

Mauro Lombardi

TRANSIZIONE ECOLOGICA E UNIVERSO FISICO-CIBERNETICO

SOGGETTI, STRATEGIE, LAVORO



STUDIE SAGGI

ISSN 2704-6478 (PRINT) - ISSN 2704-5919 (ONLINE)

– 223 –

TEORIE, PRATICHE, STORIE DEL LAVORO E DELL'IDEA DI OZIO

Editor-in-Chief

Giovanni Mari, University of Florence, Italy

Associate editor

Federico Tomasello, University of Florence, Italy

Scientific Board

Giuseppe Berta, Bocconi University, Italy
Pietro Causarano, University of Florence, Italy
Stefano Musso, University of Turin, Italy
Enzo Rullani, Venice International University, Italy

International Scientific Board

Franca Alacevich, University of Florence, Italy
Cesare Annibaldi, FIAT, Italy
Vanna Boffo, University of Florence, Italy
Cristina Borderías Mondejar, University of Barcelona, Spain
Federico Butera, University of Milano-Bicocca, Italy
Carlo Callieri, Independent scholar, Italy
Francesco Carnevale, Società Italiana di Storia del Lavoro, Italy
Domenico Carrieri, University of Rome La Sapienza, Italy
Gian Primo Cella, University of Milan, Italy
Alberto Cipriani, CISL, Confederazione Italiana Sindacati Lavoratori, Italy
Sante Cruciani, Tuscia University, Italy
Riccardo Del Punta, University of Florence, Italy
Ubaldo Fadini, University of Florence, Italy
Tiziana Faitini, University of Trento, Italy
Paolo Federighi, University of Florence, Italy
Vincenzo Fortunato, University of Calabria, Italy
Paolo Giovannini, University of Florence, Italy
Alessio Gramolati, CGIL, Confederazione Generale Italiana del Lavoro, Italy
Mauro Lombardi, University of Florence, Italy
Manuela Martini, University Lumière Lyon 2, France
Fausto Miguélez, Autonomous University of Barcelona, Spain
Luca Mori, University of Pisa, Italy
Marcelle Padovani, Le Nouvel Observateur, France
Marco Panara, La Repubblica, Italy
Jérôme Pélisse, CSO, Center for the Sociology of Organizations, France
Laura Pennacchi, Basso Foundation, Italy
Silvana Sciarra, Constitutional Court of Italy, Italy
Francesco Sinopoli, CGIL, Confederazione Generale Italiana del Lavoro, Italy
Alain Supiot, Collège de France, France
Annalisa Tonarelli, University of Florence, Italy
Xavier Vigna, Paris Nanterre University, France

Published Books

Bruno Trentin, *La città del lavoro. Sinistra e crisi del fordismo*, edited by Iginio Ariemma, 2014
Alessio Gramolati, Giovanni Mari (edited by), *Il lavoro dopo il Novecento: da produttori ad attori sociali*, 2016
Mauro Lombardi, *Fabbrica 4.0: I processi innovativi nel Multiverso fisico-digitale*, 2017
Alberto Cipriani, Alessio Gramolati, Giovanni Mari (edited by), *Il lavoro 4.0*, 2018
Alberto Cipriani (edited by), *Partecipazione creativa dei lavoratori nella 'fabbrica intelligente'*, 2018
Alberto Cipriani, Anna Maria Ponzellini (edited by), *Colletti bianchi*, 2019
Francesco Ammannati, *Per filo e per segno*, 2020
Bruno Trentin, *La libertà viene prima. La libertà come posta in gioco nel conflitto sociale. Nuova edizione con pagine inedite dei Diari e altri scritti*, edited by Sante Cruciani, 2021
Mauro Lombardi, *Transizione ecologica e universo fisico-cibernetico. Soggetti, strategie, lavoro*, 2021

Titoli in uscita

R. Del Punta (a cura di), *Valori e tecniche nel diritto del lavoro*

Mauro Lombardi

Transizione ecologica e universo
fisico-cibernetico

Soggetti, strategie, lavoro

FIRENZE UNIVERSITY PRESS

2021

Transizione ecologica e universo fisico-cibernetico : soggetti, strategie, lavoro / Mauro Lombardi. –
Firenze : Firenze University Press, 2021.
(Studi e saggi ; 223)

<https://www.fupress.com/isbn/9788855183109>

ISSN 2704-6478 (print)

ISSN 2704-5919 (online)

ISBN 978-88-5518-309-3 (print)

ISBN 978-88-5518-310-9 (PDF)

ISBN 978-88-5518-311-6 (XML)

DOI 10.36253/978-88-5518-310-9

Graphic design: Alberto Pizarro Fernández, Lettera Meccanica SRLs

Front cover: © rawpixel|123rf.com



Mauro Lombardi è co-fondatore, insieme al prof. Filippo Zatti, di BABEL – Blockchain and Artificial Intelligence for Business, Economics and Law – Unità di Ricerca istituita presso il Dipartimento di Scienze per l'Economia e le Imprese dell'Università di Firenze. BABEL, del cui Steering Committee egli fa parte, ha come fine quello di promuovere lo sviluppo di competenze per progetti di ricerca interdisciplinari e la diffusione di conoscenze relative a DLTs, blockchain, smart contracts e Intelligenza Artificiale, mediante corsi sia di aggiornamento professionale che post-laurea. BABEL, che contribuisce alla formulazione di una disciplina normativa che favorisca le applicazioni economiche e sociali, è inoltre partner di ricerca di ITSA (International Token Standardization Association) e dell'Associazione ITALY4BLOCKCHAIN.

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI https://doi.org/10.36253/fup_best_practice)

All publications are submitted to an external refereeing process under the responsibility of the FUP Editorial Board and the Scientific Boards of the series. The works published are evaluated and approved by the Editorial Board of the publishing house, and must be compliant with the Peer review policy, the Open Access, Copyright and Licensing policy and the Publication Ethics and Complaint policy.

Firenze University Press Editorial Board

M. Garzaniti (Editor-in-Chief), M.E. Alberti, F. Arrigoni, M. Boddi, R. Casalbuoni, F. Ciampi, A. Dolfi, R. Ferrise, P. Guarnieri, A. Lambertini, R. Lanfredini, P. Lo Nostro, G. Mari, A. Mariani, P.M. Mariano, S. Marinai, R. Minuti, P. Nanni, A. Novelli, A. Orlandi, A. Perulli, G. Pratesi, O. Roselli.

📖 The online digital edition is published in Open Access on www.fupress.com.

Content license: except where otherwise noted, the present work is released under Creative Commons Attribution 4.0 International license (CC BY 4.0: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>). This license allows you to share any part of the work by any means and format, modify it for any purpose, including commercial, as long as appropriate credit is given to the author, any changes made to the work are indicated and a URL link is provided to the license.

Metadata license: all the metadata are released under the Public Domain Dedication license (CC0 1.0 Universal: <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode>).

© 2021 Author(s)

Published by Firenze University Press

Firenze University Press

Università degli Studi di Firenze

via Cittadella, 7, 50144 Firenze, Italy

www.fupress.com

This book is printed on acid-free paper

Printed in Italy

Ai miei genitori

Sommario

| | |
|---|----|
| Introduzione | 9 |
| Capitolo 1 | |
| XXI secolo: l'universo fisico-cibernetico e le grandi sfide emergenti | 15 |
| 1. Un mondo pervaso di sistemi fisico-cibernetici | 15 |
| 2. Nuove tipologie di processi e prodotti | 17 |
| 3. Grande sfida. La 'mappa cibernetica' del mondo per risolvere i problemi? | 21 |
| Capitolo 2 | |
| Un'era dominata da Grande Accelerazione, complessità, incertezza, ansietà | 29 |
| 1. Era della Grande Accelerazione | 30 |
| 2. Era della complessità | 31 |
| 3. Era dell'incertezza e dell'ansietà | 32 |
| 4. Imparare da Madre Natura | 36 |
| 5. Cosa possiamo dedurre dall'analisi fin qui svolta? | 41 |
| Capitolo 3 | |
| Fase di 'transizione critica' per il Sistema Terra | 45 |
| 1. Punto critico (<i>tipping point</i>) della storia mondiale | 46 |
| 2. Scenario di una crisi sistemica globale | 47 |
| 3. Sopravvivere alla transizione critica. Priorità da assumere | 48 |
| 4. Imperativi teorici e criteri applicativi | 50 |
| 5. Dal capitalismo degli <i>shareholder</i> al capitalismo degli <i>stakeholder</i> | 51 |

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Mauro Lombardi, *Transizione ecologica e universo fisico-cibernetico. Soggetti, strategie, lavoro*. © 2021 Author(s), content CC BY 4.0 International, metadata CC0 1.0 Universal, published by Firenze University Press (www.fupress.com), ISSN 2704-5919 (online), ISBN 978-88-5518-310-9 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-310-9

| | |
|--|-----|
| Capitolo 4 | |
| Le sfide globali dell'era odierna come coordinate generali | 55 |
| 1. Le sfide | 55 |
| 2. I processi produttivi nell'odierno scenario tecno-economico | 58 |
| 3. <i>Water-Energy-Food Nexus</i> | 65 |
| 4. I costi energetici dell'Era digitale | 68 |
| 5. Implicazioni degli sviluppi dell'Intelligenza Artificiale | 73 |
| 6. Le trasformazioni del mondo del lavoro | 77 |
| Capitolo 5 | |
| La ricerca di uno schema concettuale e di una metodologia appropriati per affrontare le sfide generate dalla dinamica tecno-economica | 89 |
| 1. Modelli di concettualizzazione (<i>frames</i>) dell'innovazione | 89 |
| 2. La ricerca di un nuovo frame concettuale | 95 |
| 3. Importanza dello <i>adaptive strategic thinking</i> | 100 |
| Capitolo 6 | |
| Traiettorie tecno-economiche | 113 |
| 1. I traiettoria: verso la <i>smart specialisation</i> | 115 |
| 2. II traiettoria: digitalizzazione dei processi produttivi di beni e servizi. <i>Living in a networked world</i> | 119 |
| 3. III Traiettorie: sostenibilità ambientale e resilienza sistemica | 121 |
| 4. IV Traiettorie: Intelligence Analysis. Servizi ad alta intensità di conoscenza | 124 |
| 5. V° Traiettorie: Sperimentazione clinica. Predictive Analytics e trattamenti sanitari. Outbreak Analytics (Polonsky et al. 2019) | 126 |
| 6. VI Traiettorie: Bioeconomia, agro-alimentare | 128 |
| Capitolo 7 | |
| Attori e strumenti delle politiche per l'innovazione | 133 |
| 1. Tipologie di comportamento dei sistemi umani | 133 |
| 2. I modelli sistemi di alcune regioni italiane | 135 |
| 3. Gli attori: un quadro generale | 141 |
| 4. Gli strumenti per fondare e misurare le politiche per l'innovazione | 143 |
| Capitolo 8 | |
| Ripensare gli indicatori per le politiche per l'innovazione attraverso il Design-thinking | 149 |
| 1. Spazio delle decisioni degli attori a vari livelli | 154 |
| 2. Il processo decisionale multilivello | 155 |
| Capitolo 9 | |
| Conclusioni | 163 |
| Indice dei nomi | 165 |

Introduzione

Stiamo vivendo in un'epoca molto particolare della storia dell'Umanità, che ha creato un potenziale tecnico-scientifico senza pari, grazie al quale è possibile elaborare la rappresentazione digitale dei processi dalla nano-scala alla scala globale. Il Pianeta è iperconnesso da dispositivi che elaborano flussi informativi generati da entità individuali e collettive, da esseri viventi e non. Individui e collettività possono esprimere emozioni e argomentazioni in una sorta di 'Babele organizzata' e senza limiti, che nella vulgata è il web. I confini tra settori produttivi e attività economico-sociali sono diventati permeabili e confusi, nel senso che per ogni attività e output (materiali e immateriali) è sempre più spesso necessario esplorare molteplici domini conoscitivi, quindi essere inseriti in strutture interattive, tendenzialmente multi-scala. In uno scenario di questo tipo l'innovazione tecnico-scientifica mostra un'accelerazione, che autorevoli studiosi stimano esponenziale, quindi capace di innescare mutamenti generalizzati nei modelli mentali, nei comportamenti strategici ed operativi, nelle competenze, nei sistemi di credenze e di valori su cui si fondano le società. A tutto questo bisogna poi aggiungere che flussi globali di informazioni e persone cambiano le relazioni tra le culture e gli assetti geo-politici con esiti imprevedibili.

L'insieme dei fenomeni e dei processi sinteticamente indicati delineano, pertanto, un nuovo scenario, contraddistinto da alcune peculiarità: mutamenti generalizzati e profondi, crisi di interi assetti tecno-economici, emergere di nuovi oligopoli globali (chiamati *moligopoli* al capitolo 3, par. 3), spinte irresistibili a cambiare le visioni individuali e collettive.

Mauro Lombardi, University of Florence, Italy, mauro.lombardi@unifi.it, 0000-0002-3234-7039

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Mauro Lombardi, *Introduzione*, pp. 9-13, © 2021 Author(s), CC BY 4.0 International, DOI 10.36253/978-88-5518-310-9.02, in Mauro Lombardi, *Transizione ecologica e universo fisico-cibernetico. Soggetti, strategie, lavoro*, © 2021 Author(s), content CC BY 4.0 International, metadata CC0 1.0 Universal, published by Firenze University Press (www.fupress.com), ISSN 2704-5919 (online), ISBN 978-88-5518-310-9 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-310-9

Su queste basi non deve sorprendere che Centri di Ricerca internazionali e la maggioranza degli studiosi di molte discipline mettano al centro della riflessione due aspetti cruciali: 1) i mutamenti in atto nei sotto-sistemi, che compongono il sistema globale interconnesso; 2) le molte difficoltà con cui si devono misurare i processi decisionali a qualsiasi livello e in ogni ambito.

Ciò che sta accadendo, inoltre, pone l'intera Umanità di fronte a sfide epocali: 1) l'evento pandemico mette in discussione le strutture sanitarie praticamente in quasi tutti i Paesi del mondo. 2) È concreto il rischio che la contrazione economico-produttiva, conseguente al *lockdown* dei primi mesi del 2020 e a quello in atto all'inizio del 2021, si trasformi in un periodo recessivo del quale non è possibile stimare durata e intensità. Da ciò consegue il diffondersi di incertezze e ansietà, individuale e collettiva, per i timori di perdere il posto di lavoro e le aspettative di una diminuzione del proprio reddito. 3) La dinamica tecno-economica è sempre più spinta verso l'aumento della potenza computazionale e l'elaborazione di sistemi di software (Intelligenza Artificiale e Machine Learning, algoritmi di editing genomico, modelli di simulazione ingegneristica e sociale). I risultati sono non di rado imprevedibili sul piano delle attività socio-economiche, tecnico-scientifiche e sanitarie. 4) Si impone la necessità di cambiare stili di vita, modelli di produzione e consumo, meccanismi e modalità di relazioni sociali ed economiche, circuiti di feedback che aumentano incertezza e ansietà, mentre i processi economico-produttivi divengono sempre meno comprensibili, alla luce dei numerosi fattori causali che interagiscono nel determinare dinamiche fuori controllo. 5) La numerosità di fattori e processi che interagiscono sia a livello di nano-scala che sul piano globale incrementa il grado di complessità dell'evoluzione socio-economica, a cui si aggiunge – come si illustrerà nel capitolo 1 – la stretta penetrazione tra le innumerevoli componenti sistemiche del 'Sistema-Terra'.

Dalle interconnessioni globali e dalla complessità evolutiva scaturiscono sfide epocali per l'Umanità e l'intero Pianeta: effetti dell'evento pandemico ancora fuori controllo; sfruttamento eccessivo delle risorse naturali non riproducibili, tra cui le cosiddette 'terre rare', essenziali per l'evoluzione della potenza computazionale e dell'Intelligenza Artificiale (d'ora in poi IA); variazioni climatiche indotte da una serie di comportamenti alla lunga distruttivi (crescita di grandi insediamenti urbani, deforestazione, colture intensive), inquinamento marino (plastiche, sostanze chimiche, luce artificiale urbana che altera i ritmi circadiani di specie ittiche, National Geographic 2020); alterazione dell'Oceano e della criosfera a causa dei cambiamenti climatici e delle emissioni di CO₂ in continuo aumento (NOAA 2021).

Le implicazioni sull'evoluzione del Pianeta Terra, da un lato, e dall'altro le trasformazioni radicali e velocemente diffuse a livello globale sono sempre più al centro delle analisi dei maggiori centri di ricerca internazionali. È infatti quasi unanime la consapevolezza che l'evento pandemico sia una prova ulteriore che l'intera Umanità e il Pianeta Terra siano vicini ad un *tipping point*, ovvero che stiano vivendo una *critical transition*, caratterizzata dalla presenza di almeno quattro crisi congiunte: climatica, energetica, pandemica, economico-produttiva

(vedi Cap. 3). Esse sono il risultato dell'evoluzione verso un mondo iperconnesso (*Ubiquitous computing, Ubiquitous connectivity*) e caratterizzato dalla creazione di strutture interattive globali. Tutto ciò ha determinato processi di feedback positivi, con un incremento della complessità sistemica a livello locale e globale e il diffondersi di livelli crescenti di incertezza e di potenziale instabilità. In tale quadro i processi decisionali di imprese e individui – oltre che di organizzazioni e apparati istituzionali – devono misurarsi con sfide epocali e quindi occorre delineare nuovi strumenti di analisi e metodologie operative, al fine di orientarsi in uno scenario di evoluzione complessa e multidimensionale, accelerata dall'incremento della potenza computazionale disponibile per chiunque.

In uno scenario globale investito da fenomeni e processi di tale portata è logico che manchino coordinate generali e criteri applicativi per nuove regole di azione. È d'altra parte evidente come le sfide e i rischi siano così rilevanti da dover indurre a ripensare sistemi di pensiero consolidati e schemi operativi, allo scopo di agire in modo da evitare esiti distruttivi. L'alternativa all'inerzia e al deleterio arroccamento nel modo di pensare standard, non più appropriato, è effettuare uno sforzo serio e sistematico di riflessione, che parta dalla ricerca di strumenti e metodi che aiutino a comprendere i mutamenti in atto. Ciò può avvenire se, grazie ad un *open mindset*, si cerca di elaborare e adottare schemi teorici, sulla base dei quali analizzare e descrivere in modo pregnante intuizioni razionali circa nuove tendenze tecno-economiche. Lo scopo deve essere quello di intravedere, data l'impossibilità di prevederli, trend morfologici e strutturali emergenti nelle interconnessioni che si sviluppano nel Sistema-Terra, al fine di progettare interventi correttivi ed evitare eventi catastrofici o gravemente distruttivi.

Alla luce delle considerazioni iniziali, tre sono i punti fondamentali da assumere per orientare l'analisi e la riflessione: 1) bisogna assegnare centralità alla conoscenza dei sistemi complessi, in merito ai quali è doveroso creare e diffondere cultura tecnico-scientifica, manageriale ed etico-filosofica, dal momento che la posta in gioco appare sempre più il futuro dell'Umanità e degli esseri viventi, insieme a quello della Terra. 2) La prospettiva sistemica richiede un profondo cambiamento dell'orizzonte temporale del quadro teorico e dei processi decisionali: è cruciale, infatti, la capacità di guardare al medio-lungo periodo, essenziale per prendere decisioni per disegni operativi nel breve coerenti con le visioni di lungo termine. 3) La natura sistemica globale e l'orizzonte temporale prolungato portano con sé il problema di come coordinare micro- e macro-comportamenti (individuali e collettivi). Ciò significa che occorrono lo sviluppo e la diffusione di una mentalità strategica, che sia in grado di realizzare processi e tendenze a varia scala in direzioni non deleterie.

Si tratta naturalmente di questioni di elevata difficoltà sia sul piano teorico che pratico, con implicazioni multidimensionali: tecnico-scientifiche, economiche, sociali, politiche, istituzionali, geo-politiche. La piena consapevolezza della posta in gioco può essere un ottimo punto di partenza per cercare di elaborare strumenti e meccanismi atti a sintonizzare micro e macro-decisioni con traiettorie evolutive meno dannose per tutti. Si tratta poi di pensare a dispositivi di varia natura, che consentano di verificare puntualmente se la progettazione in-

novativa asseconди o meno direttrici verso una dinamica sostenibile sul piano economico e ambientale.

L'ambito in cui si muove la nostra analisi è prevalentemente economico, più precisamente quello delle attività umane finalizzate alla soddisfazione di bisogni, che nell'orizzonte odierno sembrano assumere sempre più natura immateriale, anche se alcune parti del mondo devono ancora fare i conti con la preponderanza di necessità materiali largamente insoddisfatte. Questo libro tenta di rispondere alle esigenze indicate seguendo un preciso itinerario analitico e progettuale, proponendo al contempo strumenti teorici ed operativi.

Il lavoro è pertanto così articolato. Il Capitolo 1 introduce il concetto di universo fisico-cibernetico e le sfide per l'umanità che da esso scaturiscono. Il Capitolo 2 si concentra sull'analisi di alcune peculiarità dell'era odierna: complessità, incertezza e ansietà, conseguenti alla Grande Accelerazione che segna il passaggio dall'Olocene all'Antropocene, era in cui la 'forza tellurica' delle attività umane sembra più potente delle forze geofisiche ed astronomiche. Queste ultime per secoli hanno influenzato l'evoluzione sulla Terra, mentre oggi gli effetti dei comportamenti umani producono effetti globali apparentemente privi di controllo. Come agire per riprenderne il controllo? Bisogna imparare molto dalla Natura e dalla sua evoluzione, dalla quale trarre una serie di lezioni essenziali: incessante capacità di apprendimento, adattatività, continua sperimentazione.

Nel Capitolo 3 la trattazione approfondisce quella che molte discipline definiscono 'transizione critica' nell'evoluzione del Sistema-Terra e della storia umana, in quanto emergono segnali di uno scenario caratterizzato da una crisi sistemica globale. Viene argomentato come tale crisi si manifesti in un mondo divenuto 'universo fisico-digitale'. Una fase di transizione critica richiede il ripensamento complessivo della società in cui viviamo, per cui centri di ricerca e società di consulenza internazionali tematizzano modelli di riorganizzazione generale di imprese e attività, con l'introduzione di varie definizioni sintetiche: «The Great Reset» (World Economic Forum); «dal capitalismo degli *shareholders* al capitalismo degli *stakeholders*» (Boston Consulting Group); «long term capitalism» (McKinsey Global Institute).

L'apparato teorico e la concettualizzazione operativa consentono nel Capitolo 4 di avviare un *itinerario strategico-cognitivo*, che inizia con l'analisi delle sfide globali dell'era odierna, tra cui i cambiamenti dei processi economico-produttivi e i mutamenti tendenziali nel mondo del lavoro, delle competenze, delle strategie appropriate per creare occupazione, misurandosi in primis la questione cruciale dei prossimi decenni: il rapporto tra Intelligenza umana Intelligenza Artificiale (par. 6). Per fronteggiare le sfide globali nel Capitolo 5 vengono proposti uno schema generale (*Frame*) e una metodologia appropriata, la cui formulazione sintetica è l'*adaptive strategic learning*.

Nel Capitolo 6 viene effettuato un approfondimento delle traiettorie tecno-economiche, rispetto alle quali viene esplicitato in modo specifico per ciascuna di esse uno schema generale di intervento strategico, basato su precisi elementi: Identificazione delle missions, individuazione degli obiettivi e degli attori coinvolti, indicatori ai fini della valutazione ex-ante ed ex-post. Il ruolo degli at-

tori individuali e collettivi viene approfondito nel Capitolo 7, insieme agli strumenti tecnici ed operativi considerati idonei per valutare le politiche dirette a innescare e favorire processi innovativi all'altezza delle sfide globali, precedentemente indicate. Sempre in questo capitolo si mette alla prova sul piano empirico lo schema teorico introdotto nei capitoli precedenti e arricchito da concetti desunti da Ackoff (1972) e Gharajedaghi (2011) con l'interpretazione di come alcune regioni italiane, considerate molto dinamiche dalla letteratura sull'analisi dei sistemi locali, hanno reagito alla dinamica tecno-economica pre-Covid.

Il Capitolo 8, infine, propone un *frame di design thinking*, funzionale al ripensamento degli indicatori adatti per progettare e valutare le politiche dell'innovazione, in modo che gli interventi strategici siano coerenti con gli elementi del *frame* tecnico-scientifico esposto nel corso di tutto il libro e le cui linee essenziali sono richiamate nelle Conclusioni.

Bibliografia

- Ackoff, R.L., e F.E. Emery. 1972. *On Purposeful Systems*. Chicago: Aldine-Atherton.
- Gharajedaghi, J. 2011. *Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity*. Amsterdam: Elsevier.
- National Geographic. 2020. *Marine pollution, explained*. <<https://www.nationalgeographic.com/environment/oceans/critical-issues-marine-pollution/>> (2021-03-10).
- NOAA, US Department of Commerce. 2021. How much oxygen comes from the ocean? At least of Earth's oxygen comes from the

XXI secolo: l'universo fisico-cibernetico e le grandi sfide emergenti

1. Un mondo pervaso di sistemi fisico-cibernetici

Siamo entrati in un universo fisico-cibernetico, cioè in un mondo in cui i processi e i beni (materiali e immateriali) elaborano e scambiano informazioni, sulla base di una serie innumerevole di dispositivi in grado di generare continuamente flussi informativi. L'intero pianeta è avvolto e permeato da un 'sfera informativa', che influisce e talvolta orienta in modo determinante le nostre decisioni. Il pensiero va alla cibernetica, termine coniato settant'anni or sono dal matematico Norbert Wiener per indicare l'arte/scienza del controllo dei processi attraverso la capacità di governo dei flussi di informazione. Le tecnologie dell'informazione costituiscono, infatti, un grande potenziale tecnico-scientifico, che potrebbe essere impiegato per risolvere grandi problemi dell'Umanità, ma ciò non avviene se si pensa che, a fronte di questo potenziale, una percentuale rilevante degli esseri umani soffre la fame e l'Umanità intera è alle prese con la terza pandemia (ben tre dall'inizio del XXI secolo, Sars, Mers, Covid-19) e altre grandi calamità.

Siamo quindi di fronte ad una delle più rilevanti contraddizioni di questa epoca eccezionale della storia umana, iniziata con un vero e proprio evento 'spartiacque' nel 1930, quando a Königsberg si svolge la seconda Conferenza sull'Epistemologia delle Scienze Esatte a cui partecipano fisici, matematici, logici e filosofi (tra gli altri, Carnap, Gödel, Reichenback, Frank, von Neuman, Heisenberg). Nelle varie sessioni e negli incontri informali si discute di mecca-

nica quantistica e dei problemi inerenti ai fondamenti della matematica, posti da Hilbert. Ivi von Neumann rende noto di avere raggiunto per proprio conto una dimostrazione della tesi che Gödel espone ai presenti e quindi pubblica nei due famosi teoremi di incompletezza dell'aritmetica (1930-1931). All'importanza enorme dei risultati ottenuti da Gödel sul piano logico ed epistemologico contribuisce il metodo da lui impiegato, cioè una procedura logica che formalizzava «the same issues that those designing programming languages and those writing programs in those languages would be facing» (Davis 2000, 120). Siamo insomma in presenza di un vero e proprio software embrionale e la procedura algoritmica di Gödel viene successivamente arricchita dal processo computazionale ideato da Turing nel 1931 (la cosiddetta 'Turing-machine') e dopo ancora con l'architettura di von Neumann, che consiste in particolari modalità di inserimento nell'hardware di modelli computazionali alla Turing (Lombardi, Vannuccini, *under review*).

Nasce così quella che Castells ha chiamato 'tecnologia intellettuale di produzione', ovvero la codificazione della conoscenza teorica attraverso la creazione di sistemi di algoritmi che, inseriti in dispositivi fisici di qualsiasi natura, consentono di elaborare senza sosta informazioni e conoscenze¹. Tutto ciò è reso possibile dal fatto che le tecnologie digitali costituiscono una sorta di 'DNA digitale' (Cowney, Aronson 2017), che consentono una completa digitalizzazione di processi e prodotti dalla nano-scala alla scala e ordinaria² e a quella globale, grazie agli ulteriori sviluppi delle tecnologie dell'informazione. La pervasività di dispositivi che elaborano senza sosta informazioni (*Ubiquitous computing*) e l'estensione globale di infrastrutture di comunicazione (*Ubiquitous Connectivity*) hanno favorito la generazione di una sfera informativa in continua espansione, data la crescente miriade di fonti produttrici di informazioni. Siamo così entrati in un'era caratterizzata dall'interazione continua tra oggetti, persone, processi e flussi informativi, il che inevitabilmente condiziona i processi decisionali individuali collettivi. Le interazioni tra processi fisici e processi computazionali tendono infatti ad essere senza soluzione di continuità (*seamless*), fino a costituire sistemi integrati fisico-cibernetici (*cyber-physical systems*, CPS, termine coniato da Helen Gill della US National Science Foundation: Lee, Seshia 2011). Tutto ciò è possibile grazie all'integrazione dinamica tra software, reti di entità (animate e non), processi fisici: la scienza dei nuovi materiali (US Department of Energy 2010; Deymier et al. 2016), l'editing genomico CRISPR_Cas9 (Crow

¹ Il meccanismo propulsivo fondamentale dell'era post-industriale, infatti, «is not the centrality of knowledge and information” but the “application of such knowledge and information to knowledge-generation and information processing/communication devices, in a cumulative feedback between innovation and the uses of innovation» (Castells 2010, 31).

² «Integrated computational materials engineering (ICME) is an emerging discipline that aims to integrate computational materials science tools into a holistic system that can accelerate materials development, transform the engineering design optimization process, and unify design and manufacturing» (National Research Council 2008, VIII). Si veda anche Mason et al. 2017.

2020) e la chimica computazionale (Lewars 2016), l'*additive Manufacturing* (3D, Acatech 2017) e la pervasività del *computational thinking* (Bundy 2007; Ming 2008)³. L'integrazione dinamica tra hardware e software trasforma radicalmente la sequenza progettazione-produzione-distribuzione, al tempo stesso aumentando le potenzialità di crearne continuamente di nuove e proiettandole poi su scala globale.

Tale integrazione consente, infatti, che si realizzino sequenze ininterrotte di circuiti di feedback multiscala tra componenti interne ed esterne, modificando sia l'ambiente interno ad un sistema, sia le modalità di adattamento alle variabili esogene al sistema stesso. Il dinamismo è intrinseco a questo orizzonte ed è l'esito dello sviluppo congiunto di dispositivi computazionali pervasivi, software, configurazioni reticolari, entità interattive, competenze e capacità che evolvono.

Le connessioni tra mondo fisico e mondo virtuale costituiscono un enorme potenziale, la cui esplorazione-utilizzazione dipende dalla tipologia e dalla varietà dei processi coinvolti. Tali sistemi diffusi di *embedded hardware and software* (Acatech 2001, 5) aprono un enorme campo di possibilità per affrontare in modo creativo i problemi fondamentali per il futuro dei sistemi socio-economici. Il potenziale creativo dei CPS deriva dal fatto che attraverso di essi una miriade di processi ed entità possono auto-organizzarsi per rispondere a esigenze emergenti a molti livelli della sfera economico-sociale. Non deve quindi sorprendere che dinamiche continue *bottom-up* e *top-down* siano una peculiarità del nuovo scenario tecno-economico.

2. Nuove tipologie di processi e prodotti

I sistemi fisico-cibernetici si auto-organizzano sulla base della possibilità di elaborare una rappresentazione digitale di processi e prodotti dalla nano-scala alla scala ordinaria e globale. Ciò significa che la sfera fisica del Pianeta è strettamente compenetrata da una sfera digitale, che può influire e controllare, almeno parzialmente, le dinamiche dei processi interni alla prima. In questo scenario i *cyber-physical systems* divengono *smart embedded systems*, progettati e utilizzati per costituire reti di reti gerarchiche e annidate, dalla nano-scala a quella urbana, nazionale e globale realizzando una fitta trama di interazioni trasversali (Fig. 1).

L'effetto di questi sviluppi è la progressiva e accelerata modificazione delle attività umane, come vedremo successivamente, generando una interconnessione dinamica tra sistema biofisico terrestre e quello che, nei termini conati nel 1924 durante un colloquio avvenuto a Parigi nel 1924 tra Vernadsk, Le Roi e Teilhard de Chardin, è la 'Noosfera', cioè «the world of thought, knowledge society, to

³ Una precisa definizione di *computational thinking* come processo di risoluzione di problemi mediante concettualizzazioni da implementare in dispositivi computazionali è contenuta in *Operational Definition of Computational Thinking for K-12 Education*, a cura di The International Society for Technology in Education (ISTE) and the Computer Science Teachers Association (CSTA).

mark the growing role played by humankind's brainpower and technological talents in shaping its own future and environment» (Steffen et al. 2007, 615)⁴.

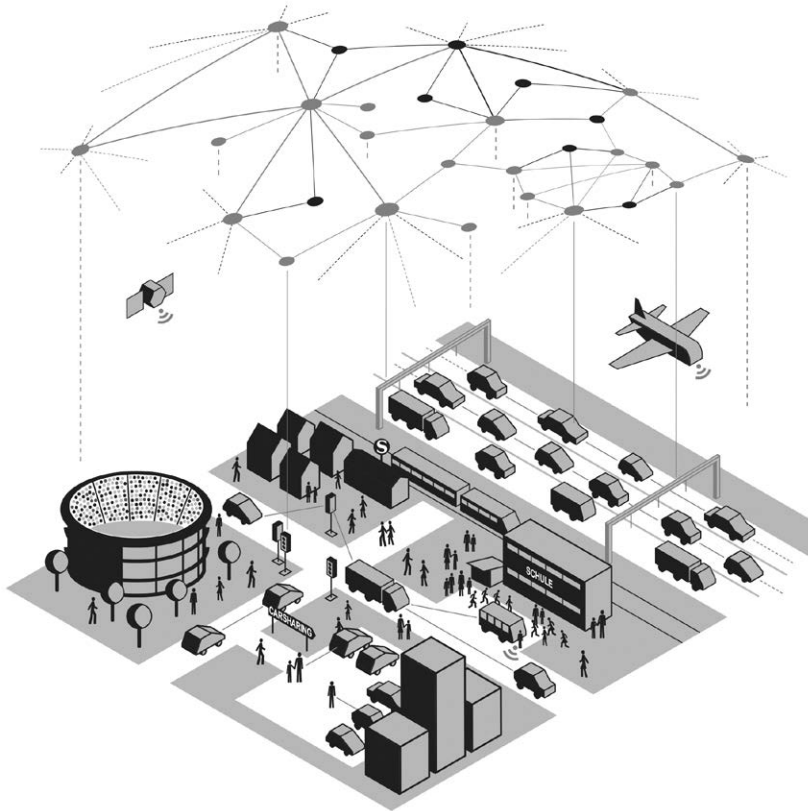


Figura 1 – Reti di componenti e attori in uno scenario di mobilità assistita da servizi con CPS (Cyber-Physical Systems. [Fonte: Geisberger, Broy 2015: fig. 2.2]

È così avvenuto che, alla fine del XX secolo e soprattutto nei primi due decenni del XXI, processi e prodotti siano divenuti *multi-technology* (Pavitt, 1998: 435), cioè l'esito di combinazioni variabili di campi di conoscenze differenti e in continua evoluzione in meccanica, elettronica, fisica, chimica, biologia, *computing science*. Su questa base non esistono più le associazioni *one-to-one* tra prodotto e tecnologia, mentre divengono sempre più frequenti le associazioni *one-to-many*, alle quali si

⁴ Nel colloquio, avvenuto a Parigi, i tre pensatori definirono il concetto, ma successivamente i loro itinerari teorici si divisero: il geologo russo Vernadsky, autore del concetto di bio-sfera, elaborò un'interpretazione materialistica; Le Roy e Teilhard de Chardin svilupparono una concezione 'vitalistica' sotto l'influsso di Bergson e della sua visione dell'«Èlan vital» (si veda su questo (Christian 2017).

aggiungono sempre più frequentemente le potenzialità connesse al *many-to-many*, cioè incremento della varietà di interazioni tra campi di conoscenza molto differenti, con l'esito di ottenere combinazioni tecno-produttive funzionali del tutto impensabili solo poco tempo fa. Siamo quindi in uno scenario dove è possibile immaginare la completa scomponibilità dei processi economico-produttivi, tenendo presente che tra questo e l'altro estremo (piramide compatta) vi possono essere molte variazioni possibili nei gradi di scomponibilità, ovvero di modelli organizzativi delle imprese, a seconda delle funzioni che esse aggregano in forma più o meno compatta per governare la sequenza di produzione di un bene o servizio.

Si viene così a creare un ambiente globale in cui le tecnologie digitali, il software e gli algoritmi strutturano e regolano le interazioni tra gli agenti, le attività umane in continua ridefinizione sulla base degli incessanti flussi informativi, come afferma Mitchell (1996, 44): «Increasingly the architectures of physical space and cyberspace⁵ – of the specifically situated body and of its fluid electronic extensions are superimposed, intertwined, and hybridized in complex ways». In altri termini, siamo entrati in un'era in cui le interazioni sono 'de-spazializzate' e il 'codice è la legge' (Mitchell 1996, 111; Lessig 2006, 5), nel senso che il codice definisce l'architettura e le modalità interattive tra entità economico-sociali. In questo scenario assume un ruolo cruciale la creazione di piattaforme, definite come *algorithm-enabled cyberspaces*, dove insiemi variabili di agenti possono agire, interagire e effettuare transazioni: «platforms provide a set of shared techniques, technologies, and interfaces to a broad set of users who can build what they want on a stable substrate»⁶.

Una delle implicazioni dei mutamenti indicati è che «We are entering an era of electronically extended bodies living at the intersection points of the physical and virtual worlds [...]» e «[...] [An] unprecedented, hyperextended habitat will transcend national boundaries; the increasingly dense and widespread connectivity that it supplies will quickly create opportunities the first in the history of humankind – for planning and designing truly worldwide communities» (Mitchell 1996, 167).

In questo scenario la rappresentazione digitale genera l'omogeneizzazione (in bit) dei dati proveniente da qualsiasi fonte ed apre un enorme spazio potenziale per possibili variazioni delle funzionalità che è possibile aggiungere a processi ed output grazie alla riprogrammabilità dei meccanismi di *information processing* e di *storage* dei dati. Un'altra importante caratteristica dell'innovazione digitale è, infatti, la creazione di un nuovo tipo di architettura di prodotto: *the layered modular architecture* (Yoo, et al. 2010): la digitalizzazione fa sì che le sequenze di fasi economico-produttive e gli output di queste ultime possono as-

⁵ Il termine *cyberspace* è stato coniato da Williams Gibson nel romanzo *Neuromancer* (1984) con una precisa finalità: «I wanted that sense of other realm, a sense of agency within my daily life, looking for bits and pieces of reality that could be cobbled together into the arena I needed» (dichiarazione riportata in Popova 2014).

⁶ Definizione di piattaforma data da Zysman e Kenney (2018) e da Stuart Feldman, pioniere della *computer science* in Fortrand e Unix.

sumere una configurazione modulare, stratificata e variabile. I cicli produttivi sono scomponibili in unità discrete (i moduli) (Baldwin, Clark 2000), che nel nuovo scenario tecnico-scientifico possono derivare da domini di conoscenza caratterizzati da ritmi evolutivi differenti. Le varie componenti del sistema-prodotto sono poi 'annidate' le une nelle altre e possono interagire con unità discrete appartenenti ad altre sequenze, realizzando di fatto dinamiche multi-filiera e processi multiscala, che tendono ad esplicitarsi a scala globale. In tale panorama le caratteristiche delle tecnologie digitali fanno assumere ad esse la funzione di infrastrutture, così definite da Braa et al. (2007, 3): «technological and human components, networks, systems and processes that contribute to its functioning». L'infrastruttura digitale con le caratteristiche indicate è all'origine di una peculiarità decisiva: la generatività, intesa come «a technology's overall capacity to produce unprompted change driven by large, varied, and uncoordinated audiences» (Zittrain 2006, 1980). Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione costituiscono, pertanto, il sostrato per l'innescarsi di processi di formazione di *hyperstructures*, cioè strutture globali di interconnessione tra sistemi, sotto-sistemi, processi auto-organizzati di agenti socio-economici o tecnico-scientifici. In questo scenario possono coesistere dinamiche top-down e bottom-up, che si sostengono autonomamente con *self-reinforcing processes*, alimentati da meccanismi ben studiati da una rilevante letteratura: 1) effetti di rete (più utilizzatori adottano una tecnologia, maggiori sono la sua rilevanza e il valore, quindi la capacità attrattiva); 2) sviluppo di interdipendenze e complementarità tra domini conoscitivi e interessi consolidati (economici, politico-strategici); 3) intraprendenza imprenditoriale e propensione incessante verso la ricerca di soluzioni a problemi tecno-economici.

Le risorse digitali generano, quindi, un «open-ended value landscape» (Henfridsson et al. 2018, 28), in quanto lo spazio generativo costituisce uno spazio combinatoriale di itinerari di ricerca, idee, progetti, costituiti in forma di gerarchie variabili di sfere di conoscenza e processi/output, che si sviluppano secondo un *hierarchy-of-parts frame*, ovvero un modello concettuale che vede i processi di progettazione «as acts of decomposition and aggregation to achieve architectures that preserve and enhance a hierarchy of loosely coupled parts» (Henfridsson et al. 2014).

Scomposizione e ricomposizione di task operativi, fasi, intere sequenze economico-produttive e direttrici socio-economiche possono dispiegarsi per l'esistenza di un universo fisico-digitale dove, per riprendere la metafora di Cowhey e Aronson, il DNA digitale può assumere forme fenotipiche estremamente variabili, sulla base di interazioni a scala globale.

Per questa via si è realizzata la compenetrazione dinamica tra il *Thinking Layer* (interpretazione della Noosfera da parte di Teilhard de Chardin) e i processi biofisici planetari. Le interconnessioni trasversali tra attività umane e componenti biofisiche hanno così dato origine ad una dinamica esponenziale dei processi in ogni ambito della vita sociale, mentre si sviluppavano feedback cumulativi con dinamiche fisiche ed energetiche.

3. Grande sfida. La 'mappa cibernetica' del mondo per risolvere i problemi?

Data l'iperconnessione globale, balza in primo piano la questione del controllo del *cyberspace* e delle entità più e meno potenti che in esso operano. La simultanea presenza di differenti tipologie di crisi e la questione del cyberspace rafforzano la convinzione che potremmo essere in una forma peculiare di 'transizione critica', com'è accaduto più volte nella storia umana (Schaefer et al. 2012). Cerchiamo di motivare ulteriormente questa tesi. È chiaro che stiamo vivendo una crisi del sistema globale, dato che le reti di interdipendenze a scala planetaria non solo favoriscono rapide dinamiche di propagazione di eventi critici, ma sono anche esse stesse fonte di eventi. Il motivo è presto detto: un mondo iperconnesso costituisce un unico sistema di interdipendenze, composto a sua volta di sotto-sistemi interdipendenti, anch'essi scomponibili in ulteriori sotto-sistemi, analogamente a quanto accade nelle procedure ricorsive in linguistica e matematica, ovvero scomponibilità delle reti sulla base di regole tecnico-scientifiche e tecno-economiche, le quali strutturano anche le relazioni tra gli attori. Per sviluppare questo punto vale la pena riflettere sul famoso paradosso descritto da Jorge Luis Borges attraverso il tentativo infruttuoso di costruire la mappa 1:1 dell'Impero, nonostante la perfezione raggiunta dall'Arte della Cartografia (Borges 1998, 100). L'immaginario mondo di Borges viene in mente se si pensa all'odierna compenetrazione tra sfera fisica terrestre e sfera digitale, che a loro volta costituiscono un sottoinsieme fisico-cibernetico dell'intero universo fisico digitale. Siamo sempre più immersi in enormi e crescenti volumi di dati (Fig. 2) e coinvolti nelle operazioni dei Techno-Giants, che sono in grado di organizzare ed elaborare quello che è stato definito *data-rich world* (Mayer-Schönberger, Ramge 2018).

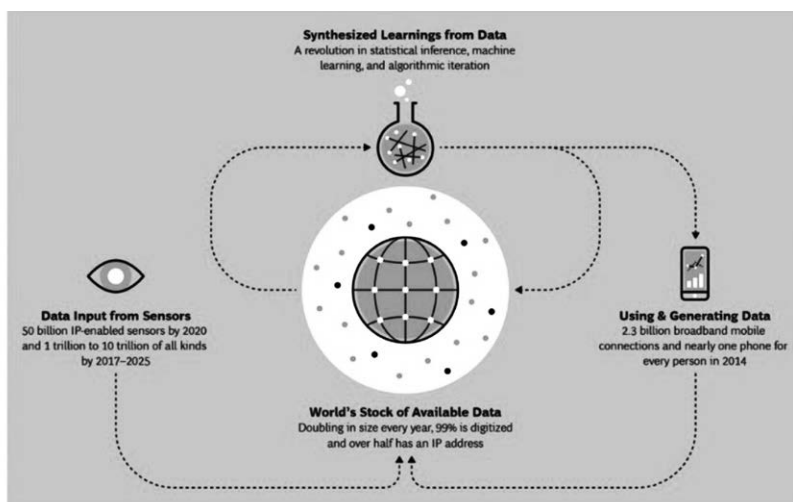


Figura 2 – Ecosistema digitale come proprietà emergenti di Ubiquitous computing e Ubiquitous connectivity. [Fonte: BCG 2015, 10]; © The Boston Consulting Group, Inc. 2015

Prendiamo ad esempio Amazon, ma il discorso vale per GAFA, acronimo per Google, Amazon, Facebook, Apple. Jeff Bezos, presidente amministratore delegato di Amazon ha intuito immediatamente anni or sono che «Business Architecture is a strategic variable not a given» (BCG 2015).

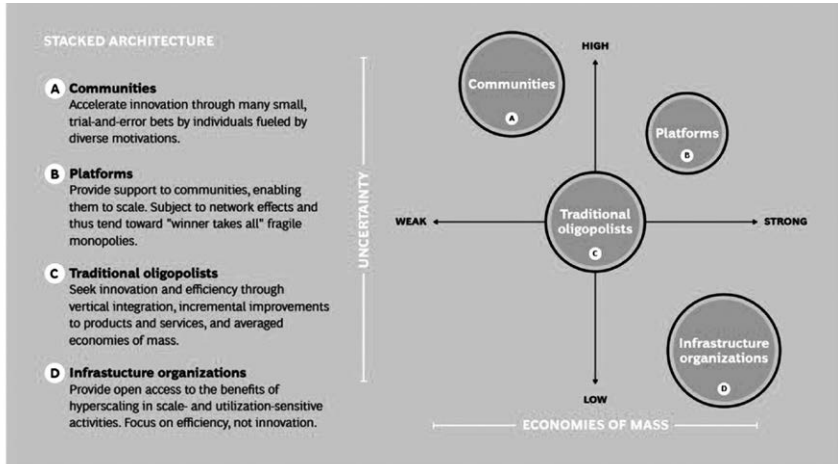


Figura 3 – La rivoluzione digitale ha consentito nuove opzioni istituzionali in scenari economici variabili. [Fonte: BCG 2015]; © The Boston Consulting Group, Inc. 2015

I dati sono trattati da 'strati di software modulari e interoperabili'. L'interazione dinamica tra evoluzione del software (IA) e dell'hardware (crescente potenza computazionale) accelera i processi innovativi, riducendo il ciclo di vita dei prodotti e servizi, praticamente nel tempo sempre più breve di aggiornamento del software, laddove «The asymptote is where sensing, connectivity, and data merge into a single system» (BCG, Henderson Institute 2015, 5). I dati divengono l'infrastruttura di questo unito mondo asintotico, in cui le strutture organizzative e inferenziali su volumi imponenti di dati si polarizzano: è il mondo dell'*hyperscale* informativa e delle *hyperstructures*⁷. Il problema del controllo del cyberspace sta emergendo in tutta la sua rilevanza, come si evince anche dalle recenti audizioni presso il Congresso Usa dei massimi esponenti di Apple, Microsoft, Amazon, Alphabet e Facebook (Henderson 2020).

Occorre porre l'attenzione su un aspetto peculiare: mappa 1:1 non implica in questo caso perfetta omogeneità tra sfera fisica e digitale. Se nella seconda emergono *hyperstructures*, nella prima il sistema di interconnessioni distribuite genera situazioni variabili tra un numero imprecisato di sotto-insiemi e sottosistemi, determinando così una configurazione che nella letteratura scientifica

⁷ Discusse in un contributo apparso su Agenda digitale: <<https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/oligopoli-dei-big-data-ci-salvera-solo-una-nuova-cultura-antitrust/>> (2021-03-10).

è denominata *complex adaptive system*, così definita da Holland (1992, IX): «a collective designation for non linear systems defined by the interaction of large numbers of adaptive agents (economies, political systems, ecologies, immune systems, developing embryos, brains, and the like».

«Economies, ecologies, immune systems, developing embryos, and the brain are all examples of complex adaptive systems [d'ora in poi CAS]» (Holland 1992, 184; Holland 2006), che presentano caratteristiche comuni: 1) sono composti da un gran numero di componenti, che possono interagire simultaneamente a più livelli, nell'ambito di processi multi-scala; 2) l'impatto nelle vicende umane si sviluppa a livello aggregato, sistemico; 3) le interazioni evolvono nel corso del tempo, in parte grazie ad adattamenti ad un ambiente costituito da ciò che fanno le altre componenti.

Il concetto di CAS è stato arricchito dalla considerazione del Premio Nobel per la Fisica Murray Gell-Mann, secondo cui le componenti possono essere a loro volta sistemi complessi adattativi, dando per questa via origine a configurazioni/pattern di livelli intermedi (Gell-Mann 1995). Il concetto è stato inoltre applicato in molti campi disciplinari, ad esempio nelle scienze sociali e nel *computational modeling*, dove si assume che i CAS siano composti da «interacting, thoughtful (but perhaps not brilliant) agents», le cui interazioni generano proprietà globali del sistema stesso (Miller, Page 2007, 97).

In breve, «Macroscopic patterns emerge from the dynamic and nonlinear interactions of the systems low-level (microscopic) adaptive agents» (Brownlee 2007, 3). Il frame teorico ed applicato, incentrato sui CAS, è stato progressivamente impiegato negli studi degli eco-sistemi a livello locale e globale. Per esempio Janssen associa il concetto di sviluppo sostenibile, definito «as sustaining the ability of systems to adapt to a changing environment», con quello di CAS applicato all'intera biosfera, perché «its components adapt and reorganize themselves in response to interventions. Complex adaptive systems research provides us with modeling tools that enable us to study the co-evolutionary development of humankind and our environment» (Janssen 1998). La biosfera come CAS è al centro dei lavori di Simon Levin, direttore del Center for Bio-complexity di Princeton (Levin 1998). Nel suo libro (1999) Levin riprende e sviluppa elementi teorici e applicativi introdotti da Holland (1995). Di particolare importanza sono le peculiarità distintive dei CAS: eterogeneità delle componenti, interazioni non lineari tra di esse (più che proporzionali relazioni causa-effetto), organizzazione gerarchica di sistemi e flussi (materiali, energetici, informativi). In realtà nel corso degli ultimi decenni sono diventati sempre più evidenti le molteplici connessioni tra sistemi naturali e sistemi umani, fino a costituire *social ecological systems* (Folke et al. 1998), i quali evolvono «in never-ending adaptive cycles of growth, accumulation, restructuring, and renewal. These transformational cycles take place in nested sets at scales ranging from a leaf to the biosphere over periods from days to geologic epochs, and from the scales of a family to a sociopolitical region over periods from years to centuries» (Holling 2001, 392).

I concetti chiave sono sistemi scomponibili in unità discrete, insieme annidati di dati e cicli adattativi, che descrivono la fenomenologia dei processi dinamici

multi-scala. I cicli adattativi si basano sull'evoluzione dei potenziali di azione possibili, cioè degli spazi di azione da poter attivare, quindi dei futuri accessibili ai sistemi e sotto-sistemi e dalla capacità di questi ultimi di controllare variabili di processo, in modo tale da elaborare risposte flessibili alle variazioni dell'ambiente. Gli aspetti appena indicati sono alla base della capacità adattativa, intesa come misura della vulnerabilità rispetto a shock inattesi e imprevedibili. Bisogna tenere presente che si possono avere shock prevedibili, ma non attesi, come è accaduto per l'evento pandemico in corso. Potenziale di azione, controllabilità e capacità adattativa sono le proprietà generali, che influenzano le risposte alla crisi da parte di eco-sistemi organismi naturali e sociali, popolazioni.

In un mondo iperconnesso come l'attuale, acquista una pregnanza indiscutibile la visione del Premio Nobel per l'Economia Elinor Ostrom (2009, 420), secondo la quale «All humanly used resources are embedded in complex social-ecological systems (SESs). SESs are composed of multiple subsystems and internal variables within these subsystems at multiple levels analogous to organisms composed of organs, organs of tissues, tissues of cells, cells of proteins, etc.». La complessità dei processi e delle interazioni *cross-scale* tra componenti 'annidate' è ben illustrata dalla figura 4 in cui Ostrom (2009) rappresenta le sue argomentazioni circa i sotto-insieme e le variabili rilevanti per ciascuno di essi.

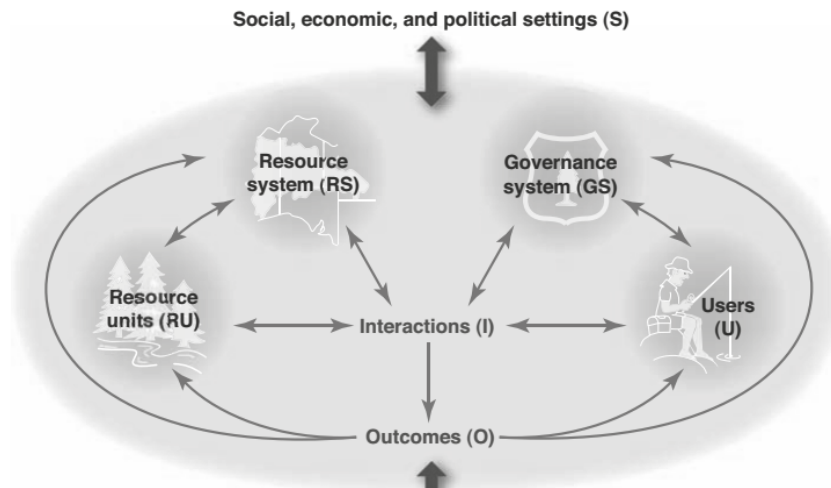


Figura 4 – I sotto-sistemi centrali nel framework per l'analisi dei sistemi socio-ecologici. [Ostrom 2009]; © American Association for the Advancement of Science

La complessità dei processi e delle interazioni multi-scala tra componenti annidate fa sì che non esistano 'panacee', soluzioni valide una volta per tutte (Ostrom 2007). Non esistono soluzioni semplici per sistemi socio-ecologici com-

pleSSI, tanto meno sono efficaci piani strategici top-down. Occorre invece adottare metodologie che coniughino un approccio sistemico multi-livello, sviluppo di capacità cumulative di diagnosi dei problemi e delle potenzialità in sistemi anidati, insieme all'accettazione dell'incertezza e l'imprevedibilità (le sorprese), cioè shock dovuti a feedback cumulativi interni e di origine esterna. In breve, è necessario adottare un frame strategico adattativo sul piano strategico ed operativo (Walter 1986). *L'Adaptive management* si basa, quindi, su apprendimento, sperimentazione, test e verifiche, analisi sistematica e visione sistemica, tenendo presente un'assunzione fondamentale: i *complex social ecological systems* possono misurarsi con problemi più e meno grandi solo se si adotta il principio della cooperazione tra molti stakeholder, entità interessate alla vitalità del sistema. Ciò vale ancor di più nella fase storica odierna, caratterizzata dalla simultanea presenza di crisi, che investono aspetti basilari del Pianeta Terra e del gran numero di sotto-sistemi che lo compongono e ne condizionano l'evoluzione attraverso l'estrema varietà delle strutture interattive, le quali evolvono senza sosta.

La dinamica tecno-economica sempre più intensa, i circuiti di feedback positivi tra gli inestricabili nessi tra biosfera e Noosfera, la pressione crescente e vicina all'insostenibilità con cui si svolgono le attività umane configurano necessariamente un orizzonte di grande incertezza. I sistemi socio-economici sono quindi di fronte a grandi scelte in contesti di volumi crescenti di flussi di informazione, tanto da determinare un autentico *overload informativo* a livello individuale e collettivo, che può paradossalmente favorire un aumento dell'ignoranza a causa della limitata possibilità di conoscere preventivamente gli esiti delle interazioni tra la miriade dei sistemi complessi adattativi che compongono il sistema Terra. Le riflessioni proposte inducono a porre in evidenza alcuni aspetti rilevanti della situazione odierna.

Bibliografia

- Acatech 2011. *Cyber-Physical Systems Driving force for innovation in mobility, health, energy and production*. Munich-Berlin: National Academy of Science and Engineering.
- Acatech 2017. *Additive Manufacturing*. Leopoldina, acatech, Akadmiunion.
- Baldwin, C.Y, e K.B. Clark. 2020. *Design Rule Vol 1s: The Power of Modularity*. New York: The Mit Press.
- BCG. 2015. *Borges' Map. Navigating a World of Digital Disruption*. <https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Borges-Map-Jun-2015_tcm26-72331.pdf> (2021-03-10)
- Borges, J.L. 1998. "On Exactitude in Science." In Borges, J.L. *Collected Fictions*. New York: Penguin Books.
- Braa, J. et al. 2007. "Developing Health Information in Developing Countries: The Flexible Standards Strategy." *MIS Quarterly* vol. 31, Special Issue/August: 1-22.
- Brownlee, J. 2007. *Complex Adaptive Systems*. CIS Technical Report 070302, March.
- Bundy, A. 2007. *Computational Thinking is Pervasive*. <<http://www.inf.ed.ac.uk/research/programmes/comp-think/>> (2021-03-10)
- Castells, M. 2010. *The Rise of Network Society*. vol. 1, Oxford: Basic-Balckwell.
- Christian, D. 2017. "What Scientific term or concept ought to be more widely known?" *Edge. Org*. August 30.

