

Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino

1. Ingegneria Industriale

a cura di
Bruno Facchini
Giovanni Ferrara
Rocco Furferi

DIALOGHI CON LA SOCIETÀ

ISSN 2975-0210 (PRINT) | ISSN 2975-0334 (ONLINE)

Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino

– 1 –

Ingegneria Industriale

a cura di

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi

Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino : ingegneria Industriale - Volume 1 / a cura di Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi. – Firenze : Firenze University Press, 2026. (Dialoghi con la società ; 11)

<https://books.fupress.com/isbn/9791221509724>

ISSN 2975-0210 (print)
ISSN 2975-0334 (online)
ISBN 979-12-215-0971-7 (Print)
ISBN 979-12-215-0972-4 (PDF)
ISBN 979-12-215-0973-1 (XML)
DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

Graphic design: Alberto Pizarro Fernández, Lettera Meccanica SRLs
Front cover: created with AI assistance.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Da un secolo, oltre.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DINFO
DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE



Peer Review Policy

Peer-review is the cornerstone of the scientific evaluation of a book. All FUP's publications undergo a peer-review process by external experts under the responsibility of the Editorial Board and the Scientific Boards of each series (DOI 10.36253/fup_best_practice.3).


Referee List

In order to strengthen the network of researchers supporting FUP's evaluation process, and to recognise the valuable contribution of referees, a Referee List is published and constantly updated on FUP's website (DOI 10.36253/fup_referee_list).

Firenze University Press Editorial Board

G. Bandini (Editor-in-Chief), C. Andreini, R. Bartoli, R. Bianchi, F. Boncinelli, M. Bontempi, F.V. Collotti, A. Cuccoli, D. D'Andrea, A. Dolfi, M. Fagone, M. Garzaniti, C. Giometti, D. Lippi, F. Lucchesi, G. Mari, P.M. Mariano, G. Minutoli, R. Morani, A. Orlandi, B.E. Palladino, L. Re, D. Romano, L. Rovero, S. Scaramuzzi, T. Spignoli, A. Vinciguerra, S. Vuelta García.

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

 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>).

© 2026 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*

Sommario

Presentazione <i>Andrea Arnone</i>	9
Prefazione <i>Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi, Stefano Selleri, Alberto Tesi, Enrico Vicario</i>	11
L'Ateneo e il mondo della Tecnica <i>Bruno Facchini, Enrico Vicario</i>	15
PARTE I IL DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE	
Il Dipartimento di Ingegneria Industriale: cenni storici <i>Rocco Furferi</i>	25
Il Dipartimento di Ingegneria Industriale: oggi <i>Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi</i>	33
Laboratori, Laboratori Congiunti e Unità Interdipartimentali del Dipartimento di Ingegneria Industriale <i>Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi</i>	45
Un Dipartimento aperto alla società: attività di Public Engagement <i>Gianni Campatelli</i>	57
PARTE II LA RICERCA DEL DIEF NEL TERRITORIO	
Ricerca, innovazione e sviluppo: la missione scientifica del Dipartimento di Ingegneria Industriale <i>Rocco Furferi</i>	61

Contributo della Sezione di Meccanica Applicata alle Macchine per una storia del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Firenze <i>Benedetto Allotta</i>	63
Progettare la salute: le tecnologie 3D in prima linea per il paziente <i>Monica Carfagni</i>	77
Oltre la vista: il ruolo del gruppo di Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale nel settore dei Beni Culturali <i>Rocco Furferi</i>	89
Mobilità e sicurezza dei veicoli: il contributo della sezione di Costruzioni di Macchine <i>Dario Vangi</i>	99
Chimica@DIEF: buone collaborazioni danno ottimi frutti <i>Andrea Caneschi, Paola Paoli, Patrizia Rossi, Giulia Serrano, Martina Lippi, Alberto Privitera</i>	111
Scienza dei materiali e ingegneria dell'innovazione <i>Emanuele Galvanetto, Francesca Borgioli, Stefano Caporali, Rosa Taurino, Nicola Calisi</i>	117
La Bioingegneria e le nuove sfide per il futuro <i>Andrea Corvi, Federico Carpi, Filippo Cavallo</i>	123
Analisi Numerica e Ingegneria: sinergie e contaminazioni <i>Stefania Bellavia, Costanza Conti, Benedetta Morini, Alessandra Papini, Margherita Porcelli</i>	135
Innovazione tecnologica a servizio del territorio: attività di ricerca e trasferimento tecnologico del Manufacturing Technology Research Laboratory <i>Gianni Campatelli</i>	141
Attività della sezione di Fisica Tecnica e ricadute sul territorio fiorentino <i>Adriano Milazzo</i>	147
Macchine a fluido: la ricerca del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) <i>Antonio Andreini, Andrea Arnone, Tommaso Bacci, Francesco Balduzzi, Maurizio De Lucia, Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Michele Marconcini, Roberto Pacciani, Alessio Picchi, Lorenzo Pinelli, Francesco Poli, Francesco Taddei, Luca Romani</i>	151
Energie rinnovabili: la ricerca del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) <i>Francesco Balduzzi, Alessandro Bianchini, Maurizio De Lucia, Giovanni Ferrara, Daniele Fiaschi, Giampaolo Manfrida, Francesco Papi, Francesco Taddei, Pietro Ungar, Claudio Zuffi</i>	163
Sistemi energetici: la ricerca del Dipartimento di Ingegneria Industriale <i>Francesco Balduzzi, Alessandro Bianchini, Carlo Carcasci, Maurizio De Lucia, Giovanni Ferrara, Daniele Fiaschi, Giampaolo Manfrida, Luca Romani</i>	173

PARTE III

TESTIMONIANZE DAL PASSATO

Radici e memorie: quattro voci per la storia del Dipartimento <i>Rocco Furferi</i>	187
Macchine e sistemi per l'energia e l'ambiente a Firenze (e non solo): l'eredità scientifica di Sergio Stecco <i>Ennio Carnevale</i>	189
Alla scoperta della Meccatronica <i>Paolo Toni, Benedetto Allotta</i>	195
Storia della progettazione meccanica e della costruzione di macchine a Firenze. Un ricordo <i>Paolo Citti</i>	197
Una storia di Ingegneria Gestionale a Firenze <i>Martino Bandelloni, Mario Tucci, Filippo De Carlo, Rinaldo Rinaldi, Romeo Bandinelli, Mario Rapaccini, Filippo Visintin</i>	203

PARTE IV

LA DIDATTICA DEL DIEF A SERVIZIO DEL TERRITORIO

Il contributo del Dipartimento di Ingegneria Industriale alla didattica della Scuola di Ingegneria: cenni storici <i>Rocco Furferi</i>	213
Il contributo del Dipartimento di Ingegneria Industriale alla didattica della Scuola di Ingegneria: oggi <i>Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi</i>	221
Dottorato di Ricerca in Ingegneria Industriale <i>Giovanni Ferrara, Lapo Governi</i>	233

PARTE V

TRASFERIMENTO TECNOLOGICO

Dal sapere all'innovazione: il ruolo del DIEF nel trasferimento tecnologico <i>Marco Pierini</i>	241
<i>Spin-off</i> <i>Bruno Facchini, Giovanni Ferrara</i>	243
Brevetti promossi dal personale del Dipartimento <i>Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi</i>	247

PARTE VI

ALCUNI DOCUMENTI STORICI

Testimonianze d'archivio: documenti e verbali per la memoria del Dipartimento <i>Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi</i>	253
Postfazione <i>Alessandra Petrucci</i>	265
Autori	267

Presentazione

Andrea Arnone

Nell'ambito delle manifestazioni per i 100 anni dell'Ateneo fiorentino è prevista sia la ristampa del libro *Ingegneri & Ingegneria a Firenze. In occasione dei 50 anni (dal 1970-71 al 2020-21) degli studi di Ingegneria presso l'Ateneo fiorentino* (a cura di Franco Angotti, Giovanni Frosali, Giuseppe Pelosi, Marco Pierini) sia la pubblicazione di *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino* (2 voll., vol. 1 a cura di Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi; vol. 2 a cura di Stefano Selneri, Alberto Tesi, Enrico Vicario), articolato in due volumi con una parte in comune.

Queste due iniziative editoriali della Firenze University Press coinvolgono a vario titolo la Scuola di Ingegneria dell'Università di Firenze, il Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF), il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (DINFO) e l'Associazione degli Alumni della Scuola di Ingegneria in Santa Marta.

Ingegneri & Ingegneria a Firenze. In occasione dei 50 anni (dal 1970-71 al 2020-21) degli studi di Ingegneria presso l'Ateneo fiorentino è stato presentato nell'Aula Magna del nostro Ateneo nel febbraio del 2022. Il libro originario riprendeva in parte il contenuto di quello dato alle stampe in occasione dei 40 anni della nascita della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze e ne costituiva, a distanza di oltre un decennio, per le sole prima e seconda parte, la naturale prosecuzione con tutti gli aggiornamenti del caso. Questi dieci anni intercorsi sono stati caratterizzati da una riforma dell'Università con l'abolizione delle Facoltà, la creazione delle Scuole e il trasferimento dell'organizzazione della didattica ai Dipartimenti, che, come è noto, erano nati come organi di sola ricerca.

Vale la pena ricordare che le manifestazioni dei 100 anni dell'Ateneo fiorentino sono cominciate nel settembre del 2023 e all'interno di queste manifestazioni è stato pubblicato un libro dedicato al rapporto tra il nostro Ateneo e la città (*Firenze e l'Università. Passato, presente e futuro*, pubblicato dalla Firenze University Press nel 2024), in cui ovviamente è presente anche un contributo della Scuola di Ingegneria (*L'Ateneo ed il mondo della tecnica*, di Bruno Facchini ed Enrico Vicario).

Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino è articolato in due volumi ed è pensato per essere sia complementare sia di supporto al

contributo che è presente nel volume celebrativo dei 100 anni. Quindi non necessariamente molto esteso.

I testi pubblicati hanno come obiettivo quello di ripercorrere l'evoluzione della Facoltà/Scuola di Ingegneria di Firenze, in pratica, nei primi 50 anni, raccontando e documentandone la storia, raccogliendo ricordi e documenti di un periodo attraversato da mutamenti significativi.

La ricerca effettuata dai curatori e da tanti colleghi ha allargato progressivamente l'orizzonte del lavoro per recuperare, non solo i contenuti della storia accademica, ma anche quelli della storia civile della Facoltà/Scuola, osservandone il laborioso crescere, affermarsi e consolidarsi nell'Ateneo fiorentino e anche rilevandone le relazioni con il contesto sia sociale sia economico (come ad esempio la città e la regione) che circonda un soggetto collettivo significativo come la nostra Facoltà/Scuola di Ingegneria. Questo ha consentito di esplorare e documentare ambiti rilevanti per una conoscenza non banale di quanti attori hanno attraversato lo scenario della Facoltà/Scuola e di quali fenomeni la Facoltà/Scuola stessa sia stata osservatrice e protagonista.

Il lavoro testimonia il percorso che ha portato l'ingegneria fiorentina a diventare protagonista nella ricerca a livello internazionale e con una peculiare attitudine alla formazione di giovani altamente specializzati. Da sottolineare anche il forte legame della Facoltà/Scuola con il tessuto industriale metropolitano.

Spero che i lettori di questi volumi vi ritroveranno il percorso della propria vita, o le radici del presente, o le motivazioni per il futuro.

Prefazione

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi,
Stefano Selleri, Alberto Tesi, Enrico Vicario

Nel 2024 si è celebrato il centenario dell'Ateneo fiorentino (1924-2024), occasione per la quale è stato istituito un apposito Comitato organizzativo. Parallelamente, nell'anno accademico 2020-21, ricorreva il cinquantenario dell'istituzione degli studi di Ingegneria presso l'Ateneo. Per commemorare questa ricorrenza, è stato deciso di organizzare una serie di eventi, gestiti dall'Associazione Alumni di Santa Marta, con l'obiettivo di valorizzare la Scuola di Ingegneria. Tale Associazione, va ricordato, è destinata a confluire in futuro in una rappresentativa dell'intera Università di Firenze. A causa della pandemia da Covid-19, tuttavia, il numero di eventi realizzati è stato necessariamente limitato. Si è quindi deciso di estendere le celebrazioni del cinquantenario degli studi di Ingegneria fino alla conclusione di quelle del centenario dell'Ateneo fiorentino, creando così un legame tra le due ricorrenze e contribuendo peraltro a dare maggiore visibilità alla Scuola di Ingegneria.

Le manifestazioni dei 100 anni dell'Ateneo fiorentino sono iniziate nel settembre del 2023 e all'interno di queste manifestazioni fu previsto un volume dedicato al rapporto tra il nostro Ateneo e la città (*Firenze e l'Università. Passato presente e futuro*, pubblicato dalla Firenze University Press nel 2024), in cui è presente anche un contributo della Scuola di Ingegneria (*L'Ateneo ed il mondo della tecnica*, di Bruno Facchini ed Enrico Vicario).

Il presente testo, intitolato *Ingegneria Industriale e Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino*, è stato concepito per integrare e supportare il contributo dei due Dipartimenti della Scuola che sarà incluso nel volume celebrativo, data la necessità di mantenere quest'ultimo breve e sintetico. Il volume vuole raccontare una storia di innovazione, sviluppo e crescita che ha avuto un impatto profondo sul territorio fiorentino. I due Dipartimenti di Ingegneria Industriale e di Ingegneria dell'Informazione hanno formato generazioni di ingegneri che hanno contribuito alla trasformazione della città e della regione, intervenendo in ambiti cruciali come la mobilità, l'energia e la digitalizzazione. Hanno inoltre sviluppato importanti ricerche scientifiche e industriali rappresentando un motore di innovazione per il territorio, contribuendo allo sviluppo di nuove tecnologie e soluzioni in svariati settori. Pertanto, il presente testo

ha l'ambizione di raccontare parte di queste importanti esperienze al fine di far comprendere l'impatto che i due dipartimenti hanno avuto, e continuano ad avere, sia sul territorio che a livello nazionale ed internazionale.

Il libro si articola in due volumi:

Volume I: Il DIEF e il territorio fiorentino

La prima parte del volume è interamente dedicata alla presentazione del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) dell'Università di Firenze. L'apertura è affidata a una panoramica storico-istituzionale che ne ripercorre le origini, l'evoluzione nel tempo e i principali passaggi che hanno portato alla configurazione attuale, sia in termini di struttura organizzativa che di governance. Questo inquadramento iniziale consente di comprendere appieno il contesto in cui il Dipartimento opera e si sviluppa, sottolineando il legame tra le sue radici accademiche e la visione strategica che lo guida oggi. Ampio spazio è dedicato alle attività di ricerca, che rappresentano uno dei principali ambiti di eccellenza del DIEF. Vengono descritte le linee di ricerca attive, i numerosi laboratori – inclusi quelli congiunti con enti pubblici e aziende private – e le collaborazioni scientifiche nazionali e internazionali. Si evidenzia inoltre la vitalità dell'ecosistema innovativo che gravita intorno al Dipartimento, testimoniato dalla presenza di *spin-off* accademici, progetti industriali, brevetti e iniziative imprenditoriali. Una particolare attenzione è rivolta anche alle attività di Public Engagement, attraverso le quali il Dipartimento dialoga attivamente con il territorio, promuovendo la diffusione della cultura scientifica e tecnologica.

Segue una selezione – non esaustiva ma rappresentativa – delle principali attività di ricerca condotte da docenti e ricercatori del Dipartimento. Questa sezione è arricchita da testimonianze storiche, che offrono uno sguardo retrospettivo sul contributo del DIEF allo sviluppo scientifico e tecnologico, valorizzando al contempo la memoria delle persone e dei progetti che hanno segnato il suo percorso. Un capitolo specifico è riservato alle attività didattiche, con particolare enfasi sul Dottorato di Ricerca in Ingegneria Industriale, che costituisce un pilastro fondamentale nella formazione avanzata e nella preparazione della futura classe dirigente scientifica e tecnica. Vengono presentati gli obiettivi formativi, le tematiche di ricerca affrontate dai dottorandi e il ruolo strategico che il percorso di dottorato riveste all'interno della missione scientifica del Dipartimento.

La sezione conclusiva è dedicata alle attività di Trasferimento Tecnologico, elemento chiave della Terza Missione, attraverso cui il sapere accademico si traduce in valore per il sistema produttivo e per la società. Infine, è inclusa una raccolta di documenti e materiali storici che contribuiscono a documentare e preservare la memoria istituzionale del Dipartimento.

Volume II: Il DINFO e il territorio fiorentino

Dopo una descrizione introduttiva dedicata al Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (DINFO) dell'Università di Firenze – che ne delinea l'identità scientifica, la missione formativa e il ruolo strategico nell'ambito dell'ingegneria dell'informazione –, il volume II si concentra su una selezione significativa, seppur non esaustiva, delle attività di ricerca svolte sul territorio nel corso dei primi cinquant'anni di vita della Facoltà, poi Scuola, di Ingegneria. Questo *excursus* mette in luce l'impatto che l'attività accademica e scientifica del DINFO ha avuto sul contesto fiorentino e toscano, sia in termini di sviluppo tecnologico che di formazione delle competenze.

Tra i contributi più rilevanti spiccano quelli di figure di riferimento che hanno segnato in modo indelebile la storia della disciplina e della comunità accademica, come i professori emeriti Edoardo Mosca, Roberto Genesisio, Vito Cappellini e Giacomo Bucchi. Le loro ricerche e i loro insegnamenti hanno costituito un punto di riferimento per intere generazioni di studenti e ricercatori, contribuendo in modo determinante all'affermazione dell'area ICT (Information and Communications Technology) all'interno del panorama universitario italiano. Parte di questi contributi sono stati valorizzati nel volume commemorativo *Ingegneri & Ingegneria a Firenze*, pubblicato in occasione del cinquantenario degli studi di Ingegneria, che raccoglie testimonianze, memorie e riflessioni sul percorso dell'Ateneo nel campo dell'innovazione scientifica e tecnologica.

Il volume prosegue con una panoramica dedicata agli *spin-off* accademici nati in seno al DINFO, che rappresentano un elemento tangibile della capacità del Dipartimento di trasferire conoscenza e tecnologia verso il sistema produttivo e l'ecosistema dell'innovazione. Queste iniziative imprenditoriali, fondate da docenti, ricercatori e laureati del Dipartimento, testimoniano l'efficacia del dialogo tra ricerca e impresa, nonché la vocazione del DINFO a generare valore economico e sociale a partire dalla ricerca scientifica.

A chiudere vi è una raccolta di memorabilia, composta da testimonianze di laureati in Ingegneria dell'Informazione che, dopo la formazione ricevuta presso l'Ateneo fiorentino, hanno intrapreso percorsi professionali di successo all'interno di aziende del territorio operanti nel settore ICT. Le loro storie rappresentano non solo un omaggio alla qualità della formazione ricevuta, ma anche un esempio concreto del ruolo che l'Università svolge nello sviluppo del capitale umano e nella crescita del tessuto economico e industriale locale.

L'Ateneo e il mondo della Tecnica

Bruno Facchini, Enrico Vicario

La Facoltà di Ingegneria nasce a Firenze quasi cinquant'anni dopo l'istituzione dell'Ateneo fiorentino, con un ritardo inspiegabile se consideriamo la consistenza e l'impatto del settore industriale e delle tecnologie dell'informazione in area metropolitana e provincia. Ancora oggi del resto prevale un'errata percezione dell'importanza del settore industriale nell'economia regionale e in particolare nel bacino naturale dell'Università di Firenze, che a grandi linee si estende, oltre a Prato, fino ad Arezzo, Empoli e Pistoia: ad esempio l'area fiorentina è una delle più dinamiche nel contesto italiano, fra le prime cinque per fatturato in esportazione, pressoché al pari dell'area milanese se ci riferiamo al numero di abitanti; in Toscana circa il 40% degli occupati lavora in ambito industriale e un terzo circa di tutti gli addetti industriali lavora nella provincia di Firenze. Il turismo appare spesso in modo più evidente e costituisce un elemento fondamentale nell'economia italiana, ma la rappresenta solo in parte, ed anzi, è proprio dallo sviluppo tecnologico e dall'innovazione che il nostro territorio può attendersi reali e concrete prospettive di sviluppo duraturo e sostenibile.

Le medesime e articolate motivazioni che portano ad una tardiva nascita dell'Ateneo fiorentino si evidenziano ancor più nell'ambito ingegneristico, in un paese come l'Italia che fatica nell'assumere un'identità moderna e consolidata nell'approccio alla tecnologia, dove la logica della tradizione accademica prevale sui reali bisogni di alta formazione e ricerca in un paese comunque in forte trasformazione.

È in questo contesto che fino al 1970 nell'Ateneo fiorentino è presente soltanto il biennio propedeutico ai corsi di Laurea in Ingegneria a ciclo unico, il cui sbocco naturale sono le Facoltà di Ingegneria di Pisa e Bologna. Se per un verso questa opportunità permette comunque la formazione di ingegneri, dall'altro, inevitabilmente priva il territorio di quel rapporto dinamico, innovativo e proteso all'internazionalizzazione che solo l'Università può offrire, inoltre per cinquanta lunghi anni si costituisce così una classe dirigente in ambito tecnologico poco radicata nel contesto fiorentino.

La Facoltà di Ingegneria nasce in una fase di forte crescita dell'università italiana, tumultuosa e poco controllata, che vorrebbe dotare l'Italia di un sistema di alta formazione e ricerca, ma, nei fatti, si incaglia nelle logiche conservative dell'università tradizionale e nella scarsità di risorse disponibili.

In quell'occasione, assieme all'Ingegneria civile che integra la già esistente facoltà di Architettura, compaiono per la prima volta l'Ingegneria Meccanica e l'Ingegneria Elettronica. Le tre aree delineano fino da allora l'articolazione poi consolidata nell'attuale organizzazione incentrata sui Dipartimenti promossa dalla legge 240 del 2010 (legge Gelmini), con la quale la Facoltà è sostanzialmente sostituita dai tre Dipartimenti di Ingegneria Industriale (DIEF), Ingegneria dell'Informazione (DINFO), e Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA). Ingegneria meccanica ed elettronica costituiscono a quell'epoca il primo nucleo in area fiorentina di quello che su scala nazionale costituisce l'area CUN 09, Ingegneria Industriale e dell'Informazione.

Il corpo docente si costituisce col contributo di svariate sedi universitarie favorevoli per certi versi ad una dinamica aperta e positiva, ma, allo stesso tempo, si trova separato dal contesto industriale e produttivo la cui classe dirigente fatica nel riconoscere alla «nuova» Facoltà di Ingegneria, autorevolezza e competenza o, semplicemente, importanza. La mancanza di una cultura della ricerca applicata all'ambito tecnologico, che purtroppo costituisce un limite culturale nazionale, diventa in questo contesto un ostacolo ancora più significativo, accentuato dalle ridotte dimensioni medie delle imprese del nostro territorio. In quel periodo si osservano fenomeni di sviluppo impetuoso, ad esempio nell'area tessile, che restano però lontani da uno scenario di sviluppo tecnologico e di ricerca su scala internazionale.

La giovane Facoltà di Ingegneria si stabilisce a Firenze nell'ex collegio di Santa Marta, un complesso architettonico di rilievo e con significative potenzialità, ma poco adatto a molte delle funzioni che dovrebbe assolvere, con grossi limiti infrastrutturali per lo sviluppo di laboratori. È questa una mancanza ancora oggi non risolta dopo cinquant'anni cui si sono date risposte, anche importanti, col potenziamento delle aree per la didattica in crescita progressiva (area Careggi) e importanti opportunità di sviluppo per alcune tipologie di laboratorio (area Calenzano), ma che per tanti motivi e responsabilità non è stato possibile risolvere in maniera sufficiente, e che non ha mai visto alcun intervento strutturato per aree che hanno assunto un ruolo trainante per lo sviluppo economico del territorio e del Paese, dando una ulteriore prova di un inserimento ancora da completare dell'Ingegneria a Firenze.

Nei primi anni di vita della Facoltà, all'inizio degli anni Ottanta, viene istituito in Italia il Dottorato di Ricerca; questo evidenzia ancor più e in maniera inequivocabile il ritardo del nostro paese nell'attribuire all'università quel ruolo di motore della ricerca e della crescita, in particolare per lo sviluppo tecnologico e l'innovazione, ritardo di cui la tardiva istituzione della Facoltà di Ingegneria a Firenze era già una chiara esemplificazione. Nonostante tutto questo, per le Facoltà di Ingegneria, le Scuole di Dottorato e lo sviluppo formidabile del reclutamento di assegnisti di ricerca costituiscono, a partire dagli anni Novanta, l'elemento fondamentale che porta ad un reale e consistente sviluppo della ricerca applicata con forti interazioni col settore industriale e produttivo. Il supporto della Regione Toscana alle Scuole di Dottorato rappresenta, inoltre, una formidabile opportunità per avviare collaborazioni e aprire ai primi passi di integrazione fra le componenti politecniche delle sedi di Firenze, Pisa e Siena, integrazione, in prospettiva, necessaria per sostenere la competizione con sedi di consistenza assai maggiore.

La Facoltà di Ingegneria nasce nella stessa epoca da cui hanno avvio una successione di transizioni innescate da avanzamenti tecnologici, che a più riprese hanno segnato la nostra Società modificando in modo radicale non solo l'economia e il tessuto produttivo ma anche il modo di vivere e pensare.

Negli anni Settanta l'Elettronica dello stato solido, con il transistor e la miniaturizzazione di componenti, apre la via ad una nuova generazione di prodotti e sistemi,

destinati ad applicazioni di consumo, di uso civile e per la difesa. La comparsa dei controllori programmabili avvia un imponente sviluppo nei controlli automatici e nell'automazione industriale, e i primi microprocessori permettono la diffusione di sistemi di calcolo. Si sviluppano metodi e processori per l'elaborazione di segnali e immagini, e si consolidano teoria e tecnica dell'elettromagnetismo che ne permettono la trasmissione attraverso sistemi di telecomunicazione. L'applicazione alla diffusione di musica è in qualche modo un segno di quell'epoca, parziale ma molto tangibile nella Società.

Negli anni Ottanta, con la crescita esponenziale del grado di integrazione di componenti elettronici, ben riassunti nella legge di Moore, e il conseguente sviluppo di microprocessori e sistemi di memoria, si diffondono i Personal Computers, si consolidano linguaggi di programmazione, fra cui il linguaggio C su cui ancora oggi poggia larga parte dell'infrastruttura tecnologica, e diventano di uso comune applicazioni di produttività quali l'editor di testo, il foglio elettronico, i primi strumenti di *Computer Aided Design*. In quegli stessi anni, comunicazioni ed elaborazione dei segnali evolvono verso il modello digitale, abilitando metodi numerici che aprono nuove frontiere, mentre Internet e i protocolli del TCP/IP si diffondono oltre gli originali confini della difesa e dei centri di ricerca scientifica, portando ad uso comune la posta elettronica e altri strumenti di condivisione di informazione digitale. Tutto questo conduce negli anni Novanta alla creazione e allo sviluppo del World Wide Web, negli stessi anni in cui le comunicazioni numeriche conducono alla diffusione della telefonia mobile cellulare e le telecomunicazioni raggiungono una fase di sviluppo rapidissimo, aprendo un'epoca di interconnessione globale, convergente nel trasferimento di fonia e dati. Nuovi linguaggi accompagnano questa fase, fra cui Java e il suo ecosistema, aprendo la via all'epoca delle applicazioni Web.

A partire dagli anni Duemila si consolidano motori di ricerca, compaiono applicazioni di Web 2.0 e decolla il paradigma del Cloud Computing e la virtualizzazione di risorse di calcolo, archiviazione e interconnessione delle reti. Si apre l'epoca delle App e dei servizi on-line, di data centers che concentrano e governano in modo elastico risorse di calcolo, connettività e archiviazione di Big Data. E al tempo stesso compaiono Wireless Sensor Networks e Systems on Chip che integrano capacità di calcolo, archiviazione, connettività, sensoristica e attuazione disegnati per essere dispiegati *at the Edge*.

A partire dagli anni Dieci del Duemila si sviluppano due percorsi più rilevanti, poi convergenti nel tempo. Da un lato, l'agenda di Industria 4.0 promuove l'integrazione profonda di dati e tecnologie ICT in sistemi e processi industriali, dando vita a complessi sistemi cyber-fisici che compongono in modo trasparente software, hardware, componenti elettromeccanici e fisici, con sensori e attuatori distribuiti e interconnessi nell'*Internet of Things*. Dall'altro, si avvia lo sviluppo, dirompente, di sistemi di intelligenza artificiale e apprendimento automatico basati su reti neurali, con risultati impressionanti in vari ambiti, fra cui in modo più notevole quello della visione artificiale, basati su principi elaborati nel corso di vari decenni e ora resi concretamente praticabili dalla disponibilità di risorse di calcolo e dal crescente volume di dati disponibili. La maggior parte di queste transizioni origina da avanzamenti tecnico-scientifici di scala globale nell'area delle tecnologie dell'Informazione, ma trova poi maturità e impatto attraverso l'applicazione e la sistematizzazione nel contesto industriale, civile e dei servizi.

Mentre l'Ingegneria dell'Informazione procede attraverso transizioni, le aree dell'Ingegneria Industriale e Civile sono meglio tratteggiate in riferimento a comparti e distretti, ciascuno dei quali evolve negli anni con una propria dinamica attraverso gli scenari che si delineano nel concatenarsi degli eventi sopra richiamati. Esempi più notevoli di questo processo includono lo sviluppo delle tecnologie per il distretto tessile e quello della moda, per il distretto ferroviario, per i sistemi robotici nell'automazione

e in applicazioni biomediche, come nell'integrazione di tecnologie e metodi nei processi di Industria 4.0. Anche i sistemi di produzione in ambito industriale subiscono una rivoluzione drastica con l'avvento dei sistemi di produzione additiva applicati ai più svariati materiali; di particolare rilievo anche lo sviluppo nell'ambito dei sistemi di trasporto aeronautici e terrestri nei quali si integrano con particolare efficacia i nuovi paradigmi dei sistemi informativi, con una sempre più efficiente concezione della dinamica dei veicoli e della propulsione aeronautica, favorendo lo sviluppo di una mobilità di dimensione ormai globale. Infine, la transizione energetica è la sfida più recente e forse cruciale che il mondo della tecnologia si trova ad affrontare e vede negli ambiti industriali e dell'informazione ancora una volta risorse e opportunità che risulteranno indispensabili e determinanti per il suo compimento.

È proprio grazie alla presenza di una Facoltà di Ingegneria che un territorio ampio, che da Firenze e Prato si estende fino ad Arezzo, Empoli e Pistoia, può partecipare attivamente allo sviluppo di ciascuna di queste transizioni e accompagnare la capacità dei diversi comparti di applicazione, attraverso la formazione di ingegneri capaci di portare innovazione nel tessuto produttivo e ricercatori capaci di contribuire all'avanzamento scientifico su scala internazionale.

Nell'area dell'Ingegneria dell'Informazione, livelli di elevata qualificazione internazionale sono raggiunti via via in una molteplicità di ambiti, tra cui l'elettronica per i sistemi dello spazio e la difesa, i radar, e poi dei sistemi digitali, la strumentazione per applicazioni biomediche, l'elaborazione di segnali e immagini e le comunicazioni numeriche, le telecomunicazioni terrestri e satellitari, le antenne e i metodi per l'elettromagnetismo, i sistemi di osservazione dallo spazio, le misure e i metodi per l'affidabilità, le reti elettriche e i sistemi di gestione dell'energia, i controlli automatici adattativi e non lineari, i metodi per l'ottimizzazione, l'ingegneria del software, le tecnologie e le reti SG/6G, i sistemi distribuiti e di gestione dei dati, la visione computazionale e i sistemi multimediali, l'intelligenza artificiale e l'apprendimento automatico.

Nell'area industriale sono notevoli i risultati conseguiti nello sviluppo delle turbomacchine applicate ai sistemi di conversione dell'energia convenzionale e alla propulsione aeronautica, dei sistemi di combustione innovativi a basso impatto ambientale fino all'uso dell'idrogeno, dei veicoli terrestri e dei relativi sistemi di propulsione convenzionali ed innovativi, dei sistemi ferroviari, della robotica industriale estesa anche all'ambiente sottomarino, delle tecnologie di produzione additiva e convenzionale, della sensoristica e dei sistemi robotici in ambito biomedico, dello sviluppo dei sistemi produttivi eco-sostenibili, delle energie alternative in ambito eolico e solare, dell'efficientamento energetico e dello sviluppo di reti energetiche efficienti e innovative, dei sistemi gestionali avanzati per l'industria.

Dettagli su risultati in alcuni di questi ambiti sono riportati nel volume *Ingegneria & Ingegneria a Firenze. L'Ingegneria Industriale e l'Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino*, anch'esso prodotto in occasione dei cento anni dell'Università di Firenze. Il percorso di crescita ed evoluzione della capacità scientifica ha un nitido parallelo nello sviluppo del tessuto produttivo del territorio, per una ragione di mutua fertilizzazione che costituisce un tratto essenziale dell'Ingegneria.

Emergono in questa prospettiva le interazioni con grandi imprese, fra cui Nuovo Pignone (poi GE Oil & Gas e oggi Baker & Hughes) e Ansaldo Energia nell'area delle turbomacchine industriali; Fiat Avio, oggi Avio Aero nell'ambito della propulsione aeronautica, Fiat, Ferrari, Beta Motors e Yanmar nell'ambito dei veicoli terrestri; Galileo Avionica di Finmeccanica e poi Leonardo, e con essa SMA e OTE Telecomunicazioni nell'area delle tecnologie ICT per lo spazio e la difesa, OTE Biomedica nell'area delle strumentazioni, Breda poi Hitachi nelle tecnologie ferroviarie e con esse Thales nei

sistemi di trasporto urbani e nei sistemi per la sicurezza, Gilbarco nei sistemi di automazione, Estra nella gestione delle reti energetiche.

Si osserva anche un numero di imprese cresciute nel corso di quegli stessi anni fino a raggiungere elevate dimensioni, fra cui EI.En. nell'elettronica e nei sistemi laser, Power-soft nell'elaborazione di segnali e sistemi per la loro diffusione, TI Tecnosistemi e VAR Group nell'integrazione di sistemi ICT ed alcuni recenti esempi favoriti dallo sviluppo delle *spin-off* Unifi come Ergon Research nello sviluppo di macchine e sistemi energetici.

Si osserva poi, in modo meno adatto a qualsiasi enumerazione, una nuvola di Piccole Medie Imprese, attive nei diversi comparti produttivi del territorio, a volte originate dall'indotto di grandi imprese, a volte discendenti da transizioni tecnologiche o sociali, caratterizzate da elevato dinamismo e spesso cruciali nel processo di trasferimento tecnologico dalla ricerca al mondo produttivo.

Come tratto comune, al di là delle diverse dimensioni e dello specifico comparto produttivo, la maggior parte di queste aziende ha potuto radicare e svilupparsi in questo territorio grazie alla possibilità di trovarvi Ingegneri qualificati. E viceversa è questo stesso ecosistema di imprese che restituisce un segnale continuo di stimolo e orientamento alla ricerca scientifica.

Per la Facoltà di Ingegneria, il rapporto con il sistema delle imprese ha sempre giocato anche un ruolo rilevante nel fornire risorse con cui compensare la limitata dimensione e dotazione infrastrutturale, favorendo l'incremento delle dimensioni dei gruppi di ricerca oltre quella 'massa critica' necessaria per raggiungere obiettivi significativi, fino ad assumere quella dimensione internazionale che è caratteristica irrinunciabile della ricerca universitaria.

Allo stesso tempo è stata ampiamente sfruttata l'opportunità offerta dallo sviluppo della ricerca finanziata dalla Unione Europea attraverso i diversi programmi quadro fino ai recenti Horizon 2020 e Horizon Europe; il numero e la consistenza dei progetti di ricerca finanziati in ambito competitivo dall'area ingegneristica, in particolare nel settore industriale, sono un dato chiaro ed evidente di questo salto di qualità della ricerca in ambito internazionale che proietta gli attuali Dipartimenti di Ingegneria Industriale e dell'Informazione in un consolidato ruolo di protagonisti, in particolare per alcuni ambiti disciplinari, come le macchine e i sistemi di conversione energetica, i veicoli terrestri, la robotica, il design meccanico e produzione additiva, la biomedica, i sistemi di produzione eco-sostenibili, i sistemi di gestione per smart cities, le applicazioni di visione e intelligenza artificiale, i sistemi di *smart grid*. Il consolidamento di questo scenario virtuoso nel contesto europeo si integra con le efficaci politiche di sostegno locale alla ricerca e allo sviluppo industriale e non solo, promosse negli ultimi vent'anni dalla Regione Toscana; queste vanno dal sostegno diretto alle Scuole di dottorato ai programmi di sviluppo e innovazione destinati alle imprese del territorio; in particolare quest'ultimi sono volti a favorire lo sviluppo di relazioni e interazioni consolidate con gli organismi di ricerca, fra i quali assumono un ruolo fondamentale le Università toscane e dove i Dipartimenti di area ingegneristica dell'Università di Firenze si distinguono sia per le numerose partecipazioni ai progetti che per la qualità e quantità dei risultati ottenuti.

