livelli di priorità associati ai pacchetti IP, quindi a Livello 3 ed il suo funzionamento si applica quindi indistintamente al traffico TCP ed UDP.

<sup>37</sup> Il protocollo *Ethernet* opera sia a livello 1 della pila OSI (*Ethernet Physical Layer*) che a livello 2 (*Fast Ethernet* e *Gigabit Ethernet*).

## Il “triple play” ed il “quadruple play”

Nel quadro sopra delineato i sistemi IP si sono avviati, sempre più in modo generalizzato, ad ospitare il cosiddetto *triple play*, ossia la possibilità di trasmettere e gestire i segnali dati, fonia, audiovisivi su un unico flusso trasmissivo di pacchetti.

Ormai si parla anche di *quadruple play* (Fig. 3) a seguito della convergenza tra sistemi di telecomunicazioni fisse e sistemi mobili. In altre parole, visto il largo uso di cellulari in ambienti domestici od all'interno d'uffici (superiore al 50%), allo scopo di migliorare la qualità di trasmissione/ricezione *indoor* e decongestionare lo spettro radio si progetta di incanalare questa porzione delle comunicazioni mobili (bidirezionali) utilizzando la rete fissa di accesso fino alla Centrale di Commutazione della rete mobile. Oltre al Wi-Fi che richiede cellulari appositi, una delle possibili implementazioni per cellulari già esistenti sono le cosiddette *Femtocelle* che, tuttavia, tardano a decollare per una serie di problematiche non solo di carattere tecnico ed il cui esito definitivo non è ancora certo.

L'ipotizzata generale convergenza, di cui molto si è parlato, tra mondo delle reti fisse e quello delle reti mobili – ossia la dislocazione su rete fissa delle caratteristiche tipiche di rete mobile – tarda a realizzarsi in quanto le rispettive posizioni sono ancora troppo lontane e non esiste un modo armonico per vedere una possibile convergenza. Nel caso delle reti mobili, infatti, i veri elementi distintivi sono le funzioni di autenticazione e di *handover* – ossia il passaggio di consegne tra una cella e quella adiacente – e questo aspetto le differenzia profondamente dalle reti fisse *wireless* che possono avere, con maggiore semplicità, architetture identiche a quelle delle reti su supporto fisico. Per parlare realmente di convergenza, nel funzionamento di una rete infrastrutturale anche per applicazioni mobili, occorrerebbe creare un “punto di ancoraggio” per ogni collegamento che deve rimanere sempre lo stesso quando il mobile si muove anche velocemente e va a interessare altre sezioni, anche lontane, di rete. Il realizzare questa prestazione in un'ipotetica architettura di rete convergente e renderla disponibile in modo generalizzato è ancora un problema lontano dalla soluzione e, soprattutto, non è chiaro quanto possa essere realmente utile.

Sempre in tema di possibile convergenza con il mobile rimangono invece aperte altre possibili sinergie. In particolare, ad esempio, un recente passo delle reti fisse è quello della progressiva adozione dell'architettura IMS (*Internet Multimedia Subsystem*) derivata proprio da esigenze delle reti mobili che, nel 2003, aveva portato all'introduzione di uno standard architetturale in grado di consentire facilmente il *roaming* tra reti mobili (GSM, UMTS, ecc.) di generazioni successive e con terminali diversi.

L'architettura IMS – importante per implementare funzionalità di tariffazione, sicurezza e gestione di nuovi servizi – nella sua adozione in rete mobile ha fornito, in un contesto IP, un accesso integrato ai servizi con una qualità *telecom grade*. Poiché la rete fissa, in prospettiva, tende a presentare problematiche simili, specialmente per le code *wireless*, appare del tutto naturale questo elemento specifico di convergenza che, con quasi certezza, si affermerà.

Anche nelle reti fisse, attraverso l'architettura IMS, si viene a creare in sostanza uno strato intelligente tra le funzionalità tipicamente di rete e quelle dei servizi,

separazione essenziale per uno sviluppo indipendente delle due parti. IMS sembra la strada più conveniente per architetture IP multiservizio e mira a sostituire l'infrastruttura di controllo presente nelle tradizionali reti

telefoniche, separando i servizi dalle reti sottostanti che li trasportano. Avere tutti i servizi gestiti in un'unica architettura potrebbe portare diversi benefici, di cui uno dei primi è probabilmente quello di avvicinarsi di più alla convergenza fisso-mobile che peraltro rimane un obiettivo ancora lontano.

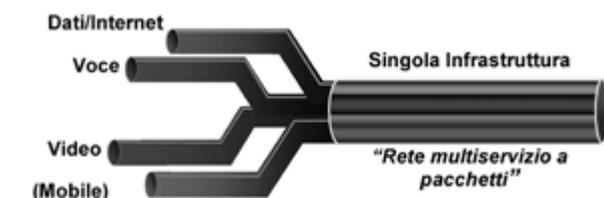


Figura 3. Da triple play a quadruple play.

### *Lo studio di nuovi sistemi diffusivi IP per portanti fisici*

Verso la fine degli anni 2000 si è sentita la necessità di definire uno standard *de jure* per la distribuzione televisiva in IP sui portanti fisici, dal momento che si stava ormai diffondendo, in particolare, il sistema IP-TV per fibra ottica, coassiale e doppino con ADSL, nell'impiego in rete offerto da alcuni gestori con standard e scelte in parte proprietarie. Va rilevato che il termine IP-TV va inteso, a tutti gli effetti, come una distribuzione televisiva di qualità (quasi sempre in modalità Pay-TV) da fruire su grandi schermi, con caratteristiche equivalenti a quelle dei migliori sistemi diffusivi.

Si comincia oggi a parlare anche di standard per sistemi televisivi denominati OTT-TV (*Over The Top -Television*), in cui è previsto scaricare programmi *on Demand* dalla rete in classica modalità dati TCP-IP da un sito del *Broadcaster*, con libertà di scelta dell'operatore di rete. Il sistema è previsto a qualità garantita per fruizione su grandi schermi e non va confuso col Web-TV basato sul *best effort*. Ovviamente la larghezza della banda a disposizione nella rete di accesso dell'utente incide sul tempo di attesa per il caricamento dei programmi televisivi ma non sulla qualità.

Come dice il nome, tali sistemi rimangono ai "bordi" della rete, ma i loro riflessi su nuove potenziali modalità di fruizione televisiva potranno essere molto importanti e così pure le conseguenze dell'impatto sul futuro delle reti a banda larga e di questo si riparerà nelle conclusioni del presente scritto.

### *Internet 2.0 e l'infrastruttura di rete NGN a banda ultralarga*

Siamo ormai ai giorni nostri in cui si raccolgono i frutti dell'intensa accelerazione dei processi di convergenza: la rete Internet ed il suo protocollo base IP diventano il paradigma ed il prototipo di riferimento delle reti future adatte a convogliare i più diversi tipi di informazioni.

L'evoluzione della generale architettura di rete, attraverso il percorso sopra brevemente delineato, porta a creare la nuova architettura di riferimento, la

cosiddetta *Internet 2.0*, che permette un nuovo e generalizzato modello di utilizzo della rete per diventare strumento di comunicazioni di massa. Essa infatti coniuga al tempo stesso – per reti fisse e mobili – sia le comunicazioni in tempo reale sia quelle in tempo differito, ambedue in tutte le possibili modalità (*unicast, multicast, machine to machine*).

L'infrastruttura di rete cui si appoggia tale architettura, indicata con l'acronimo di NGN (*Next Generation Network*) rappresenta la nuova generazione di reti fisse di telecomunicazioni (fibra ottica e "wireless") caratterizzate dai principi di funzionamento anzidetti.

Integrando nella sua concezione gli ultimi sviluppi tecnologici, l'evoluzione prevedibile per la rete fissa contemplerà:

- convergenza delle varie Reti di telecomunicazioni (fisse, satellitari ed in prospettiva mobili) in un unico grande sistema integrato ed universale aperto a connettere tutti "anywhere" e "anytime" per qualsivoglia tipo di informazione trasmessa sia in modalità simmetrica "uno ad uno" che diffusiva ("uno a molti");
- impiego universale dell'architettura di trasporto e commutazione a "pacchetti" con impiego generalizzato del protocollo IP come protocollo di base con tecniche di QoS (*Quality of Service*) per la priorità delle informazioni in tempo reale e protocolli per il controllo della funzionalità della rete;
- intelligenza di rete opportunamente distribuita con particolare attenzione alla sicurezza ed alla indipendenza del livello di servizio dallo strato fisico della rete;
- valore aggiunto fornito dai servizi della stessa rete (estensiva virtualizzazione in rete di risorse informatiche quali *back-up*, sicurezza, identificazione, ecc.);
- adozione di bande sempre più estese – per la richiesta in crescita di servizi video a sempre maggiore *bit-rate* (HDTV, 3D-TV, ecc.) e per nuovi servizi innovativi – attraverso l'impiego generalizzato di Reti fotoniche in fibra ottica sia per lunghe distanze che per l'area di accesso all'utente.

L'evoluzione verso la rete NGN è un processo che interessa fortemente tutti i segmenti del trasporto delle informazioni: dalla rete a grande distanza (*backbone*), alle reti metropolitane, alle reti di raccordo (*backhaul*), all'area di accesso ed allo strato di intelligenza della rete.

### Uno sguardo al futuro

Le convergenze tecnologiche menzionate in questo scritto hanno profondamente interessato le seguenti aree ed il relativo sviluppo:

- elaborazione dei segnali d'informazione (digitalizzazione e compressione);
- sistemi trasmissivi (modulazioni e codifiche di canale avanzate);
- architetture di rete (evoluzioni della *suite* IP, interfacce servizi, ecc.);
- terminali di utente.

Una prima considerazione discende dal fatto che mentre ulteriori specifici traguardi tecnologici continueranno ad arricchire tali aree, la struttura architettonica della futura rete sembra ormai definitivamente stabilizzarsi ed evolvere verso i principi esposti.

A titolo d'esempio vale la pena citare alcuni attesi arricchimenti tecnologici specifici.

Nell'ambito dell'area dei sistemi trasmissivi un importante obiettivo, per tutte le applicazioni *wireless* fisse e mobili, è rappresentato dalla gestione dinamica dello spettro attraverso le tecnologie note con il nome di *cognitive radio*, anche se per un traguardo così ambizioso occorrerà attendere ancora molti anni.

Altri importanti elementi del quadro tecnologico, con influssi positivi sulle architetture di rete, sono rappresentati dalla realizzazione di architetture hardware degli apparati completamente ridondate (focalizzate sul concetto di *zero packet loss*) nonché dalla minimizzazione degli impatti di un guasto sull'infrastruttura di *core* per rendere più veloce possibile la riconfigurazione automatica di una rete *full-IP*.

Per quanto riguarda i terminali di utente, l'evoluzione continuerà ad essere impetuosa anche se con nuova attenzione alla massima semplificazione delle interfacce di utente, elemento determinante per non rischiare di creare un *Digital Divide* verso persone di una certa fascia di età e condizione sociale, potenzialmente più pericoloso di quello per cui il termine è normalmente impiegato.

Guardando al futuro, un tema di attenzione e convergenza di grande importanza sarà sempre più rappresentato dal cosiddetto *Green ICT*, ossia delle tematiche legate alla riduzione dei consumi di potenza ed all'impatto ambientale. È sufficiente ricordare come l'ICT sia oggi responsabile di circa l'8% dei consumi energetici globali con tendenza alla crescita (i prodotti *consumer* sono sempre più pervasivi e, per quanto ciascuno di essi con potenza trascurabile, la loro somma non è affatto trascurabile).

Nel contesto dei problemi di consumo energetico, le tecnologie ICT giocano tuttavia un duplice ruolo. Da un lato, sono parte del problema e d'altra parte, sono una fondamentale parte della soluzione, costituendo la maggiore risorsa tecnologica (sia in termini elaborativi che di possibilità di scambio di informazioni tra elementi di controllo distribuiti) per una migliore gestione – e quindi una riduzione – del fabbisogno energetico globale in tutti gli altri campi.

In particolare per quanto riguarda le reti si sta già operando per passare dalla riduzione dei consumi dell'esistente allo sviluppo di nuove architetture di rete a impatto nullo (consumi ridotti di 2-3 ordini di grandezza e ampio ricorso alla generazione locale da fonti rinnovabili).

Passando al tema dei servizi, per quanto gli aspetti di evoluzione delle reti siano stati fondamentali a preparare i presupposti per una Società dei servizi, sono quest'ultimi che andranno seguiti con attenzione nei loro sviluppi e nella loro influenza sulla Società civile. Anche se esula dagli obiettivi del presente scritto portare avanti una meditazione sulla storia e l'evoluzione dei servizi, si può accennare ad una considerazione relativa alle conseguenze del loro assetto sulle necessità e modalità d'investimenti per le nuove reti.

A tale proposito è, infatti, importante evidenziare come alcune delle importanti conseguenze permesse dalle nuove strutture di rete quali l'uso sempre più intenso dei *social network* (Facebook, Twitter, ecc.) e di *user generated content* (YouTube, ecc.), il diffondersi del *peer-to-peer*, la virtualizzazione di risorse informatiche in rete (*backup* automatici, traduzioni simultanee, ricerche semantiche, ecc.), il diffondersi di prestazioni avanzate di telecomunicazioni (*Skype*, *OTT-TV*, sistemi di Telepresenza, ecc.) pongono problemi non indifferenti di carattere strategico sul futuro della rete.

Se da un lato tali servizi continueranno, infatti, ad avere sempre più impetuose conseguenze sull'assetto della Società civile in tutti i suoi aspetti, essi aprono anche a problematiche indilazionabili su "chi" deve partecipare allo sviluppo ed ai forti investimenti necessari per le nuove infrastrutture di reti. Il modello, infatti, di fornitori che rimangono ai "bordi" della rete sfruttandone tutti i vantaggi senza partecipare ai relativi costi non può essere destinato a durare a lungo. Si pensi ad esempio ad un servizio televisivo con modello *OTT-TV* che si basa su una pura filosofia Internet rispetto ad un modello IP-TV su reti *managed* controllate dagli operatori. In un quadro ormai da anni caratterizzato da tariffe piatte (e non a consumo) un successo di tale modello – con selezione personalizzata di un palinsesto televisivo di qualità di cui il sistema va alla ricerca nella rete in modo perfettamente legale e consentito – potrebbe provocare, vista l'entità delle quantità di informazioni in gioco, un completo blocco dell'intera rete.

Si porrebbe quindi il problema dell'urgenza di investire in bande sempre più larghe per consentire la gestione di quantità e peso di informazioni molto superiori a quelle che attualmente circolano in rete. Ma quale incentivo possono avere gli attuali Operatori di rete in un ambito di ricavi presunti non facilmente aumentabili se permangono le tariffe piatte?

È di poco tempo fa la notizia che Google ha deciso di entrare, per qualche area ad alta densità degli USA, come Operatore di reti di accesso a banda ultralarga, forse consapevole del fatto che può rimanere vittima dei suoi stessi successi. Il suo obiettivo non è certamente quello di mettersi in concorrenza con gli Operatori di rete, ma piuttosto di voler dare un segnale di accelerazione verso la banda ultralarga anche per nuovi servizi che, con la fantasia tipica di Google, essa sarà presumibilmente in grado di introdurre. Ma è certamente anche un segnale di condivisione dei vantaggi che la rete può dare e di disponibilità a partecipare in modo equo alla distribuzione dei margini senza confinare la rete ad un puro ruolo di *commodity* che, peraltro, in assenza di vantaggi, annullerebbe ogni propensione all'investimento.

Una successiva considerazione, al confine tra il mondo della rete e quello dei servizi, è il tema di importanza capitale della protezione dei contenuti da caricamenti e distribuzioni illegali. È la materia del DRM (*Digital Right Management*) che, per l'Italia, vede ancora protagonista Chiariglione.

È una materia molto delicata che ha anche aspetti tecnologici non indifferenti e su cui si gioca il futuro della rete ed il suo sviluppo con la necessità di creare un opportuno governo dei contenuti. Se, infatti, si pensa in aggiunta ai nuovi modi di fruizione televisiva sopra accennati ed allo sviluppo del cinema

digitale di alta qualità, i pericoli che devono essere fronteggiati sul fronte del DRM si dilatano in termini esponenziali.

L'accrescimento armonico del sistema deve assolutamente passare dalla tutela del diritto di autore (compresi ad esempio i servizi giornalistici riutilizzati senza vantaggi per gli autori), inteso quindi nel suo senso più lato.

Un'ultima considerazione. Ponendoci su un orizzonte ancora più lungo, è possibile porsi le seguenti domande di fondo<sup>38</sup>:

“Come riusciremo a gestire un'infinità di informazioni senza esserne vittime?”;

“Se una gestione finalizzata delle informazioni sarà assolutamente indispensabile, il futuro web semantico servirà allo scopo?”;

“Dal momento in cui l'informazione diventerà una completa *commodity*, che cosa rappresenterà la vera differenza?”.

Non è facile rispondere a queste domande.

È proprio allora il caso di affermare che la Società dell'informazione in cui siamo definitivamente entrati – ed i passi tecnologici e le convergenze che, in un crescendo esponenziale, hanno portato alla creazione dei nuovi paradigmi di rete – fanno tornare alla mente Joseph Schumpeter e la sua definizione dell'innovazione come distruzione creatrice!

### *Ringraziamenti*

Il tentativo di riassumere, in non molte pagine, cinquant'anni di evoluzioni architetture delle reti fisse di telecomunicazioni nonché i diversi settori che hanno contribuito a creare i fenomeni di convergenza è stato un compito arduo, certamente faticoso ma forse troppo ambizioso e non privo di rischi (per non dire certezze) di dimenticanze importanti, imprecisioni od errori veri e propri.

L'autore desidera perciò ringraziare sentitamente i molti amici che hanno riletto il testo e sono state preziosi per discussioni, apporti e critiche. In particolare vorrei ringraziare il prof. Vito Svelto per i contributi sulla microelettronica, l'ing. Giuseppe Stacchiotti per i commenti sugli inizi storici e gli sviluppi delle trasmissioni dati, l'ing. Michele Morganti della Fondazione Politecnico per alcuni aspetti storici della commutazione e per il suggerimento di introdurre un cenno alla Green-ICT, l'ing. Alberto Morello del Centro Ricerche della RAI per le precisazioni e discussioni sugli standard televisivi presenti e futuri, l'ing. Angelo Caso dei Sistemi ICT della RAI per gli scambi di idee sulle reti IP, l'ing. Decio Ongaro per l'importante apporto sui problemi di correlazione delle reti radiomobili con quelle fisse, l'ing. Guido Roda di Fastweb per il contributo sulle più recenti evoluzioni delle reti IP correlate alle fasi storiche iniziali di Fastweb, l'ing. Vittorio Trecordi di ICT Consulting per una lettura critica del testo.

<sup>38</sup> Questi interrogativi, con il permesso degli autori, sono ripresi ed adattati a partire dal lavoro di G. E. Corazza, A. Vanelli-Coralli, R. Pedone, “Technology as a Need: Trends in the Evolving Information Society”, *Advances in Electronics and Telecommunications*, vol. 1, n. 1, pp. 124–132, 2010.

GUIDO VANNUCCHI

Un ringraziamento particolare all'ing. Cesare Mossotto, già direttore del CSELT, per la precisa ed appassionata revisione del testo ricca di molte precisazioni e consigli preziosi ed al prof. Roberto Laschi per un'accurata rilettura del testo finale, anch'essa particolarmente preziosa per i suggerimenti ricevuti e le imprecisioni evidenziate.

# LA FORMAZIONE E LA DIVULGAZIONE

---





## Formazione universitaria sulle telecomunicazioni: evoluzione normativa e profili professionali

### Introduzione

Sono ormai trascorsi vent'anni dall'istituzione, nel nostro ordinamento universitario, di un percorso *specifico* per la formazione di ingegneri nel settore delle telecomunicazioni. In precedenza tale formazione era affidata a corsi di laurea, quali l'Ingegneria Elettrotecnica prima e l'Ingegneria Elettronica poi, con finalità *non specifiche*, ma con la possibilità per gli studenti, almeno nel caso dell'Ingegneria Elettronica, di ritagliare un curriculum finalizzato alla formazione di un ingegnere in grado di operare con piena competenza nel settore delle telecomunicazioni.

Il percorso specifico verso una laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni, dapprima con la durata tradizionale di cinque anni e successivamente con l'articolazione in due livelli sequenziali con durate di tre anni per il primo livello e di due per il secondo, si è dimostrato, pur nei limiti dei nostri processi formativi, sostanzialmente rispondente alle esigenze del mercato del lavoro.

Questo è un dato certamente importante da tenere in conto nell'affrontare, come sarà doveroso fare, l'insieme dei problemi che già da anni sono all'attenzione del mondo universitario nazionale. Tra questi problemi appaiono obiettivi prioritari

- la riduzione del tasso di abbandono delle facoltà a valori decisamente inferiori agli attuali, con un avvicinamento ai livelli dei paesi industrialmente avanzati;
- la riduzione della durata media di stazionamento entro la facoltà di ingegneria, riavvicinando così la durata reale del corso di studi a quella nominale.

Senza entrare nel merito delle cause di queste patologie del nostro sistema universitario e della facoltà di ingegneria in particolare, questo scritto ha lo scopo di fare il punto sullo stato attuale del processo di formazione di un ingegnere delle telecomunicazioni, cercando anche di descrivere la traiettoria seguita per pervenire ai giorni nostri.

Con riferimento alle esigenze e agli sbocchi dei processi formativi, i contenuti di quanto segue sono divisi in due parti.

Nella prima di queste si parte dalla definizione della figura professionale di un ingegnere delle telecomunicazioni. Ciò viene fatto precisandone:

- gli ambiti professionali che sono di competenza specifica e distintiva rispetto agli altri profili professionali nel campo delle ingegnerie dell'informazione;
- le capacità professionali richieste.

Si passerà poi alla presentazione del quadro normativo, illustrandone l'evoluzione fino allo stato attuale. L'intervallo considerato per questa evoluzione è stato suddiviso in quattro periodi, ciascuno dei quali è delimitato da interventi di modifica dell'ordinamento degli studi nelle facoltà di ingegneria. Ad ogni periodo verrà associata una presentazione dello stato allora raggiunto dalla tecnica, in modo da ricostruire, seppure sommariamente, le linee-guida del processo formativo. Dato il contesto, la ricostruzione è limitata agli eventi tecnici di maggiore impatto sulla sistemistica a sostegno dell'erogazione di servizi di comunicazione e sulle relative tecnologie abilitanti; in questo insieme si considereranno preferibilmente (ma non in maniera esclusiva) le scelte che sono tuttora di piena attualità.

Sempre con riferimento alle telecomunicazioni, la seconda parte è dedicata alla formazione attuata al presente e a uno sguardo circa la sua utilizzazione professionale nel futuro prossimo. Si parlerà quindi dapprima degli attuali livelli formativi, sottolineando la distinzione tra i profili di ingegnere che ne risultano. Per delineare poi anche gli obiettivi che hanno guidato alla definizione dei due percorsi di laurea, si effettuerà infine un esame dell'evoluzione del settore:

- mettendo in evidenza, seppure in modo sintetico, quali siano gli ambiti che si prospettano per attività ingegneristicamente significative;
- elencando, a titolo di esemplificazione di questi ambiti, gli ambienti di lavoro in cui possono trovare collocazione gli ingegneri che attualmente escono dal mondo universitario.

Dopo le conclusioni, la trattazione è completata con l'elenco dei riferimenti normativi.

## Gli ambiti e le capacità professionali

Un ingegnere delle telecomunicazioni ha il ruolo di *progettista* che è tipico di ogni tipo di ingegnere. Suoi ambiti professionali specifici sono la *produzione*, l'*organizzazione*, la *gestione* e la *pianificazione* di beni e di servizi che riguardano il *trasporto "a distanza"* e il *trattamento "in locale"* dell'informazione. Dette operazioni includono due aspetti: da un lato il trasferimento/elaborazione di segnali come mezzi fisici di supporto dell'informazione e dall'altro l'utilizzazione dei contenuti informativi legata ad una fruizione applicativa.

Più in particolare, i beni e i servizi che caratterizzano questa classe delle ingegnerie dell'informazione sono sistemi e tecnologie (dispositivi/apparati, infrastrutture e processi) con significatività fisica e/o logica e con orientamento ad applicazioni finalizzate a:

- il *trasferimento di segnali* via cavo (rame o fibra), via radio (terrestre o satellitare) o su altri mezzi di propagazione (gassosi o liquidi), con l'impiego di tecnologie specifiche quali quelle ottiche e per comunicazioni mobili;
- l'*interconnessione in rete (networking)* per il trasporto di messaggi informativi mono- o multi-mediali e per la fornitura di servizi interattivi o distributivi,

nel quadro di applicazioni quali quelle telematiche (commercio elettronico, telemedicina, telelavoro, telesorveglianza, teleformazione, telepresenza, infomobilità, ecc.);

- il *trattamento di segnali* mono/multidimensionali per l'estrazione e l'analisi dei loro elementi informativi (stima di parametri, analisi spettrale, ecc.) o per scopi di trasformazione (filtraggio, modulazione, ecc.), di codifica (compressione, marchiatura, protezione, ecc.) e di sintesi (vocale, musicale, ecc.);
- il *riconoscimento di forme* per l'interpretazione semantica del contenuto informativo di segnali ed immagini (segnali audio e video, profili ed immagini da rilevamento, tracciati e immagini medicali, ecc.);
- l'*analisi e misura delle prestazioni* di sistemi e di processi (apparati, traffico, integrità dell'informazione) sotto i profili della qualità di servizio (misurata strumentalmente e percepita dall'utente), dell'affidabilità (inclusi aspetti di continuità del servizio e di "disaster recovery"), della sicurezza delle reti, degli apparati componenti e dei processi (sotto i profili della sicurezza logica, fisica e della relativa "governance");
- il *telerilevamento* per la localizzazione/identificazione di oggetti fissi o in movimento nell'avvistamento/telemetria radar e sonar, nel monitoraggio ambientale e nel controllo del traffico aereo, marittimo e terrestre.

Per accedere a questi ambiti un ingegnere delle telecomunicazioni deve auspicabilmente essere messo in grado di:

- conoscere *le scienze di base* per quanto necessario ad acquisirne gli strumenti metodologici come base concettuale al sapere scientifico; più in particolare:
  - utilizzare la matematica per assimilarne una capacità a razionalizzare i problemi dell'attività professionale e a risolverli con il sostegno di strumenti modellistici;
  - interpretare lo stato e l'evoluzione della tecnica anche alla luce delle leggi della fisica e della chimica, come introduzione alle metodologie dell'osservazione sperimentale e come avviamento all'utilizzazione di modelli matematici;
  - analizzare fenomeni aleatori (quali quelli connessi a processi di rumore, di traffico e di affidabilità) utilizzando gli strumenti resi disponibili dal calcolo delle probabilità e dalle metodologie della statistica, avendo come obiettivo la valutazione degli effetti di questi fenomeni sull'ambiente della comunicazione;
- formulare e risolvere i problemi specifici di sua pertinenza con l'impiego degli appropriati metodi e strumenti messi a sua disposizione dalle *scienze dell'ingegneria* negli aspetti sia teorici che applicativi; più in particolare:
  - svolgere attività di progettazione sulla base di specifiche, tenendo cioè conto in generale di requisiti tecnico-prestazionali e di vincoli economico-organizzativi;
  - impostare e condurre sperimentazioni, anche per via simulativa o emulativa, analizzandone e interpretandone i dati risultanti;
  - comprendere gli effetti delle soluzioni tecniche sui contesti fisico e sociale, sapendone trovare le appropriate modalità di controllo;

- interagire, in modo cooperativo e per l'intera durata della sua vita professionale, con l'ambiente in cui è chiamato ad operare; più in particolare:
  - collaborare allo sviluppo del suo ambiente di lavoro, conoscendone i relativi aspetti economico-organizzativi e gestionali;
  - lavorare sia in modo individuale, che in attività di gruppo;
  - sviluppare nel tempo capacità relazionali e decisionali;
  - comunicare senza limitazioni di linguaggio parlato o scritto, anche nell'ambito di rapporti in sede internazionale;
  - possedere le basi per un aggiornamento continuo delle sue conoscenze professionali.

## Il quadro normativo: evoluzione e stato attuale

L'esigenza di formare tecnici specialisti nel settore delle telecomunicazioni si è manifestata nel Paese, sotto la spinta dello sviluppo di attività manifatturiere e gestionali, sin dall'inizio degli anni '20 del secolo scorso. Senza entrare nello specifico sulle iniziative assunte per rispondere a tale esigenza (ad esempio con corsi di specializzazione ad hoc)<sup>1</sup>, il settore delle telecomunicazioni ha iniziato a diventare oggetto di interesse nelle attività di formazione delle facoltà di ingegneria nazionali negli anni '30<sup>2</sup>.

Partendo da questo dato come quello iniziale dell'evoluzione del quadro normativo fino ai giorni nostri, si possono distinguere quattro periodi:

- un primo periodo, collocabile tra gli anni '30 e il 1960;
- un secondo tra il 1961 e il 1989;
- un terzo tra il 1990 e il 2000;
- un quarto dal 2001 ad oggi.

Nel *primo periodo*, la cui conclusione può essere fissata con la riforma degli studi di ingegneria avvenuta nel 1960<sup>3</sup>, le tematiche riguardanti le telecomunicazioni erano inserite in un unico corso di laurea (*Ingegneria Industriale Elettrotecnica*). Questo comprendeva discipline centrate su argomenti vari dell'ingegneria e tendenti a una formazione professionale senza specifici indirizzi, anche se con finalizzazioni conclusive alle applicazioni dell'elettricità. Larga prevalenza era data ai sistemi di potenza rispetto a quelli riguardanti il trattamento e il trasferimento dell'informazione.

Le telecomunicazioni erano introdotte in un paio di discipline (*Comunicazioni Elettriche e Radiotecnica*), con contenuti solo parzialmente rappresentativi dello stato della tecnica raggiunto nell'immediato dopoguerra e nei successivi anni '50. A questo riguardo:

<sup>1</sup> RD 19/08/1923, n. 2483.

<sup>2</sup> RD 30/09/1938, n. 1652.

<sup>3</sup> DPR 31/01/1960, n. 53.

- le comunicazioni utilizzavano trasmissioni in *forma analogica* su mezzi in rame o su ponte radio terrestre;
- l'interconnessione in rete era basata su nodi a circuito (*autocommutatori*) con dispositivi di commutazione *a divisione di spazio* in forma elettromeccanica e con *controllo a logica cablata*; la rete che ne risultava era di supporto del solo *servizio telefonico*, ma consentiva anche *trasferimenti di dati* a bassa velocità (*dati in banda fonica*);
- la tecnologia circuitale industrialmente disponibile era ancora prevalentemente basata sui *tubi a vuoto*, con passaggio ai *dispositivi a semiconduttore* (diodi e transistor) solo nella seconda metà degli anni '50.

Nella parte finale del periodo al curriculum era stata aggiunta una disciplina (*Elettronica*) finalizzata ad allargare la formazione professionale nel settore allora chiamato delle “correnti deboli”.

Tale tipo di preparazione, pur se ancora poco orientato verso il settore delle correnti deboli, aveva il pregio di essere fortemente ancorato ai capisaldi dell'ingegneria tradizionale e quindi di fornire salde basi metodologiche. Unendo a queste una documentazione specialistica di tipo personale, non sussistevano ostacoli ad affrontare, con un adeguato bagaglio, temi nuovi come quelli prospettati dall'evoluzione tecnologica e sistemistica del settore. Lo dimostrano i successi conseguiti negli anni '50 dalle industrie nazionali di punta, quali ad esempio la Magneti Marelli, la Telettra e la Olivetti.

Nel *secondo periodo*, che ha avuto inizio nell'a.a. 1960-61, veniva istituito il nuovo corso di laurea in *Ingegneria Elettronica*, che si affiancava al precedente corso in Ingegneria Elettrotecnica e che aveva, come nella tradizione delle facoltà di ingegneria, una durata di cinque anni.

Il nuovo ordinamento si distingueva dal precedente anche per i contenuti dei vari corsi di laurea ivi previsti; ciò riguardava anche il corso di Ingegneria Elettronica. Accanto ad un biennio iniziale finalizzato a una formazione premumentemente nel campo delle scienze di base (matematica, fisica, chimica) con una articolazione su dieci insegnamenti comuni a tutti i corsi di laurea, l'ordinamento del successivo triennio puntava a un primo livello di specializzazione in ognuno dei nove profili di ingegnere previsti nel nuovo ordinamento.

Si abbandonava così in modo pressoché totale il carattere “general purpose” del periodo precedente. Nel triennio, avente finalità applicative, venivano previsti dieci insegnamenti obbligatori e comuni sul piano nazionale, altri obbligatori sul piano delle singole facoltà e, infine, gruppi di materie a scelta dello studente. Il numero di insegnamenti che lo studente doveva includere nel proprio piano di studi per accedere alla laurea era a scelta delle facoltà e non doveva superare le trenta unità.

Tra gli insegnamenti offerti, nell'ordinamento della Ingegneria Elettronica, le telecomunicazioni comparivano in modo esplicito, oltre che nelle due discipline del primo periodo (Comunicazioni Elettriche e Radiotecnica), anche in ulteriori discipline di contenuti tecnologico, circuitale e sistemistico. Venivano in particolare curate le conoscenze di base sulle tecnologie elettroniche, sulle relative misure, sui campi elettromagnetici e sulla teoria del controllo. Nella parte finale del periodo

sono anche comparse discipline nell'area dei calcolatori (hardware e software) e in quella dei segnali finalizzata anche ad una loro elaborazione numerica.

Un evento da ricordare nell'evoluzione del secondo periodo è un provvedimento legislativo risalente al 1969<sup>4</sup>. Tale provvedimento, oltre a liberalizzare gli accessi a tutte le facoltà da parte dei diplomati degli istituti di istruzione secondaria di secondo grado di durata quinquennale, provvedeva a *liberalizzare i piani di studio*. A partire dall'a.a. 1969-70 lo studente poteva predisporre un piano di studio diverso da quelli previsti dagli ordinamenti didattici in vigore; il vincolo era l'approvazione del piano da parte degli organismi di facoltà. Per rispondere a questa opportunità di rinnovamento dell'offerta didattica, le facoltà provvedevano, con aggiornamento dei loro statuti, all'istituzione di nuovi insegnamenti: ciò con la finalità di adeguare le conoscenze impartite al parallelo evolversi della tecnica nel mondo industriale.

Fondamentale connotato del secondo periodo è il continuo sviluppo delle tecnologie abilitanti sul fronte componentistico. Nelle telecomunicazioni diventava dominante il ruolo dell'*Elettronica* nello sviluppo degli apparati terminali e di rete e, ulteriormente, dei sistemi di elaborazione destinati a svolgere, tra l'altro, un ruolo decisivo come controllori programmabili di detti apparati.

Acquisita la transizione dai tubi a vuoto ai semiconduttori, iniziava una seconda transizione dalla *Elettronica a componenti discreti* alla *Microelettronica*, in cui la realizzazione di funzioni logiche anche complesse era affidata a dispositivi integrati con scale di integrazione destinate a diventare nel tempo sempre più spinte. Senza entrare nel merito dei vantaggi prestazionali ed economici che hanno informato lo sviluppo della Microelettronica nell'intero periodo e nei periodi successivi, va aggiunto che, accanto alle possibilità offerte da questa tecnica, va considerato il parallelo sviluppo dei *microprocessori*: ciò ha reso possibile la realizzazione di moduli logici programmabili come parti componenti in apparati di trasmissione e di commutazione.

Questa disponibilità tecnologica rendeva tecnicamente ed economicamente conveniente la transizione verso un impiego generalizzato della *forma numerica* in sostituzione di quella analogica. Ciò riguardava:

- il *trattamento dei segnali* a sostegno della voce e di immagini, fisse o in movimento; l'adozione di una comune forma numerica (ottenibile con una adatta conversione analogico-digitale) rendeva possibile e conveniente l'allargamento della *mono-medialità* a una *multi-medialità*, comprendente, a seconda delle esigenze di comunicazione, una unione, parziale o totale, di voce e di immagini con la possibile aggiunta di dati già nativamente in forma numerica;
- la *modalità di trasmissione*; questa, sempre supportata da mezzi in rame (doppino o cavo coassiale) o da ponti radio terrestri, iniziava una transizione verso la forma numerica al principio degli anni '60 e la completava entro la metà degli anni '70; unica eccezione era il *legamento di utente*, ove, per ragioni economiche, continuava ad essere impiegata la forma analogica su

<sup>4</sup> L 11/12/1969, n. 910.

doppino, soprattutto per il servizio all'utenza domestica; sui mezzi trasmissivi a maggiore capacità (cavi coassiali) la canalizzazione dei flussi numerici era effettuata con moltiplicazione numerica *a divisione di tempo* secondo la *gerarchia plesiocrona* (Plesiochronous Digital Hierarchy – PDH): con questa tecnica la capacità del contenitore multiplo arrivava fino a 560 Mbit/s;

- la *modalità di commutazione*; questa era ancora *a circuito* e riguardava sostanzialmente gli autocommutatori della rete telefonica; tali apparati, entro la metà degli anni '80, avevano assunto una forma completamente numerica nella parte preposta alla funzione di connessione e affidavano il loro controllo a un elaboratore specializzato operante in accordo con un opportuno programma (*tecnica Stored Program Control*); la commutazione da un canale numerico entrante a uno uscente era svolta (e lo è tuttora) secondo la modalità *a divisione di tempo PCM* (*Pulse Code Modulation*).

Il comune impiego della forma numerica nelle modalità di trasmissione e di commutazione a circuito costituiva un primo livello di *integrazione delle tecniche*. A questo sembrò tecnicamente ed economicamente conveniente (sfruttando la comune forma numerica dei segnali da trasferire) abbinare una *integrazione dei servizi* (Integrated Service Digital Network – ISDN), inizialmente limitata ai servizi voce e dati e quindi a una cosiddetta *banda stretta* (Narrowband ISDN – N-ISDN).

L'obiettivo della integrazione dei servizi richiedeva l'ausilio di un controllo (*segnalazione*) che fosse più ricco nei contenuti informativi e più veloce nel suo trasferimento. Per questo scopo negli anni '80 fu sviluppato un nuovo sistema di segnalazione, detto *a canale comune*, che costituiva, accanto a una particolare modalità di accesso in forma numerica, il connotato più significativo di una N-ISDN.

In questo quadro riguardante lo sviluppo della rete telefonica (Public Switched Telephone Network – PSTN) verso una N-ISDN, compariva, alla fine degli anni '60, il *modo di trasferimento a pacchetto* che si collocava in alternativa al modo a circuito (secondo cui continuava a svilupparsi la rete telefonica). Il pacchetto era allora riservato alla realizzazione di infrastrutture per comunicazioni di dati (*reti di calcolatori*), che, in tempi successivi, sono diventate il nucleo iniziale di Internet.

Dal punto di vista dei supporti dei collegamenti in rete, va poi ricordato il contributo che, già all'inizio del periodo, è stato offerto dall'utilizzazione dei *satelliti* in orbita geostazionaria per la realizzazione di collegamenti transcontinentali. Inoltre, sempre nella parte iniziale del periodo, la tecnologia cominciava a rendere disponibile la *fibra ottica* come nuovo mezzo di trasmissione terrestre che avrebbe svolto un ruolo dominante nei due periodi successivi: tra i vari vantaggi attualmente conseguibili va menzionata la larghezza di banda trasferibile di vari ordini di grandezza superiore a quella dei portanti in rame.

Si può collocare l'inizio del *terzo periodo* nel 1989, quando, nell'ambito di una nuova riforma delle facoltà di ingegneria<sup>5</sup>, veniva istituito, in aggiunta ai

<sup>5</sup> DPR 20/05/1989.

settori dell'Ingegneria Civile e dell'Ingegneria Industriale, il nuovo settore dell'*Ingegneria dell'Informazione*. Quest'ultimo era articolato nelle tre lauree in *Ingegneria Elettronica*, in *Ingegneria Informatica* e in *Ingegneria delle Telecomunicazioni*.

Per effetto di questa riforma, dall'a.a. 1989-90, varie sedi cominciarono a offrire la nuova laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni. L'offerta veniva successivamente allargata a quasi tutte le sedi universitarie con facoltà di ingegneria; attualmente l'offerta è attivata in circa trenta sedi. La durata degli studi della nuova laurea era fissata ancora in cinque anni. L'ammissione all'esame di laurea era consentita allo studente che avesse superato gli esami di un numero minimo di annualità compreso, a seconda delle sedi, tra 27 e 29.

L'annualità era costituita da 80-120 ore di attività didattiche; era l'elemento-base del curriculum di uno studente e rientrava a formare il suo piano di studi. L'offerta di ogni corso di laurea (e quindi anche di quello in Ingegneria delle Telecomunicazioni) doveva consentire la compilazione di un piano di studi con nove annualità comuni a tutti i corsi di laurea, con almeno sei ai corsi di laurea *affidenti* a uno stesso settore, con almeno cinque *caratterizzanti* il corso di laurea e con almeno tre *distintive* dell'indirizzo prescelto dallo studente. L'indirizzo aveva la funzione di far approfondire sia competenze di tipo metodologico, sia tecniche progettuali, realizzative e di esercizio.

L'attivazione della nuova laurea fu il momento per allargare l'offerta di contenuti didattici. In particolare le discipline caratterizzanti, oltre a comprendere quelle già previste nel secondo periodo (come ad es. le teorie dei segnali e del teletraffico), vedevano l'aggiunta di altre discipline tendenti a rafforzare i fondamenti teorici delle telecomunicazioni (ad es. con la teoria del telerilevamento) e a presentare in modo più aggiornato (rispetto al periodo precedente) la larga varietà delle soluzioni sistemistiche nel frattempo maturate. Le telecomunicazioni continuavano intanto a essere insegnate, seppure in modo marginale, anche nelle altre lauree del settore dell'informazione.

Come stimolo a questo aggiornamento nei contenuti della nuova laurea avevano ovviamente agito le innovazioni tecniche introdotte in ambito industriale:

- la comunicazione stava migrando verso una richiesta di *servizi multi-mediali* in cui voce, dati e immagini fisse o in movimento rientrassero, a domanda, come componenti di un colloquio tra soggetti (persone o macchine) in posizione reciprocamente remota e senza limitazioni di interazione rispetto a un colloquio faccia a faccia;
- per rispondere a questa richiesta e per conservare il vantaggio economico di una struttura di rete che fosse in grado di erogare in forma integrata servizi multi-mediali senza limitazioni sulla larghezza di banda a questi necessaria, il paradigma-obiettivo diventava la *rete numerica integrata nei servizi a larga banda* (Broadband ISDN – B-ISDN); tale paradigma, strettamente legato a una condizione di servizi erogati in monopolio, veniva però superato dalla liberalizzazione del mercato, avvenuta nel Paese alla metà degli anni '90; rimaneva però l'obiettivo della larga banda su cui integrare la fornitura dei servizi;
- il conseguimento di trasferimenti a larga banda richiedeva, per ragioni di efficienza e di flessibilità gestionale, l'utilizzazione di un nuovo modo di tra-

sferimento *orientato al pacchetto*; all'inizio del periodo (prima metà degli anni '90) la scelta cadde sul *modo di trasferimento asincrono* (Asynchronous Transfer Mode), ma successivamente si preferì (ancora per ragioni di flessibilità gestionale) optare a favore del *paradigma Internet*;

- continuava, seppure in applicazioni di nicchia, lo sviluppo di generazioni successive di satelliti, con possibilità, tra l'altro, di elaborazione a bordo e di collegamenti anche in area regionale;
- dall'inizio del periodo cominciava anche la fornitura su larga scala di *servizi di comunicazione mobile cellulare*, supportati dapprima da una infrastruttura con nodi a circuito e con trasferimenti in forma analogica (*sistema Extended Total Access Communication System – ETACS*) e successivamente con mezzi completamente in tecnica numerica (*sistema GSM*); le informazioni trasferibili erano inizialmente solo la voce e i dati in banda fonica, ma successivamente veniva aggiunta anche la possibilità di comunicazioni di dati con modo di trasferimento a pacchetto (*sistema Global System for Mobile communications- General Packet Radio Service – GSM-GPRS*); si rimaneva però nel vincolo di ritmi binari trasferibili relativamente bassi (dell'ordine di qualche centinaio di kbit/s nelle soluzioni più evolute);
- le comunicazioni in area locale, rivolte soprattutto al trasferimento dei dati nei centri di ricerca e nell'ambiente ufficio, venivano assicurate da infrastrutture (*Local Area Network – LAN*) supportate da doppini, da cavi coassiali o da fibre ottiche; in questo ambito vincente su un piano commerciale si è dimostrato lo standard *Ethernet*, che, partendo nel secondo periodo da un trasferimento condiviso a 10 Mbit/s su cavo coassiale, perveniva alla fine di questo terzo periodo alla velocità sempre condivisa di 1 Gbit/s su fibra ottica con sviluppi ulteriori nel periodo successivo;
- l'introduzione della comunicazione numerica anche sul legamento di utente supportato dal doppino in rame (Digital Subscriber Loop – DSL); tra i sistemi che da allora cominciarono ad essere impiegati va citato l'ADSL (Asymmetric DSL), che nel periodo successivo ha subito forti operazioni di rilancio verso capacità trasmissive oltre i 50 Mbit/s;
- la trasmissione di segnali numerici ad alta capacità, con utilizzazione delle fibre ottiche che stavano sostituendo i cavi coassiali sui collegamenti in area geografica, veniva affidata, per ragioni di flessibilità gestionale degli apparati trasmissivi, a una nuova forma di multiplexazione numerica: in sostituzione della gerarchia plesiocrona si affermava la *gerarchia sincrona* (Synchronous Digital Hierarchy – SDH); questa, organizzata a *moduli di trasporto* (Synchronous Transport Module – STM), ha consentito di raggiungere capacità multiple con valori via via crescenti fino a raggiungere attualmente valori dell'ordine di 40 Gbit/s.

Il *quarto periodo* ha avuto inizio con il nuovo secolo e precisamente con la emissione del Decreto Ministeriale che modificava l'intera struttura dell'ordinamento universitario nazionale<sup>6</sup>. In particolare venivano istituiti tre livelli di

<sup>6</sup> DM 03/11/1999, n. 509.

laurea: un primo livello della durata di tre anni, un secondo di due anni, con il terzo livello riservato al dottorato di ricerca; di quest'ultimo non verrà ulteriormente fatto cenno in quanto trattasi della formazione di profili al di fuori di quelli qui considerati.

Anche la laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni è stata conseguentemente adattata a questo nuovo ordinamento, riservando il primo livello a una preparazione di base e il secondo a un approccio specialistico.

Il conseguimento del titolo di primo livello (*Laurea in Ingegneria*) e di quello di secondo livello (*Laurea specialistica in Ingegneria*, secondo la denominazione del DM n. 509) richiedono allo studente l'acquisizione di 180 CFU (Credito Formativo Universitario) e di 120 CFU rispettivamente. Il CFU è una unità di lavoro che misura l'impegno richiesto per ogni attività formativa; al CFU sono state attribuite 25 ore, di cui 10 sono riservate alla didattica assistita (lezioni, esercitazioni, laboratori e spiegazioni collettive) e le rimanenti 15 all'impegno individuale dello studente e all'interazione con lo staff didattico.

Le attività formative sono articolate in *moduli*. Ciascuno di questi è un insieme di attività appartenenti a uno specifico ambito disciplinare; il modulo si conclude con una prova di verifica. Ad ogni modulo è attribuito un opportuno numero di CFU (compreso tra 3 e 12 unità come scelta di ogni sede) che vengono acquisiti nel caso di verifica con esito positivo.

Nel curriculum di primo livello sono presenti ambiti disciplinari appartenenti alle *scienze di base* (ad es. Matematica, Fisica e Chimica), alle *scienze di ingegneria* (ad es. Automatica, Circuiti, Elettronica, Informatica, Elettromagnetismo e Cultura di impresa) e alle *Telecomunicazioni*; in quest'ultimo ambito sono comprese discipline dedicate ai Segnali (comprensivi dei modi di analisi e di elaborazione), alla Trasmissione, all'Informazione, ai Codici, alle Strutture di interconnessione (Reti) e al Telerilevamento.

Nel secondo livello sono ulteriormente trattate discipline che mettono opportuno accento sui punti chiave del momento tecnico, e cioè:

- sul ruolo dominante assunto dal *paradigma Internet* rispetto ad altre filosofie di rete, includendo in queste anche il paradigma della rete telefonica; ciò riguarda in primo luogo la capacità di trasporto, che consente il trasferimento integrato di informazioni multi-mediali a banda stretta (ad es. voce) o larga (ad es. dati ad alta velocità o immagini in movimento) con il rispetto di opportuni vincoli di *qualità di servizio* e senza sostanziali limitazioni ai ritmi binari da trasferire;
- sulla tecnica di sviluppo di *nuovi servizi*, quali sono consentiti con il supporto di Internet; senza entrare nello specifico della larga messe di servizi già oggi erogabili tramite la disponibilità di opportune piattaforme e con una navigazione in rete, gli esempi attualmente di maggiore interesse, per la dimensione della popolazione di utenti potenzialmente coinvolti, sono rappresentati dal web (secondo i più recenti sviluppi verso il *Web 2.0*) e dal p2p (*peer-to-peer file sharing*);
- sulla possibilità di attuare, con tecnologie completamente ottiche, l'utilizzazione di una fibra ottica per affasciare molti flussi numerici multiplati (ad

es. secondo lo standard SDH) con una *multiplazione a divisione di lunghezza d'onda* (Wavelength Division Multiplexing – WDM); questa è destinata ad aumentare i ritmi trasferibili a valori dell'ordine di una decina di Tbit/s, soprattutto con soluzioni tecnologiche evolute quali quelle legate alla tecnica Dense WDM;

- sulla domanda tumultuosamente crescente di *comunicazioni mobili a larga banda* su infrastrutture cellulari; il risultato è stato la spinta a una decisa transizione dal sistema di terza generazione Universal Mobile Telecommunication System / High Speed Packet Access (UMTS/HSPA) a una quarta generazione (attualmente chiamata Long Term Extension – LTE), che dovrebbe assicurare una velocità di accesso condiviso dell'ordine di un centinaio di Mbit/s almeno in downlink e che dovrebbe applicare una tecnica di trasporto (IP Multimedia Subsystem – IMS) in armonia con la convenienza tecnico-economica, anche sulle reti mobili, del modo di trasferimento a pacchetto;
- sulla utilizzazione in ambito terrestre delle *tecniche wireless* accanto a quelle *wired*, con larga preferenza per le radiofrequenze nelle gamme a linea di vista; si sono in tal modo sviluppate, al servizio delle aree locali, infrastrutture del tipo Wireless LAN (WLAN); queste hanno capacità di trasferimento condiviso fino (attualmente) a un centinaio di Mbit/s e sono ormai molto diffuse per l'accesso a Internet da parte di utenza al di fuori del proprio ambiente di lavoro (ad es. in sale di attesa in aeroporti e in stazioni ferroviarie); la tecnica *wireless* è di possibile impiego anche, ad esempio, per interconnessioni in ambiente domestico e per la realizzazione di picoreti operanti entro lo spazio nell'intorno di una singola persona (Wireless Personal Area Network – WPAN) o come mezzo di scambio tra dispositivi all'interno di un veicolo;
- sulla disponibilità di *terminali multi-servizio* aventi potenzialità di trasmissione/ricezione con porte *wireless/wired*, ma aventi anche capacità di elaborazione con le quali possano assolvere anche a compiti, ad esempio, di telelavoro e di intrattenimento;
- sull'esigenza, sempre più sentita, di proteggere le comunicazioni e di garantirne la *sicurezza*; in uno scenario di inter-lavoro di diverse infrastrutture a livello locale o geografico, questa esigenza aumenta con l'aumentare del numero dei clienti, dei servizi supportati e della loro criticità ed importanza; la domanda di sicurezza comprende almeno due accezioni: in primo luogo occorre garantire la *riservatezza* delle comunicazioni; occorre però anche fornire quanto necessario per una loro *autenticazione*.