- Cowney, P.E., e J.D. Aronson. 2017. *Digital DNA disruption and the challenges for global governance*. Oxford: Oxford University Press.
- Crow, D. 2020. "The next virus pandemic is not far away." *Financial Times*, 6 August, 2020.
- Davis, M. 2000. *The Universal Computer*. New York: Norton & Company.
- Deymier, P.A. et al. 2016. *Multiscale Paradigms in Integrated Computational Materials Science and Engineering*. New York: Springer.
- Folke, C. et al. 1998. *Ecological practices and social mechanisms for building resilience and sustainability*. In: *Linking Social and Ecological Systems: management Practices and Social Mechanisms for building Resilience*. ed. by F. Berkes, e C. Folke. Cambridge: Cambridge University Press.
- Geisberger, E., e M. Broy. 2015. *Living in a networked world. Integrated research agenda Cyber-Physical Systems (agendaCPS) (acatech STUDY)*. Munich: Herbert Utz Verlag.
- Gell-Mann, M. 1995. *The Quark and the Jaguar. Adventures in the Simple and the Complex*. London: Freeman and Company.
- Henderson, R. 2020. "Big tech presents a problem for investors as well as Congress." *Financial Times*, August 1.
- Henfridsson, O. et al. 2014. "Managing technological change in the digital age: the role of architectural frames." *Journal of Information Technology* 29: 27-43.
- Henfridsson, O. et al. 2018. "Recombination in the open-ended value landscape of digital innovation." *Information and Organization* 28: 89-100.
- Holland, J.H. 1992. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Cambridge: The Mit Press.
- Holland, J.H. 1995. *Hidden Order. How Adaptation Builds Complexity*, New York: Basic Books.
- Holland, J.H. 2006. "Studying Complex Adaptive Systems." *Journal of Systems Science and Complexity* 19: 1-8.
- Holling, C.S. 2001. "Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems." *Ecosystems* 4.
- Janssen, M. 1998. "Use of Complex Adaptive Systems for Modeling Global Change." *Ecosystems* 1: 457-463.
- Lee, E.A., e S.A. Seshia. 2011. *Introduction to Embedded Systems – A Cyber-Physical Systems Approach*. <<http://LeeSeshia.org>>.
- Lessig, L. 2006. *Code is Law*. Version 2.0. New York: Basic Books.
- Levin, S.A. 1998. "Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems." *Ecosystems* 1: 431-436.
- Levin, S.A. 1999. *Fragile Dominion. Complexity and the Commons*. New York: Perseus Publishing.
- Lewars, E.G. 2016. *Computational Chemistry*. New York: Springer.
- Lombardi, M., e S. Vannuccini. *Paradigm shift for decision-making in an era of deep and extended changes*. Under review.
- Mason P., et al., eds. 2017. *Proceedings of the 4th World Congress on Integrated Computational Materials Engineering (ICME 2017)*. New York: Springer.
- Mayer Schönberger, V., e T. Ramge. 2018. *Reinventare il Capitalismo nell'era dei Big Data*. Milano: Egea.
- Miller, J.H., e S.E. Page. 2007. *Complex Adaptive Systems. An introduction to computational modes of social life*. Princeton: Princeton University Press.
- Ming, J.M. 2008. "Computational thinking and thinking about computing." *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 366: 3717-3725.

- Mitchell, W.M. 1996, *CITY OF BITS*. Cambridge: The Mit Press.
- National Research Council. 2008. *Integrated Computational Materials Engineering: A Transformational Discipline for Improved Competitiveness and National Security*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12199>
- Ostrom, E. 2009. "A general framework for Analyzing Sustainability of Social-ecological Systems." *Science*, July, 419-422.
- Popova, M. 2014. "How William Gibson Coined 'Cyberspace'". *Brain Pickings*, August 26, <<https://www.brainpickings.org/2014/08/26/how-william-gibson-coined-cyberspace/>> (2021-03-10)
- Schaefer, K.A. et al. 2017. "Unintended mutations after CRISPR_Cas9 editing in vivo." *Nature Methods*, 14 (6): 547-551.
- Steffen, W. et al. 2007. "The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature." *A Journal of the Human Environment* 36 (8): 614-621.
- US Department of Energy. 2010. Critical Materials Strategy. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/DOE_CMS2011_FINAL_Full.pdf> (2021-03-10).
- Walter, C. 1986. *Adaptive Management of Renewable Resources*. New York: MacMillan.
- Yoo, Y. et al. 2010. "The Next Wave of Digital Innovation: Opportunities and Challenges: A Report on the Research Workshop 'Digital Challenges in Innovation Research' (June 8, 2010)." <<https://ssrn.com/abstract=1622170>> (2021-03-10).
- Zittrain, J.L. 2006. "The Generative Internet." *Harvard Law Review* 119 (7): 1974-2040.
- Zysman, J., e M. Kelley. 2018. *The Next Phase in the Digital Revolution: Intelligent Tools, Platforms, Growth, Employment*. Communications of the ACM, vol. 61: 54-63.

Un'era dominata da Grande Accelerazione, complessità, incertezza, ansietà

attaaaggtt tataccttcc caggtaacaa accaaccaac tttcgatctc ttgtatgct...

Questo insieme di caratteri, apparentemente senza senso, è un frammento di una stringa molto più lunga, con oltre 29.000 iniziali, con cui si denominano i nucleotidi, unità basilari della sequenza del DNA, che in questo caso contiene le istruzioni per produrre il Coronavirus (Cohen 2020)¹. Tralasciando questioni relative alla genetica, riteniamo opportuno soffermarci su aspetti generali.

Partiamo da un dato essenziale. Una sequenza genomica, ottenuta sicuramente per via non artificiale (Andersen et al. 2020), è in grado di generare profondi effetti distorsivi di strutture funzionali e comportamenti sociali in tutto il mondo. Una sequenza di componenti, ciascuna delle quali è lunga 0,33 nanometri (1 nanometro è un milionesimo di metro) sta producendo mutamenti a varia scala: familiare, urbana, regionale, nazionale, planetaria. Processi fisici ed energetici, sistemi di trasporto, attività economico-produttive, comportamenti individuali e sociali, relazioni geo-politiche sono messi in discussione in modo imprevedibile da quanto sta accadendo a scala infinitesima. Emerge allora un punto essenziale, che si può sintetizzare in una prima proposizione: *siamo in presenza di processi biofisici a scala planetaria tra loro interconnessi* da quella che, prendendo in prestito da Deutsch (1997), si può definire la 'trama della

¹ In Cohen (2020) è riprodotto l'albero genealogico del virus.

realtà². Ciò avviene perché i processi sono collegati tra loro e sono resi strettamente interdipendenti da flussi informativi, generati dalla rappresentazione digitale, resa a sua volta possibile dalla pervasività delle tecnologie dell'informazione, le quali consentono di ideare processi e prodotti, esseri viventi e non, dalla nano-scala alla scala globale.

Siamo infatti in un mondo iperconnesso, dove le sequenze di DNA e l'ubiquità digitale hanno di fatto azzerato i confini tra gli ecosistemi, divenuti permeabili rispetto a flussi informativi, energetici, materiali, umani. Queste considerazioni possono essere sintetizzate con una seconda proposizione, che ad alcuni può sembrare 'forte': i processi biofisici sono sempre più *bio-informativi*.

Le riflessioni appena svolte costituiscono la premessa di una disamina che porta a dedurre la necessità di un elemento cruciale: non esistono processi e fenomeni isolati, bensì interdipendenze strutturate tra individui, entità collettive, dinamiche economico-produttive, relazioni sociali e culturali. In un mondo iperconnesso, infatti, emergono relazioni sistemiche globali, sulla base di interazioni che si strutturano a seconda delle affinità, complementarità, convergenze di interessi e sistemi di credenze, aspettative compatibili di varia natura (tecnico-scientifiche, reddituali, e così via). Le strutture interattive, quindi, si auto-organizzano seguendo itinerari di cui non è possibile prevedere in anticipo gli esiti, anche se – come vedremo successivamente – non è impossibile immaginare traiettorie.

Siamo entrati nell'era della Grande Accelerazione della complessità e dell'incertezza.

1. Era della Grande Accelerazione

Questa espressione, impiegata per la prima volta in un libro da Hibbard et al. (2005) e in un articolo su rivista da Steffen et al. (2007), indica un cambiamento globale, intervenuto nel 'Sistema-Terra' ad opera delle attività umane. Il termine è stato introdotto con esplicito riferimento al libro di Polanyi (2000) per definire una fase cruciale di profonda «holistic, comprehensive and interlinked nature of the post-1950 changes simultaneously sweeping across the socio-economic and biophysical spheres of the Earth System, encompassing far more than climate change» (Steffen et al. 2015, 82).

La conclusione dell'analisi delle variabili rappresentative dei processi generatori dell'accelerazione è chiara:

Antropocene, including the Neolithic revolution (Ruddiman 2013), the rise of European empires and subsequent colonialisation (Lewis e Maslin 2015), and the Industrial Revolution (Crutzen 2002), none can match the mid-20th-

² «La trama della realtà non è formata soltanto da ingredienti riduzionistici quali lo spazio, il tempo, e le particelle subatomiche, ma anche dalla vita, dal pensiero, dalla computazione e dalle altre cose a cui fanno riferimento quelle spiegazioni» (Deutsch 1997, 28). Il fisico inglese qui si riferisce alle teorie «che contengono le spiegazioni più profonde».

century, global-level, synchronous step change in human enterprise and the simultaneous human-driven change in many features of Earth System structure and functioning (Gaffney, Steffen 2017, 57)³.

Tutto è cambiato a partire dagli anni '50, ma si può anche indicare una data precisa, il 1945, anno della prima esplosione nucleare nel deserto del New Mexico (Steffen et al. 2015, 93). Dalla metà del XX secolo l'attività umana produce effetti in grado di investire direttamente l'intero Pianeta Terra, com'è appunto avvenuto con gli isotopi radioattivi seguiti alla detonazione atomica. In quel momento si è prodotta una discontinuità nella storia evolutiva della Terra: dopo il passaggio dall'Olocene all'Antropocene si sono create le condizioni per l'intensificazione del ritmo di cambiamento del sistema complessivo del nostro Pianeta. L'Olocene è il nome che nel 1882 il Congresso di Bologna della Società Internazionale di Geologia ha dato agli ultimi 10-11.000 anni dell'era post-glaciale, periodo nel corso del quale le attività umane hanno progressivamente modificato l'assetto geo-morfologico del Pianeta. Secondo Crutzen (2002, 23) con la Prima rivoluzione industriale, in particolare con l'invenzione della macchina (motore) a vapore da parte di James Watt nel 1784, appare quella che il geologo Antonio Stoppani nel 1873 ha definito una nuova forza dirompente: «new telluric force which in power and universality may be compared to the greater forces of earth». Stoppani ha anche definito l'«anthropozoic era», in riferimento alla quale Crutzen (2002) ha introdotto il termine 'Antropocene' per indicare l'impatto della specie umana sull'intero 'Sistema-Terra'. Nella secolare storia dei mutamenti introdotti dall'uomo nell'Olocene, l'Antropocene esprime, quindi, l'enorme aumento della capacità umana di incidere sulla struttura e il funzionamento dell'intero Sistema-Terra grazie alla tecnologia della Prima rivoluzione industriale (Steffen et al., 2004, 2015).

Intorno alla metà del secolo scorso e nell'arco di poco meno di due generazioni tanto la 'forza tellurica' di Stoppani è diventata una forza di tale portata, scala, e intensità da agire su scala planetaria come una vera e propria 'forza geologica', per cui non si può ormai separare l'attività umana dal sistema biofisico terrestre. In sintesi, la 'Grande Accelerazione' esprime il *Planetary-scale Coupling* tra sistema socio-economico e sistema biofisico terrestre (Steffen et al. 2015, 94).

È logico a questo punto cercare di rispondere a due interrogativi di fondo: 1) quali sono gli effetti dei processi descritti (parr. 3 e 4); 2) quali meccanismi hanno agito nel favorire la realizzazione di questa interconnessione dinamica tra sistema biofisico terrestre e la 'Noosfera'.

2. Era della complessità

Quando le dinamiche di processi, comportamenti e flussi sono trasversali ai livelli della realtà, dall'infinitamente piccolo al globale, si è di fronte a situazioni

³ Gaffney e Steffen (2017) impiegano 17 indicatori di trend socio-economici a livello globale per stimare la Grande Accelerazione.

nelle quali le relazioni tra cause ed effetti non sono proporzionali e dirette, bensì non lineari e intrinsecamente amplificate. In queste condizioni, infatti, i processi possono essere innescati da molti fattori causali e gli esiti sono conseguentemente imprevedibili. Nella teoria dei sistemi complessi si chiamano fenomeni emergenti, ovvero effetti con proprietà non riconducibili a singoli fattori causali e alle proprietà delle componenti dei processi stessi. Una caratteristica dei sistemi non lineari è che piccoli cambiamenti possono causare grandi rivolgimenti, com'è accaduto proprio durante l'evento pandemico, che è un caso esemplare: la mutazione di una micro-sequenza genomica genera effetti a catena amplificati e imprevedibili. Tutti hanno in qualche modo sentito parlare del famoso 'battito d'ala di una farfalla in Brasile' in grado di causare un tornado in Texas (Lorenz 1972). Siamo attualmente forse molto oltre questa ipotesi: l'iperconnessione globale e i fenomeni indicati confermano la tesi di Levin (1988) che la biosfera sia un *sistema complesso adattativo*, (il *complex adaptive system*, introdotto nel Cap. 1, par. 3), cioè un insieme di componenti con libertà di azione secondo modalità non sempre mutuamente compatibili e i cui comportamenti sono interconnessi fino al punto che la dinamica di ciascuna di esse cambia il contesto per le altre (Plsek, Greenhalgh 2001). Complessità e imprevedibilità sono a loro volta connesse all'incertezza, com'è logico ritenere, dal momento che è inevitabile il riprodursi incessante di gap cognitivi tra ciò che gli agenti (individuali e collettivi) possono conoscere e l'esito di dinamiche combinatorie tra processi multiscala. È importante rilevare che l'incremento esponenziale della potenza di calcolo a disposizione degli agenti può aiutare ma non risolve il problema: l'evoluzione di un sistema complesso come il Pianeta-Terra è capace di generare esiti non prevedibili, anche se possono essere effettuati esperimenti simulativi di scenari multipli, relativi a tendenze e traiettorie potenziali. Si tratta però sempre di situazioni decisionali caratterizzate da una molteplicità di ipotesi e alternative potenziali, da scoprire e valutare in contesti conoscitivi quasi sempre conosciuti in modo parziale e non di rado confuso. È quindi inevitabile l'emergere di un'era dell'incertezza.

3. Era dell'incertezza e dell'ansietà

Alla luce delle considerazioni svolte, se l'incertezza domina, ciò non comporta l'impossibilità di agire, perché un profondo cambiamento di prospettiva può indurre ad elaborare strategie in grado di fronteggiare proprio «l'incertezza sostanziale forte» (Dosi, Egidi 1991, 148) che si ha nei casi in cui si possono verificare eventi sconosciuti oppure ai quali è impossibile assegnare, anche in linea di principio, la probabilità di verificarsi⁴.

In situazioni di questo tipo non è possibile individuare potenziali esiti e nemmeno identificare variabili rilevanti per prendere decisioni, ma questo non im-

⁴ In MGI (Courtney, Kirkland, Viguerie 2000) si distingue tra 4 livelli di incertezza: «A clear enough future, alternative futures, range of futures, true ambiguity».

plica la paralisi decisionale, come cercheremo di mostrare. Prima di avanzare suggerimenti a riguardo, è necessario chiarire alcuni aspetti molto importanti. Nel mondo odierno la dinamica delle conoscenze diviene molto più accentuata, favorita anche dall'aumento della potenza di calcolo e dalla creazione di sistemi di software sempre più sofisticati, che consentono di esplorare l'ignoto dall'universo subatomico⁵ all'evoluzione dell'universo a pochi attimi dopo il big bang⁶. Emergono, inoltre, nuove tecnologie potenzialmente dirompenti: CRISPR_Cas9 per l'editing genomico, sistemi di IA, Quantum Computing, nuove scienze dei materiali, robotica avanzata, energie rinnovabili.

È chiaro che si delinea un orizzonte denso di incognite e di cambiamenti improvvisi, non tutti positivi, perché le innovazioni tecnico-scientifiche non hanno una valenza univoca. La loro dinamica dipende dal contesto, cioè dal numero e dalla tipologia dei fattori causali. Viviamo in un'era di paradossi, tra cui quello di un potenziale tecnico-scientifico senza pari nella storia dell'Umanità, ma al tempo stesso una parte non irrilevante della stessa Umanità è alle prese con problemi secolari: fame, siccità, epidemie, effetti di variazioni climatiche (previste). Per quanto riguarda le pandemie, nonostante la nostra capacità di esplorare l'universo a qualsiasi scala, assistiamo ad un aumento della frequenza degli eventi pandemici: ben tre dall'inizio del XXI secolo (Sars, Mers, Covid-19), con una evidente accelerazione rispetto alla sequenza emersa nel XX secolo (Polio, Spagnola, Asiatica) (Owen 2020) e quindi l'alta probabilità di una prossima pandemia (Crow 2020).

Sulla base del quadro descritto non è sorprendente che si moltiplichino le fonti di 'ansietà' (Horizon – The EU Research & Innovation Magazine 2020). Già nel 2016 l'«Economist», nel Report *Artificial intelligence. The return of the machinery question*, sviluppava il tema dell'*Automation and Anxiety* in seguito a un'ipotetica disoccupazione di massa, conseguenza dell'impiego intensivo dell'IA, in grado di sostituire a un ritmo crescente le persone in funzioni di contenuto cognitivo sempre più alto: «there's never been a better time to be a worker with special skills or the right education, because these people can use technology to create and capture value» (Brynjolfsson, McAfee 2014, 10). Lo scenario è dunque vantaggioso per lavoratori con skills particolari e una formazione appropriata, perché possono usare la tecnologia e creare/catturare valore. La situazione è differente per coloro che hanno abilità e skills 'ordinari': «However, there's never been a worse time to be a worker with only "ordinary" skills and abilities to offer, because computers, robots, and other digital technologies are acquiring these skills and abilities at an extraordinary rate» (Brynjolfsson, McAfee 2014, 10).

In realtà gli sviluppi dell'IA stanno erodendo anche compiti e funzioni che richiedono più elevati livelli cognitivi, dato che sistemi algoritmici possono

⁵ «It opens up a whole new universe: Revolutionary microscopy technique sees individual atoms for first time» (Callaway 2020).

⁶ Space.com, "Images: Peering Back to the Big Bang & Early Universe." <<https://www.space.com/13219-photos-big-bang-early-universe-history.html>>, 18 October, 2011 (2021-03-10).

svolgere processi di valutazione economico-finanziaria (Hassani 2016, Cap. 9), previsioni di scenario di rischio (Sohrabi et al. 2018), modelli manageriali (Shrage 2017), ottimizzazione del *supply chain management* (Lehmacher 2016; Balte 2020).

A questi motivi di ansietà se ne aggiungono altri più impellenti: la paura della perdita del lavoro, le perdite economico-finanziarie in seguito a crisi aziendali più o meno generalizzate, l'evento pandemico, che a sua volta ha incrementato e generalizzato i timori, investendo trasversalmente molte attività economico-sociali.

L'ansietà non è una novità sul piano storico. Mokyr et al. (2015) hanno argomentato che la tecnologia ha sempre creato tre tipi di preoccupazioni: 1) la sostituzione del lavoro con le macchine; 2) l'eventualità di un abbassamento dei livelli di benessere (si pensi alla 'disumanizzazione' del lavoro durante la Prima rivoluzione industriale); 3) la diminuzione della produttività e quindi della ricchezza da distribuire, in conseguenza della fine delle maggiori innovazioni tecnico-scientifiche, secondo visioni più recenti (Cowen 2010; Gordon 2012).

Viviamo dunque una fase storica peculiare, in cui la codificazione della conoscenza teorica e il suo inserimento ubiquitario hanno agito da fondamentale moltiplicatore dei processi di trasformazione di materiali, energia e informazioni, in stretta correlazione con l'ampliamento e la variabilità degli obiettivi individuali e collettivi. La codificazione della conoscenza teorica ha in sostanza generato e amplificato la compenetrazione tra Noosfera e processi biofisici, modificando la natura di quelle che Beinhocker ha chiamato *Physical Technologies*⁷, con la conseguenza di dare origine a un universo fisico-digitale in continua espansione, caratterizzato da un incremento senza sosta della varietà di soluzioni e problemi che l'Umanità deve affrontare in base ai sistemi di credenze e valori, a loro volta modificati da feedback continui e multiscala. Ed è a questo punto che si è progressivamente sviluppato un *mismatch*, un divario tra la velocità, l'intensità e l'estensione dei mutamenti delle *Physical Technologies* e di quelle che Beinhocker chiama *Social Technologies*⁸. Queste sono più lente a cambiare per le difficoltà di assimilare le innovazioni, data l'esistenza di consolidati patrimoni conoscitivi, visioni accettate da lungo tempo nella società, interessi legati alle situazioni stabilizzate. Ciò è particolarmente evidente quando, dopo lunghi periodi di evoluzione tecno-economica di relativa stabilità, con la prevalenza di paradigmi teorici e manageriali largamente condivisi, l'emergere di non linearità nell'accelerazione evolutiva richiede capacità di apprendimento rispetto a contesti differenti da quelli abituali, in quanto si tratta di modificare *mindset* radicati a livello individuale e collettivo. A questo bisogna aggiungere due elementi di rilievo: 1) può verificarsi il paradosso dell'ignoranza in mezzo

⁷ «Physical Technologies (PTs) are methods and designs for transforming matter, energy, and information from one state into another in pursuit of a goal or goals» (Beinhocker 2006, 244).

⁸ «Social Technologies (STs) are methods and designs for organizing people in pursuit of a goal or goals» (Beinhocker 2006, 261).

all'abbondanza informativa, proprio perché i processi innovativi sistematici e diffusi creano incessantemente divari tra dotazioni cognitive degli attori e l'espansione continua dell'universo fisico-digitale; 2) le asimmetrie di varia natura, che necessariamente si creano nelle fasi di trasformazione, divengono con la Grande Accelerazione particolarmente accentuate e estremamente diffuse: tecnico-scientifiche, socio-economiche, geo-politiche, di potere a molti livelli.

Complessità, incertezza, accelerazione sono pertanto causa di ansietà, perché la stretta interconnessione tra Noosfera e sfera bio-fisica rischia di produrre la perdita di controllo dei processi e quindi ansietà. È proprio in questi momenti, però, che individui e collettività hanno bisogno di «strumenti per navigare e dare un senso al futuro» (Friedman 2016).

È un problema irrisolvibile, date le precedenti considerazioni? Non necessariamente. Da dove trarre allora insegnamenti? La risposta suggerita da molti studiosi (come vedremo nel par. 4) e dallo stesso Friedman è suggestiva: imparare da 'Madre Natura' e adottare comportamenti appropriati ai profondi mutamenti in atto. Friedman (2016, Cap. 7) impiega la metafora delle vorticosità rapide di un fiume, per affrontare le quali con speranza di successo egli ritiene utili i consigli della campionessa canadese di kayak, Anna Levesque: quando la corrente del fiume è molto forte «keep your paddle in the water», cioè continua a 'pagaiare cercando di mantenere il ritmo della corrente'. Se si smette di pagaiare e ci si affida solo al timone, lasciandosi guidare dai flutti, ci si espone al rischio di perdere il controllo e di capovolgersi: «The only way to steer is to paddle as fast as or faster than the rate of change in technology, globalization, and the environment. The only way to thrive is by maintaining dynamic stability» (Freedman, 2016: 202-204).

La discontinuità è radicale: dal decidere e agire in condizioni di stabilità occorre passare a processi decisionali e comportamenti adatti alla velocità delle 'correnti vorticosità'. In proposito 'Madre Natura' può insegnarci molto, specie per quanto riguarda le strategie efficaci per assorbire shock più o meno esogeni, cioè per acquisire resilienza⁹. Dalla Natura si possono trarre insegnamenti importanti: flessibilità, cambiamento continuo dei 'progetti' sottoposti al vaglio selettivo del contesto, agilità strutturale e operativa, adozione di forme e meccanismi ibridi, sperimentazione incessante, in una parola adattabilità sulla base di apprendimento interattivo in uno scenario variabile di competizione e cooperazione. Tutto questo avviene perché la Natura affronta problemi sempre nuovi quasi predisponendo in anticipo una gamma di variazioni, la cui efficacia viene selezionata e soggetta a rafforzamento (oppure rimozione) sulla base delle interazioni con l'ambiente. Si tratta quindi di mettere a frutto meglio l'intelligenza umana, che è un prodotto dell'evoluzione naturale. Una direttrice feconda

⁹ Il concetto di resilienza, introdotto per la prima volta da Holling nel 1973 nell'analisi degli ecosistemi, successivamente è stato definito in vari modi (si veda Hunderson 2000). In questa sede viene applicata la formulazione che la rende affine al concetto di stabilità dinamica, ovvero la capacità di un sistema dinamico di resistere a perturbazioni evitando esiti catastrofici.

potrebbe essere quella di elaborare visioni idonee per fasi di intenso cambiamento ponendo attenzione a questi aspetti essenziali: molteplicità di opzioni, ridondanza e modularità (cfr. Cap. 3, par. 4), mix di strategie (consolidamento dell'esistente e continua esplorazione di nuove soluzioni), incessante attenzione e analisi dei problemi per la ricerca di soluzioni innovative.

4. Imparare da Madre Natura

Vi sono lezioni che si potrebbero imparare dalla Natura, di cui è parte l'Umanità che oggi potrebbe esserne influenzata positivamente in conseguenza dei processi che hanno prodotto la Grande Accelerazione, qualora si adottassero alcune direttrici di azione:

1. sviluppo generalizzato di capacità di apprendimento commisurata alle trasformazioni in atto;
2. rafforzamento di meccanismi di adattatività a processi dinamici;
3. ricerca e sperimentazione continua in attività dirette alla soluzione di problemi;
4. immaginazione razionale.

Appare logico chiedersi come sia possibile perseguire proficuamente queste finalità in un'era di così intenso dinamismo. Si cercherà di rispondere in modo specifico per ciascuno dei punti indicati.

4.1 Capacità di apprendimento

Per svilupparla occorre un profondo cambiamento del mindset strategico e operativo di tutti gli attori del Sistema-Terra, che sarà trattato nel prossimo capitolo. È necessario adottare un nuovo modello mentale¹⁰, incentrato su de-

¹⁰ Il concetto di modello mentale è stato definito in molti modi in Intelligenza Artificiale e nelle Scienze Cognitive, sia nell'ambito del cosiddetto 'paradigma simbolico' della prima generazione di IA, che all'interno del 'paradigma sub-simbolico' (reti neurali). La nostra preferenza va al concetto di frame, elaborato da Marvin Minsky, uno dei 'padri' dell'IA simbolica, anche se ovviamente molti aspetti interessanti sono stati trattati secondo altri approcci. «A frame is a data-structure for representing a stereotyped situation like being in a certain kind of living room or going to a child's birthday party. Attached to each frame are several kinds of information. Some of this information is about how to use the frame. Some is about what one can expect to happen next. Some is about what to do if these expectations are not confirmed» (Minsky 1974, 1). «A frame is a sort of skeleton, somewhat like an application form with many blanks or slots to be filed. We'll call these blanks its terminals; we use them as connection points to which we can attach other kinds of information. For example, a frame that represents a "chair" might have some terminals to represent a seat, a back, and legs, while a frame to represent a "person" would have some terminals for a body and head and arms and legs. To represent a particular chair or person, we simply fill in the terminals of the corresponding frame with structures that represent, in more detail, particular features of the back, seat, and legs of that particular person or chair» (Minsky 1985, 245). Il concetto di frame è importante anche nell'ultimo libro di Minsky (2006).

terminati principi generali e criteri metodologici: 1) multiscalarità dei processi; 2) visione sistemica; 3) analisi costante della frontiera tecnico-scientifica; 4) individuazione di una molteplicità di traiettorie tecnico-economiche; 5) immaginazione del futuro e non semplice proiezione dei trend del passato, cercando di orientare i trend possibili, nella consapevolezza che la dinamica è necessariamente indeterminata. Un futuro imprevedibile non implica, però, affidarsi all'imponderabile, bensì immaginare e cercare di orientare le direttrici di evoluzione con la ricerca, la sperimentazione e quindi il continuo arricchimento della conoscenza.

La *multiscalarità dei processi*, la prima assunzione di fondo, scaturisce dall'osservazione che siamo di fronte a dinamiche multi-livello, tendenzialmente a scala globale. Nel prossimo capitolo si argomenterà come l'ottica dell'analisi e della progettazione non possa prescindere dall'orizzonte sempre più ampio degli effetti generati sia dalle decisioni umane ad ogni livello sia, più in generale, da quanto accade nell'universo che va dal subatomico alla scala planetaria. Questa assunzione di base dovrebbe indurre negli umani la consapevolezza delle enormi implicazioni, che micro e macro-decisioni possono avere, a causa delle inevitabili interrelazioni strutturali tra le une e le altre.

Anticipiamo a questo proposito che nel capitolo finale si tenterà di mostrare come possano essere favoriti processi di coordinamento tra le une e le altre, in modo che le interconnessioni tra Noosfera e sfera bio-fisica si sviluppino secondo direttrici non distruttive e potenzialmente catastrofiche per il Sistema-Terra. La sperimentazione nella genomica degli esseri viventi e dei materiali, la progettazione dei sistemi urbani e degli apparati produttivi di beni e servizi, la stessa evoluzione di valori e regole di comportamento hanno a disposizione un enorme potenziale di diffusione e amplificazione.

Di qui deriva la seconda assunzione: la *prospettiva sistemica*, strettamente connessa alla prima, in quanto i processi multiscala si sviluppano grazie a reti di interdipendenze e interazioni, che possono generare effetti non previsti né prevedibili, ma che possono comunque essere ipotizzati, come vedremo tra poco. In tal caso essi diventano punti di orientamento per l'attività, più propriamente umana, di sviluppo incessante delle conoscenze nell'intento di risolvere sempre nuovi problemi di varia natura. Questo è un punto essenziale, perché la crescita esponenziale della potenza computazionale non può essere considerata fine a se stessa, ma va considerata nelle sue interrelazioni sistemiche: fabbisogno energetico crescente, effetti socio-economici, impatto geo-politico, implicazioni sul piano politico-culturale e democratico-istituzionale. La necessità di studiare la dinamica tecnologica in una prospettiva sistemica è ancor più pressante nel periodo attuale, in cui i sistemi socio-economici hanno a disposizione un potenziale tecnico-scientifico caratterizzato da *bias*, ovvero un'eccessiva focalizzazione degli obiettivi e delle linee di ricerca, con avanzamenti rilevanti, ma densi di una molteplicità di grandi rischi.

Gli spunti di riflessione appena adottati fondano la terza assunzione basilare, la *necessità di analizzare costantemente la frontiera tecnico-scientifica*, attraverso la creazione di team multidisciplinari, che sviluppino approcci trans-disciplinari.

Tutto questo è un'implicazione logica della tendenza irreversibile verso processi e prodotti come risultati dell'interazione tra molteplici domini conoscitivi, seguendo itinerari di ricerca sulla base di un insieme variabile di motivazioni: propensione a conoscere e innovare, insorgere di problemi sociali e sanitari, esigenza di sicurezza individuale e collettiva, conseguimento del profitto, desiderio di maggior prestigio e potere.

Emerge ancora una volta l'importanza di pressioni endogene ed esogene ai vari sistemi complessi adattativi, che generano dinamiche imprevedibili.

4.2 Adattatività

Si comprende allora come in questa fase di profonda ed estesa trasformazione la *capacità adattativa* sia una lezione essenziale da trarre nell'osservare Madre Natura. Il che significa superare *lock-in* cognitivi, ovvero il pericolo di essere 'chiusi' in modelli mentali appropriati per un altro tipo di universo operativo, mentre occorre cercare nuove fonti di conoscenza e di ispirazione per i propri comportamenti, che devono misurarsi con grandi sfide e ambienti molto variabili. Per catturare nuovi segnali e flussi informativi, com'è assolutamente necessario in momenti di intenso dinamismo globale, occorre essere consapevoli di un paradosso: bisogna essere ancorati alla propria dotazione cognitiva e al tempo stesso acquisire duttilità mentale e operativa, al fine di aprirsi a innovazioni, potenzialmente emergenti ovunque nel mondo iperconnesso. La soluzione del paradosso può essere perseguita secondo modalità non puramente emotive e/o irrazionali, se si impiegano risorse materiali e intellettuali nella progettazione di attività sperimentali, proprio sulla base delle risorse cognitive possedute, ma con un'apertura mentale verso la complessità del contesto decisionale. Per questa via è possibile tentare itinerari nuovi, ampliare il proprio orizzonte mentale anche – forse grazie – ad errori, un po' come avviene in natura, che procede per tentativi ed errori, analogia frequentemente usata nella letteratura tecnico-scientifica. Gli esseri umani sono però «creature gregoriane» (Dennett 1996, 100)¹¹: «Words and other mind tools give a Gregorian creature an inner environment that permits it to construct ever more subtle move generators and move testers». Grazie alla mente, che interagisce con altre menti, gli umani progettano, sperimentano e accrescono la conoscenza mediante successi e fallimenti.

In sintesi, quindi, la progettazione consapevole di esperimenti in campi inesplorati rispetto alla propria dotazione cognitiva costituisce un'assunzione strategica essenziale, tenendo sempre presente che deve essere strettamente congiunta con la prima. Solo così è possibile perseguire e ottenere quella che consideriamo, insieme a molti centri di ricerca e società di consulenza internazionali, un aspetto essenziale di qualsiasi attività personale e collettiva nella fase di transizione che stiamo vivendo (cfr. Cap. 1): la capacità di re-immaginare il futuro (MGI 2020a).

¹¹ Il termine *creature gregoriane* è ispirato alla teoria della mente e dell'intelligenza elaborata dal grande psicologo inglese Richard Gregory (1981).

Affinché ciò avvenga su basi attendibili occorre rifuggire da formule evocative di emozioni e scenari più o meno attraenti, facendo leva su visioni terrificanti o attrattive, come accade talvolta anche nella letteratura di alto livello. Come ha detto a Friedman il 'Astro' Teller: «we must rewire our societal tools and institutions so that they will enable us to keep pace» con la dinamica tecnico-scientifica, altrimenti il gap con la capacità adattiva umana si amplia, a meno di strategie appropriate di adattamento, come si evince dalle figure 1 e 2, suggerite a Friedman dallo stesso Teller¹².

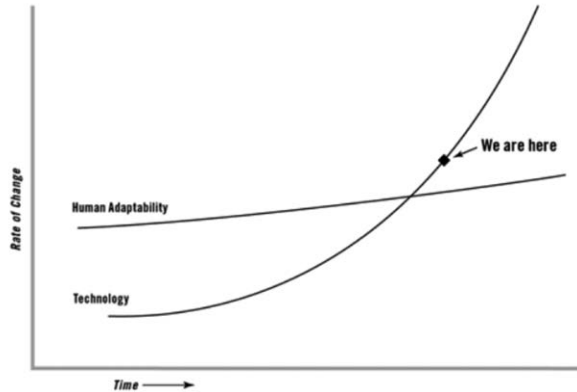


Figura 1 – Tasso di crescita esponenziale della tecnologia vs tasso di quasi lineare di adattabilità umana. [Fonte: Friedman 2016 fig. 1]; © Farrar Strauss Giroux MacMillan Publishers

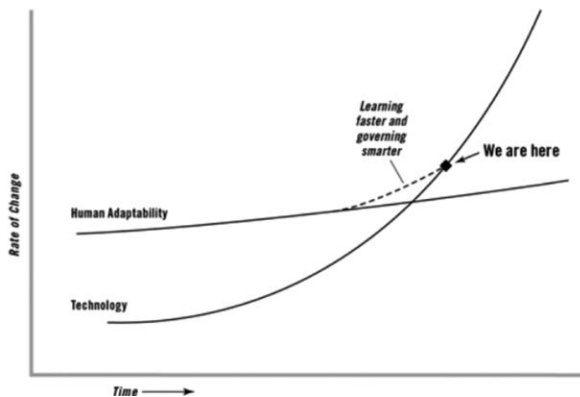


Figura 2 – Migliorare i processi di apprendimento e innovazioni nella dinamica istituzionale per superare il divario indicato nella Fig. 1. [Fonte: Friedman 2016 fig. 2]; © Farrar Strauss Giroux MacMillan Publishers

¹² Astro Teller è CEO del Laboratorio R&S di Google, denominato X, generatore di molte innovazioni. Nel 2017 Teller è stato insignito dell'Edison Achievement Award per tutto quello che ha realizzato nella sua carriera.

4.3 Ricerca, sperimentazione, immaginazione razionale

Siccome il nostro ambito di analisi è tecnico-scientifico e intendiamo creare solide basi cognitive, riteniamo che sia necessario esercitare soprattutto l'intuito razionale, per così dire, in modo da poter non solo immaginare il futuro, ma anche in qualche modo orientarlo. Per comprendere come ciò sia davvero possibile, descriviamo brevemente esempi di questa capacità di immaginazione razionale, basata su un mix di conoscenza, creatività e fantasia ancorata a idee innovative solo in parte esplorate.

Un esempio emblematico a riguardo è costituito da Gordon Moore, conosciuto da molti per aver enunciato nel 1965 la cosiddetta 'legge di Moore'¹³, di cui si discute da anni in merito al suo prossimo e recentemente avvenuto superamento, secondo il CEO di NVIDIA Jensen Huang¹⁴.

Meno noti sono, invece, gli spunti di riflessione anticipatori di molti dispositivi, da Moore avanzati nel 1965 ed ora a disposizione di tutti nel mondo:

Integrated circuits will lead to such wonders as home computers – or at least terminals connected to a central computer – automatic controls for automobiles, and personal portable communications equipment. The electronic wristwatch needs only a display to be feasible today. But the biggest potential lies in the production of large systems. In telephone communications, integrated circuits in digital filters will separate channels on multiplex equipment. Integrated circuits will also switch telephone circuits and perform data processing. Computers will be more powerful, and will be organized in completely different ways (Moore 1965, 1).

La tendenza inizialmente (1965) proiettata su 10 anni, circa il raddoppio della densità di transistor in chip ogni 18 mesi, è confermata fino ad oggi, ma il passo qui riportato prefigura impieghi in cui è facile riconoscere nell'ordine: pc, pc collegati in cloud, dispositivi di controllo delle auto, strumenti di comunicazione personali, orologi da polso con display informativi, nuovi sistemi di telefonia.

Moore non è però il solo ad usare quella che abbiamo chiamato *immaginazione razionale*. Nei primi anni '90, al PARC (Palo Alto Research Center, della Rank Xerox) Mark Weiser (1991, 1993) e il suo team di ricerca multidisciplinare ipotizzavano e quindi progettavano, sulla base anche di letture antropologiche, dispositivi computazionali distribuiti nell'ambiente (*Ubiquitous Computing*), connessioni wireless, badge personali elettronici¹⁵ (card), tecnologia *calm and*

¹³ «The complexity for minimum component costs has increased at a rate of roughly a factor of two per year [...] There is no reason to believe it will not remain nearly constant for at least 10years» (Moore 1965, 2). L'enunciazione di Moore è stata denominata 'legge di Moore' dal suo amico e professore al Caltech Carver Mead.

¹⁴ Al Consumer Electronic show di Las Vegas del 2019 Huang ha dichiarato: «Moore's Law is dead, GPUs will soon replace CPUs» (i GPU sono processori grafici che sostituiranno i tradizionali processori centrali, o CPU).

¹⁵ Weiser (1991) riferisce che il Centro di Ricerca Olivetti-Cambridge University è stato il primo a introdurre dispositivi del genere.

silent (diventerà *Pervasive Computing*), come si vede dalla riproduzioni fotostatiche dell'originale mostrato in figura 3.

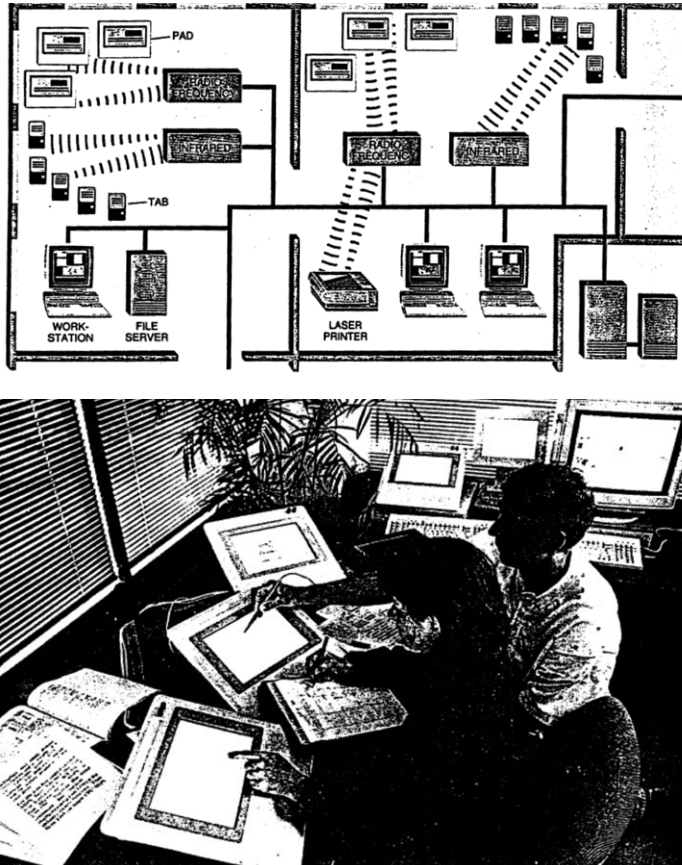


Figura 3 – 'Pad', touchscreen, dispositivi di scrittura manuale su schermo, sistemi wireless. [Immagine dal Laboratorio diretto da Weiser]

5. Cosa possiamo dedurre dall'analisi fin qui svolta?

Nei periodi di complessità, incertezza e ansietà generalizzata è possibile e necessario orientarsi, anche in presenza di processi e dinamiche fuori controllo. Questo è possibile se si è capaci di introdurre fattori e meccanismi innovativi tali da orientare l'evoluzione degli scenari, oppure di acquisire conoscenze in sintonia con tendenze emergenti, che sono sempre molteplici e non definite all'inizio. È chiaro, però, che affinché ciò avvenga è fondamentale la propensione all'attività esplorativa, l'assunzione di nuove direttrici di fondo per l'orientamento decisionale ed operativo, la ricerca costante di segnali di rinnovamento.

Solo così l'attività di progettazione può essere interessante, efficace e potenzialmente utile a ridurre o evitare rischi eccessivi.

Le sfide di fronte all'Umanità, a partire dalla pandemia in atto, sono rilevanti, tanto che Centri di Ricerca Internazionali come il World Economic Forum (WEF) hanno iniziato a trattare la questione di un *Great Reset* (WEF 2020). Vi è una consapevolezza diffusa che occorre 'reimpostare' i sistemi socio-economici su nuove basi: il WEF ritiene che «it is time for a great reset» e indica «5 steps to reboot business in the COVID-19 era: Reflect, Recommit, Re-engage, Rethink and Reboot». Il McKinsey Global Institute (MGI 2020b) sostiene: «What leaders need during a crisis is not a predefined response plan but behaviors and mindsets that will prevent them from overreacting to yesterday's developments and help them look ahead». Il WEF descrive 4 *Building blocks of the Great Reset*: cambiare mindset; creare una nuova metrica per valutare i fattori di cambiamento; «ridurre la distanza tra le leadership e la vita del resto di noi» (WEF 2020). Il Boston Consulting Group (BCG 2020) propone «new hybrid learning organizations combining both AI and human ingenuity, a more effective approach to change, leveraging human diversity for resilience and innovation, and the creation of trusted, purposeful organizations», in modo da accelerare l'apprendimento in un ambiente che cambia rapidamente e quindi acquisire resilienza. In realtà la trasformazione necessaria è ancora più profonda: la crisi globale è multiforme e richiede che si cambi il modello di business, superando l'ottica della profittabilità di breve periodo (*shareholder returns*) con l'adozione di modelli innovativi di business basati sulla sostenibilità e sugli *stakeholders interests*, cioè con un orizzonte strategico che incorpori finalità socio-economiche ed energetico-ambientali (Young, Reeves 2020). Il Covid-19 e i problemi ambientali spingono anche il Fondo Monetario Internazionale (IMF) a porre al centro delle strategie di superamento dell'attuale momento critico tre componenti fondamentali: *digital transformation, going green, building fairer societies* (IMF 2020).

Naturalmente gli organismi e i centri citati sono solo un piccolo sottoinsieme degli organismi internazionali che convergono nell'indicare per la 'Grande Trasformazione' orizzonti strategici con al centro temi quali: innovazione digitale, sostenibilità ambientale globale, equità, riduzione delle disuguaglianze, profondi mutamenti dei processi formativi (sull'ultimo tema si veda OECD 2020).

L'analisi svolta finora ha consentito di illustrare una serie di rilevanti questioni. Nei prossimi capitoli approfondiremo alcuni concetti di fondo sia sul piano teorico che operativo, per proporre infine una serie di indicatori operativi, in modo da poter valutare la validità di strategie e progetti, la loro efficacia realizzativa, specialmente alla luce di quanto è stato illustrato in merito all'evoluzione del Sistema-Terra.

Si cercherà di mostrare come tutto questo sia realizzabile concretamente nella fase storica odierna, caratterizzata dal verificarsi sempre più frequente di eventi critici, variazioni climatiche estreme, pandemie, crisi economico-finanziarie e socio-politiche.

Bibliografia

- Andersen, K.G. et al. 2020. "The proximal origin of SARS-CoV-2." *Nature Medicine* 26 (April 2020): 450-455.
- Balte, M. 2020. "Artificial Intelligence (AI) in Supply Chain Planning, The Future is Here & Now." *The European Business Review*, 1-10.
- BCG. 2020. "Leading out of adversity." <<https://www.bcg.com/it-it/publications/2020/business-resilience-lessons-covid-19>> April 9, 2020 (2021-03-10).
- Beinhocker, E.D. 2006. *The Origin of Wealth. Evolution, Complexity, and the Radical Remaking of Economics*. Brighton: Harvard Business Scholl Press.
- Brynjolfsson, E., e A. McAfee. 2014. *The Second Machine Age*. New York: W.W. Norton & Company.
- Callaway, E. 2020. "Revolutionary Technique Sees Individual Atoms." *Nature* 482 (June, 11): 156-157.
- Cohen, J. 2020. "Mining coronavirus genomes for clues to the outbreak's origins." *Science AAAS*, January 31.
- Courtney, H.G., Kirkland, J., e S.P. Viguerie. 2000. *Strategy under uncertainty*. MGI.
- Cowen, T. 2010. *The Great Stagnation*. New York: Dutton.
- Crow, D. 2020. "The next virus pandemic is not far away." *Financial Times*, 6 August, 2020.
- Crutzen, P.J. 2002. "Geology of mankind – The Anthropocene." *Nature* 415 (January): 23.
- Dennett, D.C. 1996 *Kinds of Mind*. New York: Basic Books.
- Deutsch, D. 1997. *La trama della realtà*. Torino: Einaudi.
- Dosi, G., e M. Egidi. 1991. "Substantive and procedural uncertainty. An exploration of economic behaviours in changing environments." *Journal of Evolutionary Economics*>> 1: 145-168.
- Friedman, T.L. 2016. *Thank You for Being Late: An Optimist's Guide to Thriving in the Age of Accelerations*. New York: Farrar Strauss Giroux MacMillan Publishers.
- Gaffney, O., e W. Steffen. 2017. "The Anthropocene equation." *The Anthropocene Review*>> 4 (1): 53-61.
- Gordon, R.J. 2012. "Is U.S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds." *NBER Working Paper* 18315.
- Gregory, R.L. 1981. *Mind in Science. History of Explanations in Physics and Psychology*. London: Widenfeld and Nicholson.
- Hassani, B.K. 2016. *Scenario Analysis in Risk Management*. New York: Springer.
- Hibbard, K.A. et al. 2005. "Decadal interactions of humans and the environment." In: *Integrated History and Future of People on Earth*, ed. by R. Costanza, Dahlem Workshop Report 96, 341-375. Cambridge: MIT Press.
- Horizon – The EU Research & Innovation Magazine. 2020. "The Age of Anxiety." <<https://horizon-magazine.eu/article/age-anxiety.html>> June 9, 2020 (2021-03-10).
- Hunderson, L.H. 2000. "Ecological Resilience – In Theory and Application." *Annual Review of Ecology and Systematics* 31: 425-439.
- IMF 2020. "From Great Lockdown to Great Transformation." <<https://www.imf.org/en/News/Articles/2020/06/09/sp060920-from-great-lockdown-to-great-transformation>> June 9, 2020 (2021-13-10).
- Lehmacher, W. 2016. *The Global Supply Chain. How Technology and Circular Thinking Transform Our Future*. New York: Springer.
- Levin, S.A. 1998. "Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems." *Ecosystems* 1: 431-436.
- Lewis, S.L., e M.A. and Maslin. 2015. "Defining the Anthropocene." *Nature* 519: 171-80.

- Lorenz, E.N. 1972. *Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?*. American Association for the Advancement of Science, 139 Meeting, December 29.
- MGI. 2020a. *The future of business: Reimagining 2020 and beyond*. McKinsey Global Institute, July.
- MGI. 2020b. *Leadership in a crisis: Responding to the coronavirus outbreak and future challenges*. McKinsey Global Institute, March.
- Minsky, M. 1974. *A Framework for Representing Knowledge*. Massachusetts Institute of Technology A.I. Laboratory, Memo N. 306, June.
- Minsky, M. 1986. *The Society of Mind*. New York: Simon & Schuster.
- Minsky, M. 2006. *The Emotion Machine*. New York: Simon & Schuster.
- Mokyr J., et al. 2015. "The History of Technological Anxiety and the Future of Economic Growth: Is This Time Different?" *Journal of Economic Perspectives* 29 (3): 31-50.
- Moore, G.E. 1965. "Cramming more components onto integrated circuits." *Electronics* 38 (8), April 19.
- OECD. 2020. "Future of Education and Skills 2030." <<https://www.oecd.org/education/2030-project/>> (2021-03-10).
- Owen, J. 2020. "20 of the worst epidemics and pandemics in history." *Live Science*, March, 20.
- Polanyi, K. 2000 (1944). *La Grande Trasformazione*. Torino: Einaudi.
- Plsek, P.E., e T. Greenhalgh. 2001. "The Challenge of Complexity in Health Care." *British Medical Journal of Clinical Research*, October.
- Ruddiman, W.F. 2013. "The Anthropocene." *Annual Review of Earth and Planetary Science* 41: 45-68.
- Shrage, M. 2017. "4 Models for Using AI to Make Decisions." *Harvard Business Review - Blog*, January.
- Sohrabi, S. et al. 2018. *An AI Planning Solution to Scenario Generation for Enterprise Risk Management*. Association for the Advancement of Artificial Intelligence.
- Steffen, W. et al. 2004. *Global Change and the Earth System. A Planet Pressure*. New York: Springer.
- Steffen, W. et al. 2007. "The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature." *A Journal of the Human Environment* 36 (8): 614-621.
- Steffen, W. et al. 2015. "The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration." *The Anthropocene Review* 2 (1): 81-98.
- WEF. 2020. "Great reset Initiative." <<https://www.weforum.org/great-reset>> (2021-03-10).
- Weiser, M. 1991. "The Computer for the 21st Century." *Scientific American*, September.
- Weiser, M. 1993. "Some Computer Science Issue non Ubiquitous Computing." *Communication at the ACM* 361 (7).
- Young, D., e M. Reeves. 2020. *The Quest for Sustainable Model of Innovation*. BCG, Henderson Institute, March.

Fase di ‘transizione critica’ per il Sistema Terra

Intento di questo capitolo è mettere in luce il fatto che siamo entrati in una fase di *critical transition* a livello globale, in quanto le reti di interdipendenze tra attori individuali e collettivi funzionano sulla base di meccanismi di feedback amplificatori degli impulsi. Per comprendere la dinamica odierna occorrono nuovi strumenti concettuali e criteri operativi non usuali. A tale fine, dopo aver delineato i processi critici che mettono in discussione la sostenibilità delle attività umane per il Pianeta Terra, viene argomentata la tesi di una possibile crisi sistemica globale, per la cui analisi occorrono nuovi strumenti, come quello di sistema complesso adattativo socio-ecologico. Successivamente, dopo aver mostrato come la digitalizzazione di processi e prodotti dalla nano-scala alla scala ordinaria e globale sia assimilabile al famoso paradosso della Carta Geografica di Borges¹, viene analizzata la questione se la dinamica tecnologica possa costi-

¹ «*On Exactitude in Science* [...] In that Empire, the Art of Cartography attained such Perfection that the map of a single Province occupied the entirety of a City, and the map of the Empire, the entirety of a Province. In time, those Unconscionable Maps no longer satisfied, and the Cartographers Guilds struck a Map of the Empire whose size was that of the Empire, and which coincided point for point with it. The following Generations, who were not so fond of the Study of Cartography as their Forebears had been, saw that that vast Map was Use- less, and not without some Pitilessness was it, that they delivered it up to the Inclemencies of Sun and Winters. In the Deserts of the West, still today, there are Tattered Ruins of that Map, inhabited by Animals and Beggars; in all the Land there is no other Relic of the Disciplines of Geography: Suárez Miranda, *Viajes de varones prudentes*, Libro IV, Cap. XLV, Lérida 1658 (Borges 1998).

tuire la panacea per governare la transizione critica di un sistema complesso. Nel paragrafo conclusivo sono introdotti spunti di riflessione preliminari sull'evoluzione del capitalismo.

1. Punto critico (*tipping point*) della storia mondiale

Il secondo decennio del XXI secolo lascia in eredità al successivo un carico multi-dimensionale molto pesante. L'evento pandemico, che ha investito i Paesi di tutto il mondo in ondate successive e attualmente sembra in fase declinante, soprattutto in seguito a campagne di vaccinazione di massa, ha prodotto conseguenze profonde, il cui impatto sarà di lungo periodo. Uno degli effetti più dirimpenti della pandemia è stato per molte realtà un grande stress sulle strutture sanitarie, impreparate ad affrontare eventualità di questa natura sia per ritardi culturali strategici, sia per macroscopici errori di visione nel comprendere traiettorie evolutive dei sistemi sociali, sia per una disconnessione profonda tra strutture sistemiche e dinamiche dei contesti socio-economici ed ambientali. L'evoluzione demografica dei Paesi di più antica industrializzazione e le migrazioni di popoli, causate in tutti i continenti dal desiderio di sfuggire a fame, guerre, cambiamenti climatici, stanno modificando profondamente gli equilibri demografici, etnici e politico-culturali, con effetti imprevedibili nel breve e nel lungo periodo (UN 2017).

Le disuguaglianze socio-economiche, che sono aumentate ovunque nel mondo, hanno innescato e rafforzato i processi indicati, alimentandosi reciprocamente con feedback iterati: povertà e vulnerabilità economico-sociale, conflitti, depauperamento di risorse naturali con la deforestazione e l'abbandono di coltivazioni tradizionali, alterate per seguire la domanda internazionale di particolari output, come è accaduto in Vietnam e Messico. Questi due Paesi hanno in comune con l'Illinois il fatto di essere tra i più grandi produttori mondiali di soia, richiesta da una domanda crescente per alimentazione umana e allevamento di bestiame.

L'evento pandemico si è quindi aggiunto a fenomeni e processi in atto, amplificandone la portata e la profondità, anche a seguito delle misure di lockdown resesi necessarie. In uno scenario globale già caratterizzato da segnali di rallentamento (IMF 2018), la pandemia ha accentuato i prodromi di una possibile crisi economico-finanziaria: difficoltà nei flussi dei pagamenti, volatilità sui mercati finanziari, tassi reali di interesse negativi, rischi crescenti sul mercato del credito (IMF 2020, Cap. 1-3). Tutto questo avviene mentre il mondo intero deve fronteggiare il rischio di una crisi climatica (MGI 2020), con il rischio di aver intrapreso un «Hothouse Earth pathway» (Steffen et al. 2018). Pur considerando gli impegni assunti a livello internazionale nel ridurre le emissioni odierne, peraltro poco rispettati dai Paesi firmatari dei vari accordi (Kyoto, Parigi, Vienna), gli scienziati prevedono che la temperatura media globale aumenterà di 3-4 gradi Celsius rispetto all'era preindustriale. Da questa valutazione deriva lo stesso accordo di Parigi COP21 del 2015 per attuare provvedimenti idonei a limitare l'incremento entro i 2 gradi Celsius.

Non è questa la sede per una disamina approfondita del mancato rispetto degli impegni e delle cause. Ai fini dell'elaborazione delle strategie di conteni-

mento sarebbe opportuno tenere presente 7 caratteristiche del rischio climatico (MGI 2020b, 7). 1) *Crescita elevata dello stesso rischio*, anche se alcuni Paesi (Canada, Russia) potranno beneficiarne per una maggiore produzione agricola. 2) *Specificità locale* delle sue manifestazioni, in quanto esse saranno molto differenziate a livello geografico-territoriale. 3) *Non stazionarietà*, dal momento che i processi geofisici hanno caratteristiche inerziali, per cui – una volta innescato – il ciclo di dispiegamento si sviluppa nell'arco di molti anni, con fenomeni di *lock-in* (intrappolamento dinamico) non controllabili nel breve periodo. 4) *Non linearità*, perché gli impatti si propagano rapidamente, dopo aver superato una certa soglia di variazione dei parametri di fondo dei processi. 5) *Natura sistemica*. Anche se gli effetti si manifestano a livello locale, l'impatto sarà generalizzato a causa delle interconnessioni tra sistemi economico-produttivi e finanziari. Regioni, popolazioni più povere e intere comunità locali potranno essere colpite in modo significativo e durevole, perché saranno interessate condizioni di vita e di lavoro consolidate da tempi lontani. Si pensi ai programmatisi spostamenti di capitali dell'Estremo Oriente, oppure alle dinamiche migratorie indotte dalla desertificazione e alle variazioni dei prodotti agricoli in seguito alle perduranti siccità. 6) *Regressività*. Saranno più colpiti i Paesi più poveri, le comunità e gli strati sociali più vulnerabili. 7) *Impreparazione*. La scala degli effetti dei cambiamenti climatici rende problematiche la stima e la gestione del rischio, perché coinvolgono prevalentemente molti Paesi e comunità con dinamiche di interessi anche contraddittori.

Emergono quindi problemi non semplici di coordinamento di una molteplicità di stakeholders, mentre in alcune aree del Pianeta l'aumento di temperatura di 3 gradi Celsius comporta insostenibilità della vita umana, dato il superamento della soglia di sopportabilità corporea. Da ciò deriverebbero dinamiche migratorie, con enormi implicazioni economico-sociali.

In estrema sintesi, appare fondato ritenere che gli odierni processi biofisici, sociali ed economici siano soggetti ad un forte stress multidimensionale, che richiede un profondo ripensamento dei modelli di vita produzione e consumo.

La traiettoria verso un 'Pianeta Serra' è già presente da molti anni negli studi di climatologi, geofisici, ingegneri, economisti non mainstream, mentre dagli inizi degli anni 2000 centri di ricerca internazionali hanno indicato come il nostro Pianeta sia prossimo ad un *tipping point* dal punto di vista climatico (Lenton et al. 2008). Durante il decennio in atto, i concetti di *tipping point* e *critical transition* sono divenuti temi centrali nelle analisi e nelle teorie sull'evoluzione dei processi biofisici, a seguito della natura e della morfologia assunta dalle attività economico-produttive umane.