Anche il ruolo di enti privati come le fondazioni, si pensi in particolare alla Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze, è sicuramente determinante in questa fase di sviluppo e consolidamento dei gruppi di ricerca. Le carenze strutturali sopra richiamate condizionano purtroppo lo sviluppo dei laboratori sperimentali, tuttavia, pur in un quadro di carenza di risorse cronico del nostro Ateneo, sono state compensate, in più riprese, attraverso l'uso virtuoso dei fondi di ricerca ricevuti e sfruttando le misure di sostegno regionali; un esempio concreto è rappresentato dai laboratori per l'ingegneria industriale di Calenzano attivati negli ultimi anni.

Questo contesto sinergico, in cui si coniugano la dimensione internazionale e quella locale, offre reali e consistenti opportunità di innovazione anche per il territorio e le imprese e porta, oggi, i dipartimenti di area ingegneristica a svolgere pienamente il ruolo che è loro proprio e a dare quel supporto che una moderna università può e deve fornire per uno sviluppo tecnologico, sostenibile e duraturo del territorio in cui è inserita. Si declina così la terza missione universitaria, quella del trasferimento tecnologico, di particolare rilievo nel contesto industriale, dove solo la sinergica integrazione fra stimolo continuo verso la conoscenza e dinamica concreta dell'innovazione, può facilitare una crescita duratura e sostenibile per il territorio; in tal senso l'area dell'Ingegneria Industriale e dell'Informazione, pur se 'giovane' e con evidenti limiti strutturali e di organico, ha rappresentato e rappresenta un punto di riferimento nell'interazione col territorio e più in generale con l'Italia intera, portando i nostri dipartimenti a competere, in specifiche aree tecnologiche, con quelli, ben più attrezzati, dei Politecnici italiani, con un chiaro richiamo di quella vocazione storica dell'area fiorentina ad essere protagonista nell'ambito dell'innovazione. La vocazione alla didattica e alla formazione degli ingegneri ha comunque rappresentato in questi cinquant'anni un primario obiettivo della Facoltà di Ingegneria e oggi dei Dipartimenti. Il numero delle matricole si attesta ormai stabilmente al di sopra delle mille unità; questo sviluppo è stato guidato e sostenuto dal continuo potenziamento dell'offerta formativa che ha visto nell'attivazione delle Lauree in Ingegneria Gestionale e Biomedica i più recenti successi di rilievo assoluto per tutto l'Ateneo. Ormai l'offerta in area ingegneristica dell'Università di Firenze rappresenta, in particolare per le Lauree di primo livello, un riferimento per il centro Italia e lo sviluppo e il potenziamento dell'offerta nell'ambito delle Lauree magistrali è costante per arginare una situazione di sofferenza, anche in questo caso strutturale, che vede la crescita comprensibile e ineluttabile del numero degli studenti fiorentini e/o toscani che decidono di uscire dall'ambito cittadino/regionale per completare gli studi universitari, a fronte di una oggettiva difficoltà a scegliere una città come Firenze, per uno studente che invece arrivi da fuori regione o paese.

In ogni caso a supporto della qualità e dell'efficacia dei percorsi formativi offerti è di particolare rilievo la piena impiegabilità dei nostri laureati magistrali di area industriale e dell'informazione, così come una certa consistenza di studenti lavoratori; la maggior problematica resta invece quella dell'abbandono precoce del percorso formativo nei primi anni delle Lauree di primo livello, l'attenzione continua degli organi didattici e le numerose iniziative di tutoraggio consentono, purtroppo, una mitigazione solo parziale del fenomeno, che nasce da una scarsa percezione della complessità del percorso universitario da parte degli studenti, ma anche da una cronica carenza di personale docente e strutture didattiche.

Purtroppo anche lo sviluppo ulteriore dell'offerta formativa è condizionato, oltre che dalle carenze di infrastrutture come aule e laboratori didattici, anche dall'annosa questione della carente integrazione (collegamenti e servizi) del Polo didattico di Morgagni con la sede di S. Marta, e, soprattutto, dalle dimensioni limitate del corpo docente come qualsiasi confronto con altre sedi con analogo numero di studenti mostra con inesorabile chiarezza; anche in questo caso bisogna prendere atto di come la tardiva attivazione della Facoltà di Ingegneria nell'Ateneo fiorentino, ancora pesi sulle attuali prospettive di sviluppo di un'offerta formativa che, qualsiasi studio autorevole in quest'ambito, indica come carente a livello italiano e, allo stesso tempo, determinante per lo sviluppo in senso lato di tutta la società.

La dinamicità delle Scuole di dottorato nell'area industriale e dell'informazione rappresenta un'eccellenza nell'Ateneo fiorentino, mostrando come la maturazione progressiva, pur fra oggettive difficoltà e carenze, di didattica e ricerca – le due misso-

ni storiche dell'università – sia stata in quest'area, concreta ed efficace, rispondendo a pieno alla missione che gli è propria. Le borse di dottorato che sono offerte ogni anno dalle Scuole di dottorato nelle aree dell'Ingegneria Industriale e dell'Informazione sono ben più numerose di quelle finanziate dall'Ateneo, portando ad una capacità di reclutamento di nuovi candidati al dottorato di assoluto rilievo, costantemente integrata con le richieste che provengono dal mondo industriale; si può in estrema sintesi affermare che i principi e le opportunità introdotte dal Dottorato Industriale, recentemente promosso dall'ordinamento nazionale, sono state di gran lunga anticipate in ambito fiorentino, rendendo, già oggi, concreta e consolidata l'interazione fra università e industria. I risultati concreti di questo approccio innovativo sono chiari ed evidenti e portano numerosi dottori di ricerca fiorentini a ricoprire ruoli apicali in ambiti accademici e industriali legati all'alta tecnologia in ambito nazionale ed internazionale.

Del trasferimento tecnologico e dell'interazione col mondo industriale si sono già evidenziati gli aspetti più peculiari ed è indubbio che, anche in questo ambito, l'area dell'Ingegneria Industriale e dell'Informazione rappresenti uno degli elementi trainanti nel contesto dell'Ateneo fiorentino, motore di una integrazione che non può dirsi certo compiuta e che rappresenta un obiettivo da completare ed integrare con nuove sfide.

Volendo richiamare alcune storie esemplari di collaborazione in ambito industriale legate al territorio fiorentino, sicuramente una di rilievo è quella con Nuovo Pignone che, pur attraversando complesse e articolate vicende in termini di assetto proprietario negli ultimi decenni, rappresenta ancora oggi una delle realtà locali più significative, con un ruolo indiscusso a livello internazionale ed un contributo decisivo in termini di esportazione del made in Italy. Come infatti non rilevare la progressiva mutazione dell'azienda che passa dal ruolo prevalentemente manifatturiero dei suoi stabilimenti fiorentini, degli anni Sessanta e Settanta del secolo scorso, basato in buona parte sull'utilizzo di sviluppi progettuali e tecnologici di altre aziende straniere, a quell'odierno, in cui è centrale e prevalente la ricerca e lo sviluppo sia dei prodotti consolidati, come tutta la filiera delle turbomacchine, sia quello relativo ad innovative aree di sviluppo tecnologico proiettate sempre di più verso uno sviluppo sostenibile e duraturo. Nel concreto questo è stato possibile solo attraverso un peso sempre più importante e consistente degli ingegneri e dei dottori di ricerca all'interno dell'azienda ed è sicuramente un vanto del nostro Ateneo e dei Dipartimenti di Ingegneria poter constatare come buona parte della classe dirigente e di tutto il corpo tecnico di elevata qualificazione ed eccellenza provenga dalle nostre Lauree magistrali e Scuole di dottorato. Si pensi alla turbina a gas, uno dei prodotti di area industriale meccanica più rilevanti dal punto di vista tecnologico, di cui si costruiscono i primi esemplari a Firenze, su licenza statunitense, a partire dagli anni Settanta e di cui oggi le versioni più moderne ed efficienti sono state completamente concepite, progettate e sviluppate dagli ingegneri italiani e soprattutto fiorentini!

Per altri versi si può cogliere la profonda trasformazione dell'industria tessile che ha portato al progressivo consolidamento delle grandi aziende di rilievo internazionale nel settore della moda, che si sviluppano in forte sinergia con l'ingegneria gestionale.

PARTE I

Il Dipartimento di Ingegneria Industriale



Il Dipartimento di Ingegneria Industriale: cenni storici

Rocco Furferi

Il Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) dell'Università di Firenze è una delle eccellenze «Politecniche» della Toscana e svolge un'intensa attività di ricerca e di trasferimento tecnologico collaborando con numerose aziende locali, nazionale ed internazionali. Formalmente istituito nel 2013, il DIEF è la sintesi di mutamenti che si sono susseguiti sin dagli albori della fondazione della Scuola di Ingegneria di Firenze.

La storia del Dipartimento così come è oggi articolato, ha origine nel 1923 quando con la «Riforma Gentile» l'Ateneo fiorentino, istituito da Cosimo Ridolfi nel 1880, venne inserito tra le università statali con istituzione, nell'anno successivo, del Corso di Laurea in Matematica nella Facoltà di Scienze Fisiche e Naturali. Si trattava di un «biennio propedeutico» il cui scopo era preparare gli studenti agli studi di ingegneria. Durante questo periodo, Giovanni Sansone si occupò dell'Analisi Matematica ed Enrico Fermi della Meccanica Razionale (Figura 1). Dopo il biennio, gli studenti potevano completare la loro formazione con un triennio di applicazione presso altre università (nove in tutta Italia e due politecnici). Il biennio propedeutico ottenne un grande prestigio grazie alla serietà e alla qualità della preparazione offerta dai docenti, caratterizzati non solo dal loro elevato livello scientifico, ma anche dal loro eccezionale impegno nell'insegnamento, andando ben oltre quanto richiesto dal programma di studi.

Il biennio andò incontro a notevoli difficoltà durante il periodo della guerra ma riprese il suo cammino con piena funzionalità grazie al prezioso contributo di Giovanni Sansone per l'insegnamento dell'Analisi Matematica, a Luigi Campedelli per la Geometria, a Bruto Caldonazzo e Giorgio Sestini per la Meccanica Razionale e a Lando Bartoli per il Disegno (Figura 2).

A partire dagli anni '60, il numero di studenti provenienti dai bienni propedeutici delle Facoltà di Scienze dei vari Atenei aumenta significativamente arrivando a toccare punte di più di 500 studenti nell'A.A. 1966-67 e di oltre 700 studenti alla fine degli anni '70, creando seri problemi per la funzionalità dei trienni di Applicazione.

Rocco Furferi, University of Florence, Italy, rocco.furferi@unifi.it, 0000-0001-6771-5981

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Rocco Furferi, *Il Dipartimento di Ingegneria Industriale: cenni storici*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.06, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 25-32, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4



Figura 1 – Prof. Enrico Fermi (a sinistra), Prof. Giovanni Sansone (a destra).



Figura 2 – Prof. Luigi Campedelli (a sinistra), Prof. Lando Bartoli (a destra).

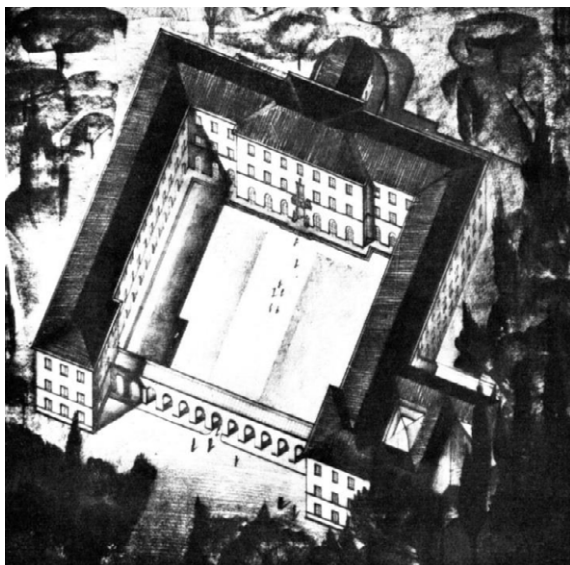


Figura 3 – Visione generale del Seminario arcivescovile di Firenze, sede dell'attuale Scuola di Ingegneria, come compariva nel volume *Firenze, rassegna del Comune*, VI, 6, giugno 1935: 177-79.

In data 27 settembre 1970, nacque quindi la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze, con l'attivazione del terzo anno di insegnamento per i corsi di laurea in Ingegneria Meccanica e Ingegneria Elettronica. Il giorno 11 gennaio del 1971 iniziarono le lezioni dei corsi attivati del triennio di applicazione, svolte nei locali del Seminario Minore arcivescovile di via S. Marta 3 (Figura 3).

Per gestire la didattica e indirizzare le attività di ricerca dei docenti di allora, nel marzo del 1972 venne fondato l'Istituto di Ingegneria Meccanica, antenato dell'odierno DIEF, che fu diretto dapprima da Demore Quilghini, successivamente da Giovan Gualberto Lisini (Figura 4).

All'epoca insistevano sul territorio fiorentino grandi aziende quali Nuovo Pignone ed Officine Galileo, oltre che un indotto di piccole e medie imprese che a vario titolo svolgevano attività produttive direttamente o indirettamente per esse. Nuovo Pignone, sotto il controllo di ENI e a valle del Piano Mattei che ne aveva previsto la riconversione produttiva già a fine anni '60, aveva iniziato a sviluppare turbine a gas su licenza della General Electric ed aveva introdotto macchine a controllo numerico al fine di soddisfare gli alti standard imposti per la produzione, destinata prevalentemente al mercato americano. Contestualmente la figura dell'operaio «generico» venne velocemente sostituita da quella dell'operaio «specializzato» e crebbe, di pari passo, l'esigenza di assumere figure tecniche manageriali con una conoscenza approfondita degli aspetti tecnici legati alla produzione di turbine a gas. Pertanto, si instaurarono le prime collaborazioni con la Facoltà di Ingegneria, tese primariamente al reclutamento delle figure ingegneristiche in uscita, ma anche alla collaborazione per lo sviluppo e all'ingegnerizzazione degli impianti e allo sviluppo dei primi codici di calcolo applicati alle turbomacchine. Le Officine Galileo videro negli stessi anni importanti mutamenti grazie allo strategico impulso della Montedison che si rese disponibile ad effettuare un investimento di ampia portata economica per orientare la produzione dell'azienda non solo sui tradizionali dispositivi optoelettronici ma anche su altri settori strategici quali la meccanica di precisione e, soprattutto, lo sviluppo di macchinari tessili, e per trasferire, entro pochi anni (1980), la sede operativa ristrutturandola e riorganizzandola completamente in un nuovo insediamento industriale a Campi Bisenzio. Si affiancò così, alla lunga e proficua collaborazione con l'Istituto di Ottica di

Firenze, anche una collaborazione con la Facoltà di Ingegneria.

Per andare incontro ai mutamenti del territorio, in particolare – ma non esclusivamente – legati ai principali ambiti produttivi delle succitate aziende, nel 1975 l'Istituto di Ingegneria Meccanica si «scisse» dando vita a due Istituti: l'Istituto di Energetica diretto da Sergio Stecco e l'Istituto di Meccanica Applicata, diretto da Pietro Caparrini. I due Istituti operarono per cinque anni come struttura di raccordo tra la ricerca sul territorio e la didattica erogata al quinquennio degli studi di Ingegneria Meccanica. Entrambi gli Istituti avevano sede nel Plesso di Santa Marta (Figura 5) ormai divenuto sede della Facoltà di Ingegneria.

Con il Decreto del Presidente Della Repubblica dell'11 luglio 1980, n. 382, venne definita una nuova struttura di ricerca, il «Dipartimento», e conseguentemente si aprì gioco forza un processo di ristrutturazione degli Istituti che portò alla nascita, nel 1983, del Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali (DMTI), diretto da Pietro Caparrini, e del Dipartimento di Energetica (DE), diretto da Francesco Martelli (Figura 6). I Dipartimenti operarono per un ventennio all'interno della Facoltà di Ingegneria.

Nel 1986, a seguito dell'improvvisa scomparsa del Prof. Caparrini, divenne direttore del Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali il Prof. Paolo Citti cui succedette nel 1992 il Prof. Paolo Rissone, nel 1994 il Prof. Giovanni Nerli e poi, nel 1997 il Prof. Sergio Reale. Nel 2000 venne chiamato a svolgere le funzioni di commissario il Prof. Piergiorgio Malesani e nel 2001 divenne direttore il Prof. Paolo Rissone (Figura 7).



Figura 4 – Prof. Demore Quilghini (a sinistra), Prof. Giovan Gualberto Lisini, Prof. Sergio Stecco (a destra).



Figura 5 – Plesso di Santa Marta, sede principale dell'attuale Scuola di Ingegneria.



Figura 6 – Prof. Pietro Caparrini (a sinistra), Prof. Francesco Martelli (a destra).



Figura 7 – Da sinistra verso destra: Prof. Paolo Citti, Prof. Paolo Rissone, Prof. Giovanni Nerli, Prof. Sergio Reale.

Il Dipartimento di Energetica, dopo il Prof. Martelli, fu diretto dal 1987 da Sergio Stecco, alla cui memoria, dopo la sua prematura scomparsa, viene intitolato il dipartimento stesso. A lui succedettero dal 1992 Ferruccio Fontanella e dal 1998 Paolo Dapporto. Entrambi i Dipartimenti avevano sede operativa presso il plesso di Santa Marta; il DMTI occupò prevalentemente gli spazi del primo piano dell'ala sinistra del plesso, il DE il secondo piano dell'ala destra (Figura 8).



Figura 8 – Uffici occupati dai Dipartimenti di Meccanica e Tecnologie Industriali e dal Dipartimento di Energetica nel 1998.

Il Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali avviò all'epoca una serie di ricerche, poi consolidate negli anni in cui operò, nei campi della progettazione e della costruzione di macchine, dell'ingegneria industriale, dei metodi, dell'acustica industriale, della vibroacustica, della progettazione di veicoli, della progettazione e dello sviluppo di macchine tessili, del CAD, dell'elaborazione di immagini, della visione artificiale e dell'intelligenza artificiale, allora agli albori. A titolo di esempio, già alla fine degli anni '80 il Dipartimento effettuò ricerche mirate all'ottimizzazione strutturale e dinamica, anche impiegando metodi basati sul calcolatore ed analisi agli elementi finiti gettando le basi per i moderni approcci CAD-based per la progettazione meccanica.

Il Dipartimento di Energetica consolidò le attività di ricerca nel campo delle turbomacchine, della fluidodinamica applicata alle macchine e nello sviluppo di sistemi di conversione dell'energia, collaborando sempre in modo molto dinamico con Nuovo Pignone. A titolo di esempio, già a partire dal 1985 il Dipartimento avviò un progetto di ricerca sulla progettazione aerodinamica avanzata con l'obiettivo di migliorare la progettazione sfruttando i più recenti strumenti di ricerca non appena fossero disponibili. Gran parte di questo progetto era incentrato sulla fluidodinamica computazionale (CFD) e svolto in collaborazione con i centri di ricerca NASA Langley e Lewis. L'attività di ricerca portò allo sviluppo di codici CFD (denominati TRAF e HYDRO) specificamente ottimizzati per assistere i progettisti di turbomacchine in applicazioni aerodinamiche avanzate. Questi codici sono utilizzati tuttora in tutto il mondo da aziende e centri di ricerca leader (ad esempio NASA Lewis, Von Karman Institute, Fiat Avio, GE Nuovo Pignone, Ansaldo Energia).

Nonostante il rapido progresso delle attività di ricerca, a causa delle dinamiche interne di gestione, incluso il reclutamento di ricercatori e professori, con i due distinti Dipartimenti venne meno, sostanzialmente, quell'unicum della Facoltà di Ingegneria che abbracciava, per certi versi in maniera integrata, gli aspetti e le caratteristiche legate alle esigenze del territorio. Tale sinergia, pertanto, si attenuò, se non addirittura

si smarri, nella prima fase di attuazione dei dipartimenti, riuscendo a riaffiorare solamente molti anni dopo. Inoltre, nel periodo, si affievolì ulteriormente il fondamentale elemento di connessione e contaminazione tra discipline ingegneristiche e discipline scientifiche. La relazione, all'interno dell'Università, con l'area delle scienze divenne molto più dialettica di quanto non lo fosse prima, per assumere, in alcuni casi, tratti conflittuali legati prevalentemente alle diverse esigenze didattiche di Ingegneria che mal si sposavano con le disponibilità e con le capacità che i dipartimenti in area scientifica potevano mettere a disposizione. Tale progressivo allontanamento tra le diverse discipline tecniche e scientifiche non avrebbe favorito a lungo termine uno sviluppo tecnologico rilevante, portandolo in alcuni ambiti allo sviluppo di soluzioni ingegneristiche ambiziose sì, ma dal contenuto scientifico più «limitato». Viceversa, molte delle applicazioni nell'ambito scientifico rimasero confinate ad un livello di applicabilità (oggi definito TRL) basso, con scarsa capacità di concretizzare lo sviluppo verso l'applicazione, la crescita della tecnologia, il potenziamento dei brevetti e, in ultima analisi, l'impatto sul territorio, ovvero tutto quello che sottende ad una società sviluppata e a un sistema industriale maturo ed efficiente, quale meriterebbe il nostro Paese.

Il 2001 fu un anno in qualche modo rivoluzionario per l'Università, per via della riforma degli ordinamenti, nota anche come la riforma del 3+2, formalmente attuazione dei DPR 509/99 e DPR 270/04. Le Lauree ricomprese nella Classe di Industriale, profondamente modificate, ebbero come riferimento nelle attività di ricerca sia il Dipartimento di Meccanica e Tecnologia Industriale, di cui svolsero, come già accennato, il mandato di Direttore Paolo Rissone dal 2001 al 2007 a cui succedette la Prof.ssa Monica Carfagni dal 2007 al 2013, sia il Dipartimento di Energetica, di cui furono Direttori Giuseppe Grazzini dal 2001 al 2004 (Figura 9), Andrea Arnone dal 2004 al 2010 e Paolo Toni dal 2010 al 2013.



Figura 9 – Prof. Monica Carfagni (a sinistra), Prof. Giuseppe Grazzini (a destra).

Nello stesso periodo, l'Italia viveva una forte contrazione del peso del settore industriale in ragione dei processi in corso dalla fine degli anni '90 fino all'avvento della composita crisi economica del 2008. La Toscana, con la sua industrializzazione leggera, rientrava in ogni caso tra le regioni del Centro-Nord in cui ancora era significativo il ruolo della manifattura, sebbene attraversata più di altre dai processi di terziarizzazione, subendo la fascinazione della rendita turistica e patrimoniale. Difatti, la recessione ebbe l'effetto di riportare l'attenzione sul ruolo della manifattura come espressione principale dell'economia reale, in grado di produrre ricchezza e di ridistribuirla, in special modo quando trainata dall'innovazione tecnologica. In particolare, il settore manifatturiero rivestì un ruolo centrale nell'accumulo di conoscenze, soprattutto di tipo tecnologico,

nel loro scambio e apprendimento, divenendo driver principale della domanda di attività altamente qualificate all'interno del settore stesso così come nei servizi avanzati. Con le opportunità offerte dalla globalizzazione, molte imprese del territorio dettero inizio ad un processo, oggi maggiormente consolidato, di riorganizzazione delle fasi produttive, spostando nei paesi a più basso costo del lavoro le mansioni esecutive.

Laddove la produzione riguardava beni fortemente differenziati e qualitativamente avanzati, volti a intercettare nicchie di mercato e a rapportarsi con rinnovate esigenze di qualità del cliente, la netta divisione tra esecuzione e concezione non ebbe tuttavia un effetto dirompente, lasciando al territorio conoscenze e competenze di elevata specializzazione sia per la concezione dei prodotti e servizi, sia per la loro produzione o realizzazione.

La crisi ebbe rilevanti ripercussioni anche sui Dipartimenti, in special modo per quanto concerne il reclutamento del personale, che vide una importante contrazione dovuta all'impossibilità di espletare concorsi, alla riduzione (o addirittura blocco) del *turnover*, al blocco degli scatti stipendiali e alla messa a esaurimento del ruolo dei ricercatori Universitari, che inaugurò una stagione, ancora oggi non conclusa, di maggiore precarietà prima dell'effettiva immissione in ruolo.

Numerosi Dottori di Ricerca che completarono il dottorato negli anni della crisi lasciarono l'Università non trovando sbocco e quei pochi che rimasero lo fecero solo grazie alla disponibilità di fondi legati a progetti competitivi finanziati a livello Regionale, nazionale e internazionale, pur rimanendo per anni in un «limbo» di precarietà. Non a caso, a supporto delle aziende del comparto produttivo, e indirettamente anche dell'Università, furono promosse dalla Regione Toscana numerose iniziative quali: Fondi Europei di Sviluppo Regionale (FESR), Programma Regionale Fondo per lo Sviluppo e la Coesione (FAR-FAS), Piano Operativo Regionale (POR) ed altre iniziative in aiuto allo sviluppo precompetitivo. Inoltre, con i programmi Quadro della Comunità Europea, quali ad esempio il Settimo Programma Quadro (FP7), erano in atto iniziative di ricerca mirate al rafforzamento della competitività delle industrie e delle imprese, contribuendo da lì a pochi anni a costruire una European Research Area che promuovesse l'eccellenza nella ricerca e nello sviluppo tecnologico. In questo contesto i due Dipartimenti furono in grado, pur disponendo di un risicato «potere di acquisto» nei confronti dei giovani Dottori di Ricerca, di consolidare le attività di ricerca nei più svariati settori della meccanica e dell'energetica con importanti collaborazioni con aziende del territorio, oltre a seguire la vocazione alla ricerca con enti nazionali e internazionali consolidando le attività con aziende come Avio, Ansaldo, Fincantieri, Piaggio e Beta Motor.

La legge 240 del 30 dicembre 2010, entrata formalmente in vigore a fine gennaio 2011, modificò ulteriormente, e radicalmente, l'assetto organizzativo dell'Ateneo e delle Facoltà, alle quali viene attribuito il nome di Scuola. Ai Dipartimenti vennero attribuite formalmente funzioni finalizzate allo svolgimento della ricerca scientifica, delle attività didattiche e formative, nonché delle attività rivolte all'esterno ad esse correlate o accessorie. Conseguenza dell'applicazione della suddetta legge fu la «fusione», nell'anno 2013, dei due Dipartimenti e la contestuale nascita del «Dipartimento di Ingegneria Industriale» DIEF in cui assunsero la carica di Direttore Andrea Arnone (dal 2013 al 2015), Benedetto Allotta (dal 2015 al 2019), Bruno Facchini, ad oggi Direttore al secondo mandato (Figura 10).

In attuazione a quanto previsto dallo Statuto dell'Università di Firenze, il nuovo Dipartimento istituisce una Commissione di Indirizzo e Autovalutazione (C.I.A.) con il compito di coadiuvare gli organi del Dipartimento stesso nelle politiche di impiego delle risorse e nell'indirizzo dell'attività scientifica di ricerca, di trasferimento e di innovazione. Assume il ruolo di Presidente della C.I.A. il Prof. Tiberio Bacci (dal 2013 al 2017) a cui succede dapprima il Prof. Lapo Governi (dal 2017 al 2024) e successivamente la Prof.ssa Paola Paoli, ad oggi Presidente al primo mandato.



Figura 10 – Prof. Andrea Arnone (a sinistra), Prof. Benedetto Allotta, Prof. Bruno Facchini (a destra).



Figura 11 – Prof. Tiberio Bacci (a sinistra), Prof. Lapo Governi, Prof.ssa Paola Paoli (a destra).

Con la parziale ripresa del comparto produttivo, in fase di uscita dalla crisi, nel periodo furono fatti enormi sforzi per favorire in parte un reclutamento progressivamente più consistente di giovani ricercatori e di dare giusto merito ai molti addetti alla ricerca che da anni lavoravano a vario titolo e più o meno stabilmente all'interno del Dipartimento. Questo fu in parte dovuto ai «Piani straordinari» per il reclutamento di ricercatori decretati dall'allora MIUR negli anni 2016, 2018 e 2020, in parte al tentativo dell'Ateneo di ripartire le (poche) risorse con criteri progressivamente più oggettivi, sia legati a parametri basali (numerosità del personale) sia su parametri premiali. Sullo sfondo delle decisioni strategiche dei Dipartimenti, vi era la sempre più consolidata conversione delle risorse finanziarie in dotazione alle Università (tramite il Fondo di Finanziamento Ordinario-FFO) nei cosiddetti «Punti Organico», già peraltro concettualizzati nel 2005, che parametrizzarono, a partire dal 2014, le figure di ruolo delle Università. Il meccanismo studiato dal Ministero creò una dissonanza tra risorse economiche effettivamente disponibili agli Atenei e risorse impiegabili per il reclutamento e per le progressioni di carriera, che tuttavia proseguirono e sono anche oggi applicate con una certa continuità (anche se in misura generalmente minore di quanto atteso).

Proprio nel momento in cui le dinamiche del DIF apparivano ben consolidate, e si poteva così guardare al futuro con un minimo di ottimismo, si presentava al mondo intero, con inizio «ufficiale» al 31 dicembre del 2019, la terribile emergenza pandemica dovuta al virus SARS-CoV-2, ossia il famigerato Covid. Il Dipartimento, e l'Ateneo, affrontarono in modo convulso ma propositivo l'intera emergenza riuscendo

a garantire agli studenti un minimo di continuità della didattica e ai ricercatori la capacità di continuare ad effettuare le proprie ricerche. Dapprima, durante il lockdown iniziato nel marzo del 2020, i corsi furono erogati completamente in forma differita e da remoto, grazie anche all'esponentiale crescita di piattaforme più o meno affidabili per la creazione di *meeting* online. Successivamente, con il susseguirsi delle diverse fasi di adeguamento ai susseguenti Decreti del Presidente del Consiglio dei Ministri Giuseppe Conte, i corsi furono erogati sia in modalità online in diretta, sia in modalità mista. I docenti e ricercatori del DIEF non si fermarono mai, continuando ad operare da remoto e progressivamente riacquistando autonomia con l'esaurirsi dell'emergenza. In un quadro drammatico, il periodo vide l'accelerazione di prassi oggi consolidate in cui molte riunioni operative, molti incontri per progetti, molte interazioni sono ancora espletate da remoto consentendo, da un lato, di ottimizzare i tempi operativi del personale di ricerca, in molti altri di travalicare ormai anche i confini domestici degli stessi. In risposta all'emergenza, il Governo ha varato il noto Piano nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), con l'intento di creare una sorta di «Piano Marshall» per l'Italia. Sull'esito di questo piano non è dato ancora sapere, tuttavia il DIEF (che, come detto, aveva mantenuto attive la maggior parte delle attività di ricerca e didattica) ha saputo cogliere quanto di positivo poteva emergere sia dalla crisi sia dal PNRR, come ampiamente discusso nel seguente capitolo.

Grazie all'impulso della Governance del Dipartimento, del ritrovato «ottimismo» e della rinnovata convivenza tra settori dell'ingegneria industriale che abbracciano temi legati sia all'ingegneria più propriamente meccanica e quella energetica, si è oggi ripreso il cammino, in qualche modo interrotto, di integrazione delle competenze e conoscenze oggi richiesto per un paese industriale propriamente detto. Il Dipartimento, anche grazie alle sinergie con il mondo industriale e scientifico nazionale e internazionale, al contributo di professori e ricercatori delle aree della Chimica e della Analisi numerica, ha progressivamente recuperato la perdita «antica filosofia» espandendo sempre di più le proprie competenze specifiche ma anche abbracciando trasversalmente temi di ricerca e di ricerca applicata precedentemente impensabili, anche non connessi al settore industriale, quali il settore dell'agricoltura, i beni culturali, la medicina e l'ambiente. Il DIEF è oggi pronto, più che mai, a guardare al futuro.

Il Dipartimento di Ingegneria Industriale: oggi

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi

Il Dipartimento di Ingegneria Industriale opera oggi in un contesto estremamente dinamico e competitivo, sia sul territorio su cui insiste sia a livello internazionale. A livello territoriale, attualmente vi è una chiara tendenza a concentrare le attività produttive in specifiche aree della Regione. In particolare, c'è una predominanza nell'area della Toscana Centrale, lungo la costa e lungo le direttrici che collegano Firenze a Siena e Arezzo. Si osserva anche una maggiore diffusione delle attività di servizi, che operano su scale più ridotte e solitamente servono principalmente la popolazione locale, a differenza del settore manifatturiero, che è orientato a servire i mercati internazionali. Le aree a maggiore densità demografica sono anche quelle che vedono la maggior presenza di addetti impiegati nel settore industriale. Tuttavia, per come è strutturata l'economia toscana, emergono alcuni sistemi locali del lavoro che hanno più addetti che popolazione residente. Si tratta in particolare di aree urbane e/o distrettuali come Firenze, Prato, Santa Croce sull'Arno, Lucca, Arezzo, Empoli, Siena e Poggibonsi, con una quota di valore aggiunto che supera il 20% nel caso dei servizi alla ricerca e sviluppo. Proseguono, inoltre, numerosi Piani Regionali quali il FESR 21-27, il finanziamento alle aziende per innovarle in ottica Industria 4.0, il credito d'imposta per le attività di Ricerca e Sviluppo, il finanziamento a start-up e PMI innovative e gli accordi per l'innovazione. Alle iniziative regionali si sono affiancate, e continuano ad insistere tuttora, iniziative del Ministero dello Sviluppo Economico, oggi Ministero delle Imprese e del made in Italy, con bandi inerenti alla ricerca industriale e lo sviluppo sperimentale, l'industria «sostenibile», l'innovazione tecnologica e digitale. Oltre al supporto regionale e ministeriale, le imprese del territorio hanno oggi la possibilità di accedere ai diversi programmi della Comunità Europea quali *Horizon Europe* ed Erasmus+.

In questo contesto il DIFEF trova terreno fertile per sviluppare iniziative di ricerca e sviluppo precompetitivo in collaborazione con aziende del territorio ma anche con

Bruno Facchini, University of Florence, Italy, bruno.facchini@unifi.it, 0000-0003-4489-4256
Giovanni Ferrara, University of Florence, Italy, giovanni.ferrara@unifi.it, 0009-0004-8713-1958
Rocco Furferi, University of Florence, Italy, rocco.furferi@unifi.it, 0000-0001-6771-5981

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi, *Il Dipartimento di Ingegneria Industriale: oggi*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.07, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 33-43, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

università e aziende nazionali, europee ed extraeuropee, in special modo in riferimento alle priorità tecnologiche della *Smart Specialization Strategy* quali la «fabbrica intelligente», rivolta alle tecnologie dell'automazione, della meccatronica e della robotica, alla piattaforma digitale Impresa 4.0, alla manifattura avanzata, inclusa la stampa 3D, all'economia circolare, al risparmio energetico, incluso l'idrogeno a filiera corta, lo sviluppo di turbomacchine, di motori aeronautici per uso civile, di motori a combustione interna, ibridi ed elettrici, di sistemi adattivi per la sicurezza su due e quattro ruote, di sistemi ed infrastrutture per la mobilità, di materiali avanzati, tecnologie per la vita e per l'ambiente, tecnologie per i beni culturali e per l'agricoltura intelligente.

Il Dipartimento comprende oggi oltre 53 professori, 27 ricercatori, oltre 100 dottorandi e più di 60 post-doc (per la maggior parte finanziati con le ricerche svolte dal DIEF su progetti competitivi e sulla base di convenzioni di ricerca con le aziende del territorio), e 29 tra tecnici ed amministrativi.

L'attività di ricerca del Dipartimento abbraccia i settori dell'ingegneria industriale propri del contesto territoriale, coprendone i principali aspetti culturali, scientifici e professionali.