Infine altri temi che possono caratterizzare discipline della laurea di secondo livello sono:

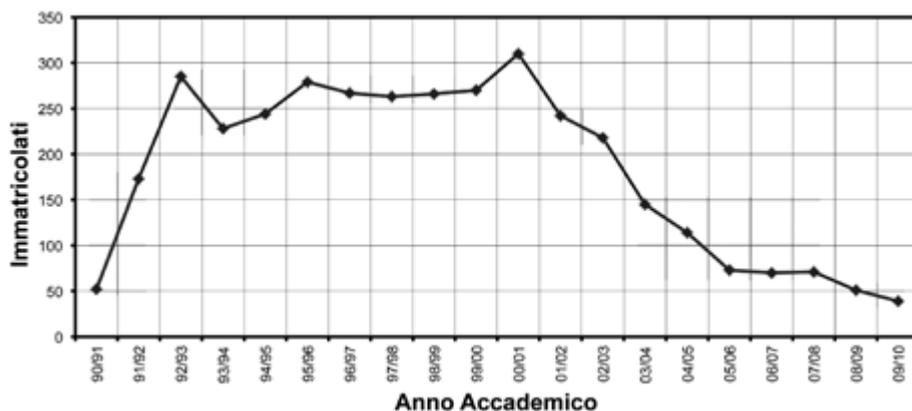
- l'introduzione dell'alta velocità sul legamento di utente supportato dalla fibra ottica con l'impiego della tecnica PON (Passive Optical Network);
- il *trattamento delle immagini in movimento* per ridurre il ritmo di sorgente senza alterarne la qualità percepita e per consentirne un trasferimento con minori esigenze di capacità trasmissiva (codificatori della famiglia Moving Picture Expert Group – MPEG);

- la realizzazione di infrastrutture in tecnologia completamente ottica anche per quanto riguarda i nodi di interconnessione (*reti tutte ottiche*); l'obiettivo è il conseguimento di altissime velocità di trasferimento in area geografica;
- il processo di prevista evoluzione verso un nuovo paradigma di rete a larga banda di tipo integrato, a cui è stato attribuito il nome di *Next Generation Network* (NGN); trattasi di una rete operante con modo a pacchetto e facente uso di un insieme di tecnologie di trasporto a larga banda capaci di assicurare opportuni livelli di qualità di servizio; inoltre l'infrastruttura di accesso dovrebbe essere in grado di assicurare all'utente legami numerici dei tipi *wired* o *wireless*, con capacità orientativamente dell'ordine di un centinaio di Mbit/s; come obiettivi da perseguire in una NGN sono: (i) la fornitura dei servizi dovrebbe richiedere lo svolgimento di funzioni *indipendenti* dalle modalità legate al trasporto; (ii) l'accesso degli utenti ai fornitori di servizio in competizione che sono di loro scelta dovrebbe essere *senza impedimenti*; (iii) dovrebbe essere supportata una *mobilità generalizzata* che consenta la fornitura di servizi agli utenti in modo uniforme e ubiquo; (iv) l'architettura di rete, per utenti fissi o mobili, dovrebbe seguire il *paradigma IMS* e il controllo dei servizi dovrebbe essere assicurato dal protocollo *SIP* (Session Initiation Protocol).

Su ognuno di questi temi è possibile ipotizzare la formazione di specialisti con competenze interdisciplinari a cavallo tra le telecomunicazioni, l'informatica e la fotonica, senza trascurare l'apporto che può venire, nelle fasi realizzative (hardware/software), dalla utilizzazione della microelettronica.

Infine, argomenti oggi di particolare attualità che riguardano in ogni caso la convergenza tra mezzi di comunicazione e di elaborazione (in breve *mezzi Information and Communication Technologies – ICT*) e che potrebbero essere oggetto di trattazioni ad hoc in attività seminariali sono:

- il *risparmio energetico* nella progettazione e nell'operatività degli apparati ICT e delle infrastrutture che li interconnettono (*green networks*);
- l'*interazione sistemi/ambiente* vista sotto un doppio punto di vista: l'ausilio che i sistemi ICT possono dare per la gestione dell'ambiente e l'impatto che i sistemi hanno sugli equilibri ecologici in termini ad es. di riscaldamento e di necessità di condizionamento;
- la gestione dei sistemi ICT e delle relative reti in occasione di *disastri naturali* (terremoti, esondazioni, incendi, ecc.) quando, per la sopravvenuta mancanza delle risorse di comunicazione e di elaborazione preesistenti, è necessario ristabilire quanto è strettamente necessario al coordinamento dei soccorsi;
- il ruolo che svolgeranno le *nanotecnologie* nella progettazione, nella realizzazione e nella gestione dei sistemi ICT;
- la disponibilità di sistemi ICT, terrestri o satellitari, per fornire ausili al traffico veicolare nell'ambito di applicazioni di *infomobilità*, quali quelle connesse al superamento di condizioni di congestione stradale, all'accesso a zone a traffico limitato, al pagamento di pedaggi e alla tempestiva segnalazione di impedimenti di natura varia.



**Figura 1.** Numero di immatricolati al Corso di laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni presso l'Università di Roma La Sapienza per Anno Accademico.

Il quarto periodo è attualmente in corso di svolgimento con modifiche<sup>7</sup> sostanzialmente marginali (nell'ambito di questo testo) rispetto al suo inizio. Sta invece subendo un sensibile ridimensionamento la popolazione di studenti che scelgono la laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni: ciò in parallelo alla crisi industriale del settore, che si sta trascinando da almeno un lustro.

Per fornire un dato numerico su questo ridimensionamento la laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni, nel periodo 1990-2000 è stata scelta da una larga fascia di studenti rispetto agli altri corsi di laurea in ingegneria offerti in ogni sede. Da allora il numero di immatricolati si sta progressivamente riducendo; un esempio è offerto dalla sede di Roma la Sapienza; come è mostrato in Figura 1, partendo da un numero di 300 immatricolati nell'a.a. 2000-01 si è giunti nell'a.a. 2009-10 ad un numero inferiore alle 50 unità.

Attualmente alcune sedi hanno già deciso di chiudere questo corso di laurea. Altre sedi ne stanno discutendo per capire se la tendenza è destinata a confermarsi nel tempo.

### Gli attuali livelli formativi

Fermi restando i campi di competenza e le capacità professionali che sono comuni ad entrambe le figure professionali emergenti dai due livelli di laurea, occorre però distinguere i due tipi di ingegnere delle telecomunicazioni in base ai compiti specifici e alle relative responsabilità che sono loro attribuibili. A questo proposito è opportuno precisare le specifiche a suo tempo definite per progettare i due curricula.

<sup>7</sup> DM 22/10/2004, n. 270.

Obiettivo generale del *primo livello* di Ingegneria delle Telecomunicazioni è formare tecnici qualificati per svolgere, con autonomia di lavoro e nei relativi campi di competenza, attività di progettazione che richiedano la soluzione, tecnicamente razionale ed economicamente vincolata, di problemi affrontabili e superabili con la conoscenza dello stato dell'arte e con la capacità di recepire/gestire l'innovazione tecnologico-sistemistica. Un ingegnere di primo livello dovrebbe pertanto essere dotato di una solida formazione di base e di una preparazione professionale specifica, che consentano un pronto inserimento in attività di lavoro tecnicamente significative e un agevole aggiornamento nei confronti del progresso della tecnica. Nel conseguimento di questi obiettivi formativi, dovrebbero quindi essere privilegiati, in modo marcato, gli aspetti pratico-applicativi rispetto a quelli teorico-astratti.

Obiettivo generale del *secondo livello* è invece formare tecnici di elevato profilo qualificati per svolgere, con autonomia di lavoro, attività ingegneristiche più complesse di quelle affrontabili con il primo livello. Più in particolare un ingegnere di secondo livello dovrebbe svolgere attività di progettazione che richiedano la soluzione, tecnicamente razionale ed economicamente vincolata, di problemi affrontabili e superabili non solo con la conoscenza dello stato dell'arte, ma anche con la capacità di promuovere/sviluppare l'innovazione tecnologico-sistemistica. Pertanto, rispetto al primo livello, si richiede un ulteriore approfondimento delle scienze di base per garantire un rafforzamento delle conoscenze di natura scientifica, unitamente a una preparazione professionale culturalmente più aperta alla acquisizione delle novità tecniche e di più ampio spettro auspicabilmente anche al di fuori del campo individuato dal titolo di primo livello. Nel conseguimento di questi obiettivi formativi dovrebbero quindi essere bilanciati gli aspetti pratico-applicativi con quelli teorico-astratti.

## I campi di attività e gli sbocchi professionali

Come già sottolineato, il mondo delle telecomunicazioni, oltre ad attraversare una pesante crisi industriale, sta subendo, da circa dieci anni, una veloce e profonda evoluzione il cui motore primo è rappresentato dall'emergere di nuove esigenze di comunicazione e di relative risposte compatibili con vincoli di convenienza economica.

In primo luogo queste esigenze vanno inquadrare nelle possibilità oggi offerte dalla convergenza tra informatica e telecomunicazioni, e cioè tra due settori che, fino a tempi relativamente recenti, si sono sviluppati in modo largamente indipendente e che, già attualmente ma in maniera crescente nel futuro, sono destinati a concorrere a finalità comuni. È infatti opinione universalmente condivisa che il trasporto e l'elaborazione dell'informazione tendano ad assumere ruoli complementari e inscindibili.

Gli effetti dell'evoluzione sono osservabili sulle componenti delle nuove esigenze di comunicazione, e cioè sulla tecnica, sul mercato e sull'innovazione. A questo riguardo la *liberalizzazione del mercato* avrebbe dovuto essere l'elemento-chiave di novità rispetto al passato, nell'aprire la strada ad una molteplicità di

attori nell'imprenditoria dei servizi. L'apertura si è verificata, ma non ancora nella misura auspicata per una piena liberalizzazione.

Circa la tecnica, concentriamo dapprima l'analisi sulla tematica del *trasporto dell'informazione*. Le relative prospettive di sviluppo sono legate alle esigenze di fruizione dei nuovi *servizi multi-mediali interattivi*. La fruizione dovrebbe avvenire: (i) senza vincoli di luogo, di tempo, di forma e quindi nel rispetto di requisiti di *interoperabilità*; (ii) con prestazioni di *qualità* commisurate al costo sopportabile; (iii) con la possibilità di integrare due o più servizi di base che agiscano come moduli di servizi più complessi. Per il conseguimento di questi obiettivi, particolare attenzione dovrebbe essere dedicata:

- agli ulteriori *sviluppi di Internet*, con potenzialità più evolute a favore delle comunicazioni multi-mediali e con requisiti di qualità di servizio corrispondenti alle esigenze dell'utente con prospettive interessanti per una più efficiente distribuzione di contenuti multimediali offerta dal paradigma *Content Distribution Network* (CDN);
- al proseguimento della migrazione verso obiettivi di *infrastrutture "tutto-ottiche"*, in modo da rispondere alla sempre crescente esigenza di capacità/velocità di trasporto;
- alla crescente domanda di *comunicazioni mobili* in ambienti sia pubblici che privati, con la conseguente esigenza di successive generazioni di sistemi-radiomobile in area locale o geografica e con potenzialità di larghezza di banda tali da non creare limitazione alla forma di comunicazione;
- ai possibili sviluppi della *Next Generation Network*.

Relativamente poi ai *servizi distributivi*, le prospettive di sviluppo sono legate alla *convergenza delle 4C* (Communication, Computer, Consumer, Content), in cui i mutamenti determinanti sono: (i) l'ulteriore sviluppo della comunicazione multi-mediale, che si è precedentemente sottolineata per i servizi interattivi e che in questo caso presenta, come elemento di maggiore novità, la sua attuazione "online"; (ii) i progressi in atto nell'industria televisiva aventi come prospettive finali la possibilità di introdurre la televisione nel sistema più allargato della multi-medialità interattiva a larga banda e quindi l'evoluzione della distribuzione televisiva verso la "fast-Internet".

Per la realizzazione di quanto sopra, la tecnica e l'innovazione continueranno a giocare un ruolo fondamentale, soprattutto per ciò che riguarda l'evoluzione delle tecnologie:

- ottiche, per la realizzazione di apparati di rete;
- radio, a supporto della mobilità;
- software, orientate, ad esempio, alla distribuzione dell'intelligenza in rete e alla personalizzazione nella gestione dei servizi;
- satellitari, per lo sviluppo dei sistemi di nuova generazione.

Passiamo poi alla tematica del *trattamento "in locale"* di informazioni raccolte mediante opportuni *sensori*, sia in posizione isolata, sia interconnessi in rete. Sva-

riati sono i campi attualmente in pieno sviluppo e con prospettive importanti di evoluzione nel futuro. Le tecniche impiegate sono quelle del trattamento dei segnali e del riconoscimento di forme, mentre le applicazioni sono così numerose da imporre in questa sede di limitarne l'analisi solo ad alcuni casi significativi. Alcune applicazioni rientrano nell'insieme del *telerilevamento*; altre riguardano invece campi di attività in cui il tecnico di telecomunicazioni svolge un ruolo di supporto. Nel primo ambito rientrano i servizi di *localizzazione a terra* attualmente offerti dal sistema Ground Positioning System (GPS) e in prospettiva dal sistema Galileo, tramite costellazioni di satelliti. Nel secondo ambito sono collocabili, ad esempio, le applicazioni di sostegno alla diagnostica medica (*Telemedicina*), all'osservazione del territorio (*Servizi Informativi Geografici*) e alla fruizione dei *beni culturali*.

Per chiudere questa panoramica di attività in corso o in prospettiva vanno citati altri tipi di trattamento aventi come oggetto la *voce* e le *immagini*. Nel caso della voce una finalità significativa è la comprensione del parlato continuo da parte di una macchina. Nel caso delle immagini un problema importante, connesso alla loro archiviazione in banche di dati, è definirne un criterio di classificazione che ne consenta una successiva ricerca/estrazione. Le applicazioni che ne possono conseguire sono svariate e, in ogni caso, dipendono dallo scopo per cui le immagini sono state acquisite, con sensori dei tipi più vari; un esempio di rilievo è rappresentato dalle immagini acquisite con *radar ad apertura sintetica* (Synthetic Aperture Radar – SAR). Altri punti già oggi importanti sono il riconoscimento di persone e di scene/situazioni (ad es. per un controllo degli accessi, per l'individuazione di bagagli incustoditi, ecc.).

Anche sulla base del quadro sopra delineato, sono potenzialmente offerte interessanti prospettive occupazionali per entrambe le figure professionali di ingegnere, ma, in larga prevalenza, per il secondo livello, come ha dimostrato la domanda del mercato del lavoro.

I principali sbocchi occupazionali possono essere individuati presso: (i) imprese manifatturiere e installatrici; (ii) imprese di gestione di infrastrutture e di fornitura di servizi; (iii) enti di pubblica utilità; (iv) enti per la fornitura di servizi di progettazione/consulenza; (v) enti di controllo pubblico; (vi) enti di ricerca e di formazione/aggiornamento professionale.

Alla categoria (i) appartengono imprese preposte a:

- produrre dispositivi, apparati, sistemi di utente (terminali) e di rete per telecomunicazioni pubbliche o private e per applicazioni civili o militari;
- installare impianti e infrastrutture per le telecomunicazioni in area locale o geografica, come supporto alla fornitura di servizi interattivi;
- produrre pacchetti software per il sostegno a nuove forme di servizio con lo scopo di rispondere, ad esempio, a esigenze di personalizzazione;
- realizzare/installare impianti spaziali per telecomunicazioni via satellite e produrre apparati di terra e/o di bordo;
- produrre mezzi trasmissivi, con specifico e prevalente riferimento ai cavi ottici;

- produrre, sotto forma di componenti in tecnologia elettronica e/o ottica, subsistemi per realizzare apparati e impianti al servizio delle telecomunicazioni;
- produrre impianti radar, radio-aiuti alla navigazione, strumentazione avionica e sistemi per radiolocalizzazione.

Nella categoria (ii) sono menzionabili imprese che hanno la missione di:

- gestire reti fisse o mobili, terrestri o spaziali;
- fornire servizi di telecomunicazione, sia tradizionali di tipo mono- e/o multi-mediale, sia orientati ad applicazioni di natura telematica;
- gestire impianti di radio-diffusione o di diffusione su cavo e erogare servizi distributivi di tipo radio-televisivo, in generale con caratteristiche multi-mediali;
- fornire servizi di telerilevamento, terrestri o spaziali.

Nella categoria (iii) sono da considerare gli uffici tecnici presso:

- alcune strutture ministeriali o altri organi della Pubblica Amministrazione centrale o degli enti locali;
- gli ospedali, le banche;
- gli enti di controllo sulla qualità di certificazione (ad es. per la sicurezza dei prodotti e dei processi);
- l'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni (AGCom) con compiti di controllo del rispetto delle regole di libera concorrenza nella fornitura dei servizi.

Circa la categoria (iv), si citano:

- le società di ingegneria, che svolgono attività di progettazione prevalentemente orientate agli impianti e alle reti di telecomunicazione;
- le società di consulenza tecnico-economica e organizzativa, orientate a problematiche di interesse per le imprese di gestione e per quelle manifatturiere nel campo delle telecomunicazioni.

Nella categoria (v) rientrano ad esempio:

- (i) gli enti normativi e di regolamentazione del mercato;
- (ii) gli enti di controllo dei traffici aereo, terrestre o navale.

Infine, alla categoria (vi) appartengono le istituzioni universitarie e gli enti pubblici o privati preposti allo svolgimento di ricerca applicata.

## Conclusioni

La formazione universitaria di competenze professionali nel settore delle telecomunicazioni è stata qui analizzata sotto vari punti di vista. Si è partiti

dagli ambiti in cui un ingegnere di questo tipo è chiamato ad operare e dalle conseguenti competenze richieste. Si è passati poi a presentare l'evoluzione delle norme statali che nel tempo hanno definito l'ordinamento degli studi di ingegneria e a mettere in evidenza le conoscenze che parallelamente venivano rese disponibili per tenere il passo con lo stato della tecnica. Infine, dopo aver presentato le specifiche di progetto degli attuali curricula, si è effettuata una rapida presentazione dei campi di attività attualmente offerti a un laureato che ha acquisito una professionalità specifica nel settore delle telecomunicazioni e si sono evidenziati possibili sbocchi professionali.

### Riferimenti normativi

- RD 19/08/1923, n. 2483: *Istituzione presso l'Istituto Superiore postale, telegrafico e telefonico di una Scuola di telegrafia e telefonia*, GU 28/11/1923, n. 279, e successive modifiche e integrazioni.
- RD 30/09/1938, n. 1652: *Disposizioni sull'ordinamento didattico universitario*, GU 29/10/1938, n. 248 SO, e successive modifiche e integrazioni.
- DPR 31/01/1960, n. 53: *Riordinamento degli studi della Facoltà di Ingegneria*, GU 26/02/1960, n. 49, e successive modifiche e integrazioni.
- L 11/12/1969, n. 910: *Provvedimenti urgenti per l'Università*, GU 13/12/1969, n. 314, e successive modifiche e integrazioni.
- DPR 20/05/1989: *Modificazione all'ordinamento didattico universitario relativamente ai corsi di laurea della Facoltà di ingegneria*, GU 10/08/1989, n. 186, e successive modifiche e integrazioni.
- DM 03/11/1999, n. 509: *Regolamento recante norme concernenti l'autonomia didattica degli atenei*, GU 04/01/2000, n. 2.
- DM 22/10/2004, n. 270: *Modifiche al regolamento recante norme concernenti l'autonomia didattica degli atenei, approvato con DM 03/11/1999, n. 509*, GU 12/11/2004, n. 266.

## Aspetti sociali e culturali delle telecomunicazioni<sup>1</sup>

### Introduzione

Negli ultimi anni gli scambi comunicativi mediati dai dispositivi tecnologici hanno subito un incremento impressionante, tanto che alcuni paventano un intasamento dei sistemi di trasmissione. Le cause principali di questo surriscaldamento comunicativo sono: l'aumento dell'efficienza tecnica, la diminuzione radicale dei costi e l'indebolimento dei filtri che in passato limitavano la diffusione dell'informazione. Tra questi filtri: la chiesa, la scuola, la famiglia, e in genere le istituzioni politiche e sociali che esercitavano il monopolio dell'informazione, la sorveglianza e la censura. In ultima analisi questi filtri erano sorretti dal costo della comunicazione, dal diffuso analfabetismo e dalla lentezza e difficoltà degli scambi.

La tecnologia ha reso la comunicazione sempre più rapida ed economica e ha contribuito alla nascita di quella che si chiama *società dell'informazione*. Tra le tappe più significative di questa evoluzione ricordiamo:

- la convergenza di telecomunicazioni e computer;
- la digitalizzazione delle sorgenti d'informazione e dei canali di trasmissione;
- lo sviluppo di servizi multimediali e interattivi;
- la concentrazione di un numero crescente di funzioni in minuscoli dispositivi tascabili.

Queste innovazioni hanno innescato un anello di retroazione positiva: per gestire tutti questi scambi ci vuole più tecnologia informatica; ciò consente alla massa degli scambi di lievitare, e così si impone a sua volta un ulteriore aumento della tecnologia, in una rincorsa che appare indefinita.

Siamo entrati nell'*era digitale*, caratterizzata tra l'altro, sotto il profilo socioculturale, dalla formazione di una generazione di giovani che, plasmatisi sulle nuove tecnologie o addirittura *nati con* le nuove tecnologie, le usano con grande disinvoltura e insieme con sovrana indifferenza per i loro meccanismi profondi, attenti solo al loro utilizzo opportunistico, che spesso ha a che fare con

<sup>1</sup> Una versione ridotta di questo articolo è comparsa in *Mondo Digitale*, VIII, 4, dicembre 2009, n. 32, pagg. 3-20, con il titolo "Nascere digitali: verso un mutamento antropologico?"

la realizzazione dell'io. All'interno di questa *generazione digitale* si manifestano rapide dinamiche relazionali, condizionate dall'insicurezza e dalla solitudine, dalla mancanza di guide di riferimento nei grandi spazi socioculturali che si aprono. Inoltre, la generazione digitale interagisce con le strutture tradizionali, in particolare con la scuola, in modi nuovi, che prefigurano altri e più incisivi cambiamenti, destinati a investire tutti gli aspetti dell'individuo e della società.

Tramite l'ibridazione con la tecnologia cambiano le attività e la stessa natura umana. In particolare, tramite la genomica l'uomo cessa di riprodursi e comincia a *prodursi*. Cambia il modo di fare i figli, di allevarli e di educarli. Cambia il modo di comunicare, di apprendere e di insegnare, cambiano la nozione di *tempo*, la percezione dello *spazio*, il concetto di *realtà*. Cambia la nozione di *identità* e cambia la *rappresentazione del mondo*, mettendo in crisi le nozioni di *verità* e di *senso*. Tutti questi cambiamenti moltiplicano le scelte, esaltano la creatività e insieme estendono l'omologazione, ci sopraffanno con l'eccesso di dati e di possibilità, provocano lacerazioni e disadattamenti. Il lessico e la sintassi subiscono distorsioni, impoverimenti e meticciamenti profondi. E la rappresentazione mediatica di tutti questi cambiamenti genera un "doppio" spettacolare del mondo che a volte è percepito più reale del mondo reale e accelera le mutazioni. In questa potente dinamica trasformativa le velocità di cambiamento non sono uniformi: certe componenti mutano più rapidamente di altre e questa disuniformità genera tensioni, disagi, conflitti e sofferenze. La transizione è così rapida che non permette alle generazioni adulte la messa a fuoco, per cui esse continuano a vedere il futuro con gli occhi, i parametri e i valori di un passato che faticano a superare e in cui permangono robuste tracce di categorie aristoteliche. Ciò provoca un disorientamento e una sensazione di inadeguatezza che possono sfociare in angoscia o, all'opposto, in precipitose ed euforiche fughe in avanti<sup>2</sup>.

I giudizi sull'avvento dell'era digitale sono diversissimi: vanno da un'esaltazione senza riserve a un cupo catastrofismo, con tutti i gradi intermedi. È significativo che le valutazioni positive come quelle negative possano essere giustificate da osservatori diversi con argomenti fondati.

I fautori della comunicazione estesa e mediata dalle tecnologie la considerano un fattore basilare dello sviluppo di ogni attività culturale, intellettuale e conoscitiva. In tal senso, alla luce dell'evoluzione culturale dell'umanità, il matrimonio tra computer e telecomunicazioni era inevitabile. Per altri, all'opposto, questa lievitazione informazionale ha portato a una sorta di etilismo tecnologico e comunicativo che si autogiustifica e in cui si diluisce o si perde il *senso* della comunicazione. Infatti la facilitazione tecnologica consente a tutti di esprimere all'istante i pensieri più banali e le sensazioni più effimere, di costruire frammenti diaristici insignificanti, ma dotati dell'inequivocabile segnatura dell'io che vuol farsi protagonista (narcisistico o esibizionista), sia pure per un istante, sul palcoscenico virtuale, con la certezza che nell'immensa platea qualcuno, comunque, in quel momento si farà spettatore e magari reagirà con un messaggio.

<sup>2</sup> Longo 1998, 2001, 2003, 2005.

Entrambi i giudizi sono probabilmente estremi: la comunicazione estesa presenta aspetti negativi e aspetti positivi. Infatti, trattandosi di un fenomeno complesso, lo si può descrivere da molti punti di vista e a molti livelli, nessuno dei quali esaurisce il fenomeno pur contribuendo alla sua descrizione.

Giudizi tanto contrastanti indicano che siamo di fronte a una rivoluzione vasta e coinvolgente, le cui radici affondano nell'interazione tra tecnologia e società e le cui ripercussioni riguardano la cultura, la scuola, la politica, i rapporti sociali, l'organizzazione aziendale e istituzionale, la lingua, l'epistemologia, l'etica e la scienza. Nelle pagine che seguono cercherò di esaminare alcune di queste conseguenze, senza curarmi troppo dei particolari tecnici e dell'alluvione di *gadget* ma cercando di scrutare le radici e le conseguenze culturali degli accadimenti.

In ogni caso, che si giudichi la rivoluzione mediatica in senso positivo o negativo, non si deve dimenticare che sotto la variegata superficie dei fenomeni comunicativi si muove un vigoroso sistema tecnico-economico che mira ad incrementare profitti e potere mediante astute politiche di mercato e abili strategie pubblicitarie. I risvolti economici e finanziari delle reti possono prefigurare un uso contrario alla libertà di accesso universale con cui si presentano al pubblico. Poiché le reti consentono di accedere alla conoscenza e la conoscenza è potere, invece di imboccare la strada che conduce all'incremento delle capacità e del benessere individuale attraverso la cooperazione e la solidarietà, si rischia di imboccare la strada che porta a un controllo orwelliano della società, al dominio di un Grande Fratello indifferente ai valori umani e favorevole allo sviluppo di comunità ristrette e blindate in nome della sicurezza e del dominio. Si osservi che questi aspetti, che toccano l'etica delle comunicazioni, ricevono dagli addetti ai lavori meno attenzione degli aspetti tecnici.

## L'universo della comunicazione

L'ingresso nell'era digitale si accompagna a due transizioni importanti. In primo luogo vi è il passaggio sempre più evidente dall'evoluzione biologica, retta dai meccanismi darwiniani di mutazione e selezione, all'evoluzione *bioculturale*, e in particolare biotecnologica, dove ai meccanismi precedenti si affianca anche il meccanismo lamarckiano dell'ereditarietà dei caratteri (culturali) acquisiti. Questo fenomeno si basa su processi, come l'imitazione, l'apprendimento e la moda, che agiscono non solo da una generazione alla successiva, ma anche all'interno della stessa generazione. Ne segue che l'evoluzione bioculturale ha natura "epidemica": è molto più rapida di quella biologica, ma i suoi prodotti sono più fragili e volatili<sup>3</sup>.

In secondo luogo, sul versante della tecnologia, accanto alle macchine tradizionali, che elaborano materia ed energia, sono comparse le *macchine della mente*, che elaborano informazione. In un susseguirsi sempre più rapido: il cinema, il telegrafo, il telefono, la radio, la televisione, il calcolatore elettronico,

<sup>3</sup> Longo 2001, 2005.

le reti: sistemi e dispositivi che si sono affiancati a quelli tradizionali basati sulla comunicazione orale, sulla scrittura e sulla stampa. Inoltre lo sviluppo delle reti, derivate dall'accoppiamento fra telecomunicazioni e calcolatori, ha dimostrato che la vera vocazione dei computer non è solo o tanto l'esecuzione di calcoli laboriosissimi o il trattamento di enormi masse di dati o la gestione di impianti e servizi, quanto il collegamento interattivo tra gli individui. Sempre più essi fungono da nodi della grande rete di comunicazione che si sta estendendo su tutto il pianeta<sup>4</sup>. Ne segue che Internet è un fenomeno soprattutto linguistico-comunicativo ed espressivo, un aggregato di cornici entro le quali si fa una nuova esperienza del mondo e del sé.

L'uomo è una creatura della comunicazione e dello scambio: la sua struttura corporea e la sua intelligenza si sono co-evolute in stretta interazione con un ambiente che ha impresso nella specie il proprio sigillo, dando origine a un apparato neuro-sensoriale e cognitivo che filtra le stimolazioni della realtà e costruisce il mondo da noi percepito, che è diverso da quello di ogni altra specie. Su questo apparato s'innesta in modo agevole e quasi anestetico (almeno in apparenza) la tecnologia informazionale, la quale, come si è detto, prolunga l'evoluzione biologica in un'evoluzione biotecnologica, modificando le categorie della percezione e della cognizione e influenzando anche sugli affetti<sup>5</sup>. Lungi dall'essere un fenomeno superficiale, la tecnologia incide dunque sul nostro modo di vedere il mondo e noi stessi e sulla nostra essenza cognitiva ed emotiva più intima.

A questo proposito è esemplare il caso della televisione (vedi Appendice A.1), che per molti costituisce un vero e proprio occhio sul mondo. L'aspetto forse più limitativo del rapporto con la Tv è la sua *unidirezionalità*, temperata soltanto dall'uso del telecomando, che consente allo spettatore di ricavarci un tracciato personale tra programmi di per sé rigidi. È un inizio di interattività, che soddisfa, sia pure in modo embrionale, la profonda esigenza *dialogica* degli umani. Oggi comunque anche la televisione sta imboccando la strada dell'interattività.

La comunicazione è un fenomeno complesso, in cui si mescolano elementi naturali e convenzionali, sintattici e semantici, pragmatici ed emotivi. È un'attività, quella comunicativa, intessuta di metafore, di significati empirici e di ambiguità che screziano e arricchiscono il puro scambio di informazioni, corredandolo di tutta una serie di valenze metacomunicative ed extracomunicative, senza le quali lo scambio si ridurrebbe a poco più di niente. La comunicazione si articola in codici più o meno flessibili, aperti in vario modo a interessi cognitivi, affettivi e collaborativi. Ed è proprio la *volontà di collaborazione* dei parlanti che ne costituisce forse l'aspetto più caratteristico e significativo: grazie a questa volontà e animati da essa, i dialoganti esplicano un controllo e un continuo aggiustamento dell'interazione, che porta alla condivisione di regole sempre diverse e alla costruzione di convergenze mutevoli, di volta in volta adatte agli *scopi* della comunicazione.

L'aspetto collaborativo della pratica linguistica (che secondo alcuni troverebbe un correlato fisiologico nei cosiddetti *neuroni specchio*) si esplica in una continua

<sup>4</sup> Longo 1998, 2005.

<sup>5</sup> Dinelli 1999.

ridefinizione e reinterpretazione, da parte dei dialoganti, dei dati e delle relazioni, dati e relazioni che non sono solo interni alla lingua, ma anche esterni: per esempio la relazione *tra gli stessi dialoganti*. Emergono così le componenti extra-grammaticali ed extra-linguistiche della comunicazione, che è fatta non solo di informazioni scambiate ma anche, e forse soprattutto, di intenzioni e di progetti, di scopi e di aspirazioni che riguardano il mondo dei soggetti, cioè un *contesto* quanto mai ampio e articolato. Ed emerge anche l'idea, già espressa dagli antichi Stoici, che il pieno sviluppo delle caratteristiche umane, e non solo cognitive, avvenga grazie all'interazione sociale<sup>6</sup>.

Per questo è fondamentale che, per esempio, nella relazione tra docente e discente, si apra il canale della *collaborazione empatica*, dell'interesse affettivo e umano, della relazione personale, canale che è sempre bidirezionale, anche quando il docente parla e il discente tace: per quel canale empatico possono poi transitare tutte le informazioni, tutti i dati, tutte le nozioni. Se quel canale non si apre, non passa nulla.

L'intelligenza umana e il suo rispecchiamento verbale sono fenomeni *contestuali, sistemici e diacronici*. Il carattere fondamentale del contesto e dei rapporti interpersonali comporta, tra l'altro, l'importanza, per l'intelligenza umana, del *corpo*, che è il tramite, e il filtro, attraverso il quale la mente dell'uomo, e quindi il suo linguaggio, entra in contatto con il resto dell'universo. La lingua risulta dunque un fenomeno globale, cioè mentale e corporeo insieme: ogni atto linguistico, a ben guardare, è un atto sistemico del mondo, che si svolge sì sotto la particolare angolatura dell'individuo che compie l'atto, ma che attraverso quell'individuo si collega a tutto il resto. E ogni testo è scritto dal mondo su sé stesso. Chi scrive presta al mondo mente, mano e corpo, consentendogli di scrivere. E così chi parla e chi legge e chi ascolta. Questo punto di vista permette, tra l'altro, di capire e valutare meglio la funzione attiva dell'ascoltatore o del lettore, di chi insomma ri-costruisce in sé il testo.

A questa forma costantemente dialogica e interattiva della comunicazione corrisponde il passaggio, ancora in corso ma già ben delineato, dalla prima forma di Internet, il Web 1.0, alla sua evoluzione, il Web 2.0, rappresentato da Wikipedia, Google, YouTube e in genere da tutta una generazione di piattaforme e servizi caratterizzati non più da una partecipazione passiva, bensì da una cooperazione creativa degli utenti, i quali contribuiscono a produrre conoscenze: le strutture del Web 2.0 si costruiscono dal basso, per effetto di apporti minimi ma costanti in continuo confronto e interazione, come accade in maniera paradigmatica in Wikipedia. È una sorta di rumore bianco cognitivo da cui nascono, grazie a filtri selettivi autoorganizzati, strutture più o meno stabili o metastabili. Il protagonismo partecipativo degli utenti giustifica in pieno la nozione di *intelligenza collettiva*, distribuita ovunque, coordinata nella dimensione sincronica, che alcuni hanno proposto per indicare le attività cognitive che si svolgono in rete e grazie alla rete<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Longo 2006.

<sup>7</sup> Lévy 1996.

Con l'avvento (non ancora compiuto) del Web 2.0 si passa dal concetto di comunità, basato sugli interessi, al concetto di relazione, basato sui soggetti; dall'appartenenza ascrittiva all'appartenenza elettiva; dalla trasmissione unidirezionale di contenuti al dialogo; dall'autorialità individuale all'autorialità diffusa. Il soggetto da spettatore diventa testimone, emette giudizi che confluiscono in una sorta di grande commento mediato e pesato, cui ciascuno può contribuire e far riferimento. Il rischio è quello dell'autoreferenzialità, della costituzione di tante monadi in relazione apparente con altre monadi, in una sorta di "individualismo interconnesso".

Per converso, il sincronismo tipico del Web sopprime la dimensione temporale, annullando il passato e appiattendolo tutto sul presente. A ciò corrisponde una drastica trasformazione cognitiva e culturale, caratterizzata tra l'altro dalla perdita della storia e quindi della possibilità di attribuire un senso alla successione delle esperienze personali. Senza storia entra in crisi il concetto di identità personale e la possibilità di istituire l'individuo come soggetto non soltanto agito dalle passioni ma agente attivo, capace di interporre tra emozione e azione il momento della riflessione. La crisi dell'identità si configura come possibilità di una sua decostruzione e ricostruzione: come vedremo, l'identità diviene oggetto di scelta opportunistica o capricciosa e apre quindi lo spazio dell'ambiguità.

Nella sconfinata possibilità conoscitiva aperta dalla rete, c'è peraltro da osservare che non sempre i contenuti offerti dal Web (per esempio, da Wikipedia) sono attendibili: la rapidissima diffusione delle informazioni errate rischia di rendere il sistema instabile sotto il profilo culturale. Nei media cartacei tradizionali questo rischio, pur presente, è molto minore, poiché minore è la velocità di propagazione delle informazioni e maggiore è il tempo concesso alla riflessione, alla maturazione e alla scelta dei contenuti (la fretta è cattiva consigliera).

Interessante è anche l'analogia tra Web e cervello proposta da O' Reilly<sup>8</sup>:

Quando gli utenti aggiungono nuovi concetti e nuovi siti, questi vengono integrati nella struttura del Web dagli altri utenti che ne scoprono il contenuto e creano link. Come nel cervello si formano le sinapsi, con associazioni che diventano più forti attraverso la ripetizione o l'intensità, così le connessioni del Web crescono organicamente come risultato dell'attività collettiva di tutti gli utenti del Web.

Questa convincente similitudine giustifica la locuzione "macchine della mente" e spiega l'inserimento delle strutture macchiniche nell'intelligenza umana: il nostro sistema cerebrale si integra con un artefatto, la rete globale<sup>9</sup>, che ne potenzia alcune capacità e ne modifica la struttura e le funzioni, aprendo la strada alla formazione di un'intelligenza "connettiva" che, secondo alcuni, segna il passaggio dalla società gutenberghiana alla società digitale, dove i contenuti sono mutevoli e subito condivisi e i "navigatori" contribuiscono alla formazione dal basso di prodotti distribuiti agli utenti in un vicendevole alternarsi nei ruoli

<sup>8</sup> O'Reilly 2005.

<sup>9</sup> Longo 2001, 2003.

di spettatore e attore ovvero fruitore e autore. Ma l'impressione è che, tranne pochi pionieri, non siamo ancora usciti del tutto dalla "galassia Gutenberg" di cui parlava McLuhan e non siamo ancora capaci di orientarci nella società digitale. E questo anche per una certa resistenza ad abbandonare le sponde, fidate anche se corrose, della cultura tradizionale. Non c'è dubbio, peraltro, che concetti tradizionali come lavoro, denaro, proprietà, diritto, economia, siano sottoposti a una forte tensione definitoria<sup>10</sup>.

### La comunicazione filtrata

È importante chiarire che ogni tecnologia è un *filtro*, che potenzia certe capacità umane e ne indebolisce altre. L'azione di filtro della tecnologia è evidentissima quando si ha a che fare con le macchine della mente e di fatto comporta un mutamento nella natura della *comunicazione* umana. La vasta gamma dei nostri strumenti comunicativi, sviluppati nel corso dell'evoluzione biologica e poi culturale, deve venire a patti con la relativa rigidità dei calcolatori e delle reti. Sono gli uomini, più flessibili, a doversi adattare alle macchine: quindi la comunicazione umana tende a somigliare a quella meccanica, tende a diventare più efficiente e meno sfumata, più logica e meno emotiva. Questo mutamento, pur temperato dalla flessibilità del digitale, potrebbe causare sofferenza, poiché l'attenuazione di certe caratteristiche comunicative "naturali" ad opera degli strumenti artificiali può essere avvertita come un impoverimento del ricco e articolato fenomeno della comunicazione umana. Un rimedio a questo irrigidimento efficientistico è il ripiegamento su una comunicazione più povera, meno strutturata, che tuttavia è percepita più libera. Si tratta di una sorta di abdicazione.

Si può dunque capire quanto l'interazione tra uomo e computer, e ancor più quella tra bambino e computer, condizioni le abilità comunicative ereditarie e il loro sviluppo. Quando viene al mondo, il bambino è un centro comunicativo di enorme ricchezza non solo potenziale ma anche attuale: già da piccolissimi, si può dire fin dalla culla, i bambini imitano, si esprimono, fanno teatro e recitano. Infatti hanno ereditato una capacità che per l'uomo è essenziale: la capacità di comunicare in tutte le sue variegata e delicatissime sfumature. In particolare sanno "mettersi nei panni dell'altro" e anticipare ciò che l'altro sta per dire o per fare.

Ma nel momento in cui i bambini si ibridano con la tecnologia, cosa che avviene sempre più precocemente, queste loro capacità comunicative ed espressive cominciano a essere filtrate e quindi, in qualche misura, vengono indebolite, mentre se ne arricchiscono altre. Il bambino che venga indirizzato al computer, ai videogiochi o a qualunque altra tecnologia sottile e importante, diventa tutt'uno col dispositivo e quindi non fa più ciò che faceva quando si ibridava, per esempio, con i libri. Questa vera e propria svolta epistemologica e pratica corrisponde a una *trasformazione cerebrale* che conferma la natura fondamentale della simbiosi uomo-tecnologia. Nei bambini che hanno un'interazione precoce con la televisione,

<sup>10</sup> Ferri 2008; McLuhan 1998.

con i videogiochi e con il calcolatore, le connessioni cerebrali si sviluppano in modo diverso rispetto ai bambini che esercitano un'attività di lettura e scrittura o un'attività corporea. Oggi nella scuola vengono a contatto due generazioni (gli insegnanti e gli allievi) che, per le loro diverse esperienze cognitive precoci, hanno *strutture cerebrali diverse* e perciò dialogano con grande difficoltà. Questa, credo, è una delle principali ragioni della crisi della scuola (vedi A.2).

Poiché sono le caratteristiche cognitive e razionali del simbionte uomo-macchina che altrove ho chiamato *homo technologicus* quelle che oggi mutano più rapidamente, la nostra attenzione si concentra su di esse, tanto che è diffusa la tendenza a trascurare gli aspetti non razionali dell'intelligenza umana, in particolare quelli narrativi ed emotivi. Ma questa tendenza offre dell'intelligenza un quadro molto parziale. Se si trascurano le altre dimensioni dell'intelligenza, l'inevitabile confronto tra uomo e macchina si svolge sempre più sulla pista formale, dove ormai la macchina prevale, anzi costringe l'uomo ad abdicare: assistiamo infatti al paradosso che proprio nel momento in cui le attività razional-computanti tendono a prendere il sopravvento su quelle espressive, esse vengono di fatto *delegate* alla macchina, che le svolge meglio degli umani. I segni di questa abdicazione sono ormai evidenti: come possono testimoniare gli insegnanti di più lunga esperienza, le capacità computazionali, logiche e argomentative dei giovani subiscono un declino progressivo perché le elaborazioni logico-formali sono affidate sempre più spesso alla macchina<sup>11</sup>. Non solo, ma tale delega della razionalità favorisce il dilagare dell'emotività, la rinascita dei miti e il ricorso a forme vaghe di religiosità, capaci di soddisfare le esigenze di fusione emozionale con l'armonia del cosmo.

Allora: da una parte le capacità logiche e argomentative s'indeboliscono, dall'altra le capacità narrative, dialogiche e in genere verbali si impoveriscono. In compenso si arricchisce enormemente la capacità d'interazione manipolativa con la macchina e, sia pure attraverso la macchina, con i consimili: i nativi digitali manifestano un'abilità opportunistica senza pari nel piegare i dispositivi ai propri scopi, traendone gratificazioni emotive immediate, incuranti dei risvolti teorici delle elaborazioni e degli aspetti funzionali delle apparecchiature.

## Il mondo e la parola

Da tempi antichissimi l'uomo descrive e interpreta il mondo servendosi della lingua, e tale è la suggestione di questo strumento che le sono stati conferiti attributi divini: nella tradizione giudaico-cristiana è con la parola che Dio crea il mondo. Si è finito col credere che la parola fosse più importante di ciò che dovrebbe descrivere: il segno ha preso il posto della cosa. Anche la radice greca della cultura occidentale ha attribuito un valore grandissimo al *logos* e ha nutrito l'ambizione di tradurre in parola (in simbolo) tutta la sapienza, tutta la struttura, tutta la dinamica contenute nel mondo. Anche la nostra scienza, sulla scorta

<sup>11</sup> Longo 2001, 2003.

dei Greci, cerca di tradurre in descrizioni esplicite – linguistiche, simboliche, matematiche – ciò che è implicito nella realtà<sup>12</sup>.

Ma il tentativo che la scienza compie di fornire un'immagine linguistica totale del mondo incappa nell'ostacolo tipico di ogni processo di traduzione, cioè l'incompletezza, tanto più insuperabile quando conosciamo poco o punto una delle lingue in gioco: la lingua del mondo. Nonostante la fiducia metafisica nutrita da Galileo che la natura sia un libro "scritto" in termini comprensibili e decodificabili dagli uomini, cioè in caratteri matematici (ma quali caratteri: i triangoli o i frattali o qualche mostruoso algoritmo?), la lingua del mondo, ammesso che si possa parlare di lingua, ci resta ignota. Anche se vi sono forti ragioni per credere con Eugene Wigner che la matematica possieda una straordinaria benché "irragionevole efficacia nelle scienze naturali", non possiamo tuttavia sottrarci all'impressione che la descrizione scientifica della realtà sia solo una nostra volenterosa e nostalgica interpretazione. La traduzione letteraria, che è certamente più facile perché vuole trasporre un testo da una lingua naturale a un'altra, rende manifesto che la fedeltà è impossibile. Ogni traduzione alla fin fine si rivela un'interpretazione, con tutte le limitazioni intrinseche di questa operazione, prima fra tutte quella di non essere mai "vera", unica e definitiva. L'interpretazione è sempre rivedibile, perfettibile, modificabile, storica: e sono proprio questi, almeno in linea di principio, i caratteri della descrizione scientifica.

Parallelamente, a partire dall'epoca greca, l'Occidente ha considerato la mente (l'anima, lo spirito) superiore al corpo, fino ad esprimersi nella stravagante affermazione di Cartesio "cogito ergo sum". Questo rapporto di subordinazione rispecchia la supposta soggezione della realtà rispetto alla parola.

Certo non sono mancate le eccezioni, come emerge da questa citazione: "Due sono i libri che Dio ci ha consegnato: il libro della totalità delle creature, ovvero il libro della natura, e il libro della Sacra Scrittura." Viene subito alla mente Galileo, ma la citazione è invece dal *Liber creaturarum* del catalano Ramon Sibiuda, rettore dell'Università di Tolosa nei primi decenni del Quattrocento, il quale predica l'indiscutibile superiorità del libro della natura rispetto a quello della Scrittura, cioè della realtà rispetto alla parola. Il libro della natura, afferma Sibiuda con un'arditezza che puzza di eresia, non è falsificabile, mentre la Scrittura, data all'uomo in un secondo tempo, può essere *interpretata* male. Dunque il reale è superiore alla sua descrizione. Ma Sibiuda è appunto un'eccezione: la nostra civiltà si è sviluppata nel culto della parola scritta e dei suoi supporti, in particolare del *libro*, sostenuta in questo dalla duplice tradizione del Verbo e del Logos<sup>13</sup>.

La cultura verbale nutre sospetto e diffidenza nei confronti delle altre forme di comunicazione. A proposito delle immagini scrisse Goethe: "A che serve dominare la sensualità, coltivare l'intelletto, assicurare alla ragione la sua supremazia? La forza dell'immagine è in agguato [...] e riemerge con l'innata crudezza dei selvaggi che amano le smorfie". Queste parole esprimono una profonda riprovazione per le forme espressive che non siano quelle linguistiche.

<sup>12</sup> Longo 2008a, 2008b.

<sup>13</sup> Longo 2008a.

Tanto importante è la parola che per insegnare la lettura e la scrittura, le tecniche fondamentali per la trasmissione della cultura, cioè del mondo *tout court*, è stata istituita la *scuola*. E di scuola vogliamo ora parlare.

## La scuola, il sapere e la narrazione

Con una metafora audace ma fondata, si può affermare che la scuola è l'organo di riproduzione della società, poiché ne replica il sapere e le conoscenze. Essa tende a formare le nuove generazioni sulla falsariga di quelle precedenti, quindi, come tutti gli organi di riproduzione, anche la scuola è tendenzialmente conservatrice.

Rilevare il carattere conservatore della scuola è importante: esso infatti è una delle cause delle difficoltà che incontra oggi l'istituzione scolastica, immersa com'è in un contesto locale, nazionale e, soprattutto, mondiale che cambia rapidamente. È una sfida non da poco, perché da una parte è necessario adeguare la scuola al cambiamento, dall'altra si tratta di conservarne le caratteristiche ritenute più utili e preziose.

La scuola non può essere avulsa dal contesto che la circonda, quindi deve venire a patti con la società. Questo per due motivi essenziali: in primo luogo perché è la società che finanzia la scuola e poi perché la scuola non è più l'unica fonte del sapere, inteso non solo in senso istituzionale o canonico, ma in senso lato. Altre sono oggi le fonti a cui si abbeverano i giovani (e i meno giovani), in primo luogo Internet, e la scuola non può non tenerne conto (vedi A.2).

Cinema, televisione, fumetti, cellulari, Web, iPod, MP3, *smartphone*: i nuovi media comunicativi, rappresentativi ed espressivi interagiscono tra loro ibridandosi, contaminandosi e proliferando, partorendo di continuo novità piccole o grandi in una dinamica rapidissima (anzi accelerata). Questi strumenti sono il luogo di un'intensa attività linguistica che produce un crogiolo di sintassi e semantiche nuove e pulviscolari. In questa proteiforme varietà di media, linguaggi e narrazioni si esprime oggi una sorta di *multimedialità di ritorno*, cioè la multimedialità tecnologica (vedi A.4). In essa pulsa un intreccio sfuggente e inafferrabile, fecondo e incontrollabile al margine del caos, che mostra in tutta la sua evidenza la sostanziale fluidità e arbitrarietà dei codici rappresentativi e comunicativi. Si manifesta uno spostamento dalla logica, dal progetto razionale e gerarchico, dalla rigorosa rappresentazione geometrica e sequenziale, dalla severa sintassi di sapore classicheggiante e paludato verso forme anarchiche di *bricolage* linguistico, cognitivo e argomentativo. Alla traversata transatlantica associata al canone scolastico si sostituisce il piccolo cabotaggio spicciolo e opportunistico, la navigazione a vista dei nuovi media, che segue le sinuosità della costa e adotta espedienti improvvisati e stratagemmi locali, aprendo la strada a un sincretismo oggi audiovisivo, domani forse anche tattile, papillare e olfattivo, che si affianca alla comunicazione verbale per arricchirla e distorcerla, fecondarla e snaturarla.

La comunicazione mediata dalla tecnologia sta assumendo un valore preponderante nella formazione identitaria, culturale e affettiva dei giovani "nati digitali". Rispetto alla tendenziale seriosità della scuola, che spesso è percepita

dallo studente come una greve imposizione di passività e di attenzione, i media sono vivaci, coloriti, invitano dolcemente alla pigrizia (la televisione) o al contrario stimolano tutti i sensi titillandoli con l'interattività e la multimedialità e ponendo l'individuo al centro del processo comunicativo e creativo (nel caso della rete). Nel momento in cui i media audiovisivi irrompono sulla scena, diventando strumenti di trasmissione culturale e facendo alla scuola una concorrenza assai sostenuta e spesso vincente, essa entra in crisi e arranca per mettersi al passo (sottoponendosi a un travaglio trasformativo dagli esiti molto incerti e comunque allontanandosi dalla tradizione)<sup>14</sup>. Tutto ciò, tra l'altro, ha l'effetto di distogliere i più giovani dalla scienza intesa come metodo argomentativo e rigoroso per la costruzione di teorie.

Dietro questa brulicante trasformazione, a sostegno propulsivo, sta il bisogno insopprimibile dell'uomo di narrare, narrarsi e farsi narrare: una necessità atavica che si presenta oggi in forme nuove, sincretiche, composite, sorprendenti<sup>15</sup>. L'uomo si ibrida con le macchine per dar luogo a un "simbionte biotecnologico", la distinzione tra naturale e artificiale sfuma fino a diventare arbitraria e problematica (si vedano le dispute sulla bioetica), la cultura si frantuma a immagine e somiglianza della rete, mosaico in cui tutte le tessere sono interessanti ma nessuna è fondamentale, in cui la paratassi sbaraglia l'ipotassi e il frammento narrativo prende il posto del grande romanzo. Da una parte riconosciamo l'importanza fondamentale della tecnologia nella (tras)formazione della cultura, dell'epistemologia, delle emozioni, dei simboli, dei miti e delle nostre categorie mentali; dall'altra restiamo stupiti e sgomenti di fronte all'enormità delle prospettive, che non sono prive di aspetti problematici: la frammentazione della cultura, l'impovertimento del lessico ai limiti della perdita, l'incoerenza argomentativa.