2. Scenario di una crisi sistemica globale

La simultanea presenza di più processi critici mette in discussione i presupposti delle tradizionali visioni del mondo e di consolidate impostazioni scientifiche e strategiche. Occorre infatti cambiare regole basilari di funzionamento dei sistemi produttivi e dei modelli di relazioni socio-tecniche: dalle tipologie

costruttive delle abitazioni e degli insediamenti urbani alle modalità di consumo, alle forme di impiego del tempo libero. Un aspetto merita di essere enfatizzato: non si tratta di crisi di sistemi localizzati, di collassi di civiltà per così dire 'regionali' (Tainter 1988). Siamo invece di fronte ad eventi che investono il sistema planetario in tutte le sue articolazioni: climatiche, economiche, sociali, politico-istituzionali, 'capitale naturale' di risorse riproducibili solo in un arco temporale molto lungo. Proprio partendo da questa situazione, tutti gli attori odierni, individuali e collettivi, devono modificare regole di comportamento sulla base di visioni strategiche alternative a quelle odierne e ispirate a principi generali e operativi molto differenti. È infatti impensabile che si possa arrivare a risolvere questi problemi in modo isolato (a livello individuale, nazionale); è per contro essenziale cambiare modelli mentali a livello micro, meso- e macro, basandosi sul principio della cooperazione, che travalica la sovranità nazionale: «ecological interdependence poses an insurmountable obstacle to sovereignty, because the threats are transnational» (Nye 2020a). Un altro principio operativo rilevante è che ci deve essere un allineamento comportamentale, inteso ovviamente non come omogeneità di azioni, bensì di coerenza individuale e collettiva rispetto a nuovi orientamenti ispirati alle questioni globali poste dalla compresenza di molteplici processi critici. La transizione critica che stiamo attraversando è naturalmente associata ad entropia informativa, in quanto esiste un insieme indefinito di flussi informativi e una molteplicità di possibili traiettorie evolutive. Com'è allora possibile superare il caos e il disordine, che alimentano incertezza e imprevedibilità?

3. Sopravvivere alla transizione critica. Priorità da assumere

Il punto da cui partire è la consapevolezza di tre proprietà distintive dei sistemi umani (Holling 2001). *Lungimiranza* (*foresight*) e *intenzionalità*, che possono favorire la previsione e l'attitudine a prevenire a reagire in modo adattativo a eventi critici incerti e imprevedibili. *Comunicazione*, ovvero la capacità di accumulare esperienze, produrre e verificare ipotesi, rivedere i propri modelli mentali in base all'arrivo di nuove informazioni, come tante volte è avvenuto nella storia dell'Umanità.

Uno dei fondamentali meccanismi cognitivi della mente umana è l'individuazione di *pattern* (configurazioni) associando la propria dotazione cognitiva, che è anche sociale e indiretta, agli input che derivano dall'ambiente con cui si interagisce. Essa si è evoluta mediante la ricerca di regolarità sul piano informativo multimodale (visione, udito, olfatto, emozioni, argomentazione razionale). A questo fine la mente ha creato incessantemente dispositivi ordinatori, che mettessero in condizioni di estrarre informazioni utili alla sopravvivenza. Il *foresight* e l'intenzionalità sono stati essenziali per superare i *tipping point* del passato, e lo saranno ancor più in futuro. I dispositivi di ordinamento dei processi dall'esito imprevedibile, alimentati da strutture dinamiche complesse come quelle odierne, sono individuabili sulla base delle grandi questioni ora aperte, da trasformare in priorità per orientare l'evoluzione dei sistemi mediante appro-

priate scelte da parte degli operatori individuali e collettivi. Alla luce dell'analisi svolta le priorità generali che dovrebbero contribuire a definire le direttrici di azione nei sistemi multi-livello sono le seguenti: 1) *affrontare il rischio climatico, sanitario ed economico* partendo dalle strette interdipendenze tra sfere di azione a livello globale. Sono sempre più chiari, infatti, i feedback loop tra emissioni inquinanti, riscaldamento terrestre, deterioramento delle condizioni sanitarie collettive, con il rischio elevato di sequenze pandemiche ad intervalli più brevi. Diviene allora fondamentale agire sui feedback loop, una volta individuati, con strategie cooperative a livello internazionale, dato che si tratta di fenomeni globali, per cui non esistono soluzioni 'locali', ma solo soluzioni concertate a scala planetaria, com'è avvenuto per l'accordo di Montreal (firmato nel 1987, entrato in vigore il 1° gennaio 1989, poi rivisto in numerosi incontri internazionali nei due decenni successivi) sul contenimento delle emissioni di gas che riducono l'ozono². 2) *Ridurre l'incertezza e l'imprevedibilità* mediante azioni continue di monitoraggio e *foresight*, onde captare prontamente segnali e informazioni idonee per far evolvere le strategie degli attori. Ridurre l'incertezza implica anche escogitare misure e strumenti per l'aggiornamento delle competenze di persone sostituite da robot e dall'IA, insieme a molteplici ed efficaci forme di sostegno per la transizione tra posizioni lavorative. Occorre quindi pensare i fondamenti di un nuovo contratto sociale, sostitutivo di quello post-bellico, reso obsoleto dalla dinamica tecno-economica e dalle strategie neo-liberiste, che hanno peraltro creato le condizioni per la creazione di mercati oligopolistici di nuovo tipo (i 'mologopoli' di cui parla Petit 2016).

In particolare, alla luce delle considerazioni svolte, diviene fondamentale comprendere che nei sistemi complessi i feedback possono alimentare processi amplificati. Di qui deriva l'importanza di tenere sotto controllo meccanismi destabilizzanti che, in forza delle interdipendenze globali, possono portare alla luce la necessità di affrontare il problema di quelli che Levin chiama *global commons*, cioè beni comuni globali (Levin 2007). I beni comuni globali richiedono azioni collettive per la loro tutela rispetto a fattori deleteri, quali inquinamento, distruzione di eco-sistemi, perdita di diversità delle specie naturali, distruzione del cosiddetto 'capitale naturale' (Levin 1999, cap. 9). Il fatto è che l'orizzonte temporale dei processi decisionali individuali è molto più breve di quello (decenni) del verificarsi degli eventi critici tali da determinare un potenziale collasso sistemico. Di conseguenza i decisori umani attribuiscono maggior valore al futuro più vicino rispetto a quello più lontano nel tempo, mentre sono portati a non pensare in modo sistemico e con un orizzonte temporale troppo lungo, salvo poi trovarsi impreparati di fronte alla crisi come quella odierna, quelle del 2007 e del 2001, e così via nei due secoli passati. Ecco allora che bisogna riflettere sugli avvenimenti odierni e trarne alcuni insegnamenti.

² Osservazioni della NASA a fine 2019 hanno stimato una riduzione del 35% circa del 'buco dell'ozono', ma nel settembre 2020 è tornato a livelli alti del decennio scorso: <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/statistics/annual_data.html> (2021-10-03).

4. Imperativi teorici e criteri applicativi

Sulla base delle considerazioni sviluppate finora si impone un *primo imperativo* da osservare: adottare una visione sistemica e diffondere a molti livelli una corrispondente cultura. Ciò significa introdurre nei processi formativi, sia in ambito scolastico che nel contesto del management pubblico e privato, input tecnico-scientifici e concetti innovativi quali: teoria dei sistemi complessi, interdipendenze e feedback loop, approccio multi-livello, sistema complesso adattativo.

La complessità degli scenari e dei sistemi che interagiscono al loro interno fanno emergere un *secondo imperativo*: data la natura globale dei problemi, la loro risoluzione non è possibile senza la collaborazione internazionale, quindi senza un nuovo multilateralismo (Lagarde 2014), anche se è necessario non nascondersi le difficoltà nel realizzare scenari di questo tipo in un contesto di radicali mutamenti geopolitici, denso di conflitti locali con elevate possibilità di un loro ampliamento. A fronte di tale elevata problematicità, vi è però un enorme potenziale tecnico-scientifico dal quale poter trarre conoscenze sistemiche utili per interventi strategici di lungo periodo a beneficio dell'Umanità e del Pianeta³.

I problemi emergenti in tutto il mondo impongono inoltre di rendere i sistemi capaci di resistere a shock temporanei e shock strutturali mediante l'acquisizione di resilienza e robustezza. Esistono in letteratura varie definizioni di resilienza. In questa sede facciamo propria quella di Folke et al. (2004): «the capacity of a system to absorb disturbance and reorganize while undergoing change so as to retain essentially the same function, structure, identity, and feedbacks». La robustezza indica invece la flessibilità decisionale e strutturale idonea a far assorbire nel lungo periodo mutamenti indotti da ambienti che fluttuano (NRC 2007:, 34). Gli studi in materia mostrano due proprietà, che favoriscono entrambe: ridondanza e modularità. La prima («the property of one component to perform another's function», NRC 2007, 49) può evitare effetti catastrofici conseguenti alla perdita di componenti specifiche, tali da generare effetti a cascata in caso di interdipendenze sistemiche. La seconda significa compartimentazione, ovvero la scomposizione di un sistema in unità discrete, in sotto-insiemi di entità con interazioni ad alta frequenza al loro interno e a bassa frequenza tra sotto-insiemi (Simon 1962)⁴. La modularità conferisce robustezza, perché riduce la possibilità di diffusione degli impulsi negativi, analogamente al 'distanziamento sociale' di cui stiamo facendo esperienza.

³ Un segnale positivo potrebbe essere il Progetto Great Green Wall (<<https://www.greatgreenwall.org/>>, 2021-03-10), grande muraglia verde di alberi da costa a costa all'altezza del Sahel, avviato nel 2007 è oggi realizzato al 15%, grazie ad accordi tra tutti gli Stati interessati (<<https://www.unccd.int/actions/great-green-wall-initiative>>, 2021-10-03). In effetti il progetto, che non comprende solo piantare alberi, ha una realizzazione disomogenea nei vari Paesi e non è esente da critiche. Per una interessante disamina si veda Laestadius 2017.

⁴ «It is probably true that in social as in physical systems, the higher frequency dynamics are associated with the subsystems, the lower frequency dynamics with the larger systems» (Simon 1962, 477).

A fronte di questi principi strategici vi sono *criteri operativi* non meno importanti a cui attenersi in uno scenario caratterizzato da incertezza e imprevedibilità. Innanzitutto è emersa in tutta evidenza la fragilità del sistema cosiddetto *command and control*, ovvero perseguimento della massima efficienza secondo schemi mentali e organizzativi pianificati in condizioni di stabilità e conoscenza completa dell'ambiente operativo. La sovra-capacità e la ridondanza, ritenute inefficienti, sono diventate invece essenziali per garantire condizioni di operabilità quando sorgono shock più o meno improvvisi, insieme a problemi di sicurezza e blocchi dei flussi di approvvigionamento, ad esempio nelle sequenze produttive globali, come sta accadendo attualmente (Schneier 2020).

Connesso al precedente è un secondo criterio: l'orizzonte temporale di ogni operatore non deve essere incentrato solo su prospettive a breve termine, bensì orientato al lungo termine e con focus sulle interdipendenze, sui cicli di feedback multi-dimensionali all'interno di sistemi socio-ecologici complessi. In un mondo iperconnesso, infatti, i processi di apprendimento diventano cruciali e perde valore l'applicazione di meccanica di modelli di management basati su set delimitati di scelte da massimizzare, perché bisogna tenere conto della variabilità dei parametri essenziali per le decisioni. Ecco quindi che l'*adaptive strategic thinking* e l'adattatività divengono fondamentali in quanto basati su un'incessante attività di ricerca in tre direzioni: 1) esplorazione delle potenzialità tecnico-scientifiche; 2) analisi delle interrelazioni sistemiche e dei molteplici rischi; 3) trasformazione dei modelli operativi a seconda delle traiettorie individuate (cfr. Capp. 5-6).

Tutto questo logicamente comporta l'impiego non di una dotazione fissa di strumenti, ma il contrario, la ricerca continua di nuovi, tenendo presente che i processi economici sono interconnessi con l'ambiente sociale e naturale. Nell'orizzonte appena descritto appare suggestiva l'indicazione del passaggio dal *mechanical management*, basato sulla ricerca di soluzioni permanenti e definitive di problemi complessi, al *biological thinking*, incentrato su principi molto differenti: sperimentazione, resilienza invece di efficienza, visione olistica-sistemica, pluralità delle scelte, degli strumenti e delle competenze per sviluppare potenzialità adattative (Reeves, Levin 2017).

Proprio l'odierna compresenza di crisi originate da cause differenti ed interconnesse induce a riflettere su un punto decisivo: può il grande potenziale tecnico-scientifico odierno aiutare l'Umanità nell'affrontare i problemi relativi alla sostenibilità sistemica del Pianeta Terra?

5. Dal capitalismo degli *shareholder* al capitalismo degli *stakeholder*

Il punto di partenza, che è anche quello di arrivo delle pagine precedenti, è che il mondo viva una 'transizione critica', un punto di svolta nell'evoluzione del Pianeta Terra e della storia dell'Umanità⁵. Non esiste, però, una sola via di

⁵ Uno Special Report dell'Economist (*The Future: Direct the Disruption*, 17 settembre 2020) si incentra proprio sull'assoluta necessità per le imprese di agire con prontezza, oltre che sulla

uscita e le traiettorie possibili sono in gran parte ignote, date le numerose incognite che influenzano i processi decisionali individuali e collettivi.

Possiamo ciò nonostante trarre dalle riflessioni svolte degli spunti interessanti in merito a quali orientamenti assumere per effettuare scelte congruenti con un ambiente ad alta variabilità e incertezza. Cerchiamo allora di indicare uno schema generale, un *frame*, basato su un set preciso di idee basilari.

È innanzitutto necessario essere consapevoli che l'orizzonte temporale delle decisioni non può essere di breve periodo, perché nell'odierno mondo fisico-digitale ogni atto ha implicazioni sistemiche globali, che si manifestano nel medio-lungo termine, dando origine a processi irreversibili. In tale quadro il perseguimento della profittabilità nel breve termine, perno economico-culturale dell'ultimo trentennio, rischia di essere un meccanismo distruttivo del sistema capitalistico. Le implicazioni di questo mutamento di fondo sono enormi sia a livello di psicologia individuale e collettiva, sia a livello politico-istituzionale, sia in ambito economico-produttivo. Non sarà agevole per molti, soprattutto per determinati portatori di interessi legati alla tradizionale visione del mondo e dei modelli operativi, condividere nuovi principi e criteri comportamentali.

A tutto questo bisogna aggiungere fattori di inerzia culturale, politica, istituzionale, che agiscono in trasformazioni strutturali così estese creando necessariamente barriere mentali, gerarchiche (di potere in senso ampio) e ostative per il timore di perdere posizioni di status sociale.

Il cambiamento dell'orizzonte temporale delle decisioni, unito alla consapevolezza dell'esistenza di sistemi socio-ecologici complessi adattativi, ha una seconda implicazione: i modelli consolidati di gestione delle imprese devono superare i limiti della concezione privatistica e quelli della *corporate social responsibility*, perché i parametri decisionali più rilevanti non possono più essere concentrati sulla profittabilità, ma devono incorporare fattori di ordine sociale ed ecologico. Un nuovo mindset imprenditoriale dovrà emergere in un ambiente competitivo con le caratteristiche descritte: sarà fondamentale connettere due elementi finora sconnessi, «sustainability and sustainable competitive advantage», situazione definita «S-world» (Sustainability and Sustainable Competitive Advantage) da Young et al. (2019), che rappresentano molto efficacemente una nuova agenda per i modelli di business (Fig. 1).

La prospettiva delineata contiene un mutamento nel potere decisionale, che è difficile da realizzare e andrà sicuramente incontro a forti resistenze, anche perché implica un cambiamento dall'esercizio del potere «over others» all'esercizio del potere «with others» (Nye 2020a). Non si tratterebbe, dunque, di una variante di capitalismo, che amplirebbe la varietà dei capitalismi (Hall, Soskice 2004). Forse dovranno cambiare principi fondanti del capitalismo. La questione merita di essere ulteriormente approfondita in un prossimo contributo, tenendo anche presente l'eventualità, suggerita da Bremmer (2012), di uno scenario – a dire il

base di strategie antipandemia (un ampio *coverage* del coronavirus), anche per fronteggiare il rischio climatico: «Companies that fail to tackle climate change face a backlash».

vero più immaginato che fondato su presupposti già consolidati – di un ‘G-zero world’, un mondo senza superpotenze, ma con numerose aspiranti potenze regionali e più di una con malcelate aspirazioni globali (aggiungiamo noi). Anche sul terreno geo-politico, quindi, andiamo verso una *critical transition*, il che dovrebbe responsabilizzare sempre più decisori ad ogni livello, in primo luogo le leadership, anche se sembrano afflitte da quella che Nye (2020b) chiama *abysmal failure*.

Queste considerazioni finali rafforzano ulteriormente l’urgenza di un profondo cambiamento culturale, di cui abbiamo cercato di delineare alcuni elementi fondamentali.

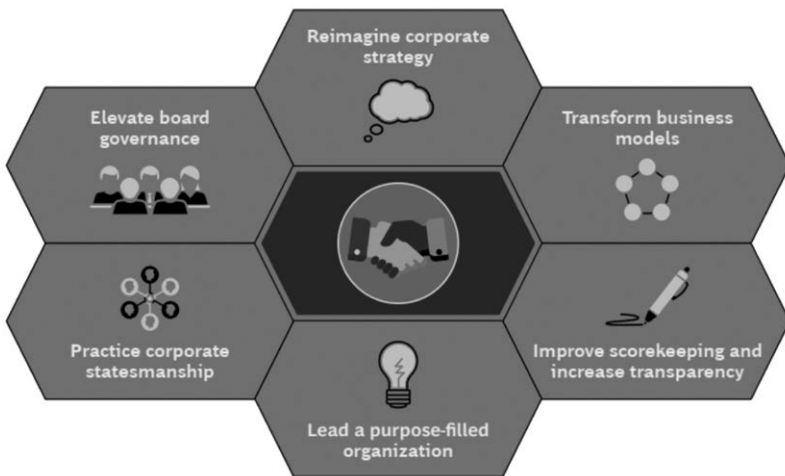


Figura 1 – Agenda per coniugare valore e bene comune. [Fonte: Young, et al. 2019, Exhibit 1]

Bibliografia

- Borges, J.L. 1998. *A Universal History of Infamy*. Collected Works, New York: Penguin Books.
- Bremmer, J. 2012. *Every Nation for Itself. Winners and Losers in a G-Zero World*. New York: Penguin Books.
- Folke C., et al. 2004. “Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management.” *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35: 557-81.
- Hall, P.A., e D. Soskice, eds. 2004. *Varieties of Capitalism. The Institutional Foundations of Comparative Advantage*. Oxford: Oxford University Press.
- Holling, C.S. 2001. “Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems.” *Ecosystems* 4.
- IMF. 2018. “Outlook.” <<https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2018/09/24/world-economic-outlook-october-2018>>, October 2020 (2021-10-03).
- IMF 2020. “Global Financial Stability Report.” <<https://www.imf.org/en/Publications/GFSR/Issues/2020/04/14/Global-Financial-Stability-Report-April-2020-49020>> April 2020> (2021-10-03).

- Laestadius, L. 2017. "Africa's got plans for a Great Green Wall: why the idea needs a rethink." *The Conversation*, June 18.
- Lagarde, C. 2014. *A New Multilateralism*, London: Richard Dimbleby Lecture.
- Lenton, T.M. et al. 2008. "Tipping elements in the Earth's climate system." *PNAS*, February 12, 1053.
- Levin, S.A. 1999. *Fragile Dominion. Complexity and the Commons*. New York: Perseus Publishing.
- Levin, S.A. 2007. Intervento in *New Directions for Understanding Systemic Risk: A Report on a Conference Cosponsored by the Federal Reserve Bank of New York and the National Academy of Sciences*. Washington, DC: NRC, 33-34.
- MGI. 2020. *The future of business: Reimagining 2020 and beyond*. McKinsey Global Institute, July.
- Schneier, B. 2020. *We Need to Embrace Inefficiency to Save Our Economy*. Belfer Center, Harvard Kennedy School, June 20.
- Reeves, M. e S. Levin. 2017. *Think Biologically. Messy Management for a Complex world*. Boston Consulting Group Henderson Institute, July 17.
- Simon, H.A. 1962. "The Architecture of Complexity." *Proceedings of the American Philosophical Society* 106 (6): 467-82.
- Steffen, W. et al. 2018. "Trajectories of the Earth System in the Anthropocene." *PNAS*, August 14, 115 (33): 8252-8259.
- NRC. 2007. *New Directions for Understanding Systemic Risk: A Report on a Conference Cosponsored by the Federal Reserve Bank of New York and the National Academy of Sciences*. Washington, DC.
- Nye, J. 2020a. "After the Liberal International Order." *Project Syndicate*, July 6.
- Nye, J. 2020b. "An Abysmal Failure of Leadership." *Project Syndicate*, May 7.
- Petit, N. 2016. *Technology Giants, The "Moligopoly" Hypothesis and Holistic Competition: A Primer*, WP, LCII, Liege Competition and Innovation Institute.
- Tainter, J. 1988, *The Collapse of Complex Societies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- UN – Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2017. "World Population Ageing 2017 – Highlights (ST/ESA/SER.A/397)." <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WPA2017_Highlights.pdf> (2021-10-03).
- Young, D. et al. 2019. *Optimize for Both Social and Business Value*. Boston Consulting Group-Henderson Institute.

Le sfide globali dell'era odierna come coordinate generali

1. Le sfide

Il numero delle sfide globali di fronte all'Umanità può variare a seconda del punto di vista adottato: il World Economic Forum (Hutt 2016) ne individua 10, l'ONU ne approfondisce 21 (UN, "Global Issues Overview") e successivamente indica 17 Sustainable Development Goals (Agenda for 2030), The Millennium Project analizza e rappresenta 15 Global Challenges ("The Millennium Project"). L'Unione Europea ha avviato iniziative strategiche incentrate sui 5 pilastri di Europa 2020, sulle 7 *societal challenges* (Horizon 2020) e le *Focus Areas*.

Vi sono ovviamente sovrapposizioni e ampliamenti, ma tutti i temi discussi sono di grande interesse e rilevanza, perché riguardano il futuro del Pianeta e dell'Umanità, i cui destini sono ritenuti unanimemente intrecciati. Ai fini del nostro contributo, cioè tentare di proporre solide fondamenta teoriche e pratiche alle politiche per l'innovazione, selezioniamo quelli che è ragionevole considerare grandi problemi o sfide con cui misurarsi fin dall'immediato. Riteniamo che tali sfide debbano essere affrontate alla luce dello schema concettuale proposto e degli orientamenti di metodo suggeriti nelle prossime pagine. Dal nostro punto di vista le sfide costituiscono delle vere e proprie *coordinate generali*, da tenere sempre presenti nell'elaborare spunti per riflettere sui modelli di produzione e consumo oppure, per usare un'espressione onnicomprensiva, nel cercare di orientare la dinamica delle configurazioni sociali e i comportamenti individuali nell'ottica dei micro- meso e macro-allineamenti (Rip 1995, 425), cioè di

coordinamento di processi e fattori sociali, giuridici, istituzionali, culturali. Per questa via si potrà perseguire, pur tra inevitabili difficoltà e contraddizioni, la congruenza tra intelligenza individuale e intelligenza collettiva (Mulgan 2014; Saunders, Mulgan 2017) in un mondo dove le asimmetrie si producono continuamente, a causa delle profonde trasformazioni che lo stanno investendo. Bisogna allora cambiare il nostro mindset: le sfide non devono essere interpretate come vincoli, bensì in termini di *triggering conditions* per potenzialità *explorative*, il cui approfondimento può portare a soluzioni di maggiore benessere per tutti, qualora vengano effettuate le scelte più appropriate di breve e medio-lungo termine sullo sviluppo del potenziale tecnico-scientifico esistente.

L'enorme potenza computazionale delle tecnologie dell'informazione consente, infatti, al tempo stesso di vedere e modificare l'infinitamente piccolo¹ e l'infinitamente grande². È quindi possibile modificare elementi basilari del codice della vita, nonostante le preoccupazioni che sorgono, ed elaborare la rappresentazione digitale di tutto il ciclo di vita di un prodotto (*digital twin*, ingrediente essenziale di 'Industria 4.0', d'ora in poi I4.0), potendo così controllare la dinamica evolutiva di ogni componente: input e output, materiali impiegati, possibile reimpiego di ogni tipo di input.

Le capacità manipolatorie non si limitano alle componenti fisiche dei processi, perché Internet e i meccanismi pervasivi di *information processing*, che sono ormai dappertutto, diffondono una conoscenza quasi completa di noi stessi, dal DNA ai comportamenti e ai modi di pensare.

Oggi è doveroso ampliare la nostra immaginazione sviluppando intelligenza individuale e collettiva, proprio perché vi sono molti segnali che inducono a pensare di essere vicini ad un possibile punto critico nella storia della Terra, che potrebbe essere davvero vista come una 'navicella' sospesa nello spazio:

the future might similarly be called the "spaceman" economy, in which the earth has become a single spaceship, without unlimited reservoirs of anything, either for extraction or for pollution, and in which, therefore, man must find his place in a cyclical ecological system which is capable of continuous reproduction of material form even though it cannot escape having inputs of energy (Boulding 1966, 4).

Il dibattito di politica internazionale sviluppatosi negli ultimi decenni, insieme alla riflessione teorica (Bardi 2011) e alle analisi tecnico-manageriali, hanno portato alla ribalta, infatti, temi relativi alla limitatezza delle risorse naturali, al tendenziale esaurimento dei combustibili fossili e quindi alla necessità di superare una crescita economica basata essenzialmente su petrolio, carbone e altre sostanze non riproducibili in tempi non geologici. Motivi ricorrenti della riflessione e della ricerca tecnico-scientifica sono diventati la riduzione dell'intensità

¹ Ci riferiamo all'editing genetico mediante la tecnica CRISPR_Cas9, che consente di modificare il DNA (Anzalone et al. 2019). Recentemente stanno emergendo dubbi circa mutazioni inintenzionali e dannose che potrebbero essere innescate (Schaefer et al. 2017).

² Il telescopio Hubble ha ricostruito l'immagine dell'Universo di 13.300 miliardi di anni or sono (Technology Review, 13-5-2019).

energetica delle attività produttive, insieme all'uso efficiente delle risorse, a partire da apparati logistici 'intelligenti', perché i flussi possono essere razionalizzati e resi meno produttori di sostanze inquinanti grazie all'impiego di strumenti di IA. La richiesta di efficienza energetica (risparmio e al tempo stesso impiego di energia da fonti rinnovabili) permeano tutte le sfere della vita sociale: 1) *home and building automation*, per innalzare e controllare il rendimento energetico degli edifici con dispositivi di controllo e l'utilizzo di nuovi materiali; 2) *Smart-Intelligent-Living Cities*, approcci per progettare sistemi urbani concepiti al tempo stesso come sistemi idraulici, energetici, logistici da gestire mediante agenti artificiali (sistemi di software), strategie collettive e coerenti comportamenti individuali (microgrid, comportamenti individuali consapevoli); 3) bio-edilizia, architettura e progettazione bioclimatica di case, aree residenziali e industriali, mediante l'analisi dell'intensità di consumo energetico dei materiali, dell'adattamento dei modelli abitativi al contesto ambientale naturale e dell'impronta ecologica di materiali e forme costruttive.

In breve, si tratta di sfide tali da indurre traiettorie di mutamento a livello sistemico e individuale, che configurano l'avvio di una vera e propria *transizione energetica e ambientale*, che investe a tutti i livelli le società, intese come *sistemi socio-tecnici evolutivi*³.

Come si è arrivati a tutto questo? Quali azioni possono intraprendere le autorità istituzionali? Quali le strategie appropriate da parte di operatori pubblici e privati? Quale cultura tecnico-manageriale è oggi necessaria per qualsiasi attore socio-economico nel fronteggiare le sfide e favorire i micro- meso- e macro- allineamenti prima ricordati?

Nelle pagine successive si cercherà di rispondere a questa serie di interrogativi, mettendo al centro dell'attenzione i meccanismi basilari, sui quali si sono maggiormente sviluppate le riflessioni e le analisi di importanti Centri di Ricerca e Organismi Internazionali.

Il punto di partenza può essere uno dei temi più discussi nell'ultimo decennio, al centro di una delle iniziative strategiche dell'Unione Europea, la *Smart Specialisation* (d'ora in poi *S³*), la quale ha innescato l'elaborazione di 120 progetti negli Stati membri (Prieto et al. 2019). Il processo di transizione socio-tecnica deve avere un fondamentale *key driver* endogeno: la digitalizzazione di processi e prodotti dalla nano-scala alla scala globale, assunta a fondamento dell'iniziativa europea *S³*. Le elaborazioni di studiosi come Foray, David e Hall (2009) sono state basilari per l'elaborazione delle strategie dell'Europa. In uno dei documenti del Work Group europeo in tema essi infatti affermano: «L'idea della *Smart specialisation* non è un esercizio di *technological foresight* di una società di consulenza». Al contrario, «We are suggesting an *entrepreneurial process of discovery* that can reveal

³ Il concetto di *sistema socio-tecnico* appare fondamentale per comprendere l'evoluzione delle società odierne, perché esso indica «the interlinked mix of technologies, infrastructures, organizations, markets, regulations, and user practices that together deliver societal functions such as personal mobility» (Geels et al. 2017, 1242).

what a country or region does best in terms of science and technology. That is, we are suggesting a learning process to discover the research and innovation domains in which a region can hope to excel. In this learning process, *entrepreneurial actors are likely to play leading roles* in discovering promising areas of future specialization [...]» (Foray, David e Hall 2009, 2-3, corsivo nostro).

Nei prossimi decenni le iniziative strategiche europee devono quindi misurarsi con uno scenario in cui prevarranno Smart Specialisation, I4.0, Reconfigurable Systems (Andersen et al. 2016; Bortolini et al. 2019), che compongono un quadro dinamico, destinato a cambiare profondamente i meccanismi e le modalità manipolative dei materiali nei processi di produzione e nelle maggior parte delle attività umane. Le società sono di fronte ad un salto qualitativo per quanto concerne le funzioni svolte finora dagli umani su due piani fondamentali: 1) si svilupperanno soprattutto funzioni di progettazione, supervisione, controllo e manutenzione di sistemi fisico-cibernetici in grado di svolgere un enorme numero di lavori finora svolti dagli umani; 2) nei prossimi anni sarà necessario realizzare un generale e radicale cambiamento dei contenuti tecnico-culturali della popolazione.

Bisogna quindi comprendere nelle linee generali e al più alto grado di precisione possibile come la diffusione di sistemi fisico-cibernetici condizionerà funzioni e task lavorativi ad ogni livello. L'orizzonte entro cui i sistemi socio-economici evolvono sarà caratterizzato dal venire meno dei confini tra settori e tra imprese, dal momento che è cambiata la natura dei prodotti e con essi delle sequenze economico-produttive, generando così sfide rilevanti per le aziende e il lavoro, la cui qualità e quantità diverranno del tutto differenti da quelle odierne. È chiaro che una discontinuità così profonda e diffusa non può essere catturata da previsioni quantitative, che richiedono fundamentalmente regolarità dei processi ed evoluzioni sistemiche non così complesse da essere intrattabili dal punto di vista computazionale.

Al fine di comprendere direttrici future, illustriamo tre aspetti cruciali.

2. I processi produttivi nell'odierno scenario tecno-economico

Come abbiamo anticipato nel primo paragrafo, i beni tendono sempre più ad assumere «natura multidisciplinare» (Tomiyama et al. 2007), in quanto esiti delle intersezioni tra una pluralità di domini conoscitivi, la cui composizione e intensità di impiego variano a seconda della tipologia dei prodotti stessi. La multidisciplinarietà implica una 'intrinseca complessità' dei processi di progettazione e realizzazione: il processo di sviluppo di un nuovo prodotto, ma anche le attività di reingegnerizzazione di quelli esistenti, richiedono infatti *cross-functional teams* e *cross-functional expertise*.

Nello scenario odierno la generazione di nuove idee e i processi di adattamento a dinamiche innovative esogene sono inestricabilmente connessi a processi multi-dimensionali, nel senso che deve essere preso in considerazione un numero rilevante di set di variabili: tecnico-scientifiche, economiche, sociali, computazionali, funzionali (ElMaraghy et al. 2012).

Multidisciplinarietà e *complessità* sono proprietà emergenti dei processi di design e produzione, oltre che di sistemi tecno-economici, cioè degli insiemi di in-

terdipendenze e complementarità in cui i primi sono inseriti. Queste proprietà emergenti sono rinvenibili, sia pure con differenti gradazioni, in tutte le tipologie di prodotto. A fini dell'illustrazione del frame teorico di riferimento adottato per l'implementazione del processo di ricerca, riprendiamo i concetti di multidisciplinarietà e complessità in relazione allo *smart manufacturing*.

2.1 Verso lo smart manufacturing e la dinamica innovativa intersettoriale

«In the future, smart process plants will be conceived, designed, and operated using “molecularly informed” engineering. Smart plants will be robust, proactive and seamlessly integrated» (SPM 2009, 2).

La traiettoria tecnico-produttiva incentrata sullo smart manufacturing comporta l'impiego di tecnologie soggette ad una intensa e continua evoluzione: *networks sensor, data interoperability, multi-scale dynamic modelling, intelligent automation, scalabilità, multilevel cyber security* (SMLC 2011).

Da qui deriva il concetto di Advanced Manufacturing, che «[...] improves existing or creates entirely new materials, products, and processes via the use of science, engineering, and information technologies; high-precision tools and methods; a high-performance workforce; and innovative business or organizational models» (IDA 2012, 14).

In tale orizzonte i processi d'innovazione manifatturiera devono necessariamente misurarsi con gli sviluppi in molti domini di ricerca: «1) Mecha-ma-tronics [the integration of mechanical systems smart materials, and electronics], 2) Wireless integrated micro-systems, 3) Optimized, agile, real-time manufacturing systems, 4) Digital manufacturing, 5) Intelligent machine-to-machine systems, 6), cradle-to-cradle design» (Olson 2012a, 7).

2.2 Processi di upgrading dei prodotti e cambiamenti dei processi di creazione del valore

Data la complessità e la multidisciplinarietà dei prodotti, nei cicli di produzione tende a diventare sempre più importante lo sviluppo di competenze atte ad integrare componenti separate, in modo tale da ottenere un «output system» (AlGeddawy, ElMaraghy 2011). L'integrazione tra processo produttivo multidimensionale, design e innovazione costituisce, dunque, un fattore cruciale ai fini del successo competitivo in un'economia globalizzata (Olson 2012b), come viene rappresentato in figura 1.

La dinamica innovativa è così intensa ed estesa, infatti, da indurre un nuovo 'paradigma manifatturiero', basato su nuovi mix di proprietà: specializzazione, flessibilità, riconfigurabilità. Cambiano incessantemente, dunque, la natura dei prodotti e la configurazione delle attività necessarie a definire e ottenere precise caratteristiche degli output da collocare sul mercato, con cui si interagisce continuamente grazie a Internet delle cose (IoT) e ai social network. Ciò logicamente implica l'esistenza di strutture interattive multi-livello, interaziendali e intersettoriali, come è esemplificato in figura 2.



Figura 1 – Creare valore implica creare output coniugando istanze dei clienti, Ricerca e Sviluppo, progettazione, progettazione ed erogazione di servizi. [Fonte: Olson 2012b, Fig. 1-2]; © National Academy Press

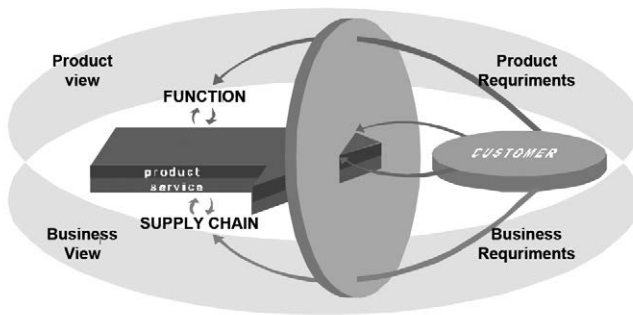


Figura 2 – Il processo di sviluppo del prodotto(N.B. In altri termini, si tratta di realizzare la congruenza tra parametri rappresentativi di vari domini di conoscenza). [Fonte: Sahlin 2000, Fig. 1]

Da esso si evince un ulteriore aspetto fondamentale: il processo di sviluppo di un nuovo prodotto, oppure quello di *upgrading* dell'esistente, è sempre più il frutto imprevedibile di interazioni tra unità economico-produttive ed entità di ricerca, che attingono informazioni e conoscenze da molteplici domini conoscitivi e dai mercati, generando una sintesi sistemica (la cosiddetta *methodology of emergent synthesis*, diffusa nel campo dell'engineering (Ueda et al. 2001)). Il processo di sviluppo dei prodotti (PDP) e di nuovi prodotti (NPDP) richiede pertanto dinamiche interattive tra team multidisciplinari e *cross-functional teams* (interni ed esterni alle imprese), che elaborano input conoscitivi riferiti a set eterogenei, ma tra i quali deve essere realizzata la congruenza, come si vede in figura 3, che sintetizza uno degli approcci noti a livello internazionale, il cosiddetto *Axiomatic Design*.

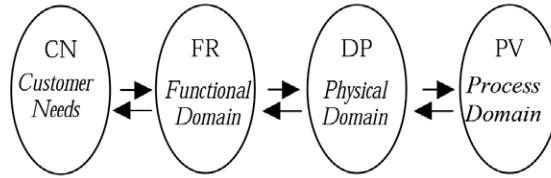


Figura 3 – I domini sono correlati in modo tale che il dominio sul lato sinistro rappresenta ‘ciò che vogliamo raggiungere’ e il dominio sul lato destro rappresenta ‘come possiamo soddisfare’ i requisiti del dominio di sinistra. [Fonte: Sahlin 2000, Fig. 5]

L’insieme delle interazioni può assumere configurazioni molto complesse, ad esempio quelle raffigurate in figura 4, che si complica enormemente – come vedremo successivamente – nell’odierno mondo iperconnesso.

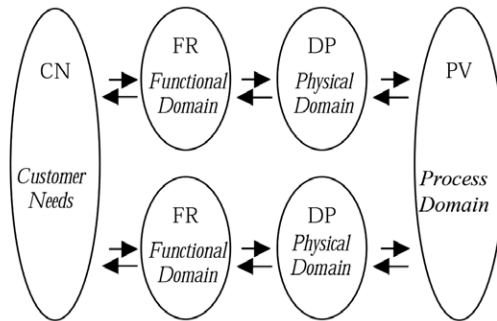


Figura 4 – Progettazione concorrente scomposta in 2 set di moduli disgiunti: produzione e supply-chain. [Fonte: Sahlin 2000, Fig. 7]

Le analisi a cui si è fatto riferimento sono alla base dei modelli di rappresentazione della dinamica evolutiva di prodotti e settori in termini di entità economico-produttive, che interagiscono al fine di ottenere famiglie di prodotti contraddistinti da *short life cycle*, elevata adattabilità a cambiamenti di parametri tecnico-scientifici, culturali, socio-economici. Ciò avviene soprattutto in ambienti ‘iper-competitivi’ come quelli odierni (D’Aveni 2007), caratterizzati da incertezza e continui cambiamenti in variabili fondamentali: fattori di domanda, tipologia di input, tecnologie, parametri progettuali.

2.3 Processo di design e realizzazione dei prodotti: incessante attività multi-dimensionale di problem solving

Nel quadro generale, descritto nei tratti essenziali, il design e la realizzazione di prodotti divengono insieme di attività dirette alla soluzione di problemi in micro-universi tecnico-produttivi attraversati da flussi, endogeni ed esogeni, di informazioni e conoscenze, come rappresentato in figura 5.

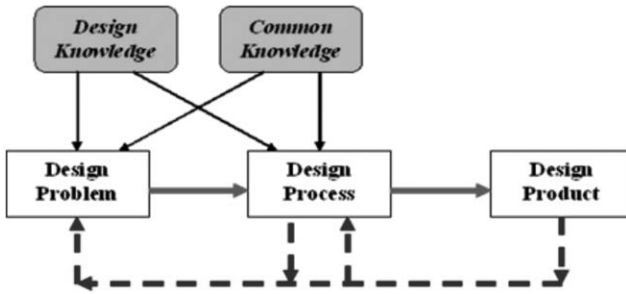


Figura 5 – Flussi informativi multipli tra domini di conoscenza relativi a: problema, processo e prodotto. [Fonte: Summers, Shah 2010, Fig. 1]

Tutto ciò comporta che sia la creazione di nuovi prodotti sia l'*upgrading* di quelli esistenti impongano alle imprese, sempre più spesso inserite in contesti ecosistemici tendenzialmente globali, di misurarsi con problemi multi-dimensionali e complessi, così definiti nella letteratura internazionale: fonte di vantaggio competitivo diviene la creazione di eco-sistemi di imprese e prodotti come «sistemi modulari» (Adner, Kapoor 2016). Essi emergono, evolvono e possono anche fallire: il successo dipende da come si sviluppano complementarità e interdipendenze nel dispiegarsi di attività dirette alla soluzione di problemi tecnico-produttivi e tecno-economici, al fine di ottenere prodotti appropriati, ovvero con proprietà tali da far sì che si realizzi un *matching* soddisfacente tra il vettore dei parametri di prodotti (caratteristiche identificative tecnico-scientifiche) e quello della domanda (*customer requirements*). Viviamo infatti in un'epoca contraddistinta da «increasing complexity and uncertainty that arises from factors such as the diversification of culture, the individualisation of lifestyle, the globalisation of industrial activities, and growing consideration toward our natural environment» (Ueda et al. 2001, 535). In questo scenario generale l'impresa è al tempo stesso un sistema e «a network of processes for high adding value. Nearly all industrial companies are parts of manufacturing networks» (Westkämper 2007, 419) (Fig. 6).

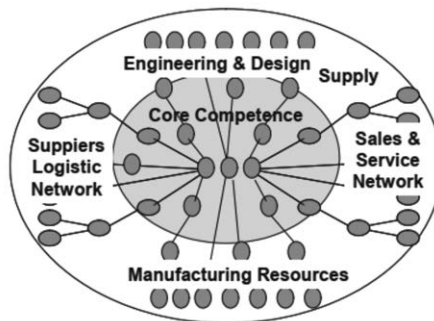


Figura 6 – Configurazioni reticolari nell'industria manifatturiera. [Fonte: Westkämper 2007]

La necessità di una visione sistemica emerge nettamente, dato il numero di variabili interdipendenti da prendere in considerazione (Fig. 7).

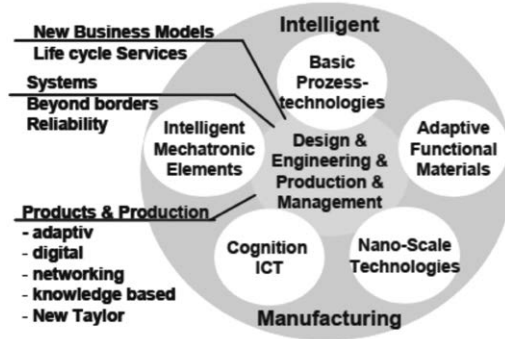


Figura 7 – Tecnologie emergenti nelle attività manifatturiere. [Fonte: Westkämper 2007]

2.4 Cambiamenti nei processi di creazione del valore e nelle sequenze economico-produttive globali

Sulla base delle considerazioni svolte è logico che le attività manifatturiere assumano configurazioni mutevoli, all'interno delle quali tende ad essere meno cogente la distinzione tra funzioni terziarie e quelle strettamente manifatturiere, mentre sono nel complesso molto differenti da quelle del passato e soprattutto intrinsecamente connesse a processi multidimensionali di apprendimento, come viene esemplificato dalla definizione di *learning factory* (Fig. 8).

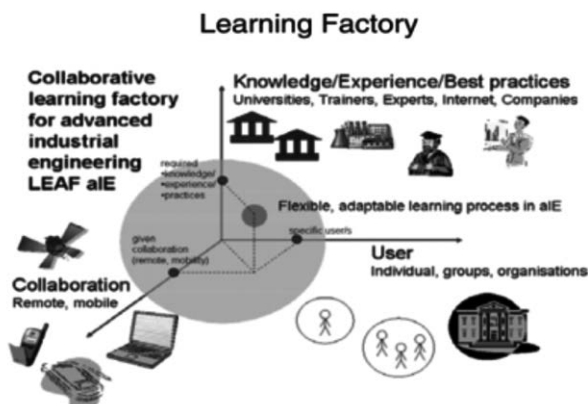


Figura 8 – L'impresa che apprende. [Fonte: Jovane, Westkämper, e Williams 2008: Fig. 6.7]; © Springer

Se si pensa che tutto questo è inserito in un quadro globale di interazioni (Fig. 9), si comprende come la complessità e i processi multi-scala siano due elementi cruciali della dinamica tecno-economica odierna.

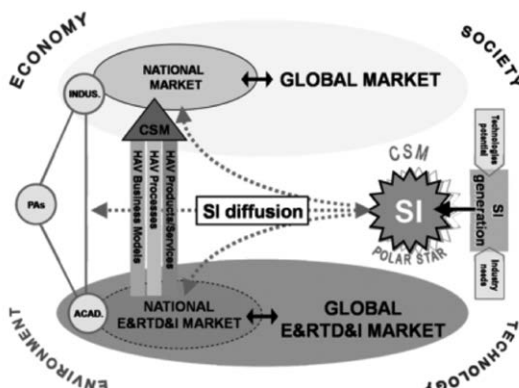


Figura 9 – Modello di riferimento per il Progetto EMIRA (European Management Innovation and Research Arra). [Fonte: Jovane, Westkämper, e Williams 2008: Fig. 6.1]; © Springer

Il quadro diviene potenzialmente caotico, come di fatto sta purtroppo accadendo, quando si prende in considerazione l'intreccio dinamico tra i gli aspetti delineati e l'impatto ambientale in ogni sistema socio-tecnico (Fig. 10).

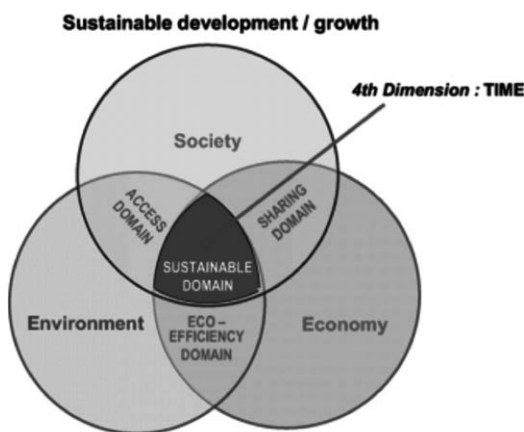


Figura 10 – Componenti fondamentali dello sviluppo sostenibile. [Fonte: Jovane et al. 2008: Fig. 13]

Cicli di vita dei prodotti più brevi, variabilità della domanda, personalizzazione di prodotti e servizi (*customization*), accelerata dinamica tecnico-scientifica, mutamenti socio-tecnici si traducono in flessibilità dei processi produttivi, capa-

cià di adattamento delle sequenze (ristrutturazione di funzioni generali e di task operativi), per cui le sequenze economico-produttive sono soggette a frequenti mutamenti, che possono portare a riconfigurazioni delle stesse sequenze. In sintesi, diviene importante la riconfigurabilità, l'agilità e la scalabilità dei processi, che potremmo assimilare a linee di assemblaggio, applicando quindi ad esse gli stessi principi individuati per le *assembly line* dell'industria nel percorso verso I4.0 (Cohen et al. 2017): connettività, generazione di informazioni e conoscenze contestuali, infine la *smartness*, intesa come capacità di realizzare processi decisionali con proprietà anticipatorie, reattività, attitudine all'adattamento strutturale (Fig. 11).

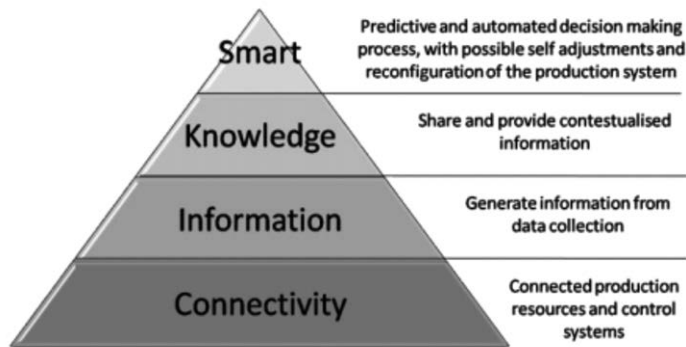


Figura 11 – Principi fondamentali di Industria 4.0. [Fonte: Cohen et al. 2017: Fig. 2]

Le descritte linee evolutive implicano che una serie di tecnologie convergono (Cohen et al. 2019): 3D, AR (*Augmented Reality*), Cobot, macchine autonome per movimentazione dei materiali, sensori-parti-macchine e sistemi in grado di auto-diagnosi e di 'auto-consapevolezza' (*self-awareness*) rispetto ai flussi informativi provenienti dall'ambiente operativo, che può essere a scala globale. Tutto ciò richiede una capacità di integrazione conoscitiva e di coordinamento che solo un management strategico all'altezza delle sfide può assicurare.

Le riflessioni svolte in questo paragrafo inducono a formulare *due proposizioni finali*: 1) le linee strategiche verso la *smart specialization* coinvolgono processi e attività intersettoriali, cambiando al tempo stesso il focus dell'analisi dall'impresa alla sequenza di operazioni economico-produttive (Buenstorf 2005), che portano ad un output; 2) emerge con forza la trasversalità delle competenze e dei *task*, cioè il fatto che attività e conoscenze in evoluzione possono essere impiegate in più sequenze, dato il cambiamento della natura dei prodotti, diventati *multi-technology* e *multi-knowledge domain*.

3. Water-Energy-Food Nexus

C'è una convergenza generale sulla tesi che siamo vicini al limite nell'utilizzazione delle risorse naturali, il cui stock è stato accumulato nei milioni di anni

di evoluzione della Natura. Lo scenario di risorse limitate è sintetizzato con l'espressione *Water-Energy-Food-Nexus*, a cui vanno aggiunte le materie rare (*Rare Earth Elements*, REE) impiegate per smartphone, computer, attrezzature medicali e ogni dispositivo che elabora informazioni. Le miniere di REE potrebbero esaurirsi nell'arco di pochi anni e già il loro possesso garantisce un potente fattore di condizionamento strategico per i Paesi che ne sono possessori in misura preponderante. Questi problemi esulano dalle finalità del presente capitolo, per cui approfondiremo il tema del *Water-Energy-Food-Nexus*. La letteratura tecnico-scientifica e l'elaborazione delle strategie politiche sul tema del *Water-Energy Food Nexus* si è enormemente ampliata negli ultimi anni (Keairns et al. 2016), in considerazione della crescente consapevolezza delle interconnessioni e interdipendenze tra sistemi idraulici, energetici e alimentari (Albrecht 2018, per una rassegna degli studi in tema).

Il lavoro di Beddington (2009) può in un certo senso aver creato i presupposti per un salto di qualità nell'affrontare i temi, perché ha posto all'attenzione degli studiosi gli effetti dei cambiamenti climatici sulla disponibilità di acqua, cibo ed energia, come si evince dalla figura 12, sostenendo la tesi di una eventuale 'tempesta perfetta' intorno al 2030.

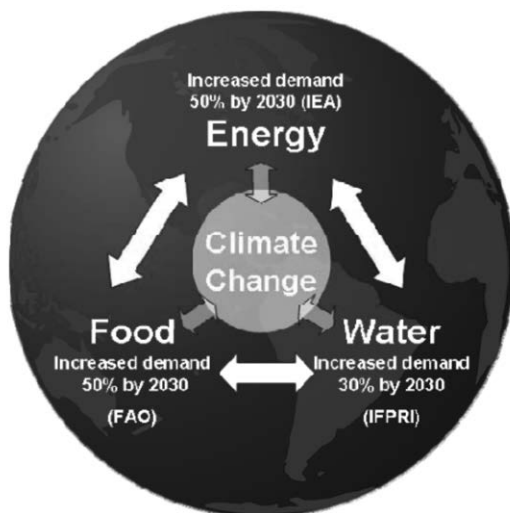


Figura 12 – Lo scenario della tempesta perfetta. [Fonte: Beddington 2009, Fig. 7]

Questo e altri studi hanno indubbiamente stimolato l'acquisizione di consapevolezza della necessità di approfondire l'approccio sistemico con la formalizzazione dell'espressione *Water-Energy-Food Nexus*.

Proprio l'approccio sistemico è stato ulteriormente ampliato dal World Economic Forum (2011) e da Hoff (2011), che ha elaborato una rappresentazione sintetica e molto efficace del *Water-Energy-Food-Nexus*, ampliato con l'inclusione del *Climate Change* (Fig. 13).

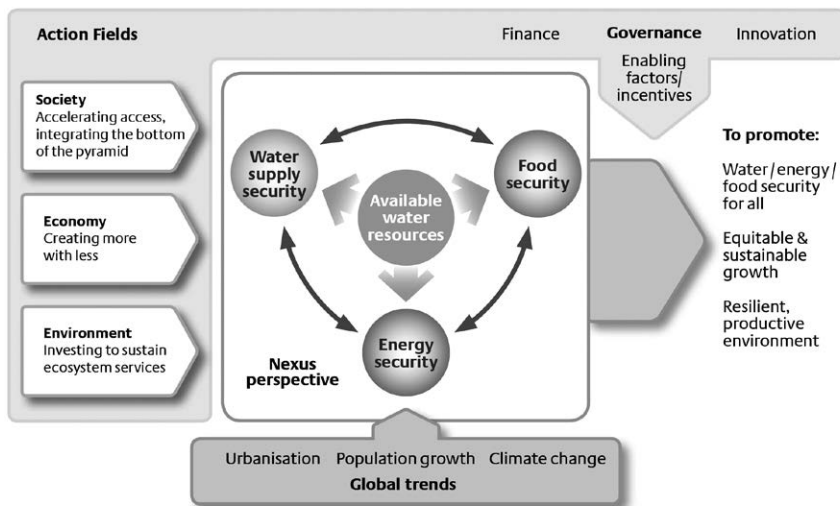


Figura 13 – Water-Energy-Food-Nexus. [Fonte: Hoff 2011, Fig. 2]

Dalla figura risultano evidenti le interdipendenze e le interazioni tra una serie di sistemi e sotto-sistemi, che costituiscono vere e proprie entità autonome interattive, rendendo chiaro e concreto il concetto di sistema complesso adattativo, precedentemente introdotto.

I nessi tra acqua ed energia, per i problemi che derivano alla seconda dalla scarsità della prima in conseguenza delle variazioni climatiche in atto e previste in ampie zone della Terra, sono stati posti al centro di gruppi di lavoro della Banca Mondiale all'inizio di questo decennio (Rodriguez et al. 2013; Aboelnga et al. 2018). In realtà le interrelazioni fra i tre settori sono studiate in modo formale solo verso la fine del primo decennio del XXI secolo, ma in precedenza una peculiare visione globale dei problemi si sviluppa mettendo a fuoco solo le relazioni tra i primi due. Naturalmente il dibattito sulla definizione di Nexus è stato ampio ed è tuttora aperto (Simpson, Jewitt 2019); appare comunque fondata la tesi che la visione sistemica e multi-livello, insieme alla centralità dello studio delle interrelazioni, sono diventate lo schema concettuale prevalente, con un linguaggio e una metodologia ampiamente condivisi nel mondo tecnico-scientifico e manageriale, come si evince dalla figura 14.

Bisogna mettere in evidenza, infatti, che le peculiarità dell'insieme di problemi sul tappeto coinvolgono una molteplicità di attori privati e pubblici a differente scala di azione. In sostanza, quindi, la *governance* di contesti complessi e «multicentrici» (Simpson, Jewitt 2019) diviene una questione cruciale, che riguarda l'intera 'navicella spaziale' (la *spaceshift* di Boulding), sulla quale si addensano tempeste climatiche e geopolitiche per il controllo di risorse strategiche.

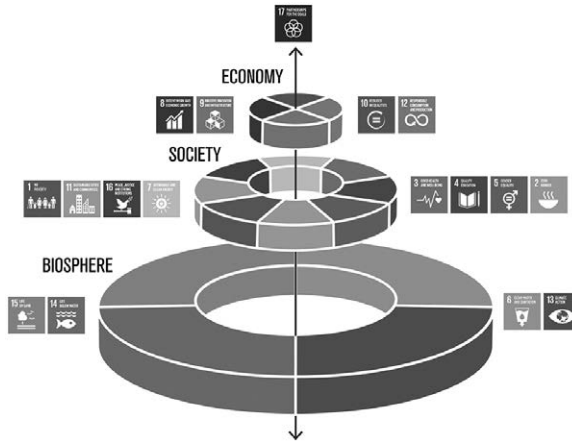


Figura 14 – Rappresentazione dei possibili collegamenti, diretti e indiretti, tra obiettivi di sviluppo sostenibile e cibo. [Fonte: Simpson, Jewitt 2019, Fig. 1]

Nel corso degli anni matura comunque, anche se lentamente, la consapevolezza che la crescita economica può essere messa a repentaglio dalle attività umane svolte senza alcuna valutazione relativa agli effetti sistemici su scala locale e globale. Il World Economic Forum, la World Bank e altre Organizzazioni Internazionali riprendono e approfondiscono la tematica con studi specifici, alcuni dei quali saranno esaminati subito dopo aver ricordato che il 21 Ottobre 2015 l'ONU (UN 2015) ha adottato una risoluzione per lo sviluppo sostenibile al 2030. Intanto si sono svolte analisi molto significative, che cercano di stimare l'impatto negativo delle alterazioni sistemiche del Water-Energy-Food Nexus. Nel 1994 l'International Agency's World Energy Outlook (citato in Rodriguez et al. 2013, VI) indica un futuro di possibile limitazione dell'acqua disponibile per produrre energia in Paesi già sviluppati e in quelli non industrializzati. Nel Water Report dell'ONU 2012, da un'indagine presso 128 Paesi emerge che nel 48% di essi la disponibilità di acqua per la produzione energetica è un problema cruciale e una delle priorità più importanti per il futuro. Analoghe considerazioni sono svolte riguardo a Cina, India e Asia orientale. Sempre nel 2012 l'IEA World Energy Outlook sottolinea come nel Water-Energy Nexus le risorse di acqua siano «increasingly stressed and more contentious», dalle conseguenze geopolitiche inimmaginabili (IEA 2012). Il secondo decennio del XXI secolo è caratterizzato dalla *thirsty emergence*, anche perché negli ultimi due decenni vi è un altro fattore decisivo, che 'stressa' ulteriormente il settore dell'energia, cioè la domanda generata dallo sviluppo esponenziale dell'informazione e in particolare dell'IA.

4. I costi energetici dell'Era digitale

Internet, l'iperconnettività globale, il crescente e inarrestabile impiego delle tecnologie di IA hanno un segreto 'vergognoso' («dirty secret», Xu Elegant

2019). Le stime del consumo di elettricità dovuto ad Internet sono eloquenti (IEA 2020) come mostra la figura 15.