Obiettivo comune delle ricerche è di conseguire risultati originali e significativi per una reale innovazione tecnologica non solo a livello nazionale ma anche, se non soprattutto, a livello internazionale. Il personale strutturato del DIEF afferisce a 9 Sezioni che operano in diversi contesti dell'ingegneria meccanica, energetica e gestionale:

Sezione «Macchine»

Le attività di ricerca vertono essenzialmente sullo sviluppo di metodologie di indagine nei campi che rientrano nel contesto scientifico-disciplinare dei suddetti raggruppamenti, ma si estendono anche ad attività di area fluidodinamica e propulsione. I suoi membri si focalizzano sulle problematiche termodinamiche, fluidodinamiche, energetiche, ecologiche, tecnologiche ed ambientali delle macchine a fluido, e dei sistemi destinati alla conversione dell'energia nelle sue varie forme, sia convenzionali che rinnovabili.

I componenti afferiscono ai Settori Scientifico-Disciplinari Macchine a fluido (IIND-06/A) e Sistemi per l'energia e l'ambiente (IIND-06/B).

La sezione è articolata in cinque gruppi:

- HTC Group Heat Transfer and Combustion (referente: Prof. Bruno Facchini)
- SERG (Sustainable Energy Research Group)
- SM&RES (Sensor, Measurement and Solar Technology) (referente: Prof. Maurizio De Lucia)
- TCR Group Turbomachinery and Combustion Research (referente: Prof. Francesco Martelli)
- Traf Group (referente: Prof. Andrea Arnone)

Sezione «Meccanica Applicata»

L'attività scientifica e didattica è rivolta allo studio, alla modellazione dinamica ed al controllo dei sistemi meccanici in genere, con particolare attenzione ai veicoli terrestri, marini ed aerei, nonché alla robotica. La Sezione si caratterizza per un approccio fortemente multidisciplinare alle tematiche di interesse, finalizzato a dominare la gran parte degli aspetti connessi alla progettazione, realizzazione ed esercizio dei moderni sistemi mecatronici. I componenti afferiscono al Settore Scientifico-Disciplinare Meccanica applicata alle macchine (IIND-02/A).

La sezione è articolata nei seguenti gruppi:

- Mobility and Vehicle Innovation Group (MOVING, referente: Prof. Rindi)
- Mechatronics and Dynamic Modelling Laboratory (MDM Lab, referente: Prof. Allotta)

Sezione «Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale»

I settori di ricerca all'interno dei quali opera il personale afferente al gruppo, sia in ambito scientifico che didattico, vertono essenzialmente sui seguenti temi: Sistemi di progettazione e modellazione assistite dal calcolatore; Grafica Computazionale; *Computer Vision* e *Reverse Engineering*; Prototipazione Virtuale e Rapida; metodi e strumenti a supporto della progettazione inventiva del prodotto e delle attività di reingegnerizzazione dei processi aziendali; acustica ambientale ed industriale. Le attività di ricerca della sezione sono strategiche per il Dipartimento in quanto orientate allo sviluppo di sistemi, metodi e strumenti, anche multidisciplinari, impiegabili in molteplici settori dell'ingegneria.

I componenti afferiscono al Settore Scientifico-Disciplinare Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale (IIND-03/B).

La sezione è articolata nei seguenti gruppi:

- M2I – Metodi dell'Ingegneria per l'Innovazione (referente Prof. Federico Rotini)
- TIPP – Team per l'Innovazione di Processo e Prodotto (referente Prof.ssa Monica Carfagni)

Sezione «Costruzioni Meccaniche»

L'attività scientifica e didattica è rivolta ad ambiti tematici caratteristici del settore dell'ingegneria industriale. Più specificamente, l'attività di ricerca è rivolta alla progettazione, alla sperimentazione e ai processi costruttivi di macchine e di sistemi meccanici, studiando l'insieme dei metodi e degli strumenti per la concezione, lo sviluppo e la fabbricazione di prodotti affidabili, sicuri e sostenibili dal punto di vista ambientale, curandone l'intero ciclo di vita.

I componenti afferiscono al Settore Scientifico-Disciplinare Progettazione meccanica e costruzione di macchine (IIND-03/A).

La sezione è articolata nei seguenti gruppi:

- Eco Design Innovation Team (EDIT) (referente: Prof. Massimo Delogu)
- Gestione e Progettazione Sicurezza (referente: Prof. Renzo Capitani)
- Ingegneria Ferroviaria (referente: Prof. Andrea Bracciali)
- Meccanica Sperimentale (referente: Prof. Dario Vangi)
- Mobility and Vehicle Innovation Group

Sezione «Fisica Tecnica e Tecnologia Meccanica»

La Sezione coordina l'attività dei docenti considerando le loro diverse competenze. La sinergia permette di affrontare con più efficacia le problematiche delle ricerche con approcci sistematici rivolti anche al soddisfacimento delle esigenze espresse sotto i profili normativi, tecnici ed economici di committenti pubblici e privati. I temi di ricerca possono sinteticamente individuarsi in: Termodinamica applicata allo studio dello scambio termico e di massa, della refrigerazione, della termodinamica dei sistemi, di sistemi energetici per l'utilizzazione dell'energia nelle sue varie forme, sia convenzionali che rinnovabili. Vengono inoltre studiati l'impiego dei materiali più avanzati e

i processi di fabbricazione, trasformazione, controllo, degrado e smaltimento dei materiali e di quelli coinvolti nei loro processi produttivi.

I componenti afferiscono ai Settori Scientifico-Disciplinari Fisica Tecnica Industriale (IIND-07/A) e Tecnologie e Sistemi di Lavorazione (IIND-04/A).

La sezione è articolata nei seguenti gruppi:

- Termodinamica e scambio termico (referenti: Prof. Adriano Milazzo e Prof. Andrea Rocchetti)
- Manufacturing Technology Research Lab MTRL (referenti: Prof. Gianni Campatelli e Prof. Antonio Scippa)

Sezione «Impianti e Servizi Industriali»

Le attività di ricerca dei componenti la Sezione affrontano tematiche in generale comprese nelle declaratorie dei due settori scientifico-disciplinari, e sono focalizzate sulla progettazione e gestione dei sistemi produttivi, delle reti logistiche e di servizi, ed in particolare su *operations, supply chain e performance management*, qualità, innovazione e sostenibilità dei processi, ingegneria della manutenzione, dell'affidabilità e della sicurezza. Tali tematiche di ricerca hanno ricadute sull'offerta didattica del Dipartimento nell'area dell'Ingegneria Industriale e potenzialmente dell'Ingegneria Gestionale. I componenti afferiscono ai Settori Scientifico-Disciplinari Impianti industriali meccanici (IIND-05/A) e Ingegneria economico-industriale (IEGE-01/A).

Sezione «Chimica, Tecnologia dei Materiali e bioingegneria»

I ricercatori che aderiscono alla sezione sono attivi nel campo dello studio di materiali e vantano esperienze diverse ma accomunate dallo stesso interesse culturale che si sono concretizzate anche in un Dottorato di Ricerca sullo stesso tema. La componente chimica è attiva nella caratterizzazione strutturale e nell'analisi delle proprietà chimico-fisiche di materiali molecolari con particolare interesse alle relazioni intercorrenti tra struttura e proprietà ed allo studio di sistemi nanostrutturati. Gli studi ingegneristici riguardano la caratterizzazione, la modifica delle caratteristiche superficiali di materiali metallici tramite tecniche innovative, lo studio delle correlazioni fra processo, proprietà superficiali e struttura dei materiali metallici. La Sezione affronta anche lo studio dei tessuti biologici, dei biomateriali, dei dispositivi medici e degli aspetti meccanici del movimento. L'attività di ricerca è anche orientata allo sviluppo di robotica sociale e collaborativa con particolare riferimento all'interazione uomo-robot. I componenti afferiscono ai Settori Scientifico-Disciplinari Scienza e Tecnologia dei Materiali (IMAT-01/A), Fondamenti Chimici delle Tecnologie (CHEM-06/A), Bioingegneria Industriale (IBIO-01/A).

La sezione è articolata nei seguenti gruppi:

- Gruppo di Ingegneria dei Materiali (referente: Prof. Emanuele Galvanetto)
- Gruppo di Chimica Strutturale e Proprietà Molecolari (referente: Prof.ssa Paola Paoli)
- Gruppo di Bioingegneria Industriale (referente: Prof. Andrea Corvi)

Sezione «Analisi Numerica»

La sezione si occupa dello studio e la divulgazione delle metodologie numeriche più adatte a risolvere in modo accurato ed efficiente i tanti e diversi modelli matematici che nascono nell'ambito dell'ingegneria e delle scienze applicate. Più specificamente, l'attività di ricerca è rivolta alla definizione di metodi e algoritmi innovativi per problemi di ottimizzazione continua con e senza vincoli, in particolare per problemi che nascono

nell'ambito dell'apprendimento automatico, e della teoria dell'approssimazione e della modellazione geometrica. I componenti afferiscono al Settore Scientifico-Disciplinare Analisi Numerica (MATH-05/A).

La sezione è articolata nei seguenti gruppi:

- Gruppo di Approssimazione e Applicazione
- Numerical Optimization and Data Analysis (NODA)

L'estrema vivacità e valore dell'operato del Dief è testimoniata dalla raccolta di fondi esterni quantificata con un budget di circa 8 milioni di euro all'anno, suddivisi tra un 60% di progetti di ricerca competitivi internazionali e nazionali e un 40% di contratti di ricerca. Il rapporto tra il budget e il numero di professori e ricercatori facenti parte dello staff permanente si aggira sui 135.000 euro annui per ricercatore ponendo senza dubbio il Dief ad un livello di eccellenza europeo e in prima posizione a livello di Ateneo. Alcune delle tematiche applicative in cui il Dief è più attivo sono Turbomacchine e Macchine Volumetriche, Aerodinamica e Aeroelasticità, Motori Aeronautici e Motori a Combustione Interna in genere, Veicoli Stradali a 2 e 4 ruote, Veicoli Ferroviari, Nanotecnologie, Bioingegneria, Robotica Riabilitativa e Assistiva, Robotica Subacquea, Tecnologie per Industria 4.0, inclusa la Stampa 3D, Tecnologie per l'Ambiente e Tecnologie per l'Industria della Moda.



Figura 12 – Plesso di Viale Morgagni (a sinistra), Plesso di Calenzano (a destra).

Il Dief vanta contratti di ricerca industriale con un numerosissimo gruppo di aziende nazionali, straniere e multinazionali (tra cui BH, Ansaldo Energia, GE Avio Aero, Termomeccanica, Hitachi Rail Italy, Magneti Marelli, Ferrari, Ducati, Piaggio). A ciò si aggiungono collaborazioni più recenti come, ad esempio, quelle con il centro di ricerca europeo della giapponese Yanmar e altre realtà della *motorvalley* emiliano-romagnola. Nel contesto territoriale di riferimento, il Dief collabora con l'Ospedale Pediatrico Meyer, con il quale è stato costituito il laboratorio T3DDY. Grazie alla collaborazione tra ingegneri e medici dei più prestigiosi ospedali italiani e internazionali, i risultati del laboratorio stanno stravolgendo la pratica clinica, coinvolgendo studenti, laureandi, dottorandi e giovani ricercatori. Nel Dipartimento sono attivi 24 laboratori congiunti con aziende del settore e 7 *spin-off*. Dal punto di vista logistico, data la numerosità di Assegnisti, dottorandi e ricercatori che operano all'interno del Dief, il Dipartimento occupa oggi, oltre agli spazi nel Plesso di Santa Marta, anche parte del terzo piano del Plesso di Viale Morgagni 40 (Figura 12). La vocazione alla ricerca del Dief ha trovato inoltre ulteriore impulso dallo sviluppo infrastrutturale dei diversi laboratori all'interno dell'importante nuova sede di Calenzano.

Si tratta di una struttura di 3000 m² di cui circa 2/3 dedicati a laboratori «pesanti» e circa 1000 m² destinati ad uffici, aule meeting e laboratori leggeri, utilizzati per ricerche di grande contenuto innovativo. Già nel 2013, difatti, il **Ce.R.Tu.S** (Centro di ricerca, trasferimento ed alta formazione per turbomacchine e sistemi energetici), afferente al Dipartimento di Ingegneria Industriale DIEF, stipulò con Promo Design S.r.l., – società controllata dal Comune di Calenzano – un contratto di sublocazione, con oneri a carico del DIEF, per alcuni spazi situati nell'immobile di via Vittorio Emanuele, 32 a Calenzano.

La permanenza del Centro indusse il Comune di Calenzano ad eseguire investimenti finalizzati a garantirne la piena funzionalità e sviluppo, fino a presentare una serie di opzioni per portare alla ratifica con Unifi di un protocollo d'intesa che stabilisse le modalità di cessione in uso ad Unifi degli spazi liberi all'interno dell'edificio di via Vittorio Emanuele, 32, per le esigenze del DIEF.

Conseguentemente, il Consiglio di amministrazione del 29 maggio 2015 diede mandato all'allora Rettore Luigi Dei affinché negoziasse le migliori soluzioni finalizzate a favorire negli spazi ubicati in tale immobile la allocazione dei laboratori di Ingegneria, siglò nel luglio dello stesso anno il protocollo d'intesa col Comune di Calenzano per il trasferimento a Calenzano dei suddetti laboratori e procedette all'acquisto dell'immobile nel novembre del 2015.

Oltre ai già citati Ce.R.Tu.S e Promo Design S.r.l., i laboratori che insistono sul Plesso di Calenzano sono:

- Laboratorio di Scambio Termico e Combustione nelle Macchine (THT Lab) – Opera nello sviluppo di motori aeronautici civili che porteranno nei prossimi decenni a significative riduzioni dell'impatto ambientale, avendo come tema principale della ricerca lo sviluppo di sistemi di raffreddamento, in particolare per turbine a gas industriali e motori aeronautici, lo studio e lo sviluppo di camere di combustione e la realizzazione di gallerie del vento per studi fluidodinamici di interesse industriale (Figura 13a).
- Laboratorio TRAF – Svolge prevalentemente attività di ricerca basata su analisi CFD per studi aerodinamici, aero-meccanici e aeroacustici con particolare riferimento a simulazioni *Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes (URANS)* e *Large Eddy Simulation (LES)* su cluster ad alta prestazione di calcolo (HPC, Figura 10a). Inoltre, effettua simulazioni aeroacustiche di componenti di motori aerodinamici.
- Laboratorio di Innovazione per l'Energia e l'Ambiente (LINEA) – Dedicato allo sviluppo di motori per autotrazione terrestre ed impiego industriale, vede importanti attività di ricerca e sviluppo sperimentale e dispone di un banco prova motori dinamico e di un banco prova per compressori centrifughi (Figura 13).
- Il Laboratorio MDM Lab propone sia la ricerca sia lo sviluppo di sistemi nel settore della rotordinamica delle turbomacchine, sia di sistemi robotici per l'esplorazione marina (attività svolta anche in un Laboratorio ubicato a Pistoia) e per la riabilitazione (Figura 13c). Il laboratorio ha sede anche al plesso di Santa Marta. In particolare, a partire dal 2012, prima partecipazione del team studentesco alla gara SAUC-E di Robotica Marina (NATO), il Laboratorio ha sviluppato una serie di robot per l'esplorazione marina.
- Laboratorio **SMIPP** – Propone lo sviluppo e la realizzazione di metodologie di design prototipi e componenti per diverse applicazioni che spaziano dal settore industriale al settore dei beni culturali e della meccanica agraria (Figura 14a).
- Laboratorio **MTRL** – Sviluppa strumenti e metodologie di indagine e design di sistemi di produzione capaci di rispondere alle più avanzate richieste del mondo industriale (Figura 14b).

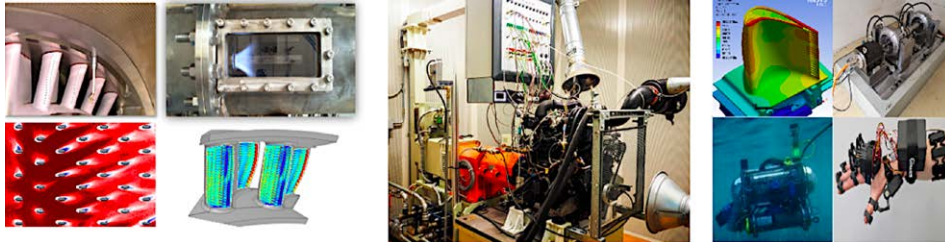


Figura 13 – A sinistra alcuni esempi di ricerche effettuate in THT; al centro banchi prova a disposizione del laboratorio LINEA; a destra Dispositivi sviluppati e testati da MDM Lab.



Figura 14 – A sinistra, alcuni dei sistemi sviluppati dal Laboratorio SMIPP; a destra, alcune delle macchine disponibili presso MTRL.



Figura 15 – A sinistra, prototipo formula SAE sviluppato da V2D Lab; a destra, simulatore di guida sede di sperimentazioni da parte del Laboratorio MOVING.

- **V2D Lab** – Propone ricerche nel settore della dinamica dei veicoli e dello sviluppo di sistemi di guida autonoma (Figura 15a) e progetta veicoli per motorsport (ad esempio Formula SAE) e per larga produzione.
- Laboratorio **MOVING** – Propone ricerca di elevata qualità relativa allo sviluppo di sistemi di sicurezza per i motocicli (Figura 15b).

Il Dipartimento di Ingegneria Industriale è inoltre coinvolto in modo significativo nelle attività di ricerca connesse al Piano nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)

nella misura M4C2 – «dalla Ricerca all'Impresa». La misura, attuata dal Ministero dell'Università e della Ricerca, ha come obiettivo sia il potenziamento delle attività di ricerca di base e industriale, per favorire sia la ricerca aperta e multidisciplinare, stimolata dalla curiosità e dall'approccio scientifico, sia la ricerca finalizzata ad affrontare sfide strategiche per lo sviluppo del Paese.

Il DIEF partecipa al PNRR con un budget complessivo di oltre 7,5 milioni di euro ed un'incidenza complessiva sull'Ateneo di circa l'11% a fronte di una percentuale inferiore al 3,6% di personale sul complesso degli strutturati in ateneo. In particolare, i progetti partecipati dal personale DIEF sono relativi a:

- Tre Campioni nazionali: CN1 Centro Nazionale di Ricerca in High Performance Computing, Big Data e Quantum Computing (ICSC), CN2 Centro Nazionale per le Tecnologie dell'Agricoltura (AGRITECH) e CN4 – Mobilità Sostenibile (MOST)
- Quattro Partenariati Estes: PE4 – Istituto Nazionale di Scienza e Tecnologia Quantistica (NQSTI), PE5 – Cultural Heritage Active Innovation for Sustainable Society (CHANGES), PE8 – Ageing Well in an Ageing Society (Age-It) e PE11 Made In Italy Circolare e Sostenibile (MICS)
- Un Ecosistema per l'Innovazione: Tuscany Health Ecosystem (THE)

Con la partecipazione ai suddetti progetti, il DIEF dimostra ancora una volta la sua propensione ad una ricerca multidisciplinare e interdisciplinare fortemente connessa al territorio e nei diversi settori dell'ingegneria industriale, del calcolo ad alte prestazioni, della mobilità sostenibile ma anche di settori che necessitano di innovazione tecnologica quali la sanità, i beni culturali ed il settore dell'agricoltura.

Non a caso, nel solo 2023, i docenti del Dipartimento di Ingegneria Industriale hanno prodotto 142 articoli su riviste internazionali, 12 contributi in volume, 65 articoli su convegni internazionale ed hanno 18 brevetti attivi. L'indicatore di Qualità della Ricerca per i docenti afferenti al DIEF è superiore al valore dell'area geografica (Toscana) e nazionale e sempre ben superiore (+31%) al valore di riferimento indicato a livello nazionale.

La crescente attenzione dedicata dal DIEF all'internazionalizzazione ha portato inoltre, negli ultimi anni, ad un aumento notevole della mobilità internazionale con particolare riferimento ai dottorandi (ma anche degli studenti dei CdS di primo e secondo livello) e ad un incremento dell'attrattività di studenti provenienti dall'estero. Sono in essere infatti accordi con numerose Università estere quali: 1) Universität des Saarlandes (Germania), Universitat de Girona (Spagna), Universidad de Sevilla (Spagna), Von Karman Institute for Fluid Dynamics (Belgio), Southwest Jiaotong University (Cina), University of Novi Sad (Serbia), Technische Universität Berlin (Germania), National Sun Yat-Sen University (Taiwan) e Czech Technical University (Repubblica Ceca). La collaborazione internazionale si enuclea inoltre in numerosi progetti europei cui partecipa, in veste di coordinatore o di partecipante, il personale del DIEF. Ne sono esempi i progetti degli ultimi anni:

- RELIEF - euRopean bio-Economy aLliancE in Farming ERASMUS+ALLIANCES FOR EDUCATION AND ENTERPRISES
- TRANS-SAFE – Transforming Road Safety in Africa HORIZON EUROPE – Cluster 5 – Climate, Energy and Mobility
- SOFTWARE – SOFT actuators for Wearables, Exoskeletons, and Augmenting Robotics HORIZON EUROPE – MSCA
- HOCLOOP – A circular-by-design, environmentally friendly and seismicity-free solution for the exploitation of geothermal sources based on Closed-Loop technologies HORIZON EUROPE – Cluster 5 – Climate, Energy and Mobility

- I4DE – Industry 4.0 and Digital Entrepreneurship ERASMUS MUNDUS DESIGN MEASURES (EMDM) LIFE2M Long Life to MicroMobility – LIFE
- HESTIA HydrogEn combuSTion In Aero engines – HORIZON EUROPE – Cluster 5 – Climate, Energy and Mobility
- TRANSITION – fuTure hydRogen Assisted gas turbiNeS for effective carbon capTure IntegratiON HORIZON EUROPE – Cluster 5 – Climate, Energy and Mobility
- XL_CONNECT- System Approach for Smart EV Charging HORIZON EUROPE – Cluster 5 – Climate, Energy and Mobility
- AccCellBat -ACCELERATED CELL AND BATTERY DEVELOPMENT HORIZON EUROPE – Cluster 5 – Climate, Energy and Mobility
- TOUR AND RAIL Collaborative ecosystem for ecological transition in rural areas through a sustainable tourism model applied to low traffic railway lines in Europe ERASMUS+ COOPERATION PARTNERSHIPS
- ICHARUS – Investigation and Control of Hydrogen flames Across the Scales HORIZON EUROPE – MSCA
- PHOTOCODE_MSCA – Photodriven spin selectivity in chiral organic molecules and devices HORIZON EUROPE – MSCA
- THUNDER – THERMOCHEMICAL STORAGE UTILIZATION ENABLING DATA CENTRE SEASONAL ENERGY RECOVERY HORIZON EUROPE – Cluster 5 – Climate, Energy and Mobility
- LIFEBOOTS – LIFEBOOTS Exchange – creating a new reality of care and welfare through the inclusion of social robots Horizon 2020 (MSCA)
- FAITH -Fostering Artificial Intelligence Trust for Humans towards the optimization of trustworthiness through large-scale pilots in critical domains HORIZON EUROPE – Cluster 4 – Digital, Industry and Space
- FFLECS – Novel Fuel-Flexible ultra-Low Emissions Combustion systems for Sustainable aviation HORIZON EUROPE – Cluster 5 – Climate, Energy and Mobility
- HARMONY – Holistic Approach to enhance the Recyclability of rare-earth permanent Magnets Obtained from ANY waste stream HORIZON EUROPE – Cluster 4 – Digital, Industry and Space
- CLIMAFLUX – Circular design and manufacturing techniques for next generation highly-efficient integrated axial flux motor drives for electric vehicles HORIZON EUROPE – Cluster 5 – Climate, Energy and Mobility
- FLOAT FARM – Developing the Next Generation of Environmentally-Friendly Floating Wind Farms with Innovative Technologies and Sustainable Solutions HORIZON EUROPE – Cluster 5 – Climate, Energy and Mobility
- RECAL – Recycling Technologies for Aluminium HORIZON EUROPE – Cluster 5 – Climate, Energy and Mobility
- TETHY – TWINNING FOR EXCELLENCE IN FLOATING WIND TURBINE AND HYDROGEN SYSTEMS HORIZON EUROPE – Widening participation and spreading excellence

Il DIEF, infine, aderisce al Centro interuniversitario di ricerca di sistemi integrati per l'ambiente marino (ISME), al Centro di Ricerca, Trasferimento e Alta Formazione "Turbomacchine e Sistemi Energetici" (Ce.R.Tu.S.), al Centro Interdipartimentale per le Energie Alternative e Rinnovabili (CREAR) e al Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei Materiali (INSTM).

L'Università di Firenze, attraverso il modello ANVUR/AVA, promuove una gestione strutturata e continua della qualità in tutte le sue componenti. Il Dipartimento di Ingegneria Industriale aderisce pienamente a questo modello, articolato in quattro ambiti fondamentali:

- Definizione delle linee strategiche (DIP.1)
- Attuazione, monitoraggio e riesame delle azioni (DIP.2)
- Criteri per la distribuzione delle risorse (DIP.3)
- Individuazione del personale, delle strutture e dei servizi (DIP.4)

Strumento cardine di questo processo è la relazione annuale dipartimentale, che consente di definire le politiche e le strategie per la qualità nella didattica, nella ricerca e nella terza missione. Attraverso una visione d'insieme delle attività svolte, delle risorse impiegate e dei risultati ottenuti, la Relazione guida l'autovalutazione e la programmazione degli obiettivi per l'anno e il triennio successivo. Questo approccio garantisce una governance trasparente, partecipata e orientata al miglioramento continuo, in linea con la missione istituzionale del Dipartimento e con le sfide della società contemporanea.

Oggi la governance del Dipartimento è così costituita:

Direttore: Prof. Bruno Facchini

Vicedirettore: Prof.ssa Benedetta Morini

Responsabile Amministrativo: dott.ssa Maria Luisa Amerise

Commissione di Indirizzo e Autovalutazione: Bruno Facchini, Paola Paoli (Presidente della Commissione), Lapo Governi, Niccolò Baldanzini, Stefania Bellavia, Andrea Rocchetti, Andrea Rindi, Antonio Andreini, Filippo Visintin.



Figura 16 – Prof. Benedetta Morini (a sinistra), Dott.ssa Maria Luisa Amerise (a destra).

Membri della Giunta: docenti e ricercatori: Alessandra Papini; Francesca Borgioli; Niccolò Baldanzini; Rocco Furferi; Andrea Rocchetti; Filippo Visintin; Carlo Carcasci; Benedetto Allotta.

Rappresentanti personale tecnico amministrativo: Gianna Lanzini; Antonio Virga.

Referente per l'internazionalizzazione: Prof.ssa Patrizia Rossi

Delegato di Dipartimento per la ricerca scientifica nazionale e internazionale e per i rapporti con l'Ufficio Regionale di Bruxelles TOUR4EU: Antonio Andreini

Referente di Dipartimento per la SUA-RD: Stefania Bellavia

Referente di Dipartimento per VQR e per il Sistema di Supporto alla Valutazione della Produzione Scientifica CRUI-UNIBAS: Stefania Bellavia

Referente per la task force di Ateneo per il PNRR: Rocco Furferi

Referente per il gruppo di lavoro dedicato allo studio dei ranking internazionali (THE, QS e greenmetrics): Alessandro Bianchini

Commissione Edilizia: Giovanni Ferrara, Marco Pierini, Rocco Furferi, Andrea Rocchetti, Andrea Rindi, Rinaldo Rinaldi

Commissione Didattica

Membri: Bruno Facchini, Costanza Conti, Lapo Governi, Adriano Milazzo, Niccolò Baldanzini, Andrea Rindi, Patrizia Rossi, Filippo De Carlo

Commissione Laboratori: Andrea Corvi, Maurizio De Lucia, Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Marco Pierini, Monica Carfagni, Dario Vangi, Gianfranco Cellai, Gianni Campatelli, Paola Paoli, Mario Rapaccini, Andrea Rindi

Commissione Comunicazione: Giovanni Ferrara, Gianni Campatelli, Massimo Delogu, Bruno Facchini, Rocco Furferi, Lapo Governi, Paola Paoli, Filippo De Carlo, Carlo Carcasci, Michele Marconcini, Costanza Conti, Romeo Bandinelli, Niccolò Baldanzini, Federico Rotini

Commissione Fondi Didattica: Renzo Capitani, Bruno Facchini, Giampaolo Manfreda, Lapo Governi.

Laboratori, Laboratori Congiunti e Unità Interdipartimentali del Dipartimento di Ingegneria Industriale

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi

I laboratori del Dipartimento di Ingegneria Industriale rappresentano il cuore pulsante della ricerca teorica, applicata e sperimentale. Spazi specializzati, in cui si sviluppano innovazione, collaborazione e trasferimento tecnologico. A fianco dei laboratori interni, il DIEF coordina e partecipa a laboratori congiunti con enti pubblici e imprese, e a unità interdipartimentali che favoriscono l'integrazione delle competenze tra aree scientifiche diverse. Queste strutture costituiscono un ecosistema dinamico dove la scienza incontra le sfide reali del mondo industriale e contribuisce allo sviluppo sostenibile del territorio e del Paese.

Laboratori

I laboratori del DIEF ubicati nella sede di Santa Marta e del Plesso Morgagni rappresentano un elemento fondamentale per la formazione e la ricerca. Essi offrono a professori, ricercatori, collaboratori, tecnici, tecnologi, dottorandi e studenti l'opportunità di applicare concretamente le conoscenze scientifiche e teoriche acquisite, favorendo lo sviluppo di competenze pratiche indispensabili per affrontare le sfide del mondo industriale. Allo stesso tempo, i laboratori costituiscono un ambiente avanzato per lo sviluppo di progetti di ricerca innovativi, contribuendo al progresso tecnologico e scientifico. Grazie alla loro dotazione strumentale all'avanguardia, potenziata peraltro negli ultimi anni anche grazie ai fondi PNRR, i laboratori del DIEF supportano non solo la didattica, ma anche la collaborazione con aziende e istituzioni, rafforzando il legame tra accademia e industria. Si riportano di seguito alcuni dei principali laboratori.

Fondato nel 1988, il Laboratorio Ex Galleria a Vento, coordinato dal Prof. Maurizio De Lucia, sviluppa attività di ricerca e trasferimento tecnologico sui temi connessi alle misure sia tradizionali che avanzate, con specifico focus sulle tecnologie connesse

Bruno Facchini, University of Florence, Italy, bruno.facchini@unifi.it, 0000-0003-4489-4256
Giovanni Ferrara, University of Florence, Italy, giovanni.ferrara@unifi.it, 0009-0004-8713-1958
Rocco Furferi, University of Florence, Italy, rocco.furferi@unifi.it, 0000-0001-6771-5981

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi, *Laboratori, Laboratori Congiunti e Unità Interdipartimentali del Dipartimento di Ingegneria Industriale*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.08, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 45-56, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

ai sistemi energetici e turbomacchine. Attività di ricerca attuali riguardano lo sviluppo di soluzioni per misure aeroacustiche e sistemi tipo power meeter e similari per controllo e ottimizzazione di sistemi di generazione distribuita principalmente da energie rinnovabili. Nello stesso anno, nasce il Laboratorio Vasche Interrato, un laboratorio storico finalizzato allo studio su pompe per reiniezione dei pozzi petroliferi. Negli anni il laboratorio si è molto evoluto e trasformato per ospitare gallerie del vento con stadi rotanti per studi di aeroacustica. Le 4 grandi vasche della capacità di 225m³ sono attualmente a disposizione per altre ricerche e nel contempo rappresentano una importante risorsa idrica per l'impianto antincendio del complesso di Santa Marta. Risale al 1992 la nascita del Laboratorio Vasche Esterno che ha come obiettivo quello di condurre studi sulle miscele acqua-carbone poi negli anni ha alloggiato studi su Pompe di calore ad assorbimento e Sistemi ORC. Recentemente, vengono sviluppati test mirati allo sviluppo di concentratori solari tipo PTC e componenti per cicli e sistemi ULT (Ultra-Low-Temperature). Nato nel 2000, il Laboratorio di Misure sulle Macchine, coordinato dal Prof. Maurizio De Lucia, sviluppa attività di ricerca e trasferimento tecnologico sui temi connessi alle misure sia tradizionali che avanzate, con specifico focus sulle tecnologie connesse ai sistemi energetici e turbomacchine.

Nato nel 2006, il laboratorio ReViP (Reverse Engineering, Virtual and Rapid Prototyping), coordinato dalla Prof.ssa Carfagni e dal Prof. Governi, svolge ricerca di base ed applicata nei settori del Reverse Engineering, del Virtual prototyping e dell'Additive Manufacturing e collabora con centri attivi nel settore della stampa 3D. Il Laboratorio dispone di attrezzature hardware e software dedicati. Sono progetti recenti lo sviluppo di un sistema di Visione Artificiale basato su Intelligenza Artificiale per la *defect detection* in varie tipologie di prodotti, lo sviluppo di un sistema per la ricostruzione di modelli 3D a partire da proiezioni ortogonali e lo sviluppo di un sistema per la misura della convergenza e della campanatura di veicoli (Figura 17a). Nel 2017 nasce il laboratorio di Tecnologia Meccanica, coordinato dal Prof. Gianni Campatelli. Il Laboratorio sviluppa attività di ricerca e trasferimento tecnologico sui temi della produzione, con specifico focus sulle tecnologie di asportazione di truciolo e di Additive Manufacturing con tecnologia WAAM. Attività di ricerca attuali riguardano lo sviluppo di soluzioni *zero-defect* per la produzione, il monitoraggio e controllo attivo di processo e lo sviluppo di soluzioni per la creazione di componenti con tecnologia WAAM (Figura 17b).



Figura 17 – A sinistra, dispositivo per la misura della convergenza e della campanatura sviluppato da ReViP; a destra, tecnologia WAAM studiata dal Laboratorio di Tecnologia Meccanica.

Il Laboratorio di Metodi e Tecniche per l'Innovazione (LMTI), coordinato dal Prof. Federico Rotini, supporta PMI e grandi imprese nell'innovazione di prodotti e processi, sviluppando soluzioni tecniche e trasferendo conoscenze al settore industriale. Tramite progetti di ricerca, formazione aziendale e attività didattiche, offre competen-



Figura 18 – A sinistra, ambito di competenze di LMTI: supporto alle attività di sviluppo prodotto; a destra, Laboratorio IBIS.

ze in innovazione sistematica, creatività assistita da CAD/CAE, *problem solving* basato sulla teoria TRIZ e analisi brevettuali con text mining. LMTI analizza processi aziendali, identifica criticità, sviluppa prototipi e supporta la valorizzazione industriale di idee, contribuendo alle decisioni strategiche tramite mappature tecniche e brevettuali. Collaborazioni con aziende completano l'approccio pratico e orientato all'innovazione (Figura 18a). IBIS, coordinato dal Prof. Filippo Visintin, è un laboratorio di ricerca che incentra la sua attività sulla messa a punto di modelli data-driven per lo studio e l'ottimizzazione di impianti, processi e sistemi logistici, di produzione e per l'asset management nel settore industriale e della sanità. Le collaborazioni con aziende industriali di primo piano quali Ferrari Gestione Sportiva, Ricoh, Epson, Lilly, Baker Hughes, con l'ospedale pediatrico Meyer e con AOU Careggi, hanno portato allo sviluppo di soluzioni innovative per numerosi problemi pratici. Le competenze disponibili coprono tutte le esigenze di ricerca, sviluppo, innovazione e trasferimento tecnologico. Nel corso degli anni il laboratorio IBIS ha conseguito finanziamenti per progetti di ricerca su fondi regionali, nazionali e internazionali per oltre 3 milioni di euro. Nel 2015 il laboratorio IBIS ha permesso la creazione dello *spin-off* Smartoperations, che è stata acquisita nel 2022 dal gruppo Digital 360, quotato alla Borsa di Milano. (Figura 18b).

I Laboratori Campo Solare e TEST-CELL, collocati nel parco del complesso in un'area particolarmente favorevole per l'esposizione per lo sviluppo di soluzioni solari, sviluppano dal 2010 ricerche su collettori solari a concentrazione per applicazioni CSP&CST (Concentrator solar Power e Concentrator Solar Technology) nonché CPV (sistemi fotovoltaici a concentrazione). Nella stessa area trova alloggio una TEST-CELL rotante che consente lo studio e certificazione di Materiali per la realizzazione degli edifici delle future città meno energivore e sostenibili di quelle esistenti. Il Laboratorio di Ingegneria Cristallina, coordinato dalla Prof.ssa Paoli, si occupa della sintesi di materiali cristallini e dello studio delle relative forme solide (polimorfi, solvati, idrati, ecc.) e delle loro trasformazioni (analisi termiche, ecc.).