Allo stesso tempo ci rendiamo conto che se narrare significa anche riprodurre l'esperienza esistenziale cercandovi o trasfondendovi un significato, allora la narrazione non può prescindere dalle esperienze sensoriali non catturabili dalla parola: visioni, musiche, sogni, volti e profumi e morbidi contatti. È l'*indicibile*: e in fondo l'unica cosa di cui c'interesserebbe parlare è l'indicibile e non potendo ricorriamo ad altri canali, altre forme, altri mezzi. Nel lungo, tenace corteggiamento dell'indicibile non possiamo fare a meno delle parole, ma le parole non bastano: allora immagini, suoni, colori, fluttuazioni, smarrimenti sensoriali, estasi tattili e olfattive... La narrazione acquista così quella che è presumibile fosse la sua multiformità (o multimedialità) primitiva, a lungo imbrigliata nello stretto pertugio della parola. Non si tratta di rinunciare alla parola, del resto non potremmo, ma di allargare quel pertugio, recuperando, tra l'altro, le tante dimensioni non lineari del tempo. È come se si andasse verso una forma totale, inconcepibile e vertiginosa di *teatro*.

La dimensione narrativa, trasformata e ampliata grazie alle possibilità dialogiche offerte dalle nuove tecnologie, riguarda ormai anche la sfera sociale, in particolare l'arena sociopolitica. Narrare sé stessi non è più solo un esercizio

<sup>14</sup> Ferri 2008; Veen e Vrakking, 2006.

<sup>15</sup> Longo 2008a.

gratificante (anche se spesso narcisistico) consentito ai singoli utenti dei blog o delle reti sociali, ma è anche una possibilità offerta agli “uomini pubblici”, i quali passano così da una comunicazione razionale e argomentativa (o supposta tale) a una narrazione autobiografica e aneddotica. Le piattaforme più frequentate, come YouTube, Facebook o Twitter, sono il luogo di un banchetto narrativo, in cui si accendono frammenti verbali, sonori o iconici lanciati a chi voglia ascoltare e ripresi da chi voglia rispondere<sup>16</sup>. Tutto ciò non può non avere influenza sui *contenuti* delle comunicazioni, che subiscono forti derive verso il pettegolezzo e la maldicenza, senza rispetto per la privacy, confermando l’aforisma di McLuhan secondo cui “il mezzo è il messaggio”. Inoltre le notizie fornite dai mediatori tradizionali, per esempio i quotidiani, subiscono una deriva verso la coloritura emotiva, mentre si riduce la distanza tra i personaggi pubblici e le persone comuni, assimilati nella propensione e nella pratica della malignità e del chiacchiericcio. Di tutto ciò sarebbe interessante indagare le conseguenze etiche.

Alla luce di tutti questi cambiamenti, una trasformazione della scuola appare inevitabile, anche se non è chiaro in quale direzione. Da una parte vi sono i fautori di un ingresso rapido e incondizionato delle tecnologie digitali nelle aule, dall’altra si schierano i conservatori, che propendono per un processo d’integrazione più cauto e graduale, se non addirittura per un rifiuto aprioristico.

## La ricerca e l’università

Considerazioni analoghe valgono anche a proposito della ricerca e dell’insegnamento universitario, in cui comincia a prevalere un’impostazione di tipo manipolativo e opportunistico, basata sulla simulazione al computer e sulla costruzione di scenari, pratiche che si discostano dai procedimenti tradizionali della scienza, di tipo teorico. Resta tuttavia, almeno in chi ha un passato da ricordare e in parte da difendere, il bisogno di giustificare, di comprendere, di riguardare il mutamento in corso: resistono tenaci una traccia di umanesimo e un residuo di razionalità che sembrano allearsi per contrapporsi all’avanzata del *bricolage* tecnologico, per arginare il proliferare “organico”, senza regola e senza legge dei sistemi e dei dispositivi e dell’epistemologia che ne deriva.

Valendosi sempre più dei computer, i ricercatori modificano i loro metodi d’indagine, che acquisiscono, anche nelle discipline più lontane dalla concretezza, come la matematica, un carattere quasi sperimentale che tende in certi settori addirittura all’empirismo. Nascono così nell’ambito matematico nuove branche, nuovi settori, nuovi metodi, nascono le dimostrazioni condotte con l’aiuto del computer, di sapore sperimentale, e le dimostrazioni probabilistiche. Resiste, è vero, un manipolo di puristi, che si attengono rigorosamente ai metodi classici, ma il loro numero si assottiglia<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Tursi 2009.

<sup>17</sup> Horgan 1993.

In fisica è stato grazie al computer che si sono (ri)scoperti i territori della complessità, del caos e dell'instabilità dinamica. In biologia il sequenziamento del genoma e altre ricerche di carattere semisperimentale si possono condurre soltanto grazie all'informatica. Nelle scienze naturali il computer consente l'elaborazione di enormi quantità di dati e la costruzione di modelli a moltissime variabili. In linguistica acquista nuovo vigore il mito del traduttore universale, un programma capace di tradurre qualunque testo da una lingua a un'altra. E, a proposito di miti, l'informatica ne è prodiga, a cominciare da quello dell'onniscienza e per suo tramite dell'onnipotenza, che tuttavia rimangono traguardi irraggiungibili, almeno a livello individuale. Solo la rete delle reti potrà, asintoticamente, tendere all'onniscienza.

Tornando a considerazioni più quotidiane, un effetto cospicuo dell'informatica nella pratica scientifica è la progressiva scomparsa delle riviste scientifiche tradizionali, i cui costi e la cui lentezza sono cresciuti rispetto alla rapidità e all'economicità della circolazione in rete. Molte riviste ormai hanno anche, o solo, edizioni online e i ricercatori si comunicano risultati o progetti o idee tramite Internet. Gli effetti di questa accelerazione della produzione scientifica sono ancora tutti da indagare.

## Tecnologia e cultura

Ogni tecnologia importante pervade a tutti i livelli i meccanismi della società e provoca conseguenze profonde sulla cultura e sulla percezione del mondo. Fra tutte, la tecnologia dell'informazione è quella che ha gli effetti più diffusi e insieme più sottili: essa ridefinisce radicalmente tutti i nostri concetti più importanti. Termini come "libertà", "democrazia", "intelligenza", "realtà", "storia", "tempo", "memoria" assumono significati nuovi e talora irricognoscibili e sorprendenti. E non esiste un momento extracontestuale in cui le nuove definizioni vengano rese esplicite: la riformulazione dei termini e delle regole avviene durante il gioco e ciò provoca spesso incomprensioni e ambiguità.

In *matematica* l'introduzione dei calcolatori ha messo in crisi la nozione classica di dimostrazione e ha consentito lo sviluppo di intere nuove branche (la teoria degli automi, i linguaggi formali, la teoria della computazione), che si distinguono da quelle tradizionali per l'importanza attribuita alle risorse (tempo, denaro, potenza di calcolo), ai procedimenti per raggiungere i risultati e alla loro precisione. In *fisica* è stato proprio grazie al calcolatore che si sono scoperti (o meglio riscoperti) gli effetti di complessità che hanno portato a una profonda revisione concettuale dei sistemi dinamici e alla formulazione teorica del cosiddetto *caos deterministico*. Il calcolatore ha consentito uno sviluppo straordinario della *simulazione*, affiancando alla teoria e all'esperimento un nuovo strumento di indagine e influenzando notevolmente la nostra percezione del tempo. L'*informatica* ha consentito, e imposto, un'analisi grammaticale e strutturale senza precedenti delle lingue, preludio e conseguenza del tentativo (ispirato a un tipico *mito informazionale*) di costruire il traduttore universale. Con l'avvento dell'*intelligenza artificiale* ci siamo

avventurati verso nuove concezioni sull'apprendimento, sull'epistemologia e sul rapporto mente-corpo. L'intelligenza artificiale ha avviato un'importante ricerca di epistemologia sperimentale improntata al riduzionismo (di cui, puntualmente, ha poi scoperto le limitazioni). Infine la *realtà virtuale* ci promette fantastiche passeggiate in un *ciberspazio* di cui non si conoscono ancora né i confini né il paesaggio.

Questi tumultuosi sviluppi hanno per effetto la progressiva costruzione di un universo informazionale assai complesso e segnato da una certa *fragilità*: per ragioni di economia, infatti, i sistemi artificiali sono spesso privi o quasi di *ridondanza*, cioè di meccanismi vicarianti o di soccorso, e ogni guasto può provocare una paralisi. Sotto il profilo teorico, la complessità dei sistemi ne impedisce un'analisi condotta con gli strumenti classici del riduzionismo. I fenomeni di *retroazione*, la forte *non linearità* delle interazioni, la natura specialissima dell'informazione: tutto ciò impone una nuova attenzione teorica e una nuova impostazione epistemologica dei problemi. Bisogna aggiungere che gli strumenti stessi con cui studiamo e simuliamo i sistemi sono dotati di una loro complessità: le macchine informatiche, costruite per recuperare terreno alla semplificazione e alla razionalità computante, costituiscono a loro volta sistemi sempre più complessi, che prima o poi potrebbero sfuggire alla nostra supervisione per contribuire con il loro comportamento aleatorio all'evoluzione incontrollata del sistema globale.

Infine, si è scoperto che accanto al mondo della materia, studiato da secoli, esiste un universo dell'informazione, della struttura, del significato, dell'ordine. A partire dal secondo dopoguerra è cominciata un'indagine sistematica di questo universo ed stata formulata una sorta di teoria generale dell'informazione, che ha dato risultati molto interessanti. Si è scoperto che nel mondo dell'informazione vigono leggi diverse da quelle cui ci ha abituato la fisica classica e talora sorprendenti. Per esempio non vale un principio di conservazione dell'informazione (la quale si moltiplica e non si divide per il numero degli utenti). L'informazione è costituita da differenze rilevabili, interpretabili e sfruttabili per conseguire scopi pratici. Ogni messaggio ricevuto rinvia ad altri possibili messaggi diversi che si sarebbero potuti ricevere.

Il *significato* di un messaggio non sta nel messaggio, ma nell'interazione tra messaggio e destinatario, perché quest'ultimo interpreta l'informazione in base ai suoi interessi, alla sua storia personale, alle sue capacità, al suo rapporto con la sorgente del messaggio. La stessa energia sonora modulata (la stessa frase) può scatenare reazioni diversissime in ascoltatori diversi. L'assenza di messaggi costituisce un messaggio. Nell'universo dell'informazione ogni cosa può rappresentare qualsiasi altra cosa; nascono così i *codici*: le lingue naturali, i linguaggi formali, le simbologie settoriali e specialistiche. È davvero un mondo "creato" dall'uomo (e più in generale dagli organismi viventi), il cui studio ha portato alla nascita di discipline nuove, dalla semiologia alla cibernetica, dalla teoria dei sistemi all'intelligenza artificiale, che si situano all'incrocio di settori un tempo lontani e separati. E il supporto materiale in cui si incarna questo mondo è costituito dalla grande *Rete* intramata di menti umane e di macchine, che si avvia a diventare una sorta di mente collettiva o *Creatura Planetaria*.

## Scienza e tecnologia

Come ho accennato, gli strumenti tecnologici sono usati con abilità e disinvoltura, specie dai giovani della generazione digitale, ma questa confidente manipolazione si accompagna a una profonda *incomprensione* del mondo tecnologico: quasi tutti usano mezzi, sistemi e dispositivi di cui non conoscono affatto il funzionamento intimo, né vogliono conoscerlo, adottando così un atteggiamento di tipo “magico”. Per gli utenti più giovani i dispositivi sono importanti per ciò che consentono di *fare*, non di *capire*. Mentre la scienza affronta la complessità del mondo, cercando di dominarla e se possibile di ridurla, la tecnologia *nasconde* la complessità dei suoi prodotti sotto una superficie amichevole e invitante: gli strumenti rispondono alla pressione di pochi tasti con prestazioni mirabolanti che sembrano scaturire dal nulla. L’ibridazione uomo-macchina sta equiparando i dispositivi artificiali agli organi biologici, per cui il loro funzionamento è sceso di livello, passando dalla zona della consapevolezza cosciente e tendenzialmente razionale a quella dell’inconsapevolezza tipica dei meccanismi corporei. Ciò avviene nel quadro di una profonda mutazione della cultura e della conoscenza. Rispetto all’apprendimento tradizionale incarnato nelle forme libresche e teoriche della scuola classica, si rafforza l’apprendimento per imitazione, tipico della bottega rinascimentale.

Non intendo certo sbrogliare l’intricatissimo rapporto tra scienza e tecnologia, ma solo rilevare che oggi, soprattutto grazie all’impiego delle tecnologie informatiche e della simulazione, la nostra capacità di fare ha superato di molto la nostra capacità di capire e prevedere. La teoria, come momento fondante della conoscenza, ha perso via via importanza. È accaduto infatti che nella seconda metà del Novecento la velocità dello sviluppo tecnico ha superato quello della scienza e sono stati costruiti parecchi dispositivi e sistemi che funzionano più o meno bene, ma per i quali non esiste una *teoria* scientifica, in senso tradizionale, che ne spieghi il funzionamento (per esempio il software, Internet, le biotecnologie, ecc.). Nei confronti della descrizione, spiegazione e costruzione degli strumenti la funzione essenziale che, dai Greci in poi, le teorie hanno avuto nella cultura occidentale è via via sostituita da un atteggiamento pratico e manipolativo che procede per prove ed errori. Questo trapasso ha portato a una *frammentazione* della cultura che è rispecchiata nella struttura reticolare e musiva del Web. E ha portato anche a un calo di iscrizioni nelle facoltà scientifiche, ancora percepite come templi della teoria<sup>18</sup>.

Da sistematica e organica, la cultura diviene pletorica e parcellizzata, si alimenta dell’enorme capacità delle banche di dati e dell’illimitata velocità degli elaboratori. Non più apprendere, dunque, ma documentarsi, non più studiare ma consultare, non più organizzare il sapere intorno a concetti e idee di fondo, ma accumulare dati relativi a parole chiave, passando con disinvoltura da una tessera all’altra dello sterminato mosaico del Web.

Questo passaggio per alcuni segna un declino del sapere e della cultura, per altri, all’opposto, rappresenta un progressivo affrancamento dalle pastoie di una

<sup>18</sup> Longo 1998, 2001, 2003.

erudizione rigida e formale, incatenata agli stereotipi di un mondo immutabile, e un itinerario verso una feconda libertà creativa che in ogni istante genera novità e invenzioni al pari dei fertili processi biologici. Per costoro, insomma, la tecnologia consentirebbe la gratuita e sontuosa creatività del *bricolage* evolutivo, mentre la cultura tradizionale, in particolare la scienza, sarebbe munita di un affilato rasoio di Occam, pronto a recidere tutto ciò che la logica ritiene superfluo, sovrabbondante, eccedente. E in effetti l'abbondanza, presente in biologia con sfarzosa varietà, si riscontra in tutte le opere dell'uomo: arte, moda, gastronomia, architettura, letteratura, comunicazione e, appunto, tecnologia. Tranne che nella scienza, almeno tendenzialmente. Insomma, le differenze tra scienza e tecnologia non potrebbero essere più profonde, anche se molti usano con incauta leggerezza l'endiadi *tecnoscienza*.

### Navigare a vista

Che fare dunque delle macchine e degli strumenti che la tecnologia ci offre con insistenza? Macchine sempre più economiche, potenti, veloci. Abbiamo davvero bisogno di tutta questa potenza? Chi ci insegna a sfruttarla? È una nostra aspirazione autentica, usare questi dispositivi, oppure c'è, sotto sotto, una spinta imitativa e concorrenziale, per non parlare della pressione commerciale e pubblicitaria? Oppure si può addirittura parlare di una necessità autonoma e irrefrenabile del sistema uomo-tecnologia? Alcuni si arroccano in difesa, e aspettano stoicamente che il tempo passi per andare in pensione e uscire dall'arena, altri si gettano nella mischia cercando di fare con l'informatica, in modo goffo e faticoso, ciò che facevano meglio prima. Altri impiegano le risorse della tecnologia a mano a mano che ne sentono il bisogno o che ne scoprono i vantaggi. I tecnofili, e i giovani digitali, non si pongono tante domande e proseguono indefessi nel loro piccolo cabotaggio. Non ci sono risposte uniche e definitive, emanate da un'autorità benevola e infallibile: dobbiamo inventarcele giorno per giorno, le risposte, usando coraggio e flessibilità, ricorrendo alla solidarietà e alla collaborazione, elargendo consigli senza imporli, elaborando ciascuno la propria esperienza e offrendola agli altri pur sapendo che il trasferimento dell'esperienza è una pratica (quasi) impossibile.

Questo comportamento "minimo", questa navigazione a vista, urta contro il diffuso bisogno di possedere regole particolareggiate e onnicomprehensive, che prevedano tutti i casi. Ma se si rinunciasse alla flessibilità in nome della codificazione definitiva si rischierebbe di ingessare il funzionamento di qualunque organismo o sistema. Tra il fumo e il cristallo vi sono strutture semifluidi, che sanno organizzarsi in modo da ricostituire un loro equilibrio dopo una perturbazione, senza rinunciare a un minimo di permanenza, e ciò grazie alla loro (parziale) autonomia e alla salvaguardia di certi valori primari, consistenti nella preservazione dell'integrità (delle parti vitali, magari a scapito di quelle non vitali) e dell'equilibrio (mutevole e dinamico). Questa capacità automedicatrice, omeostatica, è in fondo la caratteristica principale dei sistemi viventi, nei quali si combinano da una parte la creatività, cioè l'emergenza e l'accoglimento di caratteristiche nuove,

e dall'altra la neutralizzazione delle perturbazioni (se non sono distruttive). Una miscela, dunque, di mutamento e di continuità nel nome della *saggezza sistemica*. Parafrasando Gregory Bateson, l'innovazione senza conservazione conduce alla follia, la conservazione senza innovazione conduce alla morte<sup>19</sup>.

Queste riflessioni suggeriscono di impiegare la metafora biologica per interpretare e magari guidare i fenomeni socioculturali: è dagli organismi viventi, dalla loro tenace aderenza alla propria identità nel mutamento, che dobbiamo prendere esempio di fronte alla sfida epocale costituita dal susseguirsi di perturbazioni sempre più frequenti e spesso destabilizzanti causate dalla tecnologia<sup>20</sup>. Vogliamo, spero, continuare ad essere sistemi viventi immersi in una vasta ecologia vivente. Vogliamo, spero, evitare l'omologazione (che quasi sempre è verso il basso) e accrescere la complessità, la varietà e la differenza. Vogliamo, soprattutto, interagire con gli umani piuttosto che con le macchine. Le macchine, dunque, siano benvenute quando ci consentono di ampliare la sfera dei nostri interlocutori e quindi la ricchezza dei nostri scambi, tenendo conto che i destinatari finali dei nostri messaggi dovrebbero essere gli uomini. Ma non so se si tratti di una speranza, di un auspicio o del sintomo di una resa.

### Le reti sociali: il tempo e l'identità

Come ho detto, il computer sta rivelando la sua vera vocazione: connettere tra loro gli umani, venendo incontro al loro desiderio primario di sentirsi vicini tra loro. In cambio di questa protezione uterina, la tecnologia esige una delega sempre più spinta di funzioni, attività e capacità e una resa ai suoi allettamenti: tale è la gratificazione offerta che in nessun caso la tribù digitale rinuncia alla connessione, alla rapidità e alla moltiplicazione senza limiti dei contatti. Si va in vacanza, ma non da Internet. La posta elettronica e le reti sociali come Facebook o Twitter estendono a dismisura la platea dei nostri corrispondenti, inebriandoci di ubiquità e distogliendoci dai rapporti a tutto tondo con i vicini di casa o d'ombrellone. Di fronte alle relazioni virtuali, rarefatte ma assai gratificanti, la pienezza, anche organolettica, dei contatti diretti comincia ad essere percepita come troppo coinvolgente, quasi minacciosa e nello stesso tempo troppo limitata. E poi i vicini non ce li siamo scelti noi, abbiamo il diritto di rifiutarli per dedicare il nostro tempo agli "amici" lontani (che magari non abbiamo mai incontrato).

Lo schermo del computer è ormai il nostro (occhio sul) mondo: a questa ribalta si affaccia istantaneamente tutto lo scibile e chi sa cercare sul Web ha sempre meno bisogno di consultare enciclopedie, dizionari, registi, lessici. Il progressivo trasferimento di migliaia di libri nella biblioteca digitale di Internet rende via via superflue le faticose ricerche nelle biblioteche tradizionali. Ma la moltiplicazione senza limiti dei dati offerti provoca smarrimento e confusione e alimenta un mutamento epistemologico epocale: la cultura diviene frammen-

<sup>19</sup> Bateson 2000.

<sup>20</sup> Goodwin 2009.

taria, si dispone per associazioni e contiguità aleatorie, e soprattutto sopporta e ci abitua a sopportare le ambiguità e le contraddizioni. Anche le valutazioni in chiaroscuro che vado facendo partecipano di questa impostazione relativistica e anarcoide. Inoltre, per effetto della costruzione collettiva del sapere, il grado di precisione e affidabilità delle informazioni è molto variabile e difficile da verificare. Il concetto di autore, responsabile dei contenuti, evapora e con esso si stempera l'autorevolezza delle fonti. L'autore diventa un soggetto collettivo, anzi tende sempre più a identificarsi con il Web, nuovo soggetto epistemologico e culturale. Entra dunque in crisi il rapporto tra soggetto e oggetto di conoscenza<sup>21</sup>.

Considerazioni analoghe si possono fare a proposito del rapporto tra i vari soggetti che comunicano tra loro attraverso la rete o i telefoni cellulari. La rapidità e la vastità dei contatti si accompagnano a una volatilità effimera, a una prevalenza del contenuto sulla forma, a un'ansiosa superficialità alimentata anche dall'urgenza percepita di dare risposte immediate, in un crescendo di inviti e di sollecitazioni pressanti. Questo vorticare di messaggi, immagini e suoni coniuga sbrigliatività, eccitazione e superficialità, che spesso impediscono di approfondire i contenuti e i rapporti, anche per il loro moltiplicarsi. Insomma la facilità della comunicazione si correla a un suo deterioramento. Forse considerazioni di questo tipo hanno spinto Vincent Nichols, arcivescovo di Westminster, a proclamare nell'estate del 2009 una vera e propria crociata contro la posta elettronica, gli sms e soprattutto i *social networks*, colpevoli di alimentare una concezione futile e collezionistica dell'amicizia, che ha come possibile risvolto delusioni cocenti e che non allevia la sostanziale solitudine di tanti giovani né li pone al riparo da violenze virtuali non meno atroci di quelle fisiche. Accanto alla svolta epistemologica e affettiva, la comunicazione virtuale configura anche una svolta semiologica: l'uomo dello schermo perde la capacità di esprimere e di interpretare il linguaggio del corpo, la e la comunicazione si riduce a un puro scambio di dati, senza il tradizionale involucro di metamessaggi che rende così calda e complessa la comunicazione umana. O, forse, i metamessaggi sono anch'essi oggetto di delega: sottratti al corpo entrano nella virtualità digitale.

Sullo sfondo di tutte queste trasformazioni, occasioni e difficoltà giganteggia il problema del *tempo*. Il tempo è davvero la risorsa fondamentale: non solo scandiamo nel tempo le nostre attività, percezioni e conoscenze, ma *viviamo* nel tempo. Il tempo è l'unico bene che non possiamo accrescere o dilatare o recuperare. Il tempo è irreversibile, quindi dobbiamo stare attenti a come l'impieghiamo. O viviamo la nostra vita o viviamo quella degli altri. O privilegiamo l'azione o privilegiamo la comunicazione e la raccolta dei dati. Possiamo fare entrambe le cose, naturalmente, ma il tempo è limitato e quello che dedichiamo a un'attività lo sottraiamo a un'altra. Se osserviamo e seguiamo le attività degli altri, siamo distolti dalle nostre attività, dal nostro tempo, dalla nostra vita. È il tentativo di superare la limitatezza del tempo che spinge a una ricerca frenetica, quasi disperata, della simultaneità delle esperienze e delle azioni, in un crescendo emotivo che sfocia nell'assuefazione e nell'intossicazione (vedi A.3).

<sup>21</sup> Longo 2001.

Le tecnologie della mente, sfumando la distinzione tra soggetto e ambiente (ciberspazio o infospazio), hanno attenuato la distinzione fra tempo di lavoro e tempo libero. L'espressione "tempo libero" ha perduto il suo significato: siamo sempre occupati e l'*otium* è diventato uno sbiadito ricordo di chi ha fatto studi classici. Come dice Portmann<sup>22</sup>:

"Dovremmo soffermarci a riflettere su tutti gli effetti che ha sull'uomo l'intensificato rapporto con il tempo. Dovremmo pensare anche al fatto che una delle conseguenze di questa condensazione è il crearsi di una nuova libertà in forma di tempo libero. Chi, oppresso da una vita di lavoro e di affanni, sente parlare della possibilità di un maggior tempo libero, considererà certo l'attuazione di questa possibilità come un progresso. I risultati attuali ci danno però anche sufficienti occasioni di riflettere sui nuovi problemi, sulle difficoltà, in un certo senso sulla tragedia del tempo libero, di un tempo che, come si è sempre detto nel linguaggio corrente, va 'scacciato' se non addirittura 'ammazzato': un dono per cui molti già esigono, paradossalmente, una 'organizzazione del tempo libero'. Quel bene prezioso, il desiderato tempo libero, deve essere liquidato per mezzo di un'attività organizzata".

D'altra parte, per molti di noi il lavoro ha acquisito caratteristiche nuove, tra cui un delizioso sapore di gratificazione personale. L'apprendimento permanente, che dura tutta la vita, è uno dei segni di questo impegno ininterrotto, accompagnato dalla sensazione appagante di partecipare al gioco e, insieme, dalla nostalgia di uno stacco totale ormai impossibile. E per quanto ci sforziamo non riusciamo mai a metterci in pari, perché siamo schiacciati dalla sproporzione enorme e crescente tra noi e Internet (cioè la folla smisurata degli altri, che lavorano indefessi a costruire edifici di sapere sempre più vasti). Per chi lavoriamo tanto?

Le reti sociali propongono anche il tema dell'*identità*. Una frazione considerevole di interlocutori, se questo termine è ancora appropriato, non hanno mai un contatto diretto, faccia a faccia, quindi gli utenti si rivolgono a un pubblico di sconosciuti, la cui identità è vaga o si riassume in un nome, uno pseudonimo o un nomignolo. Saltano le categorie tradizionali dell'età e del sesso e si spalancano le porte dell'ambiguità identitaria, del mascheramento e dell'opportunismo. In chi è coperto da un'identità tanto vaga quanto arbitraria può nascere un piacevole senso di irresponsabilità o addirittura di impunità, che a sua volta spinge a contraffare e a mutare la propria identità e a inviare messaggi sotto falso nome. D'altra parte l'identità non è mai definita solo dal mittente, piuttosto emerge da un processo cooperativo in cui è coinvolto anche il destinatario. Destinatari diversi attribuiscono identità più o meno diverse allo stesso mittente. Si scopre così che l'identità, al pari dell'informazione o della bellezza, ha natura relazionale, cioè nasce dall'interazione tra mittente e destinatario. Addirittura non possediamo una nozione precisa ed esplicita della nostra identità finché non siamo obbligati a specificarla, per esempio quando dobbiamo presentarla ad altri.

Condizionati dalla rappresentazione che offriamo di noi stessi agli altri, siamo presi in un gioco di immagini speculari: l'identità che offriamo a noi stessi tende a

<sup>22</sup> Portmann 1969.

conformarsi a quella pubblica. Bisogna quindi stare attenti quando si presenta una certa identità ai terzi, perché quella potrebbe diventare la nostra vera identità. Se fingiamo a lungo di essere onesti e leali oppure malvagi e perfidi, c'è la possibilità che *diventiamo* onesti o malvagi. Inoltre l'identità convenzionale che i terzi ci attribuiscono di solito resta stabile mentre noi subiamo una serie di trasformazioni. I neurofisiologi hanno scoperto che ciascuno di noi possiede molte personalità, una delle quali di volta in volta assume il comando: come ci sentiamo quando siamo considerati diversi da ciò che sentiamo di essere in quel momento? È facile che l'identità si trasformi in uno stereotipo e provochi equivoci sgradevoli.

L'identità presenta anche altri problemi: se l'identità si riduce un insieme di dati personali che affidiamo alla rete, essa può essere falsificata e addirittura rubata da chi voglia eventualmente servirsene a scopi illeciti: sorge il problema della privacy e degli abusi, consistenti per esempio nella costruzione dei profili di clienti potenziali di beni e servizi o nella manipolazione dei concorsi a certi impieghi. Ciò ha a che fare con la spinosa questione del rapporto tra sicurezza e libertà, visti gli abusi possibili da parte delle autorità costituite o di potentati economici o di gruppi di interesse. Molti preferiscono la sicurezza, e sono disposti a sacrificarle, almeno in parte, privacy e libertà. Altri, per opporsi agli abusi e ai furti di identità, potrebbero decidere di costruire comunità virtuali fortificate, di sapore paranoico, rinunciando alla trasparenza tradizionale (o auspicata) della rete per affermare una libertà almeno locale.

### Osservazioni finali

L'avvento della tecnologia della mente e la formazione dell'infospazio causa una confusione tra realtà reale e realtà virtuale. La conseguenza non è che la realtà virtuale ne emerga come reale, piuttosto è la realtà reale che si rivela virtuale: la virtualizzazione di tutte le esperienze è una delle tante sfaccettature dell'epistemologia rivelate e illuminate dalla tecnologia. Questa virtualizzazione manifesta le caratteristiche del costruttivismo epistemologico: la realtà esiste, certo, ma non possiamo conoscerla direttamente e l'esperienza che ne abbiamo dipende dalla nostra interazione con essa: è il filtro delle interazioni che trasforma la realtà da virtuale, cioè potenziale, in attuale. Questa confusione alimenta un fenomeno preoccupante, cioè il travaso delle esperienze e delle attività virtuali (per esempio la pratica dei videogiochi) nella realtà quotidiana. Ma mentre le esperienze virtuali sono segnate da una sostanziale indifferenza e irresponsabilità, le azioni corrispondenti nel mondo reale hanno conseguenze spesso irreversibili e sono segnate dalla responsabilità individuale. Si tende a confondere un'azione violenta nei confronti del prossimo con un videogioco violento: in un mondo privo di riferimenti etici forti (e dove predomina la noia) una violenza reale è assimilata a una violenza virtuale, così l'indifferenza e l'insensibilità dilagano.

Inoltre gli umani sono *entità semantiche*, cioè sono sempre portati a trovare un *sensu* in ciò che fanno, percepiscono, sentono, toccano, sperimentano. Essi sono nodi complessi dove i lunghi fili di etica, estetica, espressione, esperienza, emozioni, ricordi, progetti, razionalità e così via, s'intrecciano per costituire la

trama che chiamiamo il nostro mondo e il nostro sé. E questa trama è fatta di storie: ciascuno di noi, senza posa, narra o si fa narrare storie, intreccia dialoghi, monologhi, narrazioni e recita frammenti teatrali. In breve, noi costruiamo un mondo narrativo sovrapponendolo al mondo “reale”.

La semantica umana è profondamente radicata nella nostra totalità psicofisica, dunque nel corpo, perché non è altro che l'interpretazione dei fenomeni in termini di incolumità, integrità, benessere, soddisfazione. Ogni frammento di realtà può essere per noi positivo o negativo, e questi giudizi si accumulano nella tenace memoria del corpo, il quale dunque non è solo la struttura materiale che contiene i nostri organi, compreso il cervello: è anche la nostra storia personale, il giacimento stratificato delle nostre esperienze<sup>23</sup>. Noi conosciamo il mondo in prima istanza mediante il corpo. Gioia, dolore, tristezza, speranza, amore, odio sono nel corpo oltre che nella mente. Anzi, la distinzione tra mente e corpo è artificiosa. Tutti gli eventi importanti della nostra vita accadono nel corpo e per il corpo: nascita, amore, sesso, parto, benessere, malattia e morte. Si pone dunque il problema delle conseguenze del progressivo attenuarsi del corpo per effetto delle tecnologie della mente.

La coloritura ineffabile delle nostre azioni, emozioni, speranze, malinconie, gioie che chiamiamo *sensò* è dentro ciascuno di noi e ciascuno di noi tenta di lanciare un ponte verso gli altri, un ponte fatto di comunicazione: parole, sguardi, movenze, sorrisi e lacrime. Attraverso quel ponte, il nostro senso si sforza di incontrare quello degli altri e di stabilire un contatto sulla base della nostra origine e natura comune di specie e delle nostre comuni esperienze individuali. La nostra storia di specie è un susseguirsi di narrazioni, miti, edifici teologici e filosofici, teorie scientifiche e formalizzazioni matematiche: tutto per giustificare l'esistenza del mondo e di noi nel mondo. Ciò è confluito in una poderosa struttura mnemonica, dinamica e diacronica, che costituisce la base per i nostri progetti individuali e collettivi. Ma oggi questa memoria si appiattisce su un presente indifferenziato, nel quale è sempre più difficile rintracciare il filo di una narrazione, scandita nel tempo e nella memoria, che unifichi le esperienze e le aspirazioni per restituire un senso complessivo della storia, individuale o collettiva.

Ciò porta all'autoreferenzialità e all'indifferenza per l'Altro e spiega il disinteresse dei giovani digitali per la politica in senso lato: nel mondo digitale i temi della solidarietà, della giustizia sociale, della lotta alla povertà, della difesa della natura e dell'ambiente non hanno cittadinanza. I nativi digitali non hanno né il vocabolario per descriverli, né le motivazioni per sostenerli e praticarli.

In particolare, vista la natura linguistica della rete, è importante rilevare l'assenza, nella generazione digitale, di un lessico maturo per descrivere e strutturare le proprie azioni ed emozioni: i giovani, al contrario delle generazioni adulte, non posseggono gli strumenti logici e verbali per esprimere e organizzare le loro necessità e i loro stati d'animo e sono costretti al mutismo, al grado minimo di espressione o all'uso di strumenti presi a prestito dalle generazioni precedenti, che non sanno gestire. Insomma sperimentano una sorta di scissione tra la realtà

<sup>23</sup> Biuso 2009.

in cui vivono e che confusamente comprendono e la sua descrizione, che non sanno articolare perché non si sono ancora costruiti “le parole per dirlo”. Noi adulti, per converso, siamo dotati di parole ormai vecchie, di strumenti che pescano in una tradizione superata dagli eventi e che tentiamo di applicare a una realtà nuova, che conosciamo poco e solo di riflesso, di seconda mano: in questo modo la filtriamo, perdendone i tratti più rilevanti, riconducendola a categorie sviluppate per una realtà comunicativa ed espressiva diversa, e quindi mutilandola.

Alla luce di tutto ciò e della tendenza insopprimibile degli umani alla narrazione, ci si può chiedere quali storie, quali miti delle origini, quali parabole potrebbero costruirsi e narrarsi i nativi digitali per giustificare a sé stessi la propria esistenza e per anticipare il proprio futuro. I blog, le chat, i forum, le reti sociali e così via sono i semi primordiali di un nuovo tipo di narrazione fondativa, oppure semplicemente uno sconclusionato e casuale rumore di fondo che sta sommergendo ogni residuo di comunicazione coerente e razionale?

## *Appendici*

### A.1. La Tv, macchina degli affetti

Le macchine della mente sono vere e proprie psicotecnologie, capaci di insinuarsi in un sistema neuro-percettivo che sembra fatto apposta per accoglierle. Tra queste si segnala la televisione: l'ontogenesi ci rende sensibili al movimento, alle variazioni di luce e al suono (per il feto “la madre suona come una cattedrale”). La Tv si salda con la nostra unità di corpo e di mente creando una totalità inscindibile e potente e provocando effetti a medio e lungo termine di cui non si sa ancora molto. Le polemiche che da tempo coinvolgono la Tv, specie rispetto all'infanzia, riguardano i contenuti, ma trascurano altri aspetti fondamentali, legati alla sua interazione dinamica con le pre-disposizioni affettive e relazionali dell'uomo. La dipendenza e l'insicurezza di ogni essere umano lo spingono a intessere rapporti con gli altri, dedicando ed esigendo attenzione e cercandosi un ruolo visibile e riconosciuto. Ma la famiglia odierna ha proiettato l'impegno e l'attenzione all'esterno, specie verso l'ambiente di lavoro, e l'esiguo nucleo residuo è spesso il luogo del mutismo e della noia. Alla fine di una faticosa giornata abbiamo bisogno di una presenza accogliente e stabile, ma poco esigente: messi a dura prova dalla vita moderna, privati del rasserenante contatto con la natura, aneliamo a uno scambio semplice e non impegnativo. La Tv, presentandosi in modo rassicurante, ripetitivo e “familiare” riesce a soddisfare in parte questi bisogni. Inoltre, a differenza di quanto accadeva nel villaggio di un tempo, oggi siamo (quasi) tutti invisibili e il rapporto vitale tra individuo e gruppo si è molto indebolito. La Tv ci restituisce una sorta di *simil-relazione* di gruppo e, contribuendo a quello che McLuhan ha chiamato appunto *villaggio globale*, ci dà l'illusione di una *visibilità* forte anche se riflessa. Proponendo ammiccanti eroi affettivi, luoghi del pettegolezzo e luccicanti modelli di identità – e tutto a costo nullo – essa ci proietta in un'irenica ciclicità, specchio di gratificazioni e d'investimenti affettivi. Ampliando a dismisura le esperienze cognitive di ciascuno, la Tv abbatte poi le barriere di accesso alla conoscenza, per lo più spicciola e banalizzata, e ottunde la sensibilità al concetto di *limite*: il carattere trasgressivo di eventi e personaggi anche scabrosi o violenti viene pian piano normalizzato. Siamo così spinti alla democrazia e all'indulgenza, ma anche a una certa anarchia e fragilità, che possono

portare all'anestesia etica e a scoppi di violenza. Non è raro il caso di una confusione tra i livelli di realtà, che porta alcuni soggetti deboli a trasferire nella vita quotidiana atteggiamenti e azioni antisociali mutuati dalla finzione televisiva. L'enorme varietà degli usi personali cui la Tv si presta – che si possono riassumere in una sorta di “regolazione affettiva e umorale” – tra i quali rientra anche un recupero di quell'esperienza regressiva ma vivificante che è l'*otium* goduto nella placidità del puro esistere, la forte presa sull'organismo nel suo complesso, specie sul corpo, l'immediata cattura preconcisa e affettiva connessa all'uso preponderante dell'immagine, tutto ciò nasconde effetti problematici, che col tempo si potrebbero tradurre in modifiche dell'architettura mentale ed emotiva e di cui dovremmo essere consapevoli<sup>24</sup>.

## A.2. Homo Zappiens

La locuzione *Homo Zappiens* (HZ), in verità piuttosto sgraziata, è stata coniata da Wim Veen e Ben Vrakking<sup>25</sup>, rispettivamente professore e ricercatore all'Università di Delft, per indicare la generazione digitale, cioè quei giovani nati e cresciuti all'ombra delle tecnologie mentali, abili nel gestire il flusso (o il sovraccarico) di informazioni che circola nei nuovi media, nell'intrecciare le comunicazioni faccia a faccia con quelle virtuali e nello sfruttare i loro interlocutori connessi in rete per risolvere in modo cooperativo i loro problemi, a volte capaci di fornire un contributo sia pur minimo alle conoscenze condivise. HZ apprende esplorando e giocando, cioè trasferendo le tecniche dei videogiochi a problemi di varia natura e impadronendosi di conoscenze che non fanno più parte di un canone scolastico semifisso ma sono negoziabili e mutevoli a seconda del contesto e delle circostanze. Queste capacità e caratteristiche di apprendimento saranno utilissime a HZ nella società della conoscenza “liquida” che si profila. Interessante è il rapporto di HZ con la scuola: il tempo di attenzione breve, il comportamento iperattivo, l'indipendenza nell'apprendere fanno dello scolaro HZ un soggetto difficile ma stimolante, che richiede metodi nuovi e originali di insegnamento. E, sostiene Veen, è la scuola che si deve adattare a HZ perché la società che si annuncia avrà bisogno di persone capaci di affrontare la complessità, la mutevolezza, l'adattamento e l'incertezza. Gli insegnanti sono sottoposti a una forte tensione, che deriva dalle diverse abitudini cognitive e attive rispetto a HZ e dalla diversa architettura cerebrale. I giovani digitali sono impazienti, vogliono immediatamente le risposte ai loro quesiti, non si concentrano per risolvere categorie di problemi, ma si gettano sul caso particolare passando subito oltre, non fanno mai una sola cosa alla volta, saltano da Internet alla Tv, dal cellulare all'iPod con una divisione di tempo vertiginosa che sfiora la simultaneità del *multitasking*. Non vogliono perdere nulla delle esperienze che possono avere e diventano nomadi, esploratori del possibile, senza avere il tempo e la forza, tra un'esperienza carica di emotività e l'altra, di rielaborare il vissuto. Mentre fanno i compiti ascoltano musica, gettano uno sguardo allo schermo Tv, inviano un sms e un messaggio *e-mail* a un “amico” appena conosciuto su Facebook, inseriscono il loro ultimo video in YouTube: e sono profondamente convinti di dedicarsi allo studio. Tutto ciò è il risultato dell'incontro precoce con una realtà filtrata dai dispositivi digitali e radicalmente virtuale e con la possibilità di comunicare a costo nullo senza limiti spaziali. Armati di telecomando, mouse e cellulare, hanno il mondo a portata di clic, non conoscono i tempi lunghi della riflessione e ai libri e agli svaghi all'aria

<sup>24</sup> Dinelli 1999.

<sup>25</sup> Veen e Vrakking 2006.

aperta preferiscono i videogiochi, anche i più violenti, senza imbarazzi morali. Infine, HZ non ama la tecnologia di per sé, bensì per ciò che può consentirgli di fare, dimostrando tutta la chiusura autoreferenziale della generazione digitale, che adotta un atteggiamento magico, strumentale e indifferente. Veen, che manifesta nei confronti di HZ un entusiasmo profetico, non sembra porsi il problema di come questi giovani affronteranno il sodo e indocile mondo reale che, nonostante le sue derive virtuali, è per il momento ben lungi dallo scomparire nelle pieghe del ciberspazio (vedi A.3). Poiché HZ costituisce ancora una piccola minoranza, si pone il problema dei rapporti con la maggioranza non digitale. E poi: quali strutture di governo e conduzione potrà avere la società liquida (o ameboide) del futuro, gestita da questi liquidi digitalisti? È un bell'esercizio di futurologia sociopolitica.

### A.3. La dipendenza digitale

Il fenomeno della dipendenza da Internet è stato molto studiato negli Stati Uniti a partire dai primi anni '90, ma è in Giappone che ha avuto le sue manifestazioni più plateali. Per indicare lo stato di completa sudditanza paraipnotica in cui si riducono molti adolescenti nei confronti del ciberspazio è stato creato in Giappone il termine "hikikomori" (che significa *stare in disparte*): si tratta di ragazzi che per mesi o anni si rinchiodano in camera per tentare la fuga nel mondo virtuale, rifiutando una vita tradizionale, intessuta di rapporti diretti con genitori e amici, e coltivando solo rapporti mediati dalla rete. Questo fenomeno riguarda il 20% degli adolescenti maschi giapponesi, i quali escludono dalla propria vita la scuola, lo sport, le feste e tutto per esistere e comunicare soltanto attraverso le loro personificazioni virtuali, o *avatar*, cui delegano ogni attività: nonostante ciò non si sentono affatto isolati, anzi si considerano membri della vasta famiglia incontrata online. Collegati in permanenza con il mondo illimitato del Web, si dedicano ai giuochi di ruolo, all'ascolto di musica, alla visione di filmati, intessono conversazioni nei *chatroom* e rinunciano al proprio nome per usare solo gli pseudonimi con cui sono conosciuti dai colleghi di esilio virtuale. Ma per gli *hikikomori* gli esiliati sono le persone del mondo reale: essi si ritengono un'avanguardia di illuminati, anche se a notte fonda, in momenti di cedimento corporale, saccheggiano la dispensa per sopravvivere: se non fosse per il soddisfacimento di alcuni bisogni corporei elementari, essi sparirebbero felicemente o infelicemente nel ciberspazio.

Ancora più allarmante è il fenomeno *pro-Ana* (Ana sta per anoressia): si tratta di siti ben dissimulati che si spalancano su un mondo parallelo dove si parla solo di calorie, di magrezza, di esercizio fisico, di tecniche per ridurre l'assunzione di cibo e dell'orgoglio derivante dall'assoggettamento del corpo e dei suoi bassi istinti. Si calcola che negli Usa le persone anoressiche siano 11 milioni (il 99% donne tra i 12 e i 40 anni) e in Italia mezzo milione. Mentre nel mondo reale l'anoressia è considerata una patologia grave e potenzialmente esiziale, nei siti *pro-Ana* essa è uno stile di vita che si è scelto e che fa sentire le adeptes superiori ai comuni mortali. Nonostante i tentativi delle autorità di oscurare questi siti, essi rinascono e si moltiplicano, e in numero crescente le altezzose anoressiche conducono blog inneggianti alla loro patologia, divenuta una semidivinità benevola, esaltano con fierezza i risultati raggiunti, si comunicano metodi ed espedienti e celebrano le martiri della loro pseudoreligione, cioè le compagne morte<sup>26</sup>.

Un altro mondo parallelo piuttosto bizzarro e inquietante è quello degli *avatar-vampiro*, frequentato da chi si sente attratto da regioni particolari dell'occulto all'inse-

<sup>26</sup> AA.VV. 2010.

gna di Nosferatu e di Dracula. Nella rete si istituiscono luoghi e modalità d'incontro per chi ha gusti particolari in tema di orrore: il sangue, la morte, la non vita. Potrebbe sembrare un giuoco innocente, ma talora gli iniziati adottano uno stile di vita vampiresco anche nel mondo reale: si fanno limare i denti, si aggirano di notte con il volto pallido di cipria o di biacca, avvolti in ampi mantelli neri, addirittura bevono sangue.

Internet consente la creazione di un numero potenzialmente illimitato di mondi paralleli, chiusi ed esclusivi, in cui si entra per cooptazione e per affinità e dove si può conservare l'anonimato; e, come accade in tutti i circoli elitari, i membri si considerano superiori agli estranei.

Ma tentativi di fuga nel ciberspazio sono compiuti anche da casalinghe demoralizzate o da professionisti delusi: costoro si creano una falsa identità più gratificante di quella che devono offrire ogni giorno alla famiglia e al prossimo e finché sono connessi dimenticano le loro frustrazioni. Perciò stanno in Internet per gran parte della giornata, rinunciando a vivere la vita reale per sperimentare una sonnambolica e gratificante esistenza virtuale.

La fuga nella Rete passa attraverso fasi di assorbimento crescente, fino a ottanta e più ore la settimana, con un evidente deterioramento dei rapporti diretti, degli impegni di lavoro e familiari e anche della salute fisica e psichica. Tutti questi svantaggi sono compensati da una sovraeccitazione cognitiva e da un appagamento che confina con la sensazione di onnipotenza: le paure sono lenite, i giudizi altrui sono ignorati, non ci sono più confronti penosi. Anche se la vita là fuori è colma di ansia, di noia e di avvilito, c'è un luogo alto e privilegiato, da visitare ossessivamente, dove tutto ciò sparisce per dar luogo a un'estasi che è insieme salvifica e distruttiva.

Si tratta di fenomeni "psicotecnologici" di grande rilievo, che hanno basi neurochimiche: il piacere che il "retomane" prova nell'interazione dialogica con gli altri adepti è associato al rilascio di mediatori cerebrali, le endorfine. È probabile che questo meccanismo biochimico sia alla base dell'assuefazione e della dipendenza dalla comunicazione virtuale, per esempio tramite le reti sociali: avere a disposizione un mondo senza limiti, di facile accesso, con platee sterminate di interlocutori a costo praticamente nullo provoca forti scariche endorfiniche e quindi un piacere al quale è sempre più difficile rinunciare. Lo stesso meccanismo pare sia alla base dell'intossicazione da gioco d'azzardo.

#### A.4. Il digitale e il ritorno della multimedialità

Si può presumere che in epoche preistoriche il contatto tra uomo e ambiente fosse ampio e diretto: passava per tutti i sensi senza essere filtrato, se non forse in minima parte, dalla mediazione della parola. Il corpo, con i suoi organi, costituiva un'interfaccia multimediale *ante litteram*. Invece nella nostra cultura il linguaggio verbale ha progressivamente occupato una posizione di assoluta preminenza, e rappresenta lo strumento principe della comunicazione e quindi dell'intelligenza. L'intelligenza è considerata una proprietà mentale che si manifesta nell'attività verbale, tanto che molti dei criteri proposti per verificare, o confutare, l'intelligenza delle macchine (da Alan Turing a John Searle) sono basati sulla parola scritta, come se l'intelligenza fosse un fenomeno soltanto linguistico, sintattico e simbolico, in particolare matematico. A conferma del primato dell'endiadi parola-pensiero, fin dall'epoca dei Greci i conflitti tra sensi e ragionamento sono stati risolti quasi sempre a favore del secondo, ignorando il fatto che l'evoluzione biologica ha condensato nel corpo un insostituibile valore di sopravvivenza, mentre la razionalità è frutto di un'evoluzione culturale assai più recente e meno collaudata. Oggi il canale verbale (che, come tutti i canali, è un filtro)

che collega sorgente e destinatario è stato affiancato da un robusto e flessibile (multi) canale tecnologico, basato sull'alfabeto digitale. Più vicino alla concretezza del corpo che all'astrattezza della mente, questo canale s'innesta sul corredo neurosensoriale degli esseri umani e modifica profondamente le loro capacità comunicative, espressive ed emotive. La tecnologia digitale propone un ritorno alla multimedialità: da una parte tenta un ripristino della globalità dell'accoppiamento cognitivo e sensoriale tra uomo e ambiente, mettendo in gioco non solo parole, ma anche immagini, suoni e quant'altro; dall'altra ripropone l'immediatezza che tale rapporto dovette avere nella prima fase della nostra storia filogenetica (e, aggiungo, ontogenetica). Questo ritorno avviene con la mediazione di un *linguaggio*, cioè del codice binario: ci si può chiedere se questo filtro, che sostiene un processo di traduzione, non rischi di indebolire l'immediatezza e di comprimere e uniformare la variegata ricchezza della multimedialità originaria legata alla sensorialità corporea. Ma l'alfabeto digitale possiede una flessibilità senza limiti e la traduzione si situa a livelli molto profondi, che sfuggono alla percezione consapevole: quindi la povertà apparente della rappresentazione binaria è compensata dalla sua duttilità e non compromette la ricchezza delle modalità rappresentative consentite dai nuovi media. Del resto anche in ambito fisiologico il codice che trasmette al cervello i dati sensoriali è piuttosto povero (anch'esso è digitale), ma consente una florida varietà di rappresentazioni (visiva, acustica, tattile, olfattiva ...) tra loro coordinate e interagenti. Il codice binario si conferma l'intermediario universale di tutte le informazioni: si prospetta quindi un rigoglio senza precedenti della comunicazione mediata. Mentre le vecchie tecnologie analogiche limitavano drasticamente la ricchezza della comunicazione diretta, la tecnologia digitale restituisce spazio alle rappresentazioni iconiche e sonore, e i contatti interpersonali, non più solo verbali, si arricchiscono di sfumature e metamessaggi, avvicinandosi alla floridezza della comunicazione faccia a faccia.