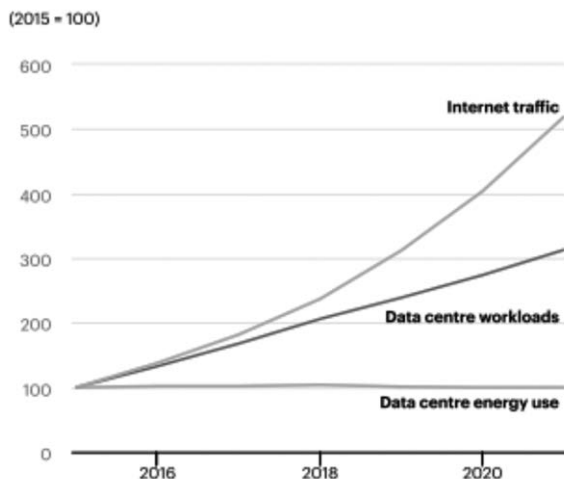


Figura 15 – Andamento globale del traffico Internet, del carico e del consumo di energia dei data center (anni 2015-2021). [Fonte: IEA 2020]

Il quadro è chiaro: vi è una crescita tendenzialmente esponenziale del traffico di Internet, una crescita quasi lineare del workload dei Centri di Elaborazione dati, a cui si unisce un andamento quasi costante del consumo di energia. In realtà dovrebbero preoccupare tutti e tre gli andamenti, se esaminiamo altre elaborazioni, anche se già la dinamica del traffico Internet dovrebbe indurre a qualche riflessione. Un recente studio (Strubell et al. 2019) misura il consumo energetico dell'addestramento di quattro modelli neurali – molto usati – di NLP (Natural Language Processing, cioè Transformer, ELMo, BERT, GPT-2). La comparazione delle quantità di CO₂ equivalente emessa comparativamente a stili di consumo ordinario è impressionante: 5 volte il consumo medio annuale di un'auto americana (Tab. 1).

Sempre Strubell et al. (2019, 4) stimano che l'addestramento del solo BERT su una GPU «is roughly equivalent to a trans American flight» (il termine GPU è chiarito tra poco). Gli autori in questione concludono il loro contributo con una serie di raccomandazioni, tra cui è fondamentale quella di effettuare stime e calcoli della sensitività delle tecnologie impiegate rispetto ad un nutrito set di parametri, dando il dovuto rilievo all'efficienza computazionale di hardware e software. Le valutazioni della sensitività multi-parametro possono far emergere costi insostenibili su diversi piani. Nel valutare gli investimenti, l'analisi dei costi finanziari e computazionali di addestramento e sviluppo dei modelli di elaborazione dati non può prescindere dai costi ambientali che essi necessariamente comportano. Gli effetti su ampia scala di procedure di calco-

lo parziali e incomplete possono infatti essere sorprendenti e deleteri. Un altro esempio del ‘segreto oscuro’ di Internet è il seguente: solo con 2 miliardi di accessi su Youtube al video musical *Despacito* si è consumata energia pari a quella di 40.000 case americane in un anno, perché ogni click alla ricerca del video Google mette in moto una quantità imprecisata di server in 6-8 dei suoi data centers, distribuiti nel mondo (Xu Elegant 2019).

Tabella 1 – Confronto delle emissioni stimate di quattro modelli neurali di NLP con il consumo familiare ordinario. [Fonte: Strubell et al. 2019]

| Consumption | CO ₂ e (lbs) |
|---|-------------------------|
| Air travel, 1 passenger, NY↔SF | 1984 |
| Human life, avg, 1 year | 11,023 |
| American life, avg, 1 year | 36,156 |
| Car, avg incl. fuel, 1 lifetime | 126,000 |
| Training one model (GPU) | |
| NLP pipeline (parsing, SRL) w/tuning & experimentation | 39 78,468 |
| Transformer (big) w/neural architecture search | 192 626,155 |

Un laboratorio di ricerca in IA di San Francisco (Open AI and Compute, 2019, <<https://openai.com/blog/ai-and-compute/>>, <<https://openai.com/blog/ai-and-compute/#addendum>>) ha pubblicato nel novembre 2019 un’analisi dell’evoluzione della potenza computazionale richiesta dagli sviluppi del Machine Learning da quelli ritenuti gli inizi (1959) ad oggi (Fig. 16).

Emergono due fasi distinte: fino al 2012, per quanto concerne la potenza computazionale necessaria per il *training* di un metodo di ML, è prevalso un trend speculare alla famosa legge di Moore (raddoppio ogni 2 anni). Dal 2012 in poi l’andamento è diventato esponenziale (raddoppio ogni 3-4 mesi) senza mostrare alcuna alternanza di fasi (*boom and bust*), che l’IA ha invece mostrato negli ultimi decenni. Tutto ciò non avviene in modo indolore dal punto di vista energetico. Un esempio fornito da Naughton (2019) lo mostra chiaramente: NVIDIA, società specializzata nella produzione di GPU (Graphic Processing Unit, processori impiegati in modo considerevole nei sistemi di apprendimento per NLP), ha elaborato un modello di NLP 24 volte più grande di quello precedente e solo il 34% migliore nell’apprendimento. Il suo addestramento richiede 512 GU di nuovo tipo in funzionamento continuo per 9,2 giorni. Il consumo di energia subisce un’impennata considerevole: «Given the power requirements per card,» wrote one expert, «a back of the envelope estimate put the amount of energy used to train this model at over 3x the yearly energy consumption of the average American» (Naughton 2019).

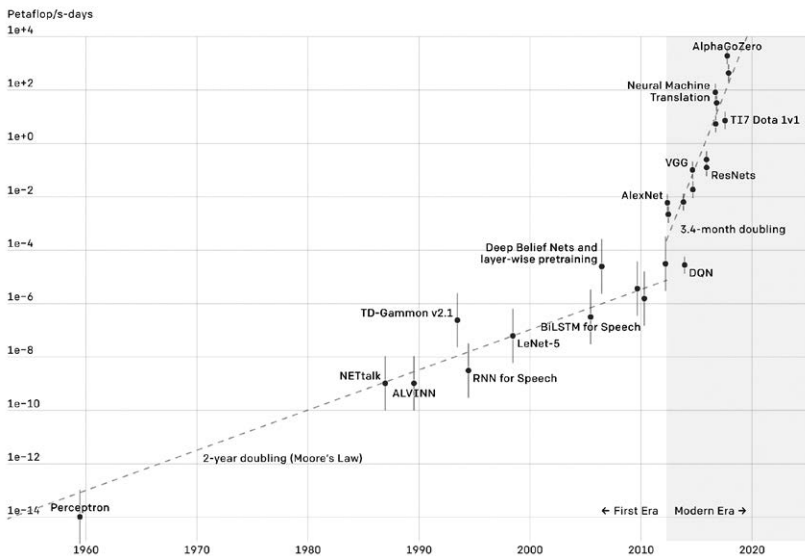


Figura 16 – Crescita esponenziale dell'impiego di potenza computazionale da parte dei maggiori sistemi di Intelligenza Artificiale. [OpenAI 2019]

Per arricchire ulteriormente la riflessione effettuiamo un semplice calcolo, con l'aiuto di Pogančić (2019). Prendiamo un normale personal computer, con cui programmiamo una rete neurale per Deep Learning con una CPU Intel i7, che dissipa 95 W di energia per un output standard, corrispondente a 2.28 KWh ed immaginiamo di farlo funzionare per addestrare una rete neurale per 24 ore. Se aumentiamo in misura significativa la potenza computazionale, usando un processore grafico (ad esempio GPU di NVIDIA), sono al massimo dissipati 250W, corrispondente a 25 volte la quantità dissipata da Ii7. Nell'arco di 24 ore diventano 6KWh, che può andare bene per un PC da casa. Se ampliamo lo sguardo e pensiamo ai data center, il quadro diviene inquietante. Alcuni data center impiegano circa 5000 GPU in funzione per 24 ore continue, cui vanno aggiunti almeno un numero 8 volte superiore ai GPU *cores* (cosiddetti nuclei informatici di elaborazione, nel gergo dell'informatica), che consumano 10.000 volte i processori Ii7. Un semplice calcolo mostra il balzo enorme nell'assorbimento energetico: $(5.000 \times 6Kwh) + (2.28 \times 10.000) = 30MWh + 22.8MWh$ (conversione in megawatt), cioè 52,8MWh. Si tratta di un'enorme quantità.

Da dove può venire l'energia necessaria per far 'macinare numeri' ad un data center? Una turbina eolica in condizioni favorevoli può produrre fino a 6 milioni di KWh l'anno, ma le statistiche trovate da Pogančić arrivano a 4500 MWh l'anno, che significano 12,32 MWh al giorno, energia che può alimentare 400-500 case, ma non un data center, il cui funzionamento richiede almeno 5 turbine eoliche. In questa stima non è inclusa l'energia necessaria per il raffreddamento

e la funzionalità dell'hardware, il che porta ad un incremento notevole del fabbisogno. Estendiamo ancora l'analisi e prendiamo in considerazione il numero di data center esistenti nel mondo, almeno 500.000, per i quali occorrerebbero 2,5 milioni di turbine eoliche. Gli Stati Uniti ne posseggono 56.000, ma hanno anche il 40% dei data center, mentre la Germania ne ha 25.000. Siamo quindi al di sotto dei 100.000 solo per Usa e Germania.

Questo piccolo esempio deve indurci a pensare ed agire in modo del tutto differente, sia sul piano strategico che nel breve periodo.

Bisogna tenere presente, però, che a fronte di questi aspetti problematici vi sono lati positivi⁴, quali il fatto che l'IA può fornire strumenti fondamentali per la riduzione dei consumi energetici di case, trasporti e insediamenti urbani. Al tempo stesso sistemi di software possono essere decisivi per la produzione e distribuzione decentralizzata di energia da una molteplicità di fonti (*smart grid*), oltre al perseguimento di una maggiore efficienza e un migliore controllo delle centrali da fonti tradizionali. Si può anzi affermare con un certo fondamento che l'IA sarà decisiva nella transizione energetica e ambientale, purché si tenga presente anche la dinamica complessa: può ridurre la domanda di energia da parte di tutta una serie di entità (case, imprese, città, trasporti) e contemporaneamente aumentarla se non viene effettuata un'analisi multi-dimensionale di processi complessi e fonti di incertezza, come ricorda la Brookings Institution (Victor 2019).

Non solo l'IA merita la dovuta attenzione. Anche la tecnologia blockchain e le criptomonete su di essa basate hanno un consumo di energia di tutto rispetto. Il Cambridge Center for Alternative Finance (<<https://www.jbs.cam.ac.uk/faculty-research/centres/alternative-finance/>>) stima in tempo reale, con intervalli di 30 secondi, l'assorbimento energetico dovuto a Bitcoin (<<https://www.cbeci.org/>>): alle ore 16,52 del 21.3.2020 è pari a 6,49 GWh, corrispondenti a 63,34 TWh annuali, 8 TWh più di quello che consuma la Svizzera in un anno (Naughton 2019).

L'impatto ambientale (*environmental footprint*) è quindi considerevole e il fabbisogno è in continua crescita, grazie all'impiego generalizzato di potenza computazionale a livello individuale e collettivo, mentre si susseguono innovazioni che possono modificare i tradizionali modelli di consumo, come appunto la tecnologia blockchain, molto interessanti dal punto di vista tecnico-scientifico e con risvolti di molteplice valenza: economico, giuridico, etico-morale, politico, istituzionale. Senza approfondire ulteriormente la questione, blockchain può essere utile per la certificazione di prodotti e filiere, la regolazione dei rapporti tra privati senza intermediazioni (riduzione dei costi), il mantenimento di ambiti di riservatezza e la garanzia di margini di sicurezza contrattuale in una sequenza di transazioni anche sul mercato dell'energia (Li et al. 2019). Al tempo stesso il costo ambientale, però, può assumere dimensioni ragguardevoli ed essere a carico della collettività, oltre che del Pianeta, a meno che non si trovino

⁴ Esula dai fini del presente capitolo una dettagliata analisi delle implicazioni di varia natura degli sviluppi dell'IA. In questa sede ci siamo limitati a motivare l'importanza di effettuare valutazioni sistemiche.

strumenti e meccanismi innovativi tali da ridurre il fabbisogno di energia. Non è comunque solo Bitcoin ad essere energivoro, perché anche Ethereum nel 2018 è riuscito a consumare energia come l'intera Islanda (Fairley 2019), pur consumando da un quarto a metà del consumo di Bitcoin, perché una transazione in Ethereum assorbe energia pari a quella di una casa americana in un giorno. Il problema risiede nel *mining*, cioè nella competizione computazionale all'interno della comunità degli utilizzatori della tecnologia nel crittografare transazioni sicure, che devono essere racchiuse in 'blocchi' di dati tra loro connessi ('catena' di blocchi che racchiudono transazioni precedenti, *blockchain* appunto). Un'analisi ampia e interessante della blockchain e dei suoi molteplici impieghi, tra cui il campo dell'energia, è svolta da Andoni et al. (2019), che analizzano 140 progetti di ricerca e startup, fornendo così molti elementi di riflessione. Gli autori dello studio in questione sottolineano, per quanto riguarda l'energia, l'utilità per il *matching billing* e la *security*, lo stimolo alla creazione di mini-grid e comunità progettuali, la certificazione green e il management distribuito ed efficiente della produzione e distribuzione decentralizzata di energia.

5. Implicazioni degli sviluppi dell'Intelligenza Artificiale

Nel delineare le sfide del XXI secolo non possiamo trascurare gli sviluppi dell'IA, ormai entrata letteralmente nelle nostre vite, non dall'esterno, bensì in quanto alta espressione della capacità della mente umana che, nel percorso plurisecolare verso la liberazione da quello che una volta veniva chiamato il 'regno della necessità', cioè dalle attività faticose e dense di pericoli, ma necessarie per la nostra sopravvivenza, ha da secoli inseguito l'aspirazione umana a superare i propri limiti. La sostituzione dell'energia animale con quella meccanica e i combustibili fossili (il carbone della Prima rivoluzione industriale) ha costituito un salto qualitativo nel rapporto tra scienza, tecnica e attività produttive. La Seconda rivoluzione industriale – basata su chimica, petrolio ed energia elettrica – ha consentito un ulteriore balzo in avanti verso il superamento dei limiti, come si può vedere dal profilo demografico dell'Umanità negli ultimi due secoli (Fig. 17).

Se le prime due rivoluzioni industriali hanno modificato sia le infrastrutture materiali (navigazione e motorizzazione su ferro e strada), sia quelle immateriali (codice Morse) nella prima, mentre nella seconda i cambiamenti hanno interessato il motore a scoppio, il telegrafo e il telefono⁵, la terza e soprattutto la imminente quarta trasformano radicalmente le priorità. È l'infrastruttura immateriale a cambiare profondamente e a divenire il meccanismo propulsore, mentre quella materiale è significativa, ma è alimentata costantemente dalla prima. Il motore di questa sorta di inversione di priorità è presto individuato: con l'incorporazione nei beni e nei processi di produzione dei sistemi di algoritmi, la conoscenza umana 'oggettivata' interagisce continuamente con quella 'vivente' nelle menti degli attori e nei loro

⁵ Ovviamente riportiamo qui solo alcune delle più importanti innovazioni, senza pretese di esaustività.

comportamenti, creando così un universo fisico-cibernetico, al cui interno processi fisici e informativi interagiscono senza sosta, anzi si creano frequentemente feedback cumulativi che possono dare origine a dinamiche non lineari in ogni ambito della vita umana a scala globale. Il sogno/mito dell'uomo sembra quasi potersi realizzare quando agenti artificiali saranno in grado di ragionare come gli umani e ciò appare ad autorevoli scienziati e studiosi prossimo alla realizzazione oggi, a oltre 60 anni dal 1956, data della Conferenza di Dortmund, nel corso della quale fu coniata l'espressione Intelligenza Artificiale da uno degli organizzatori (John McCarthy), alla presenza di dieci grandi personaggi protagonisti dell'IA di prima generazione: Marvin Minsky, Herbert Simon, Claude Shannon, Alan Newell, Nathan Rochester, Ray Solomonoff, Oliver Selfridge, Trenchard More, Arthur Samuel, James More. Nasce in quel workshop l'IA 'forte', o simbolica, incentrata sull'idea che il ragionamento nella risoluzione dei problemi sia basato su sistemi simbolici e regole di calcolo formalizzate. L'idea centrale dell'incontro di Dortmund e dei contributi fondamentali nei decenni successivi fino agli anni '80 è «the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it» (McCarthy et al. 1955). Sono seguiti decenni caratterizzati dalla creazione di euristiche di ricerca, sistemi esperti, modelli di rappresentazione della conoscenza e di organizzazione di reti concettuali ad albero, sempre sulla base della concezione dell'intelligenza simbolica.

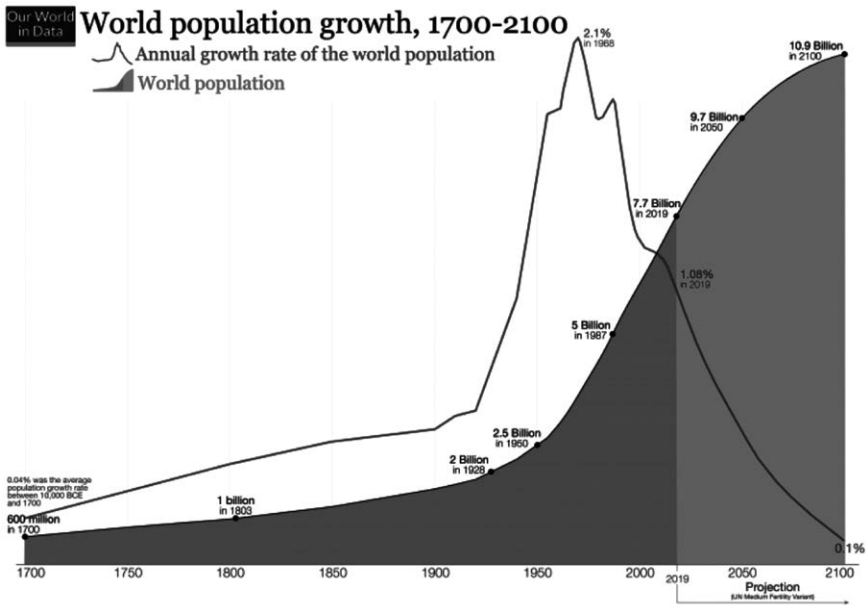


Figura 17 – Crescita della popolazione mondiale, 1700-2100. Due secoli di rapida crescita della popolazione stanno per finire. Un segnale ulteriore di questo trend è il dato reso noto da STATISTA (McCarthy, 2021) circa il crollo del tasso di crescita della popolazione in Cina. [Fonte: <<https://ourworldindata.org/world-population-growth-past-future>>]

Nel corso degli anni '80, dopo un lungo e tormentato processo di elaborazione teorica, iniziato con la teoria degli automi di von Neumann verso la fine degli anni '40 (Von Neumann 1966), si afferma anche una differente visione, quella dell'IA sub-simbolica. Con la pubblicazione del libro di Rumelhart, McClelland e il PDP Group (1986, *Parallel Distributed Processing*, MIT Press) si verifica una svolta, incentrata sulle reti neurali e sull'idea che insiemunità di elaborazione, 'modellate' sui neuroni e raggruppate in tre strati, potessero produrre conoscenze (riconoscere lettere, parole, immagini) e apprendere regole senza ricorrere a simboli elaborati secondo regole ben definite da programmi predefiniti, bensì mediante una rappresentazione distribuita, risultante dalle connessioni ponderate tra neuroni. Di qui il concetto di intelligenza distribuita, che ha avuto un grande successo nella seconda metà degli anni '80, fino agli inizi del decennio successivo, quando emergono i limiti delle reti nell'affrontare problemi conoscitivi più ampi e complessi del riconoscimento di lettere, parole e particolari di immagini. La potenza computazionale allora disponibile, infatti, non consentiva di ampliare la popolazione di neuroni e quindi le variazioni dei pesi delle connessioni tra di essi. Inizia così il cosiddetto 'inverno dell'IA', con perdita di interesse da parte dell'industria e della *computer science*, quindi con riduzione dei finanziamenti ai progetti di ricerca. L'aumento della potenza di calcolo, cresciuta a ritmi esponenziali nell'ultimo decennio del XX secolo e nei primi del XXI, ma continua ancor oggi, porta ad una nuova fase di ininterrotta espansione delle reti neurali, che sono ora composte di centinaia di strati e migliaia di neuroni con miliardi di connessioni. Siamo quindi arrivati al periodo attuale con la fioritura del Deep Learning (reti con un numero enorme di strati e connessioni) e vari modelli di reti: dal Machine Learning al Deep Learning, alle Reti Neurali ricorrenti (RNNs,) alle Reti Neurali Convolute (CNNs), alle recenti Capsule Networks di Geoffrey Hinton, ai Treelets di Gary Marcus.

La nuova fioritura delle reti neurali ha indubbiamente ottenuto successi clamorosi nel riconoscimento di immagini, nel NLP, nel vincere a scacchi, Jeopardy, GO, contro le persone ritenute campioni ineguagliabili nei rispettivi giochi⁶. Il Deep Learning nelle sue varie forme consente di elaborare quantità imponenti di dati, individuare pattern e correlazioni, delineare trend e suggerire opzioni da valutare, per esempio nella manutenzione predittiva, nel controllo del traffico stradale e telefonico, nel controllo del trasporto multimodale e delle centrali elettriche, e così via.

Dalla descrizione appena effettuata si potrebbe evincere che siamo di fronte ad uno scenario apportatore solo di potenziali grandi benefici. In realtà l'IA sta assumendo sempre più i contorni di una sfida, perché la posta in gioco è il controllo dei flussi informativi a livello globale. Poiché l'Umanità tutta ormai vive

⁶ 1996: Deep Blue (computer) batte per la prima volta il campione mondiale di scacchi Kasparov. 2011: il supercomputer IBM Watson vince al gioco televisivo americano Jeopardy, altra (discussa) pietra miliare della capacità di un agente artificiale di competere con umani. 2016: AlphaGo, nuovo supercomputer IBM, batte nell'antico gioco cinese GO il coreano Sedol, ritenuto il più grande giocatore di tutti i tempi.

in un universo fisico-cibernetico, dove il secondo aggettivo intende ampliare il senso delle affermazioni di Wiener (1948)⁷ alla luce dell'evoluzione tecno-economica e socio-tecnica dei sistemi di produzione e diffusione delle informazioni, si pongono grandi interrogativi: 1) chi organizza e controlla i flussi informativi, gestisce i dati personali e aggregati, ottenuti automaticamente attraverso la rete? 2) Si profila il rischio che il «codice divenga la legge» (Lessig 2006)? Lessig, che analizza lo spazio cibernetico (*cyberspace*), argomenta come esso diventi lo spazio delle interazioni, che conferisce molto più potere e controllo sulle interazioni umane trasformando tutto in dati attraverso la codifica e i sistemi di algoritmi che strutturano lo stesso spazio. Il *cyberspace* è molto più dello spazio reale, che diviene un suo sotto-insieme, di cui il primo amplia le possibilità di interazioni fino a configurarsi come «a massively multiple online game» (Lessig 2006, 11). La tecnologia struttura lo spazio cibernetico e le interazioni, che vanno ben al di là delle relazioni che si sviluppano in un ambiente fisico limitato. Emerge allora un rilevante problema di regolazione: «This regulator is code – the software and hardware that make cyberspace as it is. This code, or architecture, sets the terms on which life in cyberspace is experienced. It determines how easy it is to protect privacy, or how easy it is to censor speech» (Lessig, “Code is Law”).

A ciò si aggiunge che non esistono dati ‘grezzi’ (Gitelman 2013) e quindi la loro raccolta ed elaborazione è sempre orientata da valori, come si evince dai casi, verificatisi negli USA e in altri paesi⁸, di profili criminali o semplicemente sociali, creati da sistemi di algoritmi con evidenti bias verso il colore della pelle, la localizzazione territoriale e lo status sociale. 3) I processi decisionali, sia individuali che collettivi, possono essere influenzati dai sistemi algoritmici che inducono a determinate conclusioni, facendo leva su meccanismi percettivi e fattori emozionali, ovvero attraverso l’innescò su ampia scala di componenti subliminali della mente umana (Mlodinov 2012). 4) Siamo proprio sicuri che Internet sia il mondo della libertà e della democrazia, ovvero la realizzazione di un mondo utopico dove la mente umana può solo elevarsi (Morozov 2015)? 5) Come garantire cybersecurity e sicurezza dei dati senza ledere le libertà individuali e collettive?

6) Chi e come può decidere gli sviluppi dell’IA, in modo che sia perseguito il benessere sociale e non finalità meramente private, anche a danno del primo?

Come si vede, si tratta di interrogativi da cui dipende il futuro delle società così come si sono strutturate negli ultimi secoli e al loro interno il ruolo dei soggetti individuali e collettivi, delle loro responsabilità rispetto alle decisioni e alle azioni intraprese, nonché della possibilità di sviluppare un’intelligenza collettiva di lungo periodo.

⁷ «Any organism is held together in this action by the possession of means for the acquisition, use, retention, and transmission of information. In a society too large from the direct contact of its members, these means are the press, both as it concerns books and as it concerns newspapers, the radio, the telephone system, the telegraph, the posts, the theater, the movies, the schools, and the church» (Wiener 1948, 161).

⁸ Si pensi al *citizen score*, sistema di assegnazione di *social credit* ai cittadini cinesi (Storm 2015; Kobie, 2019).

6. Le trasformazioni del mondo del lavoro

6.1 Lo spazio del lavoro nell'era dell'IA e dei robot: la via per salvare l'intelligenza umana

L'accelerazione tecnico-scientifica e tecno-economica, unitamente agli effetti dell'evento pandemico in atto, è destinata a cambiare i parametri del lavoro validi per l'epoca precedente. Nello scenario complessivo, delineato nei capitoli precedenti, si staglia la questione del possibile conflitto tra dinamica accentuata dell'IA e la riduzione dello spazio del lavoro umano.

Il futuro del lavoro è ormai un tema sempre più all'ordine del giorno di innumerevoli studi con previsioni quantitative e qualitative, visioni utopiche e distopiche, che alimentano disorientamento, senso di incertezza e ansietà (vedi Cap. 2), nonché timori sulla stessa sopravvivenza della forza lavoro nell'era dell'IA.

Dal noto saggio di Frey e Osborne (2013) alla recente (e critica) analisi della RSA (2019), non ha certo giovato alla chiarezza e al rigore l'enfaticizzazione degli ultimi sviluppi tecnico-scientifici ad opera degli autori (il che è comprensibile) e della stampa specializzata, che non di rado ha funzionato da amplificatore di novità spesso ritenute *disruptive*.

Non desta meraviglia, quindi, che in uno spazio connettivo globale, dove le fonti dei flussi informativi si moltiplicano a ritmi esponenziali, si diffondano rapidamente il disorientamento, il senso di incertezza e frustrazione. Se a tutto questo si aggiunge sia l'evento pandemico sia la turbolenza geo-politica mondiale, generata dal passaggio da un mondo bipolare (competizione USA-URSS) a uno multipolare⁹, si comprende come la dinamica tecno-economica e l'evoluzione del panorama geo-politico siano processi generatori di fattori incontrollabili.

In un sistema economico già globalizzato sul piano tecnico-scientifico, la creazione di reti produttive globali e circuiti economico-finanziari tendenti a sovrastare le sfere di azione del potere statale ha creato un mondo nuovo senza apparenti coordinate stabili. Di qui derivano le difficoltà dei processi decisionali individuali e collettivi, per i quali i punti di riferimento strategico sono sempre meno attendibili, mentre la diffusa instabilità, connaturata alla fase di transizione critica come quella odierna, offusca gli orizzonti e la scala delle azioni degli attori.

È proprio in un momento come quello attuale che diviene importante il richiamo ad uno dei fondamentali concetti elaborati da Herbert Simon, Premio Nobel per l'Economia e grande esponente dell'IA 'di prima generazione'. Ci riferiamo in particolare al concetto di razionalità limitata, ovvero all'inevitabile *divario tra le capacità umane di formulare e risolvere problemi*, da un lato, e dall'altro l'*ampiezza dei problemi posti dal contesto della decisione* (Simon 1957).

Tale gap non deve tradursi in paralisi decisionale, bensì al contrario in spinta per una intensificazione dell'attività di ricerca ed elaborazione di informazioni,

⁹ Sullo scenario in evoluzione di un mondo multipolare si vedano: World Bank 2011; Dee 2015; Flockhart 2016; Sachs 2016; Rosenberg 2019; Ten Brinke Martill 2019; Franklin 2020.

il che paradossalmente implica l'impiego di un maggiore input di razionalità, da sviluppare escogitando strategie cognitive efficaci al fine di ottenere elementi rilevanti per prendere decisioni (razionalità procedurale ed euristiche di ricerca nei termini di Simon).

Sono passati decenni dall'elaborazione di Simon e ovviamente gli sviluppi dell'IA e delle scienze cognitive, insieme all'enorme espansione delle neuroscienze, sono andati molto oltre alcune componenti del suo *Models of man*. Non è un gusto *retro* che spinge a ritenere ancora valide, specie nelle fasi di intensa trasformazione, le sue intuizioni sulla necessità di tentativi incessanti per colmare, attraverso appropriate analisi e riflessioni, i divari che si susseguono tra i nostri modelli del mondo e i processi reali.

Affrontiamo allora il problema dell'intelligenza umana e del futuro del lavoro di fronte alle 'macchine che pensano'.

È da settant'anni che si discute di «macchine che pensano» (Walter 1951) con ondate di entusiasmo, seguite da periodi di disillusione. Si pensi ad esempio alla prima fioritura, dopo studi pionieristici negli anni '60, delle reti neurali tra la fine del decennio e i primi anni '80, quando viene pubblicato il volume di Rumelhart e McLelland (1986), innesco di sommovimento positivo a livello internazionale, a cui è poi seguita una certa disillusione, perché le iniziali reti a tre strati (*input, hidden, output*) erano costose dal punto di vista computazionale e invalicabili limiti fisici rendevano le performance ottenute significative, ma non comparabili con quelle umane.

Solo in seguito a progressi tecnico-scientifici in termini di potenza computazionale, realizzatisi alla fine degli anni '80 e nel successivo decennio, negli anni 2000 si è avuta l'«esplosione» del Deep Learning, reti con molti strati (più di un migliaio nel 2017, Sze et al. 2017), milioni di neuroni e miliardi di connessioni tra nodi. Le prestazioni hanno mostrato un salto enorme rispetto alle reti degli anni '80 nel riconoscimento del linguaggio naturale scritto, del parlato e delle immagini. Parallelamente ai successi ottenuti su scala mondiale, come nel caso Watson, agente artificiale di IBM in grado di battere Lee Sedol, campione mondiale coreano di Go (vedi nota 6), si sono ampliati a dismisura gli ambiti di applicazione dei nuovi sistemi di software.

È diventato evidente ai più, esperti e non, che l'IA sembra essere entrata nella sfera pressoché infinita delle funzioni cognitive, realizzando così una discontinuità significativa, nonostante qualche analista esprima ironici dubbi in proposito (Markoff 2012). Si è dunque aperto un nuovo scenario per il mondo del lavoro, perché sembrano diventate attività sostituibili anche quelle funzioni che si sono sviluppate più tardi nell'evoluzione dell'Umanità, cioè quelle frutto dei cambiamenti della morfologia cerebrale (Mlodinov 2015).

6.2 Il paradosso fisico-cibernetico

Emerge un notevole paradosso: proprio mentre l'Umanità sta raggiungendo conquiste tecnico-scientifiche auspiccate da secoli e gli strumenti a disposizione consentirebbero – almeno teoricamente – il superamento di problemi fonda-

mentali per la sopravvivenza, si moltiplicano gli studi che delineano scenari foschi per il mondo del lavoro umano, quasi scatenando in modo distorto quella che l'antropologo francese Leroi-Gourhan (1977, cap. XV) ha definito «libertà immaginaria». Quest'ultima è stata l'ingrediente basilare dell'evoluzione umana, grazie all'enorme capacità di espressione simbolica, che ha raggiunto il culmine con l'invenzione della scrittura, la quale ha favorito e dinamizzato uno sviluppo equilibrato tra sfera fisica e mentale. Peccato che Leroi-Gourhan non sia qui con noi a riflettere ulteriormente su questi temi perché, se nell'ultimo capitolo del suo libro pone interrogativi sulla vera natura dell'uomo e sulla sua possibile evoluzione, sarebbero certamente interessanti le sue riflessioni sul fatto che gli sviluppi dell'IA sembrano implicare una rottura dell'equilibrio tra dimensione fisica e psichica dell'agire umano.

Perché mettiamo in evidenza un aspetto così rilevante? Cerchiamo di esplicitare il fondamento di questa affermazione con degli esempi. Come abbiamo già precedentemente affermato, grazie a dispositivi che elaborano informazioni dalla progettazione a livello atomico e molecolare di nuovi materiali al funzionamento di questi ultimi in motori di auto da corsa, i parametri relativi all'evoluzione delle performance affluiscono in tempo reale da tutti i circuiti del mondo al centro di ricerca, collocato in una remota area industriale, da cui poi originano flussi di feedback altrettanto veloci. Analogamente accade nel caso dei motori di aerei, delle turbine per centrali e così via: eventuali anomalie, individuate a distanza mediante dispositivi a realtà aumentata sono corrette da località remote simultaneamente su tutte quelle tipologie di prodotti.

Processi simili di rappresentazione dinamiche multi-scala possono essere realizzati in qualsiasi attività umana. Siamo infatti entrati in un universo fisico-cibernetico (vedi Cap. 1), dove le funzioni di progettazione, esecuzione e controllo tendono ad essere esercitate sempre meno da umani, con effetti specifici imprevedibili, anche se è però possibile delineare tendenze generali: auto-organizzazione dei processi, polarizzazione cognitiva e di potere tra un numero ristretto di persone e reti globali, che posseggono le 'leve di controllo' strategico, e un volume crescente di popolazione per la quale si amplia la divaricazione tra le conoscenze possedute e il potenziale tecnico-scientifico esistente.

Alla luce di queste considerazioni è fondato ipotizzare gli effetti del grande paradosso prima indicato: molte attività lavorative spariranno, come è già accaduto tante volte, altre saranno create e altre ancora inevitabilmente trasformate. Non è certo possibile individuare con precisione quali e in che misura, quindi concentrarsi su questi tentativi di calcolo può essere fuorviante da un punto di vista cognitivo e strategico.

6.3 Linee strategiche e traiettorie per ripensare il lavoro

L'attenzione dovrebbe essere concentrata su una questione di fondo, che ha risvolti operativi di grande rilievo nel lungo periodo. Riprendendo gli spunti di riflessione di Leroi-Gourhan, possiamo arguire che, nell'universo fisico-cibernetico apertosi dinanzi a noi, è destinato a cambiare profondamente uno dei cardini

dell'evoluzione umana, cioè il lavoro come attività progettuale e pratico-manipolativa, fondamento dell'identità personale e sociale. È l'equilibrio dinamico psico-fisico degli esseri umani, realizzatosi faticosamente nel corso di migliaia di anni, ad essere messo in discussione. Non a caso nella vulgata corrente lavoro e realizzazione personale sono strettamente connessi, nel bene e nel male. Si può sollevare un'obiezione immediata: non è certo un fenomeno nuovo il fatto che molte persone perdano il lavoro e siano insoddisfatte. Uno dei motori della tormentata transizione dall'era pre-industriale a quella industriale può essere infatti individuato nel «cambiamento culturale dell'idea di lavoro» (Schwartz et al. 2019), nel passaggio dal lavoro visto in termini di maestria artigianale, con una visione integrata della prestazione lavorativa dall'ideazione alla realizzazione dell'output finale, alla scomposizione del lavoro stesso in conseguenza di una nuova visione di quest'ultimo, ritenuto scomponibile in atomi tendenzialmente ripetibili (atomizzazione) e quindi un aggregato definito a priori di compiti (collezione di *task*) 'meccanizzabili'.

Per contro, nell'odierno scenario di espansione della sfera immateriale, che interagisce con processi fisici ed entità animate e non, l'essenza stessa del lavoro cambia profondamente: balza in primo piano la capacità di immaginazione, quindi di modellare le situazioni e i processi partendo dall'individuare e formalizzare i problemi, in modo che essi siano 'trattabili' da dispositivi in grado di svolgere anche funzioni cognitive, oltre che le tradizionali attività meccanico-ripetitive di prestazioni atomizzate. L'intervento umano, quindi, richiede nuovi ingredienti fondamentali: *design thinking*, *problem finding*, *problems solving*, collaborazioni a vari livelli e trasversali, in quanto non può esistere una conoscenza totale per la realizzazione di qualsiasi output, risultato di flussi informativi multi-dimensionali e globalizzati.

Cercheremo ora di sviluppare questi spunti in traiettorie operative, che riteniamo essenziali per innescare e sostenere processi di trasformazione del lavoro appropriati per le sfide globali con cui misurarsi.

I traiettoria per ripensare il lavoro: Mutamento di *mindset* e competenze

L'interazione collaborativa è la chiave di volta di una dinamica economico-produttiva che si espande senza apparenti limiti in un universo fisico-cibernetico, che trasfigura completamente il rapporto tra gli esseri umani e tra l'uomo e la macchina. Uno dei punti cruciali è infatti la pervasività di circuiti di feedback, grazie a flussi e scambi di informazioni, generate da ogni entità, vivente o inanimata che sia. In uno scenario simile è chiaro che 'ricostruire' il lavoro come un insieme compatto di competenze e sapere accumulato in modo irrevocabile non è realistico, né è di conseguenza ipotizzabile che l'identità personale possa ancorarsi ad un set ben definito ed univoco di compiti e funzioni.

Le basi cognitive del lavoro delle rivoluzioni industriali del passato sono tendenzialmente erose da quella che a prima vista è l'introduzione di macchine in grado di svolgere funzioni cognitive, quali la scoperta di regolarità in masse di dati, l'estrapolazione di tendenze e quindi il suggerimento di azioni da intra-

prendere per rimediare ad anomalie emergenti oppure necessità di nuovi orientamenti strategici.

L'orizzonte così delineato può apparire quello di una completa sostituzione dell'intervento umano, sollevato da lavori faticosi e alienanti, resi obsoleti da agenti artificiali che non si annoiano e sono dotati di capacità di *information processing* superiori a quelle umane. La percezione del rischio di perdere il lavoro e dell'incertezza sul proprio futuro non è certo ridimensionata né dalla diffusa esaltazione dei nuovi strumenti di IA, né dalla sistematica distorsione delle analisi e del modo di presentare i risultati.

Cerchiamo di chiarire questa affermazione: l'immaginario collettivo tende ad essere deformato da studi e previsioni che accentuano costantemente il termine intelligenza, mentre si lascia in una sorta di penombra indefinita il secondo termine, cioè artificiale, la cui etimologia rinvia a qualcosa prodotto dall'opera umana, di cui non può che risentire i limiti, dovuti ad un essere imperfetto per natura. Queste considerazioni non sono dirette a sminuire la potenza dell'IA, anche se dubbi su di essa sono espressi proprio da autorevoli esponenti del mondo dell'IA.

In realtà le riflessioni svolte sono dirette a porre l'attenzione sulla necessità che il lavoro sia ridefinito sulla base di un riorientamento generale del rapporto uomo-macchina a partire dallo sviluppo della consapevolezza individuale e collettiva che l'intelligenza incorporata nelle macchine è conoscenza umana e la sua dinamica dipende da decisioni umane in relazione a contesti evolutivi.

Si tratta di un rovesciamento di prospettiva che non dovrebbe in realtà essere tale, ma è così per gli effetti distorcenti che l'odierna dinamica tecnico-produttiva sta esercitando nelle società e nel mondo del lavoro. Se l'assunto di fondo è condiviso e diffuso, cioè che l'intelligenza artificiale è intelligenza umana oggettivata e arricchita da strumenti che consentono interazioni conoscitive senza sosta, il passaggio logico successivo non può che essere il seguente: il rapporto uomo-macchina deve essere visto non in termini di conflitto, bensì di collaborazione reciproca e di feedback ripetuti, capaci di generare creatività.

In altri termini, l'assunzione di fondo da cui partire è che esiste una *complementarità* tra intelligenza umana e artificiale, che si alimentano reciprocamente, ma sta agli umani decidere le direzioni, i meccanismi di incremento e variazione conoscitiva. Com'è possibile realizzare questo obiettivo apparentemente utopico, dato il prevalente scenario di rischio e incertezza di fondo per il futuro del lavoro?

Il traiettoria: progettare per creare una *augmented human intelligence*

Le riflessioni iniziali potrebbero aiutare a definire una potenziale traiettoria vantaggiosa per entrambi, uomini e tecnologie. Il superamento dell'era basata sulla scomposizione del lavoro in compiti atomizzati e la diffusione delle nuove tecnologie devono indurre a 'ricostruire il lavoro' (Evans-Greenwood et al. 2017) sulla base di tre direttrici: 1) *Focalizzazione* né sul prodotto (I Rivoluzione industriale) né sul processo (II Rivoluzione industriale),

bensi sui problemi da risolvere. 2) È necessario che si affermi la visione delle sequenze di fasi produttive come insiemi di problemi da risolvere, la cui soluzione dipende da processi di apprendimento distribuiti e incessanti. 3) *Complementarità* tra intelligenza umana e artificiale, perché affrontano lo stesso problema da differenti prospettive. Le macchine adattabili, che apprendono, sono necessariamente complementari alle capacità umane, perché possono potenziare queste ultime nell'indagine di nuovi filoni di ricerca, nel formulare e verificare ipotesi, nel validare soluzioni alternative mediante la modellazione computazionale.

Per andare verso uno scenario di *augmented human intelligence* non bastano, però, le esortazioni. Occorre comprendere quali sono le peculiarità del pensiero umano e far leva su di esse, in modo che possano essere valorizzate le potenzialità di integrazione con le specificità dell'IA. Innanzitutto, una delle prerogative della nostra mente è quella di porsi interrogativi, cercare spiegazioni, tentare continuamente nuove strade, spostando continuamente la frontiera delle conoscenze. Si tratta allora di sviluppare queste caratteristiche, in modo tale da farle interagire con l'*information processing* artificiale della miriade dei dispositivi esistenti attraverso strategie dirette ad ampliare queste capacità di intercettare flussi informativi di varia natura¹⁰.

III traiettoria operativa: 5 tappe per ricostruire il lavoro

Per raggiungere queste finalità è importante, senza cadere nella trappola cognitiva dell'ottimismo versus pessimismo, 'ricostruire' il lavoro, per dirla con Evans-Greenwood et al. (2017), potenziando delle capacità umane a tutti i livelli dei processi formativi attraverso l'adozione di approcci teorici ed operativi di *problem finding, problems solving, systems thinking*.

Su questi temi esiste già un'evidenza teorica e pratica in ambito internazionale (si veda la rivista *Tech Trends*, Springer). Una serie di notevoli contributi da parte delle scienze cognitive, delle neuroscienze e delle teorie manageriali illustrano l'importanza – per il lavoro del futuro – di processi formativi incentrati sulle seguenti direttrici.

1. *Sviluppo di attitudini* a rappresentare problemi complessi, estraendo gli elementi essenziali, per poi modellarli in modo dinamico, cercando di comprenderli attraverso l'analisi delle interdipendenze multiscala.
2. *Modellazione di processi e output* come attività di rappresentazione concettuale, mediante multidisciplinarietà, interdisciplinarietà e trans-disciplinarietà, dal momento che pensare processi e prodotti significa intercettare molteplici flussi di informazioni e conoscenze che, in assenza di particolari mindset aperti e recettivi, sono percepiti solo come 'rumore' e non come potenzialità.

¹⁰ L'evento pandemico dovrebbe essere concepito come un processo di creazione di nuova occupazione legata al perseguimento di obiettivi di sostenibilità globale (MGI 2020d).

3. *Realizzazione della congruenza* tra diversi domini conoscitivi, rendendo la conoscenza uno spazio combinatoriale, dove dai problemi individuati scaturisce la necessità di sperimentare facendo interagire saperi, tecnologie e conoscenze in contesti mutevoli, che generano incessantemente il gap computazionale al centro della riflessione di Simon. In tale quadro la capacità computazionale delle macchine deve interagire con l'intuizione e la tendenza umana all'esplorazione di nuovi ambiti di indagine. La nostra evoluzione è la dimostrazione lampante di ciò che ci distingue da altri esseri intelligenti che esistono in natura.
4. *Perseguimento di interazioni tra discipline* per alimentare processi creativi individuali e collettivi, che nella modellazione concettuale dei problemi sviluppino competenze innovative, metodi originali di risolvere problemi e scoprirne di nuovi.
5. *Sviluppo del pensiero analitico* nella validazione delle conoscenze, il cui stadio preparatorio si basa sulle capacità di visione e sull'intuizione, seguito poi dalla sintesi finale e dalle verifiche operative. L'universo conoscitivo che genera processi e prodotti non può essere il frutto di un'intelligenza dicotomizzata, cioè IA versus intelligenza umana.

LeCun, insignito nel 2019 del Premio Turing insieme a Yoshua Bengio e Geoffrey Hinton, ha affermato (citato da Bergstein 2017, 78): siamo ancora lontani da macchine che abbiano «the essence of intelligence» e che siano comunque in grado di sostituire gli umani in compiti non molto difficili, come è emerso durante il 2015 Defense Advanced Research Project Agency Robotics Challenges (citato in Pham et al. 2018). La strada da percorrere potrebbe pertanto essere quella di «augmented collaborative workforce» (Pham et al. 2018). Intravedere la traiettoria non implica che si affermi necessariamente: grandi ostacoli possono essere costituiti dalla concentrazione di potere in oligopoli nell'universo fisico-digitale, dal prevalere di concezioni distorcenti, che influenzano la sfera subliminale degli umani, e dall'arretramento dell'intelligenza umana per scelte strategiche suicide, quali l'impovertimento concettuale auto-perpetrato. Un esempio di questo trend involutivo è dato dallo spazio che sta acquisendo l'idea che il *coding* sia il nuovo linguaggio da insegnare ai cosiddetti *post-millennials*. In altri termini si postula la necessità di insegnare a tutti il linguaggio dei computer, cioè la programmazione. Si tratta di un evidente salto mortale all'indietro con scarsa preparazione fisica: dalle riflessioni svolte si deduce che non si deve dialogare con le macchine per pensare, bensì all'opposto bisogna sviluppare autonoma capacità di pensare per dialogare con esse. Il vero problema è, quindi, il non arretramento dell'intelligenza umana e lo sviluppo di una strategia individuale e collettiva secondo le linee descritte. La posta in gioco è forse più alta della perdita del lavoro: la strada da percorrere consiste nell'accrescere la conoscenza e l'attitudine strategica degli umani. Altrimenti il potenziale tecnico-scientifico e produttivo potrebbe essere elevato, ma larga parte della popolazione sarebbe in condizioni di povertà cognitiva e materiale. Tutto dipende dalle decisioni strategiche che noi umani sapremo prendere.

Bibliografia

- Aboelnga, H.T. et al. 2018. *The Water-Energy_Food Security Nexus*. Bonn: GIZ.
- Adner, R., e R. Kapoor. 2016. "Right Tech Wrong Time." *Harvard Business Review*, November.
- Albrecht, T.R. 2017. "The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment." *Environ. Res. Lett.* 13.
- AlGeddawy, T. e H. ElMaraghy. 2011. "Manufacturing systems synthesis using knowledge discovery." *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 60: 437-40.
- Andersen, A.L. et al. 2016. "Reconfigurable Manufacturing – An Enabler for a Production System Portfolio Approach." *Procedia CIRP* 52: 139-44.
- Andoni, M. et al. 2019. "Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities." *Renewable and Sustainable Energy Review* 100: 143-74.
- Anzalone et al. 2019. "Search-and-replace genome editing without double-strand breaks or donor DNA." *Nature* December 5, 576: 149-178.
- Bardi, U. 2011. *The Limits to Growth Revisited*. New York: Springer.
- Beddington, J. 2009. *Food, Energy, Water and the Climate Change: A Perfect Storm of Global Events?*. London: Government Office for Science.
- Bergstein, B. 2017. "The Great AI Paradox." *Technology Review* <<https://www.technologyreview.com/2017/12/15/146836/the-great-ai-paradox/>> (2021-03-10).
- Bortolini, M. et al. 2019. "Implementation of Reconfigurable Manufacturing in the Italian Context: State-of-the-Art and Trends." *Procedia Manufacturing* 39: 591-98.
- Boulding, K.E. 1966. "The Economics of the Coming Spaceship Earth." <<http://www.ub.edu/prometheus21/articulos/obsprometheus/BOULDING.pdf>> (2021-10-03).
- Buenstorf, G. 2005. "Sequential production, modularity and technological change." *Structural Change and Economic Dynamics* 16: 221-41.
- Cohen, Y. et al. 2017. "Assembly system configuration through Industry 4.0 principles: the expected change in the actual paradigms." *IFAC Papers OnLine* 50: 14958-963.
- Cohen, Y. et al. 2019. "Design and management of digital manufacturing and assembly systems in the Industry 4.0 era." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 105: 3565-77. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04595-0>.
- D'Aveni, R. 2007. "Mapping your competitive position." *Harvard Business Review*, November: 110-20.
- Dee, M., ed. by. 2015, *The European Union in a Multipolar World – World Trade, Global Governance and the Case of the WTO*. New York: Palgrave Macmillan.
- ElMaraghy, H. et al. 2012. "Complexity in engineering design and manufacturing." *CIRP Annals* 61 (2): 793-814.
- Evans-Greenwood, P., Lewis, H. e J. Guszczka. 2017. "Automation, artificial intelligence, and the essential role of humans." *Deloitte Review* 21: 127-145.
- Fairley, P. 2019. "Ethereum Plans to Cut Its Absurd Energy Consumption by 99 Percent." *IEEE Spectrum*» January 2.
- Flockhart, T. 2016. "The coming multi-order world." *Contemporary Security Policy* 37 (1): 3-30. <https://doi.org/10.1080/13523260.2016.1150053>
- Foray, D., David, P.A., e B. Hall. 2009. "Smart Specialization – The Concept." *Knowledge Economists Policy Brief* 9, June.
- Franklin, D. 2020. "America needs to invest more in diplomacy." *The Economist*, 17 November, 2020.
- Frey, C.B., e M.A. Osborne. 2013. *The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation?* Oxford: Oxford Martin School.
- Geels, F.W. et al. 2017. "Sociotechnical transitions for deep decarbonization." *Science*, 22 September.

- Hoff, H. 2011. *Understanding the nexus. Background paper for the Bonn2011 Conference: the Water*. Stockholm: Energy and Food Security Nexus, Stockholm Environment Institute <<https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/SEI-Paper-Hoff-UnderstandingTheNexus-2011.pdf>> (2021-10-03).
- Hutt, R. 2016. *What are the 10 biggest global challenges?* <<https://www.weforum.org/agenda/2016/01/what-are-the-10-biggest-global-challenges/>>, WEF, January 21 (2021-10-03).
- Gitelman, L., ed. by. 2013. *Raw Data is an Oxymoron*. New York: The MIT Press.
- Keairns, D.L. et al. 2016. "The Energy-Water-Food Nexus." *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering* 7: 239-62.
- Kobie, N. 2019. "The complicated truth about China's social credit system." *Wired*, June, 2019.
- IDA. 2012. *Emerging global trends in Advanced Manufacturing*. USA.
- IEA. 2012. "World Energy Outlook." <<https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2012-2>> (2021-03-10).
- IEA. 2020. "Global trends in internet traffic, data centre workloads and data centre energy use, 2015-2021." <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-trends-in-internet-traffic-data-centre-workloads-and-data-centre-energy-use-2015-2021>> (2021-03-10).
- Jovane, F., Westkamper, E., e D. Williams. 2008. "The ManuFuture Road to High-Adding-Value Competitive Sustainable Manufacturing." In *The Manufuture Road: towards Competitive and Sustainable High Adding-Value Manufacturing*, ed. by F. Jovane, E. Westkamper, e D. Williams, Cap. 6. New York: Springer.
- Jovane, F. et al. 2008. "The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing." *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 57: 641-59.
- Leroi-Gourhan, A., 1977. *Il Gesto e la Parola*. Torino: Einaudi.
- Lessig, L. 2006. *Code is Law*. Version 2.0. New York: Basic Books.
- Lessig, L. "Code is Law." <<https://harvardmagazine.com/2000/01/code-is-law.html>> (2021-03-10).
- Li, Z. et al. 2019. "Blockchain for decentralized transactive energy management system in networked microgrids." *The Electric Journal* 32: 58-72.
- Markoff, J. 2012. "How Many Computers to Identify a Cat? 16,000." *The New York Times*, June 25.
- McCarthy, J. et al. 1955. "A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence." *AI Magazine* 27 (4).
- McCarrthy, N. 2021. "Births Plummet In China As Population Growth Stalls." <<https://www.statista.com/chart/24838/annual-number-of-births-in-china/>> (2021-10-03).
- MGI. 2020. *How a post-pandemic stimulus can both create jobs and help the climate*, May.
- Mlodinov, L. 2012. *Subliminal: The New Unconscious and What it Teaches Us*. New York: Pantheon Books.
- Mlodinov, L. 2015. *The Upright Thinkers. The Human Journey from Living in Trees to Understanding the Cosmos*. New York: Pantheon Books.
- Morozov, E. 2015. "Socialize The Data Centre!" *New Left Review* 91, January-February, 2015.
- Mulgan, G. 2014. "Innovation in the Public Sector. How can Public Organizations better create, improve and adapt?" *Nesta* 5 (1).
- Naughton, J. 2019. "Can the planet really afford the exorbitant power demands of machine learning?" *The Guardian*, November 16.

- Olson, S. 2012a. *Making Things: 21st Century Manufacturing and Design*. Summary of a Forum.
- Olson S. 2012b. *Making Value: Integrating Manufacturing, Design, and Innovation to Thrive in the Changing Global Economy*. Washington, DC: National Academy Press.
- OpenAI. 2019. "AI and Compute." <<https://openai.com/blog/ai-and-compute/#addendum>> (2021-10-03).
- Pham, G.C., Madhavan, R., Righetti, I., Smart, W., e R. Chatila. 2018. "The Impact of Robotics and Automation on Working Conditions and Employment." *IEEE Robotics & Automation Magazine* 125-128.
- Pogančić, M.V. 2019. "The Carbon Footprint of AI Research." *Towards Data Science*, October 1.
- Prieto, G.J. et al. 2019. *Smart Specialisation in the world, an EU policy approach helping to discover innovation globally*. JRC Science for Policy Report.
- Rip, A. 1995. "Introduction of New Technology: Making Use of Recent Insights from Sociology and Economics of Technology." *Technology Analysis & Strategic Management* 7 (4): 417-431.
- Rodriguez, D.J. et al. 2013. *Thirsty Energy, Water Partnership Program*. Washington, DC: World Bank.
- Rosenberg, M.Y. 2019. "Experts Get Multipolarity All Wrong." *Foreign Affairs*, June 24, 2019.
- RSA. 2019. The "Four Futures of Work Coping with uncertainty in an age of radical technologies." <<https://www.thersa.org/>> (2021-03-10).
- Rumelhart, D.E., e J.L. McLelland. 1986. *Parallel Distributed Processing*. New York: The MIT Press.
- Sachs, J.D. 2016. "Learning to Love a Multipolar World." Project Syndicate, 29 December, 2016.
- Sahlin, M. 2000. *A systematic approach for decision making in a concurrent design, Proceedings of ICAD2000 First International Conference on Axiomatic Design* <https://axiomaticdesign.com/technology/icad/icad2000/icad2000_048.pdf> (2021-03-10).
- Saunders, T., e G. Mulgan. 2017. "Governing with Collective Intelligence." *Nesta*, January <https://media.nesta.org.uk/documents/governing_with_collective_intelligence.pdf> (2010-10-03).
- Schaefer, K.A. et al. 2017. "Unintended mutations after CRISPR_Cas9 editing in vivo." *Nature Methods*, 14 (6): 547-551.
- Schwartz, J. et al. 2019. "What is the future of work. Redefining work, workforces, and workplaces." *Deloitte Insights* <<https://hoodiebooks.com/wp-content/uploads/2020/12/us-what-is-the-future-of-work.pdf>> (2021-03-10).
- Simon H.A. 1957. *Models of Man*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Simpson, G.B., e G.P.W. Jewitt. 2019. "The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review." *Frontiers in Environmental Science*, February 8: 1-9.
- SMLC. 2011. *Implementing 21st Century Smart Manufacturing*. Workshop Summary Report. Paper read at 21st Century Smart Manufacturing Workshop, at Washington, DC.
- SPM. 2009. *Operations & Technology Roadmap Full Report*. Section 2.0 Smart Process Manufacturing and the Business Transformation v4 (11 I 24 I 2009).
- Storm, D. 2015. "ACLU: Orwellian Citizen Score, China's credit score system, is a warning for Americans." *Computer World*, 27 October, 2015.

- Strubell, E. et al. 2019. "Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP." arXiv:1906.02243v1 [cs.CL], June 5.
- Summers, J.D., e J.J. Shah. 2010. "Mechanical Engineering Design Complexity Metrics: Size, Coupling, and Solvability." *Journal of Mechanical Design* 132, February.
- Sze, V. et al. 2017. "Efficient Processing of Deep Neural Networks: A Tutorial and Survey." *Proceedings of the IEEE* 105 (12).
- Ten Brinke, L., e B. Martill. 2019. "Coping with Multipolarity: EU Values and the Stability of International Order." Dahrendorf Forum IV Working Paper No. 11, August.
- The Millenium Project – Global Futures Studies and Researches, "The Millenium Project.", <<http://www.millennium-project.org/about-us/>> (2021-03-10).
- Tomiyaama, T. et al. 2007. "Complexity of Multi-Disciplinary Design." *Annals of the CIRP* 56 (1): 185-88.
- Ueda, K. et al. 2001, "Emergent Synthesis Methodologies for Manufacturing." *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 50 (2): 535-51.
- UN. 2015. "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development." <<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>> (2021-03-10).
- UN, "Global Issues Overview." <<https://www.un.org/en/global-issues/>> (2021-03-10).
- Victor, D.G. 2019. *How Artificial Intelligence can affect the future of energy and climate*, Brookings Institutions, January 10, contributo nell'ambito di A Blueprint for the Future of AI: 2018-2019.
- Von Neumann, J. 1966. *Theory of Self-Reproducing Automata*, edited and completed by A.W. Burks. Champaign: University of Illinois Press.
- Xu Elegant, N. 2019. "The Internet Cloud has a Dirty Secret." *Fortune.com*, September 18.
- Westkämper, B. 2007. "Strategic Development of Factories under the Influence of Emergent Technologies." *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 56 (1): 419-22.
- Walter, W.G. 1951. "A Machine That Learns." *Scientific American* May, 1951: 60-63.
- Wiener, N. 1948. *Cybernetics-or-the Art of-Control-and-Communication-in-the Animal and the Machine*. New York: The MIT Press.
- World Bank. 2011. "Global Development Horizon: Multipolarity – The New Global Economy." <<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/597691468150580088/global-development-horizons-2011-multipolarity-the-new-global-economy>> (2021-03-10).

La ricerca di uno schema concettuale e di una metodologia appropriati per affrontare le sfide generate dalla dinamica tecno-economica

1. Modelli di concettualizzazione (*frames*) dell'innovazione

Gli approcci alle politiche nel corso del XX secolo e nei primi anni del XXI sono numerosi. Sarebbe quindi riduttivo limitarsi solo a due versanti opposti delle visioni teoriche ed empiriche, cioè il liberismo e l'evocazione sistematica delle 'libere forze di mercato' da un lato, e dall'altro l'intervento pubblico, motivato nelle forme più disparate (keynesismo, 'fallimento del mercato', necessità strategiche, e così via). Sembra allora molto utile adottare lo schema proposto da Schot e Steinmueller (2018) nel ricostruire le politiche per la Science, Technology and Innovation (STI) per il seguente motivo: i due autori indicano le ragioni, attinenti al contesto storico, che hanno portato all'elaborazione di tre successivi *frames*, ciascuno dei quali offre un particolare modello di concettualizzazione dell'innovazione, quindi degli orientamenti che ispirano gli attori e le azioni da intraprendere in relazione al contesto di riferimento.