Laboratori Congiunti

I Laboratori Congiunti Università-Imprese rappresentano una collaborazione strategica che permette all'università, insieme a partner pubblici e privati, di condividere competenze specialistiche e infrastrutture di ricerca, creando spazi innovativi di incontro e di lavoro. Questi laboratori sono concepiti come ambienti fisici condivisi, con caratteristiche uniche rispetto a quelle dei singoli istituti che li promuovono. All'inter-

no di tali laboratori, i ricercatori universitari collaborano con partner esterni per sviluppare percorsi scientifici e tecnologici di interesse comune, costruendo partenariati solidi e di lunga durata. La sinergia consente, ad esempio, di partecipare a bandi di finanziamento competitivo, migliorando le probabilità di ottenere fondi per la ricerca e aumentando l'attrattiva per investimenti privati. I laboratori, situati sia nelle sedi dell'università che in quelle dei partner industriali, favoriscono una collaborazione stabile e continuativa su più anni che riflette un impegno reciproco verso una progettualità di medio-lungo termine, sostenuta da investimenti strategici pensati per garantire l'innovazione e il trasferimento tecnologico.

Il personale di ricerca del DIEF promuove da molti anni questo tipo di collaborazione ed ha infatti costituito numerosi Laboratori Congiunti con continuità a partire dal 2014.

LINA, Laboratorio per l'Ingegneria per l'Acustica, la cui responsabile è la Prof.ssa Carfagni, effettua difatti sin dal 2014 ricerche nell'ambito dell'acustica ambientale e industriale per la realizzazione di mappature e piani di azione, per lo sviluppo di ricerche su tematiche di selezione, analisi e gestione delle "aree silenziose" oltre che su problematiche di rumore specifiche legate alla rumorosità prodotta da trasformatori e reattori all'interno di stazioni elettriche.

Istituito nel 2016, T3DDY, Personalized Pediatrics by Integrating 3D Advanced Technology è nato come Laboratorio Congiunto tra DIEF e l'Ospedale Pediatrico Meyer di Firenze. Oggi trasformato in accordo tra enti pubblici ex art. 15 l. 7/8/1990 n. 241, ha lo scopo di introdurre nella pratica clinica dispositivi medici e metodiche altamente personalizzate a supporto della cura di patologie pediatriche attraverso l'impiego di tecnologie 3D. È responsabile la Prof. Monica Carfagni.

Il 2017 vede la nascita di numerosi Laboratori. ComHeat-Lab, Combustor and Heat Transfer, di cui è responsabile il Prof. Bruno Facchini, fornisce supporto alle attività di sviluppo dei sistemi di combustione, dei gearbox e delle turbine per motori aeronautici sviluppati da GE-Avio, con particolare attenzione ai fenomeni termofluidodinamici nei processi di combustione e scambio termico. MeC-Lab, Laboratorio di studi avanzati per modellazione meccatronica, di cui è referente il Prof. Andrea Rindi, ha come tema principale la progettazione ed esecuzione di test sperimentali in campo, lo sviluppo di modelli di veicoli ferroviari per lo studio della sicurezza e della dinamica di marcia e per la manutenzione ferroviaria finalizzati al testing delle performance di algoritmi odometrici, lo sviluppo di modelli per lo studio dell'usura e del contatto ruota-rotai in ambito ferroviario, lo sviluppo di modelli di sottosistemi di bordo e di terra per applicazioni ferrottramviarie, lo sviluppo di algoritmi di controllo di veicoli robotici subacquei, lo studio di tecniche di stabilizzazione avanzata di veicoli ROV subacquei attraverso tecniche di sensor-fusion, l'ottimizzazione dei sistemi di propulsione e manovra di veicoli robotici subacquei e lo sviluppo di modelli di rotordinamica per applicazioni industriali. Rindi è responsabile anche di AMLab, Laboratorio di studi avanzati per l'Additive Manufacturing promuove attività di ricerca finalizzate al miglioramento della tecnologia AM (Additive Manufacturing) basata sulla tecnica di SLM (Selective Laser Melting). Smart Energy Lab – Soluzioni tecnologiche per la Power Quality nei sistemi elettrici, promosso e coordinato dal Prof. Francesco Grasso e con Responsabile per il DIEF il Prof. Bruno Facchini, analizza, studia, sviluppa e svolge ricerche su circuiti, dispositivi e componenti elettrici necessari per il miglioramento dei parametri delle grandezze elettriche nelle reti di distribuzione al fine di ridurre i disturbi e le perdite, incrementando l'efficienza energetica, il risparmio e la sicurezza degli impianti elettrici utilizzatori.

Nel 2018 viene istituito SMIPP, Strumenti e Metodi per l'Innovazione di Prodotto e Processo, laboratorio coordinato dalla Prof.ssa Carfagni che sviluppa ricerche di natura tecnico-scientifica nell'ambito della progettazione meccanica, del Reverse Engi-

neering (RE), della prototipazione rapida (RP) e virtuale (VP), della Computer Vision (CV) e dell'Acustica per applicazioni nel settore meccanico. L'anno successivo, sotto la direzione del Prof. Benedetto Allotta, nasce RING@LAB, Rehabilitation Bioengineering and Assistive Technology LAB che ha come mission lo sviluppo e il testing di esoscheletri indossabili, l'analisi del movimento finalizzata allo studio della neurofisiologia, lo sviluppo di sensori indossabili innovativi, lo sviluppo e testing di applicativi per la riabilitazione cognitiva domiciliare, l'analisi di segnali neurofisiologici, applicazioni della termografia in ambito riabilitativo, biomeccanica respiratoria, neuroimaging. Sempre nel 2019, viene istituito MIET, Tecnologie energetiche mininvasive per la terapia oncologica. Con responsabile il Prof. Andrea Freni e sotto la direzione locale del Prof. Andrea Corvi, il Laboratorio si occupa dello studio, sviluppo, sperimentazione e industrializzazione di nuove tecnologie a microonde e ad ultrasuoni per l'ablazione minimamente invasiva, di carattere termico e non termico (elettroporazione), di masse tumorali nei diversi organi del corpo umano, in particolare fegato, rene, polmone, prostata, tiroide e apparato scheletrico (ossa). Inoltre, si occupa dello studio, sviluppo, sperimentazione e industrializzazione di nuove tecnologie a microonde e ad ultrasuoni per applicazioni non oncologiche come ad esempio: ablazione transcatetere per la cura delle aritmie cardiache e di ablazione endometriale per il trattamento della menorragia, ablazione dell'adenoma prostatico benigno e ablazione delle vene varicose.

Sempre nel 2020 viene istituito il Polo del Freddo Toscano, cui responsabili sono il Prof. Adriano Milazzo e il Prof. Benedetto Allotta, con lo scopo di svolgere attività di ricerca, sviluppo e formazione nell'ambito della refrigerazione, del condizionamento e dei sistemi energetici integrati, con particolare riguardo all'utilizzo di fluidi frigoriferi a basso impatto ambientale e allo sviluppo di componenti d'impianto specifici per l'ottimizzazione degli impianti frigoriferi operanti con tali fluidi.

Il 2021 è un anno che vede un importante incremento del numero di laboratori Congiunti tra DIEF e imprese. ABR, Assistive BioRobotics, coordinato dal Prof. Filippo Cavallo, si occupa di progettare, sviluppare e sperimentare sistemi robotici e dispositivi, anche impiantabili, finalizzati ad applicazioni biomediche, quali ad esempio monitoraggio, diagnosi, interventi terapeutici, chirurgico e riabilitativi, assistenza, sostituzione strutturale o funzionale di organi o funzioni biologiche di tipo sensoriale, motorio o metabolico. Ha inoltre lo scopo di sviluppare e validare soluzioni innovative di robotica sociale e di servizio con particolare enfasi alla interazione e collaborazione uomo-macchina e di sviluppare algoritmi di analisi dei dati basati su tecniche multivariate avanzate per lo studio dei correlati fisiologici nell'indagine della relazione uomo-robot. Inoltre, sviluppa e sperimenta sistemi intelligenti per acquisizione e trattamento dati ed immagini, per la realizzazione di attività di monitoraggio, diagnosi e in generale per il supporto alla decisione clinica, nonché interfacce multiplatforma su sistemi mobili per il controllo remoto. Sviluppa e valida nuovi sistemi sensoriali, tra cui anche indossabili, per malattie croniche e, in particolare per quelle neurodegenerative, focalizzandosi su prevenzione e supporto in caso di declino delle abilità motorie e cognitive e si occupa di sistemi robotici bio-ispirati, attraverso l'uso di materiali innovativi, tecniche di stampa 3D e nuovi approcci di controllo basati su intelligenza artificiale. Custom3D, Customized 3D in Medicine, oggi trasformato in accordo tra enti pubblici ex art. 15 l. 7/8/1990 n. 241, mira all'introduzione delle tecnologie di modellazione digitale e stampa 3D a livello di simulazione, di costruzione di modelli tutoriali a fini educativi e di training, ma anche in ambito impiantistico/ricostruttivo. Nel dettaglio, l'attività di ricerca, coordinata dalla Prof. Monica Carfagni, si focalizza in attività di studio, sviluppo, sperimentazione e trasferimento nella pratica clinica di: – dispositivi personalizzati non impiantabili – dispositivi personalizzati impiantabili – strumen-

tazione chirurgica personalizzata e non personalizzata – simulazione pre/operatoria – simulazione per la formazione.

In ambito diverso da quello biomedicale, E2E Evolution to Electric, ricerca, sotto il coordinamento del Prof. Alberto Reatti e la responsabilità locale del Prof. Marco Pierini, su tutta la filiera della riqualificazione elettrica di un veicolo mediante numerose attività: studio e progettazione di azionamenti elettrici standardizzati per classe di veicolo da trasformare, caratterizzazione delle batterie o, comunque, dei sistemi di accumulo da inserire a bordo del veicolo per garantirne elevata autonomia (anche nel tempo) ed elevate prestazioni, superando i limiti prestazionali che, in determinate condizioni, penalizzano i veicoli elettrici e causano un utilizzo improprio dei sistemi di accumulo; studio dei sistemi di ricarica più appropriati, ivi compresi quelli wireless; studio della distribuzione dei pesi sul veicolo trasformato, del suo comportamento dinamico su strada e della sua sicurezza; studio e sviluppo di opportunità e soluzioni di innovazione, in riferimento al design degli interni, a materiali, finiture e colori, all'usabilità e all'interazione di guida uomo-macchina, all'interfaccia utente, al design di accessori, anche con soluzioni ICT integrate, studio degli impatti delle soluzioni proposte nell'ottica dell'economia circolare e valutazione tipo LCA delle soluzioni proposte; indagini ed approfondimenti sulla normativa esistente; studio delle strategie finalizzate a rendere possibile una rapida immissione sul mercato delle soluzioni oggetto dei risultati della ricerca; studio e valutazione dei parametri affidabilistici dei sistemi di accumulo; interfaccia con la rete e dell'elettronica di gestione e analisi dei guasti e dei rischi dei componenti o sistemi più critici.

Coordinato dal Prof. Rinaldo Rinaldi, LOGISLAB, Laboratorio Logistic Process Management and Intelligence Systems Development sviluppa relazioni di ricerca tra università ed imprese operanti sia sul territorio che a livello nazionale, su tematiche inerenti all'efficientamento delle prestazioni logistiche dei sistemi aziendali, mirando a concretizzare progetti di ricerca applicata e sviluppo, direttamente concordati fra le parti contraenti o commissionati da soggetti terzi. I principali temi di interesse del Laboratorio comprendono l'applicazione di modelli avanzati di ottimizzazione/simulazione ai sistemi logistici aziendali, modelli, tecnologie e strumenti per l'analisi dei sistemi di trasporto merci a rete e dei nodi intermodali e logistici sul territorio, sistemi e tecnologie delle telecomunicazioni a supporto della logistica. AFTER, Methods, tools and applications for the valorization of waste and underutilized biomasses, coordinato dal Prof. Federico Rotini, propone ricerche atte alla valorizzazione sostenibile degli scarti provenienti dalle filiere di sfruttamento delle biomasse, nonché di biomasse sottoutilizzate, nell'ottica dei modelli di innovazione basati sul concetto e i principi della bioeconomia. Nel 2022 viene istituito il Laboratorio AGRICOLA, AGRItch COmmunity for Learning and Application (Responsabile Prof. Romeo Bandinelli) e che ha lo scopo di migliorare l'efficienza della catena del valore della produzione alimentare integrandola con gli strumenti di Industria 4.0 e le relative tecnologie abilitanti, anche tramite la realizzazione di strumenti ICT, devices ed applicazioni. Inoltre, si pone l'obiettivo di realizzare una piattaforma tra Cluster del settore agroalimentare e del settore IT, gli enti di ricerca e tecnologia e altri soggetti interessati, al fine di abbassare le barriere di accesso, per le aziende dell'agroalimentare, ai più recenti strumenti di Industria 4.0, agevolandone l'implementazione e facilitando la transizione all'Internet delle cose (IoT) dell'industria agroalimentare. Contribuisce alla progettazione di un sistema di produzione agricola responsabile in modo da poter accrescere la consapevolezza dei consumatori e valorizzando i sottoprodotti delle filiere agroalimentari del Mediterraneo, integrando diversi sistemi di produzione, tecniche di valorizzazione, condividendo infrastrutture e soluzioni logistiche ed alla creazione di filiere agro-industriali local-

mente integrate che consentano una migliore valorizzazione della qualità dei prodotti locali e un contributo potenziato allo sviluppo rurale. Nello stesso anno, sotto la guida del Prof. Maurizio De Lucia, nasce JOLLY, JOint Laboratory for the development of environmentally friendly industrial and civil applications che ha l'obiettivo di sviluppare sistemi a basso impatto ambientale che implementino tecnologie per lo sfruttamento razionale dell'energia e la riduzione delle emissioni in ambiente. In particolare: implementazione di tecnologie avanzate per il raffreddamento e la conservazione in ambito medico e farmaceutico a bassa e bassissima temperatura fino ad applicazioni criogeniche quali, ad esempio, l'utilizzo di miscele di refrigeranti innovative e l'applicazione di cicli termodinamici ottimizzati per l'aumento delle prestazioni e la riduzione dei consumi energetici; sviluppo e analisi di sistemi attivi e passivi per la riduzione delle emissioni acustiche dei frigoriferi.

Nel 2023 ben 4 Laboratori Congiunti vengono istituiti dal DIEF. Dispositivi meccatronici per lo sviluppo di sistemi e strategie di controllo in ambito automotive, coordinato dal Prof. Niccolò Baldanzini, svolge ricerche nell'ambito dello sviluppo di veicoli a guida assistita e autonoma. Nello specifico si occupa dello sviluppo di strategie di ottimizzazione per sistemi di guida assistita e autonoma e definizione dei parametri per la loro valutazione al fine di migliorare la percezione che guidatore e passeggeri hanno di tali sistemi. Inoltre, effettua studi sui sistemi di controllo del veicolo di natura predittiva quali strumento per lo sviluppo di sistemi ADAS sempre più performanti per la sicurezza durante la guida. Studia e implementa, infine, metodologie e strumenti di validazione dei sistemi di guida assistita e autonoma. FFF, Fashion for Future è un laboratorio congiunto con Fondazione PIN e MITA creato con lo scopo di fondere moda e tecnologia, unendo accademici, aziende e industrie per creare un network sinergico che amplifica l'innovazione nel settore, costruendo eventi e formando nuove prospettive. Fashion for Future opera al livello nazionale, focalizzandosi su argomenti di tendenza del settore, portando avanti progetti di ricerca sul tema ed eventi formativi, come webinar e workshop (<https://events.fashionforfuture.it/>). Il laboratorio è composto sia da ricercatori accademici che da esperti del settore industriale che formano il Comitato degli Esperti [Expert Committee], provenienti dai principali marchi dell'industria della moda. I Partner del laboratorio sono il MITA (Made in Italy Tuscany Academy), il PIN (Polo Universitario Città di Prato), e le 3 software house Deda Stealth, Remira Italia, Temera. UP-CYCLE-IMALLAB, coordinato dal Prof. Giacomo Goli del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali e gestito a livello locale dai Proff. Rocco Furferi e Massimo Delogu, sviluppa sistemi e prodotti innovativi per la valorizzazione delle fibre vegetali sia vergini sia riciclate in un'ottica di transizione ecologica. Ha come scopo anche quello di sviluppare e testare miscele collanti «Bio» a base vegetale (soia ecc.) e sviluppa tematiche di ricerca nel settore della green economy commissionate da diversi stakeholder. BETTER, BioEconomy Laboratory for agricultural waste valorization, coordinato dal Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali, e Forestali e consorziato con DIEF, Dipartimento di Biologia, Dipartimento di Medicina Sperimentale e Clinica (DMSC) e Dipartimento di Statistica; Informatica; Applicazioni «Giuseppe Parenti», nonché con l'azienda agricola CAMMELLI DI CAMMELLI L. e C. S.S.A., si occupa della valorizzazione dei sottoprodotti provenienti dall'agricoltura (scarti agroalimentari e specie infestanti) per la progettazione e lo sviluppo di modelli di economia circolare. Sono svolti studi relativi al mantenimento della naturale fertilità dei suoli, all'incremento del potenziale di sequestro di carbonio dei suoli, alla produzione di alimenti come fonte alternativa e sostenibile di proteine per l'uomo e gli animali, alla produzione di materiali innovativi e biodegradabili, alla produzione di energia rinnovabile. MORE,

MObility Holistic REsearch, che vede la partecipazione del DIEF con il Dipartimento di Ingegneria Civile (coordinatore Prof. Adriano Alessandrini) sviluppa metodi e tecniche di data intelligence per l'analisi della mobilità e studia i legami tra comportamenti di mobilità, valore percepito dell'offerta di trasporto e orientamenti valoriali. Si occupa anche di: sviluppo di indicazioni metodologiche per l'utilizzo dei big data e la loro fusione con le fonti di dati tradizionali per l'analisi e la modellizzazione delle scelte di mobilità delle persone; sviluppo di nuovi approcci modellistici per la simulazione della mobilità basati su intelligenza artificiale e big data; studio degli approcci epistemologici per l'analisi e la modellazione del fenomeno della mobilità; inserimento di criteri psico-percettivi nello studio e nella valutazione delle scelte compiute dalla collettività; ricerca dei driver di carattere sociale, economico, territoriale, tecnologico, politico, amministrativo, ambientale e legale che influenzano la mobilità. Ha come scopo ulteriore lo sviluppo e test di servizi e veicoli non convenzionali di mobilità integrati con la ferrovia per migliorare l'accesso e la fruibilità dei collegamenti ferroviari.

Infine, il più recente laboratorio Congiunto, istituito nel 2024 è H2tech, Green Hydrogen Production Technologies, il cui coordinatore è il Prof. Alessandro Bianchini, che è impegnato nello sviluppo di tecnologie avanzate per la produzione sostenibile di idrogeno, concentrandosi in particolare sui processi elettrochimici che avvengono durante l'elettrolisi e sulle sfide tecnologiche legate all'uso degli elettrolizzatori. Attraverso analisi sperimentali e simulazioni numeriche, cercherà di migliorare l'efficienza e la sostenibilità di queste tecnologie, rendendo l'idrogeno un vettore energetico sempre più accessibile e pulito. La partecipazione di specialisti di diversi settori e di un partner di primo piano a livello mondiale nel settore permetterà un approccio olistico allo sviluppo di queste tecnologie, fornendo soluzioni innovative per affrontare le problematiche attuali e favorire la diffusione di tecnologie a zero emissioni.

Menzione a parte merita infine il Centro ASAP, Centro di Ricerca Interuniversitario coordinato dal Prof. Mario Rapaccini, nato nel lontano 2002. Il Centro vede la collaborazione con i Dipartimenti RISE dell'Università di Brescia, CELS dell'Università di Bergamo e DISSTE dell'Università del Piemonte Orientale. ASAP (www.asapmf.org) è leader in Europa per la ricerca scientifica in materia di servitizzazione delle imprese manifatturiere e riceve annualmente contributi da oltre 40 imprese industriali leader di settore.

Unità di Ricerca Interdipartimentali

Le Unità di Ricerca (UR) sono costituite nel Regolamento dell'Ateneo di Firenze al fine di valorizzare specifiche competenze disciplinari o interdisciplinari all'interno del Dipartimento e tra Dipartimenti, ovvero per coordinare la stesura e la conduzione di progetti di ricerca, trasferimento e innovazione, nazionali o internazionali. A partire dal 2013, DIEF partecipa a numerose UR, come di seguito riportato cronologicamente. LaSIS, di cui è responsabile il Prof. Dario Vangi, è una UR costituita nel 2013 tra DIEF e DICEA (Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale) finalizzato alla formazione e alla ricerca sulla sicurezza e l'infortunistica stradale, nel quale confluiscono le attività attualmente svolte da gruppi di ricerca diversi operanti in sedi e laboratori diversi, così da potenziarne le attività attraverso anche l'acquisizione di strumenti e metodi d'indagine tecnologicamente avanzati. La UR si propone come punto di riferimento nel campo della sicurezza e dell'infortunistica stradale per gli Enti e le Aziende che si occupano dell'argomento. Il laboratorio si colloca all'interno del Polo Scientifico e Tecnologico – sede di Sesto Fiorentino – dell'Università di Firenze, in una struttura di circa 400mq coperti e 2000mq scoperti all'interno della quale sono

unificati i laboratori numerici e le attrezzature e strumentazioni sperimentali esistenti e nel quale trovano collocazione due progetti di sviluppo particolarmente qualificanti:

- un impianto per prove d'urto in vera grandezza su veicoli e motoveicoli; in particolare sono possibili crash test di autoveicoli e motoveicoli contro barriera rigida piana, rigida inclinata, rigida con offset, rigida strumentata elementi di infrastrutture stradali, crash test fra veicoli (tamponamenti, urti frontali, urti laterali) e prove di urto con pedone;
- un simulatore avanzato di guida per studiare ed approfondire la ricerca comportamentale e l'ottimizzazione del sistema strada – veicolo.

FAL, Florence Accessibility Lab, coordinato dal Prof. Antonio Lauria con responsabile DIEF la Prof.ssa Carfagni, nasce nel 2013 come UR costituita tra DIEF, Dipartimento di Architettura (DIDA), Dipartimento di Scienze per l'Economia e l'Impresa (DISEI) e Dipartimento di Scienze Politiche e Sociali (DSPS) con lo scopo di definire, consolidare e promuovere una nuova cultura dell'accessibilità; una cultura che veda nell'accessibilità all'habitat una grande risorsa collettiva per l'autonomia delle persone e per l'inclusione sociale, per offrire maggiore vitalità, sicurezza e coesione alle comunità locali, per attribuire valore – anche turistico – al patrimonio architettonico e paesaggistico, e per lo sviluppo di tecnologie all'avanguardia al servizio degli abitanti. L'Unità di Ricerca si propone di diventare un punto di riferimento per enti pubblici, privati e del terzo settore nei campi della ricerca di base e sperimentale, della formazione e della consulenza sull'accessibilità ambientale per lo sviluppo umano a livello locale. Nell'ambito specifico della ricerca – il patrimonio culturale – l'Unità di Ricerca focalizza la propria attenzione sui seguenti temi: distretti culturali parchi naturali e aree connesse aree urbane aree archeologiche beni di proprietà statale e pubblica edifici pubblici o destinati alla pubblica utilità beni di consumo. R.I.T.R.A.TTO, Tutela e valorizzazione del made in Italy è una UR nata nel 2013 e coordinata dal Prof. Rinaldo Rinaldi e che vede un partenariato composto da DIEF e Dipartimento di Scienze per l'Economia e l'Impresa, Dipartimento di Architettura, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo. Sempre nel 2013 viene istituita la EER, Engineering Education Research Unit: Sviluppo, internazionalizzazione e Accreditamento internazionale degli Studi di Ingegneria, coordinata dal Prof. Renzo Capitani e che vede il coinvolgimento dei Dipartimenti di Ingegneria Civile e Ambientale e di Ingegneria dell'Informazione. Obiettivo dell'unità EER è stato l'adesione al sistema EUR-ACE: un sistema di accreditamento che stabilisce gli 'standard' che identificano i corsi di laurea in ingegneria di alta qualità in Europa e nel mondo. Tali standard sono stati stabiliti tenendo conto dei punti di vista e delle prospettive di tutte le principali parti interessate: studenti, istituti di istruzione superiore, datori di lavoro, organizzazioni professionali e agenzie di accreditamento. Il progetto EUR-ACE (EUROPEAN ACCREDITED ENGINEER) è stato promosso nel 2004 da un consorzio di 14 partner e attualmente è coordinato dall'European Network for the Accreditation of Engineering Education (ENAE, www.enaee.eu), un'associazione no-profit costituita nel febbraio 2006 finalizzata all'assicurazione della qualità e all'accREDITAMENTO dei Corsi di Studio (CdS) in Ingegneria. L'accREDITAMENTO EUR-ACE aveva come obiettivo finale il mutuo riconoscimento, a livello europeo, dei titoli di studio in Ingegneria accREDITATI. L'obiettivo del mutuo riconoscimento è stato raggiunto in data 19 novembre 2014, con la sottoscrizione del documento EUR-ACE Accord da parte di tutte le Agenzie autorizzate a rilasciare il Label EUR-ACE. Tecniche di digitalizzazione ed elaborazione 3D per la tutela, la valorizzazione e la conservazione del patrimonio culturale è una UR nata nel 2014

come collaborazione tra il Dief ed i Dipartimenti di Ingegneria Civile e Ambientale e di Ingegneria dell'Informazione, di Architettura (DIDA), del Museo di Storia Naturale dell'Università di Firenze e della Fondazione Bruno Kessler (FBK) di Trento. Coordinata dal Prof. Lapo Governi, la UR si propone come centro di riferimento per la digitalizzazione ed elaborazione 3D per il patrimonio culturale, proponendo ricerche avanzate per la definizione di standard di riferimento e di linee guida per operatori e committenti, la definizione di procedure per la caratterizzazione metrologica degli strumenti di acquisizione 3D, lo sviluppo di strumenti per l'automazione del processo di ricostruzione 3D, il progetto e la sperimentazione di modelli per la descrizione di oggetti 3D, la definizione di metriche di similarità e la ricerca per contenuto, il progetto e la sperimentazione di interfacce e modelli di interazione per la fruizione di oggetti e scene 3D e la definizione di principi e metodi operativi finalizzati ad assicurare l'accessibilità alla documentazione 3D, anche a lungo termine, e la pianificazione di metodi adeguati di creazione e disseminazione dei prodotti al fine di assicurare i massimi benefici per la conoscenza, l'interpretazione, la conservazione e la gestione dei beni culturali rappresentati. Transizione energetica e ambientale, coordinata dal Prof. Adriano Milazzo, è una UR istituita nel 2014 e che raggruppa ricerche del Dipartimento di Scienze per l'Economia e l'Impresa, del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, del Dipartimento di Architettura e di Statistica, Informatica, Applicazioni «G. Parenti». Approfondisce in modo sistematico e con un approccio multi-disciplinare una delle questioni considerate più rilevanti dalle elaborazioni di molti Centri di Ricerca internazionali, ovvero quella che viene quasi universalmente definita transizione energetica ed ambientale. Questa espressione sintetizza un insieme di processi destinati a cambiare profondamente i modelli di consumo, produzione di beni e servizi (dalla casa ai beni di consumo più e meno durevoli), l'organizzazione delle città e dei sistemi di trasporto. In vari paesi europei vi è un numero crescente di «esperienze anticipatorie» verso la cosiddetta «*post-carbon transition*». Una delle lezioni principali che viene da tali realtà in divenire è che la transizione energetica non è un mero processo tecnologico, bensì l'esito di dinamiche multidimensionali: tecnico-scientifiche, economiche, sociali, culturali, organizzative. Non sorprende quindi, in una siffatta prospettiva, che nel definire il «*blueprint for an energy-efficient world*» la diversificazione delle fonti energetiche venga proposta come direttrice fondamentale e un ruolo di crescente importanza sia attribuito alle energie rinnovabili. Gli elementi indicati definiscono le proprietà fondamentali di uno scenario, che appare sempre più contraddistinto da processi di transizione socio-tecnica, ovvero il passaggio da un sistema sociotecnico ad un altro. Un sistema sociotecnico «comprende produzione, diffusione e impiego di tecnologie sulla base di una definizione funzionale e astratta di legami e connessioni tra elementi, al fine di adempiere a funzioni sociali (trasporti, comunicazioni, offerta di beni, nutrizione). Interdipendenze e complementarità tra sistemi, attori, regole e istituzioni sono gli elementi fondamentali dei sistemi sociotecnici, al cui centro si trovano «*large technological systems*», ovvero le connessioni tra una serie di componenti: infrastrutture, beni, organizzazioni, risorse naturali, input e output scientifici, istituzioni, centri di ricerca e università. I sistemi sociotecnici sono quindi l'esito di complessi processi di coordinamento tra ambiti e livelli, tra i quali si deve realizzare l'interazione e l'adattamento reciproco affinché un regime tecnologico si affermi e si consolidi. Nata nel 2015, la UR Scienze e Tecnologie del legno e delle utilizzazioni forestali, coordinata dal Prof. Federico Rotini e che vede un partenariato composto da Dief e Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali. La UR ha come obiettivo quello di dare impulso alla conoscenza della Tecnologia del legno e delle Utilizzazioni forestali in tutti i campi in cui tali discipline si applicano, attraverso lo studio, la ricerca

e l'innovazione. È noto, infatti, che vi sia ancora oggi, nel nostro Paese, una diffusa carenza delle conoscenze nella gran parte degli operatori di settore, frutto principalmente della scarsa presenza delle suddette discipline a tutti i livelli della formazione. L'indirizzo, la promozione e lo stimolo per lo sviluppo di un corretto approccio tecnico-scientifico alle tematiche della Tecnologia del legno e delle Utilizzazioni forestali devono trovare un nuovo e continuo impulso in tutti i settori concernenti la filiera bosco-legno, nel settore dei prodotti a base di legno e dei manufatti lignei di interesse culturale, dato che ancora oggi sono pochi gli operatori che mostrano un livello di conoscenza adeguato. Questo avviene sia nell'ambito delle aziende forestali, dove ancora, in molte parti del Paese, mancano le conoscenze circa tecniche adeguate di utilizzazione, sia nell'ambito delle industrie per i prodotti a base di legno, che occupano tuttora un elevato numero di addetti, dove si rileva una sostanziale carenza delle conoscenze sulla materia prima, anche a livello dei quadri dirigenziali, che determina una scarsa propensione a investire nella formazione e nella innovazione. Ciò comporta una scarsa competizione dell'Italia sulla materia prima legno e sui prodotti a base di legno nei confronti degli altri paesi europei ed extraeuropei, nonostante l'industria del Paese faccia grande utilizzo di legno massiccio e prodotti a base di legno. Nell'attuale contesto economico e produttivo si ritiene invece che le innovazioni derivanti dagli studi e ricerche in questo settore e di questa UR si possano tradurre in un potenziale miglioramento della competitività del Paese in tutti i settori di interesse, con possibili ricadute anche occupazionali. La valorizzazione del legno e dei prodotti a base di legno può derivare solo da ricerca e sviluppo di conoscenze e tecnologie, che devono essere alimentate continuamente. Tale valorizzazione passa anche attraverso un più efficace trasferimento delle conoscenze: deve essere presentata, divulgata e quindi accompagnata lungo tutta la filiera, mettendo in grado gli operatori di comprenderne il valore e le potenziali ricadute. Sempre nel 2015 nasce MatChLab (Materials Characterisation Laboratory), Unità di Ricerca interdipartimentale costituita tra il Dipartimento di Chimica «Ugo Schiff», DICUS e il Dipartimento di Ingegneria Industriale, DIEF. La principale finalità che porta alla nascita di questa struttura è la necessità di mettere a disposizione della comunità accademica e delle realtà produttive esterne, competenze tecnico-scientifiche e sofisticate strumentazioni per la caratterizzazione delle proprietà strutturali e funzionali, sia di superficie che di massa, di una ampia gamma di sostanze e materiali. L'unione di tutte queste competenze ha permesso la costituzione di una piattaforma tecnologica di ricerca a carattere altamente interdisciplinare basata sull'aggregazione di ricercatori attivi in diversi settori della chimica (inorganica, organica e strutturale) e della scienza e tecnologia dei materiali. Ad oggi afferiscono a tale unità di ricerca interdipartimentale circa 40 persone di cui la metà personale strutturato (docenti e ricercatori) e il rimanente in qualità di dottorandi o ricercatori con borsa o assegno di ricerca. Oltre a partecipare attivamente a progetti di ricerca internazionali, nazionali e regionali MatChLab svolge attività di supporto all'organizzazione di scuole, convegni e manifestazioni partecipando altresì a iniziative di settore coordinate dalla Regione Toscana. Nel 2016 viene istituita l'Unità di Ricerca sulla Mobilità Sostenibile di Unifi, cui è responsabile il Prof. Marco Pierini, che vede la collaborazione del Dipartimento di Ingegneria Informatica. La nascita di questa unità prende spunto dall'impulso, nel corso del decennio 2010-20, verso lo sviluppo di soluzioni di Mobilità Sostenibile nucleata, sviluppata e cresciuta a livello mondiale, fino alla definizione delle più recenti normative per le emissioni dei veicoli. Le limitazioni delle emissioni di CO₂ determinano la necessità di un cambiamento tecnologico da parte dell'industria, di una assunzione di responsabilità da parte dell'utenza nell'effettuare le proprie scelte e nella realizzazione di iniziative a medio e lungo termine da parte dei legislatori

e dei gestori di infrastrutture pubbliche. Il tema è pertanto apparso sin dall'inizio del decennio come fortemente sfidante e richiedente un approccio multidisciplinare, determinando non solo un'evoluzione del veicolo ma di tutto l'ambiente in cui questo agisce, a cominciare dalle infrastrutture di ricarica. A ciò si aggiungevano ulteriori incertezze nella direzione di sviluppo delle tecnologie a causa dell'introduzione di normative che adottavano e adottano criteri innovativi finalizzati a promuovere la sostenibilità, individuando nei costruttori i responsabili primari degli impatti ambientali. Si trattava e si tratta, quindi, di un contesto ad elevata complessità. La risposta dell'Università di Firenze contava, al 2015, numerose iniziative, sviluppate da parte di Dipartimenti differenti in modo talvolta indipendente l'uno dall'altro. I ricercatori del DIEF, dopo avere intrapreso numerosi studi sulla mobilità sostenibile e, in generale, sull'impatto ambientale della mobilità già nel periodo 2009-15, hanno deciso di procedere verso nuove iniziative attraverso la creazione, nel 2016, dell'Unità di Ricerca sulla Mobilità Sostenibile, coordinata dal Prof. Marco Pierini e comprendente numerosi figure esperte di Ricerca nei settori più disparati: sono stati pertanto coinvolti colleghi non solo afferenti all'Ingegneria Meccanica ed Energetica, ma anche esperti di Ingegneria Informatica, Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni; esperti di Urbanistica; esperti di Comunicazione, di Scienze Economiche, di Architettura e di Legge. L'Unità di Ricerca è stata quindi creata all'insegna della condivisione delle esperienze, per offrire un pacchetto di competenze completo nell'interazione con le Pubbliche Amministrazioni, per pianificare progetti ad ampio respiro e per affrontare in modo proattivo le attività di ricerca. L'instaurazione di appuntamenti plenari periodici ha successivamente visto la realizzazione di gruppi di lavoro più ristretti, basati sulle esperienze necessarie per le iniziative individuate come prioritarie. Tra le attività portate a compimento con il coinvolgimento del DIEF grazie all'Unità di ricerca sulla Mobilità Sostenibile si segnalano:

- la realizzazione di una piattaforma per far conoscere i progetti europei in corso e conclusi all'interno dell'Università di Firenze, grazie all'interessamento di esperti in ambito di Comunicazione Multimediale
- l'interazione, successivamente ulteriormente consolidata, tra i dipartimenti DICEA e DIEF, che nell'ambito di varie edizioni dei progetti ministeriali «Ricerca di Sistema» ha portato allo studio di veicoli elettrici per il trasporto pubblico innovativi. Attraverso l'interazione con altri partner di ricerca (es. ENEA), sono state compiute sperimentazioni sull'uso di supercondensatori, di sistemi di ricarica rapida e di celle batteria in grado di sopportare tali prestazioni; sistemi di convoying, di ricarica in movimento e guida autonoma, tutt'oggi in corso di evoluzione e implementazione all'interno dei più recenti programmi sviluppati nell'ambito del PNRR
- la creazione di corsi di studio dedicati alla mobilità, anche attraverso la simultanea presenza di esperti afferenti al DIEF, al DINFO e al DICEA, che si confrontano con casi studio reali esaminati dagli studenti in corso di formazione (Project Work).