#### A.5. Sempre connessi

Secondo un'indagine della Commissione europea, gli italiani usano pochissimo Internet: solo una minoranza di nostri connazionali vi si connette regolarmente e circa metà della popolazione non ha mai aperto una pagina Web. Per contro l'Italia resta prima nell'Europa e nel mondo per l'uso dei cellulari, la cui diffusione è del 152,2%. Una ricerca Doxa dell'estate 2009 ci informa poi che il bagaglio dei vacanzieri è gremito di tecnologia: telecamere digitali, navigatori satellitari, iPod, computerini (gli onnipresenti cellulari invece stanno in tasca). E il trionfo della realtà riprodotta, replicata, da immagazzinare in attesa di poter ri-vivere, ri-vedere, ri-ascoltare (chissà quando) esperienze che non si sono vissute pienamente perché subito filtrate dalla tecnologia. Ha ragione la Commissione europea oppure la Doxa? Forse entrambe: saranno minoranza, ma gli italiani tecnologizzati sono affetti da bulimia comunicativa. L'importante è avere la sensazione inebriante di non perdersi niente, di partecipare al grande gioco del mondo, di fluttuare nel ciberspazio legati da un salvifico cordone ombelicale alla placenta del Web, pronta a riversare in ciascuno immagini, musiche, notizie, in un tripudio di messaggi rapidi, spesso insignificanti ma rassicuranti, che ripetono le infinite variazioni di un solo mantra: *sei collegato!* Desideriamo essere connessi ininterrottamente per non essere esclusi dal grande gioco della comunicazione. Dobbiamo essere sempre raggiungibili, a disposizione di chiunque voglia farci una proposta, un invito o una segnalazione, darci o chiederci un suggerimento o una notizia, porci una domanda, mandarci un saluto. Allo stesso tempo siano esposti a miriadi di messaggi in arrivo, la maggior parte indesiderati, che continuano a distoglierci da ciò che stiamo facendo. È come se fossimo particelle sospese in un fluido e soggette all'aleatorietà del

moto browniano: la comunicazione è frammentata e così il tempo, e il tessuto delle nostre relazioni è lacerato. Insomma, da una parte queste perturbazioni comunicative accrescono le nostre possibilità, dall'altra ci distruggono la concentrazione.

#### A.6. La democrazia in rete

Secondo alcuni studiosi, il lungo primato politico e culturale esercitato da Atene sulle altre città elleniche derivava dal suo sistema democratico assembleare, che gli stati moderni hanno sostituito con la democrazia rappresentativa. Ci si può chiedere se un ritorno alla democrazia diretta sia concepibile oggi: l'ostacolo principale sembra rappresentato dalla complessità degli stati moderni e, ancor prima, dal numero dei cittadini, decine o centinaia di milioni contro le poche migliaia di Ateniesi. Il tema della democrazia diretta torna alla ribalta grazie a Internet e alle reti sociali, che secondo alcuni osservatori avrebbero un sapore "ateniese", poiché consentono una veloce diffusione delle notizie, rapide consultazioni, movimenti d'opinione e al limite votazioni a suffragio universale, e citano ad esempio la funzione che ha avuto Twitter nel diffondere le informazioni sui movimenti di piazza in Iran nel 2009. Ma da qui a sostenere che la democrazia assembleare ateniese può essere risuscitata da Internet ne corre. I cittadini di Atene erano pochi, avevano molto tempo libero e si potevano adunare nell'agorà in men che non si dica, discutendo e guardandosi in faccia. Si conoscevano. La democrazia diretta mediata dalla tecnologia in un mondo complesso e globalizzato, affollato di persone che non si conoscono e gremito di problemi, ci obbligherebbe a passare gran parte del nostro tempo davanti al computer: è ancora il problema del *tempo*. Inoltre, per votare con cognizione di causa, occorre essere informati, e la raccolta delle informazioni presenta grossi problemi, che vanno dal loro controllo alla loro valutazione e alla determinazione della loro sufficienza. Per non parlare, ancora una volta, del tempo necessario a ottenerle, a vagliarle e a sintetizzarle. Il tema è molto controverso.

#### A.7. Piccolo e formidabile

La gara in corso tra i maggiori costruttori mondiali per assicurarsi il predominio nel settore dei *netbooks* e di altri minuscoli dispositivi rientra nel quadro dell'evoluzione verso la costruzione di apparecchi sempre più piccoli che riuniscano in sé le funzioni di un computer e di un telefono cellulare più altri servizi, come la fotocamera e videocamera digitale, la radio, la televisione, i videogiochi. I primi *laptop* furono costruiti negli anni 1990, ma i tempi non erano maturi. L'espansione si è avuta a partire dal 2007 e oggi parecchie aziende propongono a getto continuo dispositivi a metà tra gli *smartphones* o cellulari intelligenti (in cui la funzione di telefono è abbinata alla gestione di dati personali e che possono comunicare con altri dispositivi) e i *netbooks*, tra i *net-top* e gli *all-in-one* (la terminologia è di necessità anglosassone) con schermi tattili in luogo della tastiera. Per non parlare dei libri elettronici (*e-book*), che cominciano a circolare in versioni diverse, più o meno pratiche e per i quali molti preconizzano un grande futuro. Il moltiplicarsi di specie e sottospecie offre al pubblico apparecchi per tutti i gusti e per tutti i bisogni (o capricci). Oggi si punta alla costruzione di dispositivi dotati di un collegamento *wireless* rapido e ubiquitario a Internet, collegamento che consente di semplificare la tecnologia del *netbook*. Ciò ha importanti ripercussioni sul mercato dei PC, che a causa di questa concorrenza sta mostrando segni di debolezza (nel primo trimestre del 2009 i profitti del settore si sono ridotti quasi di un terzo). La concentrazione in apparecchi tascabili di tante funzioni e in particolare la possibilità della connessione alla rete costituisce un passo ulteriore sulla strada dell'integrazione

uomo-macchina: dal telefono fisso e dal computer fisso si passa a un telefono-computer portatile, che consente tra l'altro di portarsi in tasca la sterminata enciclopedia del Web. L'uomo munito di *all-in-one* è un terminale mobile della grande struttura intelligente (la Creatura Planetaria) sostenuta da Internet, che prelude all'esplosione cognitiva preconizzata da Ray Kurzweil con il concetto di *singularità*<sup>27</sup> e molti anni prima di lui da Teilhard de Chardin con il concetto di *Punto Omega*<sup>28</sup>.

## Bibliografia

- AA.VV., 2010, *Avatar*, Magi Editore, Roma.
- Bateson Gregory, 1976, *Verso un'ecologia della mente*, Milano, Adelphi (II edizione accresciuta, Milano, Adelphi, 2000).
- Biuso Alberto G., 2009, *La mente temporale. Corpo Mondo Artificio*, Roma, Carocci.
- Dinelli Serena, 1999, *La macchina degli affetti. Che cosa ci accade guardando la TV?*, Milano, Franco Angeli.
- Ferri Paolo, 2008, *La scuola digitale*, Milano, Bruno Mondadori.
- Goodwin Brian, 2009, *Dovuto alla Natura*, Sansepolcro, Aboca Edizioni.
- Horgan John, 1993, "Morte della dimostrazione", *Le Scienze*, n. 304.
- Kurzweil Ray, 2005, *The Singularity Is Near. When Humans Transcend Biology*, New York, Viking.
- Lévy Pierre, 1996, *L'intelligenza collettiva. Per un'antropologia del cyberspazio*, Milano, Feltrinelli.
- Longo Giuseppe O., 1998, *Il nuovo Golem. Come il computer cambia la nostra cultura*, Roma-Bari, Laterza.
- Longo Giuseppe O., 2001, *Homo technologicus*, Roma, Meltemi.
- Longo Giuseppe O., 2003, *Il simbiote. Prove di umanità futura*, Roma, Meltemi.
- Longo Giuseppe O., 2005, "Uomo e tecnologia. Una simbiosi problematica", *Mondo Digitale*, IV, 2, n. 14, pp. 5-18.
- Longo Giuseppe O., 2006, "Il poliedrico mondo dell'informazione", *Mondo Digitale*, V, 2, n. 18, pp. 3-17.
- Longo Giuseppe O., 2008a, *Il senso e la narrazione*, Milano Springer Italia.
- Longo Giuseppe O., 2008b, "Il computer tra complessità e narrazione", *Mondo Digitale*, VII, 3, n. 27, pp. 3-10.
- McLuhan Marshall, 1998, *La galassia Gutenberg. Nascita dell'uomo tipografico*, Roma, Armando.
- O'Reilly Tim, 2005, *What Is Web 2.0*, Safari Books Online.
- Portmann Adolf, 1969, *Le forme viventi*, Milano, Adelphi.
- Teilhard de Chardin Pierre, 2006, *Il fenomeno umano*, Brescia, Queriniana.
- Tursi Antonio, 2009, *Una sfera di narrazioni*, "L'Espresso", 3 settembre.
- Veen Wim e Vrakking Ben, 2006, *Homo Zappiens. Growing up in a Digital Age*, Londra, Network Continuum Education.

<sup>27</sup> Kurzweil 2005.

<sup>28</sup> Teilhard de Chardin 2006.

## Nuove prospettive e paesaggi dall'attico e superattico delle TLC

### Introduzione

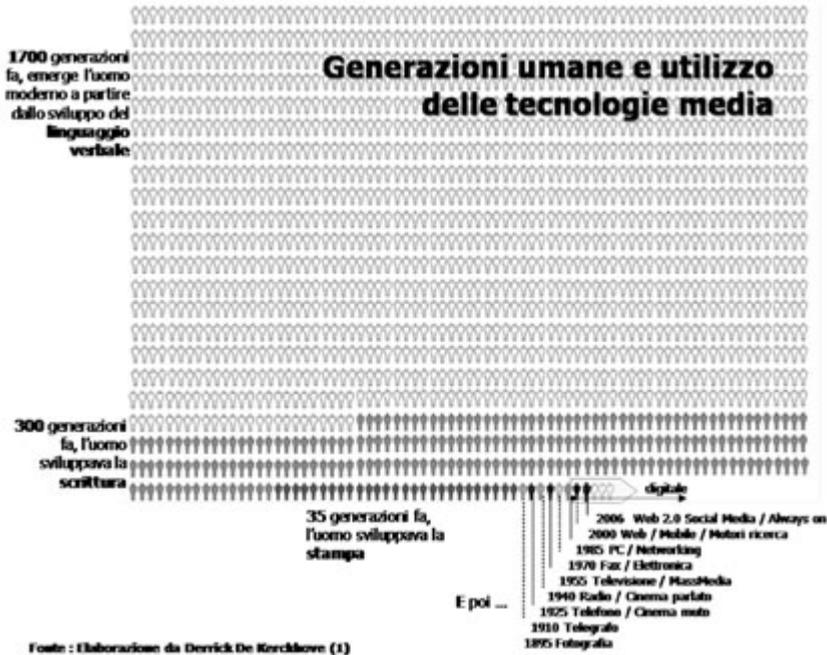
Un binomio di termini inglesi, *setting & performing* (*impostazione ed esecuzione*) bene spiega due fasi dell'operare umano osservabili in una pluralità di contesti, da quello tecnico-scientifico a quello tecnologico, da quello del vivere sociale e dell'evoluzione storica ai diversi processi organizzativi.

Il binomio è abbastanza auto-esplicativo, soprattutto per coloro che vivono quotidianamente le fasi di progettazione ed esecuzione di un'opera o di un servizio, ovvero pianificano e poi mettono in essere un insieme di azioni finalizzate. Inclusi coloro che si occupano di tecnologie delle telecomunicazioni: essi ben conoscono le diverse tecniche di istradamento delle comunicazioni che si basano su una fase preliminare di definizione del percorso, ovvero di messa in contatto dei nodi terminali (fase di *setting*) e su una ulteriore fase di comunicazione vera e propria (*performing*). O della diversa tecnica delle reti in cui un pacchetto di informazione, di volta in volta ha in ogni nodo della rete un *setting* (scelta del nodo successivo da attivare) e un *performing* (trasferimento dei dati).

Non di questo ci vogliamo occupare, sarebbe una disquisizione specialistica qui inopportuna, ma di un concetto di *setting* ben più critico e complesso, che è alla base del nostro approccio nei confronti della realtà, del linguaggio delle relazioni con gli altri, ovviamente sempre più in sinergia con l'uso delle tecnologie.

Vogliamo focalizzarci sul processo di impostazione del nostro pensiero in termini di atteggiamento e approccio che influenza ed è influenzato (con una forte retroazione) dal confronto costante con il mondo esterno, ovvero con quella semplicisticamente definita realtà, dentro cui dobbiamo includere quella fisica, percepita e vissuta con i sensi ma anche quella più relazionale che si porta dietro gli aspetti comportamentali interpersonali e sociali. E in questo relazionarsi del nostro io con la realtà abbiamo sempre più a che fare con i media, con le tecnologie, con quanto in qualche modo è l'estensione del nostro essere. Ossia con quell'insieme di artefatti (non oggetti ma sistemi con cui si stabiliscono varie forme di interazione) che diventano così parte della nostra dimensione dell'io composta da pensieri, idee, concetti, emozioni e che è sempre più fatta di informazioni, documenti, immagini, applicazioni, sistemi di relazione.

Il cambiamento mentale che è sempre stato incontrato dall'uomo di fronte all'innovazione trova oggi un nuovo aspetto caratterizzante: la sovrapposizione



**Figura 1.** Generazioni umane e uso dei media. Fonte: elaborazione da Derrick De Kerckhove (De Kerckhove Derrick 2007), intervento al Convegno Tecnologie e Didattica, Cagliari 12 dicembre 2007.

costante di innovazione, che non permette di poter sedimentare i nuovi paradigmi derivanti dall'innovazione stessa.

Questo fenomeno è ben rappresentato nella Figura 1 che mette in evidenza il rapporto delle diverse generazioni umane con l'uso di uno specifico media (prima la sola oralità per 1700 generazioni, poi altre 300 con anche la scrittura, altre 35 con la stampa e poi una successione sempre più rapida di nuovi media). Dal '900 è evidente la progressiva sovrapposizione in una sola generazione di diversi nuovi media. Questo fatto diventa più significativo dall'avvento del digitale rappresentando un chiaro problema per le generazioni precedenti per quanto riguarda la fruizione, quindi l'uso operativo delle tecnologie attuali<sup>1</sup>.

Il problema del cambiamento mentale è evidentemente relativo non a singoli "oggetti", quali contenuti o specifiche tecnologie, ma al mix di **ambienti di fruizione** e **"artefatti"**. Intendo con questo che la nostra attenzione non deve concentrarsi solamente sulla specifica tecnologia, il dispositivo, le sue funzionalità e le sue capacità di interattività previste, e neanche nelle infrastrutture tecnologiche come le reti di telecomunicazioni né nelle strutture applicative.

<sup>1</sup> Con tecnologie intendo evidentemente non solo PC, cellulari, smartphone, palmtop, I-Pad e ulteriori dispositivi che trovano spazi di mercato come li trovano i sistemi viventi in nicchie biologiche. Intendo soprattutto le tecnologie software, applicazioni, ambienti e infrastrutture che permettono di creare nuove realtà applicative, di utilizzo delle tecnologie digitali e di future tecnologie ibride emergenti, come le stesse biotecnologie.

Intendo che dobbiamo porre attenzione alla combinazione di tutto questo così da poterne cogliere le reali potenzialità. Possiamo e dobbiamo dunque guardare il problema del nostro “*setting*” mentale rispetto a questa innovazione tecnologica sotto diversi aspetti, in particolare i seguenti tre:

- la **fruizione** del contesto composto da tecnologie, specifici media, artefatti (oggetti, applicazioni, strutture di varia natura capaci di interagire con noi e l'ambiente);
- la capacità di **produzione ed espressività** che noi possiamo sviluppare progressivamente;
- la **coscienza** di quanto è in essere e in potenza nel fenomeno, nella possibilità comunicativa e nella conoscenza (implicita o esplicita) del ri-posizionamento nel quadro complessivo per effetto dell'avvento di una o più nuove forme comunicative.

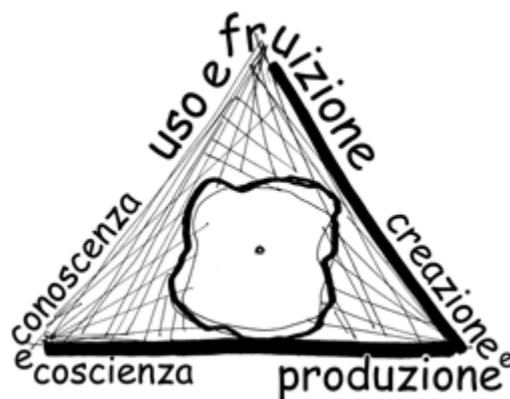
Di norma ci si sofferma sul primo aspetto, fondamentale e certamente più evidente.

Quello che risulta chiave nello sviluppo di una società che armonizza l'evoluzione tecnologica è però la coerenza tra i tre aspetti. Quando ci si trova di fronte ad un'evoluzione molto rapida – pensiamo alla repentina crescita di un adolescente con i rispettivi aspetti fisici, psicologici e relazionali in espansione – spesso la coscienza di quanto accade è un fattore chiave.

Altrettanto importante è la capacità non solo di fruire delle tecnologie, ma di poterle governare ai fini della produzione e della relativa capacità creativa. Intendo in questo caso la capacità di “progettare”, ovvero valutare le opportunità, i rischi, le risorse e mettere in campo idee e riuscire a realizzare soluzioni che riescono a dare risposta a problemi e quesiti che ci urgono quotidianamente.

Ci sono tante, troppe, esperienze di attività svolte nelle quali la progettualità di un'azione – sia essa sociale, economica, comunicativa – è pensata disgiuntamente dalle tecnologie che possono abilitarla. Questo è determinato dal fatto che le persone nel proprio operare quotidiano trovano difficoltà a combinare l'obiettivo con l'uso delle tecnologie, soprattutto quelle dei *new-media*; anche perché è effettivamente difficile pensare e poi realizzare senza incontrarsi, confrontarsi e anche scontrarsi, con i problemi operativi, con la gestione e sviluppo di soluzioni tecnologiche corrette in termini di economicità, affidabilità, flessibilità.

Il problema della **criticità nella progettualità** è una questione aperta, soprattutto perché è diffusa la difficoltà di distinguere razionalmente le conoscenze su come utilizzare le tecnologie per realizzare un progetto da quelle su come



**Figura 2.** Tre aspetti chiave del linguaggio e nella semiotica, applicati anche nell'innovazione (Crespellani Porcella 2001).

abilitare-gestire le tecnologie e farle evolvere. Questa difficoltà è all'ordine del giorno sia sul piano generale (quindi le risorse per lo sviluppo tout-court e la ricerca) sia sulle specifiche soluzioni.

D'altro canto si osserva anche un'istintiva corsa a progetti la cui finalità originaria (comunicativa, di erogazione di servizi, di valorizzazione e sviluppo) viene fagocitata dagli aspetti puramente tecnologici, con una grave perdita di attenzione al reale obiettivo.

Gran parte delle persone per un motivo o per l'altro trova difficoltà ad elaborare progetti con le tecnologie, proprio perché di fronte a scenari costantemente evolutivi, non è predisposta ad un cambiamento accelerato. Si sente il bisogno di nuove competenze, di riferimenti concettuali e pragmatici necessari per comprendere e per poter portare a termine un progetto o un'azione che opera "con" e "attraverso" le tecnologie.

Inoltre è abbastanza comune considerare la tecnologia come qualcosa che una volta realizzata possa stare in piedi senza necessità di ulteriori risorse di sviluppo. In realtà la tecnologia è come un organismo, un sistema vivente che si relaziona con l'ambiente, si trasforma e ha necessità di risorse per il suo sostentamento.

I soggetti (politici, sociali) che programmano lo sviluppo o che si occupano di erogazione di servizi e di implementazione di infrastrutture e che hanno un ruolo progettuale, necessitano non solo di esperienze e competenze, ma hanno bisogno di un atteggiamento mentale armonizzato con la dimensione emotiva, che consciamente o inconsciamente va alla ricerca di certezze, benché si debba scontrare con le strutturali incertezze della realtà. Questo è particolarmente vero quando le soluzioni vanno costruite e non semplicemente "trovate".

È abbastanza evidente, nella realtà italiana in particolare, la difficoltà incontrata da una discreta parte di decisori (politici, ma non solo) ad avere un approccio corretto ai problemi, senza tener conto delle potenzialità date da un metodo progettuale integrato. Metodo nel quale le soluzioni vengono ricercate ed emergono dalla costante combinazione / intersezione delle opportunità dei media digitali con i problemi stessi. Si vuole affermare cioè che le soluzioni più efficaci non sono sempre quelle che hanno come risposta una soluzione tecnica che si aggiunge (come una vernice applicata sopra) a quella generale del problema affrontato, ma quelle che si manifestano dalla contemporanea e bidirezionale interazione, attraverso influenze e riscontri reciproci tra idea di soluzione e modo di implementarla.

## **Il ruolo della dimensione emotiva**

È abbastanza assodato che le emozioni svolgano un ruolo chiave nella nostra vita. Lo è molto meno il fatto che senza una corretta dimensione emotiva ci sarebbe inibito prendere decisioni, apprendere e perfino svolgere le normali funzioni vitali. Non possiamo ad esempio pensare che le valutazioni siano frutto della sola nostra capacità cognitiva razionale e che sia irrilevante l'emotività, anche quando siamo capaci di governarla ed essere coscienti di quanto possa condizionarci.

Non stiamo parlando del ruolo della paura, come quando ci sta per scoppiare qualcosa in mano, ma stiamo indagando su come le decisioni e le nostre scelte



**Figura 3.** Le emozioni che hanno riscontro nella relazione con le tecnologie. Elaborazione da schema di Parisio Di Giovanni (Di Giovanni 2007), adattato da Kassin 1986, con aggiunta in corsivo delle "Emozioni verso la violenza" suggerite da Francesco Alberoni su articolo del Corriere della Sera Dicembre 2007.

strategiche siano spesso condizionate da quanto il nostro inconscio emotivo ci induce a selezionare tra le diverse opzioni di scelta o a tener conto delle ipotetiche alternative che abbiamo di fronte. Non meno importante è l'opportunità dare spazio alla creatività quando una serie di fattori emotivi permettono di spaziare in processi mentali, inibiti a chiunque non sia positivamente predisposto in tal senso.

Ma possiamo comprendere quali siano le emozioni rilevanti e che rapporto possono avere con l'uso delle tecnologie?

Nella Figura 3 sono espresse le diverse forme in cui la dimensione emotiva si manifesta; cerchiamo di intuire come si posizionano i diversi atteggiamenti emotivi nel relazionarsi con le tecnologie.

Appare chiaro che esistono dei raggruppamenti che orientano l'atteggiamento e la predisposizione secondo alcune linee direttrici che intersecano le tre aree tratteggiate: una esasperatamente positiva, una moderatamente positiva e una pressoché negativa secondo gradazioni differenti.

Spesso si immagina che l'orientamento verso una maggiore (o meglio la corretta) predisposizione all'uso delle tecnologie passi per attività formative tradizionali che certo non guastano e anzi sono condizione spesso necessaria per utilizzarle al meglio. Il problema, probabilmente, non è solo legato al singolo soggetto ma deve essere indirizzato ad un corretto rapporto intersoggettivo attraverso un reale percorso che coinvolge un team, per sviluppare la progettualità e la capacità di gestione attraverso le tecnologie.

Un amico diceva che le tecnologie devono essere *user friendly*, e sorridendo traduceva l'inglese, "ovvero, *ci deve essere un amico che te le spiega*". Dunque la complessità operativa dev'essere supportata dal lavoro di gruppo, dalla condivisione costante tra diversi soggetti, e questo è ancora più cruciale nella progettualità e nella gestione, nelle quali è la forza del team che permette di fare un salto qualitativo nell'identificazione soluzioni e nella gestione.

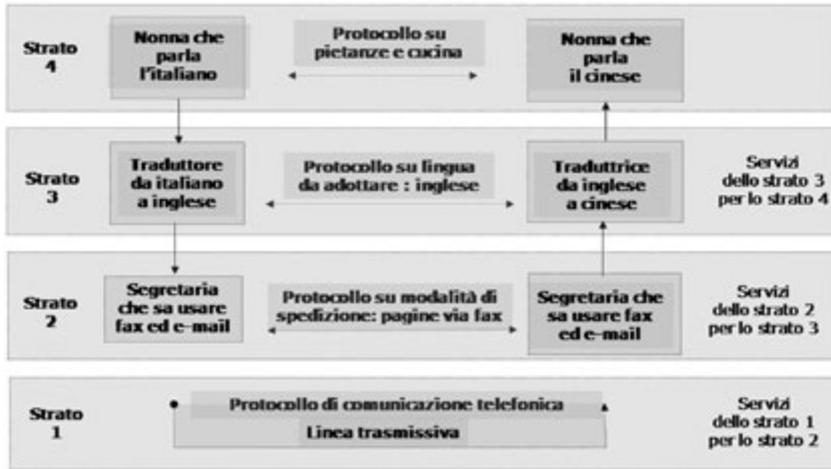
Ma la questione chiave di questo aspetto ci viene messo in luce, dall'osservazione di come i giovani, i ragazzi nati dopo l'avvento del digitale (i cosiddetti nativi digitali) si relazionano con la tecnologia. Essi sono capaci di **provare, esplorare e riprovare per verificare** cosa si può fare, cosa è inibito. Insomma hanno innato (quindi è innato nell'uomo, magari inibito dalle sovrastrutture culturali) l'interazione con gli oggetti, o meglio gli artefatti, qualunque natura abbiano, orientati, è vero, su "cosa posso farmene", "come posso usarlo" più di quanto *cosa rappresenta, perché è qui* o altre questioni culturali o sovra-culturali.

Questo atteggiamento mentale, ai nostri occhi più superficiale e più pragmatico, è però quanto permette a loro di non essere inibiti dalle meta-proprietà dell'oggetto permettendo di impossessarsene senza insicurezza. Certamente la coscienza e capacità conoscitiva non sono immediatamente contemplati, ma, alla luce dell'esperienza e della scoperta del funzionamento dei neuroni specchio, è evidente che un approccio di tipo cognitivista, benché imprescindibile, se predominante, può portare a delle criticità. Si può affermare che va valorizzato l'apprendimento basato sull'emulazione e sull'esplorazione, sviluppando i processi di apprendimento complementari a quello cognitivo puro. La conclusione, ovviamente, non è che le capacità critica e riflessiva non abbiano valore, anzi, devono essere sempre e necessariamente presenti, ma in sinergia con quanto abilita l'esplorazione, la curiosità, la prova, cioè quanto i giovani attivano in modo immediato. È appunto quanto oggi si definisce capacità di *operativizzare*, ovvero di trasformare la nostra azione da un piano teorico a processi fattivi e finalizzati. Questo è un aspetto chiave, oggi critico nella realtà degli studenti italiani, come esplicitato dalle statistiche OCSE, che mettono in luce la difficoltà dei nostri giovani a tradurre conoscenze in competenze, di saper applicare un concetto su uno specifico contesto.

Proiettando queste considerazioni sul piano della progettualità con l'ausilio delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, appare evidente che l'inibizione nasce dalla "paura" (o almeno anche dalla paura) e dall'impossibilità di ipotizzare scenari possibili senza rischi. Ovvero dalla mancanza di "training" di prova costante, di frequente confronto su questo piano con una comunità di riferimento.

Forse possiamo partire dall'adottare diffusamente e quotidianamente i più basilari strumenti di simulazione, efficaci e condivisibili nel loro utilizzo e aggiornamento, come può essere la semplice **creazione condivisa** di un piano di lavoro, di un documento complesso, di una struttura di dati o di un'applicazione in rete.

Oppure possiamo procedere attraverso la progettazione di soluzioni online, applicazioni *mobile* che favoriscano la condivisione di esperienze e le attività "emotivamente rilevanti", indirizzando gli sforzi su quanto ne deriva di utile per la società e sollecitandoci a risolvere le problematiche che costantemente l'accadere dei fatti ci propone. È possibile che sia un passo semplice dal punto di vista tecnico, ma più impegnativo sul piano del riassetto mentale: qui siamo obbligati a organizzare il nostro operato in funzione di come ci relazioniamo con gli altri, di come gestiamo insieme un semplicissimo artefatto che interagisce con noi persone e con le specifiche tecnologie. Questo ci potrà permettere, forse, di allargarci su scenari più complessi (tecnologicamente parlando), con una corretta coscienza di come "osiamo" raggiungere i nostri obiettivi.



Fonte: Rielaborazione da A.Tanenbaum (4)

**Figura 4.** Una semplificazione del processo comunicativo dell'architettura OSI applicata alla comunicazione tra due persone: ruolo dei servizi e dei protocolli. Reinterpretazione dall'esempio di Andrew Tanenbaum<sup>2</sup>.

## La contaminazione tecnologia-società: dall'architettura OSI alle reti Multistrato

Se volessimo seguire una metafora e immaginassimo di avere un palazzo dentro cui è presente il mondo delle telecomunicazioni, possiamo chiederci: com'è fatto questo palazzo? E poi ha senso interpretare in qualche modo un "piano casa" per ci permetta di estendere il palazzo? Come sarebbero questi piani ulteriori e possiamo immaginare cosa la nostra visione potrebbe scoprire nel paesaggio circostante?

L'architettura OSI è necessariamente un modello gerarchico, scalare, appunto come un palazzo con tanti piani, dentro ognuno dei quali esiste un'attività differente. È un impianto concettuale che ha permesso lo sviluppo delle telecomunicazioni: il modello di architettura che permette di trasferire dei dati scomponendo le diverse funzionalità in differenti strati di software, capaci di rispondere a funzioni differenti (vedi il contributo di Guido Vannucchi in questo volume).

Il modello permette di concentrarsi su una funzione potendo contare su dei servizi resi disponibili dallo strato inferiore e potendo a propria volta erogare servizi allo strato superiore.

Un esempio esplicativo, riprendendo un modello raccontato da Andrew S. Tanenbaum<sup>2</sup> possiamo averlo in una comunicazione sui temi della cucina tra una nonna italiana e una che parla una lingua molto diversa ad esempio il cinese (Fig. 4). Ci si accorda di parlare di pietanze e di cucina, di adottare una

<sup>2</sup> Tanenbaum 2008.

lingua intermedia come l'inglese, e di utilizzare il fax per inviarsi i messaggi. La nonna italiana quindi consegna a un traduttore il suo testo che, dopo averlo tradotto in inglese, delega qualcuno a inviare un fax e dall'altra parte qualcuno riceve il fax, qualcun altro traduce il testo (da inglese a cinese) e così arriva il messaggio alla destinataria cinese. Dietro un ogni livello vi è un protocollo: da quello di parlare di pietanze e quello di intesa di come comunicare (attraverso l'inglese), a quello di dove e come inviare i fax. In ogni passaggio i diversi soggetti (o strati di software) o dispositivi svolgono dei semplici servizi e così si riesce a comunicare.

Su un modello simile a questo è nata l'architettura OSI (Open System Interconnection) e poi si è sviluppata la *suite* di protocolli di rete su cui funziona Internet, chiamata TCP/IP: il *Transmission Control Protocol* (TCP) e l'*Internet Protocol* (IP). I diversi strati svolgono una differente funzione, dalla semplice connessione fisica, all'aggregazione intelligente dei vari segnali (data link), alle regole per essere instradati correttamente nella rete (network), e così via, fino al piano definito delle applicazioni.

Quest'ultimo piano, il più 'alto', è quello in cui si situano le strutture applicative primitive, quelle di base<sup>3</sup>, attraverso le quali si possono ottenere le diverse funzionalità. La proliferazione di tali strutture applicative ha permesso naturalmente lo sviluppo di un nuovo ulteriore livello: le applicazioni strutturate, sempre più organizzate per rispondere a nuove esigenze, come ad esempio i portali, la webTV, i sistemi di *Content Management* ecc.

Possiamo porci il quesito che cosa succede di tutte queste funzionalità?

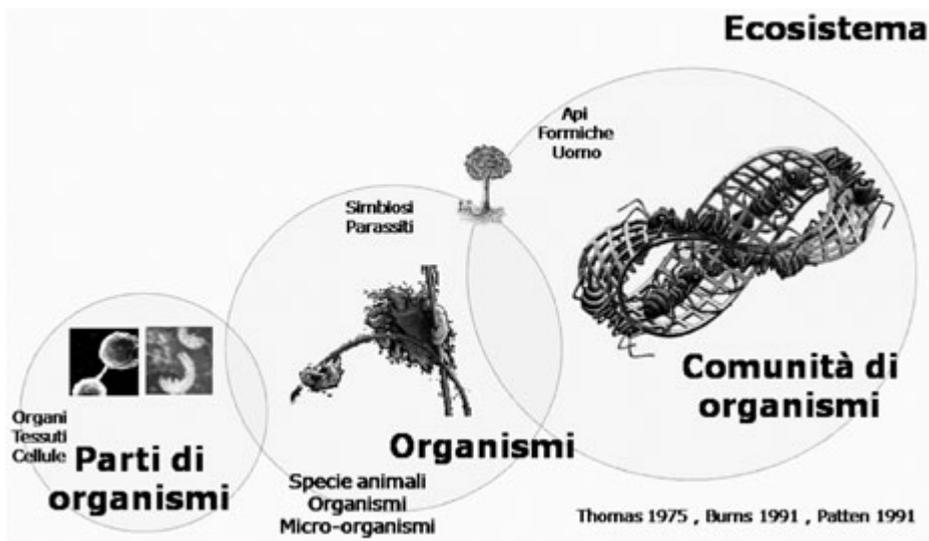
Stiamo per entrare nel piano superiore, sembra con una scaletta, ma in realtà dobbiamo dire che salendo di un piano abbiamo uno scenario completamente diverso. Come se salendo di un piano avessimo superato la soglia che ci permette la vista di un panorama non immaginabile prima.

Questo fenomeno è quanto normalmente succede nelle strutture complesse, nelle quali le proprietà dell'insieme non sono deducibili e non spiegabili dalle proprietà delle singole parti e nelle quali ogni livello di organizzazione ha nuove "emergenze".

L'epistemologo Charlie Dunbar Broad (1887-1971) ha messo in luce come le "proprietà emergenti" sono quelle che affiorano a un certo livello di complessità ma che non esistono a livelli inferiori.

Queste considerazioni insomma vanno nella direzione di modelli interpretativi della realtà basati su strutture organizzate secondo proprie regole, ma strettamente interconnesse con altri livelli e che indicano come esistano salti di qualità espliciti e visibili anche nella organizzazione della natura.

<sup>3</sup> Esempi sono: i comandi come http (Hypertext Transfer Protocol) per ricevere una pagina ipertestuale, FTP (File Transfer Protocol) per inviare e ricevere i file, DNS (Domain Name Server) che permette di associare indirizzo scritto con un testo a noi consono in un indirizzo IP poco chiaro all'utente con un termine più comprensibile (per esempio, <http://www.corriere.it>), URL (Universal Resource Locator) che permette di avere un indirizzo fisico univoco per le risorse del web o il VoIP (Voice Over Internet Protocol) che permette il trasporto della voce su Internet.



**Figura 5.** Strutture di sistemi viventi a livelli differenti ognuno dei quali ha una struttura a rete che abilita livelli superiori. Esistono inoltre reti eterogenee che creano un ecosistema a livello superiore.

Il biologo Joseph Woodger ci suggerisce come questo fenomeno sia un orientamento naturale degli stessi organismi viventi che tendono ad avere una struttura gerarchica, formando strutture a più livelli, di sistemi dentro sistemi.

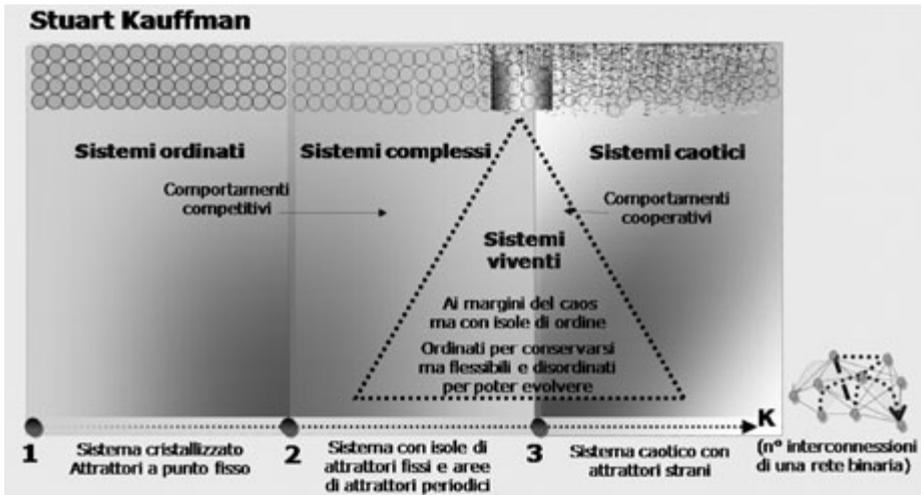
Analogamente sta succedendo nella realtà delle tecnologie digitali e gli stessi meccanismi interni tendono a somigliarsi. Alcuni elementi caratterizzanti come la codifica digitale, il calcolo parallelo, i modelli distribuiti, gli schemi logici *fuzzy*, le nanotecnologie e ancora comuni concetti cardine come quello di confine, di flussi energetici, di struttura e di autoorganizzazione sono sufficientemente somiglianti per poter vedere un parallelismo tra l'evoluzione della vita e l'evoluzione delle tecnologie digitali.

Insomma vi sono alcuni concetti chiave che, se si vuole avere una visione sistemica, non possono essere concepiti disgiunti. In particolare i concetti di vita, di tecnologia e di conoscenza.

L'esperienza e le teorie di Umberto Maturana e Francisco Varela dagli anni '70 hanno rafforzato il rapporto intrinseco tra vita e sistema di conoscenze, al punto da farli coincidere: un sistema vivente è un sistema cognitivo<sup>4</sup>. Il poliedrico russo Pavel Florenskij già all'inizio del secolo scorso aveva messo in luce come la tecnologia potesse essere intesa come un'estensione dei nostri organi interni, appunto parlando di macchine interne e macchine esterne<sup>5</sup>. Studiosi di oggi, come il biologo Edoardo Boncinelli, arrivano alle stesse conclusioni affermando che la vita si esprime, si conosce e si modifica attraverso la tecnologia; tra i filosofi della scienza, Silvano Tagliagambe mette a sistema questi aspetti apparentemente distanti ma sostanzialmente interconnessi.

<sup>4</sup> Capra 2001.

<sup>5</sup> Tagliagambe 2006.



**Figura 6.** Rappresentazione del comportamento delle reti binarie differenti in funzione del valore K (numero medio di interconnessioni di un nodo) secondo Kaufmann.

Non si può non citare, in questo contesto, Stuart Kauffman che già negli anni '90 nelle sue sperimentazioni sulle reti binarie (dette anche Booleane) aveva messo in luce il loro comportamento (stazionario, con attrattori, a punto fisso, o periodici) riuscendo a simulare per alcuni aspetti reti genetiche, sistemi immunitari, reti neurali, sistemi di organi, ecosistemi. Ha definito ed esplorato i cosiddetti attrattori caotici e in ultima analisi la correlazione tra i livelli di interconnessione tra i nodi delle reti e i diversi comportamenti assunti dalle reti.

Attraverso le sue ricerche sulle reti binarie infatti, ha sapientemente interpretato alcuni fenomeni facendo emergere l'importanza della dimensione del numero  $N$  dei nodi di una rete e il valore  $K$  delle interconnessioni (valore che rappresenta il numero medio di connessioni o di ingressi di ogni nodo): quest'ultimo valore si è rivelato indicatore di diversi tipi di sistemi, compresi i sistemi viventi, che si posizionano tra complessità e caos. Ai margini del caos infatti si hanno i sistemi con isole di ordine che permettono alle reti di conservarsi ma al tempo stesso di essere flessibili e parzialmente disordinati per poter evolvere. Sono emersi anche i comportamenti complementari: di competizione, derivanti dai sistemi ordinati, e di cooperazione, tratti dai sistemi caotici (Fig. 6).

Emerge ora l'aspetto strategico della conoscenza del funzionamento delle reti anche nelle stesse esperienze recenti sul genoma, inteso come un'enorme rete interconnessa, ricca di anelli di retroazione derivanti dal comportamento dei geni. Come già affermava lo stesso Varela, il genoma non è una serie lineare di geni indipendenti. Allo stesso tempo Kaufmann ha scoperto che ogni gene è influenzato da alcuni altri geni, scoprendo che le reti binarie potevano costituire modelli appropriati per i genomi. Un genoma così viene rappresentato come una rete binaria ai confini del caos.

Tutto questo scenario ci porta a considerare l'importanza di osservare con occhio lungimirante lo sviluppo dei piani superiori, da cui il paesaggio emergente

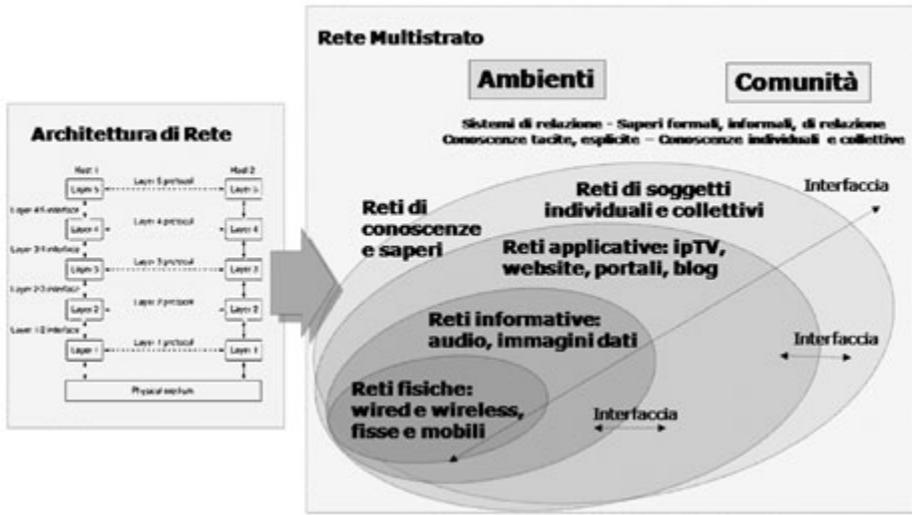


Figura 7. L'ipotesi di Rete multistrato: dalle architetture di Rete alle relazioni tra Reti eterogenee interconnesse.

va esplorato non con gli occhi miopi di chi osserva semplici fenomeni puntuali, ma con una visione olistica che esamina la complessità del sistema ricercandovi gli elementi strutturali per indirizzarli e orientarli ad uno sviluppo coerente.

Le strutture (probabilmente dovremmo parlare di reti) dei piani inferiori, composte da reti informative e di singoli artefatti (siano essi dispositivi, oggetti, file, video o altro), di livelli superiori di organizzazione come applicazioni tradizionali ed emergenti (*website, repositories* organizzati, *blog* ecc.) ci permettono di osservare i nuovi livelli organizzativi che sono le reti di soggetti umani con particolare attenzione agli aspetti “emergenti”. Tra questi vorrei porre attenzione agli “ambienti” e alle *communities* perché essi sono fattori critici di successo e insuccesso (Fig. 7).

Siamo ai primordi di quanto i mass media ci hanno fatto comprendere essere di cruciale importanza e siamo di fronte ai primi passi dei *social media* e in particolare dei *social network*, con le loro potenzialità e le loro fragilità. Il fenomeno necessita ancora di indagine: quali contesti ha senso far evolvere, qual è il loro significato, dove si produce valore e come si entra in relazione con il contesto sociale. Con retroazioni sul piano del fenomeno ma anche ai livelli inferiori. Parlando ad esempio di reti fisiche che supportano tutto questo stiamo già osservando come Facebook si è estesa anche sui dispositivi mobili, il che implica un diverso modo di fruire delle relazioni. E analogamente l'emergere delle reti cognitive, capaci di retroagire ai livelli inferiori per ottimizzare le funzionalità della rete (livelli bassi del trasporto e delle prestazioni) in funzione dell'utilizzo svolto dai livelli superiori. Insomma tutto influenza tutto, magari con meccanismi poco noti ai più, meno interpretabili alla luce dei nostri schemi mentali basati su semplici modelli di causa-effetto. Siamo di fronte a un sistema complesso fatto di sistemi interconnessi che si trasformano e che possono

essere interpretati molto più secondo leggi e regole dei sistemi viventi che con approcci meccanicistici, semplificati.

Si fa strada la necessità di osservare il fenomeno come se fossimo di fronte ad un paesaggio esteso in cui è presente un **modello di gerarchie** e al tempo stesso **sistemi di relazione basati sui modelli a rete**, capaci di tenere conto non tanto dei nodi presenti ma più appositamente delle relative interazioni, delle retroazioni, dei flussi di conoscenze che si manifestano implicitamente o esplicitamente.

È per questo che credo siamo di fronte a fenomeni che hanno bisogno di nuovi schemi rappresentativi, certo semplificativi e metaforici, ma anche capaci di esprimere al meglio la complessità che abbiamo di fronte. Come se per comprendere la realtà necessitassimo di passare da semplici planimetrie che rappresentano i singoli piani di un edificio uguale a tutti i livelli, a modelli tridimensionali in *real time*, con l'uso del colore, delle trasparenze e dei legami tra i componenti dell'architettura che stiamo esplorando, siano essi impianti, o servizi. E soprattutto con la possibilità di relazionarci con il paesaggio che da tutte le parti mette il territorio circostante in rapporto con la nostra costruzione.

### L'ondata dei *new media* e l'organizzazione del sapere

È nota a tutti la progressione incalzante dello sviluppo che dagli anni '90 arriva ai giorni nostri: multimedialità, rete, sviluppo software e loro reciproca interazione. Tutto questo ha portato a diversi traguardi tra cui:

- Internet (con lo standard dei suoi protocolli ), sviluppo dei siti web con **interfaccia** grafica www e la possibilità di accedere a **risorse multimediali** come *streaming* audio e video;
- la **posta elettronica** come mezzo di comunicazione basato sul testo, con efficacia sulla distribuzione, sulla possibilità di allegare documenti e sulla sua tempestività;
- l'avvento dei **motori di ricerca** che ha trasformato l'accesso alla conoscenza e che diventa uno snodo imprescindibile nell'organizzazione delle conoscenze online;
- Lo sviluppo dei **videogiochi** (che ha aperto a forme di intrattenimento basate sulla grafica e il *real time* e che ci fa capire le specificità e i limiti sul piano emotivo e dell'attenzione);
- La nascita delle **transazioni online** e lo sviluppo del commercio elettronico, dei criteri di referenziazione e di gestione delle reputazioni e affidabilità di chi opera online;
- Sviluppo dei modelli di e-business e sue declinazioni su *e-commerce*, *e-government*, *e-procurement* *e-employees* e dell'*e-society* e dell'*e-democracy*.

E con l'avvento del nuovo millennio, l'accelerazione non è diminuita, benché la percezione della bolla speculativa facesse pensare ad un arresto delle tecnologie. Il problema è stato solamente di non comprensione del fatto che il fenomeno tecnologico stava trasformando le regole del mercato, ma non i principi dell'economia.

Ecco alcune successive evoluzioni dello scenario digitale:

- sviluppo della **comunicazione mobile**, oltre alla voce, della **messaggistica SMS** e delle forme di comunicazione multimediale in tempo reale da unità mobili con grafica e interfacce avanzate
- evoluzione della **banda larga** con i suoi riflessi in termini di accessibilità, tempi di risposta, e nuove applicazioni;
- espansione dei **supporti digitali** online (*storage*) e offline (diffusione dei DVD, pendrive ecc.)
- sviluppo dei modelli di **condivisione delle risorse** e delle attività online: da semplici funzionalità guidate dal singolo utente come *file sharing*, *peer-to-peer* alle funzionalità di **condivisione di infrastrutture, servizi e risorse**<sup>6</sup>;
- espansione della presenza in rete (dai statici website, portali) verso ambienti dinamici e **luoghi di partecipazione e confronto**: *Blogs*, *Forum*, applicazioni online;
- diffusione di applicazioni di *collaboration*, *publishing* e gestione dei contenuti (Content Management System)
- sviluppo della filosofia **Open Source** e trasformazione dei modelli di sviluppo del software e dei corrispondenti paradigmi economici;
- nascita e diffusione della **fotografia digitale**, con la trasformazione dei modelli della produzione distribuzione, condivisione ed elaborazione dell'immagine fotografica;
- **musica online**, podcasting, guerra dei diritti d'autore e nascita di mercati complementari ai media tradizionali.

Ed ancora:

- nascita e sviluppo di veri e propri **Social Media**, del modello di **produzione dei contenuti basato sulla contribuzione da parte dell'utenza, la cosiddetta UGC** (User Generated Content): da Youtube per i video, a Flickr per le immagini, dalla posta Gmail ai software di Google come ad esempio quello per la scrittura collaborativa, dal *social bookmarking* (del.icio.us) al *tagging*, dalla scrittura condivisa di wiki al vero e proprio *flocksonomy* di Wikipedia ;
- sviluppo delle **applicazioni grafiche di rappresentazione del territorio e dei luoghi virtuali** come Google Earth, LiveMaps, e tutte le applicazioni di Virtual Reality in mono e multiutenza come la stessa SecondLife;
- esplosione delle applicazioni di **social interaction**: dal voice via web (Skype) al microblogging in tempo reale (*instant messaging*, *videochatting*, Twitter) e infine ai veri e propri fenomeni di **social networking** (Facebook);

<sup>6</sup> La lista è lunga: dalla condivisione di risorse hw e sw come Grid Computing, Asset management: DAM (Digital Asset Management), MAM (Media Asset Management) alle applicazioni e i servizi applicativi on-line condivisi tra server e client attraverso l'utilizzo di diverse tecnologie (browser, plug-in, interpreti, helper, Java Virtual Machine, Java, ecc.), applicazioni e servizi all'interno di un'architettura (Web Services) e infine Modelli di computing dinamici (website dinamici) e di business su filosofia "on demand".

- utilizzo del mobile e degli smartphone per diffusione di applicazioni (**App's**) con funzioni di georeferenziazione, di *augmented reality*, di gestione delle risorse individuali, di ibridazione con il web;
- introduzione nel mercato di ulteriori modalità di fruizione di documenti, web, grafica, basata su nuove unità tra dispositivi (cellulare, smartphone, iphone) e PC portatili, come ebook reader, tablet, ipad ecc.

Questa accelerazione della proliferazione di strutture applicative, e dei fenomeni sociali che si innestano sulle opportunità che via via si creano, ovviamente mette in luce il costante cambiamento di paradigmi comunicativi e la contaminazione tra attività, azioni ed eventi in presenza e attività, azioni ed eventi vissute online.

Non è solo lo sviluppo della multicanalità, l'approccio multidevice, ma è l'evoluzione verso la creazione di nuovi ambienti di fruizione e di dimensione cognitiva, come quelli basati su contesti ibridi, spazi in presenza e contemporaneamente online, come estensione di sé e di presenza real-virtuale, luoghi denominati **III spazio** o spazio intermedio<sup>7</sup> che aprono a contesti inediti di comunicazione, di condivisione, di esperienze e di collaborazione.

Nascono ed emergono "eventi" ibridi che valorizzano la fisicità del "qui e ora" e la rafforzano attraverso un ambiente online con cui si crea un senso di globalità e di pluralità di contribuzione e ascolto denominati in alcuni casi *performing media*.

Gli eventi televisivi con collegamenti e videoconferenze, con telefonate durante la trasmissione hanno anticipato questo fenomeno che risulta essere rafforzato quando si attivano eventi online anche con forme di contribuzione più raffinate (interattività più ricca come sondaggi in tempo reale, aggregazione di valutazioni ecc.) insomma risorse, contenuti e applicazioni utili per presentazioni e apporti strutturati, utilizzo di strumenti di collaborazione ecc.

Le aree applicative che sono influenzate da questi cambiamenti non sono solo quelle tradizionali come l'intrattenimento, l'*education*, l'informazione, la salute, i servizi al cittadino. Le utenze non sono solamente i classici *target*: forse è obsoleto anche questo termine, concepito dal marketing come un utente finale passivo che "subisce" le nostre azioni di marketing e commerciali. Non possiamo non cercare di comprendere l'evoluzione dei *social media* e l'apertura verso meccanismi nuovi di creazione e anche di distribuzione delle esperienze e delle conoscenze basate sulle forme cosiddette virali, di referenziazione data ai saperi altrui secondo criteri nuovi, ovviamente tutti da esplorare e da mettere a punto.

### **Dai modelli lineari dell'argomentazione ai modelli emo-cognitivi a rete**

Il "setting" mentale citato, evidentemente, ha una ricaduta e a sua volta è influenzato dal linguaggio. O meglio dai linguaggi (verbali e visuali), oramai sempre più presenti contemporaneamente e condizionati dalla loro forma digitale.

<sup>7</sup> Tagliagambe 2008.



**Figura 8.** Atteggiamenti e posture di fronte alla TV e al PC. Ma anche atteggiamento mentale differente che va dalla dimensione lineare data dal tempo e dalla narrazione alla frammentazione data dall'interattività e dall'ipermedialità.