Frame 1: Modello lineare d'innovazione

Il primo *frame* prevale nel periodo post-bellico, in cui si afferma la centralità del connubio tra ricerca scientifica e innovazione ai fini dello sviluppo dell'industria nelle economie più avanzate. Seguendo queste coordinate il finanziamento della Ricerca Scientifica è talvolta compito delle Istituzioni (imprese pubbliche nel caso italiano), mentre nel mondo occidentale il finanziamento della seconda è per lo più demandato alle imprese private. Argomentazioni teoriche, come

Mauro Lombardi, University of Florence, Italy, mauro.lombardi@unifi.it, 0000-0002-3234-7039

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Mauro Lombardi, *La ricerca di uno schema concettuale e di una metodologia appropriati per affrontare le sfide generate dalla dinamica tecno-economica*, pp. 89-111, © 2021 Author(s), CC BY 4.0 International, DOI 10.36253/978-88-5518-310-9.07, in Mauro Lombardi, *Transizione ecologica e universo fisico-cibernetico. Soggetti, strategie, lavoro*, © 2021 Author(s), content CC BY 4.0 International, metadata CC0 1.0 Universal, published by Firenze University Press (www.fupress.com), ISSN 2704-5919 (online), ISBN 978-88-5518-310-9 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-310-9

quelle addotte da Nelson (1959) e Arrow (1962), motivano la scelta basandosi sul fatto che gli incentivi del mercato non favoriscono l'investimento privato in ricerca scientifica, i cui esiti sono incerti e scarsamente appropriabili, nonostante l'attività di brevettazione, mentre i vantaggi sono di norma al di sotto dei costi.

I decenni immediatamente post-bellici sono caratterizzati dalla competizione tra blocchi geo-politici e militari, quindi le leadership politiche hanno solide motivazioni per politiche *mission-oriented*. Alla luce di queste premesse si realizza una vera e propria divisione del lavoro: la ricerca scientifica, i cui esiti costituiscono un bene pubblico, ha come obiettivo il progresso della conoscenza, mentre l'esplicazione innovativa delle scoperte deve essere affidata all'iniziativa privata. In questo modo sviluppo scientifico e progresso economico, occupazione e ricchezza nazionale sembrano avanzare di pari passo, soprattutto nella sfera occidentale e meno nel cosiddetto 'Terzo Mondo', oltre che nei Paesi del Blocco Orientale. È chiaro che il Frame 1 è basato su alcune assunzioni fondamentali, più o meno esplicitate: 1) abbondanza o illimitata disponibilità delle risorse naturali; 2) radicata convinzione della stretta correlazione tra interesse privato e interesse collettivo ai fini del benessere delle popolazioni; 3) possibilità di una crescita ininterrotta, priva di crisi e problemi strutturali; 4) scarsa considerazione per l'impatto negativo (inquinamento, nocività ecc.) delle attività industriali, eseguite senza accurati controlli multi-dimensionali degli output.

Dagli inizi degli anni '70 in poi emergono aspetti e questioni che colpiscono ciascuna di queste assunzioni e sono tali da portare negli anni successivi al Frame 2, definito da Schot e Steinmueller. La crisi petrolifera dei primi anni e quella della fine del decennio '70, insieme al Libro del Club di Roma (Meadows et al. 1972) costituiscono una sorta di spartiacque verso un cambiamento di paradigma, reso necessario da un contesto che presenta aspetti critici inattesi. Viene innanzitutto gradualmente meno la fiducia nel 'modello lineare' della dinamica innovativa (dalla ricerca scientifica all'utilizzazione commerciale), perché essi si realizzano in forme molto differenti, a seconda delle aree continentali, dei Paesi e dei micro-contesti in cui gli attori (pubblici e privati) pensano e operano.

Frame 2: Sistemi Nazionali d'Innovazione

Il secondo frame pone al centro dell'analisi e delle proposte di policy le interrelazioni sistemiche e multidimensionali (politiche, culturali, istituzionali, socio-economiche), che conferiscono specificità ai vari contesti e quindi determinano l'eterogeneità dei processi d'innovazione e la vischiosità nella ricezione delle innovazioni. Il Frame 2 non è in completa antitesi rispetto al precedente, anzi rafforza la consapevolezza dell'importanza di perseguire priorità strategiche in termini di prestigio e potenza nazionale. Cambia profondamente, però, il modello con cui si definisce il ruolo degli attori (Gibbons et al. 1994, 5-8).

1) *Superamento del modello lineare*, perché assume importanza sempre maggiore l'esistenza di continui feedback tra ricerca teorica e applicata. Nel modello precedente erano le traiettorie di ricerca scientifica predeterminate e i limiti disciplinari a guidare la produzione di conoscenza, a cui seguiva la scoperta di partico-

lari applicazioni innovative. In quello che Gibbons et al. (1994) chiamano *Mode 2* sono le interazioni tra una molteplicità di attori-industria-mercati-mondo della ricerca a innescare processi dinamici complessi, alimentati dalle interdipendenze.

2) *Trans-disciplinarietà*, ovvero l'adozione di un comune framework di riferimento da parte di più discipline, che lavorano su temi diversi. In sostanza si tratta della cooperazione interdisciplinare nella risoluzione dei problemi posti dall'evoluzione delle società. Le attività di problem solving trascendono i limiti tradizionali dei domini conoscitivi per rispondere alle esigenze che scaturiscono dalla dinamica socio-economica.

3) *Eterogeneità e diversità nella composizione dei team* che lavorano alla risoluzione dei problemi, auto-organizzandosi in base al convergere delle competenze sulle sfide da affrontare. Grandi imprese, realtà medio-piccole, multinazionali, Centri di ricerca, Università, Laboratori e Istituti costituiscono reti progettuali, formalizzate e informali, in modo da acquisire flessibilità e adattabilità rispetto a questioni irrisolte nell'evoluzione economico-produttiva.

4) *Responsabilità sociale e sensitività globale* rispetto alle implicazioni potenziali del produrre nuove conoscenze. Intendiamo riferirci al fatto che dagli anni '70 in poi sorgono interrogativi sempre più pressanti circa l'impatto non solo positivo della ricerca tecnico-scientifica, ma anche sulle ripercussioni negative di medio-lungo termine sull'ambiente e sulle condizioni di vita delle popolazioni. La considerazione di quest'ultimo aspetto è stata a dire il vero imposta anche dall'esplosione di grandi disastri a livello internazionale¹. Le società nel loro insieme e gli individui, impegnati o meno in movimenti ambientalisti, sono spinti a porre interrogativi sul senso e sulle finalità generali delle attività umane: l'agenda non è più dettata solo da centri decisionali di alto livello e quindi automaticamente seguita, perché il diffondersi dell'esigenza di consapevolezza degli obiettivi perseguiti e degli esiti ultimi del proprio lavoro induce Istituzioni, imprese e ricercatori a prendere in considerazione finalità che vanno ben oltre gli scopi della mera profittabilità. Tutto questo ovviamente non azzerà il fatto che molte attività di ricerca tecnico-scientifica e produttiva si svolgano secondo le modalità del Frame 1. È però rilevante il dato che crescano nel sistema socio-economico spinte endogene a porre interrogativi di fondo e a non accettare pedissequamente direttrici di marcia non discusse pubblicamente.

5) *Controllo di qualità*. La valutazione degli output innovativi, così come il lavoro dei team indicati, non si basa più essenzialmente sull'esame da parte di gruppi di esperti che condividono scopi e direttrici disciplinari. In realtà, oltre ai criteri di similarità intellettuale, sono fin dall'inizio posti nuovi interrogativi sulle finalità dell'attività di ricerca: la soluzione, se trovata, risponde alla domanda: «È remunerativa sotto il profilo dei costi, ma è socialmente accettabile?». In breve, alla mono-disciplinarietà dei criteri di valutazione subentra la plurali-

¹ Inquinamento da petrolio nel Golfo del Messico, Bophal, ondata di cianuro lunga 50 km nel Danubio, Chernobyl, incendio della superpetroliera Haven nel Golfo Ligure, Isole delle Maldive e Kiribata sommerse in conseguenza del cambiamento climatico, e molte altre.

tà degli interessi coinvolti e la riflessione sulle conseguenze economico-sociali, quindi anche quelle ambientali.

Come si vede il Frame 2 amplia e non sostituisce completamente i temi e i quesiti del Frame 1, arricchendo particolarmente la platea degli attori coinvolti, come nel modello della 'Triple Helix' (Etzkowitz e Leydesdorff 1997; Etzkowitz 2008), ovvero strutture interattive stabili tra governo, imprese e mondo della ricerca (Università, Centri specializzati).

Sono note e molto discusse le iniziative di *innovation policy* intraprese seguendo questo paradigma. Il panorama è abbastanza definito: 1) creazione di *technopolis* e aree tecnologiche incentrate su *technology-based firms*, sia in Italia che all'estero, mediante accordi con imprese global leader; 2) svolgimento di *foresight* tecnologico, unitamente a programmi di formazione universitari e para-universitari, orientati ad ottenere un'offerta di lavoro in grado di aiutare le imprese ad assorbire nuove informazioni e conoscenze. Il logico corollario di tutto questo è il grande rilievo assunto dai progetti di trasferimento tecnologico dalle Università e dai Centri di Ricerca teorica e applicata. La presidenza Obama negli USA si è particolarmente impegnata nell'istituire National Institutes a compartecipazione pubblica-privata sul modello dei tedeschi Fraunhofer e Max Planck Institute. In una prospettiva convergente di intervento si colloca il documento strategico congiunto di due organizzazioni, VDI – The Association of German Engineers – e ASME – American Society of Mechanical Engineers –, per la formazione di lavoratori con skills e competenze appropriati per l'industria manifatturiera del futuro (Gehrke 2015). Da queste e molte altre iniziative, attuate in molti Paesi (Inghilterra, Francia, Giappone, Corea, Cina) si evincono i motivi per cui nei decenni successivi si sia innescato un processo con le seguenti caratteristiche: 1) ampliamento dell'insieme degli attori coinvolti nelle dinamiche innovative (*stakeholders*); 2) riaffermazione dell'importanza di investimenti in R&S e soprattutto tentativi di ridefinirne le finalità con piani più efficaci di disseminazione conoscitiva; 3) maggiore apertura nel delineare le scelte e quindi di attenzione a fenomeni di esclusione sociale e tecnica.

Queste sono ovviamente le tendenze generali, che hanno poi assunto forme peculiari a seconda delle realtà nazionali di riferimento, allorquando hanno agito – condizionandone l'evoluzione – fattori geopolitici, culturali, politici, istituzionali, etico-morali. Con questa ultima locuzione si intende sostenere che gli atteggiamenti valoriali delle popolazioni e delle specifiche 'sfere del business', oltre alle peculiarità dei processi formativi, possono aver influenzato in modo decisivo la capacità di assimilazione e rielaborazione, *assimilation and accommodation*, per usare lo schema piagetiano di evoluzione dei processi cognitivi (Piaget 1970). Il quadro diviene ancora più complesso introducendo l'aspetto, molto rilevante, del condizionamento pervasivo che la cultura manageriale, prevalente in aree geografiche, può esercitare sul funzionamento e l'evoluzione delle istituzioni più importanti. Questo discorso acquista un significativo rilievo nello scenario dei processi innovativi che si sono sviluppati negli ultimi decenni del XX secolo, quando è intervenuto un meccanismo propulsore capace di modificare radicalmente l'orizzonte evolutivo dell'Umanità a molti livelli. Per tratta-

re questa discontinuità esponiamo in primo luogo gli elementi caratterizzanti il Frame 3, descritto da Schot e Steinmueller.

Frame 3: Evoluzione dei sistemi socio-tecnici

Dalla fine del secolo scorso e nei primi due decenni del XXI il quadro della riflessione teorica e politica è stato contraddistinto da una crescente attenzione verso emergenze non confinate a singoli Paesi e concernenti problemi energetici e ambientali. È emersa progressivamente la consapevolezza, a dire il vero ancora non del tutto unanime, che il modello di produzione e consumo delle società più avanzate stia andando incontro a limiti di sostenibilità, le cui implicazioni coinvolgono l'intero Pianeta Terra. L'irreversibilità sempre più probabile degli effetti della dinamica tecno-economica in atto è sistematizzata nell'espressione 'Antropocene' (vedi cap. 2, par. 1)².

Siamo entrati nell'Antropocene proprio quando, a partire dalla metà del XX secolo, vi è stato un incremento eccezionale della dinamica tecno-economica, dovuto all'aumento esponenziale della potenza computazionale a disposizione di tutti gli attori, alla diffusione di Internet e, nello spazio informativo globale che ne è derivato, al formarsi di *hyperstructures* (Baas 2009, 2012, 2015) informative ed economico-produttive, cioè strutture reticolari, gerarchiche, molto dinamiche e pervasive, come gli algoritmi di elaborazione delle informazioni, creati e diffusi ovunque. In altri termini, le *hyperstructures* sono la forma emergente di processi di auto-organizzazione, alimentati e sostenuti da feedback in parte spontanei ed in parte innescati o diretti secondo strategie basate su interessi convergenti (Lombardi 2019a). In questo orizzonte senza confini, che rappresenta quasi plasticamente l'evoluzione degli *Endless Horizons* di Vannevar Bush (1946, cap. 2 *As We May Think*), la crescita di flussi globali di persone, merci e informazioni ha generato dinamiche di auto-organizzazione dei flussi, sulla base di strategie che hanno progressivamente eroso componenti importanti del potere degli Stati nazionali in termini di fisco, normative anti-monopolistiche, influenze politico-culturali e orientamenti dei processi decisionali pubblici e privati³. Nel frattempo si sono prodotte rilevanti asimmetrie di reddito e di potere tra Paesi e anche al loro stesso interno, in un quadro di disuguaglianze cognitive e sociali, unite ad un ampliamento delle fasce di povertà sia nei Paesi avanzati che nelle aree meno sviluppate del mondo⁴.

² Secondo l'IPCC (2019, 52) il termine significa «acknowledging profound, differential but increasingly geologically significant human influences on the Earth system as a whole. This framing also emphasises the global interconnectivity of past, present and future human-environment relations». Si veda anche Ehlers e Kraft (2006).

³ Sulla formazione e il consolidamento dei *Techno-Giants* (Google, Amazon, Facebook, Apple) si veda Petit (2016). Per posizioni critiche sul funzionamento di Internet e sul modo in cui si influenzano i processi decisionali si veda Morozov (2016, 2019).

⁴ Su questi temi si vedano Kurz (2017), Lagarde (2014, 2018), Lazonick, (2014), Lombardi (2019b).

Il quadro finora descritto, che viene approfondito ulteriormente nel prossimo paragrafo, ha spinto una serie di studiosi e Organismi Internazionali (Geels et al. 2017; Gault 2010; Markard et al. 2012; Steward 2012; OECD 2015) ad adottare il Frame 3, basato sul concetto di transizione dei sistemi socio-tecnici e sintetizzato con l'espressione «transformative change» (Schot e Steinmueeler 2018). Il Frame 3 in realtà sussume alcuni elementi fondamentali dei precedenti, ma amplia e approfondisce l'analisi sistemica, estendendola a livello globale alla luce di grandi sfide, che si ergono di fronte all'Umanità.

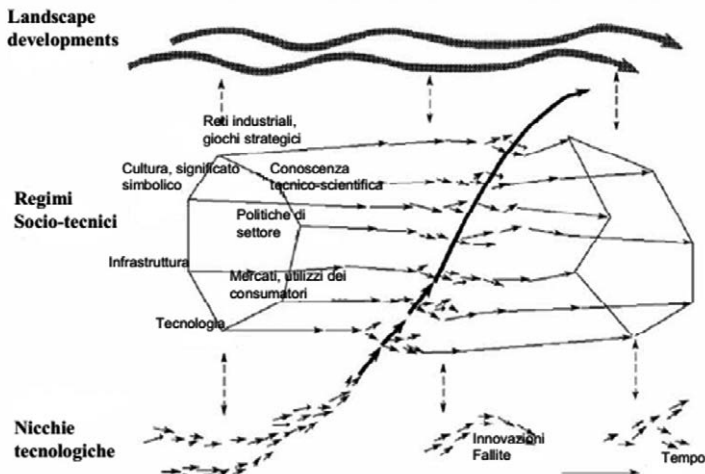
Dall'analisi svolta finora è possibile trarre alcune indicazioni di natura teorica e metodologica in merito alle politiche per l'innovazione.

Prenderemo in esame innanzitutto lo schema concettuale ritenuto più appropriato per l'analisi a fondamento delle elaborazioni strategico-politiche. Il contesto odierno richiede necessariamente un *approccio sistemico*, di cui una delle implicazioni più importanti si manifesta nella presenza di interdipendenze e interazioni tra processi e attori di varia natura, donde possono scaturire esiti imprevedibili. Il mondo che poteva essere interpretato con modelli lineari è superato dall'esistenza di dinamiche non lineari e diffuse interdipendenze, da cui derivano complessità e incertezza, due proprietà ineliminabili di uno spazio planetario contraddistinto da quella che, come vedremo tra poco, Zbigniew Brzezinski ha chiamato «compressione del tempo e dello spazio». Il secondo aspetto da tenere presente è che non linearità e complessità sono caratteristiche degli odierni processi multi-scala, che si sviluppano a livello globale. Ciò comporta che i problemi e le sfide emergenti sono al tempo stesso multidimensionali e multi-scala, il che complica estremamente le potenzialità di management degli itinerari di ricerca per la loro soluzione. È doveroso chiarire un punto: multidimensionalità significa che fenomeni, eventi e processi investono, per di più a ritmi differenti, molte dimensioni dell'agire umano, coinvolgendo una molteplicità di sfere nell'ambito delle società in tutto il mondo. Il concetto di *sistema socio-tecnico* è uno strumento fondamentale per comprendere l'evoluzione delle società odierne, perché esso indica «the interlinked mix of technologies, infrastructures, organizations, markets, regulations, and user practices that together deliver societal functions such as personal mobility» (Geels et al. 2017, 1242).

La dinamica complessa e multidimensionale delle ondate innovative è ben sintetizzata dalla figura 1, dove è rappresentato l'insieme delle forze e dei fattori endogeni ed esogeni che portano alla diffusione di una più tecnologie convergenti e alla successione di tra di esse.

I sistemi socio-tecnici sono connessi alle configurazioni tecnico-scientifiche, che derivano dall'affermarsi di un set di regole costitutive del modello mentale con cui si concettualizzano i problemi, le soluzioni e l'organizzazione sociale che su di esse si consolida. Il set di regole è definito *regime tecnologico*: «A technological regime is the rule-set or grammar embedded in a complex of engineering practices, production process technologies, product characteristics, skills and procedures, ways of handling relevant artefacts and persons, ways of defining problems; all of them embedded in institutions and infrastructures» (Rip e Kemp 1998, 338). La nozione di regime, che Rip (1995, 429, nota 9) riprende

da studi di sociologia e politologia, indica un sistema socio-cognitivo di regole, in quanto le tecnologie non si affermano per motivi puramente tecnico-scientifici, ma occorre che concorrano micro- meso- e macro allineamenti (Rip 1995, 425) di processi e fattori sociali, giuridici, istituzionali, culturali, come viene esplicitato appunto nella figura 1.



Graf. 2 adattamenti da Geels, 2002, Fig. 5

Figura 1 – Prospettiva multi-livello delle transizioni socio-tecniche. [Adattamento da Geels 2020: Fig. 1]

2. La ricerca di un nuovo frame concettuale

Lo scenario che si sta sviluppando da alcuni anni presenta le peculiarità analizzate da studi finalizzati a delineare strategie efficaci per realizzare percorsi di *smart specialisation* e di transizione energetica e ambientale. La complessità dei processi in atto è sottolineata da Hausmann (2008), Foray (2018), Kuznetsov e Sabel (2011), che mettono anche l'accento sull'importanza del *setting priorities*. Riteniamo opportuno enfatizzare che tali priorità debbono avere una valenza strategica ed essere congruenti con processi tecnico-scientifici ed economico-produttivi che evolvono incessantemente. Siamo in presenza di dinamiche multi-scala con cui confrontarsi mediante disegni strategici, elaborati in una realtà stratificata e in continuo divenire. In altre parole, le strategie devono essere aperte perché vanno commisurate a spazi decisionali mutevoli a vari livelli. Conseguentemente esse non possono assumere una configurazione definita una volta per tutte e immutabile, ma sono necessarie flessibilità e apertura (Foray 2018, 821). Occorre al tempo stesso mettere in evidenza un aspetto decisivo: la natura multi-scala e complessa della dinamica tecno-economica implica la par-

tecipazione di una molteplicità di attori all'elaborazione strategica, che non può essere incentrata solo sulla crescita, ma deve assumere una serie di obiettivi, tra i quali soprattutto quello di realizzare una congruenza dinamica e sostenibile per le società e il Pianeta.

Alla luce di quanto descritto finora vi sono questioni/sfide generali (Wanzenböck et al. 2010), da affrontare sulla base di impulsi capaci di generare intelligenza collettiva (Saunders e Mulgan 2017, 5):

Collective Intelligence is a new term to describe something which is in somerespects old, but in other respects changing dramatically thanks to advances in digital technologies. It refers to the ability of large groups – a community, region, city or nation – to think and act intelligently in a way that amounts to more than the sum of their parts. This kind of intelligence depends on many things (Fig. 2).

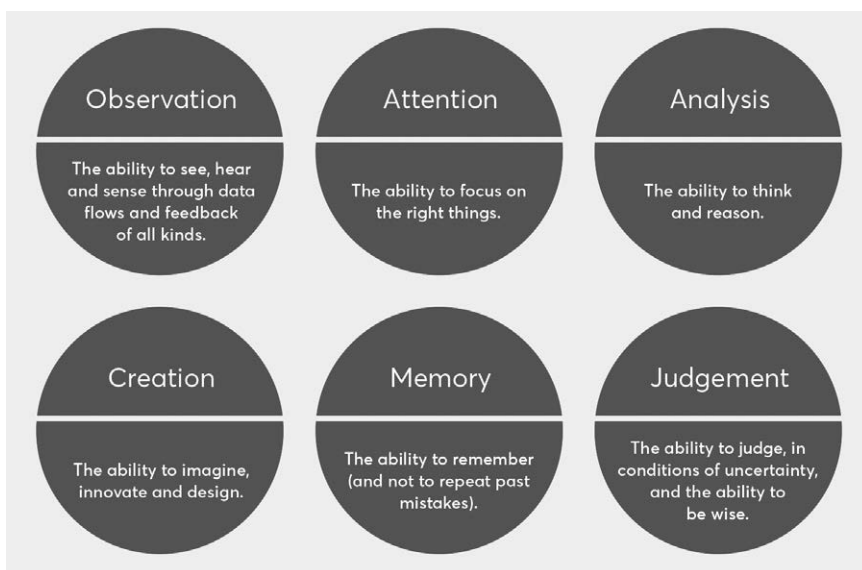


Figura 2 – Molteplicità di fattori che influenzano l'intelligenza collettiva. [Fonte: Saunders e Mulgan 2017]

Abbiamo finora delineato una serie di elementi: spazio informativo globale in continua espansione, dinamica tecno-economica multi-scala e in continuo divenire, spazio decisionale complesso, molteplicità di attori coinvolti a molti livelli, necessità di *priority-setting*, strategie aperte e flessibili. Cerchiamo allora di precisare ulteriormente uno schema concettuale appropriato, sulla base del quale trattare la questione degli strumenti di misura e delle modalità di valutazione.

Attualmente, alla luce di quanto esposto nelle pagine precedenti, nello spazio informativo globale emergono *system-wide patterns*, perché componenti

separate possono allinearsi e avviare meccanismi di feedback ripetuti, che si rafforzano reciprocamente e sono tali da portare all'auto-organizzazione multi-scala, tendenzialmente globale, come è evidente nel caso dei *Techno-Giants* (cfr. nota 3). Queste vere e proprie meta-organizzazioni possono assorbire e/o controllare sotto-insiemi di altre componenti/funzioni, proprio come accade nelle configurazioni che stanno ora assumendo Amazon e Google, le quali diventano sempre più meccanismi per il coordinamento globalizzato di flussi di materiali e informazioni.

È ai nostri fini rilevante la tendenza all'emergere di spinte verso l'auto-organizzazione e al consolidamento dei flussi verso l'operatività di *hyperstructures* del tutto simili a quelle analizzate da Baas. Siamo quindi in presenza di un grande cambiamento della *tipologia* degli attori e della loro *topologia*, ovvero della loro configurazione a network variabili, che possono assumere all'interno di una dinamica tecno-economica così profonda ed estesa.

Abbiamo così definito un preciso *schema concettuale*, utile a rappresentare alcune componenti essenziali dell'odierno scenario globalizzato:

1. sistemi socio-tecnici;
2. processi multi-scala, non lineari e complessi;
3. sistemi complessi adattativi;
4. emergenza di *hyperstructures* a topologia variabile;
5. *transformative change*.

Questo frame generale va applicato in relazione a due ambiti di riferimento strategico ed operativo:

- i contesti nazionali/locali, che tendono a diventare sotto-insiemi delle *hyperstructures*;
- le sfide globali emergenti nella dinamica generale.

Su questa base traiamo due indicazioni metodologiche, relative a quali fenomeni e processi indagare, cioè l'evoluzione dei sotto-insiemi di riferimento per le politiche d'innovazione e i problemi che la stessa dinamica genera incessantemente. Bisogna a questo riguardo riprendere un aspetto interessante dell'analisi di Rip, precedentemente riportata: la necessità che si realizzino micro- meso- e macro allineamenti tra processi e molteplici fattori, specialmente durante i periodi di profonda trasformazione strutturale.

Si pone in sostanza un problema di dotarsi di «Framework Programs That Help Scale up Microchanges to the Macro Level: the gap between micro innovations and improvements in macro conditions» (Kuznetsov e Sabel 2011, 5). Come abbiamo già visto, la transizione tecno-economica si alimenta continuamente con disegni strategici e iniziative sia *bottom up* che *top-down* (*global player, hyperstructures*, sviluppo tecnico-scientifico), che vanno coordinati in modo che siano «directed towards complex, multi-dimensional and systemic societal problems» (Wanzenböck et al. 2010, 4). A questo fine è necessaria «a multilevel governance» (Guzzo et al. 2018), a cui gli autori in questione attribuiscono centralità nel concetto di S³.

È a questo punto opportuno approfondire un punto essenziale. Nelle fasi di transizione socio-tecnica, che si sono ripetute più volte nella storia umana, possiamo rinvenire dei cambiamenti che vanno compresi con un certo grado di precisione, anche in un quadro di incertezza radicale, allo scopo di definire la migliore strategia di intervento alla luce delle conoscenze possedute, da ampliare e modificare in ragione dell'arrivo di flussi informativi globali. Per comprendere come questo possa realizzarsi applichiamo uno schema teorico ed operativo desunto da Joel Mokyr, che ha a sua volta adattato un approccio introdotto da Olsson (2000, 2005). Olsson (2000) definisce la conoscenza come un sotto-insieme dello Spazio delle Idee (*Idea Space*), che è l'insieme universale di tutte le possibili idee. Mokyr (2005) riprende l'approccio concentrandosi sulla tecnologia definita come *Useful Knowledge*, *crucial ingredient* della crescita economica. La *Useful Knowledge* viene da lui distinta in due tipologie di conoscenza (Mokyr 2002, cap. 1, *Technology and the Problem of Human Knowledge*). La prima è la conoscenza proposizionale, che comprende tutto quello che sappiamo (crediamo di sapere), circa i fenomeni e le regolarità naturali (leggi e regole di funzionamento della natura), da Mokyr chiamata Ω -*knowledge*, oppure *episteme*.

La conoscenza epistemica è la base con cui creiamo le conoscenze su *how* (*instructional or prescriptive knowledge*), che Mokyr denomina λ -*knowledge*, oppure *techne*. La conoscenza tecnica essenzialmente include le istruzioni su come produrre, ovvero sfruttare le regolarità naturali per migliorare il benessere dell'Umanità. Essa assume quasi sempre la forma di un insieme di espressioni formali o informali del tipo 'se-allora' (*if-then*) (Mokyr 2005, 1122). Esemplichiamo: la scoperta del DNA, la possibilità di rappresentare le conoscenze umane in termini di 0/1 (da Leibniz ad oggi) costituiscono la conoscenza epistemica che, dopo un lungo percorso, ha portato l'Umanità alle tecniche odierne (CRISPR_Cas9, sistemi di algoritmi), che consentono di esplorare nuovi mondi conoscitivi e fisici. Conoscenza epistemica e conoscenza tecnica possono essere concepite come sistemi gerarchici di regole, con le quali strutturiamo il mondo che ci circonda, attualmente a scala mondiale dato lo spazio informativo globale.

Riprendendo l'approccio originale di Olsson (2000), possiamo concepire lo Spazio delle Idee composto da due sotto-spazi, quello delle idee racchiuse nelle regole della base epistemica e quello delle regole organizzate in forma di 'istruzioni'. L'evoluzione della conoscenza umana può essere allora vista come un perenne *mapping* tra l' Ω -*space*, che evolve a ritmi più lenti, e il λ -*space*, che evolve a ritmi più rapidi sulla base delle coordinate della base epistemica.

Nei termini di March (1991)⁵ nell' Ω -*space* si sviluppa principalmente l'attività di *exploration* e nel λ -*space* soprattutto quella di *exploitation*, quasi sempre in conformità con le coordinate di fondo (regole epistemiche consolidate).

⁵ «Exploration includes things captured by terms such as search, variation, risk taking, experimentation, play, flexibility, discovery, innovation. Exploitation includes such things as refinement, choice, production, efficiency, selection, implementation, execution» (March 1991, 71).

Prima di trarne le conseguenze sul piano dello *strategic thinking*, è doveroso enucleare alcuni ulteriori concetti, da cui deriva una peculiare visione della dinamica tecnologica. Seguendo Moky, possiamo affermare che la tecnologia è un insieme di regole conoscitive più o meno codificate⁶, annidate l'una nelle altre. Le implicazioni logiche di questo schema concettuale possono essere trovate nel lavoro di Brian Arthur (2009, 19), per il quale «technologies inherit parts from the technologies that precede them, so putting parts together – combining them – must have a great deal to do with how technologies come into beings». Arthur arriva a formulare tre principi fondamentali: 1) «All technologies are combinations», 2) «Each component of technology is itself in miniature a technology», 3) «All technologies harness and exploit some effect or phenomenon, usually several» (p. 23).

La concezione combinatoriale delle tecnologie e della loro evoluzione rafforza il principio dell'annidamento tra tecnologie (sotto-insiemi di regole prescrittive), cioè della *ricorsività*⁷, che significa «that structures consist of components that are in some way similar to themselves» (Arthur 2009, 38)⁸.

Come evolvono queste 'strutture frattali' ad albero (*tree-like structures*)?

Enucleiamo un passaggio cruciale: di fatto, quando adottiamo – consapevolmente o meno – un paradigma tecno-economico, effettuiamo un continuo *mapping* tra conoscenza proposizionale e conoscenza prescrittiva.

Persone e imprese, impegnate nel progettare e produrre, tentano costantemente di ampliare, migliorare e inventare set di alternative per rispondere alle sfide competitive. In breve, si cerca di esplorare nuove regioni dell'infinito spazio della conoscenza attraverso un processo generativo caratterizzato da: 1) cambiamenti delle regole tecnico-scientifiche, mediante l'incremento e la modifica della conoscenza esistente; 2) combinazioni tra vecchie e nuove regole, viste come set di conoscenze tra loro connesse; 3) ri-combinazione o 'riscrittura' (*rewriting*) di insiemi di regole (regole epistemiche – Ω -knowledge – insieme a mutamenti di componenti della λ -knowledge).

In sostanza, quindi, la dinamica delle conoscenze genera cambiamenti dell'architettura, cioè delle combinazioni di regole, che sono adattate, riconfigurate, a seconda delle strade intraprese per la risoluzione dei problemi, con aggiustamenti e modificazioni dei domini di conoscenze utilizzati.

Come concepire le innovazioni in questa prospettiva? Arthur introduce l'interessante concetto di *re-domaining*, cioè di sostituzioni totale o parziale di un insieme consolidato di conoscenze e strumenti con un set di «different possibilities»

⁶ Il riferimento (molto sintetico) è al tema della conoscenza tacita, non approfondito in questa sede, ma che è ben presente in letteratura e in altri lavori (Lombardi 2003). Si pensi al dato che anche nelle attività di programmazione del software si riconosce il ruolo non secondario svolto proprio dalla conoscenza tacita. L'argomento esula dalle finalità di questo contributo.

⁷ La ricorsività è un principio molto importante in linguistica generativa (Chomsky) e in informatica.

⁸ Anche se non è esplicitato, è chiaro qui il riferimento alle strutture frattali di Mandelbrot. Comunque nel libro di Arthur vi è una lunga serie di esempi concreti di strutture concettuali annidate in termini operativi (locomotive, aerei, motori ecc.).

(p. 83), un mondo di possibilità per raggiungere uno scopo (Arthur 2009, cap. 4)⁹. Aggiungiamo che i 'nuovi mondi del possibile' possono appartenere sia all' Ω -space che al λ -space, con infinite possibili combinazioni, ampliamenti e di tanto in tanto trasformazioni (*re-domaining* nel primo sottospazio, meno frequenti nel secondo).

Possiamo a questo punto sottolineare l'arricchimento dello schema concettuale, prima anticipato, con i concetti dei due sottospazi e del *mapping* incessante tra i due, da vedere come meccanismo generatore di effetti più o meno profondi nell'evoluzione tecno-economica.

Trarremo le implicazioni operative di questo ampliamento dello schema concettuale nel prossimo paragrafo.

Smart Specialisation e I4.0 possono essere inquadrate perfettamente come esplorazioni di sottospazi dello Spazio delle Idee di Olsson e Mokyr, arricchite dalla visione combinatoriale di Arthur (2009). Gli sviluppi dei sistemi di software sono infatti divenuti sempre più complessi per i cambiamenti avvenuti nella base epistemica, cioè le nuove conoscenze scientifiche, che introducono discontinuità in sistemi di regole tecnico-scientifiche accettate per secoli, come nei seguenti casi: codificazione della conoscenza teorica, editing genomico, genomica dei materiali, universo fisico-cibernetico.

Un'implicazione logica delle riflessioni svolte è la necessità di ampliare, sul piano delle politiche per l'innovazione, il set degli attori che devono partecipare alla definizione degli obiettivi del *transformative change*. L'evoluzione dei sistemi socio-tecnici multi-scala coinvolge società intere e produce effetti sull'intero pianeta, per cui è impensabile che non si realizzi una concertazione molto ampia nel determinare opzioni di medio-lungo periodo, al fine di prendere e attuare decisioni che investono intere collettività. In questo panorama generale, il tema delle politiche per l'innovazione assume centralità sulla base di una maggiore e molto più ampia consapevolezza della posta in gioco.

Bisogna inoltre osservare, come vedremo nel prossimo paragrafo, che acquistano un'importanza cruciale le funzioni di coordinamento strategico, di cui occorre definire nuove peculiarità.

Avendo delineato lo schema concettuale e le direttive metodologiche, possiamo affinare la procedura analitica entrando nel concreto dei processi reali.

3. Importanza dello *adaptive strategic thinking*

Lo scenario descritto nei paragrafi precedenti deve indurci ad essere consapevoli che il mondo dei trend stabili, o sufficientemente prevedibili e tali da orientare le decisioni di medio-lungo periodo, è superato. L'era dell'incertezza e della complessità implica che i processi decisionali si trovano ad affrontare simultaneamente un insieme variabile di processi e fattori, conosciuti in modo parziale e incompleto. In situazioni di questo tipo è inevitabilmente destinato a fallire il

⁹ Arthur apporta molti esempi, tra cui la fotonica per la trasmissione dei messaggi su reti di fibre ottiche (p. 83).

tradizionale approccio alla pianificazione, basato sull'idea che potenti strumenti analitici possano consentire di pervenire ad una decisione chiara e ben definita del futuro. Diventa infatti molto elevato il rischio di non captare i segnali di reale mutamento e di non percepire le minacce per il proprio modo di operare. Vi è inoltre il rischio di ritenere inutile il perseguimento del rigore dell'analisi e, ancor peggio, può diventare attraente il tentativo di affidarsi alla pura intuizione.

Per contro, è in queste condizioni che occorre mettere al centro dell'orizzonte decisionale la rilevanza strategica delle proprie azioni, realizzando un cambiamento del paradigma tradizionalmente adottato per prendere decisioni, il quale non deve essere più basato su scelte binarie, ma deve diventare duttile e appropriato per trattare l'alone di incertezza che pervade il contesto della decisione.

Riteniamo proficuo applicare a questo proposito il framework proposto in MGI (Courtney, Kirkland e Vignier 2000), dove per le decisioni strategiche delle imprese si distinguono 4 livelli di incertezza, divisi a loro volta in due categorie di informazioni strategicamente rilevanti. La prima categoria è quella in cui è possibile definire con precisione i trend evolutivi dei processi. Nella seconda, eseguendo adeguate analisi, possono essere rilevati fattori sconosciuti, ma permane un'incertezza 'residua', che può dare origine a differenti livelli strategici dal punto di vista decisionale.

Il livello 1 si ha allorché gli elementi incerti non sono di particolare rilievo per l'assunzione di decisioni, perché essi attengono per così dire a contesti operativi di non alto livello. Un esempio concreto, non tratto dal saggio di riferimento, potrebbe essere l'acquisto di un particolare tipo di software in una gamma definita di prodotti sostanzialmente equivalenti. L'alone di incertezza riguarda la valutazione di quale sia quello più appropriato per la propria realtà.

Il livello 2 si ha quando le alternative possibili sono note fino al punto da poter assegnare probabilità a ciascuna di esse. In questi casi possono essere definiti molteplici scenari e quadri prospettici, per i quali può essere effettuata una stima attendibile dell'impatto tendenziale in termini tecnologici, economici, sociali. Un esempio concreto di siffatti contesti potrebbe essere individuato nelle decisioni dei costruttori di microprocessori circa l'impiego di materiali finora utilizzati, oppure di passare all'utilizzo anche del grafene, che per alcune proprietà consentirebbe risparmi di energia e di costi di produzione¹⁰.

Il livello 3 racchiude situazioni in cui si può delineare un set di potenziali trend tecnologici, oppure relativi a modelli di consumo e di produzione, ma non tali da poter essere definiti con precisione e comunque basati su un insieme di conoscenze incompleto e confuso (*fuzzy*). Ad esempio, attualmente il trend verso I4.0 è definito in modo attendibile nelle linee generali, ma non sono certo chiari sia i modi per la realizzazione a livello di impresa, settore, aree territoriali, sia le possibili implicazioni in tema di organizzazione del lavoro, competenze, modello organizzativo delle sequenze economico-produttive. Nel livello tre

¹⁰ Il sito web specializzato <<https://www.graphene-info.com/graphene-applications>> contiene un lungo elenco di applicazioni attuali e possibili del grafene (2021-10-03).

possiamo quindi includere un'ampia parte dei processi decisionali odierni in campo tecnico-scientifico, economico-produttivo, sanitario.

Il livello 4, infine, si incontra se le interazioni tra le dimensioni rilevanti per prendere una decisione e l'incertezza sono tali da creare un ambiente che è virtualmente impossibile da predire (Courtney, Kirkland e Viguierie 2000, 4). Un esempio attuale potrebbe essere l'evoluzione della computazione quantistica (*quantum computing*¹¹, dopo i recenti annunci di Google-Nasa e Cina in merito a esperimenti realizzati mediante computer quantistici (Popkin 2017; Arute et al. 2019; Rieffel 2019; Cho 2019). Si pensi all'eventuale enorme potenza computazionale del QC e alle implicazioni in termini di sicurezza informatica, che peraltro costituiscono una delle sfide più importanti di un mondo globalmente iperconnesso.

Dall'analisi sviluppata nelle pagine precedenti si deduce che nell'odierno universo fisico-cibernetico gli attori si trovano più frequentemente ad operare in ambienti con livelli di incertezza 3 e 4, dove l'esigenza di *strategic thinking* è ancora più pressante e non ci si può abbandonare a comportamenti di mero adattamento passivo. Di fronte a quei livelli di incertezza è infatti necessario cambiare *mindset* strategico ed operativo passando, per riprendere il binomio concettuale *exploration-exploitation* proposto da March (cfr. nota 5), da un modello decisionale dove prevale l'*exploitation* ad uno in cui predomina l'*exploration*. In altri termini, occorre esplorare nuovi domini di conoscenza, mediante l'adozione di schemi cognitivi flessibili e agili, senza ovviamente rinunciare *ex abrupto* alla *knowledge base* posseduta.

Per far questo è cruciale lo *strategic thinking*, tradizionalmente definito «as creative, disruptive, future-focused, and experimental in nature and seen to be at odds with traditional notions of strategic planning. Redefining strategic thinking in terms of a systematic or holistic view, a focus on intent, thinking in time, a hypothesis-driven approach» (Liedtka 1998, 30). È quindi fondamentale la visione sistemica, insieme alla formulazione di ipotesi-guida, da verificare sulla base dei segnali e delle informazioni captate da ambiti di ricerca teorica ed applicata, grazie a modelli cognitivi aperti a interazioni con altri attori.

Appare logico ricondurre queste situazioni a quelle che Herbert Simon definisce contesti caratterizzati da 'razionalità limitata' degli attori: «complex situations there is likely to be a considerable gap between the real environment of a decision [...] and the environment as the actors perceive it» (Simon 1978, 8). In contesti di questo tipo la conoscenza degli attori è parziale e probabilmente confusa, data la *knowledge base* in loro possesso, con la quale percepiscono l'ambiente della decisione. L'incompletezza cognitiva rende allora essenziale il processo di elaborazione delle scelte sulla base della ricerca e dell'acquisizione di informazioni: «Problems of search arise when not all the alternatives of action are presented to the rational actor ab initio, but must be sought through some kind of costly activity. In general, an action will be chosen before the search» (Simon 1978, 10). L'analisi sviluppata nelle pagine precedenti descrive condizioni per cui gli attori

¹¹ Per una introduzione al *quantum computing* con dettagli tecnici accessibili anche a non specialisti si vedano Rieffel e Polak 2000; Biamonte et al. 2018.

devono pensare ed agire mentre si riproduce continuamente, talvolta ampliato, il divario le variabili decisionali che evolvono e la loro capacità computazionale¹².

Ai fini di una elaborazione strategica in sistemi socio-tecnici è importante assumere due punti messi in evidenza da Simon (1996, 166) a proposito della progettazione sociale (*social design*), a cui riconduciamo i temi che stiamo affrontando: «1. Bounded rationality. The meaning of rationality in situations where the complexity of the environment is immensely greater than the computational powers of the adaptive system. 2. Data for planning. Methods of forecasting, the use of prediction and feedback in control».

Bisogna infatti tenere presente che la complessità dell'esplorazione di una molteplicità di domini di conoscenze non può essere trattata in forma di 'isole cognitive', imprese-organizzazioni-individui senza collaborazioni, ma è essenziale lo sviluppo di capacità scambiare flussi conoscitivi interdisciplinari. Ed è per questo motivo che lo *strategic thinking* è ancor più importante se concepito come «a way of solving strategic problems that combines a rational and convergent approach with creative and divergent thought process» (Bonn 2005, 337).

Emerge quindi ancora una volta uno degli aspetti presenti negli studi effettuati ai fini della *smart specialisation*, cioè la natura processuale, cognitiva e organizzativa, delle attività che gli attori devono svolgere, caratteristica accentuata dalla più generale transizione energetica e ambientale.

Attività esplorativa (diretta o indiretta, cioè mediante collaborazioni), creatività, visione sistemica delle interdipendenze (esistenti e potenziali, guidate da ipotesi sottoposte a verifica), propensione alla scoperta di nuove combinazioni tra conoscenze consolidate e nuovi input conoscitivi sono gli ingredienti essenziali dello *strategic thinking*, sintetizzato in figura 3.

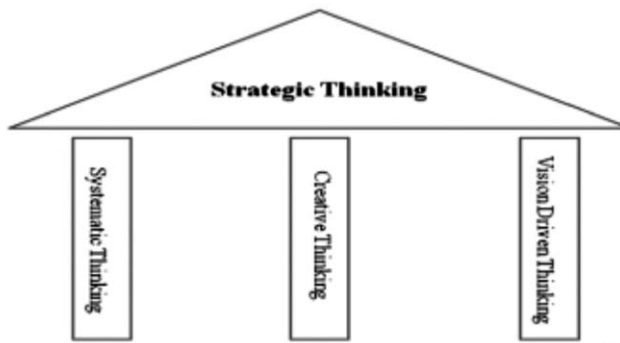


Figura 3 – Componenti dello *strategic thinking*. [Fonte: Moon 2013]; © Elsevier

¹² Entra qui in gioco quella che Simon definisce *razionalità procedurale*: «procedural rationality is usually studied in problem situations - situations in which the subject must gather information of various kinds and process it in different ways in order to arrive at a reasonable course of action, a solution to the problem» (Simon 1976, 132).

La grande rilevanza dello *strategic thinking* viene ancor più alla ribalta durante la lettura del volume di Zbigniew Brzezinski (1980, scritto nel 1970), anche se definito in vari modi, ma con la capacità delineare lo scenario futuro a medio-lungo termine di quella che il politologo polacco, nonché segretario di Stato durante la Presidenza Carter, chiama *Technetronic Era*, dove predomina la *technetronic society*: «a society that is shaped culturally, psychologically, socially, and economically by the impact of technology and electronics – particularly in the area of computers and communications» (1980, 9). Già l'incipit del volume è suggestivo: «The paradox of our time is that humanity is becoming simultaneously more unified and more fragmented. That is the principal thrust of contemporary change» (1980, 1)¹³. Ai primordi della *Technetronic Era* è l'analista strategico che vede la compressione temporale e spaziale, che rende l'Umanità più integrata e *intimate*, anche se si ampliano le differenze tra le condizioni sociali. Brzezinski delinea trend di fondo, perché mette al centro della sua analisi il fatto che nella società post-industriale la conoscenza tecnica e scientifica, oltre ad aumentare le potenzialità produttive, è destinata a fluire nell'intero sistema sociale, influenzando quasi tutti gli aspetti della vita umana. Nell'orizzonte evolutivo descritto il motore è la conoscenza tecnico-scientifica, che esalta l'importanza sociale dell'intelligenza umana e la rilevanza dell'apprendimento. Per questa via, infatti, la capacità di 'decifrare i pattern del cambiamento' e quindi trovare nuove forme di valorizzazione della realizzazione umana in forme di organizzazione sociale più desiderabili. Nel caso di Brzezinski siamo in presenza non solo di una eccezionale abilità di analisi dei processi in atto e tendenziali, frutto anche del lavoro di un team di altissimo livello, ma anche dell'espressione esemplare di *strategic thinking*, in grado di cogliere gli elementi essenziali della dinamica tecno-economica in embrione nel 1970. Abbiamo pertanto una dimostrazione chiara di come la decifrazione dei modelli di cambiamento assuma caratteristiche precedentemente messe più in evidenza: complessità, valenza sistemica e multidimensionale dei processi, apertura mentale e capacità di visione.

È ai nostri fini rilevante l'insegnamento che possiamo doverosamente trarne: proprio in un'epoca di forte turbolenza e profonda ridefinizione della dinamica economico-sociale è necessario sviluppare conoscenze innovative, a livello individuale e collettivo, ampliando l'orizzonte dell'analisi, sviluppando 'immaginazione razionale' con ipotesi da sperimentare, pronti a captare nuovi segnali per realizzare nuove strategie di azione.

Riprendiamo a questo proposito una metafora impiegata da Brzezinski: se la prima rivoluzione industriale ha avuto come premesse fondamentali le idee e le tecniche della navigazione del XVI secolo, l'equivalente attuale negli anni della *Technetronic* è l'esplorazione dello spazio, che ha richiesto incrementi enormi della potenza di calcolo. Ampliando le anticipazioni del politologo polacco, possiamo sostenere che, oltre all'esplorazione dello spazio astronomico, nell'odierno

¹³ I libri di Zbigniew Brzezinski sono disponibili su Internet Archive. Altri interventi e articoli sono accessibili su Internet.

pieno dispiegarsi della Technetronic Era, l'esplorazione dello spazio informativo globale in continua espansione è divenuto il motore fondamentale della dinamica tecno-economica. Pertanto lo *strategic thinking* è essenziale, purché venga esercitato in modo costante e senza interruzioni di sorta. Cosa significa questa affermazione? L'elaborazione strategica nell'universo fisico-digitale in continua espansione non può limitarsi alla produzione sporadica di piani statici. Essa deve essere adattativa in un contesto di aumento incessante dei flussi informativi per una ragione basilare: proprio di fronte all'abbondanza e alla varietà dei dati va fronteggiata la loro paradossale scarsità, quando non si comprende che è doveroso cambiare modelli mentali obsoleti e al tempo stesso è alto il rischio di bias incorporati negli stessi. *Strategic thinking* va dunque ben al di là della produzione di analisi sistematiche e approfondite una tantum; per imprese e organizzazioni (sia private che pubbliche) ciò implica sviluppare un'attività costante di indagine in campi inesplorati, in modo da espandere e sperimentare nuove conoscenze. Non è più l'epoca del Piano da eseguire secondo step predeterminati; siamo nell'era dell'*adaptive strategy*, dove «the strategic plan is dead. Long live Strategy» (O'Donovan e Flower 2018). *Ubiquitous connectivity* e *ubiquitous computing* rendono obsoleto, se non addirittura dannoso, il modello incentrato sul piano, perché la flessibilità cognitiva, operativa e strategica richiede quattro ingredienti fondamentali: 1) formulare ipotesi da sottoporre a verifica (esperimenti, simulazioni, modellazione computazionale); 2) individuare sentieri evolutivi (*pattern*), delineare scenari con l'ausilio di strumenti di Artificial Intelligence sempre più sofisticati; 3) agire tenendo presenti le interdipendenze sistemiche (*executing by the whole*); 4) definire, insieme ad una molteplicità soggetti, visioni di medio-lungo termine con punti di riferimento stabili, ma con la possibilità di rimodellare gli schemi concettuali sulla base dell'intercettazione di nuovi flussi informativi.

In questa trasformazione di cultura strategica possono svolgere un ruolo centrale le *dynamic capabilities* (Tece e Pisano 1994; Tece 2017, 2019).

Il concetto che Teece ha formulato per la teoria dell'impresa a nostro avviso ha validità generale per l'*adaptive strategic thinking*, soprattutto per tre tipi di attività di apprendimento, che dovrebbero essere momenti basilari dei processi decisionali. 1) *Sensing*, cioè «exploring technological opportunities» e valutarne la portata. 2) *Seizing*, che per un'impresa significa realizzare occasioni di business e per un'organizzazione vuol dire individuare potenzialità, su cui indirizzare investimenti di risorse materiali e immateriali. Per un'organizzazione pubblica ciò significa saper interpretare i trend e sostenere le dinamiche di apprendimento socio-economico mediante risorse da destinare agli investimenti secondo un frame strategico chiaro e condiviso. 3) *Transforming*, concepito in termini di introdurre trasformazioni congruenti con le traiettorie individuate. L'adattamento strategico a cui ci si riferisce può consentire un'appropriata concettualizzazione delle strategie.

Riteniamo che a questo punto sia abbastanza chiaro il punto di arrivo della riflessione sviluppata in questo paragrafo: comunque si voglia definire l'era odierna (Information Age, Technetronic Era, oppure Global Age of Complexi-

ty, come osservano Sheng e Cheng 2017), la capacità di leggere e interpretare i segnali di cambiamento, l'abilità di formulare e sperimentare ipotesi esplicative, quindi elaborare modelli di azione di cui si verifica incessantemente l'efficacia, costituiscono il nucleo propulsivo di un esercizio continuo di *adaptive strategic thinking*, direttamente connesso a meccanismi e processi di apprendimento individuale e collettivo. Tutto ciò potrebbe essere facilitato, nel pieno dispiegamento della Technetronic Era, dalla disponibilità di una potenza computazionale incomparabile ed in continuo aumento, insieme a sistemi di software sempre più potenti, in grado di elaborare volumi impressionanti di dati (IA + Big Data).

Non si deve però dimenticare che i pattern individuati mediante agenti artificiali richiedono interpretazione e visioni con funzioni cognitive di alto livello, che le 'macchine' ancora non hanno, senza lasciarsi attrarre in modo superficiale da quella che il computer scientist Bezdek chiama «seductive semantics, that is, words or phrases which convey, by being interpreted in their ordinary (non-scientific) usage, a far more profound and substantial meaning about the performance of an algorithm or computational architecture than can be readily ascertained from the available theoretical and/or empirical evidence» (Bezdek 2016, 8).

Sono l'intelligenza e la progettazione umana, individuale e collettiva, la chiave di volta dell'edificio dello *strategic thinking* e delle Technetronic Era, come ha scritto Zbigniew Brzezinski.

A questo riguardo sembra di particolare rilievo una questione in gran parte trascurata dalla letteratura sulle politiche per l'innovazione, ma che giustamente Wanzenböck et al. (2010) mettono in grande evidenza. Complessità, processi multi-scala, gap tra ambiente decisionale e capacità di *information processing* degli attori delineano uno scenario in cui emergono *societal challenges*, che mostrano un ulteriore aspetto fondamentale: una pluralità di attori con le proprietà descritte devono elaborare disegni strategici per affrontare sfide, i cui tratti specifici e caratterizzanti si trasformano continuamente a causa delle interazioni tra attori, strutture sociali, dinamica tecno-economica. Processi e attività a differente scala sono interconnessi in maniera tale che la maggior parte delle sfide da affrontare sono assimilabili ai *wicked problems* (problemi inestricabili) (Rittel e Webber 1973). Essi sono impossibili da risolvere in modo lineare e privo di ambiguità per 10 motivi, alcuni dei quali sono qui indicati: 1) non è possibile definirli in modo univoco; 2) non è data una regola che indichi la soluzione definitiva; 3) non vi è un test immediato e ultimativo per definire una soluzione ordinaria, magari con un'operazione *one-shot*.

Ma non si può restare paralizzati. Al contrario, la consapevolezza dei temi indicati deve indurre ad adottare un modello mentale e pragmatico che possa consentire scelte precise e operatività, con risultati verificabili in modo puntuale. Indichiamo sinteticamente dei principi di fondo e il conseguente metodo di lavoro.

Principi basilari: 1) non esistono soluzioni ottime e definitive (*no free lunch theorem* in matematica e informatica, il più banale 'nessun pasto è gratis' in economia); 2) evitare di fare affidamento solo su analisi parziali, date le interdipendenze tecnico-sociali e la complessità delle situazioni; 3) adottare una visione integrata, considerando la presenza di più sistemi e sotto-sistemi che interagi-

scono; 4) la progettazione è un percorso adattativo, che richiede cattura ed elaborazione delle informazioni con obiettivi via via adattati alle interazioni tra attori pubblici, privati, sociali; 5) mettere al centro dell'elaborazione strategica le interdipendenze tra fenomeni e processi.

Wanzenböck et al. (2010, par. 3.1, p. 6) propongono di andare oltre sia i *wicked problems* «that are complex, unpredictable, and have poorly defined boundaries», sia le tradizionali visioni pianificatorie. Il framework proposto, dopo un'ampia analisi di casi empirici, si incentra su «mission oriented policy» (MIP) che «emphasises the need for new governance modes involving new actors, such as users or other stakeholders, more reflexive strategies that facilitate adaptations in response to new knowledge on the problem, its causes and societal significance, and new developments with regard to the envisaged solution, its effectiveness or side-effects» (p. 23).

Occorrono dunque politiche di sostegno a cambiamenti sistemici (*transformative system change*), tenendo presente la complessità e la portata delle *societal challenges*. Ciò a nostro avviso legittima la tesi della necessità di una *adaptive strategy*, particolarmente appropriata per contesti come quelli analizzati sia da Wanzenböck et al. (2010) che da Kuznetsov e Sabel (2011, 1), i quali pongono l'accento su una «New Open Industrial Policy focused on the governance of the priority-making process». Importanza peculiare assumono, poi, durante il processo, la scoperta di errori e la correzione delle scelte operative. Sono infine da tenere presenti alcuni elementi molto interessanti, quali le «Recommendations for the processes and procedures for selecting and correcting selections of both [...] [collaboration with the private sector, instruments for promoting activities], rather than specific policy instruments or sectors» (p. 6).

Si pone allora un interrogativo di fondo: quale politica per l'innovazione?

Una prospettiva strategica è sostenuta in autorevoli contributi (RISE 2018; Mazzucato 2018), che mettono al centro una Mission Oriented Search and Innovation Policy. Il concetto di Mission Oriented Policy non è quello adottato nel secondo dopoguerra a livello nazionale, basato su grandi progetti in grado di mobilitare risorse materiali e intellettuali (Obiettivo Luna), bensì nel misurarsi con i *wicked problems*. In realtà, secondo Mazzucato si tratta di superare i SDGs (Sustainable Development Goals), le 7 Societal Challenges (Horizon 2020), le Focus Areas (Economia Circolare, digitalizzazione), che sono troppo ampie (pp. 10-11). «Missions should be broad enough to engage the public and attract cross-sectoral investment; and remain focussed enough» (Mazzucato 2018, 11), le cui componenti fondamentali sono: determinazione di macro-obiettivi, chiara enunciazione di *missions*, portfolio di progetti e sperimentazione nei processi bottom-up. Di qui deriva la sua proposta di cinque criteri per definire le missions:

1. Bold, inspirational with wide societal relevance.
2. A clear direction: targeted, measurable and time-bound.
3. Ambitious but realistic research & innovation actions.
4. Cross-disciplinary, cross-sectoral and cross-actor innovation.
5. Multiple, bottom-up solutions.

Queste analisi e riflessioni sono tra le fonti ispiratrici della parte finale di questo libro, dove si sviluppa un tentativo di articolare lo schema concettuale e operativo basilare nella definizione di traiettorie, mediante l'individuazione degli attori e quindi la descrizione di un'architettura con cui esercitare la funzione di *direzionalità dei processi innovativi*, incentrati su *Entrepreneurial Discovery Process* e determinati meccanismi valutativi.