Un Dipartimento aperto alla società: attività di Public Engagement

Gianni Campatelli

In questi anni si è sempre più discusso del ruolo delle istituzioni universitarie all'interno della società, non solo come formatori di nuovo capitale umano ma anche come organizzazioni leader nella definizione di politiche e strategie per affrontare le sfide di una società caratterizzata da una sempre più veloce evoluzione. Il Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) si è sempre profusamente occupato di sviluppare attività di Public Engagement (PE), che hanno come obiettivo quello di facilitare il dialogo tra l'istituzione accademica e la comunità, promuovendo la diffusione della conoscenza e l'innovazione. Attraverso iniziative come conferenze pubbliche, workshop, laboratori didattici e collaborazioni con scuole e altre istituzioni. In questo modo il Dipartimento mette a disposizione della collettività le proprie specifiche competenze e risorse, non solo per arricchire il tessuto sociale e culturale del territorio ma anche per l'interesse verso le discipline scientifiche e tecniche tra i giovani.

In particolare, l'attenzione ai giovani è dimostrata dalle continue attività di PE del DIEF in collaborazione con le scuole secondarie, con l'obiettivo di promuovere le discipline STEM (Scienza, Tecnologia, Ingegneria e Matematica) fra i giovani e recuperare il gap negativo di laureati in queste discipline che l'Italia ha rispetto a molti degli altri paesi industrializzati. L'importanza di queste discipline sta crescendo di pari passo con la complessità della società, sempre più basata sulle tecnologie e caratterizzata da sfide legate all'innovazione tecnologica ed allo sviluppo sostenibile della società. Le discipline STEM sono fondamentali per lo sviluppo futuro della società e costituiscono le basi su cui sviluppare ed implementare tecnologie ed approcci che stanno plasmando la società, sia in ambiti specifici (es: soluzioni mediche) che di carattere più generale (es: soluzioni di mobilità e comunicazione).

Per promuovere queste discipline, il DIEF organizza laboratori didattici, visite guidate e workshop interattivi per studenti delle scuole secondarie di secondo grado. Questi eventi sono progettati per stimolare l'interesse dei giovani verso le materie scientifiche e tecniche, offrendo esperienze pratiche che arricchiscono il curriculum

Gianni Campatelli, University of Florence, Italy, gianni.campatelli@unifi.it, 0000-0002-9699-1368

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Gianni Campatelli, *Un Dipartimento aperto alla società: attività di Public Engagement*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.09, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 57-58, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

scolastico. Gli studenti hanno l'opportunità di visitare i laboratori universitari, incontrare ricercatori e partecipare a esperimenti, avvicinandosi così al mondo della ricerca in modo diretto e coinvolgente. Esempi di questi eventi sono le giornate di Open Lab e di presentazione delle attività di ricerca organizzate in vari momenti dell'anno per studenti delle scuole superiori.

Le attività di PE non sono comunque limitate a studenti, ma riguardano anche un pubblico più generale, come per esempio accade durante la notte dei ricercatori, che vede il DIEF in un ruolo di rilievo con la presentazione di soluzioni di mobilità alternativa, soluzioni robotiche a supporto di malati ed anziani e le molteplici attività di ricerca in ambito biomedico. Per i cittadini, il DIEF promuove inoltre conferenze pubbliche, mostre e open day. Questi eventi sono pensati per diffondere la conoscenza scientifica e tecnologica tra il grande pubblico, affrontando temi di attualità e interesse comune. Le conferenze, spesso tenute da esperti riconosciuti a livello nazionale e internazionale, offrono spunti di riflessione e approfondimento su argomenti rilevanti, quali la sostenibilità ambientale, l'innovazione tecnologica, la salute pubblica. Le mostre e gli open day permettono ai cittadini di esplorare le strutture universitarie e di conoscere da vicino le attività di ricerca e didattiche del DIEF.

Infine, il DIEF partecipa attivamente a reti e consorzi di innovazione regionali e nazionali, contribuendo alla creazione di un ecosistema favorevole alla crescita economica e tecnologica del territorio. Attraverso il dialogo costante con le istituzioni locali e le associazioni di categoria, il DIEF si impegna a promuovere politiche di sviluppo industriale sostenibile e a favorire l'adozione di nuove tecnologie da parte delle imprese. Queste attività hanno anche una valenza bidirezionale, in quanto servono ai docenti del DIEF per allineare le attività di ricerca alle reali esigenze delle aziende, costituendo così una robusta risorsa per l'innovazione tecnologica del territorio.

Dal 2021 al 2025 il DIEF ha partecipato ad oltre cento eventi l'anno, sia direttamente come organizzatore dell'evento (es: seminari su tecnologie verdi, eventi su innovazione, presentazione di tecnologie «afferenti» al Dipartimento) che partecipando ad eventi a più ampio respiro organizzati dall'Università (es: Notte dei ricercatori, Caffè Scienza) che da parte di altri enti, arrivando a coinvolgere migliaia di persone e sostenendo la crescita culturale del paese e non solo dei suoi studenti.

PARTE II

La ricerca del DIF nel territorio



Ricerca, innovazione e sviluppo: la missione scientifica del Dipartimento di Ingegneria Industriale

Rocco Furferi

L'attività di ricerca del Dipartimento si articola, come accennato, in una vasta gamma di ambiti appartenenti all'ingegneria industriale – e non solo – che risultano essere strettamente connessi alle esigenze e alle peculiarità del contesto territoriale in cui il Dipartimento opera. Questo legame con il territorio si traduce in un costante impegno nella valorizzazione delle competenze culturali, scientifiche e professionali che caratterizzano la disciplina ingegneristica, intesa come leva strategica per lo sviluppo sostenibile e l'innovazione.

Le ricerche condotte all'interno del Dipartimento mirano al raggiungimento di elevati standard di eccellenza e originalità, con l'obiettivo di generare risultati che possano rappresentare un autentico avanzamento della conoscenza scientifica e tecnologica. L'attenzione è costantemente rivolta sia alla qualità metodologica, sia alla rilevanza applicativa degli studi, in una logica di trasferimento tecnologico e di impatto concreto sul tessuto produttivo e sociale.

L'ambizione del DIF è quella di esercitare un'influenza significativa non solo a livello nazionale, ma anche di posizionarsi come attore di riferimento nel panorama internazionale della ricerca. Tale aspirazione si traduce nella partecipazione attiva a progetti di cooperazione scientifica, reti di eccellenza, iniziative di partenariato con università e centri di ricerca di prestigio mondiale, nonché nella pubblicazione di contributi scientifici di alto impatto.

La qualità e la rilevanza delle attività svolte trovano riscontro concreto nelle testimonianze e nei risultati presentati di seguito, che documentano in modo tangibile il contributo apportato dalle diverse anime del Dipartimento. Un contributo che non solo arricchisce e rafforza il territorio di riferimento, ma si proietta anche verso orizzonti più ampi, contribuendo in maniera significativa al progresso della ricerca scientifica e tecnologica su scala nazionale e internazionale.

Rocco Furferi, University of Florence, Italy, rocco.furferi@unifi.it, 0000-0001-6771-5981

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Rocco Furferi, *Ricerca, innovazione e sviluppo: la missione scientifica del Dipartimento di Ingegneria Industriale*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.11, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 61-62, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

Contributo della Sezione di Meccanica Applicata alle Macchine per una storia del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Firenze

Benedetto Allotta

Nel solco della tradizione

Presso l'Università di Firenze, così come (almeno fino a un certo punto) presso l'Università di Pisa, i Meccanici Applicati sono stati determinati, e oserei dire testardi, nel non voler cedere ai colleghi Automatici il monopolio totale dei controlli automatici o dei «servomeccanismi», come una volta si usava chiamarli. Esempio è il libro del Prof. Giovan Gualberto Lisini intitolato, appunto, *Servomeccanismi*, su cui ho studiato sui banchi dell'Università di Pisa e che continuo a conservare gelosamente nel mio ufficio.

Si tratta di un libro molto completo (rispetto all'epoca in cui è stato scritto), che spazia dal controllo classico dei sistemi lineari e stazionari (oggi, purtroppo, anche in Italia si usa ormai quasi esclusivamente l'acronimo di derivazione anglosassone LTI che significa Lineari e Tempo Invarianti) alla trattazione dei sistemi nello spazio di stato, passando per i concetti di stabilità, osservabilità e controllabilità, senza trascurare i metodi di Lyapunov, i sistemi in retroazione con e senza non linearità, il progetto del regolatore, la compensazione dei sistemi e i componenti elettromeccanici, pneumatici e oleodinamici (oggi si direbbe «meccatronica»). Quando studiavo a Pisa pensavo che il Prof. Lisini, così come, d'altro canto, il Prof. Funaioli, autore del testo di Meccanica Applicata alle Macchine su cui ho studiato, fossero luminari dalla consistenza eterea, forse ormai assunti in cielo come angeli. E invece erano persone in carne e ossa con cui ebbi in futuro occasione di interagire direttamente. Addirittura, il Prof. Lisini diventò per me, qualche anno dopo, «il collega della porta accanto» presso l'allora Dipartimento di Energetica Sergio Stecco.

Devo molto a Firenze e, in particolare, al Prof. Paolo Toni che mi diede l'opportunità di uscire da un *cul de sac* della tipologia in cui, a volte, si trovano i giovani accademici italiani se litigano col proprio «docente di riferimento».

Benedetto Allotta, University of Florence, Italy, benedetto.allotta@unifi.it, 0000-0001-8511-1110

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Benedetto Allotta, *Contributo della Sezione di Meccanica Applicata alle Macchine per una storia del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Firenze*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.12, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 63-76, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

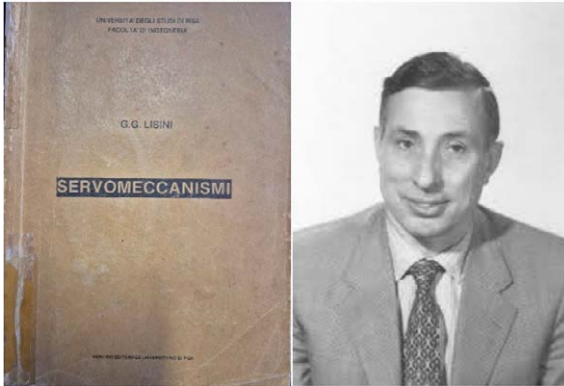


Figura 19 – A sinistra, Copertina del libro *Servomeccanismi*, scritto dal Prof. Giovan Gualberto Lisini all’inizio degli anni ’70; a destra, il Prof. Giovan Gualberto Lisini, scomparso nel 2022.



Figura 20 – Il Prof. Paolo Toni, scomparso nel 2024.

Era il 1998, non avevo passato il «concorso» nazionale per posti di professore associato bandito nel 1995: ero stato ritenuto non idoneo sia dalla commissione di Meccanica Applicata che da quella di Automatica. In sostanza entrambe le commissioni riconoscevano in qualche modo il mio valore ma concludevano il giudizio affermando che ero bravo, ma dovevo vincere «di là». Per i Meccanici Applicati ero troppo «elettronico», mentre per gli Automatici ero troppo «meccanico», cioè con le mani sporche di grasso («morchia»). L’ateneo presso il quale ero ricercatore, cioè la Scuola Superiore Sant’Anna di Pisa, visti gli esiti del «concorso», si rese disponibile a bandire un concorso da associato a cui potessi partecipare (esisteva allora la doppia idoneità) e mi venne chiesto in quale settore preferivo che fosse bandito. Riconosco, e non me ne vergogno, che espressi una preferenza per l’Automatica. E così andai a parlare con il Prof. Aldo Balestrino, padre nobile degli automatici pisani, per chiedergli la disponibilità a fare da membro interno in un concorso nel settore dell’Automatica da bandire alla SSSA. Aldo Balestrino accettò di buon grado, anche perché il «concorso» nazionale aveva fatto alcune vittime inattese, tra cui un suo allievo, e la seconda idoneità disponibile sarebbe stata una opportunità per riparare alla inattesa trombatura dell’allievo. Però Aldo Balestrino, fine didatta e ricercatore, ma decisamente uomo di mondo, mi disse in tutta franchezza «Benedetto, io ti conosco e apprezzo quel che hai fatto finora nella robotica. Però, se devo darti un consiglio nella prospettiva di una carriera più veloce verso l’ordinariato, ti invito a rimanere nel settore della Meccanica Applicata in cui livello dei ricercatori giudico inferiore rispetto al settore dell’Automatica in cui abbondano i giovani leoni pronti a scannarsi. Ho un amico a Firenze, il Prof. Paolo Toni, che è abbastanza solo. Paolo ha un paio di bravi dottorandi (Mirko Rinchi e Andrea Rindi, *N.d.A.*) ma gli manca il livello

intermedio e gli farebbe molto comodo l’aiuto di un giovane ricercatore come te per rilanciare le attività di ricerca e di didattica del gruppo. Se vuoi te lo presento». Fu così che venni introdotto a Paolo Toni, nella biblioteca dell’allora Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione dell’Università di Pisa. Paolo mi disse letteralmente «ci si fidanza e, se poi ci si garba, ci si sposa,» e così andò a finire dopo qualche anno, anche grazie a una legge *anti inbreeding* che assegnava 100 milioni di lire di FFO sine die agli atenei che reclutavano un professore che proveniva da un altro Ateneo.

La nascita del Laboratorio di Modellazione Dinamica e Meccatronica (MDM Lab)

Uno dei contributi più importanti di Paolo Toni alla crescita del gruppo è stato il suo impegno verso il territorio e il tessuto imprenditoriale di Pistoia. In un’epoca in

cui le università cercavano di decentralizzarsi, istituendo corsi di laurea nei comuni vicini, Paolo Toni promosse a Pistoia la creazione, a metà degli anni Duemila, di un Corso di Laurea triennale in Ingegneria dei Trasporti, pensato per i fabbisogni del polo ferroviario pistoiese, comprendente l'allora Ansaldo Breda, ora Hitachi Rail Italy, e l'indotto di aziende più o meno piccole. Intessendo rapporti di reciproca fiducia con la Provincia di Pistoia, le associazioni imprenditoriali e l'Ansaldo Breda stessa, fu possibile anche ottenere dalla Regione Toscana un cospicuo finanziamento per l'avvio del Laboratorio di Modellazione Dinamica e Meccatronica (MDM Lab), che fu inaugurato nel 2008 ed è tutt'ora molto attivo, sopravvivendo al Corso di Laurea in Ingegneria dei Trasporti che, come è successo anche a Prato e a Empoli, si è fisiologicamente spento perché gli studenti, a meno che non abbiano gli uffici dei docenti nello stesso luogo in cui seguono le lezioni (vedi sede di Vicenza dell'Università di Padova, dove ci sono dei veri e propri dipartimenti), preferiscono frequentare nella sede centrale dell'Ateneo, anche a costo di sobbarcarsi un oneroso pendolarismo o le spese di vivere fuori sede.

La nascita di ITALCERTIFER S.p.A.

Non è da dimenticare il contributo che Paolo Toni ha dato alla nascita ed all'avvio della società di certificazione del gruppo FS denominata ITALCERTIFER S.p.A.¹, che, oltre alla controllante Ferrovie dello Stato, vede nel proprio capitale sociale la Regione Toscana, il Politecnico di Milano, l'Università di Pisa, l'Università di Napoli Federico II e l'Università di Firenze. In circa due decenni di vita, ITALCERTIFER è cresciuta in modo veramente notevole ed è attiva non solo in Italia ma soprattutto all'estero.

La nascita di DITECFER S.C.A.R.L.

Un'ultima citazione merita l'entusiasmo con cui Paolo ha sostenuto la nascita del Distretto per le Tecnologie Ferroviarie, l'Alta Velocità e la Sicurezza delle Reti, in breve DITECFER, che è una S.r.l. a finalità consortile (S.c.a.r.l.) che raggruppa ad oggi oltre cinquanta imprese e organismi di ricerca tra i più dinamici e collaborativi d'Italia², tra cui il nostro Ateneo, per il tramite della Fondazione Ricerca.

Attività nel settore ferroviario

Nel 1998 mi fu assegnato un incarico di insegnamento di Meccanica dei Robot e fu così che cominciai a frequentare l'Università di Firenze e a interagire con Paolo Toni, con il Prof. Lisini, e con Mirko Rinchi e Andrea Rindi. Allora il gruppo fiorentino aveva buoni rapporti con le Ferrovie dello Stato e uno dei cavalli di battaglia era la modellazione del sistema pantografo – catenaria e il controllo attivo della forza di contatto. Cominciai a seguire qualche laureando, tra cui uno che è adesso un collega della sezione, ovvero il Prof. Luca Pugi che svolse una tesi sperimentale sul controllo attivo di un pantografo ferroviario.

¹ <https://www.italcertifer.com/it.html>

² <https://www.ditecfer.eu/>



Figura 21 – 1998: l'allora studente di Ingegneria Meccanica Luca Pugi durante una sperimentazione su pantografo con controllo attivo della forza di contatto.

Nel 2000 ebbi finalmente l'ideoneità³ da associato e dal 2001 entrai in servizio presso il Dipartimento di Energetica. Nel frattempo, cominciavano ad affacciarsi nuove tematiche di ricerca proposte da Trenitalia e nuove persone, tra cui Monica Malvezzi, adesso Professoressa all'Università di Siena. Un periodo di diversi anni vide la Sezione di Meccanica Applicata impegnata in progetti di ricerca sullo sviluppo di algoritmi di odometrici per la stima di posizione e velocità dei treni (Allotta et al. 2012a). Uno dei maggiori contributi del gruppo fiorentino al progresso tecnologico nel settore ferroviario e all'aumento della sicurezza ferroviaria in Italia è stato lo sviluppo dell'algoritmo odometrico SCMT (Sistema di Controllo Marcia Treno) <https://www.rfi.it/it/Sicurezza-e-tecnologie/tecnologie/ccs/Controllo-Marcia-Treno/Sistema-Controllo-Marcia-Treno--SCMT.html> che, al 31 dicembre 2022, era attivo su 13.324 chilometri della rete ferroviaria italiana.

Un'altra importante realizzazione del gruppo è stata la progettazione del banco prova denominato MI6 e destinato alla sperimentazione di sistemi odometrici e sistemi antipattinanti ferroviari (WSP – Wheel Slide Protection) (Pugi et al. 2006). Il banco prova MI6 ha rappresentato una importante opportunità per la crescita del gruppo sulla tematica della simulazione Hardware e Software In the Loop (HIL – SIL). Un modello di marcia del convoglio ferroviario o del singolo rotabile viene simulato in real time al fine di fornire input e ricevere output dal componente in prova, che può essere un banco antipattinanti completo di simulacri di freno oppure un sistema odometrico.

³ Curioso il fatto che nel 1998 fui giudicato non idoneo al concorso e invece, dopo essere stato accolto sotto le ali protettrici di Paolo Toni e del Prof. Lisini, la mia carriera subì una repentina accelerazione con la presa di servizio come associato nel 2001 e come ordinario nel 2005...

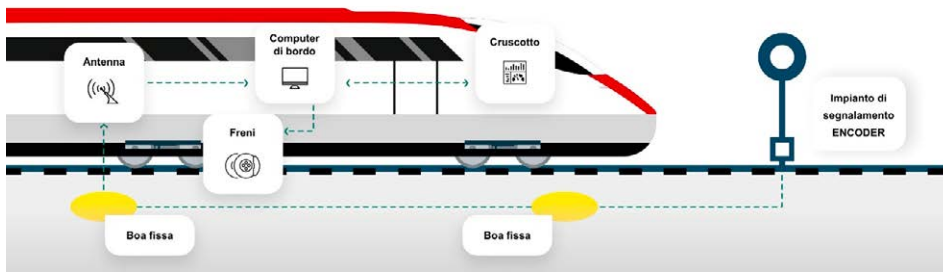


Figura 22 – Schema del sistema SCMT.



Figura 23 – A sinistra, 2001: foto di gruppo di alcuni componenti della Sezione di Meccanica Applicata. Da sinistra in alto: Paolo Toni, Monica Malvezzi, Benedetto Allotta. Accosciati da sinistra: Andrea Rindi, Luca Pugi, Mirko Rinchi; a destra, 2010: pranzo offerto dal neodottore di ricerca Enrico Meli.



Figura 24 – Banco prova MI6; a sinistra, cruscotto di controllo; a destra, cilindri freno.

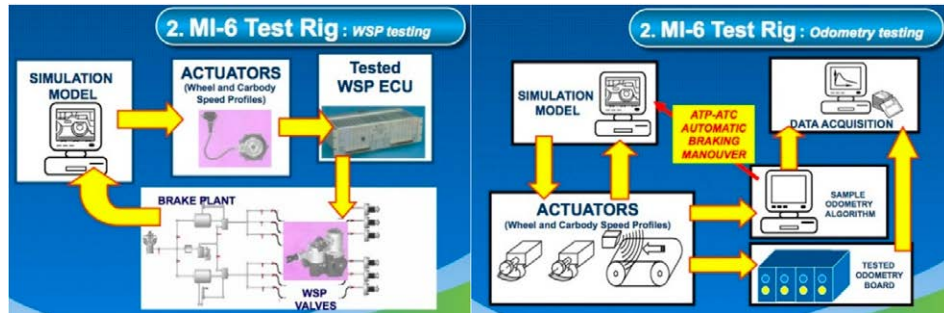


Figura 25 – Schema a blocchi del banco prova MI6: a sinistra, configurato per la prova di un sistema antipattinante ferroviario; a destra, configurato per la prova di un sistema odometrico.

All'inizio degli anni Dieci del Duemila, le competenze già acquisite dal gruppo sui modelli monodimensionali di aderenza ruota – rotaia ai fini dello sviluppo di logiche antipattinanti e di sistemi odometrici cominciarono ad evolversi verso lo sviluppo di modelli simulazione dell'interazione ruota rotaia full 3D, non solo per la determinazione dell'aderenza ma anche per una simulazione di marcia più realistica e per il calcolo dell'usura (Magheri et al. 2011).

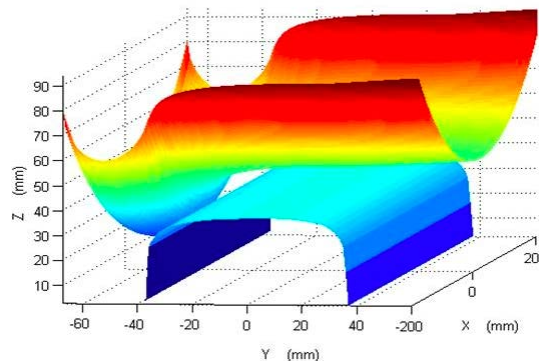


Figura 26 – Studio del contatto ruota rotaia per lo sviluppo di modelli di simulazione real time.

Altre interessanti occasioni di crescita delle competenze del gruppo furono offerte dall'ideazione del nuovo Centro di Dinamica Sperimentale dell'Osmannoro, la cui planimetria è mostrata in Figura XX, che impegnò diversi ricercatori nella scrittura delle specifiche di molti banchi prova poi realizzati e adesso in attività.

In parallelo alle attività di studio e redazione delle specifiche del Centro di Dinamica Sperimentale dell'Osmannoro, il gruppo svolse un'attività di sviluppo, per conto di Trenitalia, e in collaborazione con l'azienda Scienza Machinale (la prima Spin Off company della Scuola Superiore Sant'Anna di cui fui socio fondatore all'inizio degli anni '90), del pantografo per treni ad alta velocità con controllo attivo della forza di contatto denominato TI2006 (Allotta et al. 2008).

Sempre all'inizio degli anni Duemila, l'autorevolezza acquisita dal gruppo nello sviluppo di algoritmi odometrici, non solo con tecniche «crisp» ma anche con l'utilizzo di metodi di soft computing (oggi si direbbe di «Intelligenza Artificiale») viene premiata con commesse industriali finalizzate a migliorare le prestazioni del sistema odometrico SCMT, prima da parte dell'Ansaldo STS, sede di Genova, con un progett-

to sullo sviluppo dell'algoritmo «ERTMS» (Malvezzi et al. 2008), basato su odometria e misure di accelerazione longitudinale e poi dall'ECM di Pistoia, con il progetto COINS (Cooperative Odometry – Inertial Navigation System), in cui misure odometriche e inerziali venivano fuse al fine di migliorare le prestazioni di localizzazione e stima di velocità del convoglio (Allotta et al. 2012b).

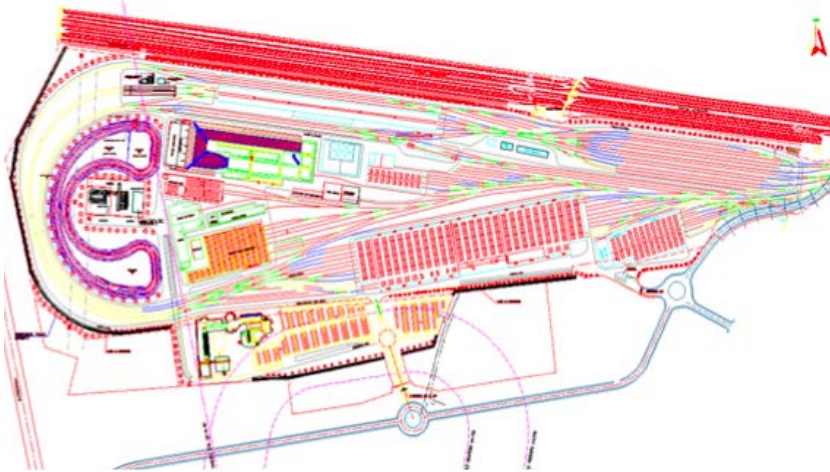


Figura 27 – Planimetria del Centro di Dinamica Sperimentale dell'Osmannoro.

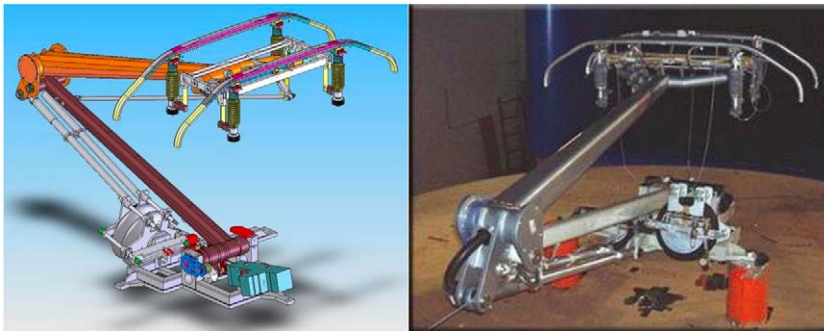


Figura 28 – Il pantografo con controllo attivo della forza di contatto TI2006 realizzato per conto di Trenitalia: a sinistra, rendering; a destra, il pantografo in prova nella galleria del vento del Politecnico di Milano.

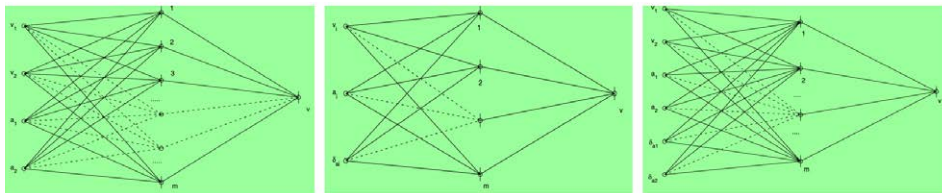


Figura 29 – Uso di reti neurali per la stima odometrica: a sinistra, con due misure tachimetriche disponibili (4 input); in centro, con una sola misura tachimetrica disponibile; a destra, con due misure tachimetriche disponibili (6 input).

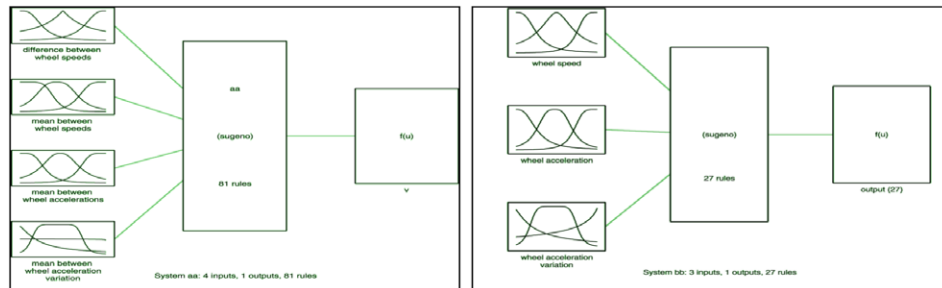


Figura 30 – Uso di sistemi di inferenza Fuzzy per la stima odometrica: a sinistra, con due misure tachimetriche disponibili; a destra, con una sola misura tachimetrica disponibile.

Dall'Ingegneria Ferroviaria alla Robotica Subacquea il salto è breve...

In tutti gli anni della mia «militanza ferroviaria» cioè, grossomodo, dal 1998 al 2008, non ho mai accantonato l'idea di fondare a Firenze un gruppo di ricerca nel settore della robotica e quindi, quando possibile, ho continuato a coltivare i miei interessi di robotico, con attività di ricerca nel settore del controllo eterocettivo di robot industriali (Fioravanti, Allotta, Rindi 2008), cercando, quando possibile, di «travarsare» nella ricerca ferroviaria le mie conoscenze nel settore della robotica e della meccatronica. L'occasione di tornare a svolgere attività nel settore della robotica si è presentata in modo fortuito, durante una chat serale con il mio amico di vecchia data Michele Cocco⁴ che, dopo un dottorato in fisica e varie esperienze imprenditoriali, si era messo a lavorare nel settore della robotica subacquea. Io gli raccontai che il mio gruppo aveva cominciato a «giocare» con la navigazione inerziale applicata ai treni e nacque così l'idea di sottomettere alla Regione Toscana un progetto di ricerca finalizzato allo sviluppo di uno sciame di veicoli subacquei autonomi (AUV – Autonomous Underwater Vehicle) destinati all'archeologia subacquea (Allotta et al. 2012c; 2015).

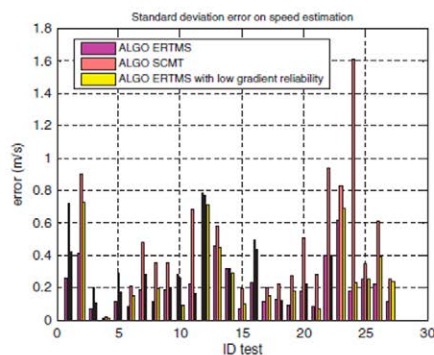


Figura 31 – A sinistra, confronto delle prestazioni di tre algoritmi odometrici per veicoli e convogli ferroviari; a destra, Due robot subacquei autonomi (AUV) della classe «Tifone», sviluppati nel corso del progetto THESAURUS, fotografati a bordo della nave di ricerca oceanografica Alliance della NATO durante l'esperimento COMMSNET '13, dedicato alla localizzazione e alla comunicazione acustica subacquea.

⁴ <https://www.linkedin.com/in/michele-cocco-17940211/?originalSubdomain=it>



Figura 32 – A sinistra, settembre 2012, kick-off meeting del progetto ARROWS; a destra, giugno 2015, una delle due demo finali di progetto alle isole Egadi. <https://www.youtube.com/watch?v=F7rg8Z4ipH4&t=901s>.

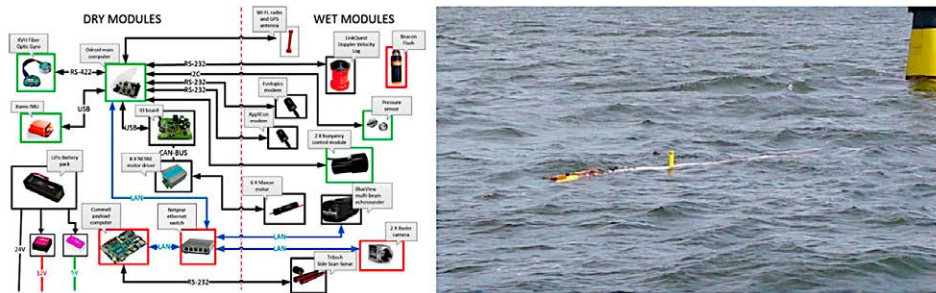


Figura 33 – Il veicolo subacqueo autonomo modulare MARTA sviluppato da Unifi nel corso di ARROWS: a sinistra, schema a blocchi; a destra, nel mar Baltico durante la seconda demo finale (luglio 2015).

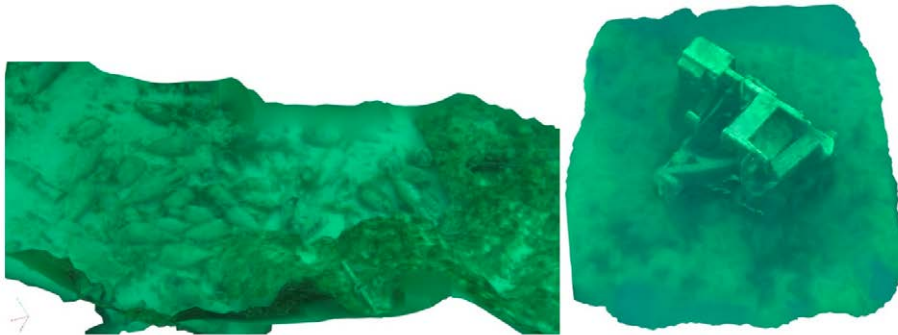


Figura 34 – Ricostruzioni 3D a partire da immagini ottiche realizzate durante le demo finali del progetto ARROWS in collaborazione con il Prof. David Scaradozzi⁵: a sinistra, relitto di Cala Minnola, Levanzo (TP); a destra, macchinari nella Rumm quarry, Estonia (cava adesso allagata, utilizzata come prigione in epoca sovietica).

⁵ <https://www.linkedin.com/in/david-scaradozzi-761a9823/>

Durante il progetto THESAURUS (2011-13), in appena 30 mesi il gruppo di ricerca, anche con l'aiuto di colleghi dell'Università di Pisa, progettò e realizzò interamente (meccanica, elettronica, controllo, interfaccia uomo – macchina) e «from scratch» tre veicoli subacquei scherzosamente denominati «Typhoon 1», «Typhoon 2» «Typhoon 3»⁶⁷⁸ meccanicamente uguali ma equipaggiati in modo diverso al fine di ottimizzare i costi e realizzare delle sinergie nell'esecuzione di missioni archeologiche.

Il progetto THESAURUS fu un successo per l'enorme quantità di conoscenze e competenze acquisite dal gruppo di ricerca, per l'impulso che diede a ulteriori progetti di ricerca nazionali, europei e internazionali e per il contributo che l'esperienza THESAURUS ha dato alle carriere che alcuni dei giovani impegnati nel progetto hanno costruito nel settore dell'istruzione (Jonathan Gelli, Fabio Bartolini), in quello accademico (Riccardo Costanzi, Alessandro Ridolfi), della ricerca (Francesco Fanelli), nelle aziende private (Gregorio vettori, Niccolò Monni) e nell'imprenditoria (Marco Natalini).

Un primo follow-up del progetto THESAURUS è stato il progetto europeo del VII programma quadro denominato ARROWS (ARchaeological ROBot systems for the World's Seas, 2012-15), da me coordinato, che vedeva 10 partner da 4 paesi europei più la Turchia impegnati nello sviluppo di tecnologie robotiche per l'archeologia subacquea.

Nell'ambito di ARROWS il nostro gruppo sviluppò il veicolo subacqueo autonomo fisicamente ed elettricamente modulare MARTA (acronimo di Marine Robotic Tool for Archaeology). E fece un passo avanti nelle competenze sulla progettazione e realizzazione di veicoli autonomi subacquei (Figura 33).

Promozione delle STEM

Tra il 2014 e il 2017 fui impegnato nel coordinamento del progetto europeo Erasmus+ 2014-1-IT02-KA200-003660 ROSE (Robotics Opportunities to foster STEM Education), scritto con il fondamentale apporto della Dott.ssa Elisa Guberti⁹, responsabile dell'allora Ufficio Relazioni internazionali della Facoltà di Ingegneria che coinvolse 13 partner da 4 paesi europei più la Turchia¹⁰. Gli obiettivi principali di ROSE erano:

- aumentare l'attrattiva delle discipline STEM, in particolare tra le studentesse;
- promuovere una rappresentanza equilibrata della società tra gli studenti che scelgono un corso di studi orientato alla tecnologia/scienza;
- a lungo termine: garantire al mercato del lavoro un numero più adeguato di scienziati, ingegneri e tecnologi, in particolare di sesso femminile.

Come strumento principale ROSE puntava sull'attrattività della robotica e delle competizioni studentesche legate alla robotica per invogliare più persone, in particolare ragazze, allo studio delle discipline STEM. Per la Toscana un risultato di un certo rilievo fu l'avvio di attività di robotica educativa in scuole che non ne avevano mai svolte, sfruttando le esperienze di scuole già 'navigate'. Un risultato di tipo più generale fu quello dell'elaborazione, insieme all'Ufficio Scolastico Regionale, di un curriculum verticale di robotica per l'istruzione primaria e secondaria.

⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/The_Hunt_for_Red_October

⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Typhoon-class_submarine

⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=fwSvxEFDYzU&t=43s&pp=ygUPdHlwaG9vbiBsZXZhbnpv>

⁹ https://www.linkedin.com/in/elisa-guberti-b868132a/?locale=en_US

¹⁰ https://www.youtube.com/watch?v=zk4_yCvgjAs



Figura 35 – Uno dei tanti diplomi ottenuti dall’Unifi Robotic Team nelle competizioni internazionali di Robotica Marina.

Competizioni studentesche e MDM Lab Robotics

Dal 2012 in poi, con poche interruzioni, la Sezione di Meccanica Applicata ha promosso la partecipazione di un team Unifi alle competizioni internazionali di Robotica Marina organizzate dalla NATO – STO CMRE (Centro di ricerca della NATO con sede alla Spezia). Il team Unifi ha pian piano scalato le classifiche di queste competizioni che, a partire dal «Rookie of the year award» (premio al miglior esordiente) del 2012 lo hanno portato a primeggiare nelle tre più recenti edizioni. Una richiesta del DIEF all’allora Rettore Luigi Dei, presentata in tandem con il Firenze Race Team, team studentesco di automobilismo, ha portato qualche anno fa ad ottenere un piccolo contributo al Dipartimento per le competizioni studentesche. Nelle competizioni gli studenti sono chiamati a confrontarsi con i loro colleghi provenienti da altre università, in contesti simili a quelli futuri professionali, in modo da poter dimostrare non solo il possesso delle competenze formative acquisite, ma anche di capacità complementari quali quelle di mettere effettivamente in pratica tali competenze (il saper fare), di lavorare in team, di programmare le attività per rispettare le scadenze, di riconoscere una leadership, ecc. In altre parole, tramite tali competizioni, si stimola l’acquisizione di capacità aggiuntive (quelle che spesso vengono chiamate «soft skills») che rappresentano caratteristiche personali importanti in qualsiasi contesto lavorativo.

Parecchi atenei italiani e stranieri utilizzano molto la partecipazione a queste competizioni come strumento di veicolazione del «brand» dell’Ateneo al fine di aumentarne l’attrattività. Va da sé che i contributi che gli altri atenei danno ai propri team sono entità ben diversa rispetto a quanto accade a Firenze. Sarebbe auspicabile che la percezione dell’importanza di questo strumento di promozione da parte dei nostri vertici aumentasse in futuro.

Il 2012 può essere considerato come il vero e proprio anno di nascita Robotics Team dell’MDM Lab in quanto, sebbene attività di robotica siano state svolte presso la Sezione fin dai primi anni 2000, in quel particolare anno, mentre si cominciavano a

consolidare le competenze in robotica marina, iniziavano delle attività, tutt'ora in corso, nell'ambito della robotica indossabile dedicata alla riabilitazione e all'assistenza ai disabili. Nell'ambito di questo filone di ricerca sono stati sviluppati negli anni parecchi esoscheletri per la mano, sia di tipo assistivo che di tipo riabilitativo.

Robotica indossabile

Nel 2012 circa fui contattato dal collega Michele Basso a cui si era rivolto un ricercatore del CNR, l'Ing. Massimo Bianchini, affetto da disabilità, compresa l'impossibilità di aprire le dita delle mani. Massimo cercava degli interlocutori per cercare di ideare e realizzare un esoscheletro di mano di tipo assistivo che gli permettesse di aprire le mani volontariamente. Cogliendo questa occasione, si è aperto nel 2012 un nuovo filone di attività e ricerca per l'MDM Lab: la Robotica indossabile per l'assistenza ai pazienti. La sfida più grande quella di far confluire le competenze che il gruppo aveva acquisito negli anni in un ambito che prevedeva orizzonti ancora inesplorati, uno su tutti quello dell'interazione diretta con la persona.

I primi esoscheletri di mano per l'assistenza hanno preso forma fra le mura del laboratorio grazie al lavoro di tesisti e studenti di dottorato, ma erano dispositivi elettromeccanici piuttosto che ausili biomedicali. In questa prospettiva, un importante passo avanti è stato l'instaurarsi nel 2015 di una duratura collaborazione con l'IRCCS (Istituto di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico) «Don Gnocchi» di Scandicci che nel 2019 è culminata con l'istituzione del RING@LAB, il laboratorio congiunto sulla Bioingegneria della riabilitazione. Il confronto con i professionisti dell'ambito clinico e con gli utenti finali ha arricchito il processo di progettazione cambiandone il paradigma verso la co-progettazione incentrata sull'utente, rendendo i prototipi sviluppati più facilmente utilizzabili, più personalizzabili e più sicuri. Da questa interazione si è aperta anche la possibilità di testare i dispositivi su pazienti in cura presso il centro, da cui sono state ricavate preziose lezioni per il miglioramento del prodotto finale (in Figura X si vede l'evoluzione del design nel corso degli anni).



Figura 36 – A sinistra, uno dei primi prototipi in grado di assistere contemporaneamente le quattro 'dita lunghe' attraverso un azionamento a pulsante; in centro, il dispositivo migliorato dall'introduzione di un sistema di riconoscimento automatico dell'intenzione motoria; a destra, DANTE, l'ultima versione ulteriormente perfezionata dall'introduzione dell'assistenza indipendente a tutte le dita e di un potenziato sistema di riconoscimento automatico.

Le successive versioni degli esoscheletri assistivi sono stati negli anni al centro di altrettanti progetti di ricerca – HOLD (2018), ReHub (2019), Hermes (2019), R3COVER (2021), THE (2022). Nel frattempo, al gruppo si sono aggiunti nuovi membri permettendo alle attività di espandersi su percorsi «cugini» di quello dell'assistenza robotica ai pazienti: l'assistenza ai lavoratori e la riabilitazione. Particolarmente interessanti si sono rivelati i risultati della collaborazione nel 2017 con Eiffage Infrastructures (il terzo gruppo del settore dell'ingegneria civile e lavori pubblici in Francia)

che ha portato alla concettualizzazione di un esoscheletro per arti inferiori per assistere i lavoratori nella proiezione del calcestruzzo. Altrettanto significativi i risultati del progetto BMIFOCUS (2018) che ha finanziato le attività di progettazione che, in due anni, hanno portato allo sviluppo e brevettazione di un esoscheletro di mano per la riabilitazione. Lo stesso esoscheletro è diventato perno delle attività del gruppo di ricerca all'interno dell'ambizioso progetto Fit for Medical Robotics (FIT4MEDROB, 2022) finanziato dal Piano nazionale per gli investimenti Complementari al PNRR. Entrambi i dispositivi sono visibili in Figura Y.



Figura 37 – A sinistra, l'esoscheletro passivo (che non integra cioè motori) ideato per assistere i lavoratori dei cantieri edili di Eiffage Infrastructures; a destra, FLEXO, l'esoscheletro realizzato per incentivare le attività di riabilitazione della mano grazie all'integrazione di dinamiche di gioco mediate dal robot.

SIR e FIS: progetti di eccellenza

Motivi di grande vanto per la Sezione di Meccanica Applicata alle Macchine sono certamente l'approvazione da parte del Ministero del finanziamento del progetto «Design of innovative high speed high efficiency compressors» con un importo di circa 1 milione di euro nell'ambito del bando SIR 2014 di cui era proponente l'allora Ing. Enrico Meli, e la recentissima approvazione da parte del Ministero del finanziamento del progetto «Pioneering Limitless Endurance for Next-Generation Marine Robotics» con un importo di circa 1,6 milioni di euro nell'ambito del bando FIS 2 di cui è responsabile scientifico il Prof. Alessandro Ridolfi.

Altri progetti europei di robotica marina (SUNRISE, ARCHEOSUB)

- SUNRISE
- ARCHEOSUB
- Progetto HOLD¹¹
- Progetti PNRR
- RUVIFIST
- VQR 2015-19. La Sezione di Meccanica Applicata – SSD ING-IND/13, di cui fanno parte Allotta, Pugi, Meli, Ridolfi, Rinchi, Rindi, nella VQR 2015-19, è risultata prima a livello nazionale per i neoassunti (profilo b) e quinta a livello nazionale per il gruppo completo (profilo a + b)
- Progetti PNS

¹¹ <https://www.youtube.com/watch?v=PaHDO-LviO8>



Figura 38 – Una foto di componenti del Laboratorio di Modellazione Dinamica e Meccatronica nel 2022.

Riferimenti bibliografici

- Allotta, B. et al. 2012a. "Evaluation of Odometry Algorithm Performances Using a Railway Vehicle Dynamic Model." *Vehicle System Dynamics* 50(5): 699-724.
- Allotta, B. et al. 2012b. "Design and Implementation of Dynamic Simulators for The Testing of Inertial Sensors." *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 5024-29. Saint Paul (MN).
- Allotta, B. et al. 2012c. "Thesaurus Project: Design of New Autonomous Underwater Vehicles for Documentation and Protection of Underwater Archaeological Sites." *Progress in Cultural Heritage Preservation*.
- Allotta, B. et al. 2015. "Typhoon at CommsNet13: Experimental Experience on AUV Navigation and Localization." *Annual Reviews in Control* Volume 40: 157-71.
- Allotta, B., Pugi, L. e F. Bartolini. 2008. "Design and Experimental Results of an Active Suspension System for a High-Speed Pantograph." *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 13(5): 548-57.
- Fioravanti, D., Allotta, B. e A. Rindi A. 2008. "Image Based Visual Serving for Robot Positioning Tasks." *Meccanica* 43: 291-305.
- Magheri, S. 2011. "An Innovative Wheel-Rail Contact Model for Multibody Applications." *Wear* 271(1-2): 462-71.
- Malvezzi, M. et al. 2008. "Odometric Estimation for Automatic Train Protection and Control System." *Proceedings of WCRR 2008 – 8th World Congress of Railway Research*.
- Pugi, L. et al. 2006. "HIL Simulation of WSP Systems on MI-6 Test Rig." *Vehicle System Dynamics* 44(1): 843-52

Progettare la salute: le tecnologie 3D in prima linea per il paziente

Monica Carfagni

Le tecnologie 3D stanno rivoluzionando il campo della medicina, offrendo soluzioni innovative per migliorare l'efficacia e la personalizzazione dei trattamenti. Permettono la creazione di modelli anatomici altamente precisi utilizzati per la pianificazione pre-operatoria, la simulazione chirurgica e la formazione medica e consentono la produzione di dispositivi medici su misura, come protesi, ortesi e strumenti chirurgici, che si adattano perfettamente alle esigenze specifiche dei pazienti.

In questo contesto, i ricercatori del gruppo TIP «Team per l'Innovazione di Processo e Prodotto» del DIEF, afferenti alla Sezione di Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale (IIND-03/B) operano nell'ambito dei Laboratori T3Ddy e Custom3D, che vedono la collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Firenze e le aziende ospedaliere universitarie Meyer e Careggi, rappresentando un punto di riferimento per la ricerca e l'innovazione in medicina, offrendo un ponte tra ingegneria e clinica per sviluppare tecnologie all'avanguardia che migliorano significativamente le cure mediche.

Il primo nucleo del gruppo nacque nel 1998 quando l'allora laureando in ingegneria, Lapo Governi, con la supervisione dell'allora Professoressa Associata Monica Carfagni, applicò tecniche di visione artificiale nell'ambito della propria tesi di laurea. Durante questa attività, che può essere considerata come il primo caso di ricerca sul biomedicale del gruppo, vennero sviluppati algoritmi automatici per individuare la taglia ottimale della protesi d'anca destinata ad un paziente analizzando la sua radiografia. Le competenze del gruppo sulla visione artificiale ebbero un ulteriore impulso grazie all'attivazione di un dottorato di ricerca sulla visione artificiale applicata al settore tessile. Il dottorando in questione, l'attuale Professore Associato Rocco Furferi, si occupò di sviluppare algoritmi per l'elaborazione delle immagini per l'individuazione in automatico dei difetti su componenti tessili. In questo contesto il gruppo accrebbe le proprie competenze grazie all'applicazione di algoritmi genetici.

Monica Carfagni, University of Florence, Italy, monica.carfagni@unifi.it, 0000-0002-3393-7014

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Monica Carfagni, *Progettare la salute: le tecnologie 3D in prima linea per il paziente*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.13, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 77-88, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

Nel 2002 avvenne un ulteriore incremento delle competenze del gruppo con l'inserimento delle metodiche di scansione 3D nel proprio bagaglio di competenze. Questo avvenne grazie ad una attività di tesi, svolta dall'attuale Prof. Yary Volpe in collaborazione con Piaggio s.p.a. La tesi, volta alla ricerca di soluzioni progettuali ergonomiche, vide l'esecuzione di scansioni 3D delle selle di veicoli a due ruote. La padronanza delle tecnologie di scansione 3D e Reverse Engineering si è sviluppata negli anni fino ad arrivare alla progettazione e realizzazione di scanner specifici impiegati sia in ambito industriale che nel settore medicale.

La Fabbricazione Additiva venne introdotta, a partire dal 2004, nell'allora Facoltà di Ingegneria, grazie all'attivazione, fortemente voluta dalla Prof. Monica Carfagni, del corso di Prototipazione Rapida (come veniva chiamata allora la Stampa 3D poiché praticamente applicata al solo campo dei prototipi). Il corso, uno dei primi in Italia su queste tematiche, ebbe grande successo tra gli studenti e consentì alla Sezione di avviare molteplici attività di ricerca e collaborazioni con enti ed aziende. La svolta nel settore biomedicale avvenne nel 2014 quando l'Ospedale Pediatrico Meyer si interessò alle competenze disponibili all'interno del gruppo TIP e volle avviare una collaborazione che nel corso degli anni si è sempre più consolidata. Nel 2016 nacque quindi il Laboratorio T3Ddy (Personalized pediatrics by inTegrating 3D aDvanced technology) in collaborazione con l'Azienda Ospedaliera Universitaria Meyer. Il campo di applicazione si è poi esteso ai pazienti adulti con l'istituzione del Laboratorio Custom3D (Customized 3D in Medicine) in collaborazione con l'Azienda Ospedaliera Universitaria Careggi di Firenze.

Da allora l'attività di ricerca nel settore biomedicale del gruppo TIP è cresciuta anno dopo anno, potendo vantare grandi soddisfazioni sia dal punto di vista scientifico che da quello umano, avendo contribuito in modo sostanziale a migliorare le applicazioni cliniche nell'ottica della salute del paziente. I principali punti di forza del gruppo sono sicuramente la multidisciplinarietà e la modalità operativa in stretto contatto con il personale medico coinvolto nelle singole attività.

I due laboratori si concentrano sulle seguenti linee di ricerca:

- Integrazione delle tecnologie 3D (CAD, Scansione 3D, Stampa 3D, ecc.) nella pratica clinica
- Dispositivi medici personalizzati
- Strumentazione chirurgica personalizzata
- Simulazione per training chirurgico
- Sviluppo task trainer per la formazione medica
- Metodi basati su intelligenza artificiale per la diagnosi e la valutazione dell'outcome chirurgico.

A queste linee di ricerca si aggiungono attività collaterali di ricerca di base, quindi senza un'applicazione immediata nella pratica clinica, ma che il gruppo mira a trasferire in ospedale in tempi rapidi.

La prima attività svolta in collaborazione con l'Ospedale Meyer ha visto lo sviluppo di una nuova metodologia semiautomatica per la progettazione di placche craniche personalizzate utilizzate per gli interventi di cranioplastica (Volpe et al. 2018) (Figura 39). A partire dalla TAC del paziente viene ricavato il modello digitale del cranio e, impiegando tecniche interattive basate su CAD, viene ricavata la geometria della protesi necessaria per coprire la parte mancante di osso. La placca viene quindi realizzata in lega di titanio utilizzando stampanti 3D e, previa sterilizzazione, portata in sala operatoria. Questa innovativa metodologia di progettazione delle protesi ha costituito una rivoluzione per questo tipo di interventi: il chirurgo non è più costretto ad intervenire sulla parte ossea per adattare questa alla placca ma deve solo fissare la nuova placca che, in quanto progettata per lo specifico paziente, si adatta perfettamente ai bordi della

zona mancante. La placca estremamente sottile consente inoltre di appoggiarsi sui bordi dell'osso invece di venire annegata nello spazio mancante con notevoli benefici nel post-intervento. Con l'uso di questa innovativa tecnica operatoria gli interventi sono anche molto più brevi con una importante riduzione dei costi e una maggiore sicurezza del paziente. Il decorso post-operatorio per i molti interventi realizzati è stato ottimale.

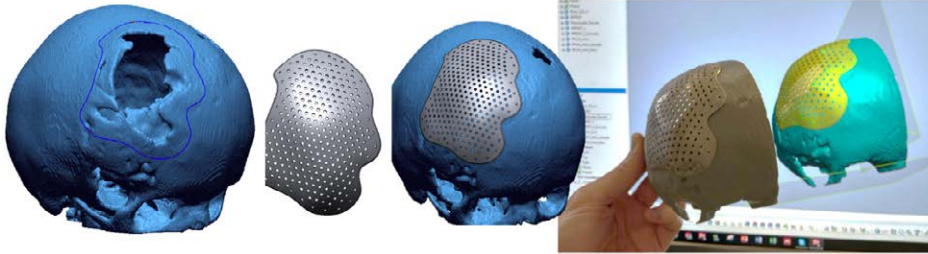


Figura 39.

Sulla base delle metodologie sviluppate e grazie all'esecuzione di numerose prove in ambito clinico, gli strumenti interattivi sviluppati per la realizzazione delle placche craniche proseguono ancora oggi mediante lo sviluppo di metodi e strumenti per automatizzare e migliorare il processo di ricostruzione 3D, impiegando sia metodi CAD avanzati che tecniche basate su Statistical Shape Modelling (SSM). Attualmente è in corso presso l'Ospedale Pediatrico Meyer uno studio clinico, in collaborazione con l'azienda tedesca Bellaseno GmbH, per la valutazione dell'impianto di scaffold custom-made in policaprolattone (PCL), usati in combinazione con trasferimento di tessuto adiposo autologo, per la correzione del petto scavato (Figura 40). Il petto scavato (o *pectus excavatum* in termini medici) è una malformazione della parete toracica in cui lo sterno è infossato (Servi et al. 2019) o incavato, creando una depressione al centro del torace. La soluzione proposta rappresenta un approccio innovativo che permette di correggere la malformazione con impianti su misura, adattati alla forma e alle esigenze del paziente, in modo meno invasivo rispetto alle tecniche tradizionali che prevedono l'uso di barre metalliche o protesi permanenti in silicone.

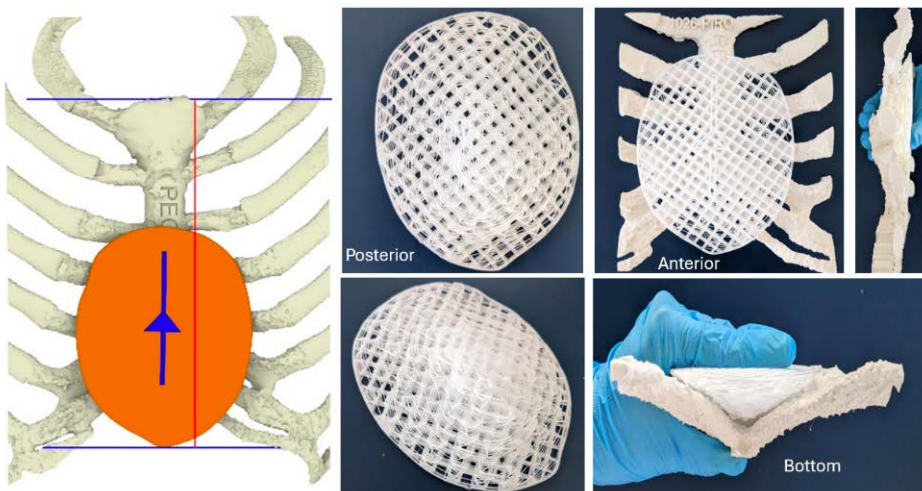


Figura 40 – Protesi riassorbibili per la correzione del Pectus Excavatum.

I ricercatori del gruppo TIP, con il coordinamento del Ricercatore Francesco Buonamici, hanno sviluppato un metodo per la prototipazione rapida di protesi personalizzate per interventi complessi di ortopedia oncologica (Servi et al. 2024) (Figura 41). L'elevata capacità di personalizzazione garantita dall'uso di tecnologie additive per la fabbricazione di protesi ha consentito, in questo campo, la progettazione di impianti per ossa lunghe particolarmente innovativi. La geometria delle protesi mostrate in Figura 3 è stata, in ogni caso, prodotta ricavando il dato di riferimento da esami diagnostici del paziente, riprendendo quindi la forma delle ossa. La progettazione eseguita a fianco del chirurgo consente la produzione di forme complesse, in grado di adattarsi a una superficie di resezione articolata e studiata per minimizzare la quantità di osso asportata, garantendo al tempo stesso la sicurezza del paziente grazie ad una accurata pianificazione. Salvare il tessuto osseo del paziente ha una importanza fondamentale, specialmente nel caso delle superfici articolari che giocano un ruolo primario nel preservare la funzionalità motoria dell'arto.

Le protesi progettate dal gruppo hanno esplorato diverse soluzioni modulari, rappresentate in Figura 42 per consentire al chirurgo la massima flessibilità possibile nelle scelte terapeutiche da applicare. Speciali protesi, anch'esse modulari, hanno persino consentito al chirurgo, in qualche caso, di compiere la scelta finale sul tipo di taglio da effettuare direttamente in sala operatoria, valutando la situazione del paziente «con mano» in tempo reale. Lo sviluppo di metodologie per la progettazione e la stampa 3D di protesi personalizzate ha consentito agli ingegneri di TIP di aggiungere, su indicazione del chirurgo, feature geometriche avanzate con la finalità di aumentare l'efficacia della protesi; fori per il passaggio di legamenti e tendini o per l'ancoraggio di strutture muscolari, trattamenti superficiali locali studiati per massimizzare l'osteointegrazione, accoppiamenti di forma e soluzioni per il fissaggio dei dispositivi sono alcuni esempi notevoli che rientrano in questa categoria e che, in ultima analisi, rappresentano una possibilità di un percorso terapeutico migliore per il paziente.



Figura 41 – Protesi personalizzate per ortopedia.

Una delle principali attività di sviluppo di dispositivi medici personalizzati non impiantabili ha riguardato le ortesi per il trattamento delle fratture del polso (Buonamici et al. 2018). Questa attività, portata avanti soprattutto con il contributo della Ricercatrice Michaela Servi, ha visto lo sviluppo sia di un innovativo scanner (denominato Oplà) sia di un software per la modellazione interattiva dell'ortesi personalizzata. L'elemento distintivo di questo scanner è la velocità di acquisizione. Grazie all'impiego simultaneo di otto sensori di profondità, lo strumento è in grado di ricostruire l'anatomia del paziente in meno di un secondo. Questa caratteristica si rivela particolarmente preziosa nell'acquisizione di immagini degli arti di pazienti pediatrici, notoriamente inclini al movimento durante le procedure diagnostiche tradizionali. Il sistema è gestito da un software appositamente sviluppato che non si limita alla sola scansione ma che integra una procedura CAD innovativa che consente la creazione semi-automatica del modello dell'ortesi pronto per la stampa 3D.

Un'altra attività che ha già visto la realizzazione di oltre 40 interventi, ma che ha richiesto l'applicazione di molte delle tecnologie padroneggiate dal gruppo in molti anni di attività prima del suo utilizzo in sala operatoria, è la ricostruzione del padiglione auricolare (Mussi et al. 2019). Questo campo di ricerca ha previsto lo studio approfondito dell'anatomia auricolare a seguito del quale i ricercatori si sono concentrati sulla progettazione di guide di taglio ottimizzate, con l'obiettivo di assistere il chirurgo nel creare un orecchio che si avvicini il più possibile all'aspetto di quello sano controlaterale e che si armonizzi perfettamente con i tratti del viso del paziente (Mussi et al. 2021).



Figura 42 – Orttesi personalizzate per la frattura del polso.

Un aspetto cruciale di questa ricerca è stata l'identificazione delle tecniche di acquisizione 3D più adatte per catturare con precisione la complessa morfologia della regione auricolare. Parallelamente, il team ha sviluppato routine per la modellazione CAD che consentono di creare guide di taglio in grado di adattarsi con estrema precisione alle specifiche caratteristiche anatomiche di ciascun individuo, garantendo così risultati ottimali e altamente personalizzati.



Figura 43 – Ricostruzione del padiglione auricolare.

Nel campo della chirurgia ricostruttiva, un'innovativa procedura per la ricostruzione della piramide nasale di un bambino utilizzando come riferimento il naso del gemello ha recentemente attirato l'attenzione per il suo approccio all'avanguardia. Il metodo sviluppato dal team ha visto la combinazione di tecnologie di imaging avanzate, progettazione ingegneristica e stampa 3D per creare una soluzione altamente personalizzata. In una fase iniziale sono stati acquisiti dati anatomici utilizzando tomografia computerizzata del tessuto osseo del paziente. Questi dati sono stati sovrapposti digitalmente alla scansione 3D del volto del gemello permettendo una ricostruzione virtuale accurata della piramide nasale. La progettazione delle componenti della piramide nasale ha seguito due importanti obiettivi: da un lato la distribuzione efficace delle tensioni sui fianchi e sul dorso della struttura; dall'altro un accoppiamento univoco e preciso delle varie parti durante la fase di costruzione in sala operatoria. Gli elementi della piramide nasale sono poi stati realizzati in stampa 3D utilizzando opportuni materiali polimerici (ad esempio poliuretano termoplastico – TPU) con caratteristiche meccaniche simili a quelle dei tessuti cartilaginei, in particolare per quanto riguarda l'elasticità. Grazie a un modello di simulazione costituito da un pad che ha ricreato fedelmente la faccia del paziente senza il naso, comprensivo sia della struttura ossea che dei tessuti molli, gli elementi della piramide sono stati validati. Questo modello ha permesso ai chirurghi di testare e perfezionare la forma e il posizionamento degli elementi stampati in 3D. Infine, i pezzi precedentemente validati durante la simulazione sono poi stati utilizzati in sala operatoria come modelli per sagomare con precisione le cartilagini costali del paziente.



Figura 44 – Ricostruzione del naso di un bambino.

La capacità di fabbricare dispositivi di forma complessa e in singole unità, garantita dalla stampa 3D, ha consentito lo sviluppo di strumenti chirurgici personalizzati di vario tipo (Figura 45). In questa categoria rientrano le dime di taglio: dispositivi mo-

dellati e progettati in modo da adattarsi perfettamente all'anatomia del paziente e di offrire al chirurgo una serie di superfici funzionali, opportunamente posizionate, per l'esecuzione guidata di tagli complessi. Molto utili nel caso di interventi di resezione oncologica, queste guide possono essere ancorate dal chirurgo direttamente sull'osso; il posizionamento corretto è assicurato da un accoppiamento di forma tra la superficie ossea e una superficie della dima, modellata con la stessa forma. Il posizionamento del dispositivo diventa così quindi questione di trovare il giusto allineamento e orientazione tra le due superfici. Una volta posizionate, l'inserimento di viti o di altre soluzioni per il fissaggio assicura la loro stabilità per tutta la durata dell'intervento. Il chirurgo può quindi usufruire di fessure di spessore controllato per l'inserimento della sega per ossa o di piani che possono essere usati come riferimento o battuta per evitare il taglio della parte sana dell'osso.

TIP ha sviluppato dime di taglio per interventi di resezione di tumori ossei di diversa tipologia, ricercando per ogni caso la geometria ideale per minimizzare l'esposizione dell'osso (il corretto allineamento prevede infatti di dover ripulire la zona di accoppiamento durante l'intervento – operazione che comporta un certo impatto). Alcune delle immagini dei dispositivi sviluppati in quest'ambito sono riportati in Figura 7 sulla sinistra e al centro. TIP ha inoltre sviluppato algoritmi automatici per la progettazione di dime di taglio per interventi di ortopedia oncologica: il percorso terapeutico dei pazienti deve infatti prevedere, in questo caso, l'esecuzione dell'intervento nel minor tempo possibile. La stampa 3D consente la fabbricazione del dispositivo in tempi brevi, ma l'abbattimento dei tempi di progettazione rimane un ambito in cui innovazione e ricerca possono portare a vantaggi significativi. Gli ingegneri del gruppo hanno così realizzato metodi per la progettazione e la modellazione 3D automatici o interattivi tramite i quali, a partire da una serie di input forniti dall'utente (la geometria dell'osso del paziente, i piani di taglio da realizzare, la posizione dei punti per l'inserimento delle viti di fissaggio) è possibile produrre il modello 3D della dima (Leng et al. 2019; Guariento et al. 2022).

Altro filone di ricerca che è stato esplorato all'interno del laboratorio T3Ddy è la realizzazione di dime di taglio per interventi di correzione del Pectus Carinatum, una malformazione che comporta una forma pronunciata dello sterno, visibile in Figura 45c, che deve essere corretta attraverso un intervento in cui viene rimosso un segmento osseo per procedere al riposizionamento di due metà dello sterno nella configurazione corretta. La corretta esecuzione dell'intervento è legata all'accuratezza nella realizzazione di due tagli planari che devono sottintendere un angolo ben preciso, calcolato in funzione della situazione di partenza. TIP ha sviluppato una procedura accurata e ripetibile per il calcolo dell'angolo di taglio necessario in ogni intervento e la posizione ideale per il taglio. Queste informazioni hanno permesso di sviluppare una procedura in ambiente CAD in grado di eseguire una modellazione automatica del dispositivo personalizzato (come mostrato, ad esempio, a destra della Figura 45 in grigio). Una ulteriore importante attività svolta dai ricercatori della Sezione nell'ambito dei due laboratori è costituita dallo sviluppo di simulatori per la pianificazione chirurgica preoperatoria, che ha visto in particolare il coinvolgimento del Ricercatore Luca Puggelli (Figura 46). La possibilità di preparare interventi complessi utilizzando modelli digitali e fisici che riproducano le parti anatomiche interessate del paziente consente di pianificare accuratamente gli interventi chirurgici testando anche differenti approcci e permettendo al chirurgo di arrivare in sala operatoria con maggiore consapevolezza (Mencarelli et al. 2023).

Il grande sviluppo osservato nel mondo della produzione additiva negli ultimi anni ha infatti portato alla ricerca di materiali con caratteristiche sempre più avanzate; è

ora possibile usufruire di una grandissima varietà di materiali polimerici con proprietà meccaniche e ottiche diverse. Pertanto, tecnologie di stampa che consentono l'utilizzo di più materiali contemporaneamente e proprietà che possono essere controllate localmente all'interno dell'oggetto stampato hanno trovato grande applicazione nella realizzazione di repliche anatomiche. La fabbricazione di forme complesse e l'uso di materiali con molte caratteristiche diverse all'interno dello stesso oggetto hanno costituito i punti di forza per l'applicazione della stampa 3D per la realizzazione di simulatori.

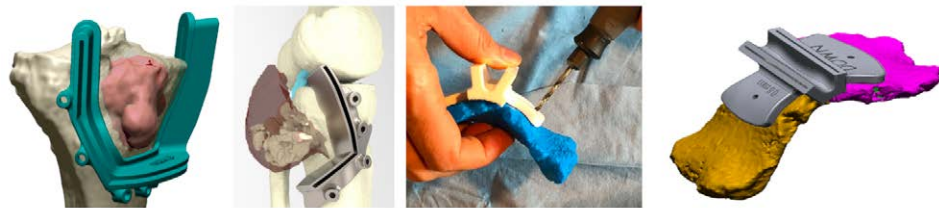


Figura 45 – Dime di taglio personalizzate.

I laboratori T3Ddy e CustoM3D hanno pertanto sviluppato negli anni una grande competenza nella realizzazione di simulatori per task chirurgiche e mediche in generale grazie al lavoro portato avanti in molti dottorati di ricerca. I laboratori prestano servizio ai chirurghi degli ospedali che si trovano ad affrontare interventi particolarmente complessi, con situazioni che necessitano di essere studiate con ogni mezzo a disposizione. La realizzazione di repliche anatomiche tridimensionali consente al chirurgo di «toccare con mano» il caso che si troverà ad affrontare in sala operatoria, permettendo la costruzione di una mappa mentale tridimensionale che solo la manipolazione di un oggetto fisico può, alle volte, consentire.

Lo sviluppo è stato accompagnato anche dalla disponibilità del gruppo TIP di una serie di tecnologie di stampa avanzate, capaci di realizzare oggetti polimerici, integrandole, quando necessario, con materiali ad alta flessibilità e bassa durezza come, ad esempio, il silicone. I materiali siliconici sono infatti fondamentali per molte applicazioni in cui è necessario simulare un tessuto anatomico morbido (Mencarelli et al. 2024). Nella realizzazione di modelli preoperatori ogni caso è analizzato in modo diverso a partire dalle esigenze del medico che ha avanzato la richiesta di un modello e che sta seguendo il caso. Ogni situazione presenta delle complicazioni e dei punti critici che, idealmente, devono essere risolti tramite l'interpretazione del modello tridimensionale fisico. Modelli ortopedici realizzati in seguito a traumi devono ad esempio rappresentare la configurazione tridimensionale e la forma di vari segmenti ossei che si potrebbero trovare in posizioni innaturali. Per raggiungere questo risultato è solitamente sufficiente la stampa di un modello in plastica rigida monomateriale. Casi di tipologia diversa, come ad esempio il caso di un tumore nella zona del collo, visualizzato in Figura 8 sulla sinistra, richiedono repliche con proprietà diverse. Come è possibile vedere dalla figura, il modello rappresenta la zona di interesse e la sua relazione con elementi anatomici fondamentali, come arterie e vene del collo. In questi casi, l'uso di materiali con diverse caratteristiche e colori diversi è essenziale per comunicare le informazioni di interesse al medico.

Il laboratorio ha inoltre sviluppato repliche di tipologia più avanzata, che possono essere usate per simulare procedure operatorie: accessi chirurgici, suture, posizionamento di impianti, ecc. In quest'ambito, i ricercatori del gruppo hanno realizzato simulatori per verificare la validità di una direzione di approccio ad un intervento chirurgico invasivo o simulatori per l'esecuzione di procedure di asportazione di tumore in aree

estremamente delicate. In tutti i casi, la ricerca portata avanti negli anni dal laboratorio ha consentito la scelta dei materiali e del processo di fabbricazione più appropriato per la realizzazione delle repliche anatomiche necessarie. Nel caso della ricostruzione del naso citato in precedenza, ad esempio, è stato possibile realizzare una serie di strumenti per simulare l'intervento più volte prima dell'esecuzione vera e propria. Il chirurgo ha potuto così acquisire una elevatissima conoscenza dell'anatomia del paziente e dei gesti chirurgici che sarebbe stato necessario poi eseguire in sala. La forma del naso è stata utilizzata per progettare e stampare strumenti di ausilio al chirurgo: grazie alla tecnologia 3D sono state stampate delle «sagome» che – proprio come fossero delle dime di taglio – sono servite per prelevare frammenti di cartilagine costale del bambino con altissima precisione, rendendo l'intervento il meno invasivo possibile. Questi frammenti sono stati assemblati, un po' come le tessere di un puzzle, per costruire l'impalcatura ossea e cartilaginea della piramide nasale, successivamente ricoperta con lembi cutanei prelevati dalla fronte e dal tessuto mucoso.

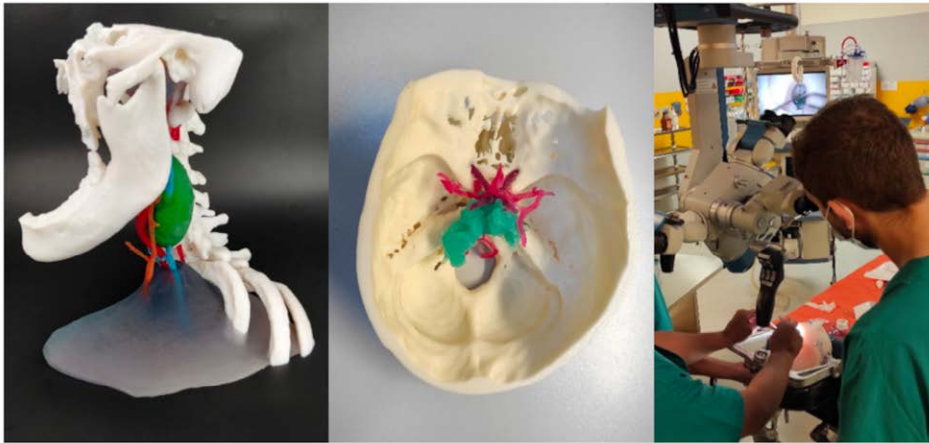


Figura 46 – Modelli per la simulazione chirurgica preoperatoria.