Nello sviluppo dei mass-media la televisione ha assunto un ruolo di primadonna per la sua componente visuale, ma lo ha fatto ovviamente dentro la struttura lineare tipica dello scorrere del tempo, e ha sviluppato tempi, ritmi e soprattutto stili che hanno potuto valorizzare la narrazione ma al tempo stesso l'hanno ridotta spesso ad esposizione informativa o a fiction. Ha permesso di dare spazio all'argomentazione (nei talk show, nei documentari) ma ha amplificato le distorsioni mediatiche degenerate in emulazione dell'antidialettica, nell'argomentazione quantomeno lasca. Ha creato comunicazione, ma solo in una direzione.

Il Web, per contro, basato più sull'interattività e sul testo e meno sull'oralità (ripescata ora come componente multimediale), ha alla base l'elaborazione del testo, la cui struttura lineare e narrativa è ripensata attraverso l'ipertestualità. Ha messo in luce valori e limiti della frammentazione, rendendosi evidentemente complementare e non contrapposto al libro e alle forme narrative per eccellenza (cinema, teatro, scrittura romanzesca, racconti ecc.).

Il tema, oramai noto, ci rende tutti coscienti dell'equilibrio che va posto nel rapporto tra i diversi media, oramai tutti necessari e utili e tutti relativi nel contesto del nostro rapportarci con il mondo e gli altri (Fig. 8).

Su un piano più alto, abbiamo bisogno di sviluppare conoscenze attraverso la lettura e l'interpretazione critica della realtà, basata sì su nessi causali, inferenze lineari, ma abbiamo bisogno anche di esplorare e ipotizzare valutazioni anche in assenza di informazioni o con sole indicazioni scarse o poco attendibili, in presenza di elementi critici. Queste sono le capacità che ci vengono richieste sempre più frequentemente e su questo dobbiamo misurarci.

Abbiamo bisogno di interagire con gli stimoli che ci provengono dall'esterno, e allo stesso tempo abbiamo bisogno di concentrazione per arrivare in fondo alla

nostra rielaborazione mentale di quanto è di fronte a noi. E spesso dobbiamo farlo in tempi brevi, perché il tempo è la risorsa più critica. Il rapporto tra interazione e concentrazione è una frontiera che crea osmosi e che non ha un equilibrio una volta per tutte, è dinamica e dobbiamo riuscire ad evitare che si cristallizzi. Non possiamo stare sempre in piedi né possiamo stare sempre seduti, analogamente dobbiamo interagire e dobbiamo essere capaci a concentrarci, prendere coscienza, valutare, decidere. Oramai non più solo secondo criteri di ragionamento classico, ma anche attraverso schemi, tasselli di conoscenze messe parzialmente a sistema, analizzando le relazioni tra questo e quell'altro fatto. Insomma **schemi più a rete che lineari**, non solo di relazioni razionali, ma anche empatie sintonie basate sulla dimensione emotiva, su quanto definibile emo-razionale. Anche se alla fine l'esposizione per comunicare, per giustificare, per dimostrare potranno e dovranno certamente essere lineari perché immersi nel tempo e nell'argomentazione classica.

*Positioning dei nuovi media e nascita dei social media*

Per poter avere una visione di tutte queste forme emergenti, in modo sistematico o quantomeno con dei criteri condivisi, possiamo tentare di rappresentare il loro posizionamento rispetto ad alcune variabili: l'aspetto legato ai contenuti e l'aspetto relativo alle persone che partecipano al fenomeno, sia focalizzato sul soggetto individuale con la sua capacità di interagire e contribuire criticamente, sia sulla rete sociale intesa come sistema di relazioni.

Lo schema di Figura 9 quindi vuole rappresentare le tre ondate che hanno portato la comunicazione dalla dimensione di mass media a quella del web,

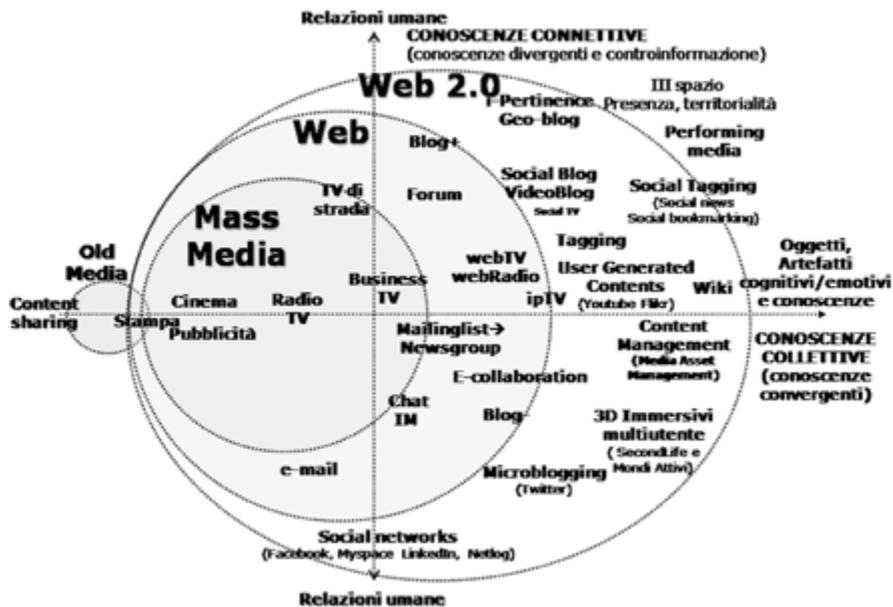
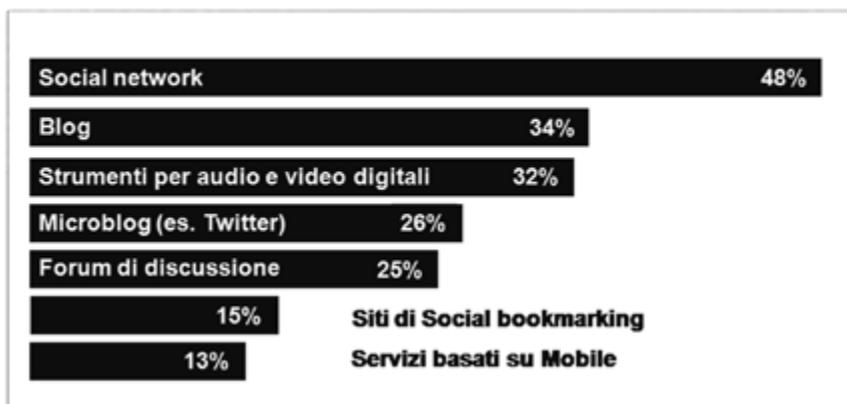


Figura 9. Schema rappresentativo delle tre ondate dei Media (mass Media, Web 1.0 e web 2.0) secondo gli assi delle relazioni umane e dei contenuti/artefatti (UniPV Corso TRC – C. Crespellani P).

**Percentuale nel mercato USA**

**Figura 10.** L'utilizzo dei diversi *social media* in una indagine del giugno 2010 in USA. Come si trasformerà in futuro questo schema, non solo in termini quantitativi, ma in termini di categorie (che si differenzieranno o/e consolideranno)? Fonte eMarketer.com

definibile di prima generazione e poi quella oramai diffusamente definita del web 2.0. Le linee di sviluppo partono da sinistra e tracciano nuovi spazi, appunto verso l'alto, verso destra, e verso il basso:

- Verso l'alto: il confronto, gli eventi definiti del III spazio e/o eventi ibridi, anche georeferenziati
- Verso destra: la produzione, coproduzione e soprattutto l'organizzazione sempre più raffinata dei contenuti
- Verso il basso: le forme sociali dell'uso della rete (in basso)

La pluralità degli strumenti e delle forme in cui i *social media* si stanno diffondendo sta incontrando e incontrerà il fenomeno del consolidamento (Fig. 10). Come esiste in biologia prima la differenziazione e poi la selezione delle razze, anche nelle tecnologie nascono, muoiono e si riproducono nicchie "biologiche", nuovi spazi che assumono dignità per vivere e convivere con altri media.

Questa attuale proliferazione ci ha portato evidentemente da uno stato passato caratterizzato da solo alcuni media, poca interattività, poche possibilità di interagire con altri soggetti a una pluralità di dispositivi, canali di distribuzione, modalità di fruizione, molteplicità di soggetti ovvero ad un contesto estremamente traboccante e sovraffollato, con grandi opportunità, ma anche con i rischi e le criticità tipiche delle realtà opulente. Come se fossimo passati dalla musica da camera all'orchestra. Il problema vero è nella musica e nelle sue modalità esecutive.

Questo aspetto evidentemente non è solo relativo agli strumenti, ai new media, ma investe anche i contenuti e in prima battuta gli stessi dati che in termini quantitativi potrebbero rappresentarli. Dico potrebbero perché è poco



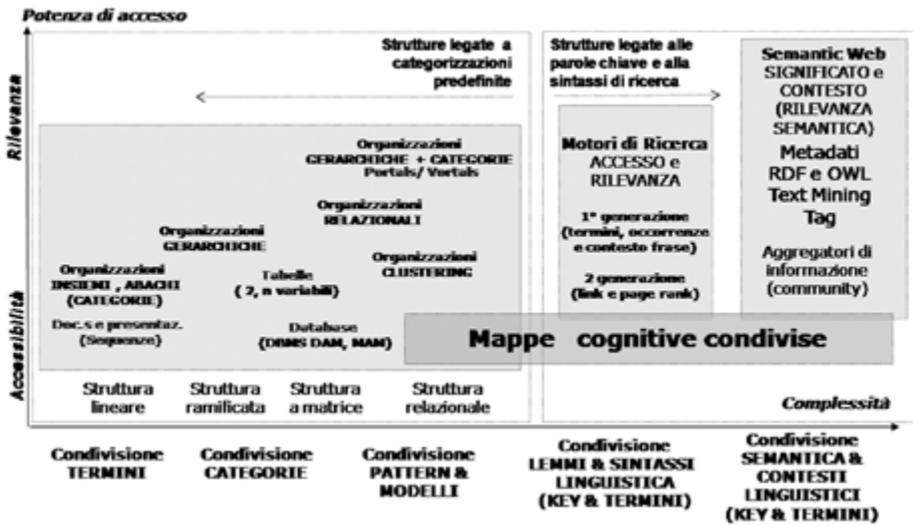
**Figura 11.** Equivalenza dei volumi dei dati prodotti nei vari periodi (dalle origini dell'uomo al 1970, dal 1970 al 2000 (30 anni) dal 2001 al 2004 (4 anni) e nei soli due anni 2005-2006 (Fonte: Ricerca della Berkeley University).

significativo il fatto che il flusso di produzione sia in crescita. Anche se è in modo molto più che esponenziale. Dalla poca informazione alla “over-informazione”: ne eravamo coscienti già alcuni anni fa, come la ricerca della Berkeley University (vedi Figura 11) ha bene rappresentato, mettendo in luce come i dati prodotti (e memorizzati) da quando esiste la scrittura al 1970 è pari a quanto si è prodotto in due soli anni dal 2005 al 2006.

Nel proprio piccolo, ognuno di noi nota quanto la natura digitale dei documenti, delle immagini fotografiche porta ad avere una crescita progressiva di produzione di oggetti e alla progressiva criticità nella fruizione e gestione. Ma il problema non è la quantità ma la qualità, la capacità di poter selezionare quanto è utile da quanto è e deve essere oggetto di oblio. Senza oblio non c'è possibilità di qualità, non c'è conoscenza e non c'è capacità critica. Forse alcune nuove tecnologie possono aiutarci a contrastare o meglio a indirizzare questo fenomeno, che sembra essere una guerra tra guardie e ladri, come anche quella tra virus e antivirus.

Ma nel nostro caso non ci troviamo ad un tavolo indipendente dal sistema di conoscenze e di soggetti coinvolti. L'organizzazione del sapere ha una scommessa importante che è sempre di approccio mentale, che deve comunque essere condiviso con gli altri soggetti.

Noi ci troviamo, oggi come ieri, a comunicare confrontandoci con gli altri attraverso la condivisione di rappresentazioni della realtà, sul piano linguistico innanzitutto, ma anche sul piano concettuale (dal senso dato ai termini, alle categorie – kantiane e non – fino alle idee), considerazioni e valutazioni tutte basate su schemi e modelli e soprattutto su categorizzazioni. La dialettica si sviluppa attraverso una progressiva messa in comune di tutto questo, perfino attraverso le ambiguità e le distanze comunicative, per dirla ricordando Jurij Lotman, che in un processo anche tra “sordi” finiscono per aiutare a compren-



**Figura 12.** L'evoluzione dell'accesso. L'aumento dell'importanza della rilevanza emerge nell'evoluzione dell'organizzazione del sapere che vede tre fasi: quella di categorizzazione tradizionale, quella dei motori di ricerca basati sulle parole chiave e quella del *semantic web* focalizzata sulla semantica e sull'organizzazione attraverso altri metodi. In ogni caso è cruciale la condivisione di mappe cognitive (UniPV Corso TRC – C. Crespellani P).

dere e scoprire l'altro. Questi concetti e categorizzazioni, veicolati attraverso la parola, sono cardini indeboliti dallo straripare delle informazioni, cioè dei dati. Se in passato avevamo come riferimento le categorizzazioni, e un unico accesso a determinate conoscenze attraverso cataloghi, indici, strutture gerarchiche, e poi risorse come i testi cartacei, oggi, dopo la rivoluzione vera del web, determinata dall'avvento dei motori di ricerca, disponiamo dell'accesso mirato e della possibilità della acquisizione e rielaborazione dei materiali testuali e visuali (Fig. 12).

Questo salto qualitativo nell'organizzazione dei contenuti che ha visto generazioni di motori di ricerca susseguirsi, è forse la rivoluzione più importante del secolo scorso. Lo sviluppo dei motori di ricerca ha visto prima la selezione delle pagine web attraverso la semplice analisi della frequenza di un testo – parole chiave che noi avevamo immesso come richiesta, poi tenendo conto di altre referenziazioni, come quante altre pagine richiamano la pagina in cui c'è la parola ricercata. Oggi utilizziamo i motori così, come un ausilio per la consultazione senza porci troppo il problema di come funzionano. I motori di ricerca sono un aiuto immenso, benchè non tengano conto dell'aspetto semantico, al più suggerendo qualcos'altro tenendo conto di cosa gli altri utenti richiedono di simile. Non è poco, ma la frontiera da superare è evidentemente quella di entrare in merito al significato, di poter accedere e soprattutto filtrare secondo criteri più consoni alle esigenze di ognuno di noi.

Ma questo comporta arricchire ogni oggetto, ogni contenuto di attributi, di metadati appunto capaci di indicizzare semanticamente quell'oggetto, quella pagina, quel contesto.



**Figura 13.** Il fenomeno del *tagging* in ambito digitale, ovvero di etichettatura di elementi, siano su testi, immagini o altro, è una prassi tradizionale che diventa uno strumento emergente di organizzazione del sapere quando si innesta in ambito digitale in rete. È interessante notare che, attraverso questo fenomeno, un'immagine ad esempio può essere referenziata per più argomenti. Nell'immagine della figura si possono attivare tag di natura diversa che fanno parte di contesti differenti: estetici, funzionali, semantici, sia particolari (es. funzionalità di singoli oggetti), sia globali (es. il senso dell'atmosfera generata).

Ecco perché alle categorizzazioni *ex ante*, progettate a tavolino (indicizzazioni, creazione di metadati, sistemi RDF<sup>8</sup> e OWL<sup>9</sup> ecc.) onerosi e difficili da realizzare, si affiancano metodi *ex post* di tipo specialistico (es.: *text mining*<sup>10</sup>) o di tipo diffuso, tipici della filosofia del web 2.0 dell'UGC che vede la contribuzione costante e diffusa degli utenti (intesi sia come singoli che come specifiche *communities*, comprese quelle degli esperti). Questi ultimi svolgono un ruolo fondamentale, non solo per l'arricchimento delle informazioni sui contenuti attraverso i tag (etichette), link e referenze, ma soprattutto perché questo insieme di relazioni e meta-informazioni referenziate determina le categorizzazioni in funzione della rilevanza da loro posta dagli utenti, perfino secondo criteri differenti. Testi, ma soprattutto immagini, pagine web, oggetti di varia natura possono arricchirsi di ulteriori metadati rispetto alla loro essenza, permettendo significati e sensi differenti, funzionalità o interpretazioni compresenti sullo stesso oggetto (Fig. 13).

<sup>8</sup> RDF Resource Description Framework è lo strumento che attraverso la codifica, scambio e riuso dei metadati strutturati permette l'interoperabilità tra applicazioni Web.

<sup>9</sup> OWL Ontology Web Language è invece uno strumento per rappresentare esplicitamente il significato dei termini con vocabolari e relazioni tra gli stessi, permettendo in prospettiva la riduzione di ambiguità e omonimie e di effettuare deduzioni dai dati.

<sup>10</sup> Il *text mining*, è un metodo basato su un insieme di tecnologie (comprese quelle di intelligenza artificiale) che permettono l'estrazione di un sapere o di una conoscenza a partire da grandi quantità di testi (attraverso metodi automatici o semi-automatici). Il T.M. può essere utilizzato tra l'altro per catalogare automaticamente grossi volumi di documenti in funzione del loro contenuto partendo da categorie prestabilite e da criteri correlati ai testi.



**Figura 14.** Le tre forme di organizzazione del sapere : per elencazioni di insiemi e categorie, per sistemi di relazione semplici come le strutture gerarchiche, per sistemi basati su modelli a rete, secondo interconnessioni e relazioni più articolate e complesse. Evidentemente ci troviamo anche con combinazioni e ibridazioni di queste forme (UniPV Corso TRC – C. Crespellani P.)

Una fotografia può essere così riutilizzata perché all'interno c'è un particolare interessante o perché crea un determinato effetto o ancora perché rappresenta uno specifico luogo. L'azione di *tagging* inoltre è alla base del cosiddetto *folksonomy*, che oltre ad essere uno strumento operativo è un modello cognitivo di categorizzazione e di interrelazione generato dagli utenti attraverso la rete.

Credo in sintesi che la vera rivoluzione posta dal web in termini di organizzazione del sapere sia rappresentabile con lo spostamento progressivo da sole forme di categorizzazioni predefinite, condivise, basate su insiemi elencabili e strutture a semplice organizzazione gerarchica, verso modelli ibridi in cui è sempre più dominante il modello a rete (Fig. 14).

Questo, ovviamente non è un argomento puramente "topologico", ma vuol sottolineare il cambiamento di paradigma anche nel modo di relazionare soggetti, oggetti, contenuti, concetti, secondo criteri di somiglianza, di similitudine, di contrapposizione, di correlazione e di associazione. Sistemi di relazione quindi poco argomentativi in senso della logica tradizionale e direi simili ai criteri di natura visuale. Stiamo ricreando una struttura semantica ricostruendo i tasselli di base, sapendo che sintassi e semantica hanno regole ben diverse della verbalizzazione tradizionale, con nuove frecce all'arco e un futuro ancora da scoprire.

## Conoscenza e apprendimento

Appare evidente che la rivoluzione in corso non è quella dell'ICT (*Information and Communication Technology*) ma quella del KM (*Knowledge Management*) e delle nuove forme di apprendimento basate sulle tecnologie.

**La molteplicità, l'eterogeneità di ogni individuo e l'ampliamento delle esperienze condivisibili, porta allo sviluppo dinamico delle comunità virtuali**

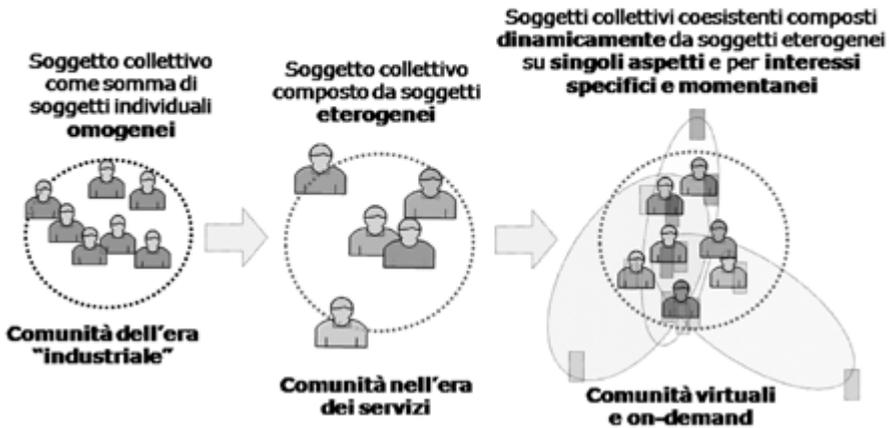


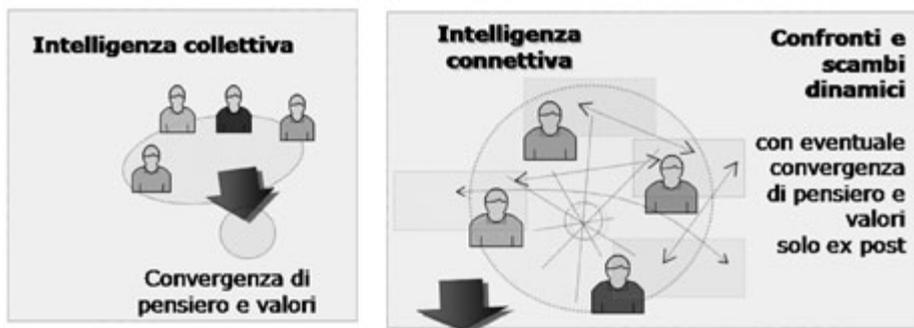
Figura 15. Le tre fasi di evoluzione del significato di comunità: nell'era industriale, dei servizi e del web (UniPV Corso TRC – C. Crespellani P.).

Non possiamo non tener conto che stiamo entrando nei processi strutturali della nostra società relativi all'istruzione, sia quella formale che quella informale e non formale, a quell'aspetto che è "la vita". Il distacco tra società, quotidianità e quanto accade nelle aule scolastiche e universitarie ci impone di osservare il fenomeno sapendo che abbiamo a che fare con ambienti di apprendimento, con artefatti emo-cognitivi, con spazi ibridi, e non semplicemente con tecnologie e contenuti tout court, in un circuito nel quale docenti, studenti, altri soggetti operano diversamente, in presenza e in rete.

Abbiamo certamente un patrimonio da preservare e abbiamo da comprendere i meccanismi dell'apprendimento e del ruolo dei diversi soggetti che intervengono nella conoscenza collettiva.

È evidente la trasformazione sociale che ha subito lo stesso senso di comunità e di soggetto collettivo (vedi Figura 15). Se nell'era industriale (e delle ideologie assolute) si poteva intendere per "comunità" un insieme omogeneo di soggetti con un pensiero unico condiviso per i quali coincideva il pensiero di una parte e dell'insieme (es. tutti gli operai sindacalizzati della FIAT), l'evoluzione ha portato verso un mercato aperto: le ideologie totalitarie lasciano il passo ad un pensiero basato su assi valoriali, nel quale si rafforza il senso di eterogeneità. Il ruolo della personalizzazione, anche per effetto dello sviluppo dei servizi, si fa strada e le comunità si configurano sempre più come insiemi eterogenei di soggetti raggruppati secondo criteri coerenti (ad es. il target di una campagna di marketing, l'audience del TG della sera ecc).

L'avvento del web e delle tecnologie recenti correlate, soprattutto del web 2.0, trasformano ed estendono il senso di comunità a soggetti composti dinamicamente sulla base di specifiche esigenze o istanze (valori e idee, se presenti, sono sempre circostanziati). Analogamente a quanto succede nelle realtà metropolitane



**Figura 16.** Dall'intelligenza collettiva all'intelligenza connettiva nella quale i singoli partecipano con la loro identità individuale. La conoscenza risulta essere il risultato di un confronto dialettico e di convergenza solo ex post. Alla base dell'intelligenza connettiva vi è quindi un nuovo modo di concepire, rappresentare e costruire la conoscenza

ibridate dal web nelle quali, come Saskia Sassen<sup>11</sup> mette bene in luce, vi sono fenomeni emergenti a livello metropolitano di "moltitudini di soggetti" che si aggregano istantaneamente nei luoghi della città, magari senza una finalità specifica ma sincronizzati dal web. Certo è che abbiamo a che fare con comunità virtuali e *on-demand* e dobbiamo osservare con occhio attento la loro evoluzione nello scenario contemporaneamente locale e globale, in presenza e online.

Analogamente l'organizzazione del sapere passa, d'altronde come il pensiero scientifico, da un percorso unitario secondo uno specifico sapere verso percorsi paralleli complementari e talvolta contrapposti, che trovano momenti di sincronia convergente o divergente. Informazione e controinformazione sono sul piano superiore espressi da conoscenze e conoscenze alternative, Il valore di questo scenario, malgrado la complessità da gestire, l'ambiguità, le criticità di varia natura, è la pluralità di visione e la ricchezza intrinseca che si viene a formare. A fianco dell'intelligenza collettiva, frutto della memoria collettiva, nasce insomma un'intelligenza connettiva, ben più complessa ma più ricca di visioni multiple, che sa convivere con altre intelligenze e che deve essere capace di fare sintesi parziali, sa e deve essere capace di mediare e di distinguere quando necessario, ma soprattutto di saper costruire progetti condivisi realizzati da maestranze eterogenee, con la scommessa della capacità di coordinamento e di tolleranza.

Questo processo evidentemente non investe solo il piano operativo e fattuale, investe contemporaneamente le forme di apprendimento, la produzione dei contenuti, la comunicazione organizzativa, la capacità decisionale. Le conoscenze si costruiscono e si condividono, le competenze si generano attraverso processi di apprendimento diversi e complementari.

Sul piano della produzione dei contenuti didattici si dovrà, per esempio, passare da realizzare un tradizionale seppur buon manuale di una disciplina scientifica o letteraria, in cui le conoscenze sono ben determinate, a situazioni più complesse, come costruire ambienti didattici popolati da artefatti emocognitivi. Non solo per le singole discipline ma orientate a saperi interdisciplinari

<sup>11</sup> Sassen 2008, considerazioni fatte al Convegno Internazionale Università di Torino.

(intersezione di più discipline, dove la relazione tra le discipline è importante quanto le discipline stesse) e trans-disciplinari (saperi trasversali che toccano la comunicazione, l'uso e la progettualità attraverso le tecnologie, le capacità di mediazione, di apprendimento ecc.).

Credo sia ovvio e perfino banale affermare che le tecnologie vanno indirizzate a sostenere questo processo attraverso lo sviluppo di applicazioni e di artefatti digitali capaci di favorire i processi di convergenza dialettica, la capacità di comunicare attraverso visualizzazioni e rappresentazioni espressive, ma soprattutto attraverso ambienti (anche applicativi) che permettano la contribuzione critica, il confronto, la sintesi, l'approfondimento. Non bastano le tradizionali applicazioni e-learning. Serve un'intera architettura di *repositories*, ambienti didattici, percorsi contributi vivi, eventi. Al suo interno possono essere ripensati e rivalorizzati i massmedia con nuovi format televisivi oggi appena abbozzati da webTV e le altre applicazioni, blog e forum di discussione.

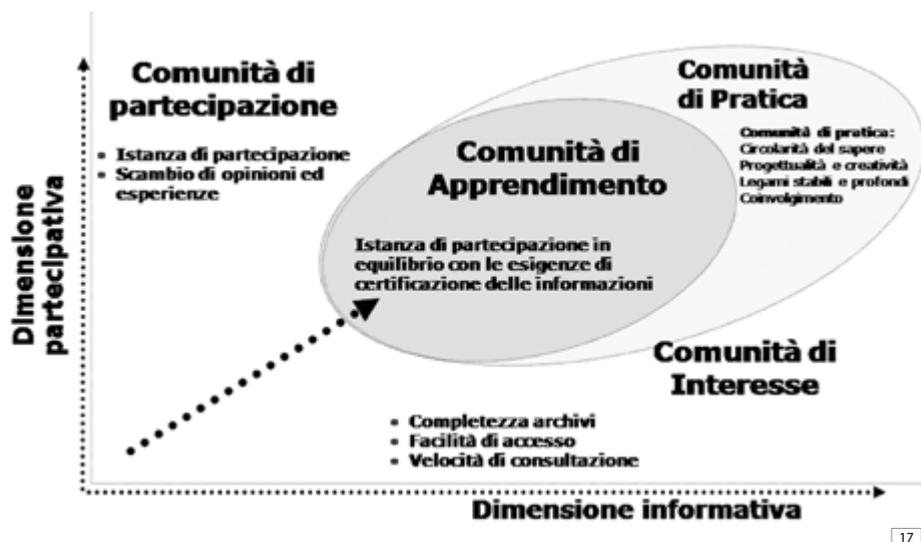
## Le diverse forme di apprendimento

Intelligenza, memoria, conoscenze, sappiamo tutti, sono patrimonio dei singoli, ma al tempo stesso sono frutto e patrimonio di una collettività con cui si interagisce e ci si confronta. L'aspetto chiave di questo rapporto individuo-collettività è nei rapporti intersoggettivi, soprattutto per quanto riguarda il trasferimento, la rappresentazione delle conoscenze e l'interazione per la produzione di nuove conoscenze.

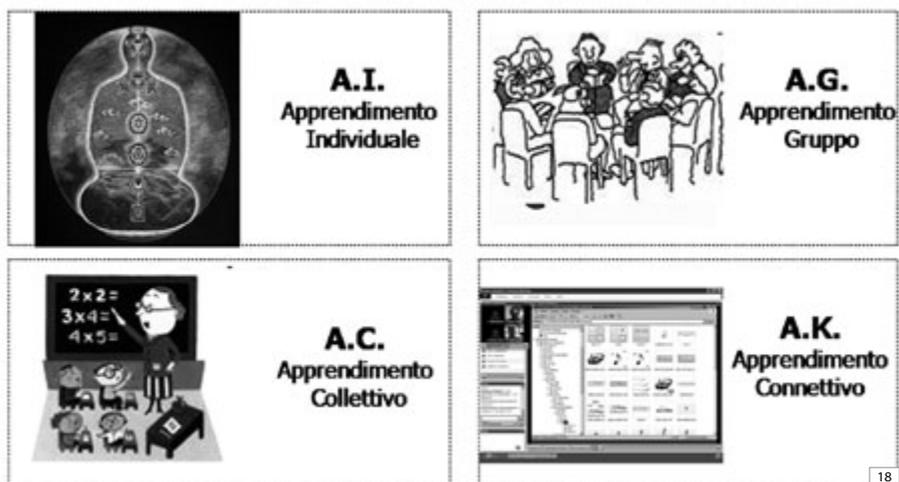
Dobbiamo dunque comprendere come l'apprendimento viene innestato, trasformato e abilitato dalle nuove forme di comunicazione e di condivisione del sapere. Credo importante tenere conto anche delle forme di apprendimento basate sui media tradizionali: verbalità, scrittura, carta stampata, televisione e mass media in genere. Essi si riposizionano nel contesto emergente anche in considerazione della sempre più presente riorganizzazione delle conoscenze e del sapere basato sulla dimensione digitale. Esempio: una lezione in presenza che diventa un video digitale, un testo che viene cercato online e si trova alla luce delle parole chiave che lo descrivono, una tesi e i *rumors* ricercati in rete.

Un primo aspetto su cui focalizzare la nostra attenzione è l'insieme dei fattori che abilitano la creazione e lo sviluppo delle comunità che apprendono e che generano apprendimento intersoggettivo. Un richiamo qui è utile è a quanto esplicitato da Stefano Miceli sulla necessità di combinare la dimensione informativa e dell'interesse con quella della partecipazione, senza la quale esiste solo trasferimento di informazioni (Fig. 17).

Si "apprende" quando "possiamo esprimere" quanto abbiamo compreso (e hanno compreso gli altri), ed anche la nostra visione e la nostra esperienza, ovvero quando possiamo elaborare ed esplicitare il nostro pensiero all'interno di una collettività che ci sa ascoltare e interagisce con le nostre ipotesi ed idee. È certamente utile anche tener conto del ruolo chiave delle **comunità di pratica** dentro cui la comunità di apprendimento è capace di abilitare la circolarità del sapere (in termini di competenze) e di alimentarla attraverso contributi individuali



17



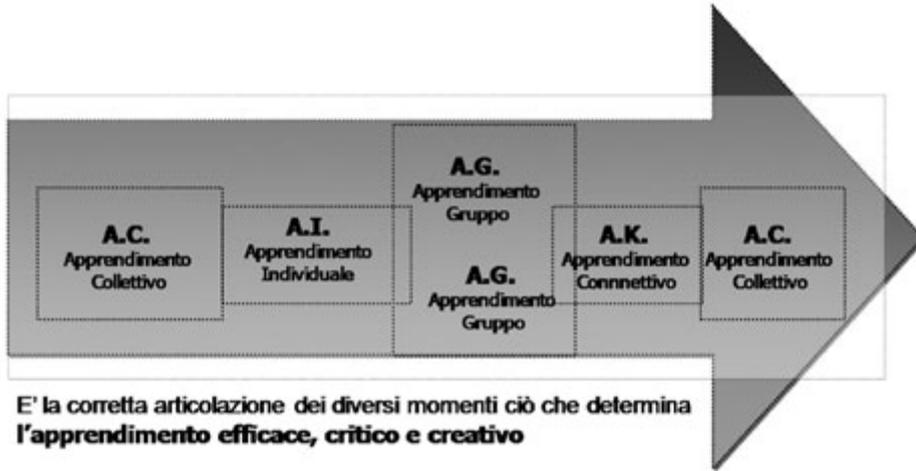
18

**Figura 17.** La comunità di apprendimento come sintesi e compresenza delle istanze informative e partecipative. La comunità di pratica come estensione di una comunità di apprendimento (elaborazione a partire da Micelli 1997).

**Figura 18.** Le quattro modalità di apprendimento: individuale (o isolato) di gruppo, collettivo e connettivo (UniPV Corso TRC - C. Crespellani P.).

e collettivi di tipo creativo. Evidentemente questo presuppone un sistema di relazioni tra soggetti capace di valorizzare i diversi contributi dati dalle persone.

Utile riferimento è anche lo schema che rappresenta i diversi contesti di apprendimento secondo quattro definizioni: apprendimento individuale, (o per certi versi e meglio definibile come apprendimento isolato), apprendimento di gruppo, apprendimento collettivo e infine uno più recente, abilitato dalle tecnologie di rete e della multimedialità, dai *social media* che potremmo chiamare apprendimento connettivo.

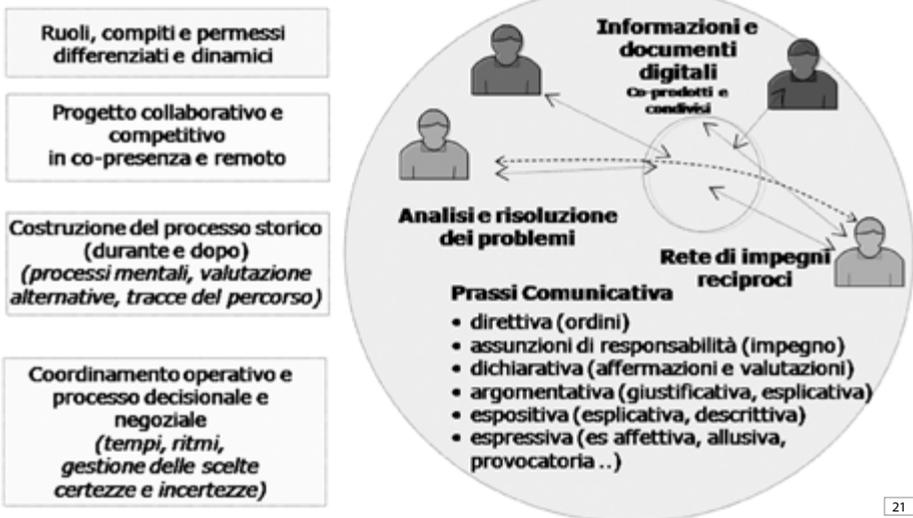
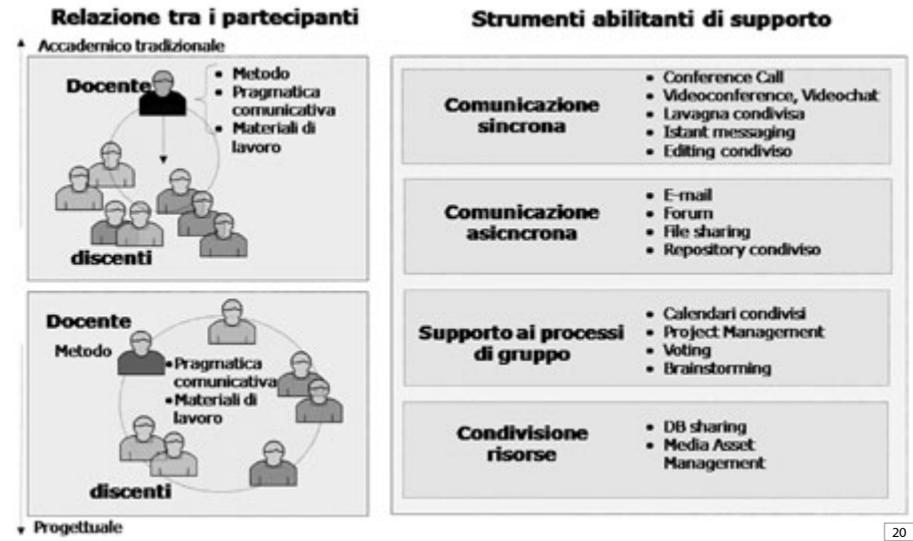


**Figura 19.** L'alternanza delle diverse modalità di apprendimento permettono efficacia, sviluppo della capacità critica e creatività.

Sarebbe utile soffermarsi sulle specificità dell'apprendimento individuale, di come sia cardine nello studio e di come sia abilitante e condizione per poter qualificare anche le altre forme di apprendimento.

E sarebbe utile anche approfondire le caratteristiche dell'apprendimento di gruppo con le sue dinamiche di interazione interna o le forme oramai consolidate dell'apprendimento collettivo, svolto attraverso lezioni tradizionali, trasmissioni televisive o eventi collettivi in presenza come anche collegati online attraverso sistemi come le L.I.M. (Lavagne Interattive Multimediali) videoconferenze o applicazioni di collaborazione. Sarebbe utile, ma probabilmente in questa sede è più importante comprendere come queste forme di apprendimento si combinano e trovano, oltre al loro contesto in presenza, nuovi spazi di sviluppo in sinergia con ciò che possiamo definire "apprendimento connettivo". Tutte queste forme evidentemente trovano la maggiore efficacia quando sono utilizzate in alternanza e in abbinamento.

Questo scenario evidentemente è abilitato dalle tecnologie che supportano l'apprendimento individuale (oltre al libro lo sono i testi elettronici, le applicazioni *e-learning*, videolezioni, audiolezioni, ecc.) ma soprattutto quelle di tipo intersoggettivo, soprattutto perché si possono innestare processi di condivisione, di tipo collaborativo e di confronto critico, abilitando rapporti docente-discente differenti rispetto al passato. Le tecnologie, quelle ad esempio di tipo collaborativo, in questo senso, hanno la doppia funzione di rendere disponibili nuove funzionalità e allo stesso tempo di **sincronizzare la collettività nell'utilizzare questi nuovi processi**, favorendo nei fatti e "praticamente" la necessaria trasformazione.



**Figura 20.** L'apprendimento collaborativo implica una relazione differente tra i partecipanti rispetto al modello tradizionale di docente e discente. Se il metodo è a carico del docente, tempi e ritmi come la pragmatica comunicativa sono guidati dall'apprendimento dei discenti che elaborano essi stessi i materiali di lavoro. Diversi sono gli strumenti di supporto relativi alla comunicazione, al supporto dei processi e alla condivisione delle risorse.

**Figura 21.** La prassi operativa.

Un esempio significativo credo possa essere osservato nell'uso proficuo dei sistemi di collaborazione nella progettazione e nelle attività di gestione di progetti e coordinamento operativo (Fig. 21).

Questo tipo di strumenti sta progressivamente portando ad abilitare processi di co-progettazione anche con gruppi ristretti per i quali il processo di apprendimento è intersecato e contaminato dalla prassi necessaria del prendere deci-

sioni, del condividere documentazione, del prendere impegni e assumersi responsabilità. Questo fatto implica la necessità di disporre di un ambiente che abiliti tutto questo, un ambiente virtuale evidentemente basato sulla dimensione digitale, capace per sua natura di gestire il tutto anche a distanza, in modo congruente e condiviso.

L'apprendimento così generato è “nei fatti”, nell'operare quotidiano ed è capace di sincronizzare risorse e persone.

Quando il numero dei soggetti aumenta, le dinamiche si trasformano e possiamo trovare nuovi contesti di apprendimento che evidentemente sono di tipo connettivo, nel senso introdotto sopra, ovvero di una pluralità di soggetti che contribuiscono non necessariamente verso un'unica visione convergente del sapere tipica dell'approccio di apprendimento collettivo, ma verso una dialettica del confronto e di sintesi parziali che dal canto loro valorizzano le differenze e permettono una visione più critica della realtà. È la distinzione tra piano conoscitivo, valutativo di coscienza da una parte e piano operativo, decisionale dall'altra, che poi ci permette di operare distintamente con finalità differenti, lasciando pluralità di visioni e al tempo stesso perseguendo la convergenza nell'operatività, convergenza che è presupposto per il coordinamento e il raggiungimento di comuni obiettivi.

### Apprendimento connettivo<sup>12</sup>

L'apprendimento connettivo è una forma emergente di approccio alla conoscenza che si basa su un mix bilanciato delle altre forme di apprendimento (individuale, di gruppo e collettiva) ma in un nuovo contesto-ambiente: quello della rete. Esso capitalizza sul ruolo sempre più significativo che la Rete ha non solo per il suo valore di interconnessione, ma per la crescente disponibilità di oggetti e di soggetti con cui interagire secondo nuove modalità e secondo comunità dinamiche e globali<sup>13</sup>.

La presenza quindi di reti, (non solo di Internet, ma anche di reti televisive, di telefonia mobile di ultima generazione, di dispositivi palmari ecc.) abilita nuovi ambienti, nuovi artefatti e nuove forme di collettività. Possono essere progettati e costruiti ambienti di apprendimento connettivo, basati sulle differenze presenti, sulla diversità di paradigmi di una moltitudine di soggetti individuali e collettivi.

Inoltre le trasformazioni tecnologiche in corso, sempre più accelerate, verso una filosofia definita *always-on* (*always connected*), portano alla rottura di alcuni elementi portanti dei paradigmi finora citati.

In particolare la dimensione dell'accesso alle informazioni, la valutazione della loro rilevanza e, la necessità di una loro interpretazione in termini di at-

<sup>12</sup> Questa sezione è ripresa dall'allegato dell'articolo “Modelli, Ambienti di Apprendimento e loro sinergie” comparso su *Education 2.0* ([www.educationeduepuntozero.it](http://www.educationeduepuntozero.it)), 28 settembre 2009, a cui si rimanda per una trattazione delle altre forme di apprendimento.

<sup>13</sup> Stiamo mettendo in luce che non c'è solo l'aspetto delle infrastrutture di rete (digitale terrestre, satellitare, reti *wireless*, web, ecc.) ma soprattutto delle infrastrutture applicative e le loro ibridazioni (televisione, voce, applicazioni web ecc.)

tendibilità, affidabilità, significatività<sup>14</sup> obbligano le comunità che si avvalgono dell'apprendimento connettivo ad avere una maggiore consapevolezza della fragilità informativa nei contesti ibridi composti da intrattenimento, *education*, informazione, pubblicità, sponsorizzazioni, news e ora sempre più relazione sociale e condivisione di esperienze (di vita, professionale, di idee ecc.).

Al tempo stesso si fa largo sempre più un luogo non più solo virtuale, ma di estensione della propria vita reale e relazionale in un contesto di condivisione di artefatti e azioni, basato sull'accesso alla rete. In questo nuovo contesto il confine della *community* non è più limitato ma è al tempo stesso condizionato dalle nuove dinamiche di privacy alterate da un diverso senso di intimità e da un confine pubblico-privato da modulare dinamicamente. Si innestano in aggiunta forme di protagonismo spinte da un desiderio spasmodico, in certi casi, di affermazione del proprio io, non solo esplicito, ma spesso anche smorzato o mascherato.

Il ruolo dell'io, soprattutto la necessità di esprimerlo liberamente (spesso ci si sente soffocati soprattutto nell'adolescenza, quando la personalità tende a svilupparsi) spinge ad utilizzare i registri informali, ovvero quelli in cui si ha la possibilità di cambiare idea e quindi di potersi confrontare liberamente. Ciò porta a trovare nell'ambiente di rete, soprattutto nei mondi virtuali, un luogo di relazione privilegiato per esprimere la propria dimensione individuale e di gruppo.

L'io di stato, l'io di credo, l'io di *look*, l'io di ruolo trovano spazi di espressione senza obbligo di coerenza, potendo manifestare la propria personalità più liberamente, in particolare l'io di *look*, essendo quello che, per i ragazzi, permette un piano di condivisione emotivamente più coinvolgente.

Su questo fenomeno si innestano con particolare interesse forme nuove di apprendimento: penso agli ambienti immersivi multiutente, legati ad approcci costruttivistici che favoriscono l'apprendimento di metaregole, legate non solo alla gestione degli spazi ma anche e in modo più significativo alla governance degli ambienti relazionali, alle regole di comportamento, rafforzando quindi le caratteristiche tipiche dell'apprendimento di gruppo.

Il rapporto tra regole formalizzate e sistemi relazionali spesso informali stimola l'utilizzo dinamico delle regole di relazione e di comportamento, modulando apprendimenti nella dimensione del fare e della dialettica spesso fatta anche di testi (benché brevi ed alquanto criptici).

L'estensione dei soggetti coinvolti può evidentemente essere molto ampia, anche se si vive in infinite nicchie di sistemi relazionali multipli. Questo determina potenziali forme di apprendimento con contributi che facilmente risultano o scarsi o troppo elevati, di qualità estremamente variabile, con caratteristiche differenti, imponendo l'attenzione alle meta-abilità necessarie per inquadrare i problemi. Analogamente, la possibilità di avere a che fare con un ampio numero di soggetti, conosciuti o meno, stimola anche a trovare soluzioni in cui le competenze e la distribuzione delle attività possano essere svolte da diversi membri.

Come per tutte le opportunità, si devono associare una serie di problematiche che devono essere indirizzate per non incorrere in una serie di controindicazioni

<sup>14</sup> Quindi la necessità di maggiore capacità critica, di comprensione del valore delle fonti e delle dinamiche ad esse correlate in termini di informazione, potere e riscontro economico.

che naturalmente affiorano durante i cambiamenti strutturali derivanti da nuovi scenari. In questo caso ci troviamo in un cambiamento (meglio estensione) di media, di artefatti cognitivo-emotivi di nuova concezione, di ambienti nuovi e ibridi (presenza online definibile come III spazio) e di ristrutturazione del modo di concepire i saperi, di organizzarli, fruirli e perpetuarli. Al tempo stesso la dimensione del tempo è frammentata e il livello di concentrazione passa per nuove regole. Si sviluppano nuove abilità legate al *multitasking*, consistenti nella capacità di svolgere più attività contemporaneamente e nel distribuire dinamicamente le proprie risorse di attenzione, ma allo stesso tempo emerge la maggiore difficoltà a raggiungere livelli alti di concentrazione, di persistenza sui problemi e di ricerca delle soluzioni. Aspetti che più che sul piano cognitivo manifestano le proprie criticità nella sfera emotiva, con il rischio di dare spazio alle paure e alla noia, all'apatia e all'insofferenza e a tutte le altre forme che, se non ben indirizzate rischiano di annichilire l'essere umano.

Ma in un'ottica certamente critica è naturale che l'uomo può affrontare e risolvere costantemente i problemi che si presentano, ed è questo fatto che determina lo sviluppo e l'evoluzione.

Le criticità emerse ricadono costantemente sul piano delle aspettative, della dimensione emotiva e del bisogno di visioni prospettiche. È qui che vanno indirizzati gli sforzi.

### **Aree emergenti: il caso del territorio e dei beni culturali**

Quando nel recente passato si sono svolte le analisi critiche del fenomeno della globalizzazione, certamente, oltre al libero mercato si è tenuto in conto dell'accelerazione dovuta all'utilizzo delle tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni. Senza di esse non si sarebbero superati spazi e tempi tipici dell'economia industriale, non si sarebbe sviluppata una sempre più efficace distribuzione di beni, servizi e informazione che la dimensione digitale della rete ha permesso.

Questo ha portato ad associare globalizzazione, tecnologie digitali e di rete in un trinomio inscindibile.

Quando si sono riscontrati anche gli effetti indesiderati della mortificazione della località e del ruolo opprimente delle multinazionali nei confronti delle specificità territoriali, è passata l'idea, in parte anche a ragione, che fossero le tecnologie il braccio armato di un modello globalizzante.

In questi ultimi anni invece emerge il valore che l'uso delle tecnologie può porre alla località e al potenziamento delle specificità e delle singolarità.

Diverse sono le aree emergenti per lo sviluppo di queste opportunità, dalle imprese di produzione di beni a quelle dei servizi, da chi si occupa di sviluppo sostenibile alle organizzazioni no profit. Tra le aree che credo più promettenti c'è quella che si occupa di valorizzazione dei beni culturali, non solo per le grandi opere ma anche per quelle che nel contesto locale possono essere messe a sistema e far parte di un network di relazioni nel territorio e anche su filoni tematici extraterritoriali. Queste opportunità si manifestano non solo sul piano della tradizionale gestione, come il supporto all'erogazione di servizi offribili, in presenza (es. audioguide) e online (portali informativi ecc.), o per l'evoluzione

delle stesse tecnologie di gestione del territorio (es. GIS) focalizzate sui beni culturali, o di nuove funzioni su mobile di georeferenziazione, magari all'interno delle di applicazioni grafiche. Si manifestano anche per la loro possibilità di innestarsi “strutturalmente e profondamente” con tutte le valenze del luogo.

Evidentemente sto parlando di quanto è fondamentale conoscere il bene, disvelarne la sua intrinseca valenza, esplorare i diversi riscontri di proprio interesse, siano essi percettivi, culturali o legati alla quotidianità, come ricevere le informazioni necessarie per poterne fruire al meglio. Sto riferendomi ovviamente, ma soprattutto a poter cogliere le opportunità di avere un'esperienza arricchita con chi sa presentarci quel luogo, attraverso chi ci permette di vivere un'esperienza più profonda e intensa attraverso installazioni, eventi, (e non solo in presenza), ricostruzioni, simulazioni. Oggi abbiamo la possibilità di ricostruire ed esplorare spazi e luoghi virtuali con tecniche di *real time*, meglio dei videogiochi, con all'interno scenari di vita passati, di simulare comportamenti, di ricostruire, di far rivivere fenomeni e poterli fruire su sistemi diversi. Possiamo correlarli a percorsi didattici. Possiamo fruirne attraverso grandi schermi o su semplici postazioni e in modo contestuale, a portata di mano, con un semplice smartphone, che presto sostituirà qualunque cellulare. Attraverso il suo semplice movimento potremo disporre di arricchimenti puntuali (non a caso si parla di realtà aumentata), attraverso informazioni e simulazioni.

Ma il mio intento non è esaltare gli “effetti speciali”, peraltro in certi casi utili e funzionali a specifiche esigenze di comunicazione e di progettazione delle esperienze fruibili. Il mio intento è focalizzarci sull'impianto delle potenzialità che abbiamo di fronte in quanto ci permette di ripensare al concetto stesso di identità e di valorizzazione di un territorio. Un bene culturale diventa così parte di un sistema di relazioni tra componenti innestati sul territorio, come altre valenze culturali, il tessuto socio-economico, le attività produttive e i servizi (mobilità, accoglienza, servizi alla persona, turismo).

Credo che in questo contesto un bene culturale vada inteso come un artefatto, combinazione di entità fisiche e correlati emo-cognitivi con cui i soggetti interagiscono, il tutto posto all'interno di un sistema di esperienze e non meno di conoscenze e valori correlati al bene e al suo territorio.

Mi pare questa la chiave per avere di esso una visione olistica e farlo diventare così un nodo chiave (come un concentratore, un *hub*) di un sistema a rete che rappresenta l'identità territoriale e il rapporto con il contesto-ambiente. Ne consegue la sua organizzazione e gestione attraverso le risorse umane e tecnologiche che mantengono e sviluppano questo nodo strategico del territorio e della cultura.