Bibliografia

- Arrow, K.J. 1962. "Economic welfare and the allocation of resources for invention." In *The Rate and Direction of Inventive Activity*, edited by R. Nelson, 609-25. Princeton, NJ: National Bureau of Economic Research and Princeton University Press.
- Arthur, B. 2009. *The Nature of Technology. What it is and How It Evolves*. New York: The Free Press.
- Arute et al. 2019. "Quantum supremacy using a programmable superconducting processor." *Nature* 574: 505-10.
- Baas, N.A. 2009. "Hyperstructures Topology And Data." *Axiomates* 19: 281-95.
- Baas, N.A. 2012. "On structure and organization: an organizing principle." *International Journal of General Systems* 42 (2).
- Baas, N.A. 2015. *On Higher Structures* <<https://arxiv.org/pdf/1509.00403.pdf>> (2021-03-10).
- Bezdek, J.C. 2016. "Computational Intelligence. What's in a name. EEE Systems." *Man & Cybernetics Magazine* April: 4-14.
- Biamonte J. et al. 2018. "Quantum Machine Learning." *Nature* 549: 195-202.
- Bonn, I. 2005. "Improving strategic thinking: A multilevel approach." *Leadership and Organization Development Journal* 26 (5): 336-54.
- Brzezinski, Z. 1980. *Between two Ages. The role of America's power in the technetronic era*. New York: The Viking Press.
- Bush, V. 1946. *Endless Horizons*. Washington, DC: Public Affairs Press.
- Cho, A. 2019. "Google claims quantum computing milestone." *Science* 1364, September 27.
- Courtney, H.G., Kirkland, J., e S.P. Viguerie. 2000. *Strategy under uncertainty*. MGI. Deloitte Insights. 2020. "Intelligent clinical trials Transforming through AI-enabled engagement." <https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/22934_intelligent-clinical-trials/DI_Intelligent-clinical-trials.pdf> (2021-10-03).
- Ehlers, E., e T. Kraft. 2006. *Earth System Science in the Antropocene. Emergent Issues and Problems*. New York: Springer.
- Etzkowitz, H. 2008. *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action*. New York: Routledge.
- Etzkowitz, H., e L. Leydesdorff (eds.). 1997. *Universities and the Global Knowledge Economy: A Triple Helix of University-Industry-Government Relations*. London: Cassell.
- Foray, D. 2018. "Smart specialization strategies as a case of mission-oriented policy – a case study on the emergence of new policy practices." *Industrial and Corporate Change* 27 (5): 817-32.
- Gault, F. 2010. *Innovation Strategies for a Global Economy. Development, Implementation, Measurement and Management*. Cheltenham: Edward Elgar.

- Geels, F.W. 2020. "Micro-foundations of the multi-level perspective on socio-technical transitions: Developing a multi-dimensional model of agency through crossovers between social constructivism, evolutionary economics and neoinstitutional theory." *Research Policy* 152: 119894.
- Geels, F.W. et al. 2017. "Sociotechnical transitions for deep decarbonization." *Science*, 22 September.
- Gehrke, L. 2015. *A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective*. Hannover Messe, April 2015.
- Gibbons, M. et al. 1994. *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. New York: Sage.
- Guzzo, F., Gianelle, C., e E. Marinelli. 2018. "Smart Specialisation at work: the policy makers' view on strategy design and implementation." *S3 Working Paper Series* 15.
- Hausmann, R. 2008. "The Other Hand: High Bandwidth Development Policy." Center for International Development at Harvard University <<http://www.tinyurl.com/y5oh7ped>> (2021-10-03).
- Kurz, M. 2017. *On the Formation of Capital and Wealth: IT, Monopoly Power and Rising Inequality*. WP Stanford University, June.
- Kuznetsov, Y. e C. Sabel. 2011. "New Open Economy Industrial Policy: Making Choices without Picking Winners." The World Bank, «PREM Notes Economic Policy» 161, September.
- IPCC. 2019. "Global Warming of 1.5°C." <<https://www.ipcc.ch/sr15/>> (2021-10-03).
- Lagarde, C. 2014. *A New Multilateralism*, London: Richard Dumbleby Lecture.
- Lagarde, C. 2018. "New Economic Landscape, New Multilateralism." *Speech*, October 11.
- Lazonick, W. 2014. "Profits without Prosperity." *Harvard Business Review*, September.
- Liedtka, J.M. 1998. "Linking strategic thinking with strategic planning." *Strategy & Leadership* 26 (4): 30-5.
- Lombardi, M. 2003. "The evolution of local production systems: the emergence of the 'invisible mind' and the evolutionary pressures towards more visible 'minds'." *Research Policy* 32 (8): 1443-62.
- Lombardi, M. 2019a. "Oligopoli dei big data, ci salverà solo una nuova cultura Antitrust." *Agenda Digitale.eu*, 2 agosto.
- Lombardi, M. 2019b. "È un mondo più iniquo nell'era digitale: il punto sugli studi." *Agenda Digitale.eu*, 22 gennaio.
- March, J. 1991. "Exploration and Exploitation in Organizational Learning." *Organization Science* 2 (1), February: 71-87.
- Markard, J., Raven, R., e B. Truffer. 2012. "Sustainability transitions: an emerging field of research and its prospects." *Research Policy* 41 (6): 955-67.
- Mazzucato, M. 2018. *Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union. A problem-solving approach to fuel innovation-led growth*. Luxembourg: Publication Office of the European Union <https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/mazzucato_report_2018.pdf> (2021-10-03).
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. et al. 1972. *The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome. Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books.
- Mokyr, J. 2002. *The Gift of Athena*. Princeton: Princeton University Press.
- Mokyr, J. 2005. "Long-Term Economic Growth and the History of Technology." In *Handbook of Economic Growth*, edited by P. Aghion e S. Durlauf, vol. 1B: 1113-1183. Amsterdam: North Holland.

- Moon, B.-J. 2013. "Antecedents and outcomes of strategic thinking." *Journal of Business Research* 66: 1698-1708.
- Morozov, E. 2016. *Silicon Valley: I signori del silicio*. Torino: Codice Edizioni.
- Morozov, E. 2019. "Digital Socialism? The Calculation Debate in the Age of Big Data." *New Left Review* 116-117, March-June.
- Nelson, R.R. 1959. "The simple economics of basic scientific research." *Journal of Political Economy* 67 (3): 297-306.
- O'Donovan, D., e N.R. Flower. 2018. "The Strategic Plan is Dead. Long Live Strategy." *Stanford Social Innovation Review* January 10: 1-4.
- Olsson, O. 2000. "Knowledge as a Set in Idea Space: An Epistemological View on Growth." *Journal of Economic Growth* 5: 253-75.
- Olsson, O. 2005. "Technological Opportunity and Growth." *Journal of Economic Growth* 10: 35-57.
- Petit, N. 2016. *Technology Giants, The "Moligopoly" Hypothesis and Holistic Competition: A Primer*. WP, LCII: Liege Competition and Innovation Institute.
- Piaget, J. 1970. *Genetic Epistemology*. New York: The Norton Company.
- Popkin, G. 2017. "China's quantum satellite achieves 'spooky action' at record distance." *Science AAS* June 15.
- Rieffel, E.G. 2019. *Quantum Supremacy using a Programmable Supercomputing Processor*. Status Report From: NASA Ames Research Center.
- Rieffel, E., e W. Polak. 2000. "An Introduction to Quantum Computing for Non-Physicists." *ACM Comput. Surveys* 32: 300-35.
- Rip, A. 1995. "Introduction of New Technology: Making Use of Recent Insights from Sociology and Economics of Technology." *Technology Analysis & Strategic Management* 7 (4): 417-431.
- Rip, A., e R. Kemp. 1998. "Technological change." In *Human Choice and Climate Change*, edited by S. Rayner, e E.L. Malone, vol. 2, 327-99. Columbus, OH: Battelle Press.
- RISE. 2018. *Mission-Oriented Research and Innovation Policy A RISE Perspective*. Research, Innovation and Science Policy Experts High-Level Group. Brussels: European Commission.
- Rittel, H. W.J., e M.M. Webber. 1973. "Dilemmas in a General Theory of Planning." *Policy Science* 4: 155-69.
- Saunders, T., e G. Mulgan. 2017. "Governing with Collective Intelligence." *Nesta*, January <https://media.nesta.org.uk/documents/governing_with_collective_intelligence.pdf> (2010-10-03).
- Schot, J., e W.E. Steinmueller. 2018. "Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change." *Research Policy* 47: 1554-1567.
- Sheng, A., e X. Cheng. 2017. "The Global Age of Complexity." *Project Syndicate* June 17.
- Simon, H.A. 1976. "From substantive to procedural rationality." In *Methodological Appraisal in Economics*. edited by S.J. Latsis, 129-48. Cambridge: Cambridge University Press.
- Simon, H. A. 1978. "Rationality as process and as product of thought." *American Economic Review* 68: 1-16.
- Simon, H.A. 1996. *The Science of the Artificial*. New York: The Mit Press.
- Steward, F. 2012. "Transformative innovation policy to meet the challenge of climate change: socio-technical networks aligned with consumption and end-use as new transition arenas for a low-carbon society or green economy." *Technology Analysis & Strategic Management* 24 (4): 3331-343.

- Teece, D.J. 2017. "Explicating Dynamic Capabilities: The Nature and Microfoundations of (Sustainable) Enterprise Performances." *Strategic Management Journal* 28: 1319-50.
- Teece, D.J. 2019. "A capability theory of the firm: an economics and (Strategic) management perspective." *New Zealand Economic Papers* 53 (1): 1-43.
- Teece, D.J., e G. Pisano. 1994. "The dynamic capabilities of enterprises: an introduction." *Industrial and Corporate Change* 3(3): 537-56.
- Wanzenböck I. et al. 2010. "A framework for mission-oriented innovation policy: Alternative pathways through the problem-solution space." *SOCArXiv Papers*, February 19.

Traiettorie tecno-economiche

In un panorama tecno-economico in profondo cambiamento è difficile, ma non impossibile, individuare traiettorie, che possono essere numerose in ragione dell'intensa dinamica come quella odierna, anche se tendono a prevalere informazioni parziali e ambigue. Nelle pagine successive cercheremo di individuare alcune tendenze di fondo, che definiamo traiettorie in quanto si tratta di modelli concettuali per la messa fuoco di problemi, sulla base dei quali si sviluppano nuove conoscenze, tecnologie e strumenti, la cui elaborazione richiede appunto intelligenza strategica e *adaptive strategic thinking*. Ci soffermeremo su quelli che, alla luce dell'analisi svolta, appaiono i trend evolutivi potenzialmente più rilevanti, che collochiamo nei livelli di incertezza 3 e 4 nello schema concettuale di MGI (Courtney, Kirkland e Viguerie 2000).

Peraltro lo stesso MGI (2019) riprende inconsapevolmente la metafora della navigazione (*navigating the world of disruption*) per descrivere un quadro evolutivo sul piano geo-politico, caratterizzato dall'erosione delle tradizionali fondamenta del contratto sociale post-bellico, in seguito alla diffusione delle tecnologie digitali e all'emergere di potenti forze globali.

In questo volume ci limitiamo ad indicare alcune direttrici tecno-economiche, tali da poter essere assunte come punti di riferimento per disegni di *innovation policy*. Avanziamo a tale scopo una proposta metodologica, una serie di strumenti operativi e architetture funzionali d'intervento mirati per ambiti tecnico-scientifici e specifici processi decisionali.

Mauro Lombardi, University of Florence, Italy, mauro.lombardi@unifi.it, 0000-0002-3234-7039

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Mauro Lombardi, *Traiettorie tecno-economiche*, pp. 113-132, © 2021 Author(s), CC BY 4.0 International, DOI 10.36253/978-88-5518-310-9.08, in Mauro Lombardi, *Transizione ecologica e universo fisico-cibernetico. Soggetti, strategie, lavoro*, © 2021 Author(s), content CC BY 4.0 International, metadata CC0 1.0 Universal, published by Firenze University Press (www.fupress.com), ISSN 2704-5919 (online), ISBN 978-88-5518-310-9 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-310-9

Introduzione: Proposta metodologica, proprietà, attori, architettura funzionale, strumenti operativi-indicatori

Lo scenario odierno di computazione ubiquitaria e iperconnettività globale genera continuamente flussi informativi; pertanto nel produrre un bene o un servizio occorre perseguire simultaneamente molteplici linee di attività:

- *monitorare* costantemente la frontiera delle conoscenze tecnico-scientifiche;
- *mettere bene a fuoco* i problemi risolti e quelli da risolvere, funzioni da svolgere e performance da ottenere;
- *analizzare* le interdipendenze sistemiche tra le molteplici componenti delle varie sequenze di attività e funzioni da scegliere;
- *selezionare* attentamente le tecnologie appropriate per i temi emersi nei precedenti passaggi.

Dai quattro punti si deduce logicamente una peculiare concezione dell'impresa, quindi dell'Entrepreneurial Discovery Process (EDP), come unità d'analisi e punto di congruenza tra insiemi di flussi fisici, informativi ed energetici, tra i quali realizzare un *matching dinamico* in relazione ad un ambiente in continua evoluzione. In sostanza è necessario perseguire la congruenza dinamica tra comportamenti/variabili tecno-economiche del prodotto/processo e variabili ambientali (evoluzione e cambiamenti dei paradigmi tecno-economici).

A questo fine è importante che l'impresa così concepita acquisisca alcuni requisiti fondamentali:

- capacità di percepire e interpretare i segnali provenienti dall'ambiente;
- flessibilità operativa e capacità di adattarsi ad un ambiente evolutivo;
- adozione di modelli cognitivi idonei ad acquisire e generare nuove conoscenze.

La *funzione imprenditoriale* nell'orizzonte odierno richiede, pertanto, capacità di coordinamento strategico di competenze da attivare per la risoluzione di problemi connessi alle traiettorie definite.

La *funzione di coordinamento strategico* a sua volta dipende da alcune caratteristiche:

- propensione ad estrarre input da processi inferenziali in domini conosciuti non controllati direttamente, mediante obiettivi di performance multidimensionali e business da definire sulla base di strutture interattive interne ed esterne;
- attitudine a promuovere e favorire strutture interattive multi-scala in molti campi tecnico-economici;
- tendenza ad adottare un modello sistemico aperto, incentrato su una pluralità di sotto-sistemi, in parte indipendenti ma connessi su temi progettuali e strategici;
- *Open minded*, cultura manageriale, pubblica e privata, con elevata attitudine a catalizzare energie materiali e immateriali di matrice eterogenea, in vista di obiettivi non ben definiti a priori, ma talvolta la funzione catalizzatrice è

un'opera -per così dire- di ingegneria inversa: il punto di partenza è una visione quasi irrealizzabile, che induce particolari individualità a ricercare le competenze idonee per avviare processi di ricerca esplorativa verso l'ignoto (Lombardi e Macchi 2016).

In definitiva, quindi, si tratta di un'attività imprenditoriale svolta da un attore (individuale o micro-collettivo) in possesso di informazioni/intuizioni rilevanti, come base per l'organizzazione di strutture interattive a vari livelli. Tale attore deve al tempo stesso essere dotato di *capabilities* per l'esercizio di leadership strategico-progettuale. Non un secondo Leonardo da Vinci, forse non riproducibile nel contesto tecnico-scientifico attuale, bensì una leadership con precise caratteristiche psicologiche: fermezza nella visione, apertura mentale, visione sistemica e adattativa, *discovery-oriented* nell'individuare opportunità di mercato e potenzialità tecnologiche, confronto incessante con la frontiera.

Per misurarsi con le sfide globali odierne l'EDP ha un banco di prova immediato, cioè delineare tendenze rispetto alle quali definire strategie flessibili, adattative e strumenti per valutare ipotesi di sperimentazione per ciascuna traiettoria.

1. I traiettoria: verso la *smart specialisation*

Nello scenario descritto, in cui i cambiamenti possono essere introdotti dall'infinitamente piccolo alla scala astronomica, le attività umane sono destinate a cambiare profondamente. Uno degli elementi fondamentali è la pervasività delle tecnologie dell'informazione, che costituiscono una 'tecnologia di portata generale' (General Purpose Technology, GPT). Il concetto di GPT è stato introdotto da Bresnahan e Trajtenberg (1995, 84): «The central notion is that, at any point of time, there are a handful of 'general purpose technologies' (GPT's) characterized by the potential for pervasive use in a wide range of sectors and by their technological dynamism». Successivamente è stato ripreso, tra gli altri, da Lipsey et al. (2005, cap. IV) e da Jovanovic e Rousseau (2005). Ai nostri fini adottiamo la definizione degli ultimi due, che individuano tre caratteristiche della GPT: 1) pervasività; 2) incentivo al continuo miglioramento, nel senso che evolve incessantemente con diminuzione dei costi per i suoi utilizzatori); 3) generatrici di innovazione, in quanto facilitano l'invenzione di nuovi prodotti e processi.

Il connubio di hardware sempre più miniaturizzato e di sistemi algoritmici, presenti ovunque nell'ambiente (*ambient intelligence*), dà origine a dispositivi in grado di indurre mutamenti dappertutto, proprio perché producono ed elaborano informazioni senza sosta. I sistemi economico-produttivi si trasformano in sistemi socio-tecnici organizzati come reti di reti attraverso dinamiche di auto-organizzazione a livello globale.

In questo orizzonte l'analisi delle organizzazioni e delle loro attività, dalla progettazione alla realizzazione, cambia sostanzialmente, perché il focus non può essere un'entità compatta, che raggruppa funzioni, operazioni, task, ben-

si la sequenza di operazioni economico-produttive, le quali frequentemente si intersecano, sovrappongono, comunque interagiscono. La discontinuità è profonda, perché l'approccio sequenziale comporta una ridefinizione strategico-operativa: per ottenere un output, di cui all'inizio si ha solo un'idea, successivamente elaborata in forma di progetto, si sviluppa un processo ad elevata dimensionalità, come sostiene Hausmann (2008, 15) a proposito della *smart specialisation*, mettendo in luce l'alto numero di variabili che influenzano l'evoluzione delle conoscenze su cui si basa il processo economico-produttivo, dove le interdipendenze tra le variabili da considerare rende lo spazio delle decisioni complesso, con la conseguenza dell'emergere di problemi di coordinamento (pp. 17-18) specialmente in un processo di sviluppo che si configura «as a co-evolution of products and capabilities». È a questo punto che Hausman propone l'interrogativo al centro della nostra riflessione: qual è il ruolo della «policy in a high-dimensional world?».

La riduzione dell'elevata dimensionalità per le imprese e le organizzazioni private in generale tradizionalmente avviene mediante il contenimento dello spazio delle decisioni a tre variabili: prezzo, profittabilità, mercato dei capitali, attraverso cui arrivano i segnali generati dalla dinamica tecno-economica. Questo modello mentale tridimensionale ha gravi limiti soprattutto in fasi di trasformazione strutturale, quando le dimensioni dello spazio decisionale sono molte e in gran parte incognite.

Quale dunque lo spazio decisionale per le politiche pubbliche?

Il punto da cui partire oggi pensiamo sia l'idea che la *smart specialization* è un processo (Foray 2018, 818) e la

Transformative activity is a key concept. It is neither an individual project nor a sector as a whole but rather a collection of innovation capacities and actions that have been “extracted” as it were from an existing structure or several structures, to which can be added extra-regional capacities and that is oriented toward a certain structural change.

Entro questa prospettiva generale la questione decisiva è quella di identificare le priorità (Kuznetsov e Sabel 2011), tenendo presente che siamo di fronte ad innovazioni generate da molteplici fonti e che si diffondono trasversalmente in molti settori. Un compito fondamentale quindi, aggiungiamo noi, consiste nel contribuire a determinare la direzionalità dei processi innovativi facendo leva sulle attività 'trasformative' con maggiore capacità di generare effetti diffusi (*leverage e spillover effect*).

Occorre enfatizzare l'importanza a questo riguardo delle complementarità da sviluppare tra meccanismi propulsivi e attività di coordinamento dei processi innovativi, il che richiede funzioni di monitoraggio per la correzione degli errori, la rimozione degli ostacoli, la fluidificazione delle scelte e della loro attuazione, consapevoli che non si tratta di effettuare scelte ottime in condizioni statiche e/o stazionarie. Lo spazio decisionale complesso, che evolve incessantemente grazie all'infrastruttura fisico-informativa globale, induce mutamenti nelle variabili decisionali, per cui risulta arduo – spesso addirittura impossibile

– individuare regolarità. Se inquadrriamo i processi decisionali come processi bottom-up basati sull’EDP¹ (Gómez Prieto et al. 2019), per i quali occorre definire appropriati strumenti di misurazione, si comprende agevolmente come il problema del coordinamento, la direzionalità e la verifica puntuale delle priorità siano fattori fondamentali. Occorre peraltro sottolineare che l’EDP si svolge in un contesto globale di flussi e interdipendenze, che rendono lo spazio concettuale per la risoluzione dei problemi un insieme topologico (Olsson 2000, 2005) aperto e in espansione, con ritmi imprevedibili di accelerazione e rallentamenti/stasi, su cui si devono misurare una serie di soggetti pubblici e privati, investitori e stakeholder sociali.

In un siffatto contesto è logico che, in assenza di input ‘direzionali’, diventi elevato il rischio di profonde divaricazioni decisionali, dovute alle differenze nel possesso e nelle capacità di acquisizione delle informazioni, con la conseguenza di rendere problematica l’evoluzione delle società, fino a produrre eventi ‘catastrofici’.

Questo discorso va tenuto presente in modo particolare per quanto riguarda le aree regionali e i Paesi dove prevalgono culture tecnico-produttive consolidate per i successi del passato, quindi restie ad effettuare cambiamenti per vari e comprensibili ragioni: difesa di patrimoni culturali, diffidenza rispetto all’ignoto, timori connessi all’apparente perdita di prestigio e di potere ecc.

La dinamica innovativa verso la *smart specialisation* richiede, invece, una profonda ed estesa trasformazione intersettoriale di attività, incentrate sull’esercizio di veri e propri EDP, a loro volta basati su una nuova *knowledge-base*, completamente diversa dal passato e estremamente diversificata. La sua evoluzione avviene inevitabilmente nell’ambito di strutture interattive che danno origine a output *multi-technology* e *multi-knowledge domain*.

Focus Area:
Industria 4.0

Mission:
Rappresentazione digitale di processi e prodotti

Attori:
Imprese medio-grandi
Reti di imprese
Centri di Ricerca
Entità erogatrici di KIBS

¹ Così definita da Marinelli e Perianez-Forte (2017, 5): EDP «as a continuum process [...]». E ancora: «bottom up identification of investment-priorities on research and innovation, within the design of a Smart Specialisation Strategy»; sono ingredienti essenziali della traiettoria verso la smart specialization.

Indicatori:

1. Impiego di AI.
2. % stimata di riduzione degli errori di processo e di output.
3. % stimata riduzione *bottlenecks* di processo.
4. % stimata riduzione dei costi per controllo di qualità continuo.
5. Utilizzo di modellazione con IA e *predictive maintenance*.

Focus Area:

Industria 4.0

Mission:

Nuovi materiali per riduzione *carbon footprint*

Attori:

Startup Innovative

Reti di Imprese

Centri di Ricerca

Indicatori:

1. Utilizzo genomica dei materiali.
2. Riduzione *carbon footprint* dei prodotti e dei processi.
3. Standard di sicurezza nel processo di lavoro.
4. Riduzione consumi di input.

Focus Area:

Economia Circolare

Mission:

EDP e piattaforma intersettoriale multi-settoriale e trans-locale

Attori:

Reti di imprese

Centri di Ricerca

Startup innovative

Indicatori:

1. Riduzione scarti e rifiuti (micro).
2. % reimpiego input materiali.
3. % impiego di materiali innovativi.
4. Riduzione consumi energetici.
5. Utilizzo di modellazione con IA.

2. Il traiettoria: digitalizzazione dei processi produttivi di beni e servizi. *Living in a networked world*

Il nucleo propulsivo, ormai acquisito a livello teorico e operativo, è la pervasività di dispositivi di *information processing* in grado di cooperare ed agire in rete (Geisberger e Broy 2015, cap. 1). I nessi dinamici tra potenza computazionale e strumenti di Intelligenza Artificiale costituiscono la trama di fondo dell'universo fisico-cibernetico, precedentemente indicato. Siamo in condizioni di realizzare un'intelligenza distribuita che auto-organizza scambi informativi, indipendentemente dall'intervento continuo degli umani, anzi i dispositivi programmati sono in grado di scambiare in formazioni, auto-diagnosticarsi e trarre conseguenze in termini di pattern evolutivi su cui intervenire.

Una traiettoria che può essere delineata con sufficiente attendibilità sul piano tecnico-scientifico e logico è la creazione di *sistemi fisico-cibernetici gerarchici e annidati*², che connettono vari livelli delle sequenze economico-produttive, dei sistemi urbani, degli apparati logistici multi-scala. È di grande interesse la trasversalità del loro impiego e la interoperabilità multi-modale, che apre un grade spazio esplorativo per la progettazione di processi di produzione e l'erogazione di un enorme potenziale di servizi³.

Focus Area:
Living cities

Mission:
Ristrutturazione Logistica urbana

Attori:
Enti Pubblici
Imprese manifatturiere
Imprese Commerciali e KIBS
Istituzioni

Indicatori:

1. Rappresentazione computazionale 'reti di flussi'.
2. Stima dei sotto-sistemi urbani e del carico energetico.
3. Stime della riduzione di consumi energetici e di *carbon footprint* per progetti coordinati di riorganizzazione dei flussi di approvvigionamento.

² «The term Cyber-Physical Systems refers to embedded systems, i.e. devices, buildings, vehicles and medical equipment, as well as logistics, coordination and management processes and Internet services that – use *sensors* – interpret and store data [...] are connected to each other via digital networks [...] – use data and *services* [...] – possess a range of *multimodal human-machine interfaces*» (Geisberger e Broy 2015, 25-26).

³ Per ulteriori approfondimenti dei temi trattati in questo paragrafo si rinvia a Lombardi (2017) e ai contributi apparsi su Agenda Digitale.eu nel 2018-2019-2020, tutti scaricabili.

4. Valutazione della riduzione di traffico urbano e della qualità dell'aria per micro-aree oggi a rischio di congestione.

Focus Area:

Living cities

Mission:

Valorizzazione su nuove basi negozi di vicinato e micro-filiere di qualità

Attori:

Enti pubblici

Piccoli Esercizi commerciali

Reti di negozi

Reti di aziende a livello di città metropolitane

Associazioni di cittadini

Indicatori:

1. Stabilizzazione e possibile aumento dei negozi di prossimità.
2. Incremento delle micro-funzioni di servizio alla popolazione.
3. Riduzione traffico veicolare su micro-scala.
4. Miglioramento qualità dell'aria.
5. Organizzazione di nuovi flussi di approvvigionamento su basi 'intelligenti'.
Micro-piattaforme per l'incontro di domanda e offerta, impiego di mezzi di trasporto con minore consumo energetico e da fonti rinnovabili.

Focus Area:

Living cities

Mission:

Riassetto funzionale di aree urbane

Attori:

Enti pubblici

Associazioni imprenditoriali

Grandi Imprese

Associazioni di cittadini

Indicatori:

1. Effetti di flusso della redistribuzione di funzioni al fine di ridurre i flussi di persone e veicoli, oltre che per rispondere ad esigenze di imprese e popolazione.
2. Stime dei flussi e della riorganizzazione logistica con modellazione computazionale.
3. Stime della riduzione di *carbon footprint* a livello urbano e di micro-area.

3. III Traiettorie: sostenibilità ambientale e resilienza sistemica

Ciò che attualmente sta vivendo l'Umanità in conseguenza della pandemia da Covid-19 enfatizza al massimo livello di allarme due questioni di importanza essenziale per l'evoluzione del Pianeta Terra: la sostenibilità ambientale delle attività economico-produttive umane e la resilienza dei sistemi, così definita dalle National Academies USA: «the ability to prepare and plan for, absorb, recover from, and more successfully adapt to adverse events» (National Academies 2012, 16). Questa definizione è fatta esplicitamente propria da Acatech (Thoma 2014, 89): «A society can be described as resilient if it has the ability to defend itself against actual or potential adverse events, prepare and plan for them, cope with and recover from them and continuously improve its ability to adapt to them».

Lo sviluppo sostenibile richiede la trasformazione dell'economia a livello globale: «Sustainable development is not a destination, but a dynamic process of adaptation, learning and action. It is about recognizing, understanding and acting on interconnections – above all those between the economy, society and the natural environment» (UN 2012, 6) e «Achieving sustainability requires us to transform the global economy. Tinkering on the margins will not do the job» (UN 2012, 7).

Joan Copper dell'Università di Warwick, uno degli estensori del Rapporto Acatech (Thoma 2014) chiarisce che resilienza e sostenibilità non sono sinonimi, perché la seconda incorpora la prima, come risulta dall'ampia analisi svolta delle iniziative progettuali di resilienza a livello internazionale (Thoma 2014). Il concetto di sviluppo sostenibile è sempre quello definito dal famoso Rapporto Brundtland (1987) per le Nazioni Unite⁴, nel quale sono anche indicati principi, oltre che direttive e soluzioni a livello globale, che siano giuste, sostenibili dal punto di vista economico e ambientale. La resilienza ha d'altro canto tre proprietà fondamentali: persistenza, adattabilità e trasformabilità (Miller et al. 2010, 4).

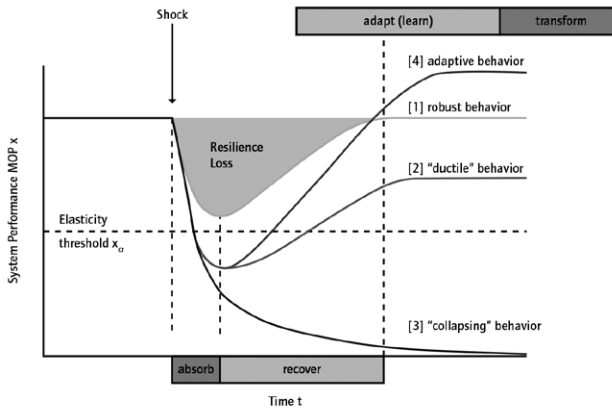
Dagli spunti di analisi e riflessione esposti si evince che in un mondo iperconnesso è necessario integrare in un solo sistema simbiotico gli aspetti tecnologici, legali, economici, politici e sociali (Thoma 2014, 51). In estrema sintesi, la prospettiva sistemica è essenziale, l'attenzione alla complessità derivante dalle interdipendenze è decisiva, insieme alla capacità adattativa come sostiene anche Edwards (2009, 18): «The capacity of an individual, community or system to adapt in order to sustain an acceptable level of function, structure and identity».

Un altro punto da mettere in rilievo è quello delle infrastrutture, alcune *failures* delle quali (Italia compresa) sono analizzate da Kröger (2011), a cui si deve una definizione più tecnica di resilienza, del tutto coerente con quella più generale prima riportata: «the ability of a system or a system-of-systems to resist/absorb initial adverse effects of a disruptive (shocking or creeping) internal or external event/force (stressor) and the time/speed at which it is able to return to an appropriate functionality/equilibrium» (in Thoma 2014, 68-69). Lo stesso

⁴ «Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs» (cap. 2.1, unformatted Report).

Kröger ha elaborato una rappresentazione grafica molto interessante del grado di resilienza di un Sistema rispetto ad uno shock (Fig. 1).

Alla luce della sintesi dei concetti basilari appena esposti, del tutto congruenti con quelli introdotti nei paragrafi iniziali, è da ritenere che la traiettoria della resilienza sistemica, declinata ad ogni livello, sia assunta come una delle priorità fondamentali delle politiche per l'innovazione, anche perché riassume in sé quasi tutti gli aspetti considerati finora.



Four essential patterns, (1) absorbing a shock without collapsing, (2) recovering from a shock to gain structure, functions and essential feedback loops again, (3) adapting through selforganization and learning, and (4) eventually transforming into a different system by altering structures, functions and feedback loops.

Figura 1 – Come rispondono a uno shock sistemi resilienti e non resilienti. [Fonte: Thoma 2014, 70]

Focus Area:

Risparmio energetico e riduzione delle emissioni di CO₂

Mission:

Risparmio energetico e riduzione di emissioni di CO₂

Attori:

- Enti Pubblici
- Famiglie
- Grandi Imprese
- Associazioni di cittadini
- Organismi di quartiere
- Società di progettazione

Indicatori:

1. Retrofitting energetico e bio-climatico di edifici pubblici e privati, aree residenziali.

2. Calcolo della riduzione del consumo di energia.
3. Stime della riduzione di *carbon footprint*.
4. Creazione e incremento di reti progettuali per ridurre l'impatto ambientale e aumentare la resilienza urbana.
5. Startup innovative multidisciplinari.

Focus Area:

Risparmio energetico e riduzione delle emissioni di CO₂

Mission:

Sviluppo di Entrepreneurial Discovery Process in ambito energetico

Attori:

Enti Pubblici

Famiglie

Grandi Imprese

Associazioni di cittadini

Organismi di quartiere

Società di progettazione

Indicatori:

1. Quantità di energia da rinnovabili prodotta autonomamente.
2. Numero di *microgrid* create in sotto-sistemi urbani e in Comunità Locali a varia scala territoriale.
3. Stime della riduzione di *carbon footprint*.
4. Startup innovative multidisciplinari per la creazione, gestione e manutenzione tramite piattaforme aperte.

Focus Area:

Risparmio energetico e riduzione delle emissioni di CO₂

Mission:

Rigenerazione aree industriali

Attori:

Enti Pubblici

Imprese

Partnership pubblico-privato

Reti di Imprese a varia scala

Indicatori:

1. Stime energetiche del *retrofitting* di edifici in aree industriali per il risparmio e la produzione di energia da rinnovabili e/o impiego della cogenerazione.
2. Stima della diminuzione dei costi per le imprese.

3. Calcolo degli investimenti in nuovi materiali (isolamento termico, assorbimento da solare ecc.).
4. Stime della riduzione di *carbon footprint* di area.

Focus Area:

Resilienza sistemica

Mission:

Integrazione di flussi informativi, Management della transizione sistemica

Attori:

Enti Pubblici

Istituzioni

Grandi Imprese

Centri di Ricerca

Enti Formativi di Alto Livello

Indicatori:

1. Creazione di modelli integrati di sistemi a varia scala: sotto-sistemi urbani, sistemi urbani, livello regionale.
2. Modelli computazionali delle reti di reti: idrauliche, elettriche, energetiche, informative.
3. Elaborazione di scenari evolutivi con simulazioni di *bottlenecks, failures* minori e sistemiche.
4. Previsione di implicazioni e costi di eventi 'catastrofici'.
5. Ipotesi di meccanismi per consentire assorbimenti degli shocks.

4. IV Traiettorie: Intelligence Analysis. Servizi ad alta intensità di conoscenza

Un'implicazione logica dell'analisi dell'evoluzione sistemica e complessa dello spazio informativo globale è la seguente: le attività non direttamente manipolative dei processi fisici assumono un'importanza decisiva, pur con una profonda asimmetria al loro interno. Da un lato avranno preminenza quelle a più alto contenuto di conoscenza, in quanto capaci di influenzare e controllare –entro certi limiti – i processi fisici, e dall'altro vi saranno attività a contenuti conoscitivi di natura prevalentemente operativa, cioè servizi tradizionali, che assumeranno un ruolo residuale, nonostante la loro grande estensione quantitativa (assistenza alla persona, mansioni esecutive in molti ambiti della vita socio-economica). Non è peraltro da escludere la permanenza di attività 'di nicchia' di significativa importanza funzionale (manutenzione e controllo di dispositivi meccanici, elettromeccanici, idraulici in molti settori produttivi, attività pratico manipolative). Non essendo questa la sede per un approfondimento della questione relativa alle asimmetrie, ci concentriamo sulla necessità, a livello individuale e collettivo, di input ad alta intensità di conoscenza. Un'attenzione precipua va assegnata allo sviluppo dell'*Intelligence Analysis* (Deloitte Insights 2019) e quindi delle attività

che richiedono input tecnico-scientifici interdisciplinari e trans-disciplinari per esplorare soluzioni innovative in merito ai problemi e alle sfide generate dalle traiettorie già indicate, cioè I4.0, intesa come digitalizzazione di processi e prodotti *multi-technology* e *multi knowledge-domain*, nonché lo sviluppo di tecnologie di IA da impiegare per la realizzazione di cooperazione tra umani e macchine, mediante *Human-Computer-Interaction* e *amplified intelligence*. In sostanza, la traiettoria ipotizzata consiste nella tendenza verso l'impiego di agenti artificiali che siano in accordo con finalità a beneficio dell'Umanità, potenziando le capacità interpretative degli esseri umani, senza sostituirsi ad essi. A tale scopo un'attenzione particolare deve essere prestata agli sviluppi e alle applicazioni delle reti neurali di ultima generazione (cfr. cap. 4, par. 5), il cui fine dovrebbe consistere nel rafforzare l'Umanità nello svolgere alcune funzioni: 1) estrarre e analizzare le informazioni da mezzi audiovisivi distribuiti a varia scala territoriale; 2) sviluppare l'automazione e il controllo dei processi lungo le sequenze economico-produttive e logistiche; 3) sostenere e rendere più affidabili processi decisionali di grande rilievo, per es. nel rispondere ad eventi catastrofici e quindi potenziare la resilienza sistemica; 4) incrementare la capacità previsiva circa l'evoluzione dei sistemi multi-scala tramite lo sviluppo al tempo stesso della cultura manageriale appropriata e l'impiego diffuso di *predictive analytics* per ogni tipologia di sistema. Nella traiettoria in questione diventa essenziale, infatti, la diffusione di cultura e tecniche di management dei sistemi complessi in modo pervasivo nelle organizzazioni di ogni tipo; 5) realizzare sistemi di *Augmented Reality* e *Virtual Reality* sia in tutti i processi di lavoro (ad es. per problemi di sicurezza e di controllo ambientale), sia nelle attività di fruizione dei beni artistici e culturali (mostre, Musei, sistemi urbani di pregio); 6) realizzare piattaforme e progetti per l'Economia Circolare seguendo gli approcci più consolidati: Circular Economy della Fondazione Ellen MacArthur Foundation, Cradle to Cradle, Blue Economy, Industrial Symbiosis.

Focus Area:

Sviluppi dell'Intelligenza Artificiale e della Human Computer Interaction

Focus Area:

Sviluppi dell'Intelligenza Artificiale e della Human Computer Interaction

Attori:

Enti Pubblici

Istituzioni

Enti Museali e Organismi preposti a beni artistici e archeologici

Centri di Ricerca

Imprese turistiche

Indicatori:

1. Numero di robot introdotti dalla 'robotica avanzata' in ambito industriale. Stima dei risultati qualitativi e quantitativi (riduzione pezzi difettosi, minori consumi energetici, controlli pervasivi di qualità, minori costi).

2. Augmented reality e Virtual Reality nella fruizione di beni artistici (musei) e paesaggistici (visite di aree urbane di pregio).
3. Riorganizzazione dei flussi turistici con finalità programmatiche e redistribuzione dei flussi con il risultato di una fruizione di più alto livello.
4. Previsione di implicazioni e costi di eventi ‘catastrofici’.
5. Ipotesi di meccanismi per consentire assorbimenti degli shocks.

5. V° Traiettorie: Sperimentazione clinica. Predictive Analytics e trattamenti sanitari. Outbreak Analytics (Polonsky et al. 2019)

Gli sviluppi dell’IA hanno generato impulsi notevoli in molti campi disciplinari delle *Life Sciences* e dei trattamenti clinici, per cui si aprono grandi potenzialità ai fini della prevenzione e la cura delle malattie, soprattutto grazie a nuovi strumenti di analisi predittiva di andamenti individuali e dinamiche collettive (epidemie, eventi atmosferici, episodi catastrofici).

Utilizziamo a fini puramente euristici la rappresentazione dei trend attuali e di quelli potenziali in campo sanitario, secondo proiezioni di Deloitte Insights (Figg. 2-3-4).

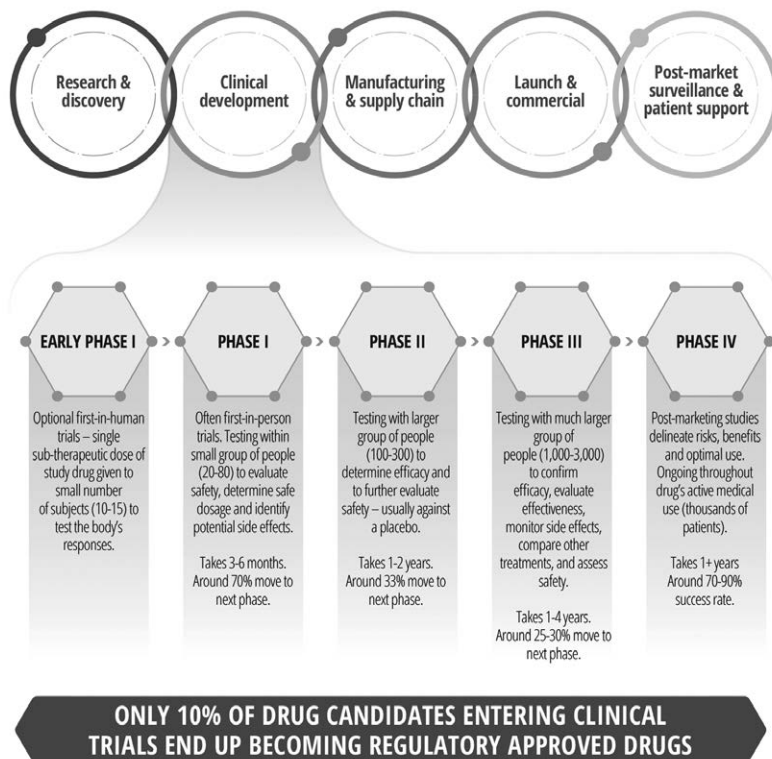


Figura 2 – L’approccio tradizionale allo sviluppo clinico è lungo e ha successo solo nel 10% dei casi. [Fonte: Deloitte Insights 2020, fig. 1]

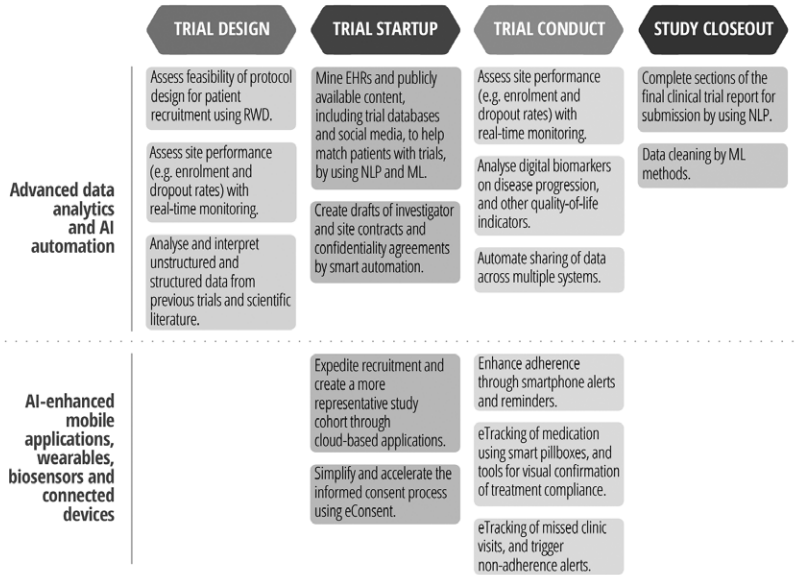


Figura 3 – Applicazioni dell’AI in campo sanitario. [Fonte: Deloitte Insights 2020, fig. 2]

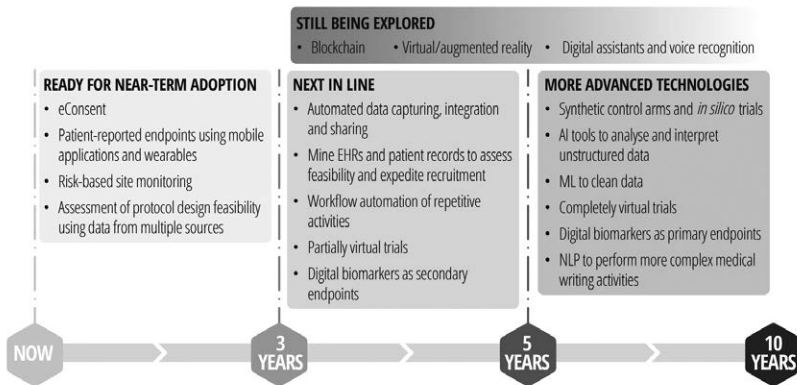


Figura 4 – Previsione dei tempi di adozione delle tecnologie AI. [Fonte: Deloitte Insights 2020, fig. 5]

Emerge uno scenario futuro ricco di input innovativi multi-disciplinari (bio-chimica, chimica, fisica, computer science, sociologia, *strategic thinking*), i quali risultano pienamente coerenti con gli spunti di riflessione che abbiamo cercato di sviluppare.

Focus Area:

Sviluppi dell'Intelligenza Artificiale e della Human Computer Interaction

Mission:

Applicazione dell'AI in ambito sanitario

Attori:

Istituzioni

Imprese Private

Centri di Ricerca

Associazioni del volontariato

Onlus

Indicatori di attività e di output:

1. Rete di Centri di Integrazione di flussi informativi da database.
2. Data Analytics.
3. Modelli previsivi dei trend sanitari emergenti nella popolazione umana e nel mondo animale
4. Screening periodico di malattie epidemiche.
6. Analisi sistematiche di sperimentazioni cliniche, specie se di frontiera.
7. Modelli epidemiologici.
8. Team di competenze multiple per elaborare visioni e strategiche di evoluzione sistemica.

6. VI Traiettorie: Bioeconomia, agro-alimentare

Bioeconomia

Nell'era della rarefazione delle risorse del Pianeta, dei cambiamenti climatici e di problemi nell'accesso al cibo per ampie fasce della popolazione mondiale, vi è un interesse sempre più forte degli studiosi per la Bioeconomia

ranging from the usage of mostly untapped feedstock (CO₂, waste, algae), optimized microorganisms, digitalization in farming, social innovations (urban gardening, collective agriculture, etc.). Bio-based innovations are not only relevant in high-tech sectors, but also in traditional segments, such as the provision of new materials in textiles (e.g. spider silk) or developing new protein alternatives in the food sectors (Wydra 2020, 1).

Naturalmente ai fini delle politiche per l'innovazione è importante comprendere bene quali attività sono incluse, al fine di poterle sottoporre a monitoraggio e misurazione abbastanza precisi. Wydra (2020) discute molti studi ed esperienze di politiche a livello internazionale, indicando il fatto che sono finora inserite nel concetto di bioeconomia solo attività che impiegano integralmente risorse derivanti da fonti biogeniche (es. biomassa), mentre sono escluse gli sviluppi di plastiche *bio-based* e biochimiche, con il risultato di non rendere gli indicatori del tutto precisi. Vi sono poi settori difficili da classificare come la carta e la cel-

lulosa. La varietà di definizioni porta ad includere una nutrita serie di comparti: agricoltura, alimentari, carta e cellulosa, input basati su risorse biogeniche nella chimica, plastiche. Gli indicatori impiegati sono quelli consueti: R&D, ricerca bibliometrica e analisi dei brevetti, risorse umane nella commercializzazione delle innovazioni (ovvero adozione e diffusione). Sulla base delle informazioni raccolte anche in altri studi sono individuate alcune traiettorie innovative: 1) sostituzione di combustibili fossili con materiali bio-based; 2) innovazioni che aumentano la produttività del settore primario; 3) nuovi e più efficienti impieghi di biomassa; 4) applicazioni di alto valore e minore impatto, ad esempio che riducano l'uso di sostanze tossiche.

La Bioeconomia è un insieme ad alto potenziale innovativo e può incidere in misura sostanziale all'interno dei processi finalizzati alla sostenibilità ambientale e alla resilienza sistemica. Per questi motivi è altamente auspicabile l'adozione di una definizione ampia e l'impiego di indicatori multipli, come avviene nella vasta letteratura analizzata in Wydra (2020).

Agro-alimentare

Nell'attuale contesto globale, interessato dalla pandemia da Covid-19, l'agro-alimentare diviene un ambito di rilevanza strategica e viene anch'esso a configurarsi come un insieme di sequenze di operazioni e task che interagiscono, si intersecano e sovrappongono. Particolare rilievo dunque assume la progettazione innovativa in molteplici forme (Galanakis et al. 2016): *open innovation* anche e soprattutto per le piccole e medie imprese, creazione di network per la sicurezza dei dati, la produzione e l'utilizzo di energia, l'introduzione di nuove emergenti tecnologie, l'impiego di un'ampia gamma di tecnologie che favoriscono la sostenibilità ambientale, sociale ed economica, lo sviluppo di *functional food*⁵, *la foodomics*⁶ (Picariello et al. 2012), che comprende una serie di discipline impiegate per valutare la composizione, gli effetti dell'applicazione di biotecnologie, l'impatto sui modelli di consumo e sulla popolazione, come si vede in figura 5.

Questa gamma di potenzialità tecnologiche potrebbe ulteriormente contribuire alla valorizzazione dell'enorme varietà e alto livello qualitativo delle produzioni regionali, esaltandone le proprietà e rafforzandone la proiezione sui mercati con strumenti di certificazione e controllo delle filiere non solo di mar-

⁵ «A food can be regarded as “functional” if it is satisfactorily demonstrated to affect beneficially one or more target functions in the body, beyond adequate nutritional effects, in a way that is relevant to either an improved state of health and well-being and/or reduction of risk of disease» (Ashwell 2002, 5).

⁶ «the recently born “foodomics” is to be intended as a global perspective of knowledge about foods, which covers the assessment of their composition, the effects of (bio)technological processes for their production, their modifications over time and the impact that food consumption has on human health. Food proteomics and metabolomics, along with their derived “omic” branches such as peptidomics, lipidomics and glycomics, are still evolving technologies capable of tackling the nature and the transformations of foods» (Picariello et al. 2012, 286).

chi noti, ma anche e soprattutto di microfilere di piccole e medie imprese locali mediante nuove tecnologie (Blockchain, piattaforme dedicate) e input manageriali innovativi (startup, unità di comunicazione specializzate nei nuovi media). Ciò potrebbe avvenire mediante strategie congiunte pubblico-privato.

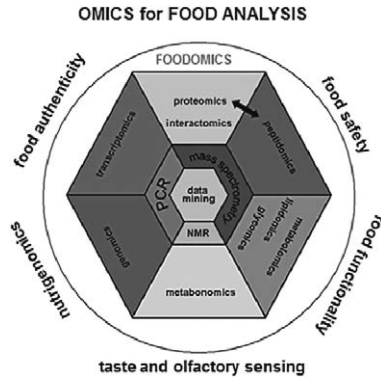


Figura 5 – Integrazione tra campi disciplinari ('omics') in grado di rappresentare gusto, olfatto e altre proprietà essenziali del cibo. [Fonte: Picariello et al. 2012, fig. 1]

È superfluo, ma doveroso, sottolineare la stretta correlazione tra questo tipo di iniziative strategiche e il *water-energy-food nexus*, a cui si aggiunge anche la razionalizzazione in termini di efficienza e sostenibilità dell'infrastruttura logistica, sulla quale va sviluppata una progettazione innovativa di alto livello qualitativo.

Focus Area:

Bioeconomia, Nuove tecnologie in agricoltura

Mission:

Sviluppo e diffusione, di attività con risorse da fonti biogeniche

Attori:

Piccole imprese private

Società cooperative e Associazioni tra Comuni rurali

Centri di Ricerca

Imprese

Indicatori:

1. Sostituzione di combustibili fossili con input *bio-based*.
2. Incrementi nella produzione nel consumo di *functional foods*.
3. Incrementi degli investimenti in *foodomics*.
4. Riduzione dell'uso di sostanze nocive per la salute umana e diffusione di tecniche di coltivazione *nature-oriented*.

Focus Area:
Agro-alimentare

Mission:
Nuove tecnologie nella produzione e diffusione di prodotti agricoli

Attori:
Enti pubblici
Istituzioni
Piccole imprese e cooperative agricole
Negozi di prossimità
Centri di Ricerca
Imprese agri-turistiche e turistiche
Unità Terziarie

- Indicatori:
1. Riduzione nell'uso combustibili fossili.
 2. Incrementi di produttività dopo l'introduzione di strumenti e metodi per l'agricoltura di precisione.
 3. Riduzione dell'uso di sostanze nocive per la salute umana e diffusione di tecniche di coltivazione *nature-oriented*.
 4. Piattaforme per la valorizzazione di output da micro-filiere e la certificazione dei prodotti (per es. mediante blockchain).
 5. Variazioni di fatturato.
 6. Numerosità delle micro-filiere aderenti.

Bibliografia

- Ashwell, M. 2002. *Concepts of functional food*. ILSI (International Life Science Institute) Europe Concise Monograph Series 1-40.
- Bresnahan, T., e M. Trajtenberg. 1995. "General purpose technologies 'Engines of growth?'" *Journal of Econometrics* 65 (1): 83-108.
- Bruntland, G.H. 1987. "Report of the World Commission on Environment and Development: our Common Future." <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>> (2021-10-03).
- Courtney, H.G., Kirkland, J., e S.P. Viguerie. 2000. *Strategy under uncertainty*. MGI.
- Deloitte Insights. 2019. *Future-of-intelligence analysis* <https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/6306_future-of-intel-analysis/DI_Future-of-intel-analysis.pdf> (2021-10-03).
- Deloitte Insights. 2020. "Intelligent clinical trials Transforming through AI-enabled engagement." <https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/22934_intelligent-clinical-trials/DI_Intelligent-clinical-trials.pdf> (2021-10-03).
- Edwards, C. 2009. *Resilient Nation*. London: Demos.
- Foray, D. 2018. "Smart specialization strategies as a case of mission-oriented policy – a case study on the emergence of new policy practices." *Industrial and Corporate Change* 27 (5): 817-32.

- Galanakis, C.M. (ed.). 2016. *Innovation Strategies in the Food Industry. Tools for Implementation*. Amsterdam: Elsevier.
- Geisberger, E., e M. Broy. 2015. *Living in a networked world. Integrated research agenda. Cyber-Physical Systems*. Acatech, German National Academy of Sciences Leopoldina.
- Gómez Prieto, J., Demblans, A., Palazuelos, e M. Martínez. 2019. *Smart Specialisation in the world, an EU policy approach helping to discover innovation globally*. EUR29773 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Hausmann, R. 2008. "The Other Hand: High Bandwidth Development Policy." Center for International Development at Harvard University <<http://www.tinyurl.com/y5oh7ped>> (2021-10-03).
- Kröger, W. 2011. "An Overview of Swiss Research on Vulnerability of Critical Infrastructure" In *European perspectives on security research*, hrsg. K.Thoma: 67-79. Berlin: Springer Verlag.
- Kuznetsov, Y. e C. Sabel. 2011. "New Open Economy Industrial Policy: Making Choices without Picking Winners." The World Bank, PREM Notes Economic Policy 161, September.
- Jovanovic, B., e P.L. Rousseau. 2005. "General purpose technologies." In *Handbook of Economic Growth*, edited by P. Aghion, S. Durlauf: 1182-224. Amsterdam: Elsevier.
- Lipsey, R.G., Carlaw K., e C. Bekar. 2005. *Economic Transformations: General Purpose Technologies and long-term economic growth*. Oxford: Oxford University Press.
- Lombardi, M. 2017. *Fabbrica 4.0: I Processi innovativi nel multiverso fisico-digitale*. Firenze: Firenze University Press.
- Lombardi, M., e M. Macchi. 2016. *I processi decisionali. Ricerca e innovazione per l'esplorazione dell'ignoto*. Firenze: Nerbini.
- Marinelli, E., e I. Parianez Forte. 2017. "Smart Specialisation at work: The entrepreneurial discovery as a continuous process" *JRC Technical Reports*, S3 Working Paper Series n. 12.
- MGI. 2019. "Navigating a World of Disruption." January 2019.
- Miller, F. et al. 2010. "Resilience and vulnerability: complementary or conflicting concepts?" *Ecology and Society* 15 (3): 11 <<http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/art11>> (2021-10-03).
- National Academies. 2012. *Disaster Resilience: A National Imperative*. Washington: National Academy Press.
- Olsson, O. 2000. "Knowledge as a Set in Idea Space: An Epistemological View on Growth." *Journal of Economic Growth* 5: 253-75.
- Olsson, O. 2005. "Technological Opportunity and Growth." *Journal of Economic Growth* 10: 35-57.
- Picariello, G. et al. 2012. "MS-Based 'Omics' in Food Technology and Biotechnology." *Food Technology Biotechnology* 50 (3): 286-305.
- Polonsky, J.A. et al. 2019. "Outbreak analytics: a developing data science for informing the science for informing the response to emerging pathogens." *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 374: 20180276.
- Thoma, K. 2014. *Resilience-Tech Project "Resilience by Design": a strategy for the technology issues of the future*. Acatech Study, April.
- UN. 2012. *United Nations Secretary-General's High-level Panel on Global Sustainability. Resilient People, Resilient Planet: A future worth choosing*, New York: United Nation.
- Wydra, S. 2020. "Measuring innovation in the bio-economy – Conceptual discussion and empirical experiences." *Technology in Society* 61: 101242.

Attori e strumenti delle politiche per l'innovazione

Nei capitoli precedenti sono stati impiegati, tra gli altri, i concetti di sistema complesso adattativo, universo fisico-cibernetico, sfide globali, che catturano aspetti di uno scenario a forte intensità evolutiva, rispetto alla quale è stato anche proposto un particolare *frame* di politiche dell'innovazione, in modo che gli attori possano misurarsi con alcune traiettorie tecno-economiche, che si profilano nell'orizzonte odierno.

In questo capitolo approfondiremo innanzitutto aspetti fondamentali degli attori sia da punto di vista teorico, che dal punto di vista empirico, prendendo in esame strategie e politiche poste in essere in alcune regioni italiane particolarmente dinamiche.

Successivamente esporremo meccanismi e modalità con cui, alla luce anche dell'esperienza italiana, gli attori possono direttamente misurarsi in modo innovativo con il complesso e incerto scenario globale.

1. Tipologie di comportamento dei sistemi umani

Gharajedaghi propone una matrice rappresentativa delle modalità strategiche e comportamentali dei sistemi umani in rapporto all'ambiente in cui agiscono (Tab. 1).

I concetti espressi sono esplicitamente ispirati a quelli elaborati da Ackoff (Ackoff, Emery 1972) per indicare come i sistemi reagiscono o meno alla dinamica ambientale, il mindset che orienta le loro azioni, gli strumenti concettuali con cui inquadrano gli eventi, il grado di influenza che riescono ad esercitare.

Tabella 1 – Classificazione dei comportamenti sistemici: passivo, reattivo, orientato agli obiettivi, reattivo.. [Fonte: Gharajedaghi 2011, tab. 2.1]

| Behavior (process) | Means (structure) | Ends (function) |
|--------------------------------------|---|---|
| PASSIVE Tools | FIX One structure in all environments No choice | FIX One function in all environments No choice |
| REACTIVE Self-maintaining systems | Variable and Determined Different structures in different environments No choice of means | FIX One function in all environments No choice of ends |
| RESPONSIVE Goal-seeking systems | Variable and Chosen Different structures in same environment Choice of means | Variable Determined Different functions in different environments No choice of ends |
| ACTIVE Purposeful systems | Variable and Chosen Different structure in the same environment Choice of means | Variable and Chosen Different function in same environment Choice of ends |

Lo schema ci appare particolarmente appropriato per analizzare l'evoluzione dei sistemi produttivi nazionali e locali, individuandone le tipologie strategico-comportamentali, al fine cercare di comprendere le loro potenzialità nella fase storica che stiamo attraversando.

Questa riflessione è indotta dalla condivisione della tesi sostenuta da Barzotto et al. (2019) a proposito delle regioni che presentano un gap rispetto ad una frontiera tecnico-scientifica in continuo avanzamento, perché non posseggono le *technological capabilities* e non appartengono a reti, su scala nazionale o internazionale, che potrebbero consentire ad esse un continuo *upgrading* delle competenze. In effetti, vi sono fattori che ostacolano fortemente le azioni dirette a superare il divario e quindi ad affrontare le sfide odierne: la combinazione di «weak initial endowments of technology, social/business networks, poor governance and institutional failures that typify lagging regions» (Barzotto et al. 2020) impedisce a queste ultime di realizzare strategie di avanzamento tecnico-scientifico, in modo da cogliere le potenzialità esistenti. È pertanto condivisibile la tesi che, per tenere il passo con la dinamica tecno-economia accelerata, un sistema regionale innovativo debba realizzare 4 precondizioni: 1) sviluppo di *capabilities*; 2) realizzazione di processi di networking multi-scala; 3) perseguimento di una *governance* all'altezza delle sfide; 4) 'coerenza istituzionale' tra sistemi regionali e aree metropolitane (Morgan 2018).