Le repliche anatomiche rappresentano inoltre un supporto fondamentale nella formazione degli specializzandi in medicina, poiché consentono loro di acquisire competenze pratiche in un ambiente sicuro e controllato, prima di operare su pazienti reali. Questo approccio formativo non solo riduce il rischio di errori durante le prime esperienze cliniche, ma garantisce che, al momento del primo intervento su un paziente, il medico abbia già acquisito una padronanza sufficiente delle procedure per garantire alti standard di sicurezza e qualità delle cure. A tale scopo, sono stati sviluppati strumenti specifici come i task trainer (Figura 47), che permettono al discente di concentrarsi sull'apprendimento e sulla pratica di abilità tecniche precise. T3Ddy e Custom3D sono in prima linea nello sviluppo di questi dispositivi, sviluppando e realizzando simulatori altamente efficaci per esercitarsi in skill specifiche come la sutura su differenti tratti anatomici, la puntura intraossea o la tracheotomia.

Questi simulatori sono frutto di una continua ricerca tecnologica che punta a migliorare la precisione e la fedeltà dei modelli anatomici, rendendoli sempre più realistici e funzionali per l'insegnamento. Grazie all'impiego della stampa 3D con materiali che replicano fedelmente la consistenza e la resistenza dei tessuti umani, è possibile riprodurre con grande accuratezza le condizioni anatomiche su cui i medici si troveranno a intervenire. La combinazione di un'accurata ricerca e sviluppo con l'applicazione pra-

tica consente di progettare soluzioni formative che preparano i futuri medici non solo alla comprensione teorica delle procedure, ma anche alla loro esecuzione con un elevato grado di sicurezza e competenza.

Per pratiche cliniche più avanzate, vengono sviluppati manichini ad alta fedeltà in grado di riprodurre con notevole precisione l'anatomia umana e le caratteristiche fisiche dei tessuti, offrendo una simulazione estremamente realistica (Figura 48). Questi manichini avanzati sono progettati per formare medici e specialisti su procedure complesse, migliorando la loro competenza e la sicurezza del paziente.

Il laboratorio T3Ddy, ad esempio, ha realizzato un manichino innovativo per la simulazione della resezione polmonare, che consente agli operatori sanitari di esercitarsi sia su casi di sequestro polmonare extra-lobare che intra-lobare. Questa tipologia di manichino offre la possibilità di ricreare scenari complessi, aiutando i medici a perfezionare le tecniche chirurgiche in un ambiente sicuro prima di operare su pazienti reali. Tale manichino è frutto di anni di ricerca e sviluppo, che hanno permesso di ottimizzare la fedeltà anatomica e la risposta meccanica dei tessuti simulati, rendendolo uno strumento essenziale per la formazione avanzata.

In ambito pediatrico, il laboratorio ha anche sviluppato la serie di manichini ABU (Advanced Bronchoscopy Unit), concepiti per la formazione sul trattamento delle vie aeree difficili. Questa serie è caratterizzata da una struttura modulare che consente di riprodurre differenti quadri clinici sullo stesso manichino, come malformazioni del tratto tracheale, ostruzioni delle vie respiratorie, tracheotomie e fistole tracheoesofagee. Grazie a questa versatilità, i manichini ABU offrono un'esperienza formativa completa e realistica, permettendo ai medici di affrontare una vasta gamma di situazioni cliniche complesse. Anche per questi modelli, la ricerca nel campo della simulazione medica ha portato allo sviluppo di materiali sempre più avanzati, capaci di imitare con estrema accuratezza i tessuti umani, garantendo un'esperienza didattica che si avvicina sempre di più alla realtà clinica.



Figura 47 – Task Trainer.

Parallelamente, il laboratorio Custom3D sta sviluppando un manichino specificamente progettato per l'uso della sonda ecografica EBUS (Endobronchial Ultrasound) su pazienti adulti, per la stadiazione del tumore al polmone mediante biopsia di materiale agoaspirato da linfonodi target. Questo manichino sarà in grado di simulare interventi avanzati come la broncoscopia con guida ecografica, offrendo ai medici una piattaforma altamente realistica per acquisire le competenze necessarie. L'EBUS è una tecnica cruciale per la diagnosi e la gestione di patologie toraciche, inclusi tumori e altre lesioni polmonari, e la simulazione di tale procedura in un ambiente controllato aiuterà gli operatori a perfezionare la loro tecnica senza rischi per i pazienti. Questi sviluppi sono il risultato di un impegno costante nella ricerca e nell'innovazione.

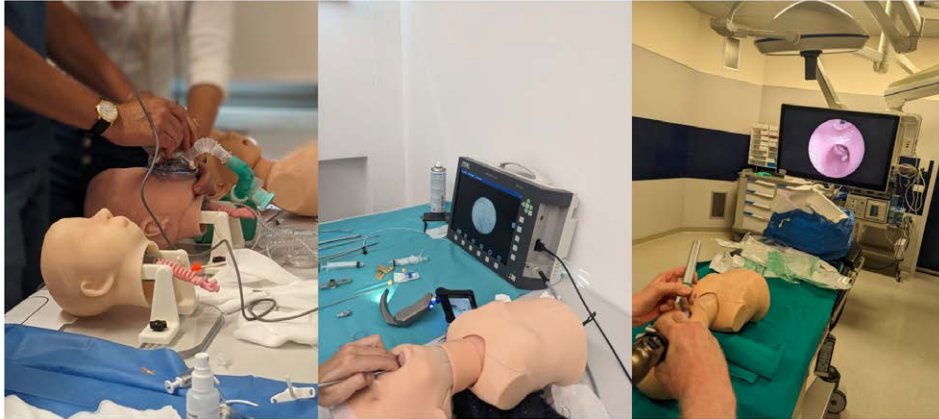


Figura 48 – Manichini per la simulazione ed il training.

Queste e molte altre le attività dei due laboratori che hanno consentito un notevole miglioramento del Tasso di Successo Chirurgico, la riduzione dei tempi di preparazione operatoria grazie a strumenti di simulazione personalizzati, il miglioramento degli esiti clinici attraverso l'utilizzo di modelli preparatori realistici, l'aumento della precisione chirurgica con la conseguente riduzione delle complicanze operative, la riduzione della Curva di Apprendimento del personale ospedaliero e l'incremento dell'Efficienza della Diagnosi e della Pianificazione.

In futuro, grazie all'evoluzione significativa delle tecnologie utilizzate e al potenziamento del know-how del gruppo T3DDY, si prevedono ulteriori sfide da affrontare sempre in prima linea per la salute del paziente.



Figura 49 – Il gruppo T3DDY al Convegno ADM 2023.

Riferimenti bibliografici

- Buonamici, F. et al. 2018. "A CAD-based Procedure for Designing 3D Printable Arm-wrist-hand Cast." *Computer-Aided Design and Applications* 16: 25-34.
- Guariento, L. et al. 2022. "A Semi-Automatic CAD Procedure to Design Custom-made Surgical Cutting Guides." *Computer-Aided Design and Applications* 19: 733-40.
- Leng, S. et al. 2019. "Customized Cutting Template to Assist Sternotomy in Pectus Arcuatum." *Annals Of Thoracic Surgery* 107: 1253-58.
- Mencarelli, M. et al. 2024a. "Preliminary Study of a 3D-Printed High-Fidelity Simulator for the Training on the EBUS TBNA Procedure." In *ADM 2023, Firenze, 6-8 settembre 2023*, vol. III, 146-53. Springer.
- Mencarelli, M. et al. 2024b. "Acoustic Velocity and Stability of Tissue-Mimicking Echogenic Materials for Ultrasound Training Phantoms." *Journal Of Materials Science*.
- Mussi, E. et al. 2019. "Ear Reconstruction Simulation: From Handcrafting to 3D Printing." *Bioengineering* 6: 1-19.
- Mussi, E. et al. 2021. "A Rapid Prototyping Approach for Custom Training of Autologous Ear Reconstruction." *Ijidem* 15: 577-85.
- Privitera, A. et al. 2022. "Geminate and Nongeminate Pathways for Triplet Exciton Formation in Organic Solar Cells." *Adv. Energy Mater.* 12: 2103944.
- Santanni, F. e A. Privitera. 2024a. "Metalloporphyrins as Building Blocks for Quantum Information Science." *Adv. Mater.* 12: 2303036.
- Serrano, S. et al. 2020. "Quantum Dynamics Of A Single Molecule Magnet On Superconducting Pb(111)." *Nat. Mater.* 19: 546-51.
- Serrano, S. et al. 2022. "Magnetic Molecules as Local Sensors of Topological Hysteresis of Superconductors." *Nat. Commun.* 13: 3838.
- Servi, M. et al. 2019. "Pectus Carinatum: A Non-Invasive and Objective Measurement of Severity." *Medical & Biological Engineering & Computing* 57: 1727-35.
- Servi, M. et al. 2024. "A CAD Procedure for Planning and Modelling Custom Surgical Guides for Tumor Resection." *Computer-Aided Design and Applications* 21: 487-98.
- Volpe, Y. et al. 2018. "Surgery of Complex Craniofacial Defects: A Single-Step AM-Based Methodology." *Computer Methods and Programs In Biomedicine* 165: 225-33.
- Wang, Y. et al. 2023. "The Critical Role of The Donor Polymer in The Stability of High-Performance Non-Fullerene Acceptor Organic Solar Cells." *Joule* 7: 810-29.

Oltre la vista: il ruolo del gruppo di Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale nel settore dei Beni Culturali

Rocco Furferi

Per le persone non vedenti o con seri problemi alla vista, godere delle creazioni artistiche e degli *heritage* culturali non è generalmente possibile dal momento che questi sono «mondi visivi» quasi esclusivamente creati da e per le persone vedenti. Nonostante molti progressi siano stati fatti per rendere più universale la partecipazione all'arte ed alla vita culturale in genere, i musei inevitabilmente prediligono tecnologie che possano aumentare la partecipazione, anche virtuale, del più ampio pubblico possibile, escludendo quindi i non vedenti. L'accessibilità per tali persone non dipende solo dalla capacità di fare fronte agli ostacoli nell'ambiente ma anche dalla incapacità di percepire le opere stesse; pertanto, non sono facilitate nella fruizione di opere d'arte, in special modo pittoriche. L'assistenza umana è ancora il metodo più comune nelle istituzioni culturali e le esposizioni rimangono *off-limits* per coloro che devono toccare per apprezzare i manufatti perché gli oggetti dell'esposizione sono troppo antichi, troppo preziosi per essere esaminati in modo tattile. Per il non vedente, infatti, l'esplorazione tattile è il mezzo principale di conoscenza dell'ambiente circostante e degli oggetti che lo popolano, mediante la manipolazione e mediante tutte le sensazioni che concorrono a quel processo che viene definito come 'esplorazione aptica', dal greco *haptomai*, afferrare trattenere, toccare con attenzione. L'accesso alle rappresentazioni scultoree/architettoniche tridimensionali è stato il primo grado di interazione per i disabili visivi nell'ambiente museale; questo fenomeno ha visto, a partire dagli anni Novanta, il diffondersi di diverse iniziative temporanee e permanenti. Se nel caso di musei per arti visive tridimensionali si è evidenziata negli ultimi anni una crescente attenzione verso l'inclusione sociale di persone portatrici di disabilità visiva, nel caso dei musei di arte pittorica solo pochi dipinti sono stati 'tradotti' in rappresentazioni tattili. Ciò è dovuto principalmente al fatto che i criteri ed i metodi di 'traduzioni in linguaggio tattile di immagini visive', non erano ancora completamente codificati in ambito nazionale ed internazionale e le riproduzioni tattili sono state spesso realizzate manualmente da

Rocco Furferi, University of Florence, Italy, rocco.furferi@unifi.it, 0000-0001-6771-5981

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Rocco Furferi, *Oltre la vista: il ruolo del gruppo di Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale nel settore dei Beni Culturali*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.14, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 89-98, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

artisti e quindi molto dispendiose sia in termini di tempo che di denaro. La mancanza di criteri standardizzati diffusi per l'elaborazione di rappresentazioni tattili è testimoniata dalla presenza in letteratura di numerosi metodi di 'traduzione'. Fra questi quelli più diffusi sono quelli che convertono l'immagine in forma di 'diagramma tattile' o in forma di 'bassorilievo'.

A differenza dei 'diagrammi tattili', mappe che indicano la composizione delle figure, differenziando ed evidenziando eventualmente alcuni aspetti formali ma anche distintivi dell'opera, la riproduzione in forma di bassorilievo, riproducendo le forme presenti nel dipinto con rilievi diversi a seconda della posizione nella scena, è in grado di fornire informazioni aggiuntive sulla profondità della scena stessa. Questa metodologia di 'traduzione' dei dipinti è stata sviluppata per la prima volta a livello nazionale dal Museo tattile di pittura antica e moderna 'Anteros' di Bologna e si basa su sistemi 'tradizionali' in cui materie e processo creativo. Altre esperienze museali e non a livello nazionale ed internazionale che hanno introdotto questa metodologia di 'traduzione' sono: il progetto *Tac Tile Paintings for the Blind* presente all'Art Institute di Chicago, l'esposizione tattile al Birmingham Museum of Art in Alabama, il progetto *Chiaroscuro*, elaborato dal Centro internazionale del libro parlato A. Sernagiotto di Feltre in provincia di Belluno, gli Uffizi, La Pinacoteca Comunale di Ancona, il Museo diocesano Francesco Gonzaga di Mantova, il Museo civico d'arte di Pordenone, i Musei Vaticani a Roma, il Museo della fotografia Alinari a Firenze.

Visti gli studi presenti in letteratura e i diversi approcci proposti per la traduzione in forma tattile di opere d'arte bidimensionali, appare evidente come non esistessero fino al 2013 criteri condivisi e come sia stato quindi necessario svolgere ulteriori indagini per identificare le strategie di 'traduzione' più efficaci. In questo complesso quadro, i ricercatori della Sezione di Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale (IIND-03/B) del DIFEF hanno pensato di sviluppare una serie di metodi computerizzati per la realizzazione di bassorilievi tattili a partire da rappresentazioni bidimensionali quali quelle dei dipinti. Nel 2013, con il Progetto denominato *Ricostruzione Tridimensionale per non Vedenti di Opere d'arte pittoriche (T-VedO)*, finanziato dalla Regione Toscana su fondi PAR FAS REGIONE TOSCANA Linea di Azione 1.1.a.3, ambito disciplinare Scienze e tecnologie per la salvaguardia e la valorizzazione dei beni culturali, ha avuto inizio un lungo percorso volto allo sviluppo di numerose tecniche volte alla traduzione interattiva di opere d'arte impiegando sia metodi di ricostruzione al CAD della scena dipinta, sia tecniche di Stampa 3D per la realizzazione prototipale del bassorilievo tattile. La prima attività svolta dagli allora ricercatori Rocco Furferi e Yary Volpe, sotto la guida della Prof. Monica Carfagni e dell'allora ricercatore Lapo Governi, è stata quella di formalizzare attraverso prove sperimentali quale fosse la tipologia di riproduzione più adatta ad una fruizione da parte dei non vedenti. Questo obiettivo è stato perseguito realizzando un insieme di rappresentazioni tattili di due diversi dipinti e presentandole ad un gruppo di utenti non vedenti in modo da poter valutare il risultato ottenuto in termini di percezione dell'opera. Sono stati dunque selezionati due dipinti (Figura 50) interpretanti il soggetto iconografico della 'natura morta' eseguiti da due grandi maestri del 900: Fernando Botero (1932-2023) – *Natura morta con frutta*, 1989 e Giorgio Morandi (1890-1964) – *Natura morta I* (Buonamici et al. 2015).

Per ogni opera sono state realizzate quattro diverse rappresentazioni tattili (due diagrammi tattili e due pseudo-bassorilievi); in particolare: un modello con contorno in rilievo, dove gli oggetti raffigurati nei dipinti sono rappresentati per mezzo di linee in rilievo in corrispondenza dei contorni degli oggetti stessi, un modello con *pattern* testurizzato, simile al precedente ma in cui ciascun oggetto raffigurato è caratterizzato da una differente testurizzazione in rilievo, un bassorilievo a strati piatti, dove ciascun

oggetto raffigurato è rappresentato da uno strato piatto posto ad un'altezza opportuna rispetto allo sfondo ed il bassorilievo vero e proprio.



Figura 50 – A sinistra, *Natura morta con frutta*, Fernando Botero, 1989; a destra: *Natura morta I*, Giorgio Morandi, 1956.

Le opere sono state presentate ad un campione di persone non vedenti, con il contributo dell'Unione Italiana dei Ciechi e degli Ipovedenti, nella figura dell'allora Presidente della Sezione Provinciale di Firenze, Prof. Antonio Quatraro (n. 1946 - m. 2022). La fase di esplorazione tattile, nella quale sono stati fatti fruire i quattro modelli, si è articolata in una fase in completa autonomia senza alcun tipo di informazione e guida (*Fase I*), una fase in autonomia agevolata tramite una descrizione preliminare dell'opera (*Fase II*) e una fase di esplorazione guidata da un operatore esterno (*Fase III*). Ogni fase dello svolgimento del test si è conclusa con un questionario valutativo rivolto a sondare la comprensione dell'opera da parte del soggetto, che ha dimostrato come le riproduzioni di tipo «bassorilievo» siano quelle che favoriscono maggiormente la fruibilità dell'opera da parte dei non vedenti.

A partire da tali considerazioni è stato sviluppato un nuovo approccio al problema basato sull'implementazione di un procedimento semi-automatico per la ricostruzione della struttura spaziale della scena in opere d'arte pittoriche, con particolare riferimento alle rappresentazioni in prospettiva frontale tipiche del Rinascimento italiano. Impiegando tecniche di elaborazione dell'immagine, di visione artificiale e di Computer Vision, la scena dipinta dall'artista è trasformata in una rappresentazione tridimensionale semplificata (2.5D) in forma di bassorilievo, ove la posizione reciproca dei soggetti è fissata automaticamente in funzione della prospettiva. Lo strumento sviluppato è stato applicato a due casi studio di particolare importanza nel territorio fiorentino. Il primo caso studio selezionato è stato l'affresco intitolato *Guarigione dello Storpio e Resurrezione di Tabita* di Masolino da Panicale, situato nella Cappella Brancacci nella basilica di Santa Maria del Carmine a Firenze. L'opera, di dimensioni pari a circa 6x2,6 m, è databile attorno al 1424-25 e ritrae due miracoli di san Pietro (*Atti degli Apostoli* III, 1-10 e IX, 36-41). La scelta del secondo caso studio è invece ricaduta sull'*Annunciazione* (detta del «Corridoio Nord») dipinta dal Beato Angelico tra il 1440 ed il 1450 e situata nel Convento di San Marco a Firenze, che rappresenta indubbiamente una delle più apprezzate e conosciute opere dell'artista toscano (Figura 51).

La metodologia sviluppata è costituita da quattro fasi (Furferi et al. 2014) ed è di seguito illustrata facendo riferimento al primo caso studio (*Guarigione dello Storpio e Resurrezione di Tabita*):

Fase 1. Acquisizione ed elaborazione dell'immagine acquisita

L'immagine è stata acquisita utilizzando una camera ad alta risoluzione (*Canon EOS 6D – Reflex digitale da 20,2 megapixel con sensore full-frame*) e sono state successivamente utilizzate tecniche note dell'*image processing* volte ad eliminare sia l'aberrazione dovuta alle imperfezioni delle lenti che la distorsione prospettica.



Figura 51 – A sinistra, *Guarigione dello Storpio e Resurrezione di Tabita*, Masolino da Panicale, 1424 ca.; a destra, *Annunciazione*, Beato Angelico, 1440 ca.

Fase 2. Ricostruzione del bassorilievo a forme piatte

La fase di ricostruzione spaziale ha previsto una serie di operazioni schematizzabili come di seguito elencato:

- a) segmentazione preliminare dell'immagine acquisita in *cluster* (sviluppando un approccio ibrido ed interattivo basato su metodi di *Watershed segmentation* e *Mortensen's livewire*) e classificazione degli oggetti rappresentati (Figura 52a);
- b) individuazione del punto di fuga prospettico nell'immagine (Figura 52b);
- c) posizionamento nello spazio dei segmenti individuati;
- d) ricostruzione della *depth map* sfruttando le informazioni ricavate dall'analisi della prospettiva (Figura 52c) e ricostruzione della superficie a partire dalla *depth map*.

Fase 3. Modellazione 3D del bassorilievo digitale

Al fine di ottenere le forme arrotondate tipiche del bassorilievo sono stati inoltre sviluppati algoritmi innovativi basati sull'analisi della ombreggiatura (*Shape From Shading*) (Lapo et al. 2014). In particolare, sono state sviluppate le seguenti procedure:

- a) *Volume inflating* dei soggetti della scena con tecniche interattive (Figura 52d);
- b) Conversione della superficie in *mesh* triangolare solida (*file STL*) e generazione del modello digitale 3D completo (Figura 52e).

Fase 4. Conversione del modello virtuale in un modello fisico

Il modello virtuale è, infine, convertito in un modello fisico tramite l'impiego di macchine di prototipazione rapida (*Objet Eden 250™ – PolyJet™ technology*) al fine di renderlo fruibile ai non vedenti (Figura 52f).

Nelle Figure 53a e 53b sono mostrati, rispettivamente, il modello digitale e quello fisico dell'opera del Beato Angelico (*Annunciazione*), esposto insieme all'opera originale (Figura 53c).

A valle del completamento del progetto T-VedO, le tecniche sviluppate sono state ulteriormente implementate sia ampliando il numero di casi di studio, sia adottando differenti metodologie sulla base della tipologia di opera pittorica in esame.

Sono state in particolare esplorate e sviluppate metodologie basate su algoritmi di tipo *Shape From Shading* (SFS) in grado di ricavare la (presunta) forma 3D di un soggetto pittorico sulla base della sua ombreggiatura, su metodi di ottimizzazione (Puggelli et al. 2023), su metodi interattivi di *volume inflation* e su altre tecniche tipiche del Reverse Engineering. Sono numerose le opere d'arte per le quali è stata effettuata una ricostruzione sia virtuale che fisica (mediante stampa 3D); tra esse, sono di rilevante interesse artistico le seguenti:

- *Altare di Santa Lucia de' Magnoli* di Domenico Veneziano, Galleria degli Uffizi, Firenze;

- *Matrimonio mistico di Santa Caterina* di Ridolfo del Ghirlandaio, Villa La Quiete, Firenze;
- *Madonna con Bambino e Angeli* di Niccolò Gerini, Villa La Quiete, Firenze.

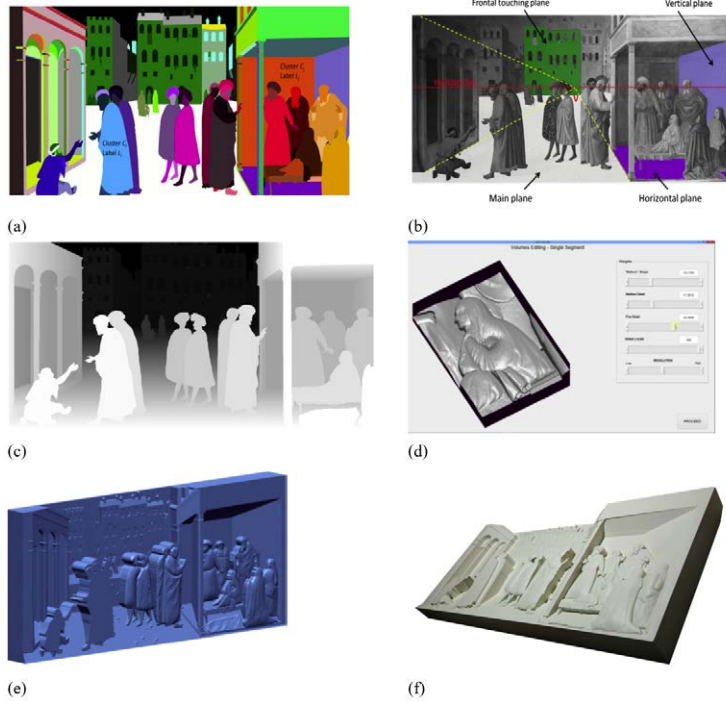


Figura 52 – a) Segmentazione dell’immagine digitale; b) Individuazione del punto di fuga prospettico; c) Ricostruzione della depth map; d) Volume inflating di alcuni soggetti della scena; modello digitale 3D dell’opera; prototipo fisico dell’opera (bassorilievo tattile).

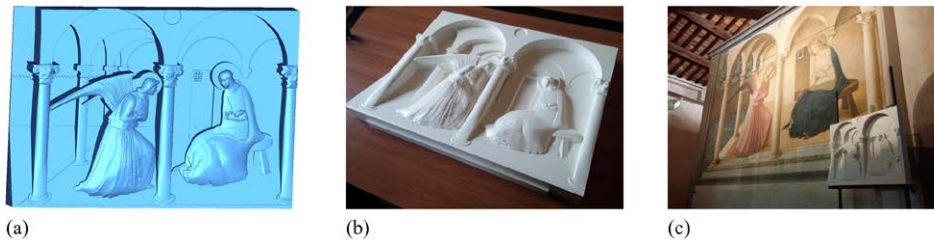


Figura 53 – a) Modello digitale full 3D dell’opera *Annunciazione* del Beato Angelico; b) Modello fisico stampato in 3D; c) Modello esposto presso il Museo di San Marco (Firenze).



Figura 54 – Ricostruzione 3D dell'opera *Altare di Santa Lucia de' Magnoli* di Domenico Veneziano.



Figura 55 – Ricostruzione 3D dell'opera *Matrimonio mistico di Santa Caterina* di Ridolfo del Ghirlandaio.

Oltre allo sviluppo dei metodi basati su CAD per la ricostruzione dei bassorilievi, i ricercatori della Sezione, soprattutto con il contributo di Luca Puggelli, Francesco Buonamici e Michaela Servi e sotto la guida dei Proff. Rocco Furferi e Yary Volpe, hanno sviluppato un sistema costituito da diversi moduli che concorrono alla corretta guida di soggetti non vedenti nell'esplorazione di dipinti tattili.



Figura 56 – Ricostruzione 3D dell'opera *Madonna con Bambino e Angeli* di Niccolò Gerini.

I suddetti moduli (Figura 57) constano in una *depth camera* RGB-D (in grado di acquisire in 3D le mani dell'utente), un *software* per tracciare la posizione delle mani, una serie di algoritmi in grado di rilevare la posizione del bassorilievo nello stesso sistema di riferimento definito dal sensore di acquisizione, una serie di algoritmi mirati a rilevare la posizione e la distanza della mano/dito dell'utente rispetto al modello, il modello digitale 3D del bassorilievo e un'appropriata descrizione verbale collegata agli oggetti/soggetti rilevanti nella scena (Figura 57) (Buonamici et al. 2016).



Figura 57 – A sinistra, moduli costituenti il sistema di esplorazione tattile; a destra, layout del sistema sviluppato.

Il sistema progettato, integrando le ultime metodologie e algoritmi, rappresenta un primo passo coerente nella costruzione di un sistema di assistenza (non ovviamente mirato a sostituire completamente l'assistenza umana) per aiutare BP nell'esplorazione tattile. Il bassorilievo è stato posizionato ad un'altezza di circa 1,2 m da terra e con un'inclinazione verso l'utente di 45°. Questa posizione è stata determinata come la più confortevole per l'utente, grazie alle informazioni raccolte dagli autori in test eseguiti insieme a un panel di persone non vedenti, nell'ambito del progetto T-VedO. A partire da questa configurazione, è stato possibile determinare le occlusioni introdotte nella scena dalla mano dell'utente (informazione fondamentale per posizionare il sensore visivo) e, quindi, individuare le aree adatte ad ospitare altri elementi del sistema. Il layout finale del prototipo proposto è quello raffigurato nella Figura 8b.

La tematica dell'inclusività dei non vedenti nell'ambito della fruizione di opere d'arte originariamente concepite solo per persone normovedenti è stata recentemente ripresa, insieme al tema della fruibilità di opere d'arte normalmente inaccessibili perché locate in punti non raggiungibili fisicamente o perché troppo delicate per una corretta esposizione museale, nell'ambito dei finanziamenti per il Piano nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) nell'ambito del Partenariato Esteso 5 (Missione 4 Componente 2 Investimento 1.3 – NextGenerationEU) denominato CHANGES – Cultural Heritage Active Innovation for Sustainable Society.

Coordinato da Sapienza – Università di Roma, il progetto promuove l'innovazione scientifico-tecnologica e lo sviluppo sostenibile del patrimonio culturale, connettendo ricerca di eccellenza, imprese, istituzioni e cittadini per creare una grande rete di riferimento in Italia su questi temi. Svolgiamo attività di supporto alla ricerca, alla formazione e al trasferimento tecnologico nell'ambito dei beni culturali, della cultura e della tutela del patrimonio storico-culturale. All'interno del Progetto, ed in particolare nello Spoke 4 denominato *Virtual Technologies for Museums and Art Collections*, i ricercatori del DIEF,

coordinati dal Prof. Furferi, stanno portando avanti l'attività di ricostruzione 3D di alcune opere d'arte pittoriche e di alcune fotografie storiche locate nel museo CSAC di Parma (Furferi et al. 2024). Nell'ambito del progetto, oltre alle tecniche di ricostruzione *CAD-based*, i ricercatori stanno anche implementando metodi basati sull'intelligenza artificiale (IA). In particolare, a partire dai modelli quali *DALL-E*, *Stable Diffusion*, e *Large Re-construction Model* (LRM) per la conversione da immagine singola a 3D, è stata testata la ricostruzione di due soggetti del dipinto *Guarigione dello Storpio e Resurrezione di Tabita* mediante il compendio di una descrizione testuale degli stessi, oltre che l'immagine digitale. I sistemi di IA utilizzati sono stati in grado di restituire un modello full 3D dei soggetti e non una restituzione in forma di bassorilievo tattile. I risultati apparentemente sorprendenti mostrati nella Figura 58 raffigurano un modello 3D abbastanza dettagliato dei due soggetti, ottenuto in meno di un'ora; pertanto, il metodo richiede meno tempo rispetto a quello deterministico sviluppato in passato. Tuttavia, il risultato è una combinazione di una mesh ricostruita con la sovrapposizione dei colori dei pixel (RGB); ciò ha l'effetto di rendere il modello 3D con una geometria sufficientemente dettagliata.



Figura 58 – A sinistra, modello digitale 3D dei soggetti presenti nella scena dell'opera; in centro, parti 'nascoste' dei soggetti dell'opera, interpretati dal sistema di IA; a destra, mesh del modello 3D.

Analoga tecnica è stata applicata per la ricostruzione tridimensionale di un'opera di arte contemporanea di Mario Sironi, *La giovinezza Uomo a cavallo* (cartone per il mosaico dell'Italia corporativa, Milano, Palazzo dei Giornali, 1936), cm. 316x317x4 Olio su carta intelata (Figura 59), per la quale è stato realizzato un modello digitale 2.5D pronto ad essere realizzato per Prototipazione Rapida. Il Prof. Furferi ha ricevuto nel 2024 a Roma il Premio CHANGES AWARD per il contributo del gruppo di ricerca nel settore dei beni culturali.

Visto l'elevato interesse da parte dei ricercatori della Sezione nel settore dei Beni Culturali, a partire dal 2018 e con cadenza biennale, i Proff. Rocco Furferi, Lapo Governi e Yary Volpe hanno organizzato, con il supporto del Salone dell'Arte ed il Restauro di Firenze, una Conferenza internazionale dal titolo *Florence Heritech*, giunta nel 2024 alla sua quarta edizione.

La Conferenza ha l'obiettivo di promuovere la mobilità europea e la cooperazione tra studenti e personale specializzato dei musei al fine di migliorare lo sviluppo dell'Europa come società multiculturale e incoraggiare il concetto che la ricerca scientifico-culturale deve essere parte integrante della società. Promuove inoltre reti internazionali tra università, istituti di formazione e aziende per creare opportunità di collaborazione a lungo termine e dimostra l'influenza delle nuove tecnologie nelle arti e come possono essere utilizzate per un insegnamento e un apprendimento innovativi. Dalla Conferenza è originata anche

una Special Issue pubblicata sul prestigioso *Heritage Science Journal* della Springer, a cura di Rocco Furferi, Maria Perla Colombini (Università di Pisa), Kate Seymour (Stichting Restauratie Atelier Limburg (SRAL), Netherlands), Anna Pelagotti (European Research Council (ERC), Belgium), Francesco Gherardini (Università di Modena e Reggio Emilia).



Figura 59 – *La giovinezza Uomo a cavallo* di Mario Sironi insieme al Modello 2.5D ricostruito.

Nell'ambito della Conferenza, diversi ricercatori della Sezione hanno presentato lavori inerenti allo sviluppo di tecnologie per i beni culturali non solo nel contesto della ricostruzione di opere d'arte per non vedenti ma anche nello sviluppo di sistemi di scansione 3D Laser per l'acquisizione in alta risoluzione di opere d'arte (Figura 60a), nell'impiego di dispositivi di scansione 3D per la ricostruzione di opere architettoniche (Figure 60b e 60c) e per il recupero di opere distrutte dalla guerra (Figura 60d). Il lavoro svolto dai ricercatori del DIEF rappresenta un significativo passo avanti verso l'inclusività nel campo della fruizione delle opere d'arte da parte delle persone non vedenti. Grazie allo sviluppo di tecniche avanzate di ricostruzione 3D e alla collaborazione con enti e progetti internazionali, è stato possibile realizzare bassorilievi tattili di grande precisione, rendendo accessibili capolavori pittorici e scultorei in modi innovativi.



Figura 60 – a) Sviluppo di scanner 3D Laser per la scansione di opere d'arte; b) Ricostruzione digitale della facciata della Chiesa San Giovanni Battista di Matera; c) Ricostruzione 3D del perduto Leone di Nimrud; d) Ricostruzione 3D della Statua della Maddalena Penitente (Donatello) – Museo dell'Opera del Duomo.

Questo percorso, avviato con il progetto T-VedO e proseguito in ambito PNRR, ha aperto nuove strade per l'impiego della tecnologia a supporto del patrimonio culturale e dell'inclusione sociale, dimostrando come le tecniche ingegneristiche tipiche del settore industriale possano essere applicate con successo anche in ambiti completamente diversi quale quello, estremamente rilevante per il territorio fiorentino, dei Beni Culturali.

In futuro, ci si aspetta un'evoluzione significativa delle tecnologie utilizzate per rendere l'arte accessibile ai non vedenti, grazie a nuovi strumenti di intelligenza artificiale e di elaborazione digitale. Il lavoro del DIEF e di altri istituti continuerà a sviluppare metodologie sempre più raffinate, come l'uso di algoritmi di Computer Vision e modelli IA avanzati, per trasformare le opere bidimensionali in esperienze tattili tridimensionali sempre più accurate. Inoltre, si prevede un'espansione dei progetti collaborativi nell'ambito del PNRR e di altri programmi internazionali, come CHANGES, volti a connettere ricerca scientifica, istituzioni culturali e imprese, per promuovere l'innovazione tecnologica applicata ai beni culturali. L'uso di strumenti come la stampa 3D e sistemi basati su IA potrà ridurre i tempi e i costi di traduzione tattile delle opere, rendendo questi approcci più ampiamente disponibili.

Nel 2025, il Prof. Furferi ha ricevuto il premio CHANGES Award – Cultural Heritage Active Innovation for Next-Gen Sustainable Society, Patrimonio Culturale al Futuro (2025) Per il Progetto T-VedO: Beyond Sight: 3D Reconstruction of paintings for tactile exploration.

Riferimenti bibliografici

- Buonamici, F. et al. 2015. "Making Blind People Autonomous in the Exploration of Tactile Models: A Feasibility Study." In M. Antona, C. Stephanidis (eds.). *Universal Access in Human-Computer Interaction: Access to Interaction (Part II)*, 82-93. Springer International.
- Buonamici, F. et al. 2016. "Are We Ready to Build a System for Assisting Blind People in Tactile Exploration of Bas-Reliefs?." *Sensors* 16(9): 1-16.
- Furferi, R. et al. 2014. "Tactile 3D Bas-Relief from Single-Point Perspective Paintings: A Computer Based Method." *Journal of Information and Computational Science* 11(16): 5667-80.
- Furferi, R. et al. 2024. "Enhancing Traditional Museum Fruition: Current State and Emerging Tendencies." *Heritage Science* 12.
- Lapo, G. et al. 2014. "Digital Bas-Relief Design: A Novel Shape from Shading-Based Method." *Computer-Aided Design and Applications* 11(2): 153-64.
- Puggelli, L. 2023. "ARTE – Augmented Readability Tactile Exploration: The Tactile Bas-Relief of Piazza San Francesco Painting." In R. Furferi et al. *The Future of Heritage Science and Technologies. Florence Heri-Tech 2022*, 113-26. Springer Nature Switzerland.