Credo che per comprendere i reali potenziali si debba tener conto delle oramai diverse forme di fruizione (in presenza e online, eventi ibridi, utenti singoli, team ristretti o gruppi, comunità diffuse). Possiamo e dobbiamo coinvolgere i differenti target (esperti, turisti, famiglie, giovani e ragazzi, scolaresche e normo dotati e diversamente abili) secondo contesti di fruizione e di coinvolgimento oramai articolati.

Aspetto importante emergente è anche l'attenzione ai diversi tipi di utenti in rapporto al loro approccio alle tecnologie: i **nativi digitali**, i cosiddetti **migranti digitali**, ovvero coloro che portati per mano sono capaci e disponibili ad utilizzare proficuamente specifiche tecnologie e i **riluttanti** a cui bisogna sempre fornire una fruizione secondo modalità tradizionali.

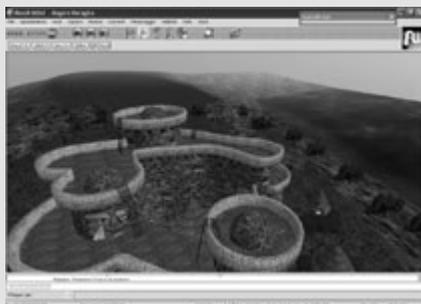
Questo aspetto, che a prima vista pare un problema è, come sempre, un'opportunità di sviluppo, di valorizzazione ed enfasi di quanto si può fare in questo campo.

Ecco a seguire uno schema (Fig. 22) che evidenzia le differenti modalità di approccio allo stesso sistema di bene culturale, tenendo conto della dimensione temporale e delle dimensioni spaziali, dell'importanza del suo inserimento in un percorso fruitivo allargato al territorio.

		Estensione temporale		
		<i>Prima e/o remotamente</i> <i>Attesa e tensione verso l'esperienza</i> <i>Pre-Tour</i>	<i>Durante la presenza</i> <i>Istanza dell'esperienza</i> <i>In Tour</i>	<i>Dopo l'esperienza</i> <i>Persistenza ed estensione dell'esperienza</i> <i>Post-Tour</i>
Estensione spaziale	Reale in presenza	<b>Circuiti e valenze territoriali</b>  <i>(Percorsi e sviluppo tematismi)</i>	<b>In fase di Circuito</b> <i>(per selezione tematismi e supporto alla mobilità informata)</i>  Navigazione territoriale e percorsi attraverso Mobile app's Percorsi illuminati e valorizzazione del paesaggio Informazioni georeferenziate con mobtag	
		<b>Percorsi di visita di un singolo bene culturale</b>  <b>(arricchito e aumentato dalle tecnologie)</b>  <i>(valorizzato dai media, contenuti e ambienti online)</i>	<b>In fase di fruizione del singolo bene culturale</b> <i>(per cognizione ed emozione)</i> <i>(comunicazione profonda e/o immersiva)</i>  <b>Postazioni con display o maxischermi</b> Installazioni artistiche e postazioni multimediali per filmati narrativi d'autore, Videointerviste e videonarrazioni su videoinstallazioni interattive (vedi foto) Postazioni di monomedialità profonda (vedi foto) <b>Audioguide</b> , sonorizzazioni e applicazioni  <b>Architetture illuminate</b> e scenografie di luce (allestimenti luminosi)  Supporto audio, video su <b>mobile</b> : informazioni., processi partecipativi georeferenziate con mobtag  <b>Art – Culture Performances</b> <i>(Eventi di Performing media abbinato all'online)</i>  <b>Ambienti immersivi multiutente</b> anche collegati o meno in Rete con megascreen per partecipazione ad eventi (es. videoconferenza, web TV, web3D)  <b>Augmented reality</b> Rappresentazioni virtuali (su mobile) con inserimento di informazioni e ricostruzioni georeferenziate  <b>Accesso e fruizione a contenuti digitali</b>	
	Online	<b>Web e mobile Informativo</b> <i>(la dimensione digitale per l'arricchimento emo-cognitivo)</i>	<b>Sistemi informativi arricchiti: website, portali tematici, repository</b> per l'accesso e fruizione di differenti contenuti digitali <b>Erogazione servizi online</b> Prenotazioni, registrazioni ecc.	
	<b>Web e mobile Partecipativo</b>  <b>(III spazio)</b>  <i>(l'estensione spaziale nel digitale che crea un nuovo contesto fruitivo emotivo-cognitivo)</i>	Promo su mobile <i>(esperienza esplorativa, interazione community)</i>	<b>Postazioni multimediali a grande schermo collegate in reti e ad applicazioni</b> <i>(esempio: con strumenti di videoconferencing, webTV o con Web3D immersivo multiutente)</i>  <b>Eventi (performing media)</b>	Arricchimenti ex post <i>(esperienza aggiuntiva, interazione community)</i>
		<b>Eventi di tipo partecipativo e ludico</b> per eventi online in presenza e/o remoti con supporto di tutor/esperti con: <i>Social Tagging, Videoblog e Geoblog</i> <b>User Generated Contents</b> <i>Giochi e giochi di ruolo, per attività ludiche e didattiche</i> Ricostruzioni di Realtà Virtuali ,Ambienti web3D immersivi e LIM <i>(l'estensione spaziale nel digitale che crea un nuovo contesto fruitivo emotivo-cognitivo)</i>		

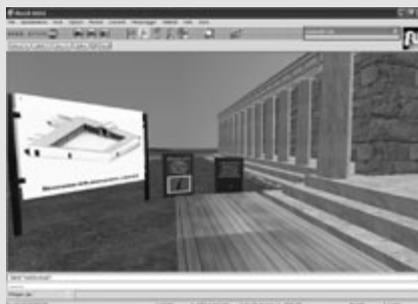
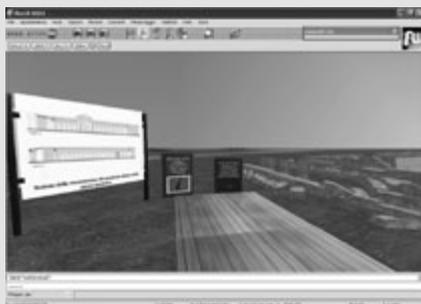
**Figura 22.** Schema rappresentante le diverse aree di possibile fruizione di un bene culturale, tenendo conto della dimensione temporale (prima, durante, dopo una fruizione in presenza) e spaziale (in presenza, online sotto l'aspetto informativo e partecipativo).

*Esempi di ricostruzioni e fruizione virtuale applicate ai beni culturali*



A. Ricostruzione virtuale dell'ipotesi originale del sito archeologico Nuraghe di Cuccurada a Mogoro (CA) secondo le indicazioni dell'archeologo Enrico Atzeni (a cura di SCI – Mondi Dinamici).

B. Ricostruzione della città di Alghero riferita al suo stato nel '600 (a cura di SCI – Mondi Dinamici).



C. Ricostruzioni virtuali del sito archeologico di Egnazia (stato esistente e originario) in Puglia (a cura di SCI – Mondi Dinamici).



D. Ricostruzioni virtuali della Domus Llado a Badalona (a cura di Dortoka Disseny).



E. Ricostruzioni virtuali del Palacio del Buen Retiro Madrid Museo del Prado (a cura di Dortoka Disseny). Notare la simulazione dell'illuminazione.



F. Esempio di quadro interattivo multimediale (*display touch screen* sensibile sulle diverse aree) utilizzato per esposizione di narrazioni ipermediali (Installazioni presso Città dell'Impresa – Distilleria di Pirri – Comune di Cagliari).



G. Sala di meditazione: Monomedialità profonda realizzata con dialoghi sonori da fruire in ambiente raccolto.

H. Sala multimediale con schermi a terra (Installazioni presso Città dell'Impresa – Ex distilleria di Pirri – Comune di Cagliari).



### Gli spazi vuoti e incolti della democrazia partecipata

Se non è abbastanza facile prevedere quali siano le evoluzioni delle tecnologie, altrettanto succede per lo scenario di evoluzione delle forme di governo del bene pubblico e quindi della stessa democrazia. Dall'avvento dell'ultima guerra mondiale abbiamo assistito allo sviluppo democratico del nostro paese e alle modalità di come la democrazia si è manifestata ed espressa.

Riprendendo alcune riflessioni di Jesús Timoteo Álvarez<sup>15</sup> sulle forme di democrazia, basate in principio sul ruolo chiave della rappresentanza parlamentare, e poi dell'influenza determinata dai mass-media, credo necessario porre l'attenzione al tema di "come" bisogna immaginare e come bisogna indirizzare gli sforzi e la progettualità delle tecnologie per supportare la trasformazione, oramai necessaria, che dia forma a nuove modalità di manifestazione della democrazia oramai in cerca di modelli post-mediatici (o meglio post mass-mediatici).

Le Figure 23 e 24 mettono in luce i cambiamenti di paradigma che si sono manifestati finora e ipotizza quelli che potrebbero manifestarsi ed essere al tempo stesso guidati dalla nostra volontà e dalla nostra capacità di uomini della società contemporanea verso un utilizzo maturo delle tecnologie di rete e delle soluzioni e servizi applicativi.

Le esperienze che si orientano verso meccanismi di democrazia partecipata, nel bene e nel male, hanno mostrato la complessità di gestire i processi decisionali ma anche l'efficacia sull'operatività dell'implementazione delle decisioni. Le azioni su cui focalizzarsi sono certamente quelle che permettono di attivare:

- l'ascolto strutturato
- la definizione dell'agenda e delle priorità

<sup>15</sup> Álvarez 2004.



Figura 23. Le forme di democrazia con i relativi elementi qualificanti (elaborazione a partire da Álvarez 2004).

- la condivisione delle analisi svolte
- l’elaborazione progettuale
- il confronto e il dibattito sulle diverse alternative
- la costruzione del consenso
- la capacità di diffusione e di controllo della collettività, oltre, ovviamente, i processi decisionali correttamente indirizzati.

Questo processo, con forti interazioni e retroazioni, necessita di avere supporti organizzativi, di gestire la condivisione dei materiali di lavoro, delle rappresentazioni e di poter contare sulle tecnologie di comunicazione e su nuove applicazioni.

Il dibattito sulle tematiche relative ai **piani strategici**, ai **piani regolatori**, ai **progetti** e al loro **inserimento urbano**, ai **servizi** e al tema sempre più importante dello sviluppo e del controllo della risorsa **paesaggio** diventa sempre più un fattore chiave per garantire una sinergia di tutti i soggetti individuali e collettivi coinvolti (*stakeholders*) e la coesione sociale.

Sempre più si manifesta la necessità di metodi e processi operativi capaci di incidere profondamente sulla catena composta dalle fasi di ascolto-progettazione-coinvolgimento-diffusione, esecuzione e infine controllo degli interventi territoriali e delle conseguenti strutture (ente locale, imprese ecc.) che trasformano lo spazio antropico e naturale. Le attenzioni alle problematiche del paesaggio giustificano, in tal senso, il crescente interesse da parte della collettività che necessita di “vedere”, di “interpretare” e di contribuire alle scelte strategiche e contingenti di trasformazione dei luoghi.

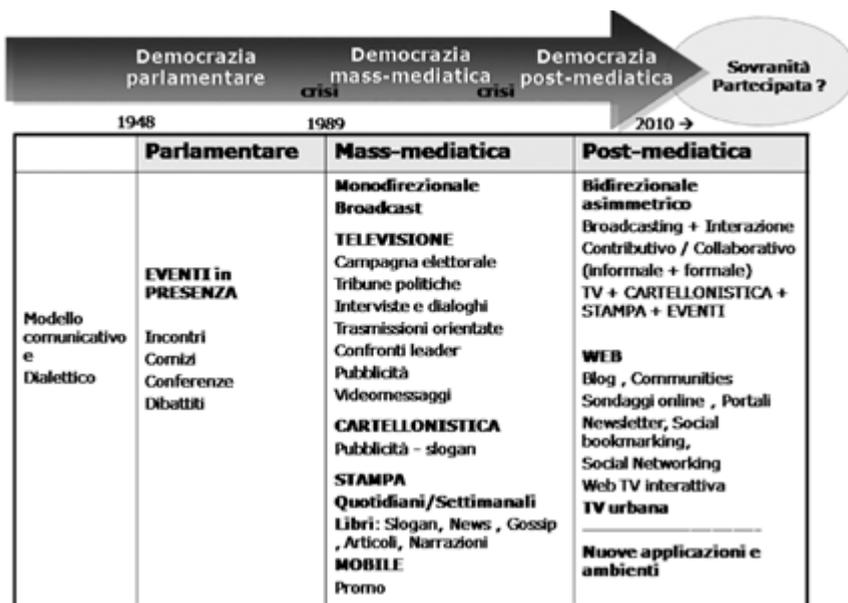


Figura 24. Le forme di democrazia con i relativi elementi qualificanti (seguito)<sup>25</sup>.

La volontà di essere proattivi nella necessaria riqualificazione delle città e dei territori, il bisogno di controllare la forma del paesaggio, attenuare l’alterazione e l’abbandono dei centri storici, limitare le tendenze al consumo delle risorse ambientali, non possono non confrontarsi con la sostenibilità dello sviluppo e devono risultare coerenti e compatibili con l’ambiente complessivo. Bisogna focalizzarsi sulla costruzione di strumenti capaci di rendere disponibili a una pluralità di soggetti (diversi in quantità e qualità) le funzioni per la propria partecipazione ad un processo articolato e complesso, che deve essere capace di indirizzare e raccogliere contributi e creare consenso e coscienza sociale. Questo è fattibile se si “progettano” applicazioni, ambienti applicativi, contesti di simulazione, se si sanno porre in essere innovative modalità di rappresentazione e comunicazione della conoscenza del territorio, che sincronizzino le decisioni, che coinvolgano e sappiano gestire tempi, ritmi che consentono di formulare scenari alternativi. È attraverso questo che il cittadino, l’operatore, il professionista, i soggetti collettivi, sia no profit, sia portatori di interesse (persino i soggetti privi di forza mediatica cui deve essere data voce) possono positivamente contribuire ai processi partecipativi (sia decisionali, sia esecutivi). Possono e devono essere alla base dell’orientamento di sviluppo del territorio, dell’indirizzo delle risorse economiche e finanziarie, delle risorse umane, del consenso così da garantire la tutela, la conservazione e lo sviluppo del territorio.

Ecco che le esperienze di intervento qui presenti (vedi scheda “Esempi di rappresentazione virtuale di trasformazioni urbanistiche”, A e B) sono esempi

di come rappresentare trasformazioni territoriali e come sviluppare dei format di comunicazione e di documentazione condivisa (vedi esempio C).

Da qui bisogna partire per creare le condizioni per rafforzare tutta la catena delle azioni di comunicazione a supporto del processo complessivo (vedi Figura 25). Ogni passaggio ha specifiche esigenze, necessita di processi di feedback e azioni mirate in presenza e online.

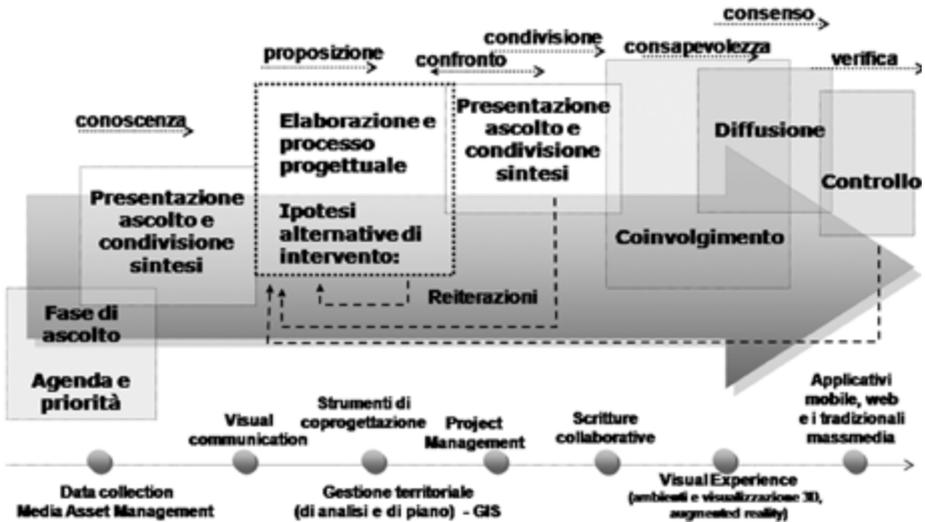


Figura 25. Le fasi di un processo di pianificazione strategica con le funzioni primarie del processo. Sotto sono indicati alcuni strumenti di supporto.

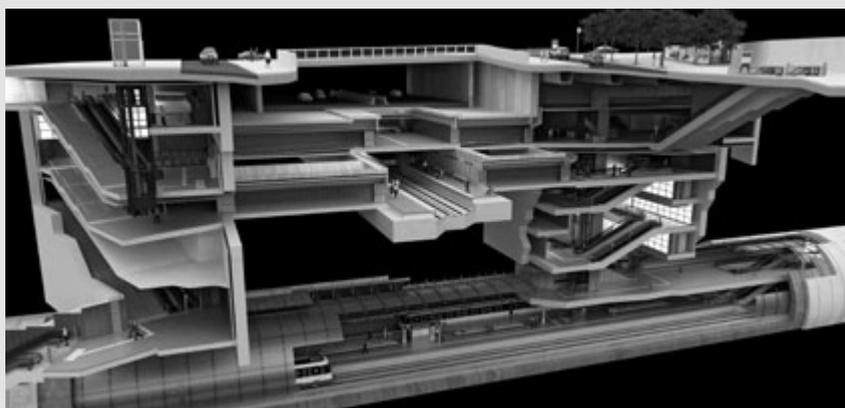
*Esempi di rappresentazione virtuale di trasformazioni urbanistiche*



A. Ricostruzione virtuale dell'intervento previsto sull'area dell'Ara Pacis a Roma (a cura della società SCI – Mondì Dinamici): format con panoramica interattiva e pianta, render del percorso virtuale della simulazione della creazione del tunnel ed eliminazione del muro ([www.mondidinamici.com](http://www.mondidinamici.com)).



B. Due scenari virtuali di stati di trasformazione di Barcellona in una ricostruzione a cura della società Dortoka Disseny.



C. Ricostruzione virtuale delle interconnessioni sotterranee relative al prolungamento della Linea 5 della metropolitana di Barcellona (a cura della società Dortoka Disseny).

### *Digital divide e la lezione dei nativi digitali*

La realtà quotidiana ci pone davanti allo strappo generazionale relativo all'utilizzo delle tecnologie che come tutti sappiamo è fattore abilitante o inibitore nella vita della società d'oggi.

Certo è che l'integrazione sociale va perseguita tenendo conto non solo della padronanza o meno dell'uso delle tecnologie, ma anche dai loro riverberi a tutti i livelli (Fig. 26). Potremo superare la barriera dell'uso delle tecnologie, e certamente con la generazione dei nativi digitali questo problema sarà risolto, ma rimarranno altri fossati da colmare.

Noi oggi abbiamo praticamente la totalità della popolazione capace di parlare la lingua nazionale, ma quanti hanno gli strumenti per accedere correttamente alle conoscenze, ai processi partecipativi, ai sistemi di relazione abilitanti?



Figura 26. L'estensione del concetto di *digital divide* su diverse altre componenti.

Anche in questo caso dovremo essere proattivi per garantire che il processo di accesso al sistema di conoscenze e di partecipazione, sempre più abilitato dalle diverse tecnologie, sia “costruito” guidato e controllato dal sistema sociale.

E questo va indirizzato seguendo le potenzialità dei giovani, di coloro che saranno gli artefici e i fruitori attivi o passivi di questo scenario.

Nessuno è escluso da questa responsabilità: non solo chi assume ruoli politici o di governo dei presidi della conoscenza, delle organizzazioni economiche e finanziarie, della ricerca o delle strutture e infrastrutture tecnologiche. Anche e soprattutto noi come cittadini, partecipiamo come tali ai processi di trasformazione della società, della conoscenza e della cultura del nostro tempo e trasmettitori di valori verso le generazioni future.

Perché le trasformazioni passano dall'alto ma sono innestate e innescate dal basso.

I giovani, in questo scenario stanno segnando il passo all'utilizzo delle tecnologie di *social networking* e ci stanno insegnando come vivere la dimensione sociale in rete.

Dobbiamo essere coscienti che sono i primi passi nell'utilizzo maturo della comunicazione in rete. Come ogni nuovo scenario esiste una fase di esplorazione delle potenzialità e dei limiti.

È evidente che c'è una forte interconnessione con le attività svolte in presenza e sempre più quanto definibile con il terzo spazio.

Si sviluppano progressivamente nuove aree applicative, funzioni e scenari di interazione, capaci di affrontare i temi che sono stati sempre al centro dell'uomo, ma che possono essere ripensati e rivissuti alla luce di quanto oggi possibile.



Figura 27. Facebook, il social network più noto

## Bibliografia

- Álvarez Jesus Timoteo, 2004, *Gestion del Poder Diluido La construction de la Societat mediatica (1989-2004)*, Pearson Pretice Hall.
- Capra Fitjof, 2001, *La rete della vita*, BUR.
- Crespellani Porcella Carlo, 2001, *L'Interruttore di Kandinsky. Il salto comunicativo tra linguaggio visione e mondo digitale*, Isola Felice e Guida Editori.
- Crespellani Porcella Carlo, 2008, "Città Testo, Città Metalinguaggio", in M. Leone (a cura di), *La città come testo scritte e riscritte urbane*, Atti del Convegno Internazionale, Torino, 19-20 maggio 2008, in *Lexia*, n. 1-2, 2008, pp. 389-410.
- De Kerchove Derrick, 2007, intervento al Convegno di Cagliari, Seminario Nazionale di Formazione sulle indicazioni per il curriculum della Scuola d'infanzia e del Primo Ciclo, DVD Ministero P.I. e USR di Cagliari, 12 dicembre.
- Di Giovanni Parisio, 2007, *Psicologia della comunicazione*, Zanichelli.
- Maciocco Giovanni e Silvano Tagliagambe, 1997, *La città possibile*, Edizioni Dedalo.
- Micelli Stefano, 1997, "Comunità virtuali di consumatori", *Economia e Management*, n. 2.
- Sassen S., 2008, Reading the City in a Global Digital Age. The Limits of Topographic Representation, in *La città come testo, scritte e riscritte urbane*, Atti del Convegno Internazionale Università di Torino, Circe editrice.
- Tagliagambe Silvano, 2005, *Le due vie della percezione e l'epistemologia del progetto*, Franco Angeli – Facoltà di Architettura di Alghero, Università di Sassari.
- Tagliagambe Silvano, 2006, *Come leggere Florenskij*, Bompiani.
- Tagliagambe Silvano, 2008, *Lo spazio intermedio. Rete, individuo e comunità*, Università Bocconi.

CARLO CREPELLANI PORCELLA

Tanenbaum Andrew, 2008, *Computer Networks*, Pearson Prentice Hall (traduzione italiana: Reti di Calcolatori).

Università di Pavia, C. Crespellani P., Corso TRC-Tecnologia delle Reti e Comunicazioni I 2005-2010, Corso di laurea in tecnologia e management dell'e-business

LEONARDO LUCCI, ANTONIO SAVINI,  
MASSIMO TEMPORELLI, BARBARA VALOTTI

## Musei, collezioni e fonti documentali per la storia delle telecomunicazioni in Italia

Le cose, su Tlön, si duplicano; ma tendono  
anche a cancellarsi e a perdere i dettagli quando  
la gente le dimentica. È classico l'esempio  
di un'antica soglia, che perdurò finché un  
mendicante venne a visitarla, e che alla morte di  
colui fu perduta di vista. Talvolta pochi uccelli,  
un cavallo, salvarono le rovine di un anfiteatro.

Jorges Luis Borges , *Finzioni*, 1944

### Meraviglia vs Storia

Ogni museo (e ogni curatore) vorrebbe possedere nelle proprie collezioni oggetti unici. Oggetti che rappresentino un passaggio fondamentale nella storia del pensiero e della conoscenza umana.

La stele di Rosetta (*British Museum*, Londra), il cannocchiale di Galileo (*Istituto e Museo di Storia della Scienza*, Firenze), la macchina a vapore di James Watt (*Science Museum*, Londra), le prime lampade di Thomas Alva Edison o il telefono sperimentale di Alexander Graham Bell (*National Museum of American History*, Washington, D.C.), ad esempio, oltre a rappresentare momenti chiave nella storia del pensiero umano, offrono grande visibilità ai musei che li conservano e al lavoro dei curatori che li studiano.

Nei sogni proibiti di chi lavora nei musei vi è dunque il miraggio di possedere e studiare veri cimeli, reliquie e rarità. In questa propensione si può leggere l'invisibile legame che lega il museo con il suo profondo passato, con quelle *Camere delle meraviglie* (*Wunderkammern*) che nel Cinquecento<sup>1</sup> hanno dato forma fisica alla fame e alla curiosità del sapere e all'interno delle quali venivano raccolti gli oggetti frutto del lavoro della natura (*naturalia*) e dell'uomo (*artificialia*) che sapevano destare meraviglia.

Per Francesco Bacone, il nuovo sapere, poi concretizzatosi durante la rivoluzione scientifica di Galileo e Newton, passava anche attraverso luoghi d'esposizione e ricerca "come può essere un palazzo atto a ospitare la pietra filosofale"<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Per esempio le collezioni dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza sono eredità di una prestigiosa tradizione di collezionismo scientifico che vanta quasi cinque secoli di storia e che si sviluppa intorno alla centrale importanza conferita dai Medici e dai Lorena ai protagonisti e agli strumenti della scienza.

<sup>2</sup> Francesco Bacone, *Gesta Grayorum*, cit. in Raimonda Riccini (a cura di), *Imparare dalle cose. La cultura materiale nei Musei*, Clueb, 2003.

La *pietra filosofale*, appunto. Conosciuta e lungamente cercata come materia perfetta e simbolo d'unicità, capace di donare l'immortalità e di trasformare la materia in oro, qui, per noi, rappresenta il simbolo di una chimera che ogni museo vorrebbe possedere per mostrare ai suoi visitatori l'unicità fatta oggetto, suscitando meraviglia e stupore.

Come per tutte le chimere, anche questo inseguimento è insensato seppur irrinunciabile, perché proprio dell'uomo e della sua natura. Questa ricerca irrazionale, però, non deve distrarre i curatori e gli studiosi che operano nei musei da un altro importante compito, quello di continuare a raccogliere e studiare gli "oggetti minori": prodotti industriali, strumenti di laboratorio, ma anche semplici oggetti di uso quotidiano che, pur non suscitando meraviglia, possono restituire frammenti importanti e peculiari della storia delle società che li hanno prodotti e utilizzati. In questo senso va letta la citazione di Jorge Luis Borges in apertura:

È classico l'esempio di un'antica soglia, che perdurò finché un mendicante venne a visitarla, e che alla morte di colui fu perduta di vista. Talvolta pochi uccelli, un cavallo, salvarono le rovine di un anfiteatro.

Lo studioso, per primo, deve "andare a visitare" gli oggetti, deve saperli leggere e interpretare come fonti storiche, anche e soprattutto quelli minori (come potrebbe essere una *soglia*), affinché le storie e i segni che portano con se non si cancellino.

Wiebe E. Bijker ha recentemente sottolineato che "le tecnologie sono create dai tecnici che lavorano da soli o in gruppo, dagli esperti di marketing che fanno conoscere al mondo i nuovi prodotti e processi e dai consumatori che decidono di acquistare o di non acquistare i nuovi prodotti e che modificano ciò che hanno acquistato, in modi che nessun tecnico aveva immaginato. Le tecnologie vengono quindi plasmate non solamente dalle strutture sociali e dai rapporti di potere, ma anche dalla fantasia e dalla partecipazione emotiva degli individui. Peraltro, le caratteristiche di questi individui dipendono anche dai condizionamenti sociali. Valori, competenze e obiettivi si formano nelle culture locali e ci consentono di arrivare a capire la creatività tecnologica anche attraverso una lettura in chiave storica e sociologica"<sup>3</sup>.

Quest'idea di costruzione sociale delle tecnologie è tanto più valida per oggetti afferenti al mondo delle telecomunicazioni. I dispositivi per comunicare, più di altri, oggi come nel passato, vengono reinterpretati dagli utenti (consumatori), stravolgendone la forma e la funzione per cui questi erano stati inventati, progettati e commercializzati.

Si pensi, ad esempio, alla nascita del *broadcasting* radiofonico. Questa applicazione delle radiocomunicazioni diffusasi negli anni Venti del secolo scorso grazie a una folta comunità di radioamatori americani e definita da Guglielmo

<sup>3</sup> Wiebe E. Bijker, *La bicicletta e altre invenzioni*, McGraw-Hill 1998.

Marconi come un'applicazione "figlia del Peccato"<sup>4</sup> diventò dominante e trasformò l'apparecchio radiorecettore da strumento tecnico a elettrodomestico, facile da usare e alla portata di tutti.

Si pensi, ancora, agli SMS (*Short Message Service*) nati come servizio di comunicazione tra operatore e abbonato e divenuti uno dei sistemi di comunicazione più utilizzati dai giovani, tanto da obbligare le aziende produttrici di cellulari a ridisegnare, a metà anni Novanta, i propri dispositivi, trasformandoli in strumenti più adatti alla scrittura.

Gli oggetti, dunque, se 'letti' con una nuova sensibilità, possono rappresentare, al pari dei documenti conservati negli archivi e nelle biblioteche, un'utile fonte storica con cui interpretare e studiare la vita degli individui e delle società del passato (anche recente). Un tale approccio è paragonabile al metodo utilizzato dall'archeologo quando cerca di trarre informazioni sui comportamenti e le abitudini sociali di una civiltà antica osservando e studiando un reperto (vaso rituale, utensile per la cucina, ecc.).

Allo stesso modo un'analisi e uno studio mirato sulle tante collezioni di oggetti afferenti al mondo delle telecomunicazioni presenti in Italia potrebbe contribuire a restituire nuovi e importanti dettagli su come si è evoluta e trasformata la nostra società negli ultimi duecento anni, dall'inizio della rivoluzione industriale.

Questo approccio potrebbe sembrare logico e scontato, tanto che Carroll W. Pursell, presidente della Society for the History of Technology (SHOT), già nel 1983 sosteneva che "lo storico della tecnologia deve occuparsi delle cose nella loro concretezza e utilizzare gli oggetti come fonti primarie"<sup>5</sup>. Tuttavia si deve registrare che nella letteratura di storia delle telecomunicazioni si trovano pochi lavori nei quali sia inserito uno studio sistematico e strutturato sull'oggetto tecnico. Questa carenza è stata messa in evidenza in un studio svolto da Joseph J. Corn pubblicato nel saggio "Imparare dalle cose è un mito"<sup>6</sup>, in cui lo storico americano ha vagliato e analizzato tutti i saggi di storia della tecnologia apparsi tra il 1983 e il 1992 sulla prestigiosa rivista *Technology & Culture*.

L'analisi mostra come "oltre la metà degli autori non tratta di oggetti: il loro interesse non verte sul progetto, la produzione, l'uso, l'impatto o addirittura la percezione dei manufatti dal punto di vista tecnico. Per lo più si occupano invece di idee, di istituzioni e politiche, anche se tali argomenti, nel campo della storia della tecnologia, non sono mai del tutto avulsi dal contesto materiale".

Corn sottolinea come anche tra quel 50% di autori che hanno preso in considerazione il manufatto per il loro studio, solo il 13% si è servito direttamente di documenti materiali (oggetti) per compiere le proprie analisi e trarre le proprie

<sup>4</sup> Il *broadcasting*, o radiodiffusione, sfrutta la proprietà di non segretezza delle comunicazioni *wireless*, limite e difetto del sistema di comunicazione inventato da Marconi, contro cui l'inventore italiano, in una logica di comunicazione "uno a uno", aveva combattuto alla fine dell'Ottocento, trovando una soluzione con il brevetto n. 7777 e l'invenzione della sintonia.

<sup>5</sup> The history of technology and the study of material culture, in Thomas J. Schlerethe (ed.), *Material Culture. A research guide*, University of Kansas Press, 1985.

<sup>6</sup> In Raimonda Riccini (a cura di), *Imparare dalle cose. La cultura materiale nei Musei*, Clueb, 2003.

considerazioni. Inoltre quasi tutti questi studi sull'oggetto si interessavano di tecnologie di epoca antica, svolta soprattutto da archeologi.

Le motivazioni della scarsità di studi sistematici sull'oggetto tecnico sono rintracciabili nella peculiare interdisciplinarietà di questo tema; chi sa leggere e descrivere l'oggetto tecnico non è portato a considerare i suoi rapporti con l'ambiente (società, industria, marketing, finanza, utenti, ecc.) e, viceversa, chi analizza le relazioni di una tecnologia sulla società spesso non ha le competenze tecniche per trattare e leggere l'oggetto come fonte storica. Inoltre l'abbondante presenza di altre fonti documentali, con cui interpretare i due secoli in oggetto, attenua l'importanza dello studio sulla cultura materiale.

Le pagine che seguono hanno lo scopo di fornire un panorama del patrimonio museale, archivistico e documentale italiano relativo alla storia delle telecomunicazioni. Il lavoro qui proposto rappresenta un primo censimento e, allo stesso tempo, uno stimolo allo studio di queste importanti collezioni, nella speranza che, nel futuro, queste fonti storiche vengano studiate e analizzate nell'ottica sopra indicata.

Il lavoro è organizzato come segue: nella seconda sezione viene fornito un elenco dei principali musei e collezioni, corredato da una breve descrizione che fornisce un'idea della quantità e della tipologia di reperti e documenti conservati; alcune delle realtà museali più significative sono trattate in maggior dettaglio. La terza sezione propone una selezione delle principali fonti di documentazione sulla storia delle telecomunicazioni. La quarta sezione è infine dedicata ad una presentazione di alcuni dei reperti storici più rappresentativi del contributo italiano alle comunicazioni elettriche.

### **Alcuni tra i principali musei, e le maggiori collezioni italiane, sulla storia delle telecomunicazioni**

Questa sezione ha lo scopo di fornire una rassegna, non esaustiva, delle principali realtà museali e collezionistiche italiane sulla storia delle telecomunicazioni. Per i musei e le collezioni più significative viene fornita una breve descrizione, anche sulla base delle informazioni presenti sui siti web ad esse dedicate.

#### *Museo della Radio e della Televisione, Torino*<sup>7</sup>

A Torino, presso il Centro di Produzione della RAI, ha sede il Museo della Radio e della Televisione, un museo aziendale che raccoglie circa 1200 cimeli, costituiti da materiali e apparati tecnico-professionali e di uso domestico.

La sala che ospita il Museo è dedicata alla memoria del torinese ing. Enrico Marchesi, pioniere della radiofonia italiana e primo presidente dell'EIAR, e si trova inserita all'interno del contesto produttivo del Centro di Produzione Televisivo e Radiofonico della RAI in via Verdi.

<sup>7</sup> Centro di Produzione RAI, sala Enrico Marchesi, Via Giuseppe Verdi 16, 10124 Torino, <http://www.rai.it/dl/portali/site/page/Page-e79849ae-d58e-4afe-9fd4-8dd9a55d9866.html>.

L'unicità della collezione risiede nel suo essere la collezione della RAI, strettamente collegata al patrimonio degli archivi e della storia aziendale, e quindi insostituibile testimonianza della storia sociale e dell'evoluzione tecnologica del Paese.

Il materiale esposto è suddiviso secondo un percorso cronologico, dal telegrafo alla TV Digitale, che mira ad evidenziare l'evoluzione delle varie aree della comunicazione (radio, TV, registrazione, telefonia) a partire dall'800 fino alla "convergenza" attualmente in atto resa possibile dalla rivoluzione digitale.

Gli apparati utilizzati da Marconi per l'esperimento della "telegrafia senza fili", il trasmettitore ad arco Poulsen con il microfono ad acqua, le radio a galena, gli antichi apparati a tubi elettronici, altoparlanti a collo di cigno, registratori audio a filo e nastro d'acciaio, il primo microfono della radiofonia italiana, televisori meccanici a disco, l'incisore di dischi fonografici possono essere ammirati prenotando telefonicamente.

Il primo progetto per la creazione di un Museo della Radio risale al 1939: sede del museo doveva essere Torino per l'impulso dato dall'EIAR (Ente Italiano Audizioni Radiofoniche), società che proprio in Torino aveva la Direzione Generale e il Laboratorio Ricerche. Il progetto, non realizzato a causa degli eventi bellici, fu ripreso solo negli anni tra il 1965 e il 1968, quando una commissione di esperti, tra i quali l'ingegner Banfi, già direttore tecnico dell'EIAR, raccolse oggetti e documenti pensando di collocarli nello storico palazzo aziendale di via Arsenale 21. Tuttavia, nemmeno questa volta il progetto si realizzò e il materiale trovò una sistemazione provvisoria presso il Centro di Produzione della RAI di via Verdi, 16; nel 1980 una parte dei cimeli conservati venne collocata in alcune vetrine dell'atrio d'ingresso. Solo nel 1984, grazie all'opera di un funzionario della RAI, Romeo Scribani, primo curatore del Museo, in occasione della mostra *La Radio, storia di sessant'anni: 1924-1984*, la collezione venne finalmente esposta al pubblico.

La raccolta, ordinata, restaurata e ampliata trovò una sede espositiva permanente nella sala "Enrico Marchesi" del Centro di Produzione RAI di Torino: l'apertura periodica al pubblico ebbe inizio nel 1993.

### *Il Museo Storico delle Poste e Telecomunicazioni, Roma*<sup>8</sup>

Il primo atto che segna la nascita del Museo storico risale al 1878, quando Ernesto D'Amico, Direttore Generale dei Telegrafi d'Italia, dispose che presso l'Ufficio Tecnico dei Telegrafi di Firenze si cominciassero a raccogliere apparati e materiali telegrafici provenienti dagli "Officii telegrafici" degli antichi Stati Italiani e caduti in disuso dopo l'unificazione del Regno d'Italia.

Il 26 dicembre 1890, con apposita circolare, Il Ministro Pietro Lacava, titolare del Ministero delle Poste e dei Telegrafi, avvertendo l'esigenza di fondare un museo dedicato alla Posta e di affiancarlo a quello telegrafico, impartì le direttive

<sup>8</sup> Museo Storico delle Poste e delle Telecomunicazioni, Viale Europa, angolo V.le C. Colombo, 00144 Roma EUR, <http://www.bibliocomunicazioni.it/museo/>.

per l'organizzazione e la classificazione di tutti gli oggetti atti a testimoniare, nel corso dei tempi, l'evoluzione della storia delle "comunicazioni" particolarmente collegate allo sviluppo della società ed al progresso della tecnica.

L'On. Emilio Sineo, chiamato, nel 1897 a reggere il Dicastero delle Poste e dei Telegrafi, continuando l'opera del predecessore Lacava, apportò un sostanziale incremento all'attività museale sviluppando nuove accessioni, acquisizioni, donazioni da parte di privati, che, nel corso del tempo, hanno contribuito alla formazione di un patrimonio di notevole rilevanza storica.

Al primo nucleo del Museo Storico delle Poste e telecomunicazioni accanto ai cimeli telegrafici si aggiunsero dunque tutti gli oggetti necessari per il buon funzionamento della Posta con particolare preferenza a quelli appartenenti alle Amministrazioni dei vari stati prima del 1860. Quindi accanto agli apparati di trasmissione troviamo divise, punzoni, bolli, sigilli, placchette distintive, cassette d'impostazione ecc.

Tutti questi oggetti hanno un importante valore storico e costituiscono, a confronto con i mezzi usati nei moderni uffici postali, la testimonianza dell'evoluzione scientifica dell'universo postale e filatelico.

Dal dicembre 1899 fu direttore della Biblioteca del Ministero e conservatore del Museo storico delle poste, Emilio Diena, che mantenne questo incarico fino al 1935. Molto significativa è l'opera svolta dall'illustre filatelista, di fama internazionale, che si occupò attivamente del riordino e della classificazione dell'intera consistenza patrimoniale e, in particolare, curò le raccolte e le collezioni dei francobolli, italiani ed esteri, dei saggi, delle prove di colore, di bozzetti, unici originali esistenti, in raccolte organiche, che, a partire dal 1911 continuano ad implementare un patrimonio apprezzato sia dai collezionisti filatelici che dai visitatori italiani e stranieri.

Nel 1899 durante l'esposizione "Voltiana" organizzata a Como per celebrare Alessandro Volta nel primo centenario dell'invenzione della pila, si sviluppò un violento incendio che distrusse molti cimeli tra i quali i molti apparati telegrafici inviati appositamente per l'evento dall'Amministrazione delle Poste.

Nel 1907 l'Istituto Superiore delle Poste e dei Telegrafi assunse la gestione del Museo Telegrafico trasferendo i cimeli telegrafici presso la sede di Roma.

Nel 1939 per la custodia e la conservazione dei cimeli riguardanti il Museo Postale vennero individuati alcuni locali presso l'Ufficio Postale di Roma Prati.

Ma fu solo nel 1959 dopo il lungo periodo bellico che venne finalmente inaugurato e aperto al pubblico il "Museo delle Poste e delle Telecomunicazioni" in occasione della giornata del francobollo del 21 giugno 1959.

Il Museo con il passare degli anni accrebbe notevolmente la consistenza patrimoniale grazie ad una lunga serie di acquisizioni e donazioni; quindi si rese necessario il trasferimento presso una sede più ampia. Fu deciso perciò nel dicembre del 1977 di trasferire il Museo delle Comunicazioni nella sede del Ministero - Viale Europa 160 Roma EUR - dove venne inaugurato il 20 febbraio 1982.

Il Museo storico delle Poste e Telecomunicazioni assolve una funzione eminentemente storica e culturale al servizio della società. Oltre alla conservazione e tutela del patrimonio postale e delle telecomunicazioni, promuove

finalità didattiche e di implementazione delle raccolte. Espone cimeli, curiosità, rarità e oggetti di grande valore. a testimonianza delle molteplici attività della “comunicazione” nel corso della sua evoluzione.

Il Museo Storico del Ministero delle Comunicazioni fa parte dell’Ufficio II° Relazioni esterne, rapporti con l’utenza del Segretariato Generale. Il Museo consta di 4 mila metri quadri con oggetti, cimeli, francobolli della storia nazionale del servizio postale e delle telecomunicazioni. Oltre ai cimeli storici relativi alla Posta, il museo raccoglie fondamentali reperti della storia del telegrafo, della radio, del computer e della televisione.

Il patrimonio del Museo storico delle Poste e delle Telecomunicazioni comprende materiale di rilevanza storica e culturale, reale testimonianza della storia della posta, del telegrafo, telegrafia senza fili e televisioni.

Il Museo espone il materiale in apposite vetrine e sale attrezzate, i numerosi cimeli, oggetti vari e documenti di epoche diverse, relativi all’universo delle comunicazioni dall’esordio ai giorni nostri.

La raccolta di oggetti vari è costituita da circa 3200 pezzi tra materiale postale, telegrafia, radio e televisione.

I documenti storici e le bibliografie sono oltre 4000

L’Archivio storico custodisce documenti, bibliografie, fotografie e carte geografiche. Si tratta in particolare di documentazione relativa agli Antichi Stati Italiani, allo Stato Pontificio, al Regno d’Italia e Terre redente.

Di particolare interesse sono i cimeli marconiani. Da segnalare la ricostruzione fedele della cabina del panfilo Elettra, con reperti originali recuperati dopo l’affondamento avvenuto nel secondo conflitto mondiale.

Ad arricchire il patrimonio museale contribuiscono raccolte di grande pregio storico-artistico, come la collezione Mazza che offre uno spaccato, quanto mai interessante anche sotto il profilo estetico, di oggetti dedicati alla posta e al suo contesto.

### *Fondazione Guglielmo Marconi, Sasso Marconi, Bologna<sup>9</sup>*

Da un punto di vista storico, la Villa Griffone, sede dei primi esperimenti di radiotelegrafia svolti da Marconi a fine Ottocento, merita un discorso approfondito.

Monumento Nazionale e sede della Fondazione Marconi dal 1938, la Villa ospita il Museo Marconi, dedicato alle origini e agli sviluppi delle radiocomunicazioni, inaugurato nella sua veste attuale nel 1999. Grazie all’integrazione di apparati storici, ipertesti, filmati e dispositivi interattivi, il visitatore ha la possibilità di ripercorrere le vicende che hanno caratterizzato la formazione e la vita dell’inventore con un’attenzione particolare per il periodo che va dal 1895 (primi esperimenti di telegrafia senza fili) al 1901 (lancio del primo segnale radio attraverso l’Atlantico).

<sup>9</sup> Museo Marconi – Fondazione Guglielmo Marconi, Villa Griffone, Via Celestini 1, 40044 Pontecchio Marconi, Bologna, <http://www.fgm.it>.

Il museo ospita una serie di accurate ricostruzioni funzionanti di apparati scientifici dell'Ottocento (Collezione Maurizio Bigazzi) collocate in diverse isole espositive dedicate ad alcune tappe fondamentali della storia dell'elettricità, ai precursori della storia della radio, alle applicazioni marittime dell'invenzione marconiana. Proseguendo nel percorso, il visitatore è accompagnato attraverso alcuni fondamentali sviluppi delle radiocomunicazioni nel XX secolo, in particolare il passaggio dalla radiotelegrafia alla radiofonia e alla radiodiffusione. In mostra sono inoltre presenti interessanti documenti relativi alla formazione di Guglielmo Marconi (esposti nella celebre "stanza dei banchi") e alla sua attività di imprenditore nella Compagnia che egli fondò nel 1897 e che tuttora porta il suo nome.

Recentemente il Museo e la Fondazione Marconi hanno lanciato un progetto denominato "Marconi Network", di cui è partner l'AIRE (Associazione Italiana per la Radio d'Epoca), che ha come finalità la creazione di una rete di musei e collezioni sulle radiocomunicazioni che permetta un dialogo costante tra le tante realtà di straordinario interesse collocate sul territorio nazionale.

Un primo elenco di collezioni e musei coinvolti nella "rete" testimonia la vastità del patrimonio italiano nel settore TLC:

- Ancona – Museo della Marina (Collezione Filippo Pacelli)
- Arezzo – Museo dei Mezzi di comunicazione (Collezione Fausto Casi)
- Bologna – Museo della Comunicazione e del Multimediale G. Pelagalli
- Catania – Collezione Francesco Romeo
- Cison di Val Marino (Treviso) – Museo Comunale
- Colferro (Roma) – Collezione Francesco Cremona
- Imperia – Museo della Comunicazione (Collezione Angelo Sessa)
- Verona – Museo della Radio di Alberto Chiantera
- Vimercate – Collezione Dino Gianni

### *La Collezione Cremona: Storia e Tecnologia della Comunicazione*<sup>10</sup>

La Collezione Cremona è affiliata alla Fondazione Guglielmo Marconi ed è segnalata nelle edizioni dal 1998 al 2002 nel settore Scienza e Tecnologia de *II Guinness dei primati*. Essa nasce nell'immediato dopoguerra per iniziativa del gen. Francesco Cremona con una prima raccolta di residuati bellici; successivamente si arricchisce con l'acquisizione degli apparati posti fuori servizio dagli stessi utilizzatori in conseguenza della rapida innovazione tecnologica; in seguito la collezione si è arricchita grazie a reperti forniti da antiquari, rigattieri e scambi tra appassionati collezionisti.

Oggi la Collezione, articolata in 25 sezioni tematiche, consta di oltre 1000 strumenti e cimeli di varie nazionalità. Plastici e stampe ne completano la

<sup>10</sup> Collezione Cremona – Mostra espositiva di apparecchiature storiche per le Telecomunicazioni, Museo Civico di Colferro, Via degli Esplosivi 3, 00034 Colferro (Roma), [http://www.comune.colferro.rm.it/Collezione\\_Cremona.htm](http://www.comune.colferro.rm.it/Collezione_Cremona.htm).

parte più antica e preistorica, mentre la 26-esima sezione, che comprende una vasta raccolta di testi, video VHS, trasparenze, manuali tecnici e materiale vario (per un totale di oltre 1170 documenti), ne valorizza la sua esclusività.

Le varie sezioni illustrano, passo dopo passo, l'evoluzione dei mezzi di comunicazione per la trasmissione delle idee e delle informazioni: dai "Segnali di Fuoco" del periodo greco-romano alla "Telegrafia Ottica" del periodo napoleonico, dalla "Telegrafia Senza Fili" di Guglielmo Marconi all'impiego della radio nella Difesa e nei Servizi Segreti, dai Ponti Radio ai Sistemi di Radioassistenza alla Navigazione.

La Collezione, unica per vastità, rarità e diversità dei cimeli, ha già avuto numerose occasioni di esposizione totale o parziale in Italia e all'estero, di cui vengono citate qui di seguito alcune delle più significative: l'esposizione dal giugno all'agosto 1974 presso il Museum of Science and Industry di Chicago, l'esposizione del dicembre 1987 a Palazzo Venezia di Roma, l'esposizione del settembre 1992 al Marconi International Fellowship (New York), l'esposizione dal dicembre 1993 al marzo 1995 presso il Museo delle Navi Romane al Lago di Nemi, sotto l'alto patronato del Presidente della Repubblica, l'esposizione del novembre 1995 presso il Palace of Fine Arts di San Francisco, l'esposizione dall'ottobre 1995 al febbraio 1996 al Monumento del Vittoriano a Roma, sotto l'alto patronato del Presidente della Repubblica, l'esposizione da ottobre a dicembre 1996 presso il Museo Tecnologico di Salonicco, l'esposizione del dicembre 2001 al Museo Civico di Colferro sotto l'alto patronato del Presidente della Repubblica.

Gli oggetti della Collezione Cremona sono attualmente esposti al Museo Civico di Colferro, Roma.

### *Le telecomunicazioni nel Museo della Tecnica Elettrica di Pavia<sup>11</sup>*

La Collezione SIRTI, oggi depositata nel Museo della Tecnica Elettrica di Pavia, rappresenta un passaggio fondamentale per tracciare la storia della tecnologia delle comunicazioni.



**Figura 1.** La macchina crittografica "Enigma" a 4 rotori era l'apparato utilizzato dalle forze armate tedesche durante la Seconda Guerra Mondiale per la trasmissione in codice di documenti segreti.

<sup>11</sup> Museo della Tecnica Elettrica, Università di Pavia, Via Ferrata 3, 27100 Pavia, [www.unipv.it/museotecnica/](http://www.unipv.it/museotecnica/).

La Collezione ha avuto origine alla fine degli anni 70 del secolo scorso per iniziativa di illuminati e appassionati dirigenti della Società SIRTI, costituita nel 1921 per sviluppare la telefonia in cavo in tutto il paese. In quasi novant'anni di attività SIRTI ha operato in diversi campi delle telecomunicazioni: dalle linee aeree ai cavi sotterranei, dalle centrali di commutazione agli impianti di telematica, dai ponti radio ai collegamenti satellitari. La Collezione, originata dal desiderio di conservare testimonianza tecniche dell'attività della Società, in realtà documenta quasi tutte le tecniche impiegate nelle telecomunicazioni in quasi cento anni e si contraddistingue per la sua organicità e per il fatto di comprendere non solo singoli strumenti e apparati ma addirittura interi impianti.

Inaugurata nel 1985, la Collezione è stata esposta a Cassina de' Pecchi, nell'area milanese, fino al 2001, quando fu trasferita a Pavia nel Museo della Tecnica Elettrica, appena nato. Nel 2000, infatti, a conclusione delle celebrazioni per il bicentenario dell'invenzione della pila elettrica, un accordo di programma tra l'Università e altri enti territoriali poneva le basi per la realizzazione di un Museo che illustrasse gli sviluppi dell'invenzione della pila nei successivi due secoli.

Il Museo di Pavia, inaugurato nel marzo del 2007, ha quindi un orizzonte assai vasto che comprende la storia dell'elettricità nelle sue applicazioni (energia e comunicazione). Degna di segnalazione, tra l'altro, nel Museo che si ispira ad Alessandro Volta, è la collezione storica di pile depositata presso il Museo dagli eredi di Franco Govoni.

Parte della Collezione SIRTI, la cui consistenza raggiunge i 5000 reperti, è esposta nella grande sala del Museo aperta al pubblico. La restante parte è allestita in una sala adiacente visitabile solo su richiesta.

All'interno della Collezione, particolarmente nota e apprezzata anche all'estero è la sezione dedicata ai telegrafi e ai telefoni. Quasi trecento apparecchi telefonici illustrano la storia della telefonia dalle ultime due decadi dell'Ottocento fino ai giorni nostri.