Lo sviluppo e l'intensità di queste precondizioni è ciò che di fatto determina la capacità di risposta dei sistemi regionali alla dinamica evolutiva e ne caratterizzano le opzioni possibili in termini di prospettiva strategica. Adottando lo schema concettuale di Gharajedaghi (2011) possiamo sostenere che minore sarà la dotazione in termini di *capabilities*, di connessioni, di strategie di sistema e maggiore sarà la probabilità che le regioni adottino un comportamento

reattivo, cioè determinato unicamente dall'ambiente esterno (*self-maintaining systems*). Con la strutturazione crescente degli elementi appena identificati, la regione riuscirà dapprima ad esercitare una capacità di risposta in grado di influire sulle spinte evolutive esogene (*goal seeking*), per poi consolidare la propria *knowledge base*, e sviluppare strategie e forze autonome in risposta alle variazioni ambientali (*purposeful system*).

Riteniamo proficuo adottare questo schema per interpretare come alcune regioni italiane hanno reagito a molteplici processi di cambiamento strutturale: intensità della competizione globale, mutamenti dei modelli di funzionamento di imprese e settori, dinamica tecno-economica sintetizzata nella I4.0. Il materiale analizzato concerne l'evoluzione delle aree di riferimento prima dell'esplicarsi delle quattro crisi concomitanti, introdotte nel capitolo 1. È comunque intuibile che la tipologia strategico-comportamentale a cui ciascuna di esse viene ricondotta non ha subito, mentre scriviamo queste note, una sostanziale alterazione.

2. I modelli sistemi di alcune regioni italiane

Emilia-Romagna

Sulla base dello schema adottato l'Emilia Romagna può essere assimilata al *purposeful system*, alla luce delle strategie adottate e degli effetti realizzati, ovvero la scelta di una politica industriale 'integrata', che ha comunque tenuto in debita considerazione le peculiarità delle principali catene del valore presenti nella regione: «food, machinery, packaging, automotive, ship building, ceramics, biomedical, as well as textile, clothing, shoes, furniture and construction» (Bianchi e Bianchi 2019, 65). La creazione di piattaforme tecnologiche e di corrispondenti poli d'innovazione, grazie alla collaborazione sia con global player locali ed extra-locali che con centri di ricerca universitari, ha favorito l'assorbimento di nuove conoscenze e quindi l'innalzamento della dotazione conoscitiva delle varie industrie. A tale scopo è stato inoltre fondamentale l'adozione di un approccio *transectoral* e *trans-department*, ovvero di ricerca costante dell'integrazione tecnico-strategica tra processi innovativi trasversali e tra più livelli istituzionali. È chiaro che la 'politica industriale integrata' ha potuto realizzarsi per la grande vivacità del tessuto imprenditoriale e per il ruolo esercitato dal governo regionale, capace di comprendere la realtà del cambiamento strutturale in atto e di realizzare coerenti strategie orientate su quattro direttrici (Bianchi e Labory 2019a): 1) investimenti in R&S, incremento degli skills, strutture interattive tra università e industrie, infrastrutture materiali e immateriali; 2) supporti alla creazione di reti di attori economici, sociali, formativi, tecnico-scientifici regionali ed extra-regionali; 3) *governance* partecipata; 4) coerenza tra i livelli politico-istituzionali e le aree politiche.

Su queste basi si sono concretizzati due fattori dinamici cruciali: «The main elements of regional industrial policy are the main enabling conditions. In this competitive but highly interdependent global context, territories have to become hubs of knowledge and competencies that favour the reshaping or emergence of GVCs» (Bianchi e Labory 2019a, 246-247).

La prospettiva indicata ha quindi permesso l'effettuazione del cambiamento strutturale, reso necessario dalla dinamica tecno-economica globale, anche perché il *purposeful system* ha costantemente monitorato la frontiera, individuando vincoli e potenzialità offerte dalle nuove tecnologie (Bianchi e Labory 2019b).

Veneto

Riprendendo lo schema dei modelli sistemici, prima introdotti, l'analisi di interessanti mix nell'evoluzione di componenti rilevanti dell'apparato economico-produttivo veneto mette in luce come esse siano riconducibili al modello *goal seeking system*.

L'analisi di un campione significativo di imprese della meccatronica (Plecherò e Rullani 2019) mette in evidenza alcune caratteristiche interessanti: 1) le imprese con «strong national networks» mostrano un'alta capacità innovativa, che è invece più debole in quelle che ne sono prive. 2) La base propulsiva per migliori performance innovative risiede in strategie che fanno leva sulla dotazione conoscitiva del personale a livello locale, sviluppata grazie a disegni strategici attuati con le scuole tecniche presenti nella provincia vicentina. Ciò ha pertanto consentito il rinnovamento delle specializzazioni preesistenti, i cui livelli sono stati adeguati al ritmo dell'intensa dinamica tecno-economica.

Una valutazione analoga può essere effettuata in merito all'evoluzione dell'industria dello *sportwear* di Montebelluna, in merito alla quale Barzotto et al. (2016) sottolineano il ruolo essenziale di 'specifici assetti territoriali', che anche in questo caso hanno costituito una leva importante per 10 multinazionali ai fini di una loro 'rigenerazione', in modo da poter fronteggiare le sfide emergenti nel nuovo scenario competitivo. Una proficua combinazione di fattori ha spinto le imprese oggetto dell'indagine ad apprezzare molto la collocazione nell'area vicentina: 1) la qualità delle risorse umane, che hanno reso attrattivo il territorio più dei costi contenuti del lavoro presente in altre aree del mondo, dove le stesse aziende hanno siti produttivi. A ciò ha contribuito in maniera essenziale un sistema formativo appropriato rispetto al contesto competitivo in forte mutamento, perché in costante ricerca di contenuti prossimi alla frontiera tecnico-produttiva. 2) Le reti delle imprese di subfornitura e dei consumatori, che hanno alimentato una spinta dinamica molto significativa per il consolidamento della rete globale. 3) Il 'milieu istituzionale' e il sistema finanziario, caratterizzati da peculiarità rilevanti: propensione alla partnership, spirito collaborativo generalizzato anche con le rappresentanze sindacali.

Tutto questo induce gli autori a sostenere fondatamente che il 'capitale territoriale' costituisce un bene intangibile, che – aggiungiamo noi – diviene cruciale per l'elaborazione e la messa in atto di strategie aziendali multi-scala, in grado di proiettare a livello globale quelli che non appare infondato definire nuovi *commons*, risultato di convergenze strategiche e partnership diffuse tra una molteplicità di *stakeholder*. Le caratteristiche di tali *commons* sono coerenti con quanto sostengono Castellani et al. (2017) sul ruolo dei *digital global net-*

works nella trasformazione di aspetti basilari dei distretti industriali, che sono al centro dei contributi più significativi di Giacomo Becattini. In particolare i due autori illustrano i cambiamenti indotti nei concetti di «sense sharing, search of happiness, territorial ecologies based on collective learning processes» (Castellani et al. 2017, 444), che sono da ridefinire alla luce delle relazioni 'trans-territoriali' odierne delle comunità locali, di nuovi pattern di apprendimento (crescita enorme della varietà e del numero delle interazioni), quindi della necessità di *cross-fertilization* tra differenti campi disciplinari.

A tutto questo occorre aggiungere che è cambiata, ed ancora di più cambierà in futuro, la base tecnico-scientifica dei processi economico-produttivi, in conseguenza di quanto descritto nel capitoli precedenti.

Un altro punto da rimarcare è il cambiamento dell'ontologia dei tradizionali sistemi socio-produttivi. La funzione assunta dalle *Multinational Enterprises* e dalle *global pipelines*, discusse anche nel saggio di Castellani et al. (2017), insieme ai mutamenti di componenti essenziali della cultura tecnico-scientifica e produttiva, devono indurre a pensare che i sistemi produttivi locali sono di fronte ad una sfida cruciale: ridefinire la loro collocazione teorica ed operativa nel nuovo universo fisico-cibernetico, sulla base di mindset individuali e collettivi da ripensare.

Piemonte

Il terzo modello sistemico, desunto dallo schema esposto all'inizio di questo paragrafo, si attaglia a nostro avviso al Piemonte, che è alle prese con difficoltà rilevanti, di fronte alle quali sta elaborando strategie di *state maintaining*, dato il contesto in cui si trova e gli effetti di eventi e processi sviluppatasi negli ultimi anni. Come afferma uno studio dell'Ires-Piemonte (2019, 7): «il Piemonte, ha subito un ridimensionamento progressivo del suo potenziale economico rispetto alle altre regioni nel corso delle crisi congiunturali che ne hanno caratterizzato l'evoluzione. Tale divario sembra rivelarsi particolarmente accentuato nel recente passato». Tra i fattori causali individuati vi sono peculiarità dinamiche strutturali: 1) ridimensionamento dei grandi player industriali; 2) polarizzazione industriale su scala europea, che in Italia ha visto l'aumento del peso della Lombardia e la disarticolazione della struttura piemontese; 3) disconnessione tra «imprese dinamiche e contesto locale»; 4) invecchiamento della popolazione.

La debolezza del Piemonte e la fase critica attraversata viene espressa anche mediante indicatori di resilienza, quale il tasso di crescita cumulata nel periodo 2007-2016, che vede la regione Piemonte ampiamente dietro Emilia-Romagna, Lombardia e Trentino, tutti con valori più alti.

Tutto questo è avvenuto nonostante i livelli relativamente elevati di spesa in R&S, superiori alla media italiana, ma che faticano ad essere tradotti in spinte propulsive per le imprese, come si evince dalla diminuzione delle unità innovative (Ires 2019, 21), anche se il Piemonte rimane tra gli innovatori *moderate plus* secondo EC-RIS (2019) e l'indice di digitalizzazione di imprese e società è

leggermente superiore alla media nazionale, ma distante da quella europea¹. A fronte di tutto questo il Piemonte ha adottato una strategia di «specializzazione intelligente», incentrata su poli di innovazione, cluster innovativi e piattaforme tecnologiche (pp. 55-70). Si tratta di linee strategiche difensive, apprezzabili tentativi di recuperare il terreno perduto in termini tecnico-produttivi, anche se «il processo di superamento della crisi è apparso più lento di quello osservato a livello nazionale». Queste valutazioni sono confermate dalla Relazione Ires-Piemonte (2020, 9), dove si evidenzia come alla scomparsa dei *grandi player* si siano unite «risposte pubbliche deboli», in presenza di pochi investimenti e processi decisionali laboriosi. Il posizionamento competitivo e le caratteristiche descritte nella precedente relazione, prima citata, non cambiano sostanzialmente, ma è comunque molto significativo il fatto che il focus sia – nelle enunciazioni generali – la sostenibilità economica e ambientale delle imprese piemontesi, quindi la centralità sia assegnata ad una strategia di sviluppo sostenibile ispirata ai 17 SDGs (Sustainable Development Goals, Agenda 2030 dell’ONU) e ai 164 traguardi definiti dalla risoluzione ONU del 2015, a cui si aggiungono la destinazione delle risorse previste dal Green Deal Europeo.

Nel documento in questione è sollevato anche il problema che il contrasto al cambiamento climatico non è facile da tradurre in politiche (p. 126).

Le riflessioni sviluppate nei paragrafi successivi di questo contributo mirano a fornire spunti teorici ed operativi per una risposta al problema, nel tentativo di al di là della distribuzione di risorse secondo obiettivi generali.

Lombardia

La Lombardia è comunemente ritenuta una delle regioni italiane più dinamiche, tenendo presente il numero elevato ed estremamente qualificato di istituzioni universitarie (12 tra pubbliche e private, oltre al Politecnico), Centri di ricerca pubblici e privati (12 Istituti del CNR, 3 sezioni dell’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, 17 Istituti di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico (su un totale nazionale di 42) e infine l’unico Centro Comune di Ricerca Europeo (JRC) situato a Ispra, in provincia di Varese. L’apparato economico-produttivo presenta realtà di livello internazionale nei settori meccanico, elettronico, metallurgico, tessile, chimico e petrolchimico, farmaceutico, alimentare, editoriale, calzaturiero e del mobile ed «è tuttora uno dei più sviluppati in Italia ed in Europa», dato che conta più di 800.000 imprese, organizzate in 10 Distretti ad Alta Tecnologia (Agroalimentare, Aerospazio, Edilizia sostenibile, Automotive, Energia, fonti rinnovabili ed assimilate, Biotecnologie, ICT, Materiali avanzati (o Nuovi materiali), Moda e Design, Meccanica di precisione, metallurgia e be-

¹ «Il Digital Economy and Society Index (DESI Index) è un indice composito che riassume la performance digitale dei paesi europei e prende in considerazione le 5 dimensioni chiave della digitalizzazione: Connettività, Utilizzo di Internet, Competenze Digitali, Integrazione delle tecnologie digitali e Servizi Pubblici digitali» (Ires 2019, 26).

ni strumentali)². È noto, inoltre, che Milano è hub internazionale per l'industria della moda. Le performance economiche ed occupazionali della Lombardia sono state maggiori della media nazionale e la Relazione della Banca d'Italia (2020a) mette in risalto l'evoluzione della capacità innovativa come *moderate plus*, classificandosi 118° su 238, sulla base dell'analisi di un set di variabili rappresentative di input e output, con una spesa in R&S nella media italiana, ma nettamente al di sotto di quella delle regioni e dei cluster europei presi a confronto. Anche l'occupazione in funzioni di R&S è inferiore rispetto alle aree europee assunte a comparazione. Pur se la produzione brevettuale è inferiore alla media europea e zone comparabili, la Lombardia mostra comunque un'accentuata capacità di produrre innovazioni di processo e di prodotto, ottenute grazie all'impiego di addetti in mansioni scientifiche e tecnologiche (36,7% del totale, di cui il 50% laureati) (Banca d'Italia 2020a). È fondato ritenere che le interdipendenze con il mondo della ricerca abbiano dato un contributo decisivo a questa apprezzabile dinamica, nonostante il divario rispetto alle entità europee 'di frontiera'. La dinamica di lungo periodo (2001-2012) conferma il fatto che il sistema economico lombardo non riesce a tenere il passo della dinamica dell'UE28 e delle regioni europee avanzate, assunte a termini di riferimento. La Banca d'Italia ritiene che il divario sia dovuto soprattutto alla minore produttività del lavoro, che ha in parte recuperato nel periodo 2013-2017, ma rimane sempre inferiore a quello delle regioni *benchmark*. Tale recupero viene attribuito alla maggiore efficienza nell'impiego dei fattori di produzione, tenendo anche presente che nello stesso periodo l'intensità di capitale è diminuita.

A conclusione di questa sintetica analisi della Lombardia, sembra logico ritenere che il sistema innovativo regionale, ricco e altamente diversificato, con interdipendenze significative tra mondo della ricerca e sfera produttiva, costituisca un *goal seeking system*, la cui dinamica ha certamente risentito di fattori di politica economica e tecnico-scientifici a livello nazionale. La ragione a sostegno di questa tesi è che l'alta concentrazione di organismi di ricerca e insegnamento di elevata qualità, unita al descritto apparato economico-produttivo forse potrebbe esprimere un potenziale più elevato di quello finora mostrato. Occorre infine osservare che il sistema lombardo sembra possedere condizioni basilari idonee per affrontare le sfide globali emergenti in questa fase storica.

Toscana

La Toscana è nota per essere diventata, specialmente nei decenni del secondo dopoguerra, un mosaico di sistemi produttivi locali, con caratteristiche peculiari e in grado ottenere notevoli performances, mostrando al tempo stesso un dinamismo tecnico-scientifico essenzialmente incentrato su patrimoni accumulati sul posto di lavoro nel corso degli anni. I successi conseguiti hanno praticamente interessato tutti i comparti produttivi, in alcuni dei quali (mec-

² Tutti i dati sono visibili sul sito web della Regione Lombardia.

canica, siderurgia, cantieristica, cartario, moda) un ruolo importante hanno esercitato imprese medio-grandi, mentre nel tessile, nelle pelli e cuoio, nel florivivaismo si sono sviluppati veri e propri ‘organismi produttivi’ distribuiti in vari territori, dove la cultura tecnico-professionale in costante evoluzione si trasferiva per osmosi nei processi lavorativi tra addetti e ceti imprenditoriali, non di rado di provenienza operaia. Il tessuto economico-produttivo diversificato e ricco di iniziative imprenditoriali si è dovuto misurare con molteplici ‘prove competitive’ lungo alcuni decenni, con esiti indubbiamente positivi, su cui si è sviluppata un’ampia letteratura economica e sociologica (Becattini 2004, 2015; Becattini et al. 2011). La crisi di alcune grandi imprese non ha fatto venir meno la forza propulsiva delle numerose imprese medie e soprattutto piccole, che hanno espresso una grande vitalità.

Negli anni più recenti l’apparato produttivo toscano si è però trovato di fronte – come quelli delle altre regioni già esaminate – alla significativa discontinuità, costituita dal cambiamento di paradigma tecnico-produttivo, definito dall’espressione Industria 4.0. I risultati di alcune indagini e ricerche non mostrano esiti particolarmente brillanti.

La Relazione della Banca d’Italia per la Toscana (Banca d’Italia 2020b) indica, sulla base di un’indagine Invind 2018, che su 3.800 aziende con almeno 20 addetti, quasi 300 costituivano «la quota di imprese che in Toscana adottavano o intendevano adottare in quell’anno tecnologie 4.0, era poco più del 20 per cento, un valore inferiore alla media italiana e soprattutto alle principali regioni manifatturiere del Centro Nord». La Relazione Banca d’Italia per il 2020 evidenzia l’efficienza mostrata dalla Regione Toscana nell’impiego dei Fondi investiti nel Programma Operativo Regionale (POR), con cui «avevano raggiunto impegni e pagamenti pari rispettivamente al 68,3 e al 42,9 per cento della dotazione disponibile, [...] il livello di attuazione finanziaria [del POR] era maggiore di quello registrato dalla media delle regioni italiane “più sviluppate” (ovvero quelle del Centro Nord)» (p. 66). Bisogna però rilevare che «La dimensione media degli interventi era inferiore alle aree di confronto; la quota di progetti di importo fino a 10.000 euro superava l’80 per cento (circa il 50 nel Centro Nord e in Italia). Dopo l’aumento nel 2018, i pagamenti hanno segnato un calo nel 2019» (p. 67).

Il quadro non viene migliorato da un’indagine svolta dalle tre Università toscane (Firenze, Siena, Pisa) per conto della Regione, circa l’impatto delle Tecnologie connesse a Industria 4.0 (I4.0) sui processi di produzione e dei modelli di business delle PMI operanti in 6 settori (sistema moda, meccanica, chimico-farmaceutico, nautica, sistema casa, cartario, logistica). La ricerca ha coinvolto 421 imprese, con rilevazioni dirette mediante un questionario piuttosto articolato, seguite da 7 focus group con aziende selezionate su basi qualitative. I risultati emersi sono in parte sorprendenti: 1) il livello di maturità tecnologica è medio-basso, ovvero descrive un sistema produttivo comunque in movimento, ma «che probabilmente si muove ad una velocità non sempre adeguata alle sfide sempre più complesse della competizione internazionale» (Regione Toscana 2019, 123). 2) Esistono marcate differenze settoriali nell’evoluzione verso I4.0,

che possono essere in parte derivate dalle specificità delle imprese appartenenti al campione, ma è comunque un aspetto significativo per la numerosità delle unità coinvolte e le peculiarità dinamiche di un suo sottoinsieme. 3) Emerge, infine, un problema di discrasia tra il management aziendale e la proprietà delle imprese, dal momento che queste ultime mostrano una certa resistenza e vischiosità verso le pressioni innovative. Si pone, quindi, un problema di cambiamento culturale, della necessità di un nuovo mindset, che è strettamente connesso anche alla trasformazione della struttura proprietaria.

Gli elementi indicati hanno ostacolato, ma non del tutto impedito, l'esplicitarsi di una propensione innovativa diffusa, come dimostrano sia l'inserimento della Toscana nel gruppo delle Regioni *innovative moderate plus* secondo gli indicatori utilizzati da RIS (2019), sia la sua classificazione in 136° posizione su 238, 23 posizioni in meno dell'Emilia-Romagna, 13 in meno rispetto al Veneto, molto vicina al Piemonte.

Occorre inoltre segnalare un paradosso, che caratterizza la Toscana e un po' tutta l'Italia: esiste un divario tra il potenziale tecnico-scientifico esistente e la capacità del sistema socio-economico di trasformare la propria dotazione conoscitiva, pur in presenza di Distretti Tecnologici (nel caso della Toscana sono ben 11).

La questione è in realtà affrontata in termini di 'trasferimento tecnologico', concetto adottato anche a livello internazionale ma in termini concreti molto differenti, ovvero di analisi della frontiera e progettazione congiunta (imprese e centri di ricerca) di processi e prodotti su nuove basi tecnico-scientifiche³. È forse il caso di adottare un modello concettuale ed operativo più appropriato per affrontare le sfide odierne, molto differenti da quelle del passato, come abbiamo visto nei capitoli 3 e 4.

In definitiva quindi la Toscana è riconducibile al *goal-seeking systems*, secondo lo schema interpretativo adottato in questo capitolo.

3. Gli attori: un quadro generale

Lo schema funzionale, le priorità, gli attori e gli indicatori, definiti nel capitolo precedente, richiedono un approfondimento in merito agli attori e agli strumenti operativi per le politiche dirette a promuovere e sostenere i processi innovativi secondo le traiettorie descritte.

I concetti illustrati nei precedenti paragrafi e le peculiarità dell'era odierna inducono a ritenere che, se l'*adaptive strategic thinking* a molti livelli è uno dei meccanismi propulsivi fondamentali, esso non possa essere sviluppato da attori isolati. Per essere più chiari, la sua efficacia a livello sistemico ha come condizione necessaria, ma non sufficiente, l'esistenza di strutture interattive dinamiche. Ciò significa sedi in cui si possano confrontare ed elaborare visioni e modelli differenti, in modo da arrivare a condividere linee generali, che vengano poi sviluppate, a seconda delle proprie specificità, dagli attori coinvolti. È importante che

³ Esempio a questo riguardo è il modo di operare del Fraunhofer Institute.

questi ultimi siano a loro volta dotati di appropriati nuclei tecnico-manageriali, che abbiano sviluppato processi autonomi di apprendimento e di elaborazione collettiva nelle forme che ritengono più opportune, in modo che le strutture interattive non siano stanze di compensazione degli interessi, bensì organismi di confronto strategico-progettuale. Solo se questo avviene si potranno realizzare le condizioni necessarie e sufficienti affinché nei sistemi socio-tecnici si possano intravedere quelli che Arthur chiama ‘mondi possibili’, per poi generare ‘modelli del mondo’, utili agli attori per definire le proprie opzioni strategiche.

Alla luce di quanto appena affermato è doveroso sottolineare due ulteriori aspetti fondamentali.

- 1) Una funzione cruciale compete alla partnership pubblico-privato, sia nello sviluppo delle conoscenze che nel confronto tra visioni⁴ e nell’elaborazione delle scelte, ovviamente senza dimenticare la distinzione tra sfere di competenze e responsabilità etiche e politiche. La dinamica tecno-economica odierna richiede sforzi congiunti di lettura e interpretazione dei segnali, di sviluppo di un pensiero razionale, quindi un fattore decisivo è la chiarezza di ruoli e funzioni. Questa precisazione è ancora più importante oggi, quando sono in gioco, come abbiamo precedentemente indicato, traiettorie che investono l’intero Pianeta e l’evoluzione stessa della mente umana, che può essere condizionata da potenti strumenti di intelligenza artificiale.
- 2) Il confronto serio e approfondito tra strutture interattive può avvenire se ciascuno, in primo luogo il Potere Pubblico, si dota di tecnostrutture all’altezza della situazione e delle sfide che essa pone. Tecno-struttura è un concetto proposto all’attenzione internazionale da Galbraith (1968) per descrivere il ruolo e la funzione svolta, nelle grandi *corporations* americane degli anni ’60, da gruppi di manager dotati di competenze tecniche e divenuti di fatto i reali protagonisti dei processi decisionali, mentre i tradizionali imprenditori vedevano ridimensionato il proprio ruolo dinamico.

Il concetto di *tecno-struttura* è qui proposto in un’accezione più ristretta: intendiamo riferirci a *team di competenze multiple*, costantemente impegnati nel lavoro di analisi ed elaborazione strategica di scenari a varia scala. Tali team dovrebbero avere due finalità: A) mettere in grado i *policy maker* di possedere informazioni rilevanti per l’effettuazione di scelte di medio-lungo termine; B) far sì che nelle strutture interattive e nelle partnership strategico-progettuali a partecipazione pubblica e privata vi sia per così dire competizione cognitiva e non asimmetrie di partenza sicuramente non colmabili. È infatti quasi inevitabile che le situazioni asimmetriche provochino disfunzionalità, confusioni di ruoli e non di rado indebiti condizionamenti.

Tutto questo può contribuire, ma non assicurare, lo sviluppo di intelligenza collettiva. Al tempo stesso, se le informazioni e le conoscenze elaborate sono

⁴ Si pensi, un esempio tra i tanti, alla ricerca sul *quantum computing*, sviluppata congiuntamente dalla NASA e da Google, di cui abbiamo riferito nel cap. 5, par. 3.

sperimentate e diffuse, si potrà stimolare i micro- meso- macro- allineamenti di cui si parla nel capitolo 5, al par. 1.

4. Gli strumenti per fondare e misurare le politiche per l'innovazione

La complessità e l'incertezza, connaturate alla dinamica tecno-economica, portano ad immaginare che la misurazione e la valutazione delle politiche vadano incontro a difficoltà insormontabili. Non è semplice elaborare mappe di territori inesplorati, dove l'orizzonte si sposta continuamente e sembrano aprirsi progressivamente sempre nuove strade. Fuor di metafora, gli sviluppi delle conoscenze e la loro applicazione trasversale⁵ rendono ardui i compiti di previsione e di scelta degli strumenti per operare.

Nelle pagine precedenti abbiamo cercato di fornire spunti di riflessione su come ci si può attrezzare per adempiere a funzioni di previsione delle traiettorie.

Concentriamo ora l'attenzione sugli strumenti di valutazione, consapevoli che proprio nei periodi di transizione le decisioni di strategia politica hanno bisogno di maggiore supporto cognitivo e valutativo. A questo fine appare molto utile il Report conclusivo del Progetto di Ricerca EURITO (2018), capofila il Fraunhofer Institute, sul tema dei dati alla base delle politiche per la Ricerca e l'Innovazione.

Il documento, molto esauriente, analizza tutti gli indicatori finora utilizzati da un'ampia letteratura scientifica ed empirica, cioè concernente esperienze in molti Paesi, mettendo in evidenza l'utilità e i limiti di ciascuno di essi, che qui sinteticamente esponiamo, unitamente a nostre considerazioni. Le spese in R&S sono un indicatore significativo, perché consentono di effettuare comparazioni tra gli impegni e le direttrici di possibili cambiamenti, indizi di nuove traiettorie e della loro importanza. Ciò può riguardare global player, settori produttivi e interi Paesi, quindi si possono ottenere informazioni essenziali per il futuro anche di lungo termine. Si pensi ad esempio all'enorme ammontare di risorse investite dalla Cina in Intelligenza Artificiale ed energie rinnovabili, dato che – unito all'elevato numero di laureati ogni anno in scienze *hard* – può essere interpretato come indizio o segnale di possibili effetti in termini di traiettorie a livello globale. Il limite dell'indicatore in questione è che esso misura l'input innovativo, ma non dà alcuna informazione sugli output innovativi dei processi di ricerca (Kleinknecht et al. 2002; EURITO 2018, 17-18) e sottostima l'innovazione nelle piccole e medie imprese (Santamaria 2009).

Un altro indicatore molto usato, l'analisi bibliometrica, è certamente rivelatore di trend innovativi, specie se è calcolato insieme alle statistiche sui brevetti (Simeth e Cincera 2016), ma ha un bias, perché va incontro alla cosiddetta 'legge di Goodhart' (Feller 2013): «quando una misura diviene l'obiettivo della stessa misura, cessa di essere una buona misura» (EURITO 2018, 18-19), in quanto il semplice uso del numero di pubblicazioni può avere un impatto negativo sulla qualità.

⁵ Chi poteva pensare pochi anni or sono all'uso del grafene nei jeans?

Anche l'indicatore relativo ai brevetti ha aspetti positivi e altri meno desiderabili, dal momento che descrive sforzi innovativi, ma solo in modo parziale: molti brevetti non vengono utilizzati, altri contengono solo cambiamenti superficiali di conoscenze consolidate, altri ancora sono davvero mutamenti radicali. Come catturare queste differenze solo attraverso le citazioni? L'indicatore brevettuale è quindi interessante e al tempo stesso distorto, ma vi sono tentativi di combinarlo con le pubblicazioni congiunte. Bisogna inoltre osservare che la propensione brevettuale varia da settore a settore e, aggiungiamo noi, specie in questa fase di prodotti *multi-technology* e *multi-knowledge-domain*, è arduo catturare dinamiche innovative trasversali inattese.

La conclusione del Rapporto EURITO è chiara: non esiste al momento una variabile in grado di rappresentare la complessità dell'evoluzione tecno-economica, per cui l'OECD e l'EIS utilizzano indicatori compositi, soprattutto per applicazioni in attività di *scoreboarding* e *benchmarking*. Gli indicatori compositi riescono a catturare una pluralità di aspetti di fenomeni e dinamiche complesse.

Un'analisi critica molto puntuale degli indicatori, sia singoli che compositi, relativi a Scienza e Tecnologia è svolta da Grupp e Moge (2004), che fanno un'osservazione interessante: l'operazione di aggregare molte dimensioni di un fenomeno o di un processo in un solo scalare non ha senso e i tentativi di mettere insieme più dimensioni ponderate con criteri a cui non è possibile dare fondamento oggettivo (*scoreboarding*, *benchmarking*) si prestano ad arbitrarietà di valutazioni. La critica viene poi estesa all'attribuzione di qualifiche di eccellenza a ricerche che sono il risultato di processi che dovrebbero essere soggetti a valutazioni etiche e sociali.

Anche se vi sono forti limiti negli strumenti di misura e valutazione (Litan et al. 2014, 27), i *policy maker* hanno bisogno di misurare le performance e quindi di indicatori che abbiano, come affermano Iizuka e Hollanders (2017, 7-8), ripresi in EURITO (2018, 29-30), le seguenti proprietà: 1) qualità, fondata su concetti validi sul piano analitico, insieme alla trasparenza e alla minimizzazione degli errori; 2) neutralità rispetto ai condizionamenti politici; 3) accessibilità, che significa fare in modo che forniscano informazioni fruibili agevolmente; 4) comparabilità, per facilitare attività di benchmarking; 5) rilevanza rispetto agli obiettivi.

Dopo questo excursus sui problemi e gli svantaggi degli indicatori, non resta che una conclusione: vi sono carenze e difetti, ma possono essere usati proprio basandosi sulla consapevolezza di quanto affermano Iizuka e Hollanders (2016, 136):

In interpreting innovation indicators and composite indicators, one needs to take into account that:

- Indicators are a qualitative construct, not a scientific measurement; hence its interpretation requires utmost care in understanding its underlying theoretical/conceptual constructs and selection of data;
- Useful measurements are unique to each country; hence knowing the industrial structure of the country can clarify what are the information needed;

- More is not always better, all the elements need to be studied in the context and in proportion, coordination with other sector/activities and in sequence (order); (good interpretation requires to understand the context in which the indicator is used (be it a country, industrial structure or sector);
- No one prescription fits all, identify clear purpose of use; indicators are products of difficult compromises and one needs to know what has been compromised;
- Indicators are not written on stone, it will change with the changing reality; hence constant discussion, amendments and updates are expected. This is clear from series of revisions that has taken place in e.g. the Frascati and Oslo manuals.

Nel capitolo precedente è stato effettuato un tentativo di articolare in termini operativi la logica e la struttura per interventi di politica per l'innovazione. Principi ispiratori fondamentali sono i seguenti:

1. *multi-level governance*;
2. ricerca per delineare *direzionalità* nella complessa transizione socio-tecnica;
3. attività di *Discovering and Choosing*, viste come processi (*mapping* incessante tra Ω -space e λ -space) partecipati da una molteplicità di attori;
4. *mission-based policy*, vista come individuazione di traiettorie tecno-economiche e catalizzazione di *Entrepreneurial Discovery Process*;
5. indicatori quantitativi/qualitativi, per la valutazione dei progetti. Il mix è la logica conseguenza della dinamica odierna, che è tale (complessità, incertezza, pluralità di traiettorie possibili, numerosità delle dimensioni implicite) da richiedere una valutazione congiunta.

Alla luce delle considerazioni conclusive di Iizuka e Hollander e di quelle precedentemente sviluppate, sottoponiamo alla riflessione l'ipotesi di un'architettura strategico-funzionale, coerente con quanto abbiamo argomentato finora, che viene rafforzato dalla tesi sostenuta da Enos (1995), ripresa da Foray (2018).

Stabilita l'agenda politica generale, occorre identificare priorità mediante attività di *discovering and choosing* (Enos), individuando (aggiungiamo noi) traiettorie e quindi promuovendo processi di apprendimento «about the capacities and opportunities specific to the region's economy that is useful and productive. And as such, it lies at the very heart of S3» (Foray 2018, 820). *Discovering and choosing* implicano lo svolgimento di funzioni attinenti all'individuazione e allo sviluppo di traiettorie tecno-economiche, sulla base delle quali poi effettuare le scelte in relazione alle specificità territoriali. Il *Discovering* a nostro avviso richiede di effettuare attività di *scanning* continuo della frontiera, di *mapping* incessante tra Ω -space e λ -space, nei termini ripresi da Moky, tramite un esercizio sistematico di *exploration* ed *exploitation*. La funzione di *Discovering* non può che essere svolta da entità miste pubblico-privato, composta da team di competenze multiple. Il *Choosing* dipende invece, nella nostra visione, dal un incessante *mapping* tra Ω -space e λ -space, che competo-

no ad entità di livello intermedio tra l'individuazione delle traiettorie e i processi economico-produttivi e sociali. Il loro compito dovrebbe essere quello di istituire connessioni dinamiche con il tessuto socio-economico (apparato produttivo, sistemi urbani, reti settoriali e intersettoriali di imprese) attraverso *mapping* tra i sottospazi concernente tecnologie specifiche e l'evoluzione delle competenze nel settore pubblico e privato. Si tratta di attività prevalentemente di *exploitation*, di adattamento e realizzazione di percorsi congruenti rispetto alle traiettorie generali individuate dal *Discovering*.

Per realizzare quanto appena indicato occorrono tre entità in grado da un lato di svolgere le funzioni descritte e dall'altro di supportare un *matching* dinamico tra vari stakeholder e l'EDP in una fase di transizione.

Possiamo denominare le tre entità come team funzionali diretti a svolgere attività complementari come quelle appena indicate nei seguenti termini: 1) *discovering team*, attivo nel *mapping* tra Ω -space e λ -space; 2) *choosing team*, che deve tradurre le opzioni individuate in spazi tecnico-produttivi da promuovere e sviluppare; 3) *Steering-Joint Committee*, come unità composita, multistakeholder, che individua le priorità a vari livelli (regionale, nazionale). Gli output prevedibili per le entità 1 e 3 sono:

- 1) report generali con periodicità da stabilire;
- 2) report Specifici, da intendere quasi come una sorta di 'carotaggio' in profondità presso aree definite insieme agli operatori privati;
- 3) seminari tematici e Progettazione formativa con Scuole e Università, sull'esempio dell'accordo strategico tra ASME e VDI;
- 4) documenti strategici di selezione delle priorità.

Il tutto è finalizzato a creare un background tecnico-scientifico e tecno-economico, nell'ambito del quale si possa sviluppare l'EDP, che va visto in termini differenti rispetto al passato. La complessità e la natura combinatoriale di processi e prodotti richiedono un profondo cambiamento anche della funzione imprenditoriale.

Bibliografia

- Ackoff, R.L., e F.E. Emery. 1972. *On Purposeful Systems*. Chicago: Aldine-Atherton.
- Banca d'Italia. 2020a. "L'economia della Lombardia." <<https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/economie-regionali/2020/2020-0003/index.html>> (2021-10-03).
- Banca d'Italia. 2020b. "L'Economia della Toscana." <<https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/economie-regionali/2020/2020-0009/index.html?com.dotmarketing.htmlpage.language=102>> (2021-10-03).
- Barzotto, M., Corò, G., e M. Volpe. 2016. "Territorial capital as a company intangible." *Journal of Intellectual Capital* 17 (1): 148-67.
- Barzotto, M., Corradini, C., Fai, F.M., Labory, S., e P.R. Tomlinson. 2019. "Enhancing innovative capabilities in lagging regions: a n extra-regional collaborative approach to RIS3." *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 12: 213-32.
- Barzotto, M., Corradini, C., Fai, F.M., Labory, S., e P.R. Tomlinson. 2020. "Smart specialisation, Industry 4.0 and lagging regions: some directions for policy." *Regional Studies, Regional Science* 7 (1): 318-32.

- Becattini, G. 2004. *Per un capitalismo dal volto umano. Critica dell'economia apolitica*. Torino: Bollati Boringhieri.
- Becattini, G. 2015. *La coscienza dei luoghi. Il territorio come soggetto corale*. Roma: Donzelli.
- Becattini, G., Bellandi, M., e L. De Propris. 2011. *A Handbook of Industrial Districts*. Cheltenham: Elgar.
- Bianchi, P., e A. Bianchi. 2019. *Keeping Emilia-Romagna strong: an integrated industrial policy approach*. Regionalpolitik Beispielregionen, ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft.
- Bianchi, P., e S. Labory. 2019a. “Regional industrial policy for the manufacturing revolution: enabling conditions for complex transformations.” *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 12: 233-49.
- Bianchi, P., e S. Labory. 2019b. “Manufacturing regimes and transitional paths: Lessons for industrial policy.” *Structural Change and Economic Dynamics* 48: 24-31.
- Castellani, D., Rullani, E., e A. Zanfei. 2017. “Districts, multinationals and global/digital networks.” *Economia e Politica Industriale* 44: 429-47.
- EC-RIS 2019. “European Commission-Regional Innovation Scoreboard.” <<https://ec.europa.eu/growth/sites/default/files/ris2019.pdf>> (2021-10-03).
- Enos, J. 1995. *In Pursuit of Science and Technology in Sub-Saharan Africa*. UNU-INTECH Studies in New Technology and Development. London: Routledge.
- EURITO. 2018. “D.1. Literature review report: The role of data in the R&I policy cycle.” <<https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5b9a23e3c&appId=PPGMS>> (2021-10-03).
- Feller, I. 2013. “Performance measures as forms of evidence for science and technology policy decisions.” *Journal of Technology Transfer* 38: 565-76.
- Foray, D. 2018. “Smart specialization strategies as a case of mission-oriented policy – a case study on the emergence of new policy practices.” *Industrial and Corporate Change* 27 (5): 817-32.
- Galbraith, J.K. 1968. *Il Nuovo Stato Industriale*. Torino: Einaudi.
- Gharajedaghi, J. 2011. *Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity*. Amsterdam: Elsevier.
- Grupp, H., e M.E. Moguee. 2004. “Indicators for national science and technology policy how robust are composite indicators.” *Research Policy* 33: 1373-84.
- Kleinknecht, A., van Montfrot, K., e E. Brouwer. 2012. “The Non Trivial Choice between Innovation Indicators.” *Economics of Innovation and New Technology* 11 (2): 109-21.
- Iizuka, M., e H. Hollanders. 2016. *Innovation indicators: Towards a User's guide*. 21st International Conference on Science and Technology Indicators (STI), Valencia, Spain, September 14-16: 127-37.
- Iizuka, M., e H. Hollanders. 2017. “The need to customize innovation indicators in developing countries.” *UNU-MERIT Working Papers* #2017-032.
- Ires-Piemonte. 2019. “La Strategia di specializzazione intelligente del Piemonte: elementi di monitoraggio e valutazione al 2018.” <https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2019-05/Monit_S3_10%2005_pub%20def.pdf> (2021-03-10).
- Ires-Piemonte. 2020. “Relazione Annuale. Piemonte Economico-sociale.” <<https://www.ires.piemonte.it/index.php/relazione>> (2021-10-03).
- Litan, R.E., Wyckoff, A.W., e K.H. Fealing. 2014. *Capturing Change in Science, Technology and Innovation: Improving Indicators to Inform Policy*. Washington D.C.: The National Academies Press.

- Morgan, K. 2018. "Experimental governance and territorial development." Background paper for an OECD/EC Workshop on 14 December 2018 within the workshop series "Broadening innovation policy: New insights for regions and cities", Paris.
- Plechero, M., e E. Rullani. 2019. "Beyond Local: The Role of National Innovation Networks Within the 4th IR." *SYMPHONYA Emerging Issues in Management* 2, UNICUSANO.
- Regione Toscana. 2019. *L'impatto di Industria 4.0 nelle piccole e medie imprese toscane: primi risultati di ricerca*, a cura di E. Casprini, L. Zanni. Towel Publishing Pisa.
- Santamaria, L. 2009. "Beyond formal R&D: Taking advantage of other sources of innovation in low- and medium-technology industries" *Research Policy* 38: 507-51.
- Simeth, M., e M. Cincera. 2016. "Corporate Science, Innovation, and Firm Value." *Management Science* 62 (7): 1970-81.

Ripensare gli indicatori per le politiche per l'innovazione attraverso il Design-thinking

Questo capitolo raccoglie le principali indicazioni delineate nei capitoli precedenti, allo scopo di suggerire un set di strumenti operativi, sul quale possono essere strutturati nuovi indicatori specifici, capaci di fotografare la trasformazione dell'economia regionale.

Definiamo *Indicators of Design-thinking* questa procedura articolata in vari step logici. Essa si sviluppa con un graduale avvicinamento alla definizione dell'indicatore seguendo questi 6 punti:

1. sintesi delle sfide odierne, con un focus sulla loro natura complessa e globale;
2. orizzonti decisionali multi-livello e *multi-stakeholder*;
3. *tools* essenziali per gli attori, ai fini della realizzazione di feedback continui tra processi multi-scala;
4. centralità da assegnare, nel quadro indicato dai punti 2 e 3, alle politiche per l'innovazione nell'orientare le traiettorie evolutive di sistemi complessi come quelli odierni;
5. illustrazione del *frame* basato sui nessi tra 'parametri d'ordine globale' e parametri determinati a livello 'locale';
6. metodologia AGILE.

Mauro Lombardi, University of Florence, Italy, mauro.lombardi@unifi.it, 0000-0002-3234-7039

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Mauro Lombardi, *Ripensare gli indicatori per le politiche per l'innovazione attraverso il Design-thinking*, pp. 149-161, © 2021 Author(s), CC BY 4.0 International, DOI 10.36253/978-88-5518-310-9.10, in Mauro Lombardi, *Transizione ecologica e universo fisico-cibernetico. Soggetti, strategie, lavoro*, © 2021 Author(s), content CC BY 4.0 International, metadata CC0 1.0 Universal, published by Firenze University Press (www.fupress.com), ISSN 2704-5919 (online), ISBN 978-88-5518-310-9 (PDF), DOI 10.36253/978-88-5518-310-9

NOTA ILLUSTRATIVA DEI 'PARAMETRI D'ORDINE GLOBALE'

La teoria dei sistemi complessi (SC) e le sue applicazioni forniscono a riguardo spunti molto interessanti sia a livello generale che di natura applicativa (Siegenfeld e Bar-Yam 2020). La Terra, con tutti gli esseri viventi, è un sistema complesso, composta a sua volta di sotto-sistemi analoghi, che evolvono con ritmi e modalità molto diversificati. I SC evolvono e non degradano se l'ordine complessivo, cioè le macro-configurazioni dinamiche che essi assumono, si realizza rispettando certi intervalli di valori sistemici, chiamati 'parametri d'ordine', basilari per il sorgere, il funzionamento e la sopravvivenza degli stessi SC. Il sistema nel suo insieme evolve in condizioni di stabilità se i 'parametri d'ordine' variano all'interno di campo di variazione ben definito, oltre il quale – data la complessità dell'insieme basato su reti di interdipendenze *cross-scale* – piccoli eventi causali possono causare 'a cascata' eventi catastrofici globali. I sistemi complessi tendono ad auto-organizzarsi, come gli esseri viventi e molti altri esempi (naturali ed artificiali), ma – senza che ciò costituisca un ossimoro – possono essere 'guidati' (Haken 1983; Prokopenko 2009, 2017). Nei saggi indicati vi sono molti riferimenti teorici ed applicativi. In questa sede sottolineiamo l'esempio certamente più importante, che si è realizzato negli ultimi anni. Ci riferiamo al tasso di presenza in atmosfera delle sostanze produttrici di CO₂, e alle percentuali di energia da combustibili fossili (parametri d'ordine globale), e parametri 'locali', cioè parametri riferiti ad aree o sotto-insiemi dei sistemi globali, in modo tale che vi sia congruenza tra i primi e i secondi verso una traiettoria definita. Ecco l'esempio esplicativo reale. Nel 1985 (Farman et al. 1985) annunciano l'esistenza di un enorme 'buco di Ozono' nell'Emisfero Sud del mondo. Negli anni successivi la mobilitazione internazionale di scienziati, cittadini, comunità intere e Paesi è riuscita – dopo iniziali resistenze – ad ottenere alcuni famosi Protocolli (Vienna 1985, Montreal 1987, London, 1990) e l'effettuazione di verifiche annuali del loro rispetto per ridurre i fattori causali, dovuti a modelli di produzione e consumo a vari livelli (nazioni, imprese, consumatori), basata sull'uso di sostanze 'proibite', da ridurre gradualmente. Si è trattato del primo caso positivo di trattato internazionale universalmente ratificato dall'ONU, ma soprattutto si è ottenuto il raggiungimento di un grande obiettivo: la riduzione sostanziale del 'buco dell'Ozono' (NASA 2019, ma un forte peggioramento è stato registrato nel 2020, cfr. cap. 3 nota 3). Da questo risultato possiamo trarre alcuni insegnamenti: a) il problema globale deriva dalla dinamica di complessi processi di produzione e consumo; b) occorre agire simultaneamente a molti livelli, fissando parametri congruenti con il parametro globale, opportunamente graduato nel tempo, quindi sviluppando azioni per indurre produttori e consumatori a contenere l'impiego di sostanze dannose rispetto a obiettivi sistemici globali; c) bisogna effettuare controlli sistematici dei valori dei parametri.

NOTA ILLUSTRATIVA DELLA METODOLOGIA AGILE

Per rendere adattativi gli indicatori che si utilizzano è necessario 'rilasciare' con notevole frequenza prototipi di indicatori, utilizzando una metodologia propria del mondo del *software development*, da far testare da team eterogenei composti da *innovation architects*, che pensano alla struttura dei dati e alla loro ontologia, dalle figure che raccolgono i dati fino a quelle che ne monitorano le evidenze. Questa mentalità aperta permetterebbe un monitoraggio continuo, cioè senza interrompere il flusso dei dati – considerando anche quelli necessari che per legge vanno trasmessi ad organismi di controllo nazionale ed internazionale –, ma allo stesso tempo sarebbe una modalità dinamica di andare incontro a frequenti *change requests* che possono emergere dal mutare delle condizioni globali-locali.

Le discontinuità tecnico-scientifiche ed economico-produttive in atto inducono a ritenere che le politiche per l'innovazione debbano costituire il nucleo propulsivo dei processi di trasformazione sistemica agendo contemporaneamente a differenti scale e livelli. Le ragioni alla base di questa tesi sono le seguenti.

La crisi pandemica non ancora superata, il rischio climatico, la transizione energetica e ambientale, le asimmetrie tecno-economiche e di potere all'interno e tra i Paesi, la profonda crisi economica ed occupazionale devono essere affrontate con un framework che riesca a coniugare le prospettive di una significativa crescita su nuove basi, così articolate a livello internazionale: *low-carbon economy, preventing and mitigating climate risk, resilient systems, sustainable development, new employment*¹.

È possibile conciliare le soluzioni a problemi complessi e tra loro interrelati se i sistemi socio-economici adottano un nuovo mindset e nuovi modelli operativi, che combinino elementi del potenziale tecnico-scientifico esistente e accessibile con differenti competenze tecnico-manageriali. Il passaggio da un mondo, in cui i processi decisionali (individuali e collettivi) erano basati sull'assunzione di «relative climate stability» (MGI 2020b, 114), ad un orizzonte globale caratterizzato da incertezza e rischi sistemici multipli, richiede innanzitutto *adaptive strategic thinking* (cfr. cap. 5), anzi «to accelerate the pace and scale of adaptation» (MGI 2020b, 115). In questo scenario sono essenziali processi innovativi nei materiali, nei meccanismi di produzione e di consumo, nella progettazione di qualsiasi output (dagli edifici alla vendita al dettaglio, a qualunque oggetto o servizio), da realizzare mediante l'impiego capillare di nuovi modi di pensare, agire, combinare un set indefinito di tecnologie, molte delle quali solo in parte conosciute. L'esplicazione del potenziale e la transizione sistemica a livello globale e locale non possono realizzarsi solo sulla base di piani elaborati dall'alto, né con una miriade di azioni spontanee dal basso. Il frame più appropriato al contesto odierno è quello che assume come obiettivi i parametri riferiti ad obiettivi da raggiungere a livello globale, a cui si devono via via aggiungere – a molteplice scala – parametri specifici ad essi congruenti, in modo che si dispieghi in processi decisionali, individuali e collettivi, tali da favorire la resilienza sistemica rispetto alle sfide.

In estrema sintesi, le politiche per l'innovazione possono costituire una delle leve essenziali, assumendo la funzione di trama dei processi reali per connettere finalità definite a livello internazionale, come in precedenza indicato.

Sviluppiamo ulteriormente questa affermazione, mostrando le modalità con cui possono essere articolati i processi decisionali a livello individuale e collettivo, soggetti a verifiche puntuali. A tale fine vediamo come si configura lo spazio decisionale degli attori, ovvero le coordinate e i criteri ispiratori delle elaborazioni progettuali, insieme agli strumenti di verifica.

Le coordinate generali dell'odierno orizzonte tecno-economico da assumere nei processi decisionali sono ormai definite con sufficiente precisione a livello internazionale.

In un mondo iperconnesso si sviluppano processi e dinamiche multi-scala, che stanno cambiando gli assetti geo-politici, la morfologia dei processi di produzione e delle città, i modelli di consumo. Una serie di feedback cumulativi tra

¹ Una visione non dissimile da quella proposta è schematizzata in MGI 2020a.

aumento della potenza computazionale a disposizione di ogni tipologia di attore (economico, sociale, istituzionale) e intersezione tra flussi informativi globali determinano processi socio-economici non-lineari, quindi con effetti imprevedibili, che possono assumere rapidamente una portata globale, come è avvenuto nel caso della pandemia da Covid-19. Quest'ultima è, infatti, la rappresentazione emblematica della fenomenologia caratteristica delle dinamiche, sia positive che negative, potenzialmente innescate nello scenario odierno anche da eventi casuali, inizialmente ritenuti di lieve entità.

Il contesto odierno è efficacemente rappresentato in figura 1, ripresa dal JRC Science for Policy Report (Gómez Prieto et al. 2019).

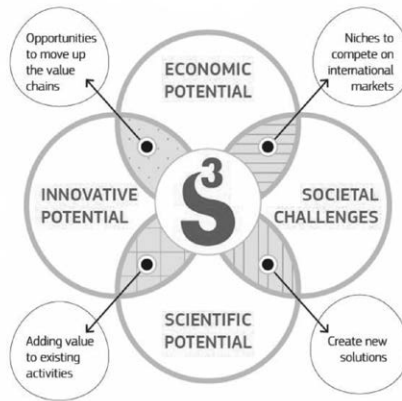


Figura 1 – Il concetto di *smart specialisation*. [Gómez Prieto et al. 2019, fig. 1]

L'unica qualificazione aggiuntiva da sottolineare è che esso ormai coinvolge l'intero Pianeta e quindi implica una serie inestricabile di interrelazioni mondiali.

Non a caso da alcuni anni molti centri di ricerca internazionali elaborano visioni e modelli simulativi di resilienza sistemica (Thoma 2014; Folke 2014; Miles 2014; NIST 2015) nel tentativo di predisporre strumenti atti a reagire in modo da contenere l'entità degli effetti dannosi di eventi catastrofici di varia tipologia, entità ed estensione. Parallelamente l'Umanità ha oggi a disposizione un potenziale tecnico-scientifico senza precedenti (Intelligenza Artificiale, editing genomico con CRIPSR_cas9, scienze dei materiali), con i quali poter sviluppare processi di *Complex Problem Solving* (Fischer et al. 2012), come sono tipicamente i processi di progettazione nel *landscape* attuale, data la natura *multi-technology* e *multi-knowledge domain* di processi e prodotti, per cui diventano peculiarità essenziali i seguenti fattori: integrazione conoscitiva, set di obiettivi congiunti, *evolutionary goals*, parametri di processo e di prodotto parzialmente definibili a priori.

Questo accade perché si tratta di processi complessi, che hanno le seguenti caratteristiche (Funke 2013, 693): 1) «complexity of the problem situation»

(numero delle variabili da considerare; 2) «connectivity between involved variables» (le interdipendenze sistemiche tra fattori che possono cambiare); 3) «dynamics of the situation» (possono esserci variazioni interne e altre di origine esterna); 4) «intransparency» (non è disponibile tutta l'informazione necessaria per definire gli obiettivi); 5) «polytely» (in situazioni complesse c'è una molteplicità di obiettivi, potenzialmente anche in conflitto tra loro, quindi occorre studiare forme evolutive di congruenza tra di essi).

Come sostiene Buchner (1995, replicato da Greiff et al. 2012):

Complex [i.e., dynamic] problem solving is the successful interaction with task environments that are dynamic (i.e., change as a function of user's intervention and/or as a function of time) and in which some, if not all, of the environment's regularities can only be revealed by successful exploration and integration of the information gained in that process.

La situazione attuale è riconducibile allo schema concettuale indicato, se si pensa ai circuiti di feedback cumulativi tra la presenza ubiquitaria di dispositivi in grado di elaborare informazioni e gli sviluppi dell'Intelligenza Artificiale. Tutto questo sta trasformando profondamente le città e la stessa morfologia di ampie porzioni della Terra (disboscamenti, zootecnica intensiva, coltivazioni indotte da fabbisogni consumistici), mettendo a dura prova le risorse essenziali esistenti sul Pianeta (energia, cibo, acqua, materie rare), mentre le variazioni climatiche sono diventate effetti visibili senza far ricorso a complessi modelli computazionali. Ecco allora che si complica enormemente lo spazio dei problemi che l'Umanità intera deve affrontare, grazie al fatto che le dinamiche multi-scala in atto e gli effetti negativi da esse prodotti non hanno soluzioni univoche e non bastano le strategie di singoli attori, per quanto rilevanti essi siano. Una delle caratteristiche distintive dell'era attuale è infatti l'elevato numero degli *stakeholders* intrinsecamente coinvolti.

Occorre allora innescare e sostenere processi per cui la molteplicità di *stakeholders* a vari livelli acquisisca la consapevolezza della situazione in divenire e ponga in essere strategie e comportamenti finalizzati, traendo ispirazione dai *tools* indicati nel già citato JRC Report (2019).

1. *Place-based approaches*, quindi approcci che vedano protagoniste le comunità e le istituzioni più vicine ai cittadini.
2. *Processi innovativi*, diretti a perseguire costantemente la sostenibilità.
3. *Identificazione delle priorità*, su cui concentrare risorse materiali e immateriali.
4. *Approccio inclusivo*, che significa ancoramento territoriale e socio-economico.
5. *Evidence-based*, cioè strumenti che consentano di raccogliere dati e informazioni sia per prendere le decisioni più appropriate che per la loro verifica.

La domanda basilare da porsi è pertanto la seguente: è possibile coniugare tutti gli elementi finora indicati, che configurano chiaramente processi decisionali complessi, e al tempo stesso fornire meccanismi attendibili per impostare politiche orientate a promuovere dinamiche innovative e sottoposte a verifiche puntuali?

Riteniamo che la risposta sia affermativa e possa essere argomentata in modo razionale con il seguente schema: 1) spazio delle decisioni politiche; 2) problema decisionale; 3) frame pratico-realizzativo; 4) modello selettivo delle proposte di progettazione innovativa, sulla base di indicatori dinamici.

1. Spazio delle decisioni degli attori a vari livelli

Lo spazio delle decisioni delle politiche per l'innovazione può essere sintetizzato nei seguenti *Building Blocks*, intesi come elementi costitutivi di un frame strategico ed operativo.

Nella visione sistemica e processuale, qui proposta, le coordinate globali da assumere sono, a nostro parere, 17 SDGs stabiliti in sede ONU (UN 2015) (Fig. 2).



Figura 2 – Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile.

Per affrontarli occorre misurarsi con sfide tecnico-scientifiche e significativi cambiamenti comportamentali nella produzione e nel consumo, basati sulla consapevolezza dei problemi e della necessità di realizzare la convergenza tra *micro e macro-strategies and behaviors*.

Di qui deriva logicamente la scelta di macro-obiettivi da perseguire attraverso la determinazione di parametri appropriati, in analogia con quanto è accaduto nel caso della riduzione di inquinanti riferiti all'ozono, oppure al risparmio e alla produzione di energia nel *retrofitting* dell'Empire State Building².

La sequenza indicata ha come ulteriore elemento essenziale l'adozione di una prospettiva *multi-stakeholder*, analogamente a quanto è accaduto nell'espe-

² Il progetto di ristrutturazione dell'Empire State Building, iniziato nel 2010, oggi consente un risparmio del 40% di energia, grazie all'introduzione di una serie di meccanismi e strumenti per il risparmio e la produzione energetica (per es. ascensori produttori di energia con il loro movimento in discesa). Si veda l'articolo del Washington Post Empire State of Green, 28 maggio 2020, dove si documenta e mostra il modello di simulazione di alcuni dispositivi introdotti: <<https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/climate-solutions/empire-state-building-emissions/>> (2021-20-03).

rienza in corso, relativi al 'buco dell'ozono' e a quanto è previsto per gli edifici di New York³. Ciò è essenziale appunto perché la natura complessa e sistemica dei problemi richiede lo sviluppo partnership strategico-progettuali, condivisione di obiettivi, coerenza tra strategie e comportamenti a molteplice scala⁴.

Il tutto deve poi essere misurabile mediante indicatori semplici e al tempo stesso multi-dimensionali, cioè capaci di descrivere sinteticamente e fornire strumenti di monitoraggio relativi all'esito di processi socio-economici e tecnoscintifici da armonizzare secondo le traiettorie e i macro-obiettivi. Gli indicatori da proporre riflettono la natura complessa e la gradualità del coordinamento tra sfide, macro-obiettivi, mutamenti strategici e comportamentali.

La rappresentazione visiva della visione sistemica e processuale è in figura 3.



Figura 3 – Frame sistemico e processuale per le strategie innovative. [Fonte: Elaborazione dell'autore]

Nello schema logico proposto segue la caratterizzazione del processo decisionale relativo ai problemi da affrontare.

2. Il processo decisionale multilivello

2.1 Problema decisionale

Come coordinare la molteplicità di obiettivi, i processi e i soggetti a vari livelli (dal locale al globale)?

È ovviamente impensabile la realizzabilità di un piano vincolante imposto dall'alto, vista la dimensione multi-scala dei problemi e la gamma molto estesa

³ Lo Urban Green Council e la Green Codes Task Force hanno emanato regolamenti e parametri tecnico-costruttivi da rispettare per raggiungere macro-obiettivi congruenti con le finalità di risparmio energetico e riduzione di CO₂ (si veda l'ultimo di una lunga serie, con previsioni al 2030 «for a low-carbon future» (UGC 2020).

⁴ Tra le molte pubblicazioni a livello internazionale segnaliamo, proprio in tema di costruzioni urbane, i temi qui sollevati sono al centro del documento redatto dalla Global Alliance for Building and Construction (GABC 2019).

di interlocutori che dovrebbero adottare comportamenti appropriati, essendo la fissazione di obiettivi ottimali non possibili in presenza di problemi complessi. Non è d'altronde realistico ipotizzare che l'enorme numero di *stakeholders*, peraltro con estreme differenziazioni al loro interno, possano auto-organizzarsi spontaneamente nelle direttrici più favorevoli, ad esempio mediante i social network, in assenza di conoscenze relative all'evoluzione sistemica.

Sulla base anche di quanto sostenuto nella precedente *Nota illustrativa dei "parametri d'ordine globale"*, ci sembra appropriato suggerire come cardine di politiche per l'innovazione nello scenario odierno il frame concettuale descritto, basato su alcuni capisaldi:

1. ruolo essenziale dei sotto-sistemi 'annidati' (dal globale al locale) nell'auto-governo delle proprie possibilità di variazione;
2. trasformazione dei parametri d'ordine globale da raggiungere in obiettivi decentrati 'distribuiti', cioè perseguiti dai vari *stakeholders*;
3. interventi di *triggering* progettuale verso questi ultimi, nel senso di incentivare modifiche endogene dei modelli di produzione e consumo, in modo che l'esito collettivo sia il rispetto dei parametri d'ordine sistemici, quindi della vita sulla Terra;
4. selezione progettuale in base al grado misurabile di rispondenza agli obiettivi generali di sistema;
5. rafforzamento progressivo delle traiettorie in un orizzonte temporale prolungato, mediante stimoli verso una graduale accelerazione.

Il problema decisionale può essere tradotto in uno schema concettuale ed operativo appropriato per la problematica indicata all'inizio di questo capitolo, in modo che sia incentrato su un set di strumenti pratici, utili per indicare e stimare le decisioni, valutandone progressivamente gli effetti, al fine di sintonizzare al meglio misure e risorse.

2.2 Schema concettuale e operativo

Il quadro di riferimento generale è ovviamente costituito dai parametri d'ordine globale:

- 1) avanzamento della frontiera tecnico-scientifica;
- 2) evoluzione della temperatura media, stimata da organismi internazionali;
- 3) valori di sostanze inquinanti presenti nell'aria e nell'acqua;
- 4) dotazione delle risorse naturali, comunque limitate, al di là delle variazioni continue delle stime;
- 5) andamenti delle quantità di risorse inutilizzabili (rifiuti di varia natura).

I cinque aspetti sono strettamente connessi tra loro, perché alla base vi sono i processi che si sviluppano nella rete di interdipendenze eco-sistemiche connaturate al Pianeta come sistema complesso evolutivo. Occorre quindi essere consapevoli del fatto che interazioni tra di essi vanno tenute presenti nel cercare di trovare obiettivi specifici per ciascuno, dal momento che potrebbero insorgere effetti per-

versi, quali il miglioramento di un processo associato alla degenerazione di un altro, come può fatalmente accadere nel caso di insiemi di interrelazioni *cross-scale*. Le politiche per l'innovazione devono quindi assumere i cinque parametri interrelati, sui quali innescare la creatività progettuale dell'apparato economico-produttivo.

Di qui discendono implicazioni immediate in termini di parametri progettuali, che a questo punto si configurano come al tempo stesso qualitativi e quantitativi: qualitativi, perché devono essere coerenti con le traiettorie orientate ai parametri d'ordine globale, e quantitativi perché suscettibili di assegnazione di precisi valori numerici.

Definite le priorità da assumere come orientamenti per l'attività progettuale, il mix di *exploration and exploitation* (cfr. cap. 5 par. 3) alla ricerca di soluzioni si deve sviluppare attraverso la cooperazione strategico-progettuale.

2.3 Indicatori per il modello selettivo della progettazione dinamica

Le direttrici operative da perseguire nella progettazione consistono nell'introdurre innovazioni in grado di contemperare i cinque aspetti indicati e tradurre dei parametri d'ordine globale in parametri rappresentativi del processo di approssimazione ad essi, articolati specificamente per il proprio ambito di attività e il livello in cui si opera (Fig. 4).

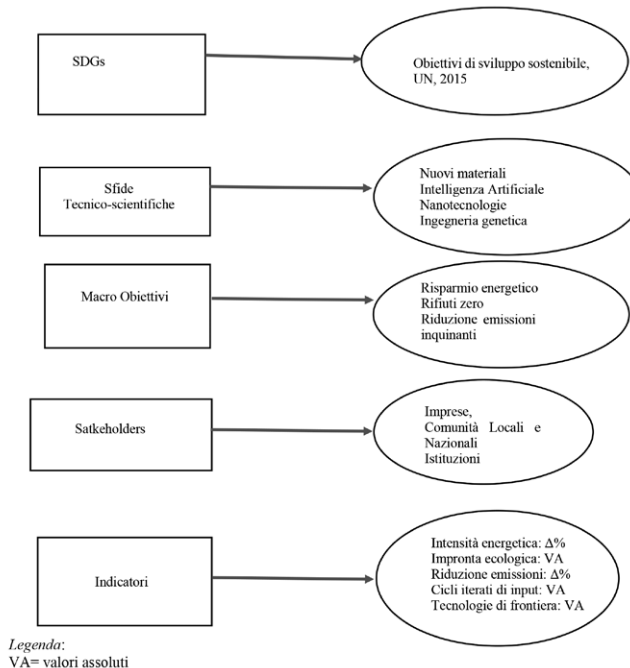


Figura 4 – Indicatori per modelli selettivi nella progettazione innovativa. [Fonte: Elaborazione dell'autore]

Il quadro rappresentato termina con il vettore di parametri rappresentativi dell'evoluzione complessa e incerta di una – potenzialmente enorme – quantità di processi decisionali individuali e collettivi. Occorre sottolineare che l'esiguità numerica è solo apparente, perché essi vanno visti come meccanismi di innesco della creatività progettuale distribuita nel tessuto socio-economico (*Entrepreneurial Process Discovery*, cfr. cap. 6 nota 1), quindi in qualità di fattori amplificatori dei processi di trasformazione multi-scala. In altri termini, per soddisfare gli indicatori occorre che gli attori esplorino uno spazio combinatoriale di conoscenze inesplorato⁵.

2.4 Ruolo dei soggetti istituzionali

Da quanto è stato descritto finora deriva che le imprese si trovano di fronte a processi decisionali complessi, che richiedono domini conoscitivi e competenze molto differenti, tutti da sperimentare. Non è quindi possibile innovare da soli, ma occorre creare strutture interattive e partnership strategico-progettuali. Il frame concettuale ed operativo proposto costituisce un quadro potenzialmente utile per stimolare l'apparato economico-produttivo e socio-economico a costruire reti di cooperazione innovativa, proprio per misurarsi con la complessità del processo decisionale.

In tale prospettiva il ruolo delle istituzioni a vari livelli è cruciale ai fini della creazione di un'infrastruttura immateriale attraverso le seguenti misure e interventi strategici:

1. azioni di supporto strategico mediante report tecnico-scientifici e newsletter, da realizzare insieme a Università e centri di ricerca, in modo da consolidare progressivamente un background culturale per ridurre l'incertezza e la complessità dei processi decisionali;
2. interventi catalizzatori dei processi di elaborazione di progetti di piattaforme multi-filiera;
3. stimoli alla diffusione di servizi ad alta intensità di conoscenza (Machine Learning, Blockchain, progettazione ingegneristica, competenze bio-tecnologiche, competenze tecnico-manageriali);
4. incentivazione per la nascita di startup con team di competenze multiple, funzionali alla generalizzazione della progettazione integrata;
5. creazione di una tecnostruttura pubblica, dotata di competenze multidisciplinari, per lo svolgimento delle attività indicate e ai fini della valutazione dei progetti, dei quali è necessario esaminare la coerenza tecnico-scientifica, la fondatezza teorica ed applicativa, la consistenza manageriale.

⁵ L'esplorazione dello spazio combinatoriale può essere sintetizzato nella ricerca di risposte a questo tipo di domande da parte di produttori: quali input e tecnologie consentono di ridurre l'intensità energetica odierna del processo di produzione? Quali conoscenze occorrono per cambiare e controllare tutta la sequenza del ciclo economico-produttivo su molti piani? Quali nuovi domini conoscitivi permettono di coniugare efficienza economica, sostenibilità ambientale e sentiero di crescita?

Alla luce delle considerazioni svolte proponiamo una rappresentazione schematica di un'architettura funzionale, che riteniamo importante per l'attuazione concreta di politiche per l'innovazione propulsive della transizione socio-tecnica (Fig. 5).

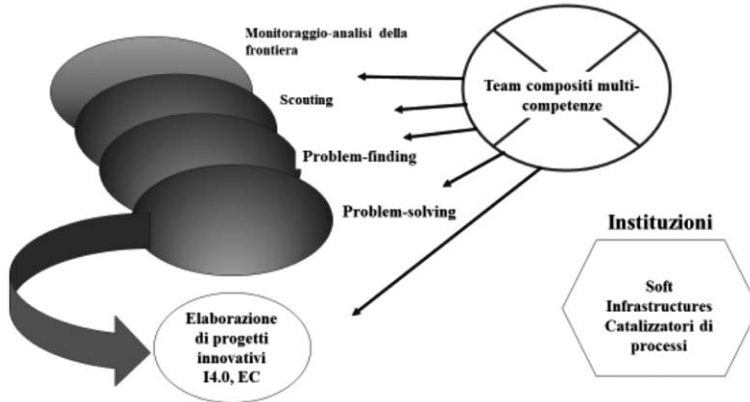


Figura 5 – Architettura funzionale per politiche innovative nella transizione socio-tecnica. [Fonte: Elaborazione dell'autore]

Come si può vedere, si tratta di una ulteriore espressione della visione sistemica e processuale, al cui interno team composti ripensano, insieme agli *stakeholder*, processi e output, ai fini dell'elaborazione di progetti d'innovazione, soprattutto con l'impiego della modellazione computazionale, strumento insostituibile e amplificatore delle potenzialità di analisi e controllo di un'enorme quantità di sequenze *problem-finding/problem-solving* multidimensionali. È altresì chiara la funzione di una tecno-struttura istituzionale, che dovrebbe svolgere le funzioni di strategico *triggering mechanism* e di supporto alla riduzione dell'incertezza attraverso forme strumenti di disseminazione conoscitiva nel tessuto economico-produttivo, possibilmente connessa a progettualità strategica *mission-oriented* per avanzare la frontiera tecnico-scientifica o approssimarsi ad essa, nel caso il sistema socio-economico di riferimento presenti vischiosità e arretratezze conoscitive.

Possiamo a questo punto sintetizzare il frame di *design thinking* delle politiche per l'innovazione, qui proposto, articolato in sei step:

1. assunzione delle sfide globali come coordinate generali dei processi decisionali;
2. orizzonti decisionali multi-livello e *multi-stakeholder*;
3. *tools* per feedback continui tra una molteplicità di attori all'interno di processi complessi-multi-scala;
4. centralità delle politiche per l'innovazione in uno spazio combinatoriale di domini conoscitivi solo in parte esplorati e comunque parzialmente conosciuti, data l'intensità della dinamica innovativa;

5. parametrizzazione di processi strutturati a vari livelli (attività di produzione e consumo), con esempi di esperienze già felicemente realizzate;
6. indicatori multidimensionali ‘annidati’, ovvero parametri generali da assumere come punti riferimento per le attività di progettazione innovativa a vari livelli. Essi emergono attraverso feedback *top-down* e *bottom-up* nelle attività che perseguono parametri ‘locali’ (in senso concettuale), seguendo un implicito *branching system* di regole da osservare con l’innovazione nei materiali, nelle tecnologie, nel management, al fine di raggiungere determinati parametri di importanza ‘locale’ e di rilievo globale.

Il tutto viene completato con l’elaborazione di un’architettura logico-funzionale, dove gli attori pubblici e privati sono chiamati a svolgere funzioni essenziali: *Entrepreneurial Process Discovery*, catalizzazione di dinamiche innovative macro- meso- micro-, attività di coordinamento strategico.

Gli strumenti concettuali proposti e la metodologia adottata mirano a catturare le proprietà dello scenario attuale, illustrato mediante i concetti di complessità, incertezza, variabilità dei parametri decisionale, portata sistemica dei processi evolutivi multi-scala.

Una serie di rappresentazioni grafiche esprime visivamente il *frame* proposto, il cui intento generale è quello di rafforzare il processo di elaborazione delle linee di policy per l’innovazione con una metodologia che aiuti a ripensare gli strumenti di determinazione e monitoraggio degli sviluppi delle strategie innovative. Uno dei problemi più ardui a cui queste ultime vanno incontro è l’impiego di set di indicatori statici, che non riescono a catturare la natura sistemica ed evolutiva dei processi tecno-economici, con la conseguenza di attribuire a modelli statistici standard un carattere di oggettività apparente, in quanto non si misurano con la profondità delle dinamiche in atto. Una modellazione statistico-computazionale ancorata a modelli adattativi, espressioni di approcci strategici multi-livello, potrebbe essere il coronamento di modelli alternativi di policy.

Bibliografia

- Buchner, A. 1995. “Basic topics and approaches to the study of complex problem solving.” In *Complex problem solving: The European perspective*, edited by P.A. Frensch, J. Funke: 27-63. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Farman, J.C., Gardiner, B.G., e J.D. Shanklin. 1985. “Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction.” *Nature* 315: 207-10.
- Fischer, A., Greiff, S., e J. Funke. 2012. “The Process of Solving Complex Problems.” *Journal of Problem Solving* 4 (1): 19-42.
- Folke, C. et al. 2004. “Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management.” *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35: 557-81.
- Funke, J. 2013. “Complex problem solving.” In *Encyclopedia of the Science of Learning*, edited by N.M. Seel: 683-5. New York: Springer.
- Gómez Prieto, J., Demblans, A., Palazuelos, e M. Martínez. 2019. *Smart Specialisation in the world, an EU policy approach helping to discover innovation globally*. EUR 29773 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

- Greiff, S., Wüstenberg, S., e J. Funke. 2012. "Dynamic Problem Solving: A New Assessment Perspective." *Applied Psychological Measurement* 36 (3): 189-213.
- Haken, H. 1983. *Synergetics, an Introduction: Nonequilibrium Phase Transitions and SelfOrganization in Physics, Chemistry, and Biology*. Berlin: Springer-Verlag.
- MGI. 2020a. *The future of business: Reimagining 2020 and beyond*. McKinsey Global Institute, July.
- MGI. 2020b. "Climate risk and response. Physical hazards and socioeconomic impacts." <<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/climate-risk-and-response-physical-hazards-and-socioeconomic-impacts>> (2021-10-03).
- Miles, S.B. 2014. *Theorizing Community Resilience to Improve Computational Modeling*. Second International Conference on Vulnerability and Risk Analysis and Management (ICVRAM) and the Sixth International Symposium on Uncertainty, Modeling, and Analysis (ISUMA).
- NASA. 2019. "2019, Ozone Hole is the Smallest on Record Since Its Discovery." <<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/2019-ozone-hole-is-the-smallest-on-record-since-its-discovery/>> (2021-10-03).
- NIST. 2015. "Community Resilience Planning Guide for Buildings and Infrastructure Systems." <<https://www.nist.gov/community-resilience/planning-guide>> (2021-20-03).
- Prokopenko, M. 2009. "Guided self-organization." *HFSP Journal* 3 (5): 287-9.
- Prokopenko, M. 2017. "Modelling complex systems and guided self-organisation." *Journal & Proceedings of the Royal Society of New South Wales* 150 (part 1): 104-9.
- Siegenfeld, A.F., e Y. Bar-Yam. 2020. "An Introduction to Complex Systems Science and its Applications." *Complexity* 6105872.
- Thoma, K. 2014. *Resilience-Tech Project "Resilience by Design": a strategy for the technology issues of the future*. Acatech Study, April.
- UN. 2015. "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development." <<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>> (2021-03-10).

Conclusioni

Il volume ha due obiettivi fondamentali. Il primo è quello di fornire ai lettori una serie di strumenti teorici e operativi per comprendere aspetti fondamentali della fase storica odierna e quindi orientarsi nei processi decisionali. Il secondo è quello di proporre a operatori pubblici e privati suggerimenti e schemi mentali per formulare strategie appropriate rispetto alle sfide globali che l'Umanità e il Pianeta Terra devono affrontare. È infatti oggi necessario cambiare modi di pensare e comportamenti a molti livelli, perché lo scenario che si profila è denso di incognite e di grandi rischi, nonostante il potenziale tecnico-scientifico, forse paradossalmente a causa di esso, che la stessa Umanità ha creato. Nel corso del libro si argomenta come, in quella che molti studiosi chiamano 'transizione critica' del Sistema-Terra, sia necessario in primo luogo acquisire la consapevolezza di doversi misurare con dinamiche multi-scala e complesse, che evolvono incessantemente, rendendo le tradizionali logiche strategiche inadeguate, perché le variabili decisionali cambiano in continuazione in un orizzonte contraddistinto da molteplici crisi di portata globale e da un'accelerata dinamica tecnico-scientifica. Viene anche argomentato come un nucleo centrale di problemi debbano essere affrontati congiuntamente: creare occupazione, rapporto tra intelligenza umana e intelligenza artificiale, sostenibilità economica e ambientale, responsabilità collettiva per problemi globali.

Gli elementi acquisiti con l'analisi del complesso scenario evolutivo induce quindi a proporre un *frame* strategico basato sul *systems thinking* e sull'*adaptive strategic thinking*. Viene inoltre sottolineata l'importanza di una prospettiva

multi-stakeholder e delle partnership pubblico-privato, che possono svilupparsi se il pubblico è dotato di una tecno-struttura all'altezza della situazione e nella sfera privata dell'economia si sviluppa un ampio *Entrepreneurial Process Discovery*. In questo scenario il ruolo degli operatori pubblici a molti livelli è essenziale nel catalizzare i processi innovativi, nello stimolare l'evoluzione dello spazio combinatoriale delle conoscenze nella progettazione di processi e prodotti, grazie a strutture interattive multi-scala e multi-settoriali, quindi alla collaborazione tra imprese e centri di ricerca.

È chiaro, però, che le politiche dell'innovazione non possono prescindere da metodi e strumenti per la valutazione degli effetti, alla luce della complessità dello scenario e dei risultati di un dibattito internazionale in merito alla capacità di valutare gli effetti di dinamiche complesse e imprevedibili da parte dei set di indicatori finora impiegati. Sulla base di considerazioni su questi temi viene proposto un frame che coniuga l'avanzamento della frontiera nelle cinque traiettorie indicate nel capitolo 6, con il ruolo degli attori, i lineamenti strategici dell'architettura organizzativa, gli strumenti di verifica puntuale e specifica, infine gli indicatori riferiti alla complessità delle sfide generate dei processi globalizzati (Capp. 6-7).

A questo fine nel capitolo 8 le considerazioni sviluppate nel corso del libro sono articolate in un frame di *Design Thinking*, il cui punto di arrivo è l'individuazione di indicatori al tempo stesso quantitativi e qualitativi. Si tratta di indicatori multidimensionali e 'annidati', cioè articolati nei vari livelli, in modo che siano congruenti con i macro-obiettivi definiti per rispondere alle sfide globali. Essi sono espressioni di processi convergenti verso parametri rappresentativi di obiettivi strategici, articolati, evolutivi e direttamente verificabili.

In sostanza viene proposta una metodologia 'agile', incentrata su una flessibilità adattativa nell'analisi dei dati da parte di team compositi, mentre lo spazio decisionale degli attori evolve a differenti livelli. 1) Gli 11 *Sustainable Development Goals*, definiti in sede ONU, costituiscono le coordinate di fondo. 2) Il perseguimento di quegli obiettivi richiede che si affrontino rilevanti sfide tecnico-scientifiche. 3) Le traiettorie tecno-economiche, che si profilano nel misurarsi con le sfide, vanno tradotte in macro-obiettivi da raggiungere e quindi sub-goal da ottenere fino a livello micro (impresa, abitazioni, consumo individuale). 4) L'approccio *multi-stakeholder* è il meccanismo di connessione tra i punti 2 e 3, grazie allo sviluppo dell'attività di progettazione finalizzata mediante partnership strategico-progettuali. 5) Il punto di arrivo è, infine, la proposta di indicatori sintetici multidimensionali, di cui sono descritti anche esempi pratici, sulla base di esperienze a livello internazionale.

Il tutto viene completato con l'elaborazione di un'architettura logico-funzionale, dove gli attori pubblici e privati sono chiamati a svolgere funzioni essenziali: *Entrepreneurial Process Discovery*, catalizzazione di dinamiche innovative macro- meso- micro-, attività di coordinamento strategico.

Indice dei nomi

- Ackoff R.L. 13, 133, 146
Adner R. 62, 84
Albrecht T.R. 66, 84
AlGeddawy T. 59, 84
Andersen A.L. 29, 43, 58, 84
Andoni M. 73, 84
Anzalone A.V. 56, 84
Aronson J.D. 16, 20, 26
Arrow K.J., 90, 108
Arthur B. 74, 99-100, 108, 142
Arute F. 102, 108
Ashwell M., 128, 131
- Baas N.A., 93, 97, 108
Baldwin C.Y. 20, 25
Balte M. 34, 43
Bar-Yam Y. 150, 161
Bardi U. 56, 84
Barzotto M. 134, 136, 146
Becattini G. 137, 140, 147
Beddington J. 66, 84
Beinhocker E.D. 34, 43
Bekar C. 132
Bergstein B. 83-84
Bezdek J.C. 106, 108
- Biamonte J. 102, 108
Bianchi A. 135, 147
Bianchi P. 135-136, 147
Bonn I. 84, 103, 108
Borges J.L. 21, 25, 45, 53
Bortolini M. 58, 84
Boulding K.E. 56, 67, 84
Braa J. 20, 25
Bremmer J. 52-53
Bresnahan, T. 115, 131
Brouwer E. 147
Brownlee J. 23, 25
Broy M. 18, 26, 119, 132
Bruntland G.H. 121, 131
Brynjolfsson E. 33, 43
Brzezinski Z. 104, 106, 108
Buchner A. 153, 160
Buenstorf G., 65, 84
Bundy A. 17, 25
Bush V. 93, 108
- Callaway E. 33, 43
Carlaw K. 132
Castellani D. 136-137, 147
Castells M. 16, 25

- Chatila R. 86
 Cheng X. 106, 110
 Cho A. 102, 108
 Christian D. 18, 25
 Cincera M. 143, 148
 Clark K.B. 20, 25
 Cohen W.M. 29, 43, 65, 84
 Cowen T. 34, 43
 Cowney P.E. 16, 26
 Crow D. 16, 26, 33, 43
 Crutzen P. 30-31, 43

 D'Aveni R. 61, 84
 David P.A. 57-58, 84
 Davis M. 16, 26
 Dee M. 77, 84
 Dennett D.C. 38, 43
 Deutsch D. 29-30, 43
 Deymier P.A. 16, 26
 Dosi G. 32, 43

 Edwards C. 121, 131
 Egidi M. 32, 43
 Ehlers E. 93, 108
 ElMaraghy H. 58-59, 84
 Enos J. 145, 147
 Etzkowitz H. 92, 108
 Evans-Greenwood P. 81-82, 84

 Fairley P. 73, 84
 Farman J.C. 150, 160
 Fealing K.H. 147
 Feller I. 143, 147
 Fischer A. 152, 160
 Flockhart T. 77, 84
 Flower N.R. 105, 110
 Folke C. 23, 26, 50, 53, 152, 160
 Foray D. 57-58, 84, 95, 108, 116, 131, 145, 147
 Franklin D. 77, 84
 Freeman C. 26
 Frey C.B. 77, 84
 Friedman T.L. 35, 39, 43
 Funke J. 152, 160-161

 Gaffney O. 31, 43
 Galanakis C.M., 129, 132
 Galbraith J.K. 142, 147
 Gardiner B.G. 160

 Gault F. 94, 108
 Geels F.W. 57, 84, 94-95, 109
 Gehrke L. 92, 109
 Gell-Mann M. 23, 26
 Gharajedaghi J. 13, 133-134, 147
 Gianelle C. 109
 Gibbons M. 90-91, 109
 Gitelman L. 76, 85
 Gordon R.J. 34, 40, 43
 Greenhalgh T. 32, 44
 Gregory R.L. 38, 43
 Greiff S. 153, 160-161
 Grupp H. 144, 147
 Guszczka J. 84
 Guzzo F. 97, 109

 Hall B. 57-58, 84
 Hall P.A. 52-53
 Haken H. 150, 161
 Hassani B.K. 34, 43
 Hausmann R. 95, 109, 116, 132
 Henderson R. 22, 26, 44, 54
 Henfridsson O. 20, 26
 Hibbard K.A.J. 30, 43
 Hoff H. 66-67, 85
 Holland J.H. 23, 26, 109
 Hollanders H. 144, 147
 Holling C.S. 23, 26, 35, 48, 53
 Hunderson L.H. 35, 43

 Iizuka M. 144-145, 147

 Janssen M. 23, 26
 Jewitt G.P.W. 67-68, 86
 Jovane F. 63-64, 85
 Jovanovic B. 115, 132

 Kapoor R. 62, 84
 Keairns D.L. 66, 85
 Kelley M. 27
 Kemp R. 94, 110
 Kleinknecht A. 143, 147
 Kobie N. 76, 85
 Kraft T. 93, 108
 Kröger, W. 121-122, 132
 Kurz M. 93, 109
 Kuznetsov Y. 95, 97, 107, 109, 116, 132

 Labory S. 135-136, 146-147

- Laestadius L. 50, 54
 Lagarde C. 50, 54, 93, 109
 Lazonick W. 93, 109
 Lehmacher W. 34, 43
 Lenton T.M. 47, 54
 Leroi-Gourhan A. 79, 85
 Lessig L. 19, 26, 76, 85
 Levin S.A. 22, 26, 32, 43, 49, 51
 Lewars E.G. 17, 26
 Lewis H. 84
 Lewis S.L. 30, 43
 Leydesdorff L. 92, 108
 Li Z.S. 72, 85
 Liedtka J.M. 102, 109
 Lipsey R.G. 115, 132
 Litan R.E. 144, 147
 Lombardi M. 16, 26, 93, 99, 109, 115,
 119, 132
 Lorenz E.N. 32, 44

 Macchi M. 115, 132
 Madhavan R. 86
 March J. 25, 44, 98, 102, 109-110
 Marinelli E. 109, 117, 132
 Markard J. 94, 109
 Markoff J. 78, 85
 Martill B. 77, 87
 Maslin M.A. 30, 43
 Mason P. 16, 26
 Mayer-Schönberger V. 21
 Mazzucato M. 107, 109
 McAfee A. 43
 McCarthy J. 74, 85
 McCarthy N. 74, 85
 McLelland J.L. 75, 78, 86
 Meadows D.H. 90, 109
 Meadows D.L. 90, 109
 Miles S.B. 152, 161
 Miller F. 121, 132
 Miller J.H. 23, 26
 Ming J.M. 17, 26
 Minsky M. 36, 44, 74
 Mitchell W.M. 19, 27
 Moge M.E. 144, 147
 Mokyr J. 34, 44, 98-100, 109, 145
 Moon B.J. 103, 110
 Moore G.E. 40, 44, 70
 Morgan K. 134, 148
 Morozov E. 76, 85, 93, 110

 Mulgan G. 56, 85-86, 96, 110

 Naughton J. 70, 72, 85
 Nelson R.R. 90, 108, 110
 Nye J. 48, 52-54

 O'Donovan D. 105, 110
 Olson S. 59-60, 86
 Olsson O. 98, 100, 110, 117, 132
 Osborne M.A. 77, 84
 Ostrom E. 24, 27
 Owen J. 33, 44

 Page S.E. 23, 26
 Pavitt K. 18
 Perianez Forte I. 117
 Petit N. 49, 54, 93, 110
 Pham G.C. 83, 86
 Piaget J. 92, 110
 Picariello G. 129-130, 132
 Pisano G. 105, 111
 Plechero M. 136, 148
 Plsek P.E. 32, 44
 Pogančić M.V. 71, 86
 Polak W. 102, 110
 Polanyi K. 30, 44
 Polonsky J.A. 126, 132
 Popkin G. 102, 110
 Prieto G.J. 57, 86, 117, 132, 152, 160
 Prokopenko M. 150, 161

 Ramge T. 21, 26
 Raven R. 109
 Reeves M. 42, 44, 51, 54
 Rieffel E.G. 102, 110
 Righetti I. 86
 Rip A. 55, 86, 94-95, 97, 110
 Rittel H. W.J. 106, 110
 Rodriguez D.J. 67-68, 86
 Rosenberg M.Y. 77, 86
 Rousseau P.L. 115, 132
 Ruddiman W.F. 30, 44
 Rullani E. 136, 147-148
 Rumelhart D.E. 75, 78, 86

 Sabel C. 95, 97, 107, 109, 116, 132
 Sachs J.D. 77, 86
 Santamaria L. 143, 148
 Saunders T. 56, 86, 96, 110

Schaefer K.A. 21, 27, 56, 86
Schneier B. 51, 54
Schot J., 89-90, 93-94, 110
Schwartz J. 80, 86
Shah J.J. 62, 87
Shanklin J. D. 160
Sheng A. 106, 110
Shrage M. 34, 44
Siegenfeld A.F. 150, 161
Simeth M. 143, 148
Simon H.A. 23, 44, 50, 54, 74, 77-78, 83,
86, 102-103, 110
Simpson G.B. 67-68, 86
Smart W. 57-59, 84, 86, 100, 108-109, 117,
131-132, 146-147, 160
Sohrabi S. 34, 44
Soskice D. 52-53
Steffen W. 18, 27, 30-31, 43-44, 46, 54
Steinmueller W.E. 89-90, 93, 110
Steward F. 94, 110
Storm D. 76, 84, 86
Strubell E., 69-70, 87
Summers J.D. 62, 87
Sze V. 78, 87

Tainter J. 48, 54
Teece D.J. 105, 111

Ten Brinke L. 87
Tomiyama T. 58, 87
Trajtenberg, M. 115, 131
Truffer B. 109

Ueda K. 60, 62, 87

van Montfrot K. 147
Vannuccini S. 16, 26
Victor D.G. 72, 87
Von Neumann J. 75, 87
Walter C. 25, 27
Walter W.G. 78, 87
Wanzenböck I. 96-97, 106-107, 111
Webber M.M. 106, 110
Weiser M. 40-41, 44
Westkamper B. 85
Wiener N. 15, 76, 87
Wüstenberg S. 161
Wyckoff A.W. 147
Wydra S. 128-129, 132
Xu Elegant N. 68, 70, 87
Yoo Y. 19, 27
Young D. 42, 44, 52-54
Zittrain J.L. 20, 27
Zysman J. 19, 27

STUDI E SAGGI

TITOLI PUBBLICATI

ARCHITETTURA, STORIA DELL'ARTE E ARCHEOLOGIA

- Acciai S., *Sedad Hakki Eldem. An aristocratic architect and more*
- Bartoli M.T., Lusoli M. (edited by), *Le teorie, le tecniche, i repertori figurativi nella prospettiva d'architettura tra il '400 e il '700. Dall'acquisizione alla lettura del dato*
- Bartoli M.T., Lusoli M. (edited by), *Diminuzioni e accrescimenti. Le misure dei maestri di prospettiva*
- Benelli E., *Archetipi e citazioni nel fashion design*
- Benzi S., Bertuzzi L., *Il Palagio di Parte Guelfa a Firenze. Documenti, immagini e percorsi multimediali*
- Betti M., Brovadan C. (edited by), *Donum. Studi di storia della pittura, della scultura e del collezionismo a Firenze dal Cinquecento al Settecento*
- Biagini C. (edited by), *L'Ospedale degli Infermi di Faenza. Studi per una lettura tipo-morfologica dell'edilizia ospedaliera storica*
- Bologna A., *Pier Luigi Nervi negli Stati Uniti 1952-1979. Master Builder of the Modern Age*
- Eccheli M.G., Pireddu A. (edited by), *Oltre l'Apocalisse. Arte, Architettura, Abbandono*
- Fischer von Erlach J.B., *Progetto di un'architettura storica / Entwurf einer Historischen Architektur*, traduzione e cura di G. Rakowitz
- Frati M., *"De bonis lapidibus conciiis": la costruzione di Firenze ai tempi di Arnolfo di Cambio. Strumenti, tecniche e maestranze nei cantieri fra XIII e XIV secolo*
- Gregotti V., *Una lezione di architettura. Rappresentazione, globalizzazione, interdisciplinarietà*
- Gulli R., *Figure. Ars e ratio nel progetto di architettura*
- Lauria A., Benesperi B., Costa P., Valli F., *Designing Autonomy at Home. The ADA Project. An Interdisciplinary Strategy for Adaptation of the Homes of Disabled Persons*
- Lauria A., Flora V., Guza K., *Five Albanian Villages. Guidelines for a Sustainable Tourism Development through the Enhancement of the Cultural Heritage*
- Lisini C., *Lezione di sguardi. Edoardo Detti fotografo*
- Maggiore G., *Sulla retorica dell'architettura*
- Mantese E. (edited by), *House and Site. Rudofsky, Lewerentz, Zanuso, Sert, Rainer*
- Mazza B., *Le Corbusier e la fotografia. La vérité blanche*
- Mazzoni S. (edited by), *Studi di Archeologia del Vicino Oriente. Scritti degli allievi fiorentini per Paolo Emilio Pecorella*
- Messina M.G., *Paul Gauguin. Un esotismo controverso*
- Paolucci F. (edited by), *Epigrafia tra erudizione antiquaria e scienza storica*
- Pireddu A., *In abstracto. Sull'architettura di Giuseppe Terragni*
- Pireddu A., *The Solitude of Places. Journeys and Architecture on the Edges*
- Pireddu A., *In limine. Between Earth and Architecture*
- Rakowitz G., *Tradizione Traduzione Tradimento in Johann Bernhard Fischer von Erlach*
- Tonelli M.C., *Giovanni Klaus Koenig. Un fiorentino nel dibattito nazionale su architettura e design (1924-1989)*
- Tonelli M.C., *Industrial design: latitudine e longitudine*

CULTURAL STUDIES

- Candotti M.P., *Interprétations du discours métalinguistique. La fortune du sūtra A I.1.68 chez Pa-tāñjali et Bhartṛhari*
- Castorina M., *In the garden of the world. Italy to a young 19th century Chinese traveler*
- Cucinelli D., Scibetta A. (edited by), *Tracing Pathways 雲路. Interdisciplinary Studies on Modern and Contemporary East Asia*
- Nesti A., *Per una mappa delle religioni mondiali*
- Nesti A., *Qual è la religione degli italiani? Religioni civili, mondo cattolico, ateismo devoto, fede, laicità*
- Pedone V., *A Journey to the West. Observations on the Chinese Migration to Italy*

Pedone V., Sagiyama I. (edited by), *Perspectives on East Asia*
Pedone V., Sagiyama I. (edited by), *Transcending Borders. Selected papers in East Asian studies*
Rigopoulos A., *The Mahānubhāva*
Squarcini F. (edited by), *Boundaries, Dynamics and Construction of Traditions in South Asia*
Sagiyama I., Castorina M. (edited by), *Trajectories: Selected papers in East Asian studies* 軌跡
Vanoli A., *Il mondo musulmano e i volti della guerra. Conflitti, politica e comunicazione nella storia dell'islam*

DIRITTO

Allegretti U., *Democrazia partecipativa. Esperienze e prospettive in Italia e in Europa*
Cingari F. (edited by), *Corruzione: strategie di contrasto (legge 190/2012)*
Curreri S., *Democrazia e rappresentanza politica. Dal divieto di mandato al mandato di partito*
Curreri S., *Partiti e gruppi parlamentari nell'ordinamento spagnolo*
Federico V., Fusaro C. (edited by), *Constitutionalism and Democratic Transitions. Lessons from South Africa*
Ferrara L., Sorace D., Bartolini A., Pioggia A. (edited by), *A 150 anni dall'unificazione amministrativa italiana. Studi. Vol. VIII. Cittadinanze amministrative*
Ferrara L., Sorace D., Cafagno M., Manganaro F. (edited by), *A 150 anni dall'unificazione amministrativa italiana. Studi. Vol. V. L'intervento pubblico nell'economia*
Ferrara L., Sorace D., Cavallo Perin R., Police A., Saitta F. (edited by), *A 150 anni dall'unificazione amministrativa italiana. Studi. Vol. I. L'organizzazione delle pubbliche amministrazioni tra Stato nazionale e integrazione europea*
Ferrara L., Sorace D., Chiti E., Gardini G., Sandulli A. (edited by), *A 150 anni dall'unificazione amministrativa italiana. Studi. Vol. VI. Unità e pluralismo culturale*
Ferrara L., Sorace D., Civitaresse Matteucci S., Torchia L., *A 150 anni dall'unificazione amministrativa italiana. Studi. Vol. IV. La tecnificazione*
Ferrara L., Sorace D., Comporti G.D. (edited by), *A 150 anni dall'unificazione amministrativa italiana. Studi. Vol. VII. La giustizia amministrativa come servizio (tra effettività ed efficienza)*
Ferrara L., Sorace D., De Giorgi Cezzi, Portaluri P.L. (edited by), *A 150 anni dall'unificazione amministrativa italiana. Studi. Vol. II. La coesione politico-territoriale*
Ferrara L., Sorace D., Marchetti B., Renna M. (edited by), *A 150 anni dall'unificazione amministrativa italiana. Studi. Vol. III. La giuridificazione*
Fiorita N., *L'Islam spiegato ai miei studenti. Otto lezioni su Islam e diritto*
Fiorita N., *L'Islam spiegato ai miei studenti. Undici lezioni sul diritto islamico*
Fossum J.E., Menéndez A.J., *La peculiare costituzione dell'Unione Europea*
Gregorio M., *Le dottrine costituzionali del partito politico. L'Italia liberale*
Palazzo F., Bartoli R. (edited by), *La mediazione penale nel diritto italiano e internazionale*
Ragno F., *Il rispetto del principio di pari opportunità. L'annullamento della composizione delle giunte regionali e degli enti locali*
Sorace D. (edited by), *Discipline processuali differenziate nei diritti amministrativi europei*
Trocker N., De Luca A. (edited by), *La mediazione civile alla luce della direttiva 2008/S2/CE*
Urso E., *La mediazione familiare. Modelli, principi, obiettivi*
Urso E., *Le ragioni degli altri. Mediazione e famiglia tra conflitto e dialogo. Una prospettiva comparatistica e interdisciplinare*

ECONOMIA

Ammannati F., *Per filo e per segno. L'Arte della Lana a Firenze nel Cinquecento*
Bardazzi R. (edited by), *Economic multisectoral modelling between past and future. A tribute to Maurizio Grassini and a selection of his writings*
Bardazzi R., Ghezzi L. (edited by), *Macroeconomic modelling for policy analysis*
Barucci P., Bini P., Conigliello L. (edited by), *Economia e Diritto durante il Fascismo. Approfondimenti, biografie, nuovi percorsi di ricerca*
Barucci P., Bini P., Conigliello L. (edited by), *Il Corporativismo nell'Italia di Mussolini. Dal declino delle istituzioni liberali alla Costituzione repubblicana*

- Barucci P., Bini P., Conigliello L. (edited by), *Intellettuali e uomini di regime nell'Italia fascista*
 Barucci P., Bini P., Conigliello L. (edited by), *I mille volti del regime. Opposizione e consenso nella cultura giuridica, economica e politica italiana tra le due guerre*
- Bellanca N., Pardi, L., *O la capra o i cavoli. La biosfera, l'economia e il futuro da inventare*
- Ciampi F., *Come la consulenza direzionale crea conoscenza. Prospettive di convergenza tra scienza e consulenza*
- Ciampi F., *Knowing Through Consulting in Action. Meta-consulting Knowledge Creation Pathways*
- Ciappei C. (edited by), *La valorizzazione economica delle tipicità rurali tra localismo e globalizzazione*
- Ciappei C., Citti P., Bacci N., Campatelli G., *La metodologia Sei Sigma nei servizi. Un'applicazione ai modelli di gestione finanziaria*
- Ciappei C., Sani A., *Strategie di internazionalizzazione e grande distribuzione nel settore dell'abbigliamento. Focus sulla realtà fiorentina*
- Garofalo G. (edited by), *Capitalismo distrettuale, localismi d'impresa, globalizzazione*
- Laureti T., *L'efficienza rispetto alla frontiera delle possibilità produttive. Modelli teorici ed analisi empiriche*
- Lazzeretti L. (edited by), *Art Cities, Cultural Districts and Museums. An Economic and Managerial Study of the Culture Sector in Florence*
- Lazzeretti L. (edited by), *I sistemi museali in Toscana. Primi risultati di una ricerca sul campo*
- Lazzeretti L., Cinti T., *La valorizzazione economica del patrimonio artistico delle città d'arte. Il restauro artistico a Firenze*
- Lazzeretti L., *Nascita ed evoluzione del distretto orafico di Arezzo, 1947-2001. Primo studio in una prospettiva ecology based*
- Mastronardi L., Romagnoli L. (edited by), *Metodologie, percorsi operativi e strumenti per lo sviluppo delle cooperative di comunità nelle aree interne italiane*
- Meade S. Douglas (edited by), *In Quest of the Craft. Economic Modeling for the 21st Century*
- Perrotta C., *Il capitalismo è ancora progressivo?*
- Simoni C., *Approccio strategico alla produzione. Oltre la produzione snella*
- Simoni C., *Mastering the Dynamics of Apparel Innovation*

FILOSOFIA

- Baldi M., Desideri F. (edited by), *Paul Celan. La poesia come frontiera filosofica*
- Barale A., *La malinconia dell'immagine. Rappresentazione e significato in Walter Benjamin e Aby Warburg*
- Berni S., Fadini U., *Linee di fuga. Nietzsche, Foucault, Deleuze*
- Borsari A., *Schopenhauer educatore? Storia e crisi di un'idea tra filosofia morale, estetica e antropologia*
- Brunkhorst H., *Habermas*
- Cambi F., *Pensiero e tempo. Ricerche sullo storicismo critico: figure, modelli, attualità*
- Cambi F., Mari G. (edited by), *Giulio Preti: intellettuale critico e filosofo attuale*
- Casalini B., Cini L., *Giustizia, uguaglianza e differenza. Una guida alla lettura della filosofia politica contemporanea*
- Desideri F., Matteucci G. (edited by), *Dall'oggetto estetico all'oggetto artistico*
- Desideri F., Matteucci G. (edited by), *Estetiche della percezione*
- Di Stasio M., *Alvin Plantinga: conoscenza religiosa e naturalizzazione epistemologica*
- Giovagnoli R., *Autonomy: a Matter of Content*
- Honneth A., *Capitalismo e riconoscimento*
- Michellini L., *Il nazional-fascismo economico del giovane Franco Modigliani*
- Mindus P., *Cittadini e no: Forme e funzioni dell'inclusione e dell'esclusione*
- Sandrini M.G., *La filosofia di R. Carnap tra empirismo e trascendentalismo. (In appendice: R. Carnap Sugli enunciati protocollari, Traduzione e commento di E. Palombi)*
- Solinas M., *Psiche: Platone e Freud. Desiderio, sogno, mania, eros*
- Trentin B., *La Città del lavoro. Sinistra e crisi del fordismo, edited by Iginio Ariemma*
- Valle G., *La vita individuale. L'estetica sociologica di Georg Simmel*

FISICA

- Arecchi F.T., *Cognizione e realtà*

LETTERATURA, FILOLOGIA E LINGUISTICA

- Antonucci F., Vuelta García S. (edited by), *Ricerche sul teatro classico spagnolo in Italia e oltralpe (secoli XVI-XVIII)*
- Bastianini G., Lapini W., Tulli M., *Harmonia. Scritti di filologia classica in onore di Angelo Casanova*
- Bilenchi R., *The Conservatory of Santa Teresa*
- Bresciani Califano M., *Piccole zone di simmetria. Scrittori del Novecento*
- Caracchini C., Minardi E. (edited by), *Il pensiero della poesia. Da Leopardi ai contemporanei. Letture dal mondo di poeti italiani*
- Cauchi-Santoro R., *Beyond the Suffering of Being: Desire in Giacomo Leopardi and Samuel Beckett*
- Colucci D., *L'Eleganza è frigida e L'Empire des signs. Un sogno fatto in Giappone*
- Dei L. (edited by), *Voci dal mondo per Primo Levi. In memoria, per la memoria*
- Ferrone S., *Visioni critiche. Recensioni teatrali da «l'Unità-Toscana» (1975-1983)*, edited by Teresa Megale e Francesca Simoncini
- Ferrara M.E., *Il realismo teatrale nella narrativa del Novecento: Vittorini, Pasolini, Calvino*
- Francesce J., *Leonardo Sciascia e la funzione sociale degli intellettuali*
- Francesce J., *Vincenzo Consolo: gli anni de «l'Unità» (1992-2012), ovvero la poetica della colpa-espiazione*
- Franchini S., *Diventare grandi con il «Pioniere» (1950-1962). Politica, progetti di vita e identità di genere nella piccola posta di un giornalino di sinistra*
- Francovich Onesti N., *I nomi degli Ostrogoti*
- Frau O., Gragnani C., *Sottoboschi letterari. Sei case studies fra Otto e Novecento. Mara Antelling, Emma Boghen Conigliani, Evelyn, Anna Franchi, Jolanda, Flavia Steno*
- Frosini G. (edited by), *Intorno a Boccaccio / Boccaccio e dintorni*
- Frosini G., Zamponi S. (edited by), *Intorno a Boccaccio / Boccaccio e dintorni*
- Galgani G., *Salomè, mostruosa fanciulla*
- Gigli D., Magnelli E. (edited by), *Studi di poesia greca tardoantica*
- Giuliani L., Pineda V. (edited by), *La edición del diálogo teatral (siglos XVI-XVII)*
- Gori B., *La grammatica dei clittici portoghesi. Aspetti sincronici e diacronici*
- Gorman M., *I nostri valori, rivisti. La biblioteconomia in trasformazione*
- Graziani M., Abbati O., Gori B. (edited by), *La spugna è la mia anima. Omaggio a Piero Ceccucci*
- Graziani M. (edited by), *Un incontro lusofono plurale di lingue, letterature, storie, culture*
- Guerrini M., *De bibliothecariis. Persone, idee, linguaggi*
- Guerrini M., Mari G. (edited by), *Via verde e via d'oro. Le politiche open access dell'Università di Firenze*
- Keidan A., Alfieri L. (edited by), *Deissi, riferimento, metafora*
- Lopez Cruz H., *America Latina aportes lexicos al italiano contemporaneo*
- Mario A., *Italo Calvino. Quale autore laggiù attende la fine?*
- Masciandaro F., *The Stranger as Friend: The Poetics of Friendship in Homer, Dante, and Boccaccio*
- Nosilia V., Prandoni M. (edited by), *Trame controluce. Il patriarca 'protestante' Cirillo Loukaris / Backlighting Plots. The 'Protestant' Patriarch Cyril Loukaris*
- Pagliaro A., Zuccala B. (edited by), *Luigi Capuana: Experimental Fiction and Cultural Mediation in Post-Risorgimento Italy*
- Pestelli C., *Carlo Antici e l'ideologia della Restaurazione in Italia*
- Rosengarten F., *Through Partisan Eyes. My Friendships, Literary Education, and Political Encounters in Italy (1956-2013). With Sidelights on My Experiences in the United States, France, and the Soviet Union*
- Ross S., Honess C. (edited by), *Identity and Conflict in Tuscany*
- Totaro L., *Ragioni d'amore. Le donne nel Decameron*
- Turbanti S., *Bibliometria e scienze del libro: internazionalizzazione e vitalità degli studi italiani*
- Vicente F.L., *Altri orientalism. L'India a Firenze 1860-1900*
- Virga A., *Subaltermit  siciliana nella scrittura di Luigi Capuana e Giovanni Verga*
- Zamponi S. (edited by), *Intorno a Boccaccio / Boccaccio e dintorni 2015*
- Zamponi S. (edited by), *Intorno a Boccaccio / Boccaccio e dintorni 2016*
- Zamponi S. (edited by), *Intorno a Boccaccio / Boccaccio e dintorni 2017*
- Zamponi S. (edited by), *Intorno a Boccaccio / Boccaccio e dintorni 2018*

Zamponi S. (edited by), *Intorno a Boccaccio / Boccaccio e dintorni* 2019

MATEMATICA

Paolo de Bartolomeis, *Matematica. Passione e conoscenza. Scritti (1975-2016)*, edited by Fiammetta Battaglia, Antonella Nannicini e Adriano Tomassini

MEDICINA

Mannaioni P.F., Mannaioni G., Masini E. (edited by), *Club drugs. Cosa sono e cosa fanno*
Saint S., Krein S.L. (con Stock R.W.), *La prevenzione delle infezioni correlate all'assistenza. Problemi reali, soluzioni pratiche*

PEDAGOGIA

Bandini G., Oliviero S. (edited by), *Public History of Education: riflessioni, testimonianze, esperienze*
Mariani A. (edited by), *L'orientamento e la formazione degli insegnanti del futuro*

POLITICA

Caruso S., *"Homo oeconomicus". Paradigma, critiche, revisioni*
Cipriani A. (edited by), *Partecipazione creativa dei lavoratori nella 'fabbrica intelligente'. Atti del Seminario di Roma, 13 ottobre 2017*
Cipriani A., Gramolati A., Mari G. (edited by), *Il lavoro 4.0. La Quarta Rivoluzione industriale e le trasformazioni delle attività lavorative*
Cipriani A., Ponzellini A.M. (edited by), *Colletti bianchi. Una ricerca nell'industria e la discussione dei suoi risultati*
Corsi C. (edited by), *Felicità e benessere. Una ricognizione critica*
Corsi C., Magnier A., *L'Università allo specchio. Questioni e prospettive*
De Boni C., *Descrivere il futuro. Scienza e utopia in Francia nell'età del positivismo*
De Boni C. (edited by), *Lo stato sociale nel pensiero politico contemporaneo. 1. L'Ottocento*
De Boni C., *Lo stato sociale nel pensiero politico contemporaneo. Il Novecento. Parte prima: da inizio secolo alla seconda guerra mondiale*
De Boni C. (edited by), *Lo stato sociale nel pensiero politico contemporaneo. Il Novecento. Parte seconda: dal dopoguerra a oggi*
Gramolati A., Mari G. (edited by), *Bruno Trentin. Lavoro, libertà, conoscenza*
Gramolati A., Mari G. (edited by), *Il lavoro dopo il Novecento: da produttori ad attori sociali. La Città del lavoro di Bruno Trentin per un'«altra sinistra»*
Lombardi M., *Fabbrica 4.0: i processi innovativi nel Multiverso fisico-digitale*
Lombardi M., *Transizione ecologica e universo fisico-cibernetico. Soggetti, strategie, lavoro*
Nacci M. (edited by), *Nazioni come individui. Il carattere nazionale fra passato e presente*
Renda F., Ricciuti R., *Tra economia e politica: l'internazionalizzazione di Finmeccanica, Eni ed Enel*
Spini D., Fontanella M. (edited by), *Sognare la politica da Roosevelt a Obama. Il futuro dell'America nella comunicazione politica dei democrats*
Tonini A., Simoni M. (edited by), *Realtà e memoria di una disfatta. Il Medio Oriente dopo la guerra dei Sei Giorni*
Trentin B., *La libertà viene prima. La libertà come posta in gioco nel conflitto sociale. Nuova edizione con pagine inedite dei Diari e altri scritti*, edited by Sante Cruciani
Zolo D., *Tramonto globale. La fame, il patibolo, la guerra*

PSICOLOGIA

Aprile L. (edited by), *Psicologia dello sviluppo cognitivo-linguistico: tra teoria e intervento*
Luccio R., Salvadori E., Bachmann C., *La verifica della significatività dell'ipotesi nulla in psicologia*

SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

Surico G., *Lampedusa: dall'agricoltura, alla pesca, al turismo*

SCIENZE NATURALI

Bessi F.V., Clauser M., *Le rose in fila. Rose selvatiche e coltivate: una storia che parte da lontano*
Sánchez-Villagra M.R., *Embrioni nel tempo profondo. Il registro paleontologico dell'evoluzione biologica*

SOCIOLOGIA

Alacevich F., *Promuovere il dialogo sociale. Le conseguenze dell'Europa sulla regolazione del lavoro*
Alacevich F., Bellini A., Tonarelli A., *Una professione plurale. Il caso dell'avvocatura fiorentina*
Battiston S., Mascitelli B., *Il voto italiano all'estero. Riflessioni, esperienze e risultati di un'indagine in Australia*
Becucci S. (edited by), *Oltre gli stereotipi. La ricerca-azione di Renzo Rastrelli sull'immigrazione cinese in Italia*
Becucci S., Garosi E., *Corpi globali. La prostituzione in Italia*
Bettin Lattes G., *Giovani Jeunes Jovenes. Rapporto di ricerca sulle nuove generazioni e la politica nell'Europa del sud*
Bettin Lattes G. (edited by), *Per leggere la società*
Bettin Lattes G., Turi P. (edited by), *La sociologia di Luciano Cavalli*
Burrioni L., Piselli F., Ramella F., Trigilia C., *Città metropolitane e politiche urbane*
Catarsi E. (edited by), *Autobiografie scolastiche e scelta universitaria*
Leonardi L. (edited by), *Opening the European Box. Towards a New Sociology of Europe*
Nuvolati G., *Mobilità quotidiana e complessità urbana*
Nuvolati G., *L'interpretazione dei luoghi. Flânerie come esperienza di vita*
Nuvolati G., *Sviluppo urbano e politiche per la qualità della vita*
Ramella F., Trigilia C. (edited by), *Reti sociali e innovazione. I sistemi locali dell'informatica*
Rondinone A., *Donne mancanti. Un'analisi geografica del disequilibrio di genere in India*

STORIA E SOCIOLOGIA DELLA SCIENZA

Angotti F., Pelosi G., Soldani S. (edited by), *Alle radici della moderna ingegneria. Competenze e opportunità nella Firenze dell'Ottocento*
Cabras P.L., Chiti S., Lippi D. (edited by), *Joseph Guillaume Desmaysons Dupallans. La Francia alla ricerca del modello e l'Italia dei manicomi nel 1840*
Califano S., Schettino V., *La nascita della meccanica quantistica*
Cartocci A., *La matematica degli Egizi. I papiri matematici del Medio Regno*
Fontani M., Orna M.V., Costa M., *Chimica e chimici a Firenze. Dall'ultimo dei Medici al Padre del Centro Europeo di Risonanze Magnetiche*
Guatelli F. (edited by), *Scienza e opinione pubblica. Una relazione da ridefinire*
Massai V., *Angelo Gatti (1724-1798)*
Meurig T.J., *Michael Faraday. La storia romantica di un genio*
Schettino V., *Scienza e arte. Chimica, arti figurative e letteratura*

STUDI DI BIOETICA

Baldini G. (edited by), *Persona e famiglia nell'era del biodiritto. Verso un diritto comune europeo per la bioetica*
Baldini G., Soldano M. (edited by), *Nascere e morire: quando decido io? Italia ed Europa a confronto*
Baldini G., Soldano M. (edited by), *Tecnologie riproduttive e tutela della persona. Verso un comune diritto europeo per la bioetica*
Bucelli A. (edited by), *Produrre uomini. Procreazione assistita: un'indagine multidisciplinare*
Costa G., *Scelte procreative e responsabilità. Genetica, giustizia, obblighi verso le generazioni future*
Galletti M., *Decidere per chi non può*
Galletti M., Zullo S. (edited by), *La vita prima della fine. Lo stato vegetativo tra etica, religione e diritto*

STUDI EUROPEI

Guderzo M., Bosco A. (edited by), *A Monetary Hope for Europe. The Euro and the Struggle for the Creation of a New Global Currency*
Scalise G., *Il mercato non basta. Attori, istituzioni e identità dell'Europa in tempo di crisi*

del lavoro e dell'idea di ozio

TEORIE, PRATICHE, STORIE

Oggi è diffusa la consapevolezza che l'Umanità e il Pianeta Terra siano vicini ad un *tipping point* – un 'punto di non ritorno' – all'interno di una fase di *critical transition*, cioè di bruschi cambiamenti che sono l'esito di crisi congiunte: pandemica, sanitaria, climatica, energetica. Ciò è dovuto all'esistenza di un mondo iperconnesso, dove evolvono strutture interattive globali e feedback cumulativi. Ne consegue un incremento della complessità sistemica a ogni livello, quindi incertezza e instabilità con cui devono misurarsi i processi decisionali di tutti gli attori. È dunque necessario delineare nuovi strumenti di analisi strategica e progettazione operativa: a tal fine, il presente volume intende fornire uno schema teorico-strategico e suggerire sia un'architettura operativa sia meccanismi per valutare l'efficacia delle scelte di medio-lungo periodo.

Mauro Lombardi insegna Economics of Innovation presso il Dipartimento di Scienze per l'Economia e l'Impresa dell'Università di Firenze; è membro dell'Unità di Ricerca BABEL (Blockchain and Artificial Intelligence for Business, Economics and Law), accademico d'onore dell'Accademia delle Arti del Disegno (AADFI) e autore di oltre sei pubblicazioni e più di cento articoli su riviste italiane e straniere.

Sommario: Introduzione – 1. XXI secolo: l'universo fisico-cibernetico e le grandi sfide emergenti – 2. Un'era dominata da Grande Accelerazione, complessità, incertezza, ansietà – 3. Fase di 'transizione critica' per il Sistema Terra – 4. Le sfide globali dell'era odierna come coordinate generali – 5. La ricerca di uno schema concettuale e di una metodologia appropriati per affrontare le sfide generate dalla dinamica tecno-economica – 6. Traiettorie tecno-economiche – 7. Attori e strumenti delle politiche per l'innovazione – 8. Ripensare gli indicatori per le politiche per l'innovazione attraverso il Design-thinking – 9. Conclusioni – Indice dei nomi.

ISSN 2704-6478 (print)
ISSN 2704-5919 (online)
ISBN 978-88-5518-309-3 (print)
ISBN 978-88-5518-310-9 (PDF)
ISBN 978-88-5518-311-6 (XML)
DOI 10.36253/978-88-5518-310-9

www.fupress.com