Il Museo della Tecnica Elettrica è anche dotato di una ricca Biblioteca storica che comprende, tra l'altro, la Biblioteca tecnica di SIRTI.

Presso il Museo opera anche il Centro di Ricerca per la Storia della Tecnica Elettrica il quale svolge una vivace attività di promozione della cultura scientifica e tecnologica, sviluppando studi e organizzando eventi. Nel 2009, tra l'altro, ha collaborato alle celebrazioni per il centenario del conferimento del Premio Nobel a Guglielmo Marconi realizzando il Progetto Marconi09 costituito da una mostra e da una serie di conferenze collegate.

### *Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci, Milano<sup>12</sup>*

Il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia (allora Tecnica) Leonardo da Vinci nasce il 15 febbraio 1953, per iniziativa dell'industriale e studioso Guido Ucelli di Nemi. Il Museo è intitolato a Leonardo, simbolo della continuità tra

<sup>12</sup> Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia, Via S. Vittore 21, 20123 Milano, <http://www.museoscienza.org/>.

cultura scientifico-tecnologica e artistica. Oggi è il più grande museo tecnico-scientifico in Italia e uno dei protagonisti della scena culturale in Europa.

Nel corso della sua storia, il Museo ha raccolto e valorizzato oggetti, macchine e testimonianze per documentare lo sviluppo scientifico e tecnologico, con particolare riferimento alla storia del nostro Paese. Le collezioni – con oltre 14.000 oggetti – e i laboratori interattivi (i.lab) – basati sulla metodologia dell’educazione informale – sono organizzati in sette Dipartimenti: Materiali, Trasporti, Energia, Comunicazione, Leonardo Arte&Scienza, Nuove Frontiere, Scienze per l’Infanzia.

Oggi il Museo si presenta come un laboratorio di sperimentazione e innovazione per progetti culturali e processi gestionali e un luogo di dialogo tra la comunità scientifica e i cittadini, in cui si propongono esperienze nelle sezioni che espongono oggetti storici, attività nei laboratori interattivi, eventi scientifici, mostre temporanee, corsi di formazione, spettacoli teatrali, conferenze rivolti a cittadini, istituzioni, aziende.

La sezione espositiva “Telecomunicazioni” presenta la storia degli strumenti per comunicare a distanza dai pali ottici di fine ’700 alle fibre ottiche. Integrando la dimensione storica e quella sperimentale, con un approccio di forte interdipendenza tra spazio e contenuto, il tema affrontato viene contestualizzato grazie ad un apparato interpretativo che accosta oggetti storici, documenti, testimonianze, testi, suoni, immagini, video, multimedia, exhibit e altri dispositivi interattivi, offrendo la scoperta del passato, uno sguardo critico sul presente e la visione sul futuro.

I temi legati a telegrafo, telefono, radio e televisione vengono approfonditi attraverso aree espositive dedicate. Una prima sala permette di ripercorrere la storia del telegrafo e di scoprire il passato e il presente del telefono, anche grazie alla presenza di alcuni rari cimeli come il pantelegrafo di Caselli e i telefoni di Meucci. Viene poi analizzato il concetto di rete, struttura fondamentale per poter collegare più utenti. Grazie agli apparati originali con cui Marconi ha iniziato gli esperimenti di radiotelegrafia, si può poi approfondire il tema della ricezione radio. Piccoli impianti amatoriali, impianti pubblici di stato e lo studio di un’emittente radio privata presentano il tema della trasmissione radio. La sezione si completa con l’area dedicata all’evoluzione delle tecnologie televisive. Il viaggio attraverso le tecnologie si apre quindi alle più recenti trasformazioni, che hanno visto convergere i media verso il mondo digitale dell’*Information and Communication Technology*.

### *Archivio Storico Telecom Italia, Torino*<sup>13</sup>

I principali fondi dell’archivio storico Telecom Italia provengono dai patrimoni documentali di due grandi gruppi industriali italiani, il Gruppo elettrico SIP e il Gruppo telefonico STET-SIP.

<sup>13</sup> Archivio Storico Telecom Italia, Via Tripoli 94, 10137 Torino, <http://www.fondazionetelecomitalia.it/archivio.html>>.

La consistenza quantitativa delle sezioni che formano l'archivio dà chiaramente la dimensione della sua rilevanza.

L'archivio documentario, costituito attualmente da 23 fondi schedati, include più di 19.000 unità archivistiche, per più 1300 metri lineari. Altri fondi sono attualmente in fase di schedatura, per circa 144 metri lineari. Le carte più antiche risalgono alla fine dell'Ottocento, le più recenti alla fondazione di Telecom Italia. Il recente versamento proveniente dall'ex archivio ASST di circa 6000 metri lineari di documentazione è un più che significativo arricchimento. Le carte dell'ex Azienda di Stato per i Servizi Telefonici (ASST) sono in via di inventariazione.

L'archivio iconografico contiene circa 64.000 immagini. La parte inventariata, suddivisa in 26 fondi, raccoglie circa 20.000 immagini tra stampe fotografiche, negativi e diapositive provenienti in larga misura dalle riviste aziendali "Cronache dal Gruppo" (STET) e "Selezionando" (Stipel e SIP).

La biblioteca comprende circa 3850 volumi, che vertono soprattutto sulla storia delle telecomunicazioni italiane e straniere.

L'emeroteca conserva 38 testate di riviste aziendali di società collegate alla storia della SIP, della STET e di Telecom Italia, e circa 800 testate del fondo ASCAI (Associazione per lo sviluppo delle comunicazioni aziendali in Italia): 679 sono testate di riviste aziendali di società italiane, 91 sono testate di riviste aziendali di società straniere.

La sezione audiovisivi possiede filmati e video aziendali su supporti vari (pellicola, Betacam, VHS e altro), che riguardano materiale per la formazione del personale, la comunicazione d'impresa e la pubblicità di prodotti e servizi. I documenti più antichi risalgono al periodo precedente la Seconda Guerra Mondiale, i più recenti arrivano ai giorni nostri.

I beni museali consistono in oltre 1800 oggetti, schedati e inseriti in una banca dati consultabile dagli utenti sotto forma di documentazione fotografica. Si tratta di apparecchi e attrezzature di telecomunicazioni, che vanno dalle centrali ai selettori, dai contatori alle cassette duplex, dai relè ai tavoli di prova, dai telefoni ad uso pubblico e privato agli attrezzi di lavoro e altro.

### *Altri musei e collezioni*

Altri musei e collezioni – alcuni dei quali già citati perché facenti parte del progetto "Marconi Network" – meritevoli di essere ricordati sono:

- Collezione Filippo Pacelli del Museo della Marina Militare Italiana, Ancona<sup>14</sup>
- Collezione Fausto Casi: storia dei mezzi di comunicazione, Arezzo<sup>15</sup>
- Museo della Comunicazione e del Multimediale G. Pelagalli, Bologna<sup>16</sup>

<sup>14</sup> Sala Museale "Contramiraglio Guglielmo Marconi" (MM 1401), Via Cialdini 1, 60122 Ancona, [http://www.musan.it/musei/vis\\_musei.php?id\\_news=187](http://www.musan.it/musei/vis_musei.php?id_news=187).

<sup>15</sup> Collezione Fausto Casi: storia dei mezzi di comunicazione, Via Ricasoli 22, Arezzo, <http://brunelleschi.imss.fi.it/itinerari/luogo/CollezioneFaustoCasiStoriaMezziComunicazione.html>.

<sup>16</sup> Museo della Comunicazione e del Multimediale G. Pelagalli, Via Col di Lana 7, 40131 Bologna, [http://www.museopelagalli.com/index\\_IT.htm](http://www.museopelagalli.com/index_IT.htm).

- Collezione Francesco Romeo, Catania<sup>17</sup>
- Museo Comunale, Cison di Val Marino (Treviso)<sup>18</sup>
- Museo della Comunicazione (Collezione Angelo Sessa), Imperia
- Museo della Radio di Alberto Chiantera, Verona<sup>19</sup>
- Collezione Dino Gianni, Vimercate
- Museo Tecnico Navale della Marina Militare Italiana, La Spezia<sup>20</sup>

## Fonti documentali

Tra le fonti documentali, oltre all'Archivio Storico di Telecom Italia, si ricordano il Museo Storico Virtuale dell'AEIT e l'Archivio dell'Istituto Luce.

### *Museo Storico Virtuale dell'AEIT*<sup>21</sup>

L'AEI (Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana) ha ritenuto utile presentare nel proprio sito internet un museo che illustri la storia dell'elettrotecnica e dell'elettronica con particolare riferimento al nostro Paese.

L'iniziativa ha lo scopo di mettere a disposizione di una popolazione in rapida crescita, come quella formata dai navigatori internet, la mole dei documenti raccolti in questi anni da studiosi, soci dell'AEI, in occasione dei diversi anniversari commemorati in questi anni. Allo stesso tempo gli studiosi di storia della scienza e della tecnica potranno trovare nel Museo un supporto organizzato e flessibile attraverso cui diffondere i risultati delle loro ricerche.

Tra le finalità fondamentali del museo virtuale c'è quella di documentare il contributo italiano allo sviluppo dell'elettrotecnica e dell'elettronica, di fornire alle scuole e a tutti i giovani uno strumento didattico integrativo, di offrire un servizio di primo orientamento agli studiosi di storia della scienza e della tecnica e una documentazione di scambio culturale con gli altri paesi, tramite le relazioni esterne delle ambasciate.

La guida scientifica dello sviluppo del museo è affidata ad un Comitato promotore formato da eminenti studiosi e da esponenti di musei tradizionali della scienza e della tecnica.

Nell'ambito del Museo Storico Virtuale dell'AEI è stata avviata, per ora, la preparazione di quattro sale. La prima è dedicata ad Antonio Meucci; in essa viene reso disponibile, per gentile concessione, il collegamento con il sito [www.esanet.it/chez\\_basilio/](http://www.esanet.it/chez_basilio/), dove è presentata l'Esposizione organizzata a L'Avana dal 19 al 25 novembre 1999 per celebrare il 150° anniversario (1849-1999)

<sup>17</sup> Collezione Francesco Romeo, Via Nuovaluce 67/A, Tremestieri Etneo, Catania, [http://www.provincia.ct.it/il\\_territorio/musei/museo-radio-d-epoca/mostra-radio-d-epoca.aspx](http://www.provincia.ct.it/il_territorio/musei/museo-radio-d-epoca/mostra-radio-d-epoca.aspx).

<sup>18</sup> Museo della radio d'epoca, Piazza Roma 1, Cison di Valmarino, Treviso, [http://www.comune.cisondivalmarino.tv.it/Uffici/Museo Radio.htm](http://www.comune.cisondivalmarino.tv.it/Uffici/Museo%20Radio.htm).

<sup>19</sup> Museo della Radio, Via del Pontiere 40, 37122 Verona, <http://www.museodellaradio.com/>.

<sup>20</sup> Museo Tecnico Navale di La Spezia, Viale Amendola 1, 19122 La Spezia, <http://www.marina.difesa.it/laspezia/index.asp>.

<sup>21</sup> [http://www.aei.it/ita/museo/ms0\\_primamuseo.htm](http://www.aei.it/ita/museo/ms0_primamuseo.htm).

dell'invenzione della trasmissione elettrica della voce umana da parte di Antonio Meucci (presentazione in lingua inglese). Le altre tre sale sono dedicate a Galileo Ferraris, in corso di allestimento, alla storia del laser, in corso di allestimento, e ad Alessandro Volta, rispettivamente.

Nel quadro delle celebrazioni del secondo centenario dell'invenzione di Volta, è stata immessa in rete la prima sala dedicata agli sviluppi delle pile e delle loro applicazioni.

### *L'archivio storico dell'Istituto LUCE<sup>22</sup>*

L'Istituto Luce raccoglie, e rende disponibili per la visione su Internet migliaia di filmati di alto valore storico, molti dei quali relativi alla storia delle telecomunicazioni.

L'archivio cinematografico dell'Istituto Luce conserva quasi un secolo di memoria storica collettiva fissato in immagini in movimento, in milioni di metri di pellicola.

Si tratta di un prezioso e vastissimo patrimonio filmico composto non solo di cinegiornali e documentari di propria produzione (realizzati a partire dal 1924 anno di nascita della LUCE, L'Unione Cinematografica Educativa), ma anche di testate d'attualità, collezioni documentaristiche e fondi esterni acquisiti via via nel tempo.

Questa ricca fonte audiovisiva, di un valore storico-culturale inestimabile, salvaguardata e valorizzata, catalogata e digitalizzata per essere accessibile a tutti, conta, attualmente, 12.000 cinegiornali, 6000 documentari e varie tipologie di film che vanno dalla cinematografia delle origini fino alla documentazione della vita politica, sociale e culturale degli ultimi decenni. L'archivio custodisce inoltre 8000 rulli di "girato non montato": si tratta del materiale cosiddetto di repertorio.

L'archivio fotografico dell'Istituto Luce, con il suo patrimonio di oltre 3 milioni di immagini, documenta tutto il Novecento ed è una fedele cronaca dei cambiamenti del nostro Paese. I fondi di prima acquisizione e di produzione istituzionale coprono un arco temporale esteso, raccontando eventi, paesaggi, mutamenti sociali dal 1919 al 1956: sono online le immagini scattate dal fotografo Adolfo Porry Pastorel, le fotografie del Fondo Luce articolato nei diversi reparti interni sull'Attualità, i paesaggi e monumenti d'Italia, l'Africa Orientale Italiana, la guerra. Altri fondi acquisiti dal dopoguerra in poi documentano la società italiana dal 1948 fino ai giorni: sul sito sono consultabili le immagini dell'Agenzia Dial-Press, che raccontano gli anni della Dolce vita a Roma e gli scatti dell'Agenzia Foto V.E.D.O che descrivono la politica e il costume in Italia dal 1948 al 1965.

Alcuni esempi:

- La stazione radiotelegrafica della Città del Vaticano
- Italia Pisa Coltano La I stazione radiotelegrafica Marconi – Giornale Luce B0631, 20/02/1935

<sup>22</sup> Cinecittà luce, via Tuscolana 1055, 00173 Roma, <http://www.archiviolute.com/archivio/>.

- Chicago (S.U.A.) Dal palazzo dell'Esposizione Mondiale Guglielmo Marconi lancia la lettera "S" che è raccolta contemporaneamente da tutte le stazioni radiotelegrafiche del mondo – Giornale Luce B0359, 00/11/1933
- S.S. Pio XI e S.E. Marconi inaugurano la nuova stazione a onde ultra corte che collega la Città del Vaticano e il Palazzo Pontificio di Castelgandolfo – Giornale Luce B0211, 00/02/1933

### Alcuni reperti conservati nei musei italiani

In questa sezione sono descritti alcuni reperti significativi conservati presso i musei italiani, che testimoniano il fondamentale contributo italiano allo sviluppo delle comunicazioni elettriche.

I primi reperti che si è scelto di mettere in evidenza sono i due prototipi di telefono funzionante che Antonio Meucci realizzò nel 1857 e nel 1867 che Guglielmo Marconi fece ricostruire dalle Officine Galileo di Firenze per l'Esposizione internazionale di Chicago del 1933. Uno di questi telefoni è stato esposto dal dicembre 2009 al luglio 2010, alla mostra allestita presso il Museo della Tecnica di Stoccolma in occasione del centenario del premio Nobel a Guglielmo Marconi.

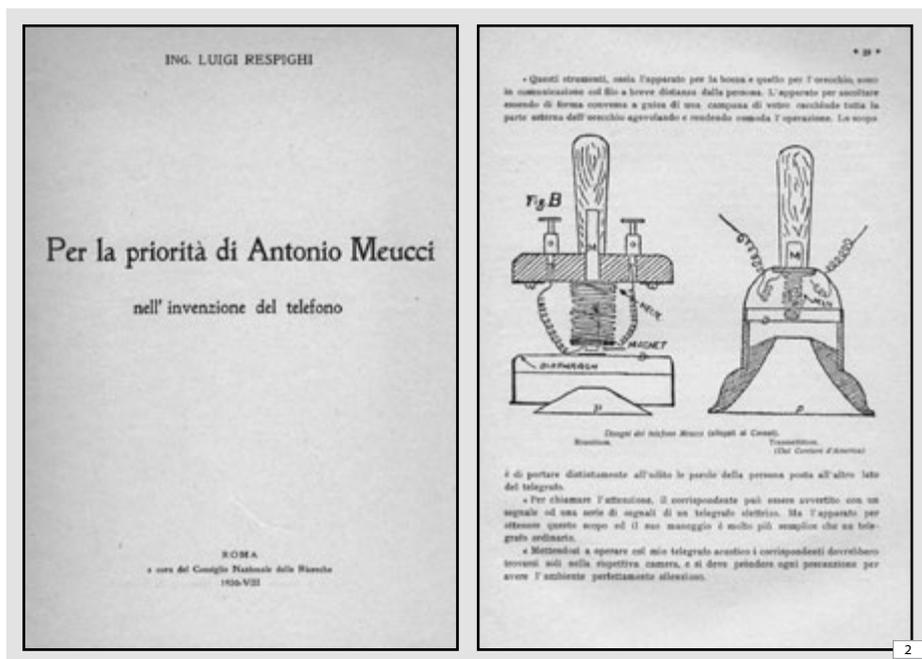
Un altro reperto significativo che si è scelto di presentare in questa sezione è il pantelegrafo (fax) di Giovanni Caselli, che costituisce il primo sistema autotelegrafico funzionante della storia del fax.

Infine, l'ultimo reperto messo in evidenza è la radio da campo "Ondina 33" del dirigibile Italia di Umberto Nobile, che fu utilizzata dai superstiti della famosa "tenda rossa" per comunicare con i soccorsi, dopo la tragedia del 1928. Anche questo reperto è stato esposto dal dicembre 2009 al luglio 2010, alla mostra allestita presso il Museo della Tecnica di Stoccolma in occasione del centenario del premio Nobel a Guglielmo Marconi.

#### *I prototipi dei telefoni di Antonio Meucci (collezione SIRTI del Museo della Tecnica Elettrica di Pavia)*

Guglielmo Marconi fu presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) dal 1927 al 1937. Nel 1930, in una pubblicazione del CNR a cura di Luigi Respighi, compare una raccolta con le notizie disponibili relative al contributo di Antonio Meucci all'invenzione del telefono<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> Nell'ambito delle proprie iniziative il Comitato nazionale per le celebrazioni del bicentenario della nascita di Antonio Meucci ha proposto la ristampa, tramite la Firenze University Press, della relazione di Luigi Respighi *Sulla priorità di Antonio Meucci nell'invenzione del telefono*, che rappresenta in pratica la prima autorevole rivendicazione della priorità di Meucci di un'invenzione che ha cambiato il mondo. Solo l'11 giugno 2002, ad oltre un secolo dalla battaglia legale intrapresa contro Alexander Graham Bell, la risoluzione 269 del Congresso degli Stati Uniti d'America riconosceva finalmente che "the live and the achievements of Antonio Meucci should be recognized, and his work in the invention of the telephone should be acknowledged".



**Figura 2.** Il frontespizio (a sinistra) e la pagina con i disegni del telefono di Antonio Meucci (a destra) della relazione di Luigi Respighi a Guglielmo Marconi.

In seguito nel 1932 – su incarico sempre di Guglielmo Marconi – Francesco Moncada eseguì un’indagine accurata sulle vicende di Meucci negli Stati Uniti d’America. Nel 1933 tale indagine portò alla stesura di una dettagliata relazione, corredata da documenti originali ed inediti, che fu consegnata a Guglielmo Marconi. Nello stesso anno Moncada morì improvvisamente e prematuramente negli Stati Uniti e tutta la documentazione andò perduta.



**Figura 3.** Il modello di telefono di Antonio Meucci fatto ricostruire da Marconi presso le Officine Galileo di Firenze conservato presso il Museo della Tecnica Elettrica di Pavia.

All’esposizione internazionale *Un secolo di Progresso*, tenutasi a Chicago (Illinois, USA) nel marzo 1933 [6], furono inviati due modelli di telefono realizzati da Meucci rispettivamente nel 1857 e nel 1867, ricostruiti in quattro esemplari, su incarico di

Guglielmo Marconi, dalle Officine Galileo di Firenze, sulla base della relazione di Moncada, a cui erano allegati gli appunti originali di Meucci.

Uno di questi modelli è oggi conservato presso il Museo della Tecnica Elettrica di Pavia.

I due modelli di telefono erano gli stessi presenti nella documentazione del 1885 che la Globe Telephone Company diffuse per rivendicare la priorità di Meucci nell'invenzione del telefono. Presso il padiglione italiano venne inoltre affissa una gigantografia che riproduceva una pagina del Chicago Tribune del 9 novembre 1885, dal titolo *The Claim of Antonio Meucci. Sketches and Illustrations of the Inventor's Instruments*.

### *Il pantelegrafo (fax) di Giovanni Caselli (Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci, Milano)*

Nel dicembre 1993 Telecom France ha emesso una carta telefonica dedicata a Giovanni Caselli, nell'ambito della serie "Les grandes figures des telecommunications" (Fig. 4), di cui fanno parte tra le altre la scheda dedicata a Guglielmo Marconi, inventore della radio, ad Alexander Graham Bell, inventore del telefono e a Samuel Morse, inventore del telegrafo che prende il suo nome.

Nel 1856, in una appendice scientifica (Fig. 5), il "Monitore Toscano" annuncia risolto da parte di Giovanni Caselli il problema della riproduzione fedele su un foglio di carta bianca posto nel ricevitore, di scritti e disegni eseguiti con inchiostro semplice su un foglio di carta argentata posto nel trasmettitore.

Giovanni Caselli battezza la sua macchina autotelegrafica "Pantelegrafo" o "telegrafo universale", poiché riproducendo una copia identica del documento originale in tutte le sue parti e i suoi tratti, tale sistema è in grado di servire tutti i popoli, indipendentemente dall'alfabeto da essi adottato (Fig. 6).

Il prof. Augusto De la Rive nel suo *Trattato di elettricità teorica e applicata* (Parigi, 1858) così spiega il funzionamento del telegrafo autografico di Giovanni Caselli, di cui si riporta un disegno schematico in Fig. 7:

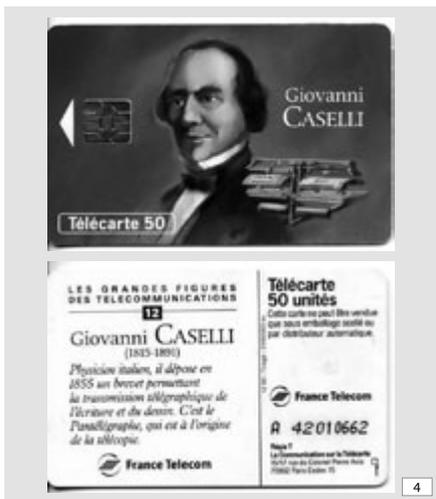
Il pantelegrafo comprende due circuiti elettrici, uno che attraversa i pennini, l'altro che attraversa la struttura stessa del pendolo.

Circuito attraverso i pennini: quando il pennino trasmettente è a contatto con la carta argentata non scritta il pennino ricevente ha polarità negativa e non altera il colore della carta chimica.

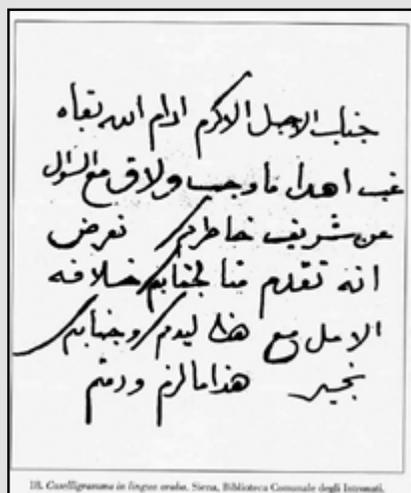
Appena il pennino trasmettente passa sull'inchiostro isolante il pennino ricevente inverte istantaneamente la sua polarità, producendo la colorazione della carta con grande precisione di tratto. Il fac-simile viene prodotto con tratto azzurro su sfondo bianco.

Circuito attraverso la struttura del pendolo: la corrente di linea oltre ad attraversare i pennini durante la fase di riproduzione del fac-simile, garantisce la regolazione del sincronismo passando attraverso un circuito che interessa la struttura stessa del pendolo e che viene chiuso alla fine di ogni oscillazione.

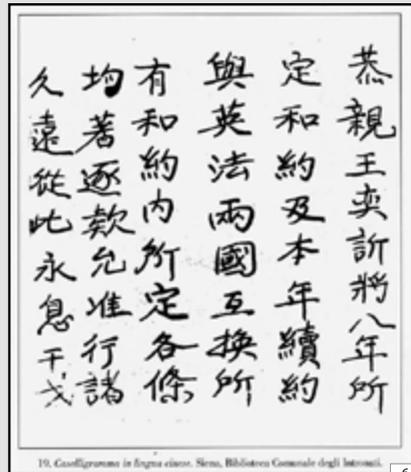
Ad ogni oscillazione dei pendoli i pennini si spostano di un piccolo tratto sulle superfici cilindriche sopra cui scorrono (Fig. 8), in modo da garantire la scansione per righe orizzontali dell'intero dispaccio.



4



18. Calligrafama in lingua araba. Siena, Biblioteca Comunale degli Intronati.

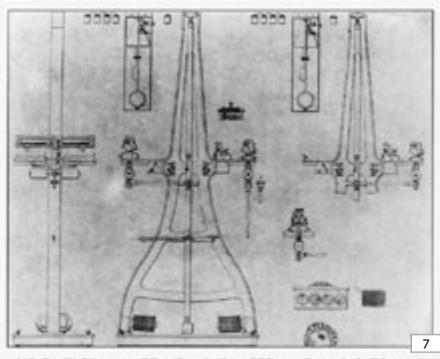


19. Calligrafama in lingua cinese. Siena, Biblioteca Comunale degli Intronati.

6



5



7

A. G. Caselli, Disegno per il Pantografo. Siena, Biblioteca Comunale degli Intronati.

Rispetto al telegrafo il pantelegrafo offre una serie di vantaggi:

- impiego di un unico filo e quindi possibilità di essere immediatamente implementato sulle linee telegrafiche Morse, già ampiamente diffuse a partire dalla metà degli anni quaranta dell'800;
- proprietà di riprodurre qualunque scritto e disegno; il che fa sì che sia il solo telegrafo atto a servire nei paesi che non hanno i caratteri alfabetici, come la Cina, il Giappone ecc.
- proprietà di trasmettere e ricevere contemporaneamente più dispacci, purché gli originali siano disposti sulla medesima linea orizzontale;
- grande rapidità di trasmissione, che può essere aumentata adoperando la stenografia;
- segreto delle corrispondenze legato alla possibilità di scrivere in qualunque genere di cifre (codice);
- continuità del lavoro, facendo passare nel trasmettitore uno dopo l'altro senza interruzione, gli originali dei dispacci;
- impossibilità di errori dipendenti dagli ufficiali telegrafici.

Nel 1857 Giovanni Caselli si reca a Parigi per dirigere la costruzione dei nuovi apparecchi autotelegrafici, affidata al costruttore meccanico cav. Paul Gustave Froment, uno tra i più esperti costruttori di apparecchiature scientifiche e di precisione, a cui Caselli era stato raccomandato dal celebre scienziato Léon Foucault, che nelle officine Froment aveva fatto costruire il suo pendolo.

Il presidente dell'Accademia delle Scienze di Parigi, Despretz, durante un suo intervento alla Sorbona, mostra un dispaccio trasmesso da Giovanni Caselli con le prime macchine di studio a Firenze, in cui era telegrafato un ritratto (Fig. 9) e il famoso motto dell'Accademia del Cimento.

Nel 1857 Giovanni Caselli in una lettera all'amico prof. Filippo Cecchi, scrive che in occasione di una sua visita al celebre Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868), parlando delle novità sul telegrafo autografico, il fisico francese riconobbe che "la telegrafia autografica non avrebbe potuto dirsi inventata, finché non si fossero trovate le sue due condizioni principali, cioè, sincronismo, e formazione del segno colorato e ben deciso per l'interruzione della corrente della linea".

A partire da quell'anno Giovanni Caselli entrò nel Consiglio dirigente gli affari della Società del Pantelegrafo, costituita, dopo i numerosi successi riscontrati dal pantelegrafo negli ambienti scientifici parigini, per promuovere la nuova invenzione.

Nel gennaio 1860 l'imperatore Napoleone III si recò in visita presso le officine Froment, rimanendo estremamente colpito dal pantelegrafo di Giovanni Caselli.

---

**Figura 4.** Carta telefonica della serie "Les grandes figures des telecommunications" emessa da Telecom France nel dicembre 1993.

**Figura 5.** Appendice scientifica del quotidiano "Monitore Toscano" contenente l'annuncio dell'invenzione del pantelegrafo da parte di Giovanni Caselli (n. 126, 1856)

**Figura 6.** Caselligramma in lingua cinese (in basso) e in lingua araba (in alto) (Siena, Biblioteca Comunale degli Intronati).

**Figura 7.** Schema del pantelegrafo di Giovanni Caselli.



**Figura 8.** Un particolare del braccio ricevente del pantelegrafo.

**Figura 9.** Un esempio di documento trasmesso e ricevuto dal pantelegrafo di Giovanni Caselli (Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci, Milano).

**Figura 10.** Una replica del pantelegrafo di Giovanni Caselli conservato al Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci di Milano (Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci, Milano).

Un mese dopo, a spese del governo francese, alcuni fili per il collegamento tra gli uffici dell'Amministrazione delle linee telegrafiche e l'Osservatorio imperiale di Parigi, furono prolungati fino alle Officine Froment in modo che Caselli potesse disporre di tutta la linea telegrafica francese per le sue sperimentazioni sul campo.

Nel maggio 1860, in seguito alle numerose prove effettuate sulla linea, Giovanni Caselli giunse alla conclusione che le numerose cause di instabilità sulla linea, causavano variazioni di corrente tali da rendere impossibile il funzionamento del pantelegrafo appena si fossero superate distanze dell'ordine di qualche centinaio di chilometri.

I malfunzionamenti del pantelegrafo causati dall'instabilità della corrente sulla linea telegrafica erano legati alla perdita del sincronismo tra i pendoli posti nelle stazioni trasmittente e ricevente. Giovanni Caselli, mise a punto un sistema di sincronismo indipendente dalla corrente di linea, mediante l'impiego di due cronometri locali e dell'ausilio di un operatore telegrafista, che aveva il compito di regolare il sincronismo osservando la riproduzione di una linea verticale sul margine del dispaccio ricevuto.

Alcuni dati tecnici:

- Dimensione dei fogli di carta stagnata: 30cm<sup>2</sup>, 60cm<sup>2</sup>, 90cm<sup>2</sup> e 120cm<sup>2</sup>
- Prezzo: 10 cent/foglio
- Tassa: 20 cent/cm<sup>2</sup>
- Costo dispaccio minimo: L. 6.10

Per l'Amministrazione francese l'introduzione del pantelegrafo avrebbe determinato indubbiamente un danno finanziario, legato alla tassazione del dispaccio in base alle dimensioni del foglio piuttosto che in base al numero di parole trasmesse (in un foglio di 30x30cm il numero di parole può superare di un fattore quattro le dimensioni di un telegramma ordinario!).

Inoltre l'amministrazione avrebbe dovuto garantire l'assenza di interruzioni sulla linea, per l'impossibilità di disporre, in un'eventuale stazione intermedia, del messaggio originale da replicare (anche questo problema fu risolto da Giovanni Caselli con l'aiuto di uno degli impiegati telegrafici che gli erano stati assegnati, che riuscì a ricostruire l'originale a partire dal facsimile ricevuto).

Nel settembre 1861, su proposta del ministro dei Lavori Pubblici italiano, onorevole Jacini, il Re Vittorio Emanuele II, che già nel marzo 1860 aveva insignito Giovanni Caselli del titolo di Cavaliere dell'Ordine dei SS. Maurizio e Lazzaro, invitò l'inventore toscano a partecipare col suo pantelegrafo all'esposizione nazionale di Firenze.

Nonostante l'entusiasmo suscitato fra il pubblico dell'Esposizione, il governo italiano non intese investire sull'invenzione di Caselli e anzi nel novembre 1861 sottoscrisse un contratto per l'acquisto del telegrafo di Hughes, tra l'altro ancora imperfetto, che sostituiva all'unico tasto del telegrafo Morse una tastiera con 28 tasti corrispondenti alle lettere dell'alfabeto.

Nel 1865 il pantelegrafo iniziò il suo servizio pubblico fra Parigi e Lione, servizio che cessa nel 1870 in seguito alla disfatta di Sedan, quando già erano in progetto delle nuove linee.

In questo periodo Napoleone III, dopo aver invano proposto a Giovanni Caselli la cittadinanza francese per consentirgli di accedere alle funzioni di ispettore generale e coordinatore dei servizi telegrafici francesi, lo insignì della Legione d'Onore.

Il pantelegrafo funzionò anche tra Londra e Liverpool per una serie di esperienze che avrebbero dovuto condurre alla istituzione di un servizio pubblico; scopo che venne però frustrato dalla crisi economica che sconvolse l'Inghilterra nel 1864 e che colpì duramente la Financial Society con la quale Caselli aveva preso accordi definitivi.

Anche la Russia si interessò al pantelegrafo, ma anziché usarlo per un servizio pubblico, lo utilizzò per uno scambio di messaggi tra le due residenze imperiali di San Pietroburgo e Mosca.

In occasione dell'esposizione internazionale *Un secolo di Progresso*, tenutasi a Chicago (Illinois, USA) nel marzo 1933, Guglielmo Marconi fece costruire dalle Officine Galileo di Firenze una copia del pantelegrafo, oggi conservata presso il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci di Milano (Fig. 10).



**Figura 11.** Il dirigibile Italia sorvola Stoccolma il 3 maggio 1928.

**Figura 12.** Il ricetrasmittitore campale d'emergenza a onde corte "Ondina 33".

**Figura 13.** La copertina del libro *48 giorni sul pack* (Milano, Mondadori, 1929): in primo piano la radio da campo "Ondina 33" e l'autore del libro Alfredo Viglieri (navigatore/idrografo, T.V. della Marina Italiana).

*La radio di soccorso "Ondina 33" del dirigibile Italia (Museo Tecnico Navale della Marina Militare Italiana di La Spezia)*

Il dirigibile Italia (Fig. 11) fu un dirigibile semirigido italiano progettato dal Generale del Corpo del Genio Aeronautico ruolo Ingegneri dell'Aeronautica Militare Italiana Umberto Nobile [1885 – 1978] e da lui utilizzato per una se-

conda serie di voli artici dopo quello compiuto dal dirigibile Norge nel 1926, assieme all'esploratore norvegese Roald Amundsen<sup>24</sup>. Dopo aver raggiunto il Polo Nord fu protagonista di un drammatico incidente in seguito al quale il dirigibile Italia impattò con il ghiaccio facendo sbalzare 10 uomini dell'equipaggio sul pack. Il resto dell'equipaggio, altri 6 uomini, rimasero a bordo e furono dispersi per sempre insieme ai resti del dirigibile.

I sopravvissuti che rimasero sul pack riuscirono a sopravvivere e a salvarsi grazie ai materiali recuperati dopo l'impatto, tra cui fondamentali furono una tenda da 4 persone, la mitica "tenda rossa", e la radio da campo "Ondina 33", che venne utilizzata dal Marconista, Ufficiale di Marina, Giuseppe Biagi per lanciare l'SOS con la richiesta di aiuto.

Il ricetrasmittitore campale d'emergenza a onde corte "Ondina 33" (Figg. 12-13), utilizzato come sedile nella cabina del dirigibile Italia, era dotato del ricevitore a reazione inventato pochi anni prima da Guglielmo Marconi ed era alimentato da accumulatori realizzati dalla Tudor nello stabilimento di Melzo (Milano). Il progetto e la costruzione del ricetrasmittitore erano stati diretti dal radioamatore Giulio Salom, presso l'Officina dell'Arsenale a La Spezia.

<sup>24</sup> [http://www.nyteknik.se/popular\\_teknik/kaianders/article691451.ece](http://www.nyteknik.se/popular_teknik/kaianders/article691451.ece).



## ELENCO DEGLI ACRONIMI

---

- 3G – Terza Generazione  
3GPP – 3rd Generation Partnership Project  
4G – Quarta Generazione  
A.N. – Armi Navali  
A/D – Analogic/Digital  
AAC – Advanced Audio Coding  
ABC – American Broadcasting Company  
ABR – Available Bit Rate  
AC036 DOLMEN – Service Machine Development for an Open Long-term Mobile and fixed Network ENvironment  
AC045 UPGRADE – High Bitrate 1300nm UPGRADE of the European Standard Single-Mode Fibre Network  
AC056 QUOVADIS – QUality Of Video and Audio for DIGital television Services  
AC063 ESTHER – Exploitation of Soliton Transmission Highways for the European Ring  
AC068 INSIGNIA – IN and B-ISDN SIGNalling Integration on ATM platforms  
AC215 CRABS – Cellular Radio Access for Broadband Services  
AC236 CABSINET – Cellular Access to Broadband Services and Interactive Television  
ACE – Automatic Computing Engine  
ACP – Adattatore Concentratore di Pacchetti  
ACP – Allied Communications Procedures  
ACTS – Advanced Communication Technologies and Services  
ACTSVIDAS – Video Assisted with Audio Coding and Representation  
AD – Amministratore Delegato  
ADM – Add-Drop Multiplexer  
ADPCM – Adaptive Differential Pulse Code Modulation  
ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line  
ADT – Automatic Detection and Tracking  
AEI poi AEIT – Associazione Elettrotecnica Italiana, poi Federazione Italiana di Elettrotecnica, Elettrotecnica, Automazione, Informatica e Telecomunicazioni  
AEM – Azienda Elettrica Municipale  
AES – Audio Engineering Society  
AET – Automazione Elettrotensili Torino  
AFD – Autocommutatori Fonia e Dati  
AGCOM – Autorità per le Garanzie nelle COMunicazioni  
AHHP – ARPANET Host-to-Host Protocol  
AIPA – Autorità per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione  
AIRE – Associazione Italiana per la Radio d'Epoca  
AMI – Aeronautica Militare Italiana  
AMPS – Advanced Mobile Phone System  
AMS – Alenia Marconi Systems  
ANIE – Federazione Nazionale Imprese Elettrotecniche ed Elettroniche  
APD – Avalanche Photo Diode  
ARD – Associazione Radio Digitale  
ARE – Applicazioni Radio Elettriche  
ARPANET – Advanced Research Projects Agency Network

- ARSR – Air Route Surveillance Radar  
 ARTEMIS – Advanced Relay and Technology Mission  
 ARTES – Advanced Research in Telecommunications Systems  
 ASCAI – Associazione per lo Sviluppo delle Comunicazioni Aziendali in Italia  
 ASDE – Airport Surveillance Detection Equipment  
 ASI – Agenzia Spaziale Italiana  
 ASIC – Application Specific Integrated Circuit  
 ASK – Amplitude Shift Keying  
 ASMI – Airfield Surface Movement Indicator  
 ASPEC – Adaptive Spectral Perceptual Entropy Coding  
 ASR – Airport Surveillance Radar  
 ASST – Azienda di Stato per i Servizi Telefonici  
 ASV – Airborne Search for Surface Vessel  
 ASW – Anti-Submarine Warfare  
 AT&T – American Telephone & Telegraph  
 ATC – Air Traffic Control – Controllo del Traffico Aereo  
 ATM – Air Traffic Management  
 ATM – Asynchronous Transfer Mode  
 ATSC – Advanced Television System Committee  
 AUC – Allievi Ufficiali di Complemento  
 AVC – Advanced Video Coding  
 AVES – Aviazione Esercito  
 BBC – British Broadcasting Company, poi British Broadcasting Corporation  
 BBS – Bulletin Board Systems  
 BD – Blu Ray Disc  
 BER – Bit Error Rate  
 BGP – Border Gateway Protocol  
 B-ISDN – Broadband Integrated Services Digital Network  
 BLOS – Beyond Line Of Sight  
 BNL – Banca Nazionale del Lavoro  
 BPON – Broadband PON  
 BSC – Base Station Controller  
 BSS – Base Station Subsystem  
 BSTJ – Bell System Technical Journal  
 BT – British Telecommunications  
 BTS – Base Transmitter Station  
 C<sup>3</sup>I – Command, Control, Communications, Intelligence  
 CAD – Computer Aided Design  
 CAI – Common Air Interface  
 CATRIN – Sistema CAMPale delle TRASmissioni INtegrate  
 CATTO – Contabilità Automatica Traffico Telefonico da Operatore  
 CATV – Common Antenna Television  
 CBR – Constant Bit Rate  
 CBS – Columbia Broadcasting System  
 CCD – Centri Correlazione Dati  
 CCD – Charged Coupled Devices  
 CCETT – Centre Commun d’Etudes de Télévision et Télécommunications  
 CCIR – Comité Consultatif International des Radiocommunications  
 CCITT – Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique  
 CCRA – Common Criteria Recognition Arrangement  
 CD – Compact Disk  
 CDM – Code Division Modulation  
 CDMA – Code Division Multiple Access  
 CDR – Common Data Rate  
 CE – Comunità Europea  
 CEA – Consumer Electronics Association  
 CED – Centro Elaborazione Dati  
 CEFRIEL – Center of Excellence For Research, Innovation, Education and industrial Labs partnership  
 CEI – Comitato Elettrotecnico Italiano  
 CELP – Code Excited Linear Prediction,  
 CENELEC – Commission Européenne de Normalisation Électrique  
 CEPT – Conferenza Europea delle amministrazioni delle Poste e Telecomunicazioni  
 CERN – Centre Européen pour la Recherche Nucléaire  
 CFAR – Constant False Alarm Rate  
 CGE – Compagnia Generale di Elettricità  
 CHILL – CCITT HIGH Level Language

- CIA – Compagnia Industriale  
Aerospaziale
- CIF – Common Image Format
- CIPE – Comitato Interministeriale per  
la Programmazione Economica
- CIPI – Comitato Interministeriale  
per il Coordinamento della Politica  
Industriale
- CIR – Committed Information Rate
- CISE – Centro Informazioni Studi  
Esperienze
- CIT – Compagnie Industrielles de  
Telephone
- CLAN – Connection of Local Area  
Networks
- CMOS – Complementary Metal Oxide  
Semiconductor
- CMU – Communication Management  
Unit
- CNA – Compagnia Nazionale  
Aerospaziale
- CNEN – Comitato Nazionale per  
l'Energia Nucleare
- CNET – Centre national d'études des  
télécommunications
- CNI – Communication, Navigation  
and Identification
- CNIT – Consorzio Nazionale Interu-  
niversitario per le Telecomunicazioni
- CNR – Combat Net Radio
- CNR – Consiglio Nazionale delle  
Ricerche
- CNS – Communications, Navigation,  
Surveillance
- CNUCE – Centro Nazionale Uni-  
versitario di Calcolo Elettronico,  
dell'Università di Pisa
- COFDM – Coded Frequency Division  
Multiplex
- COMIS – CODing of Moving Images  
for Storage
- COMSAT – COMMunications SATEl-  
lite corporation
- CONCIT – Comitato Nazionale di  
Coordinamento per l'Informatica e  
le Telecomunicazioni
- COSMO – SkyMed sistema
- COST – European COoperation in  
the field of Scientific and Technical  
research
- CPM – Continuous Phase Modulation
- CPSK – Coherent Phase Shift Keying
- CPU – Central Processing Unit
- CRIT – Centro Ricerche e Innovazio-  
ne Tecnologica
- CRM – Customer Relationship  
Management
- CRS – Commissione per le Ricerche  
Spaziali
- CRT – Cathode Ray Tube
- CSATA – Centro Studi Applicazioni  
Tecnologie Avanzate, Bari
- CSEL – Centro Studi e Laboratori
- CSELT – Centro Studi E Laboratori  
Telecomunicazioni
- CSN – Centro Supervisione Nazionale
- CSO – COST Senior Official  
committee
- CSTS – Centro CNR di Studi sulle  
Telecomunicazioni Spaziali
- CT1 – Cordless Telephone  
Generation 1
- CTNE – Compañía Telefónica Nacio-  
nal de España
- CVS – CAD for VLSI Systems
- CVT – CAD for VLSI for  
Telecommunications
- CW – Continuous Wave
- DAB – Digital Audio Broadcasting
- D-AMPS – Digital AMPS
- DARPA – Defense Advanced Research  
Projects Agency
- DAT – Digital Audio Tape
- DAT – Direzione Artiglieria Terrestre
- DAVIC – Digital Audio Video Council
- DCI – Digital Cinema Initiative
- DCT – Discrete Cosine Transform
- DEC – Digital Equipment Corporation
- DECT – Digital European Cordless  
Telephone, poi Digital Enhanced  
Cordless Telephone
- DFVLR – Deutsche Forschungsanstalt  
für Luft- und Raumfahrt (Agenzia  
spaziale della Germania)
- DG – Direttore Generale
- DM – Decreto Ministeriale
- DMB – Digital Multimedia  
Broadcasting
- DMP – Digital Media Project
- DMT – Discrete Muti Tone

- DNA – Deoxyribonucleic acid  
 DoD – Department of Defense  
 DPCM – Differential PCM  
 DPR – Decreto del Presidente della Repubblica  
 DRIVE – Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe  
 DRM – Digital Rights Management  
 DSB – Double Side Band  
 DSBSC – Double SideBand Suppressed Carrier  
 DSL – Digital Subscriber Line  
 DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer  
 DSP – Digital Signal Processing  
 DSSE – Direzione Superiore Studi ed Esperienze  
 DS-SS – Direct Sequence Spread Spectrum  
 DST – centrale a Divisione di Spazio Telettra  
 DTH – Direct To Home (satellite terminal)  
 DTI – Department of Trade and Industry  
 DVB – Digital Video Broadcasting (consortium)  
 DVB-H – Digital Video Broadcasting – Handheld  
 DVB-MHP – Digital Video Broadcasting – Multimedia Home Platform  
 DVB-NGH – Digital Video Broadcasting – Next Generation Handheld  
 DVB-S2 – Digital Video Broadcasting – Satellite second generation  
 DVB-SH – Digital Video Broadcasting – Satellite services to Handheld  
 DVB-T – Digital Video Broadcasting – Terrestrial  
 DVB-T2 – Digital Video Broadcasting – Terrestrial second generation  
 DVD – Digital Versatile Disc  
 DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing  
 DXC – Digital Cross Connect  
 EATCHIP – ECAC En-route and Airport Strategy of the European Air Traffic Control Harmonisation and Integration Program  
 EBU – European Broadcasting Union  
 ECAC – European Civil Aviation Conference  
 ECCM – Electronic Counter Counter Measures  
 ECI – Elemento di Commutazione Integrato  
 ECL – Emitter-Coupled Logic  
 ECM – Electronic Counter Measures  
 ECOC – European Conference on Optical Communications  
 ECS – European Communication Satellite  
 EDFA – Erbium Doped Fibre Amplifier  
 EDRS – European Data Relay Satellite  
 EFA – European Fighter Aircraft  
 EFIM – Ente Partecipazioni e Finanziamento Industrie Manifatturiere  
 EFIS – Electronic Flight Instrumentation System  
 EGNOS – European Geostationary Navigation Overlay System  
 EGP – Exterior Gateway Protocol  
 EIA – Electronic Industries Association  
 EIAR – Ente Italiano per le Audizioni Radiofoniche  
 EITO – European Information Technology Observatory  
 ELDO – European Launcher Development Organisation (consortium)  
 ELDO-PAS – ELDO- Perigee-Apogee System  
 Elint – Electronic Intelligence  
 EM – Elettromeccanica  
 EMI – Electrical & Musical Industries  
 EMI – Electro Magnetic Interference  
 EMS – European Mobile Services  
 ENEA – Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile  
 ENEL – Ente Nazionale Energia elettrica  
 ENI – Ente Nazionale Idrocarburi  
 ENPW – European Network Planning Workshop  
 ENS – Elaborazione Numerica dei Segnali  
 EPG – Electronic Programme Guide  
 EPHOS – European Procurement Handbook for Open Systems

- EPM NATO – Electronic Protection Measures NATO
- ERA – Ericsson Radio Aktienbolaget
- ERA – European Research Area
- ERP – Enterprise Resource Planning
- ESA – European Space Agency
- ESPRIT – European Strategic Project for Research in Information Technology
- ESRO – European Space Research Organisation
- ESS – Electronic Switching System
- ETACS – Extended Total Access Communication System
- ETSI – European Telecommunications Standards Institute
- EUROPSAT – EUROPEan SATellite
- EUTELSAT – EUROPEan TELEcommunications SATellite
- EWS – Elektronisches WaehlSystem
- FCC – Federal Communication Commission
- FCS – Flight Control System
- FDD – Frequency-Division-Duplex
- FDDI – Fiber Distributed Data Interface
- FDM – Frequency Division Multiplexing
- FDMA – Frequency Division Multiple Access
- FDP – Flat Display Panel
- FEBA – Forward Edge of the Battle Area
- FET – Field Effect Transistor
- FFT – Fast Fourier Transform
- FH – Frequency Hopping
- FIAT – Fabbrica Italiana Automobili Torino
- FIMM – Fabbrica Italiana Magneti Marelli
- Finabel – Francia-Italia-Nederland-Allemagne-BELgio
- FINSIEL – FINanziaria per i Sistemi Informativi Elettronici
- FLAG – Fiber Optic Link Around the Globe
- FM – Frequency Modulation
- FMS – Flight Management System
- FOD – Foreign Object Detection
- FOMA – Freedom Of Mobile multimedia Access
- FOS – Fibre Ottiche Sud, Battipaglia
- FP5 ATLAS – All optical Terabit per second Lambda Shifted transmission
- FP5 ESTHER – Exploitation of Soliton Transmission Highways for the European Ring
- FP7 BONE – Building the Optical Network in Europe
- FP7 SARDANA – Scalable Advanced Ring based passive Dense Access Network Architecture
- FP – Framework Programme
- FPGA – Field Programmable Gate Array
- FPLMTS – Future Public Land Mobile Telecommunications System
- FR – Frame Relay
- FRC – Federal Radio Commission
- FSAN – Full Service Access Network
- FSK – Frequency Shift Keying
- FTAM – File Transfer Access and Management
- FTP – File Transfer Protocol
- FTTH – Fiber To The Home
- FUB – Fondazione Ugo Bordoni
- GARR – Gruppo di Armonizzazione delle Reti della Ricerca
- GCA – Ground Control of Approach
- GE – General Electric
- GEIE – Groupement Européen d'Intérêt Economique
- GIS – Geographic Information System
- GOSIP – Government Open Systems Interconnection Profile
- GPO – General Post Office
- GPON – Gigabit PON
- GPP1 – (3rd) Generation Partnership Project 1. Spesso definito semplicemente come 3GPP, senza 1, raggruppa gli enti continentali di standardizzazione nell'ambito di IMT-2000 di UIT, che si occupano della versione WCDMA di UMTS.
- GPP2 – (3rd) Generation Partnership Project 2 che raggruppa gli enti continentali di standardizzazione che si occupano della versione CDMA2000 nell'ambito di IMT-2000 di UIT.
- GPR – Ground Probing Radar
- GPRS – General Packet Radio Service

- GPS – Ground Positioning System  
 GSM – Groupe Spécial Mobile; poi Global System for Mobile communications  
 GSMA – GSM Association  
 GTE – General Telephone and Electronics Corporation  
 H.323 – segnalazione telefonica ITU-T  
 H264 – Designazione ITU-T dello standard video MPEG-4 AVC  
 HAG – Home Access Gateway  
 HBBTV – Hybrid Broadcast Broadband TV  
 HD – High Definition  
 HD-MAC – High Definition-Multiplexed Analogue Components  
 HDTV – High Definition TV  
 HDVS – High Definition Video System  
 HDWDM – High Density Wavelength Division Multiplex  
 HEVC – High Efficiency Video coding  
 HF – High Frequency  
 HLR – Home Location Register  
 HP – Hewlett Packard  
 HSDPA – High Speed Downlink Packet Access  
 HSPA – High Speed Packet Access  
 HSUPA – High Speed Uplink Packet Access  
 HTML – HyperText Markup Language  
 HTTP – HyperText Transfer Protocol  
 HZ – Homo Zappiens  
 IANA – Internet Assigned Numbers Authority  
 IAS – Itapac Assistance System  
 IATA – International Air Transport Association  
 IBC – International Broadcasting Conference  
 IBM – International Business Machines  
 IBOC – In Band On Channel  
 ICANN – Internet Corporation for Assigned Names and Numbers  
 ICAO – International Civil Aviation Organization  
 ICB – International Cooperation Board ,  
 ICC – International Conference on Computer Communications  
 ICP – Initial Connection Protocol  
 ICT – Information and Communication Technology  
 ICTON – International Conference on Transparent Optical Networks  
 IDTF – Inverse Discrete Fourier Transform  
 IEC – International Electrotechnical Committee  
 IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers  
 IERT – Istituto Elettrotecnico e Radio-Telegrafico della Regia Marina  
 IETF – Internet Engineering Task Force  
 IFF – Identification Friend or Foe  
 IFF/SIF – Identification Friend or Foe/ Selective Identification Feature  
 ILTE – Industria Libreria Tipografica Editrice  
 IMI – Istituto Mobiliare Italiano  
 IMM – International Marine Mobile  
 IMP – Interface Message Processor  
 IMS – IP Multimedia Subsystem  
 IMST – Istituto Militare Superiore Trasmissioni dell’Esercito  
 IMT2000 – International Mobile Telecommunications 2000  
 IMTS – Improved Mobile Telephone Service  
 INFN – Istituto Nazionale di Fisica della Materia  
 INMARSAT – International Maritime Satellite Organization  
 INS – Inertial System  
 INTELSAT – International Telecommunications Satellite organization  
 IP – Internet Protocol  
 IPM – Industrie Politecniche Meridionali  
 IPR – Intellectual Property Rights  
 IP-TV – Internet Protocol Television  
 IRI – Istituto per la Ricostruzione Industriale  
 IRITEL – IRI Telecomunicazioni  
 IROE – Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche  
 IRT – Institut für Rundfunktechnik  
 IS95 – Interim Standard 95  
 ISCTI – Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell’Informazione

- ISDN – Integrated Services Digital Network
- ISO – International Organization for Standardization
- ISO/IEC – International Standards Organization / International Electrotechnical Commission
- ISP – Internet Service Provider
- ISPT – Istituto Superiore Poste e Telecomunicazioni
- ISR – Intelligence, Surveillance, Recognition
- ISS – International Switching Symposium
- ITA – Independent Television Authority
- ITAPAC – ITALian PACket switched network
- ITAV – Ispettorato Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo
- ITC – International Teletraffic Conference
- ITT – International Telephone & Telegraph
- ITU – International Telecommunication Union
- ITU-D – ITU Development
- ITU-R – Radio
- ITUR – Italia-Turchia-Ucraina-Russia
- JPEG – Joint Photographic Experts Group
- JPL – Jet Propulsion Laboratory
- JTC – Joint Technical Committee
- JTIDS – Joint Tactical Information Distribution System
- KM – Knowledge Management
- LAN – Local Area Network
- LAP-D – Link Access Protocol- channel D
- LASER DFB – LASER con Distributed FeedBack
- Laser SSC – Laser Spot Size Converter
- LASER – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- LASSO – LASER Synchronization from a Stationary Orbit
- LCD – Liquid Crystal Display
- LDPC – Low-Density Parity-check Code
- LED – Light-Emitting Diode
- LEO – Low Earth Orbit
- LES – Lincoln Experimental Satellite
- LESA – Nome di una cittadina sul Lago Maggiore dove nacque il fondatore della ditta LESA
- LIM – Lavagna Interattiva Multimediale
- LMDS – Local Multipoint Distribution System
- LPC – Linear Predictive Code
- LSI – Large Scale Integration
- LTE – Long Term Evolution
- LUCE – L'Unione Cinematografica Educativa
- MAC – Medium Access Control
- MAC – Multiplexed Analogue Components
- MaD – Management by Delegation
- MADESS – Materiali e Dispositivi per l'Elettronica a Stato Solido
- MAN – Metropolitan Area Network
- MARITELERADAR – Istituto Radar e delle Telecomunicazioni della M.M.
- MCI – Microwave Communications Inc.
- MCM – Multi Chip Module
- MCVD – Modified Chemical Vapor Deposition
- MDCT – Modified DCT
- MEIE – Mutua di assicurazione Esercenti Imprese Elettriche
- MFD – Multi Function Display
- MHEG – Multimedia and Hypermedia Experts Group
- MHP – Multimedia Home Platform
- MIMO – Multiple-Input, Multiple-Output
- MIT – Massachusetts Institute of Technology
- MMDS – Multichannel Multipoint Distribution System
- MMI – Man Machine Interface
- MMI – Marina Militare Italiana
- MMS – Multimedia Messaging Service
- MCVD – Modified Chemical Vapor Deposition
- MOMA – Museum Of Modern Art
- MP3 – MPEG Audio Layer 3
- MPAR – Multifunction Phased Array Radar

- MPEG – Moving Picture Experts Group  
MPEG-4 AVC – Moving Pictures Experts Group-4 Advanced Video Coding  
MPLS – Multi Protocol Label Switching  
M-QAM – Multi-Level Quadrature Amplitude Modulation  
MQW – Multi Quantum Well  
MRSE – Microwave Remote Sensing  
MSC – Mobile Switching Center  
MTD – Moving Target Detector  
MTI – Moving Target Indicator  
MUSA – MULTichannel Speaking Automation  
MUSE – MULTiple sub-nyquist Sampling Encoding  
MUSICAM – Masking-pattern adapted Universal Sub-band Integrated Coding And Multiplexing  
MVNO – Mobile Virtual Network Operator  
MWTN – Multi Wavelength Transport Network  
NAB – National Association of Broadcasters  
NADGE – NATO Air Defense Ground Environment  
NASA – National Aeronautics and Space Administration  
NATO – North Atlantic Treaty Organization  
NBC – National Broadcasting Company  
NC – News Corporation  
NCP – Network Control Program  
NCP – Nodi a Commutazione di Pacchetto  
NCTA – National Cable & Telecommunications Association  
NCTR – Non-Cooperative Target Recognition  
NCW/NEC – Network Centric Warfare / Network Enabled Capability  
NDRC – National Defense Research Committee  
NEC – Nippon Electric Company  
NESCO – National Electric Signaling Company  
NGN – Next Generation Network  
NHK – Nippon Hoso Kyokai  
N-ISDN – Narrowband Integrated Service Digital Network  
NMOS – Nano MOS (Metal Oxide Semiconductor)  
NMT – Nordic Mobile Telephone  
NNTP – Network News Transfer Protocol  
NTE – Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk  
NTSC – National Television System Committee  
NTT DoCoMo – Nippon Telegraph and Telephone Do Communications Mobile  
NTT – Nippon Telegraph & Telephone  
NVA – Nanchrichtemittel Versuch Anstalt  
OCSE – Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico  
OCSI – Organismo di Certificazione della Sicurezza Informatica  
OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing  
ONU – Organizzazione delle Nazioni Unite  
OOK – On-Off Keying  
OPA – Offerta Pubblica d'Acquisto  
OQPSK – Offset Quadrature Phase Shift Keying  
ORACLE – Optional Reception of Announcements by Coded Line Electronics  
OSI – Open Systems Interconnection  
OSIRIDE – OSI su Rete Italiana Dati Eterogenea  
OTC S.r.l. – Optical Technologies Center  
OTDM – Optical Time Division Multiplex  
OTE – Officine Toscane Elettromeccaniche  
OTS-2 – Orbital Test Satellite 2  
OTT-TV – Over The Top-TeleVision  
OVD – Outside Vapor Deposition  
OWL – Web Ontology Language  
PABX – Private Automatic Branch Exchange  
PABXless – senza PABX (Private Automatic Branch eXchange)

- PAL – Phase Alternating Line  
 PAM – Piano Aiuti Marshall  
 PAM – Pulse Amplitude Modulation  
 PAR – Precision Approach Radar  
 PC – Personal Computer  
 PCL – Passive Coherent Location  
 PCM – Pulse Code Modulation  
 PCN – Personal Communications Networks  
 PCR – Passive Covert Radar  
 PCS – Personal Communications Services  
 PDC – Personal Digital Cellular  
 PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy  
 PDP – Plasma Display Panel  
 PF – Progetto Finalizzato  
 PHORIT – Photonic Research in Italy  
 PHS – Personal Handyphone System  
 PIL – Prodotto Interno Lordo  
 PIN diode – p-i-n diode (p,i,n sono strati a diverso drogaggio)  
 PISA – Prototype for Interconnection of Series/1 Applications  
 PLANET – Photonic Local Access NETworks  
 PLL – Phase-Locked Loop  
 PMG – Post Master General (Autorità di Poste e Telecomunicazioni nel Regno Unito e nei Paesi del Commonwealth)  
 PN-DS – Pseudo Noise Direct Sequence  
 PON – Passive Optical Network  
 POP – Point Of Presence  
 POS – Point Of Sale  
 PPM – Pulse Position Modulation  
 PRF – Pulse Repetition Frequency (radar)  
 PSK – Phase Shift Keying  
 PSTN – Public Switched Telephone Network  
 PTT – Poste, Telefoni e Telegrafi  
 PTT – Push-To-Talk  
 QAM – Quadrature Amplitude Modulation  
 QoS – Quality of Service  
 QPSK – Quadrature Phase Shift Keying  
 QRCode – Quick Response Code  
 RACE – Research and Development in Advanced Communication Technology in Europe  
 RADAR – RADio Detection And Ranging  
 RAF – Royal Air Force  
 RAI – Radio Audizioni Italiane, poi Radiotelevisione Italiana  
 RAM – Random Access Memory  
 RAN – Radar di Avvistamento Navale  
 RAND – Research ANd Development Corporation  
 RAP – Radio Access Point  
 RaRi – (Comitato) Radio-detector-telemetRi  
 RASPUTIN™ – Radio Strength Prediction Using Territorial INputs  
 RAT – Radar di Avvistamento Terrestre  
 RATT – Radio Tele Typewriter  
 RCA – Radio Corporation of America  
 RCS – Return Channel via Satellite  
 RDF – Resource Description Framework  
 RDS – Radio Data System  
 RDT – Radio-Detector Telemetro  
 RED 4/4 – Ripartitore Elettronico Digitale 4/4  
 RF – RadioFrequenza  
 RFC – Request For Comments  
 RFD – Ricerca Fonia e Dati  
 RFNM – Ready For Next Message  
 RIAM – Rete Isofrequenziale ad Accesso Multiplo (rete radiomobile nazionale Enel 1985-2001)  
 RIEC – Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni della Marina  
 RIPAC – Riconoscitore di Parlato Connesso  
 RIPE – Réseaux IP Européens  
 RIS – Radar Ispezione Sottosuolo  
 RNI – Rete Numerica Interforze  
 Rpcnet – REEL Project Computer NETwork  
 RS – Reed-Solomon  
 RTF – Radiodiffusion Télévision Française  
 RTL – Register Transfer Level  
 RTMI – Radio Telefono Mobile Integrato

- RTMS – Radio Telephone Mobile System
- RTN – Radar di Tiro Terrestre
- RTVE – Radio TeleVisión Española
- S/P-DIF – Sony Philips Digital Interface Format
- SACE / RALA – Soppressore Adattivo di Clutter Esteso basato su un Rifasatore Adattivo a Loop Aperto
- SADOC – Sistema Automatico per la Direzione delle Operazioni di Combattimento
- SAFAR – Società Anonima Fabbricazione (più tardi Fabbrica) Apparecchi Radiofonici
- S-ALOHA – Slotted-ALOHA
- SAR – Synthetic Aperture Radar
- SARIT – Swiss Association for Research in Information Technology
- SAS – Servizio Attività Spaziali del CNR
- SATCOM – SATellite COMmunications
- SCE – Service Creation Environment
- SCP – Service Control Point
- SCPC – Single Channel Per Carrier
- SCRA – Single Channel Radio Access
- SD&S – Service Discovery & Selection
- SDH – Synchronous Digital Hierarchy
- SDL – Specification Description Language
- SDTV – Standard Definition Television
- SEAT – Società Elenchi ufficiali Abbonati al Telefono
- SECAM – SÉquentiel Couleur À Mémoire
- SES – Société Européenne des Satellite
- SET – società Elettro Telefonica meridionale (ex SETEMER)
- SET – Società Esercizi Telefonici
- SFN – Single Frequency Network
- SGS – Società Generale Semiconduttori
- SGS/ATES – Società Generale Semiconduttori/ Aziende Tecniche Elettroniche del Sud SpA
- SGSDH – Sistema di Gestione rete SDH
- SHF – Super High Frequency
- SHOT – Society for the History of Technology
- SIACCON – SIstema Automatizzato di Comando e CONtrollo.
- SIAE – Società Italiana Apparecchiature Elettriche
- SICRAL – Sistema Italiano per Comunicazioni Riservate ed Allarme
- SIM – Subscriber Identity Module
- SIM – Seleo Italtel Multimedia
- SINGGARS – Single Channel Ground and Airborne Radio System
- SINTEL – Sistema Integrato Numerico TELEttra
- SIP – Session Initiation Protocol
- SIP – Società Idroelettrica Piemontese; poi Società Italiana per l'Esercizio Telefonico
- SIPRA – Società Italiana Pubblicità Radiofonica
- SIRIO – Satellite Italiano di Ricerca Industriale ed Operativa
- SIRM – Società Italiana Radio Marittima
- SIRTI – Società Italiana Reti Telefoniche Interurbane
- SIT – Società Italiana Telecomunicazioni
- SLIC – Subscriber Line Interface Circuit
- SMA – Segnalamento Marittimo ed Aereo SpA
- SME – Stato Maggiore Esercito
- SMPTE – Society of Motion Picture and Television Engineers
- SMR – Surface Movement Radar
- SMS – Short Message Service
- SMTP – Simple Mail Transfer Protocol
- SN – Service Node
- SNA – Systems Network Architecture
- SOA – Semiconductor Optical Amplifier
- SOATCC – Sottosistema Avvistamento Tattico e Comando e Controllo
- SOCRATE – Sviluppo Ottico Coassiale Rete di Accesso Telecom
- SOE – Server Object Extensions
- SOGEI – Società Generale d'Informatica

- SONET – Synchronous Optical Network
- SORAO – Sottosistema sORveglianza e Acquisizione Obiettivi
- SOTRIN – SOTTosistema TRasmissioni Integrate
- SPC – Stored Program Control
- SPECT – Tomografia computerizzata a Singolo Fotone
- SRA – Svenska Radio ab (abbreviazione di *aktienbolaget* cioè società per azioni)
- SRI – Stanford Research Institute, Palo Alto
- SS7 – Signalling System # 7
- SSB – Single Side Band
- SSGR – Scuola Superiore Guglielmo Reiss Romoli
- SSR – Secondary Surveillance Radar
- SS-TDMA – Satellite Switched – Time Division Multiple Access
- STANAG – STANdard Nato Agreement)
- STB – Set-Top-Box
- STC – Studio Tecnico di Consulenza, Roma
- STELLA – Satellite Transmission Experiment Linking Laboratories
- STET – Società Torinese per l'Esercizio Telefonico, poi Società Finanziaria per l'Esercizio Telefonico
- STIPEL – Società Telefonica Interregionale Piemontese E Lombarda
- STL – Standard Telecommunications Laboratories, Harlow, UK
- STM – Synchronous Transport Module
- STP – Signaling Transfer Point
- T.I.M – Tecno-Idro-Meteo, Società Consortile
- TACS – Total Access Communication System
- TACSATCOM – TACTical SATellite COMMunication
- TAR 3D – Target Acquisition Radar 3dimensions
- TAT – TransATlantic (cavo sottomarino)
- TBT – (comunicazioni) Terra-Bordo-Terra
- TCM – Trellis Coded Modulation
- TCP – Transmission Control Protocol
- TD SCDMA – Time Division Synchronous Code Division Multiple Access
- TD-CDMA – Tecnica mista TDMA e CDMA
- TDD – Time-Division-Duplex
- TDD/FH – Time Division Duplex / Frequency Hopping
- TDMA – Time Division Multiple Access
- TDRSS – Tracking and Data Relay Satellite System
- TELVE – società anonima TELEfonica Veneta
- TEM – Transverse Electro Magnetic
- TERRA – Tecniche di Elaborazione e Rilevamento delle Risorse Ambientali
- TETI – società TELEfonica Tirrena
- TETRA – TERrestrial Trunked Radio
- TG – Telegiornale
- TH – Time Hopping
- TI – Telecom Italia
- TILAB – Telecom Italia LABORatories
- TIM – Telecom Italia Mobile
- TIMO – Telefoni Italia Medio Orientale
- TIN – Telecom Italia Net
- TINA – Telecommunications Information Networking Architecture
- TLC – Telecomunicazioni
- TMA – TerMinal Area (aeroporti e Controllo del Traffico Aereo)
- TMA/APP – TerMinal Area/ APProach control (Radar)
- TMN – Telecommunication Management Network
- TOL – Telecom On Line
- TRANSEC – TRANsmission SECURITY
- TRM – Transmit-receive module (modulo ricetrasmittente, elemento base di un Phased Array)
- TS – Transport Stream
- TST – Tempo-Spazio-Tempo (tecnica di matrice di interconnessione usata nelle centrali di commutazione elettronica numerica)
- TSU – TeleSelezione da Utente

- TTH – Tactical Transport Helicopter  
 TTL – Transistor-Transistor Logic  
 TUT – Tariffazione Urbana a Tempo  
 TV – Televisione  
 TWS – Track-While-Scan  
 TWT – Travelling Wave Tube  
 TX – Trasmettitore  
 UAV/UAS – Unmanned Aerial Vehicles/Unmanned Aerial Systems  
 UCLA – University of California at Los Angeles  
 UDP – User Datagram Protocol  
 UE – Unione Europea  
 UER – Union Européenne de Radiodiffusion  
 UGC – User Generated Content  
 UHDTV – Ultra High Definition Television  
 UHF – Ultra High Frequency  
 UIT – Union Internationale des Télécommunications  
 UIT-RS – Union Internationale des Telecommunications – Radio Communication Sector  
 UIT-TSS – Union Internationale des Telecommunications – Telecommunication Standardization Sector  
 UK – United Kingdom  
 ULL – Unbundling Local Loop  
 UMTS – Universal Mobile Telecommunications System  
 UNI – Ente Italiano di Unificazione  
 UNINFO – Ente di Normativa per le Tecniche Informatiche e loro Applicazioni  
 URMET – Utilizzazione e Recupero Materiale Elettro-Telefonico  
 USA – United States of America  
 USAAF – United States Air Force  
 USD – United States Dollars  
 USIM – Universal SIM  
 USWB – United States Weather Bureau  
 UT – User Terminal  
 UWB – Ultra-Wide Band  
 VAD – Vapour Axial Deposition  
 VADIS – Video Audio Digital Interactive System  
 VBR-NRT – Variable Bit Rate Non Real Time  
 VBR-RT – Variable Bit Rate Real Time  
 VC – Virtual Circuit  
 VCEG – Video Coding Expert Group  
 VDSL – Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line  
 VHDL – VHASIC Hardware Description Language  
 VHF – Very High Frequency  
 VHS – Video Home System  
 VHSIC – Very High Speed Integrated Circuits  
 VLF – Very Low Frequency  
 VOD – Video on Demand  
 VoIP – Voice over IP  
 VOL – Video On Line  
 VP – Virtual Path  
 VPN – Virtual Private Network  
 VTS – Vessel Traffic System  
 W3C – World Wide Web Consortium  
 WAN – Wide Area Network  
 WAP – Wireless Application Protocol  
 WARC – World Administrative Radio Conference  
 WCDMA – Wideband CDMA  
 WDM – Wavelength Division Multiplexing  
 WDM-PON – Wavelength Division Multiplex PON  
 webTV – Televisione sul web  
 WHT – Walsh-Hadamard Transform  
 WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access  
 WKBJ – metodo Wentzel-Kramers-Brillouin-Jeffreys  
 WLAN – Wireless Local Area Network  
 WLL – Wireless Local Loop  
 WPAN – Wireless Personal Area Network  
 WST – World System Teletext  
 WWW – World Wide Web

## INDICE DEGLI ARGOMENTI

---

### LE ORIGINI

#### Dall'elettromagnetismo alle onde elettromagnetiche: le basi scientifiche dello sviluppo delle telecomunicazioni nell'Ottocento.....3

- Introduzione.....3
- L'elettromagnetismo prima di James Clerk Maxwell.....8
- Maxwell e la genesi del concetto di campo elettromagnetico.....16
- Dalle equazioni di Maxwell alla radio.....24
- Bibliografia.....32

#### Dalle costanti concentrate alle costanti distribuite.....33

- Preparativi per un lungo viaggio: dalla pila voltiana alle onde hertziane.....33
  - Tra Illuminismo e Romanticismo.....33
  - L'auspicato approdo all'ingegneria.....35
  - Verso una possibile nozione di "spazio circuitale".....36
  - L'influenza del pensiero di Fourier sull'approccio circuitale.....39
  - Le linee elettriche fanno la loro apparizione.....41
- Le tappe delle costanti concentrate.....42
  - Il regime stazionario.....42
  - L'approccio teorico: tipologia, topologia ed equivalenza.....43
  - Una prima progressione verso il regime variabile: la bassa frequenza e le costanti concentrate in uno spazio geometrico.....46

- L'elaborazione finale dell'approccio: l'elettrodinamica delle equazioni di Lagrange-Maxwell..47
- Verso uno spazio circuitale che, al crescere delle frequenze, si appropria del suo carattere fisico ...50
- Le tappe delle costanti distribuite.....53
  - La linea di comunicazione elettrica.....53
  - *Circuits in the sea*.....54
- Il simultaneo sviluppo delle linee di potenza.....55
  - L'enigma delle costanti distribuite.....56
  - La *marche naturelle* dell'elettricità in cavo: la *K-R law* kelviniana e la dinamica diffusiva..57
  - Verso risultati inattesi...58
  - Entra in scena Oliver Heaviside...60
  - La linea viene maxwellianamente sottoposta all'analisi campistica.....63
  - Il contributo finale: l'elaborazione e la messa a punto degli algoritmi matematici necessari per l'analisi circuitale.....64
- Conclusioni.....66
- Appendice I. Maxwell e le onde elettromagnetiche.....67
- Appendice II. Il contributo di FitzGerald.....68
- Bibliografia.....70

#### La telegrafia elettrica e i suoi sviluppi: facsimile e telescrivente.....73

- Comunicare a distanza: dai tamburi al telegrafo ottico.....73

## STORIA DELLE TELECOMUNICAZIONI

- Il telegrafo elettrico.....	76	- Gli inizi: il trattamento del segnale sismico e i primi calcolatori italiani.....	181
· Tecnica e progresso.....	76	- Attività nelle università e negli enti di ricerca I.....	182
· I cavi sottomarini.....	80	· Firenze-IROE.....	182
· Il telegrafo negli Stati italiani preunitari.....	82	· Milano, Torino Galileo Ferraris.....	183
· Il telegrafo nell'Italia unita.....	86	- La televisione numerica.....	183
· Il telegrafo come servizio pubblico.....	91	- Attività nelle università e negli enti di ricerca II.....	186
- Sviluppi della comunicazione scritta: pantelegrafo e telescrivente.....	95	- Prime applicazioni alla bioingegneria: la tomografia SPECT.....	187
- Bibliografia.....	99	- L'elaborazione delle immagini in CELT e lo sviluppo di MPEG-2.....	187
<b>La nascita della telefonia: da Antonio Meucci al successo globale.</b>	101	- Il sistema Telettra e i mondiali di calcio "Italia 1990".....	190
- L'invenzione.....	101	- Sviluppi nell'industria delle telecomunicazioni.....	190
- Lo sviluppo successivo.....	105	- Attività nelle università e negli enti di ricerca III.....	191
- La diffusione del telefono.....	109	- Un successo recente: i radar ad apertura sintetica satellitari.....	193
- Bibliografia.....	110	- Bibliografia.....	195
<b>Pragmatica di un'invenzione. Guglielmo Marconi e le comunicazioni radio.</b>	111	<b>La trasmissione: dalla coppia telefonica ai ponti radio ed alle fibre ottiche</b> .....	197
- L'invenzione.....	113	- Introduzione.....	197
- In pubblico.....	115	- La propagazione elettromagnetica.....	199
- L'azzardo.....	118	- I sistemi di trasmissione.....	213
- Il <i>business</i> .....	120	· I sistemi di trasmissione analogica su cavo.....	213
- Il ripensamento.....	122	· I sistemi di trasmissione numerica su cavo.....	215
- Bibliografia essenziale.....	124	· Prestazioni dei sistemi di trasmissione numerica.....	216
- Cronologia.....	125	- Codifica di linea.....	218
<b>Il contributo della Marina Militare Italiana allo sviluppo delle radiocomunicazioni.</b>	139	· Sincronizzazione.....	219
- Introduzione.....	139	· La trasmissione in ponte radio.....	220
- Le prime esperienze.....	140	- Il contributo italiano alle tecniche di codifica di canale per la correzione degli errori.....	226
- L'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della Regia Marina.....	150	- Conclusioni.....	229
- La Regia Marina e le telecomunicazioni militari.....	156	- Bibliografia.....	230
- L'ultimo Marconi.....	159	<b>Le reti a pacchetto</b> .....	239
- Il radar italiano.....	163	- La rivoluzione dei pacchetti.....	239
- Divulgazione.....	174		
- Bibliografia.....	176		
<b>GLI SVILUPPI TECNICO/SCIENTIFICI</b>			
<b>L'elaborazione numerica dei segnali</b> .....	181		

· In principio.....	239	· Il progetto SOCRATE e la nascita dell'ADSL.....	277
· Pacchetti.....	240	· Le reti dati del nuovo millennio.....	278
· ARPANET.....	241	- Bibliografia.....	279
· Protocolli e servizi.....	243	<b>La fotonica nelle telecomunicazioni.....</b>	<b>281</b>
· Molte reti.....	244	- Gli anni '60.....	281
- I primi passi in Italia.....	245	- Gli anni '70.....	285
· I primi esperimenti: Rpcnet (1970-1982).....	245	- Gli anni '80.....	291
· Lo standard OSI: OSIRIDE (1976-1985).....	248	- La fotonica nel progetto finalizzato "Telecomunicazioni".....	297
· La rete via satellite: STELLA (1978-1983).....	251	- Un'innovazione determinante: l'amplificatore ottico.....	299
· Internet in Italia.....	253	- Gli anni '90.....	304
- Le reti commerciali in Italia.....	255	- Conclusione.....	308
· Reti dati e rete telefonica.....	255	- Bibliografia.....	310
· Qualche considerazione di carattere tecnico: telefono o posta?.....	255	<b>La ricerca nelle istituzioni: i casi ISPT, FUB, CRIT e l'attività COST.....</b>	<b>315</b>
· Qualche considerazione di carattere economico: i circuiti dalle uova d'oro.....	257	- Introduzione.....	315
- X.25 E ITAPAC.....	258	- Istituto Superiore delle Poste e delle Telecomunicazioni.....	315
· <i>Mainframes</i> , videoterminali e personal computer.....	258	· Le origini ed il primo mezzo secolo.....	315
· La tecnologia: modem telefonici e CDN.....	258	· I successivi cinquant'anni.....	316
· Il protocollo X.25.....	260	· L'ultimo decennio.....	319
· X.25 in Italia: la rete ITAPAC.....	261	· La Scuola Superiore di Specia- lizzazione in Telecomunicazioni.....	320
· Altre reti: BBS e Videotel.....	262	- Fondazione Ugo Bordoni.....	321
· Le reti Frame Relay.....	265	· Le origini ed i primi venti anni.....	321
· Frame Relay in Italia: la rete CLAN.....	266	· La Fondazione nei successivi trent'anni.....	322
· Da ISDN e Frame Relay a B-ISDN e ATM: un cenno veloce.....	267	· Le attività di ricerca.....	323
· Intanto Internet... ..	268	· I risultati scientifici.....	327
· TCP/IP – OSI: lo scontro finale.....	269	· L'impatto e le applicazione dei risultati.....	328
· Internet in Italia: la nascita degli ISP.....	271	· Partecipazione in programmi europei e nazionali.....	329
- ATM e IP: Atmosfera e Interbusiness.....	272	· Partecipazione in organismi di normativa e standardizzazione.....	330
· L'Asynchronous Transfer Mode (ATM) in pillole.....	273	· La Fondazione nell'ultimo decennio.....	330
· ATM in Italia: la rete Atmosfera.....	274	- Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica.....	332
· ATM e/o IP.....	275	· La storia del Centro Ricerche RAI: gli inizi.....	332
· Vendita IP all'ingrosso: la rete Interbusiness.....	276		

· La missione del Centro Ricerche RAI.....	333	dei segnali: Fleming e il diodo.....	415
· La storia della radiodiffusione attraverso il contributo del Centro Ricerche della RAI.....	333	· De Forest ed Armstrong: triodo e sviluppo delle tecniche radiofoniche.....	416
· Gli anni 2000.....	339	· Le fasi pionieristiche del <i>broadcasting</i> radiofonico.....	422
- COST (European COoperation in the field of Scientific and Technical research).....	340	· L'invenzione della modulazione di frequenza.....	426
· Origini ed evoluzione.....	340	· La stereofonia nella radiofonia.....	428
· Il COST oggi.....	342	· I primi ricevitori radiofonici commerciali.....	429
· Le ricerche COST nelle telecomunicazioni.....	345	- Sviluppi in Italia della tecnica radiofonica e dei servizi.....	431
<b>Centro studi e laboratori telecomunicazioni (CSELT).....</b>	<b>347</b>	· Contributi scientifici e tecnici italiani nella fase pionieristica.....	431
- Il contesto in cui nasce lo CSELT.....	347	· Sviluppo del <i>broadcasting</i> radiofonico in Italia: la nascita della RAI.....	434
- Nascita e sviluppo dello CSELT.....	350	- Primordi e sviluppi della televisione analogica a livello mondiale.....	439
- Trasmissione numerica.....	358	· Gli esordi elettro-meccanici: da Nipkow a Baird.....	439
- Fibre ottiche.....	362	· L'approccio elettronico: da Braun a Zworykin.....	443
- Optoelettronica e fotonica.....	363	· Inizio dei servizi televisivi di <i>broadcasting</i> terrestre.....	446
- Ponti radio e satelliti.....	367	· Dai primi televisori commerciali agli schermi piatti.....	449
- Commutazione numerica.....	369	· Sviluppo degli standard televisivi in bianco/nero.....	450
- Microelettronica e tecnologie VLSI.....	374	· Sviluppo degli standard televisivi a colori.....	453
- Rete intelligente e rete di segnalazione.....	378	· Il nuovo servizio televisivo Teletext.....	456
- Reti dati e <i>networking</i> .....	381	· Gli inizi della televisione in alta definizione (HDTV).....	457
- Sistemi radiomobile.....	384	· Diffusione televisiva tramite cavo e satellite.....	460
- Pianificazione e gestione di rete.....	388	- Sviluppi in Italia della televisione analogica.....	465
- Integratore di sistemi.....	391	· Contributi scientifici e tecnici italiani nella fase pionieristica.....	465
- Tecnologie vocali.....	393	· Sviluppo del <i>broadcasting</i> televisivo in Italia.....	467
- Tecnologie multimediali.....	398	· L'industria manifatturiera italiana per radiofonia e televisione.....	472
- Gli ultimi anni.....	400		
- Bibliografia.....	402		
<b>I SETTORI APPLICATIVI</b>			
<b>Radiofonia e televisione: era analogica.....</b>	<b>407</b>		
- Premessa.....	407		
- Primordi e sviluppi della radiofonia analogica a livello mondiale.....	409		
· Gli albori: Fessenden e l'invenzione della modulazione di ampiezza.....	409		
· Gli sviluppi della rivelazione			

<b>Radiofonia, televisione e cinema: era digitale</b> .....	481	- Aeronautica Militare.....	567
- Tecnica digitale nel sistema radiofonico e televisivo.....	481	· Le comunicazioni dell'Aeronautica Militare.....	567
· Alcune osservazioni preliminari.....	481	· La ricostruzione.....	571
· La digitalizzazione nella produzione radiofonica e televisiva.....	481	· Sistema di comunicazione (tipico) per elicottero.....	573
· La "compressione" dei segnali audio-video ed il determinante apporto italiano.....	491	· Complesso CNS per aereo da trasporto.....	574
· I nuovi standard diffusivi digitali.....	506	· Avionica attuale (2005).....	575
· Il progetto RAI degli archivi digitali audiovisivi ed altri progetti speciali.....	516	- Conclusioni.....	576
- Nuovi scenari ed evoluzione della televisione.....	521	· Nota.....	577
· I moderni mezzi di diffusione televisiva su portante fisico.....	521	- Appendice. Tecniche di trasmissione a banda espansa.....	578
· Dall'alta definizione al cinema digitale.....	526	- Bibliografia.....	585
· Televisione tridimensionale (3D).....	528	<b>Lo sviluppo del radar in Italia ed all'estero</b> .....	589
· Televisione ad altissima definizione.....	529	- Le fonti, le origini, le premesse.....	589
· Futuro della televisione.....	530	- La Seconda Guerra Mondiale e i suoi lasciti.....	600
<b>Le comunicazioni militari</b> .....	533	- La situazione nazionale nel dopoguerra: SMA, Microlambda, Sindel, Selenia.....	609
- Introduzione.....	533	- Il consolidamento delle conoscenze Selenia e le crisi degli anni '70 e '90.....	615
- Esercito.....	534	- Dai radar terrestri ai radar spaziali: l'avventura del SAR nazionale.....	620
· Le origini.....	534	- "Non solo Finmeccanica": lo sviluppo di Contraves, GEM, IDS.....	623
· La ricostruzione.....	537	- Alcune considerazioni sugli sviluppi del radar.....	628
· La rinascita.....	539	- Bibliografia.....	632
· La struttura.....	542	<b>Telecomunicazioni spaziali</b> .....	637
· Il "Post-75". La genesi.....	544	- L'inizio delle telecomunicazioni spaziali.....	637
· Le reti militari infrastrutturali.....	548	- I primi sviluppi delle telecomunicazioni spaziali in Italia (anni '60).....	639
· CNR (Combat Net Radio).....	550	· Il progetto SIRIO.....	641
· Il CATRIN.....	551	- I programmi nazionali ed europei dagli anni '70 al 2000 e lo sviluppo del progetto SIRIO.....	642
- Marina Militare.....	559	· Il programma ITALSAT.....	646
· Le comunicazioni della Marina Militare.....	559	- Gli anni 2000.....	649
· La ricostruzione.....	562	- Bibliografia.....	653
· Le comunicazioni via satellite.....	564		
· Le comunicazioni speciali.....	565		
· Conclusioni.....	565		

L'ORGANIZZAZIONE DEI SERVIZI E  
IL RUOLO DELL'INDUSTRIA**Successi e decadenza delle  
industrie di telecomunicazioni**..... 657

- Avvertenza..... 657
- Profilo..... 658
- Dal periodo bellico ai primi  
anni '60..... 658
  - Il periodo bellico e  
l'immediato dopoguerra..... 658
  - I laboratori della Fabbrica  
Italiana Magneti Marelli..... 659
  - La Telettra..... 662
  - La FIMM..... 664
  - La Telettra dei primi anni '60 ..... 665
  - La FIMM dei primi anni '60..... 666
  - La Marconi Italiana..... 667
  - La Siemens..... 668
- L'inizio dell'era digitale e  
l'affermazione dello stato solido..... 668
  - La Telettra..... 668
  - La Siemens..... 670
  - La Selenia..... 671
  - La ARE..... 671
  - La Telettra nei primi anni '70..... 672
  - La SIAE Microelettronica e  
la Selta..... 673
  - La IPM di Napoli e la  
URMET di Torino..... 675
- L'introduzione dei circuiti  
integrati e la potenza di uscita  
allo stato solido..... 675
  - L'introduzione dei circuiti  
integrati..... 675
  - Potenza di uscita allo stato  
solido..... 677
- La commutazione elettronica..... 677
  - La commutazione Telettra: la  
partenza..... 679
  - La Ricerca Italtel: la Seam ed  
il Proteo..... 680
  - La Ricerca Telettra in  
commutazione (anni '70)..... 682
  - Gli anni '80 per Italtel,  
Telettra e GTE in  
commutazione..... 684
- Gli studi di trasmissione degli  
anni '70 ed '80..... 687
  - La Pirelli..... 687

- Le TLC tutte digitali..... 688
- Sistemi per applicazioni speciali 689
- Collaborazione Università-  
Industria..... 690
- Le valorose aziende di nicchia  
negli anni '90-2000..... 691
- Gli artefici dei successi..... 692
- Gli anni '90 e 2000: la  
decadenza delle aziende  
industriali italiane..... 695
  - Il quadro istituzionale..... 695
  - La liberalizzazione del  
servizio telefonico..... 697
  - Il sistema radiomobile ..... 697
  - La rete Internet, i suoi servizi  
ed il tema dell'accesso a larga  
banda..... 699
  - Alcuni commenti..... 702

**Le infrastrutture delle**

- telecomunicazioni**..... 705
- Premessa..... 705
- Le infrastrutture dal 1881 al 1915..... 705
  - Assetto telecomunicazioni..... 705
  - Reti urbane..... 706
  - Reti interurbane..... 706
- Le infrastrutture dal 1919 al 1940..... 707
  - Assetto telecomunicazioni..... 707
  - Reti aeree ed urbane..... 708
  - Reti Interurbane..... 710
  - Cavi sottomarini..... 712
  - Ponti Radio..... 713
- Le infrastrutture dal 1946 al 1957..... 713
  - Assetto telecomunicazioni..... 713
  - Rete interurbana ASST..... 714
  - Rete in ponti radio..... 715
  - Reti urbane e interurbane  
delle concessionarie..... 716
  - Reti sottomarine..... 717
- Le infrastrutture dal 1958 al 1982..... 717
  - Assetto telecomunicazioni..... 717
  - Reti urbane ..... 718
  - Reti interurbane ed a lunga  
distanza..... 718
  - Reti satellitari..... 721
  - Reti in ponte radio..... 721
  - Sperimentazione di cavi in  
fibre ottiche..... 722
- Le infrastrutture dal 1983 al 1997..... 722
  - Assetto delle telecomunicazioni 722

· Reti interurbane.....	724	· La fase storica: i sistemi cellulari analogici di prima generazione.....	767
· Reti di distribuzione urbane.....	726	- L'evoluzione verso il digitale, la saga del GSM e la seconda generazione.....	777
· Progetto SOCRATE.....	727	· L'inizio della storia in Europa.....	777
· Rete a lunga distanza in ponte radio.....	728	· La definizione della "interfaccia radio".....	778
· Rete radiomobile.....	728	· Altri aspetti del processo di standardizzazione.....	779
- Le infrastrutture dal 1998 ad oggi.....	729	· I servizi di messaggistica breve SMS.....	779
· Assetto Telecomunicazioni.....	729	· L'attività di ricerca.....	779
· Cablaggio ottico di Milano.....	729	· GSM?.....	780
· Infratel e iniziative locali.....	730	· La nascita dell'Istituto di Standardizzazione ETSI. La questione degli IPR.....	780
· Reti FTTH.....	730	· Le politiche industriali in Italia.....	782
- Reti radiomobile e radio.....	731	· GSM in Italia, e l'apertura alla concorrenza con l'avvento di Omnitel-Pronto Italia.....	783
- Conclusioni.....	731	· Per Italtel si rimescolano le carte. Scade, senza risultati di rilievo, l'accordo strategico fra STET ed ATT.....	785
- Bibliografia.....	732	· Gli operatori Tim e Omnitel completano le proprie reti ed entrano in servizio.....	786
<b>Il ruolo dei gestori nelle comunicazioni nazionali.....</b>	<b>735</b>	· Azioni di disturbo: non basta il <i>wireless</i> .....	786
- Riferimenti storici.....	735	· Il PHS in Giappone.....	789
- I gestori nei primi 40 anni delle telecomunicazioni italiane: 1925-1965.....	739	· I servizi PCS e la banda dei 1800 MHz.....	789
- I gestori Italcable e Telespazio.....	741	· Ulteriori sviluppi in Italia.....	790
· La SIP: 1964-1994.....	742	· E le reti cellulari analogiche? Quando morirono?.....	792
- ASST e IRITEL.....	747	· L'evoluzione negli USA e la competizione con gli standard ETSI nel mondo.....	792
- Telecom Italia: 1994-2010.....	749	- La terza generazione.....	793
· Investimenti.....	751	· 1995-2001. I prodromi della terza generazione. La competizione sugli standard è ormai mondiale.....	793
· Asset strategici.....	752	· La strategia del Giappone sulla terza generazione (3G), ed il ruolo di NTT DoCoMo.....	794
· Indebitamento.....	753		
· Valore del titolo.....	753		
- I nuovi gestori: 1998-2010.....	755		
· Wind.....	756		
· Omnitel Pronto Italia – Vodafone Italia.....	756		
· Fastweb.....	757		
· Albacom – BT Italia.....	757		
- Le telecomunicazioni italiane nel 2010.....	758		
· Telecom Italia:.....	759		
· Tim:.....	760		
· Omnitel Pronto Italia:.....	760		
<b>Reti, servizi cellulari e <i>wireless</i>.....</b>	<b>763</b>		
- Introduzione.....	763		
- Dai primordi alla prima generazione analogica.....	766		
· La preistoria: servizi di "supernicchia" e standard nazionali.....	766		

- L'effettiva scelta dello standard di accesso radio per il 3G. Le premesse.....795
  - Come fu che la proposta WCDMA fu adottata da ETSI...796
  - 3G: un nuovo mercato o una nuova tecnologia evolutiva per lo stesso mercato? L'UMTS come una fase della ricerca continua di una nuova *killer application*.....797
  - L'episodio dei servizi PTT, come un esempio indicativo delle disfunzioni nella ricerca della *killer application*.....799
  - Ancora sul ruolo percepito per l'UMTS, e su alcune importanti conseguenze pratiche. I primi sfontimenti del mercato.....800
  - La prima fu la corsa alle licenze UMTS in Europa ed in Italia.....800
  - Le licenze in Italia e l'inizio dello *shake out*.....801
  - I produttori di tecnologia e l'UMTS.....802
  - Un ultimo cenno sulla evoluzione di Qualcomm negli USA.....803
  - L'entrata in servizio delle reti UMTS.....803
  - In Italia il ruolo di trascinamento fu svolto da H3G.....804
  - Anche la concorrenza nella realizzazione delle reti prende nuove forme.....804
  - Conclusione.....805
  - Bibliografia.....807
- Cinquant'anni di telecomunicazioni digitali ed uno sguardo al futuro: la convergenza informatica-telecomunicazioni e le nuove architetture di rete fissa**.....809
- Premessa e fasi storiche dell'evoluzione delle reti.....809
  - Introduzione del PCM e convergenza trasmissione/commutazione.....811
  - La numerizzazione dei segnali e la nascita del PCM.....811
  - Il consolidamento del PCM e la convergenza trasmissione/commutazione nelle reti TLC.....813
  - L'affermazione della trasmissione numerica.....815
  - Il ruolo della microelettronica come tecnologia abilitante delle comunicazioni digitali.....816
  - *Computer Network* e confluenza informatica/telecomunicazioni.....819
  - Introduzione.....819
  - La trasmissione a pacchetto e le prime evoluzioni delle reti di calcolatori.....819
  - Architetture protocollari a strati e la nascita degli standard aperti.....822
  - L'evoluzione dei protocolli di comunicazione.....824
  - L'ICT e le nuove aziende di telecomunicazione.....827
  - Confluenza ICT/audiovisivo.....829
  - Introduzione.....829
  - La "compressione" delle informazioni digitali e la nascita degli standard di codifica di sorgente.....830
  - Codici correttori, nuove modulazioni e standard diffusivi digitali.....833
  - Lo sviluppo di sistemi trasmissivi nell'area di accesso: fibra ottica e ADSL.....837
  - Estensione del protocollo IP e reti di nuova generazione.....838
  - La nuova frontiera delle reti a partire dal 2000.....838
  - L'evoluzione della *suite* del protocollo IP.....839
  - Il "triple play" ed il "quadruple play".....842
  - Lo studio di nuovi sistemi diffusivi IP per portanti fisici.....843
  - Internet 2.0 e l'infrastruttura di rete NGN a banda ultralarga.....843
  - Uno sguardo al futuro.....844

LA FORMAZIONE E LA DIVULGAZIONE

**Formazione universitaria sulle telecomunicazioni: evoluzione normativa e profili professionali**..... 851

- Introduzione..... 851
- Gli ambiti e le capacità professionali..... 852
- Il quadro normativo: evoluzione e stato attuale..... 854
- Gli attuali livelli formativi..... 863
- I campi di attività e gli sbocchi professionali..... 864
- Conclusioni..... 867
- Riferimenti normativi..... 868

**Aspetti sociali e culturali delle telecomunicazioni** ..... 869

- Introduzione..... 869
- L'universo della comunicazione..... 871
- La comunicazione filtrata..... 875
- Il mondo e la parola..... 876
- La scuola, il sapere e la narrazione..... 878
- La ricerca e l'università..... 880
- Tecnologia e cultura..... 881
- Scienza e tecnologia..... 883
- Navigare a vista..... 884
- Le reti sociali: il tempo e l'identità..... 885
- Osservazioni finali..... 888
- Bibliografia..... 896

**Nuove prospettive e paesaggi dall'attico e superattico delle TLC**..... 897

- Introduzione..... 897
- Il ruolo della dimensione emotiva..... 900
- La contaminazione tecnologia-società: dall'architettura OSI alle reti Multistrato..... 903
- L'ondata dei *new media* e l'organizzazione del sapere..... 908
- Dai modelli lineari dell'argomentazione ai modelli emo-cognitivi a rete..... 910
  - *Positioning* dei nuovi media e nascita dei *social media*..... 912
- Conoscenza e apprendimento..... 917

- Le diverse forme di apprendimento..... 920
- Apprendimento connettivo..... 924
- Aree emergenti: il caso del territorio e dei beni culturali..... 926
- Gli spazi vuoti e incolti della democrazia partecipata..... 931
  - *Digital divide* e la lezione dei nativi digitali..... 935
- Bibliografia..... 937

**Musei, collezioni e fonti documentali per la storia delle telecomunicazioni in Italia**..... 939

- Meraviglia *vs* Storia..... 939
- Alcuni tra i principali musei, e le maggiori collezioni italiane, sulla storia delle telecomunicazioni..... 942
  - Museo della Radio e della Televisione, Torino..... 942
  - Il Museo Storico delle Poste e Telecomunicazioni, Roma..... 943
  - Fondazione Guglielmo Marconi, Sasso Marconi, Bologna..... 945
  - La Collezione Cremona: Storia e Tecnologia della Comunicazione..... 946
  - Le telecomunicazioni nel Museo della Tecnica Elettrica di Pavia..... 947
  - Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci, Milano..... 948
  - Archivio Storico Telecom Italia, Torino..... 949
  - Altri musei e collezioni..... 950
- Fonti documentali..... 951
  - Museo Storico Virtuale dell'AEIT..... 951
  - L'archivio storico dell'Istituto LUCE..... 952
- Alcuni reperti conservati nei musei italiani..... 953
  - I prototipi dei telefoni di Antonio Meucci (collezione SIRTU del Museo della Tecnica Elettrica di Pavia)..... 953

STORIA DELLE TELECOMUNICAZIONI

- Il pantelegrafo (fax) di Giovanni Caselli (Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci, Milano).....955
- La radio di soccorso “Ondina 33” del dirigibile Italia (Museo Tecnico Navale della Marina Militare Italiana di La Spezia).....960

## AUTORI

---

*Marco Ajmone Marsan*, ordinario di Telecomunicazioni presso il Politecnico di Torino.

*Franco Angotti*, ordinario di Scienza delle Costruzioni presso l'Università di Firenze.

*Sergio Benedetto*, ordinario di Telecomunicazioni presso il Politecnico di Torino.

*Ovidio Mario Bucci*, ordinario di Campi Elettromagnetici presso l'Università di Napoli Federico II.

*Virginio Cantoni*, ordinario di Sistemi di Elaborazione delle Informazioni presso l'Università di Pavia.

*Vito Cardone*, ordinario di Disegno presso l'Università di Salerno, presidente della Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria.

*Antonio Caroppo*, amministratore delegato SIELTE SpA.

*Vincenzo Carulli*, direttore dell'Istituto per le Telecomunicazioni e l'Elettronica "Giancarlo Vallauri" della Marina Militare.

*Eugenio Costamagna*, ordinario di Telecomunicazioni presso l'Università di Pavia.

*Carlo Crespellani Porcella*, già responsabile Comunicazione e Formazione per la Fondazione IBM.

*Enrico Del Re*, ordinario di Telecomunicazioni presso l'Università di Firenze, presidente del Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni (CNIT).

*Gabriele Falciasecca*, ordinario di Microonde presso l'Università di Bologna, presidente della Fondazione Guglielmo Marconi.

*Francesco Fedi*, presidente della COST Office Association, già presidente del Comitato COST Senior Officials, già direttore della Fondazione Ugo Bordoni.

*Gaspere Galati*, ordinario nel Settore Telecomunicazioni presso l'Università di Roma Tor Vergata.

*Roberto Gamberro*, responsabile Area Tecnica e Innovazione SIELTE SpA.

*Giuseppe Gerarduzzi*, già vicedirettore generale IRITEL, vicedirettore generale Telecom Italia, direttore generale INFOSTRADA, direttore operativo Wind.

*Franco Guadagni*, responsabile dei Laboratori di Test in Telecom Italia.

*Luciano Lenzini*, ordinario di Sistemi di Elaborazione delle Informazioni presso l'Università di Pisa.

*Giuseppe O. Longo*, professore emerito alla Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Trieste.

*Leonardo Lucci*, Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni dell'Università di Firenze.

*Raulo Maestrini*, presidente onorario Alenia SIA SpA, già direttore generale Marconi SpA, già presidente Consorzio CATRIN, già presidente Teleavio S.r.l.

*Stefano Maggi*, associato di Storia delle comunicazioni e Storia del territorio e dello sviluppo locale presso l'Università di Siena.

*Franco Marconicchio*, consulente senior del presidente dell'ASI, già direttore del programma ITALSAT.

*Umberto Mengali*, professore emerito dell'Università di Pisa, già ordinario di Trasmissione Numerica presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione nella stessa Università.

*Adriano Paolo Morando*, associato di Elettronica presso il Politecnico di Milano.

*Alberto Morello*, direttore del Centro Ricerche RAI.

*Cesare Mossotto*, già direttore generale dello CSELT.

*Decio Ongaro*, responsabile R&D per le reti mobili in Italtel, consulente per le strategie in Lepida SpA della regione Emilia-Romagna.

*Giuseppe Pelosi*, ordinario di Campi Elettromagnetici presso l'Università di Firenze.

*Giancarlo Prati*, ordinario di Telecomunicazioni presso la Scuola Superiore Sant'Anna in Pisa.

*Silvano Pupolin*, ordinario di Comunicazioni Elettriche presso l'Università di Padova.

*Salvatore Randi*, presidente di ICT Consulting SpA, già direttore generale Telettra SpA, già presidente ed amministratore delegato di Italtel SpA, già presidente CSELT.

*Fabio Rocca*, ordinario di Telecomunicazioni presso il Politecnico di Milano.

*Aldo Roveri*, ordinario di Telecomunicazioni presso l'Università di Roma "La Sapienza".

*Antonio Savini*, ordinario di Elettrotecnica presso l'Università di Pavia e direttore del Museo della Tecnica Elettrica di Pavia.

*Stefano Selleri*, ricercatore del settore Campi Elettromagnetici all'Università di Firenze.

*Carlo Giacomo Smeda*, ordinario di Campi Elettromagnetici presso l'Università di Padova dal 1982.

*Guido Tartara*, ordinario di Telecomunicazioni presso il Politecnico di Milano.

*Massimo Temporelli*, curatore Dipartimento Comunicazione presso il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci.

*Paolo Tiberio*, ordinario di Sistemi Informativi presso l'Università di Modena e Reggio Emilia dal 1998.

*Barbara Valotti*, coordinatrice delle attività museali della Fondazione Guglielmo Marconi.

*Guido Vannucchi*, presidente OTA-Italia, organismo dell'Autorità per le Telecomunicazioni e già direttore generale Telettra SpA e vicedirettore generale della RAI.

*Franco Visintin*, già direttore tecnico presso il Centro di Produzione di Milano della RAI-Radiotelevisione Italiana.

Finito di stampare da ABC Tipografia  
Sesto Fiorentino (Fi) - ITALY