Mobilità e sicurezza dei veicoli: il contributo della sezione di Costruzioni di Macchine

Dario Vangi

La mobilità e la sicurezza stradale costituiscono tematiche che interessano e coinvolgono tutti i cittadini e il sistema Paese, influenzando in modo diretto ed indiretto sulla qualità della vita. Si pensi alle problematiche legate al traffico, all'inquinamento acustico e dell'aria, all'incidentalità e alle ricadute sulla salute ed economiche. Il DIEF si occupa da oltre vent'anni di mobilità e sicurezza stradale sotto gli aspetti normativi, sperimentali, progettuali e applicativi, attraverso più gruppi di lavoro, che hanno dato vita a laboratori congiunti, interdipartimentali, gruppi di ricerca, spesso individuati come riferimenti per la ricerca e l'innovazione nel settore. Le ricerche svolte hanno dato luogo a pubblicazioni e presentazioni in importanti convegni internazionali, con risultati ottenuti all'interno di progetti finanziati da Unione Europea (UE), enti nazionali e regionali. Le ricadute sul territorio sono rilevanti sia dal punto di vista dell'avviamento di nuove realtà aziendali che dalla contribuzione sul piano normativo, formativo e di collaborazione con importanti industrie del settore.

Mobilità

Nell'ambito della mobilità, le attività svolte dal DIEF si sono articolate in ricerche inerenti alle seguenti tematiche.

Veicoli a guida autonoma

Il gruppo coordinato dal Prof. Renzo Capitani, in collaborazione con lo *spin-off* Meccanica 42 srl, svolge attività sulla guida autonoma che rappresenta un passo fondamentale verso l'incremento dell'efficienza dei trasporti e la diminuzione del carico mentale per i conducenti, con importanti risvolti anche dal punto di vista della sicurezza della circolazione. Dal punto di vista dei costruttori auto, questo nuovo paradigma comporta un differente approccio alla progettazione del veicolo: gli aspetti caratterizzanti

Dario Vangi, University of Florence, Italy, dario.vangi@unifi.it, 0000-0002-7881-0586

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Dario Vangi, *Mobilità e sicurezza dei veicoli: il contributo della sezione di Costruzioni di Macchine*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.15, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 99-109, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

non sono più tanto legati alle componenti installate (i cui aspetti tecnici sono sempre più demandati ai fornitori di componentistica), quanto al modo in cui queste vengono fatte interagire tra di loro. In altre parole, nella definizione del prodotto e, di conseguenza, nella composizione del valore proposto ai clienti finali, il ruolo del software è diventato predominante rispetto agli hardware di bordo. Nasce quindi l'esigenza di sviluppare una catena di strumenti ben definita, che consenta alle case costruttrici e ad altre realtà del settore automotive di creare sinergia tra il mondo della simulazione e la sperimentazione sia su strada che in laboratorio. Questa missione è resa possibile tramite l'uso di banchi prova, ossia componenti veicolari reali e di speciali centraline aperte in grado di sbloccare funzionalità avanzate dei veicoli. Meccanica 42, nata come *spin-off* dell'Università di Firenze, si inserisce in questo contesto proponendo sul mercato dispositivi meccanici a controllo elettronico, progettati per estendere in modo significativo le capacità di sperimentazione di costruttori e fornitori di componentistica. Questa accelerazione dei processi di sviluppo è ottenuta facendo leva sulle tecniche real-time, che permettono il continuo scambio di dati tra misure sperimentali e simulazioni numeriche. I dispositivi di Meccanica 42 sono raggruppati in due linee di prodotto: banchi prova real-time, che permettono la sperimentazione di componenti reali su vetture virtuali (tipicamente simulatori di guida) e dispositivi integrati per la prototipazione rapida di funzionalità su veicoli reali (tipicamente prototipi).

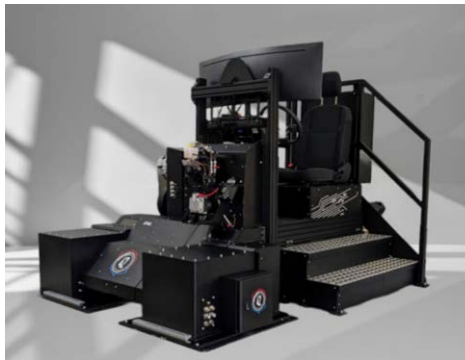


Figura 61 – Banco prova con simulatore di guida realizzato da Meccanica 42.

Con forti legami col DIFE, Meccanica 42 rappresenta un motore di progresso tecnologico, grazie a strumenti e metodologie che permettono di abbattere la necessità di effettuare prove su strada con benefici significativi in termini di efficienza e sostenibilità, garantendo al contempo la sicurezza degli sviluppatori. Nell'ambito delle collaborazioni con il mondo accademico è stato costituito il Laboratorio Congiunto denominato «Dispositivi mecatronici per lo sviluppo di sistemi e strategie di controllo in ambito automotive» quale esempio di collaborazione strategica tra università e industria. I risultati della ricerca di Meccanica 42 sono costantemente tradotti in prodotti, che vengono applicati nei processi di sviluppo di importanti costruttori e fornitori di componentistica automotive a livello globale. L'attività di innovazione è documentata dalle numerose pubblicazioni sulle più prestigiose riviste di settore e dalla partecipazione attiva a convegni e conferenze internazionali.

Ricadute sul territorio

La creazione di un'azienda *spin-off* sul territorio come Meccanica 42, fondata da giovani ricercatori e in grado di generare nuove opportunità economiche e occupazionali,

svolge un ruolo fondamentale nella trasformazione e nella crescita del settore industriale locale, favorendo inoltre il trasferimento di conoscenze e tecnologie dall'accademia al mondo produttivo.

Mobilità sostenibile in ambito urbano

Le grandi città affrontano sfide significative nel campo della mobilità, come congestione, inquinamento, difficoltà di parcheggio e alto consumo energetico. La mobilità urbana del futuro si orienta verso l'adozione di fonti di energia rinnovabile, con l'obiettivo di ridurre le emissioni e migliorare la qualità della vita dei cittadini. Sebbene la mobilità elettrica, in particolare le auto elettriche, si presenti come una soluzione promettente, non riesce a risolvere del tutto le problematiche legate al traffico e al consumo di energia. È fondamentale, perciò, limitare l'uso delle auto per gli spostamenti brevi e incentivare forme di mobilità sostenibile come l'uso di biciclette e mezzi elettrici, per migliorare l'ambiente e rendere i trasporti più efficienti. Le ricerche svolte dal gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Dario Vangi si concentrano sul mondo della micromobilità elettrica, considerando non solo lo sviluppo di veicoli più sostenibili, ma anche servizi che ne favoriscano l'uso e la diffusione. Ciò include l'implementazione di sistemi di *sharing*, stazioni di ricarica rapida fotovoltaiche, *swapping* delle batterie e lo sviluppo di nuove batterie, progettate per essere più sostenibili in termini di durata, materiali, riutilizzo e riciclo. Il fine è incentivare l'utilizzo di mezzi di trasporto a «emissioni zero» e allo stesso tempo ridurre il traffico veicolare e migliorare la sicurezza stradale. In tale ambito, le ricerche del DIEF sono svolte all'interno di progetti finanziati dalla Comunità Europea e da altri Enti, e sono oggetto di pubblicazioni su riviste scientifiche del settore. Le ricerche hanno riguardato:

- Lo sviluppo di un sistema di *battery swapping* per bici elettriche, nell'ambito del progetto MONDOBIKE, finanziato da Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze nel 2015 e 2017. L'idea innovativa è basata sull'utilizzo di veicoli leggeri con condivisione della sorgente energetica (batteria), ovvero del *battery sharing*; altro elemento innovativo è che i veicoli, attraverso un sistema elettronico integrato, possono misurare e comunicare in tempo reale informazioni sulla qualità dell'aria, sulle abitudini degli utenti e sulla viabilità. Tali informazioni vanno a costituire un *database* per il supporto ai decisori in tema di viabilità (riduzione del traffico, nuove piste ciclabili, ecc.) e per la collocazione di opportune stazioni intelligenti per la gestione della sorgente energetica. Il sistema è stato oggetto di brevetto.
- Lo sviluppo di un nuovo tipo di microveicolo, condotto nell'ambito del progetto LEONARDO e del progetto IN-MOB, entrambi finanziati dalla UE. Il progetto mira a promuovere la micromobilità sostenibile attraverso lo sviluppo di un nuovo veicolo elettrico leggero, monoutente. Il veicolo è un ibrido tra un monopattino ed un monoruota, con struttura in carbonio riciclato e motore innovativo (il veicolo è oggetto di brevetto). Il veicolo ha caratteristiche di leggerezza (peso di 10 kg) per potere essere trasportato facilmente su mezzi pubblici, in auto, in ufficio o a casa senza lasciarlo sul marciapiede, ha una guida divertente basata sul movimento avanti e indietro del manubrio per accelerare o frenare, permettendo di sfruttare tutta l'aderenza disponibile per il mezzo e avere ridotti spazi di frenata col movimento del corpo. La ruota anteriore grande (14» e 16»), assieme alla particolare forma delle forche, rende il veicolo ammortizzato e sicuro sulle asperità del terreno. Attualmente il veicolo è stato prodotto in 150 esemplari che stanno compiendo una sperimentazione in 5 città europee (Bruxelles, Zagabria, Roma, Madeira, Palermo), mentre una nuova versione a tre ruote sarà sperimentata anche a Firenze con 30 esemplari, distribuiti tra gli studenti dell'Ateneo.



Figura 62 – Veicolo LEONARDO sviluppato nel corso dell'omonimo progetto europeo.

- Lo sviluppo di batterie più sostenibili, all'interno del progetto LIFE2M, finanziato dalla UE. Il progetto mira a incentivare e a rendere più sostenibile, sia dal punto di vista ambientale che economico, l'utilizzo della micromobilità elettrica urbana attraverso lo sviluppo e dimostrazione di componenti tecnologici, tra cui accumulatori basati su supercapacitori ibridi, la loro integrazione su veicoli in sharing con le nuove batterie e stazioni di ricarica ultrarapida fotovoltaiche. I supercapacitori presentano una densità di energia comparabile alle celle al litio ma hanno una durata in termini di cicli di carica e scarica molto maggiore (riducendo drasticamente il problema del riciclo) e contengono meno materiali come il litio. L'applicazione di questi nuovi elementi tecnologici sarà svolta coinvolgendo 60 studenti dell'ateneo fiorentino che potranno utilizzare i veicoli per un periodo di due anni, oltre che a L'Aquila e Palermo.
- Sviluppo di una bicicletta elettrica nell'ambito del progetto IN-MOB, finanziato dalla UE, a bassissimo impatto ambientale, in materiale di riciclo costituito da uno stratificato di legno/carbonio di riciclo, un innovativo sistema di alimentazione basato su supercapacitori ibridi invece che su celle agli ioni di litio, un innovativo motore elettrico. Il veicolo è in fase di prototipazione e ne saranno realizzati 30 esemplari che saranno testati a Palermo, Madeira e Firenze.



Figura 63 – Prototipo della bicicletta elettrica del progetto IN-MOB.

Ricadute sul territorio

All'interno del piano di mobilità sostenibile dell'Ateneo sono state sviluppate 8 stazioni di ricarica da installare in diverse sedi dell'Ateneo e sistemi di comunicazione tra batterie, stazioni e gestore, dispositivi per la misura della qualità dell'aria e vengono

testati diversi kit di conversione di biciclette muscolari in biciclette a pedalata assistita. L'implementazione del progetto prevede l'offerta del servizio di battery sharing per gli studenti e dipendenti dell'Università fiorentina. 60 esemplari di veicolo, suddivisi tra biciclette elettriche e monopattino LEONARDO con supercapacitori ibridi, saranno inoltre utilizzati a Firenze da studenti e personale universitario, al fine di analizzare l'impatto dei microveicoli nella mobilità urbana, nella riduzione delle emissioni e nell'incentivazione alla migrazione dai veicoli tradizionali a veicoli ad impatto zero.

Sicurezza stradale

Per produrre soluzioni efficaci e di utilità per tutti i coinvolti, il problema della sicurezza stradale deve essere affrontato attraverso un approccio integrato che coinvolge l'analisi delle cause degli incidenti e la formazione dei tecnici, la progettazione dei veicoli e tenendo sempre in considerazione i tre attori principali: il guidatore, il veicolo e la strada. Il DIEF ha esaminato questa tematica sotto ciascuno di questi aspetti, attraverso le seguenti attività.

Analisi e ricostruzione degli incidenti stradali

L'analisi e la ricostruzione degli incidenti stradali rappresentano strumenti fondamentali per determinare le cause degli eventi. Queste attività non solo forniscono una comprensione dettagliata delle dinamiche degli incidenti, ma sono altresì essenziali per individuare le responsabilità dei coinvolti e supportare gli amministratori della giustizia in ambito giudiziario. Attraverso l'uso di tecniche avanzate di analisi dei dati, simulazioni computerizzate e l'esame attento delle prove fisiche, i tecnici sono in grado di ricostruire gli eventi che hanno portato a un incidente. In quest'ottica, le ricerche del DIEF svolte dal gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Dario Vangi, mirano allo sviluppo e validazione di procedure e strumenti sia utili nell'ambito giudiziario, sia atte ad individuare aspetti critici dell'insieme guidatore-veicolo-strada per la sicurezza stradale. Le attività del DIEF in questo campo hanno riguardato lo studio di metodi di calcolo per la ricostruzione della dinamica degli incidenti, studi sul comportamento ad impatto dei veicoli a due, tre e quattro ruote, anche con prove al vero in apposite piste, accompagnati da una attività didattica post-laurea dedicata ai tecnici dell'ambito giudiziario e automotive, nonché dalla costituzione di uno *spin-off* in grado di sfruttare a livello commerciale i risultati della ricerca. Le ricerche del DIEF in tale contesto hanno riguardato:

- Analisi del comportamento ad urto dei veicoli. Questa attività è stata svolta attraverso la realizzazione di una apposita pista per prove di *crash* in scala reale, nel Polo Universitario di Sesto Fiorentino. Questa pista ha offerto la possibilità di effettuare prove di diverso tipo, ad esempio prove di impatto di autoveicoli contro barriera fissa, impatti auto-auto, impatti tra motocicli e auto, tra motocicli e barriera fissa, tra auto e pedoni, prove di caduta e strisciamento a terra di motorini, prove di frenata. I dati raccolti nelle numerose campagne di prova svolte hanno permesso di comprendere meglio i fenomeni legati alle deformazioni dei veicoli e alle modalità e configurazioni degli impatti. Questa comprensione ha portato allo sviluppo di modelli sia di ricostruzione a posteriori degli incidenti sia previsionali delle conseguenze attese in possibili incidenti e del rischio lesivo per gli occupanti dei veicoli. I risultati delle ricerche hanno avuto una ricaduta attraverso una intensa attività didattica, svolta tra il 2002 e il 2016 sia con corsi di perfezionamento post-laurea che con master di II livello, offerta ai tecnici operanti nell'ambito giudiziario



Figura 64 –Impatto tra auto e barriera inclinata a 45° su pista di crash (sinistra), impatto tra motociclo e auto (destra).

nazionale ed internazionale, sia con attività didattiche espressamente organizzate da case automobilistiche, forze di polizia e assicurazioni. Nell'ambito di queste attività formative, i partecipanti hanno spesso assistito allo svolgimento di prove di crash e sono stati coinvolti nelle misurazioni e rilievi in prima persona. Inoltre, i dati ottenuti nelle campagne di prova sperimentali sono in parte stati raccolti in un *database*, utile per i tecnici che vengono chiamati in ambito giudiziario per ricostruire gli incidenti.

Le attività di ricerca svolte dal DIEF hanno permesso anche di definire e circoscrivere le conoscenze necessarie al tecnico per ricostruire un incidente stradale in ambito giudiziario. In collaborazione con le associazioni dei periti, è stata redatta la norma UNI 11294 «Qualificazione dei tecnici per la ricostruzione e l'analisi degli incidenti stradali», applicata attualmente per la certificazione dei tecnici.

- Metodi di rilievo degli incidenti stradali. Il rilievo degli incidenti stradali è un compito affidato per legge agli operatori di polizia stradale, ma viene condotto anche dai periti o consulenti durante le analisi svolte per ricostruire l'incidente in ambito giudiziario. Poiché la ricostruzione di un incidente si basa sui dati rilevati subito dopo il sinistro, tale attività riveste un ruolo cruciale per potere ottenere dati realistici. Tali dati sono utilizzati non solo nell'ambito giudiziario per le azioni risarcitorie o di individuazione delle responsabilità penali, ma anche per l'analisi volta al miglioramento della sicurezza stradale. È infatti solo con la conoscenza analitica delle modalità dell'incidente, dei parametri cinematici e dinamici, della risposta dei veicoli, delle lesioni verificatesi e della configurazione dell'infrastruttura che permette di sviluppare azioni correttive o migliorative sulla sicurezza. A tal fine, il DIEF ha condotto diverse attività sperimentali, anche con l'utilizzo della pista di *crash* al vero, per analizzare i resti e le tracce dell'incidente e definire le modalità e i protocolli ottimali per il loro rilievo. Inoltre, sono stati sviluppati metodi strumentali e *software* di rilievo delle deformazioni dei veicoli e delle tracce sulla strada. Tali attività sono state svolte anche in collaborazione con l'Associazione nazionale per la Ricerca e l'Analisi degli Incidenti Stradali (ASAIS-EVU) e le forze di Polizia Stradale e Municipale di Firenze. Le procedure di rilievo sviluppate hanno costituito la base per la redazione, congiuntamente del DIEF, delle forze di Polizia e delle associazioni dei periti giudiziari, della normativa UNI 11472 «Rilievo degli incidenti stradali – Modalità di esecuzione». La normativa prescrive gli elementi di un incidente da rilevare e la loro indicazione a livello descrittivo, planimetrico e fotografico.

Ricadute sul territorio

I risultati della ricerca sugli incidenti stradali, oltre ad essere stati oggetto di pubblicazioni su riviste internazionali, hanno costituito la base per la costituzione di uno *spin-off* universitario, Atena S.r.l., che attualmente commercializza un *software* per la ricostruzione degli incidenti basato sui risultati delle ricerche iniziali del DIEF e sviluppa attrezzature e strumenti per la rilevazione degli incidenti da parte degli operatori di polizia stradale e giudiziaria e per i tecnici. I corsi di formazione svolti fino ad oggi in merito all'analisi dei sinistri e alla sicurezza stradale hanno coinvolto enti locali come la Polizia Municipale di Firenze e la Polizia Municipale di Prato, anche attraverso interventi resi disponibili in *streaming* al resto della comunità a mezzo di canali informatici.

Sicurezza dei veicoli pesanti

Nel presente periodo di transizione verso la guida autonoma, un contributo fondamentale alla sicurezza stradale è rappresentato dall'uso a bordo veicolo di sistemi di ausilio alla guida. In quest'ottica, uno studio del DIEF, svolto dal gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Marco Pierini e promosso dall'Associazione Lorenzo Guarnieri Onlus ha analizzato il miglioramento della sicurezza ottenibile dall'impiego di sistemi di ausilio alla guida per veicoli pesanti. I risultati hanno permesso di identificare numerose soluzioni tecnologiche che hanno il potenziale di ridurre significativamente il numero e la gravità degli scontri originati da veicoli pesanti. Successivamente, la seconda fase dello studio ha avuto come obiettivo quello di valutare i benefici in termini di costi sociali ed economici dell'introduzione, dopo la commercializzazione dei veicoli, dei sistemi installati sui mezzi pesanti su scala nazionale. Tale studio ha permesso di dimostrare la convenienza economica, oltre che sociale, dell'introduzione di questi sistemi sul parco circolante. Si sono inoltre svolte sperimentazioni su di un veicolo pesante di proprietà del DIEF per valutare l'efficacia di sistemi commerciali installati post-vendita. Lo studio è stato inoltre il punto di origine per la realizzazione di un altro importante progetto del DIEF con un forte impatto sul territorio fiorentino: *ARTEMIS*, finanziato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Pistoia e Pescia, vede la partecipazione di Alia Servizi Ambientali spa, l'azienda partecipata che gestisce la raccolta di rifiuti nelle province di Firenze, Pistoia e Prato. *ARTEMIS* mira a migliorare la sicurezza dei veicoli pesanti impiegati nelle aree urbane densamente popolate da pedoni e altri utenti vulnerabili. Grazie alla collaborazione con il DIEF, Alia spa ha dotato i propri mezzi d'opera di innovativi sistemi di ausilio alla guida basati su telecamere e sistemi di avvertimento conducente per la copertura degli angoli ciechi, al fine di limitare scontri stradali gravi e fatali avvenuti in passato con pedoni e ciclisti.

Ricadute sul territorio

I risultati degli studi svolti hanno permesso all'Associazione Lorenzo Guarnieri di promuovere la diffusione e l'uso dei sistemi di ausilio alla guida per veicoli pesanti nel territorio fiorentino e nazionale. Nel breve periodo, la collaborazione con Alia sviluppata in *ARTEMIS* proseguirà con un'analisi dei benefici in termini di sicurezza prodotta nei territori di Firenze, Pistoia e Prato grazie all'implementazione dei sistemi a bordo della flotta.

Sicurezza delle moto

Negli ultimi due decenni, la sicurezza motociclistica è stata oggetto di approfondita ricerca a livello europeo; presso il DIEF si è sviluppato uno dei principali gruppi di ricer-

ca su questa tematica, coordinato dal Prof. Giovanni Savino, con collaborazioni scientifiche estese a livello europeo ma anche con la partecipazione delle principali aziende italiane del settore. La ricerca ha toccato temi più classici, ormai consolidati in ambito automobilistico ma non ancora in quello motociclistico, e parallelamente altri più avveniristici. Nel primo filone sono stati sviluppati dispositivi per la sicurezza passiva del motociclista, cioè in grado di proteggerlo durante un incidente. Un esempio è il concetto di airbag frontale per motociclette e scooter. Questo dispositivo, ormai presente su tutte le auto commercializzate negli ultimi decenni, è altamente innovativo nella sua applicazione alle moto. Infatti, il conducente non è trattenuto nella posizione di guida da un dispositivo di sicurezza; deve essere, pertanto, attentamente valutato l'effetto prodotto dalla presenza dell'airbag sulla traiettoria del motociclista, per essere certi che la protezione offerta in alcune configurazioni di incidente non generi conseguenze negative in altre situazioni. Inoltre, i tempi a disposizione per la rilevazione dell'impatto e l'apertura dell'airbag sono molto brevi, ponendo ulteriori sfide tecnologiche.

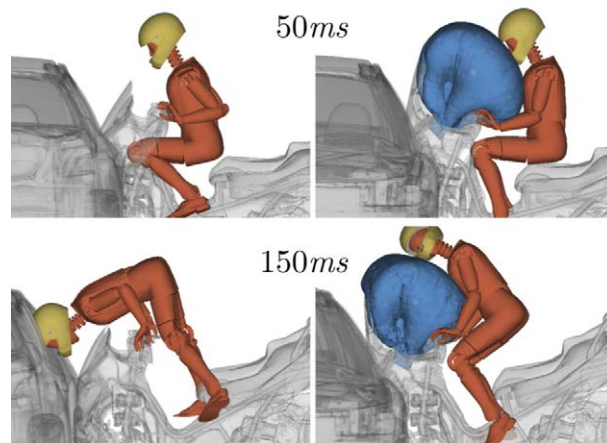


Figura 65 – Protezione offerta da un airbag frontale per scooter.

Gli impatti laterali di altri veicoli sulla moto possono causare lesioni fortemente invalidanti, sebbene non mortali, per il conducente. Il gruppo di ricerca si è quindi focalizzato sullo studio di dispositivi di protezione delle gambe del motociclista in questi scenari mediante due soluzioni: la prima con protezioni integrate in un telo coprigambe e la seconda basata su airbag laterali. Lo studio, ancora nella fase di sviluppo concettuale, vuole mitigare e perfino annullare le lesioni in scenari di impatto urbano con velocità fino a 30 km/h.

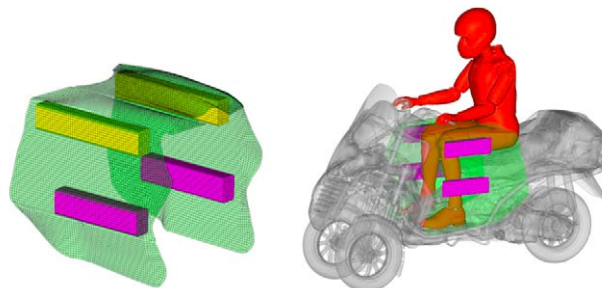


Figura 66 – A sinistra, concept #1 di sistema di protezione per gambe (sinistra); a destra, relativa installazione su veicolo.

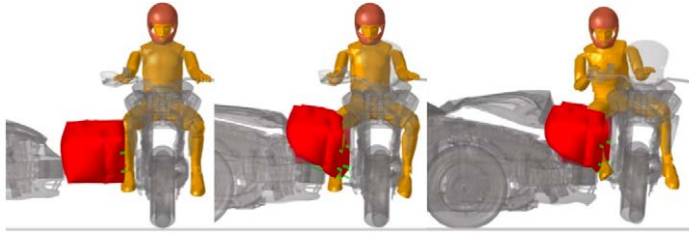


Figura 67 – Concept #2 di sistema di protezione per gambe (dispositivo con airbag laterali).

Nei primi anni Duemila, l'esigenza di individuare contromisure per contrastare l'elevato numero di morti e feriti gravi tra gli utenti delle due ruote ha spinto i ricercatori del DIEF ad avviare un filone di ricerca dedicato ai sistemi di sicurezza per motocicli. Si trattava di cercare risposta a domande sulla fattibilità e sull'utilità di tecnologie di assistenza alla guida pensate specificamente per moto e *scooter*. Da lì a pochi anni, nel 2010, il DIEF ed i partner europei del consorzio PISA presentarono il primo prototipo di motociclo dotato di frenata automatica di emergenza. Questo mezzo era capace di riconoscere un ostacolo e di attivare una frenata autonoma senza che la stabilità di guida venisse compromessa. Nel corso degli anni sono stati affrontati numerosi aspetti correlati al sistema, tra cui l'applicabilità della frenata di emergenza a situazioni reali, i benefici attesi in termini di riduzione delle lesioni in caso di scontro, le logiche utili a stabilire il corretto istante di attivazione, l'intensità della frenata automatica, le tipologie di motociclo che possono beneficiare di un sistema di questo tipo. Al gruppo di Firenze si sono via via affiancati importanti partner internazionali, tra cui in Australia il Centro di ricerca sugli scontri stradali della Monash University di Melbourne, il CASRR dell'Università di Adelaide, in Europa il gruppo di ricerca della Technical University Darmstadt e, negli Stati Uniti, il Virginia Tech. Recentemente le indagini sono state sostenute anche da industrie del settore automobilistico e motociclistico. Il culmine della ricerca si è raggiunto con l'esecuzione della più rilevante indagine sperimentale pubblica nell'ambito del progetto europeo PIONEERS. Cinquantaquattro guidatori hanno preso parte alla campagna prove. Le oltre mille attivazioni automatiche del freno sono risultate sempre gestibili, sia che l'intervento avvenisse in rettilineo, sia nei casi di intervento in curva o durante un cambio corsia. Attualmente, oltre che sulla frenata, la ricerca è focalizzata sulla possibilità di sterzare la motocicletta per evitare completamente una collisione imminente.

Una ricerca pluriennale si è poi focalizzata sullo sviluppo di soluzioni innovative per caschi motociclistici, conclusasi con la concessione di un brevetto europeo. Essendo il casco il dispositivo di protezione più diffuso, si è voluto trasformarlo in un sistema intelligente, capace di valutare potenziali lesioni al cervello in tempo reale dopo un incidente. Ciò è stato reso possibile dall'installazione di una rete di sensori nella calotta del casco e dalla loro integrazione con un modulo di Intelligenza Artificiale, capace di stimare le accelerazioni a cui è stato sottoposto il cervello durante l'impatto. Il sistema può comunicare verso l'esterno per attivare in modo automatico una chiamata di emergenza volta a ridurre i tempi di intervento dei mezzi di soccorso ed informarli della gravità delle lesioni, in modo da minimizzare le possibili conseguenze per il motociclista.

Ricadute sul territorio

La decennale collaborazione del DIEF con l'Associazione Lorenzo Guarnieri Onlus ha permesso di approfondire diversi temi di ricerca rilevanti per la realizzazione di

azioni di miglioramento della sicurezza stradale nel territorio Fiorentino. La ricerca in merito alla sicurezza offerta dai caschi motociclistici ha permesso poi di definire in modo chiaro la maggiore capacità protettiva dei caschi integrali, in particolar modo per la prevenzione delle lesioni facciali e al cervello. Il lavoro ha permesso di intraprendere azioni di promozione all'uso del casco da parte dell'Associazione, sottoforma di formazione e promozione alla sostituzione di vecchi caschi motociclistici con modelli integrali più sicuri.

Sicurezza delle biciclette

Per lo sviluppo di sistemi per la sicurezza dei veicoli a pedalata assistita, svolto nell'ambito del Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile MOST, è fondamentale comprendere le diverse tipologie e modalità di incidenti per questa tipologia di veicolo. A tal fine, è necessario adottare una metodologia sistematica che analizza gli scontri stradali mediante un approccio multidisciplinare, integrando competenze provenienti da discipline diverse, come l'ingegneria, il design ed il diritto civile. Tra le contromisure più promettenti, i sistemi di sicurezza attiva rivestono un importante ruolo: progettati per monitorare l'ambiente circostante e individuare situazioni critiche, possono avvisare i ciclisti di un'imminente collisione o persino intervenire in maniera tempestiva ed efficace sui comandi del mezzo, ad esempio attivando in modo automatico i freni. All'interno del consorzio nazionale del progetto MOST, il gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Niccolò Baldanzini ha il compito di sviluppare un sistema di sicurezza attivo da installare su biciclette a pedalata assistita e da testare con prove sperimentali sia su strada che in aree di prova dedicate.

Ricadute sul territorio

Le attività di ricerca condotte dal DIEF sono utili allo sviluppo di una mobilità più sicura nei vari contesti urbani. Con la diminuzione della frequenza degli scontri gravi, il progetto contribuisce a creare un ambiente più sicuro per ciclisti e pedoni. La ricerca nel contesto del MOST permette di elaborare linee guida utili per un uso più sicuro e consapevole dei mezzi leggeri a pedalata tradizionale e a pedalata assistita, promuovendone l'uso da parte della popolazione locale. Anche grazie alla collaborazione con enti locali all'interno del Centro, si aprono opportunità per promuovere iniziative volte al consolidamento della cultura della sicurezza tra i cittadini, un aspetto fondamentale per garantire un impatto duraturo sulle loro abitudini quotidiane.

Sicurezza in ambito ferroviario

La manutenzione periodica dei treni è fondamentale per garantire l'efficienza del trasporto ferroviario: da un lato, prevenire guasti meccanici è fondamentale per scongiurare il rischio di incidenti in questo settore, talvolta catastrofici; dall'altro, dall'affidabilità del veicolo dipende l'efficienza del sistema di trasporto in termini di puntualità dei viaggi. Le verifiche sui treni riguardano i componenti soggetti a carichi variabili affaticanti e, in particolare, i componenti rotanti come assi e ruote; per garantire la completa operatività del mezzo anche dopo le verifiche, queste devono essere condotte tramite tecnologie di ispezione non distruttiva che non modifichino l'integrità strutturale dei componenti soggetti a controllo.

Le attività del DIEF in questo campo, svolte all'interno del gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Dario Vangi, si sono focalizzate sullo sviluppo di sistemi di controllo

non distruttivo per componenti rotanti, in particolare su assi ferroviari. Prima all'interno del progetto STILUS e poi nel contesto del progetto MAGNUM (cofinanziati rispettivamente da Fondazione CR Firenze e da Regione Toscana), il DIEF ha sviluppato assieme ad altre ditte del territorio fiorentino un macchinario in grado di ispezionare in maniera automatica le varie sezioni di un asse ferroviario. Il sistema utilizza una sorgente laser per innescare onde ultrasonore sulla superficie dell'asse, che vengono poi rilevate da un apposito sensore in aria. L'innovazione consta nella possibilità di utilizzare sorgenti e rivelatori non a contatto per l'ispezione: oltre ad una significativa riduzione nel tempo necessario alla verifica, l'assenza di contatto con il componente garantisce un maggior grado di ripetibilità nelle valutazioni rispetto a tecniche tradizionali, in cui gli operatori fanno aderire manualmente i sensori al componente nelle varie zone da ispezionare.

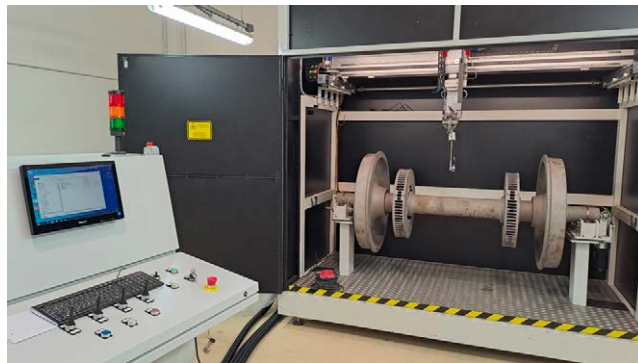


Figura 68 –Macchinario per l'ispezione automatizzata degli assi ferroviari con tecniche laser-ultrasuoni.

Ricadute sul territorio

La principale ricaduta in questo contesto corrisponde al trasferimento tecnologico delle soluzioni sviluppate alle tre aziende locali coinvolte nel progetto MAGNUM, attualmente concentrate sull'ottimizzazione e sull'industrializzazione del macchinario per una sua commercializzazione su scala nazionale e internazionale, comportando incrementi di fatturato e di forza lavoro sul territorio.

Chimica@DIEF: buone collaborazioni danno ottimi frutti

*Andrea Caneschi, Paola Paoli, Patrizia Rossi, Giulia Serrano,
Martina Lippi, Alberto Privitera*

La chimica ed i chimici sono una presenza costante e consolidata nel Dipartimento fin dal 1983, anno in cui nasce il Dipartimento di Energetica (DE) «grazie alla volontà e all'impegno del Prof. Sergio Stecco» (al quale verrà intitolato dopo la sua scomparsa) e che darà vita nel 2013, insieme al Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali, all'attuale Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF). Il contributo dei ricercatori dell'area chimica al Dipartimento è stato ed è anche adesso a tutto tondo, a cominciare da quello di carattere istituzionale: il Prof. Paolo Dapporto ha ricoperto il ruolo di direttore del DE (1998-2000); il Prof. Andrea Caneschi è Responsabile della Sezione Chimica e Tecnologia dei Materiali (2021-); la Prof.ssa Patrizia Rossi è Delegata del Dipartimento per l'internazionalizzazione (2023-); la Prof.ssa Paola Paoli è Presidente del Comitato di indirizzo e Autovalutazione del DIEF. L'attività di ricerca è focalizzata sullo studio delle correlazioni strutturali di classi differenti di composti e materiali e sullo studio della chimica e della scienza dei materiali di nuove molecole che sfruttano lo spin elettronico come sorgente di informazione. Diverse e fruttuose sono state e sono tuttora le collaborazioni nate sia nel territorio fiorentino sia nel territorio nazionale ed internazionale con università, enti di ricerca ed aziende.

All'interno di queste collaborazioni, il Gruppo di Chimica Strutturale e Proprietà Molecolari, contribuisce con lo studio e la caratterizzazione strutturale di forme solide di composti e materiali attraverso metodiche sperimentali, quali diffrazione di raggi-X da cristallo singolo (SC-XRD, Figura 68) e da polveri microcristalline (P-XRD), fluorescenza di raggi-X (XRF), microtomografia computerizzata (μ -CT), *hot-stage microscopy* (HSM), calorimetria a scansione differenziale (DSC), termogravimetria (TGA)

Andrea Caneschi, University of Florence, Italy, andrea.caneschi@unifi.it, 0000-0001-5535-3469

Paola Paoli, University of Florence, Italy, paola.paoli@unifi.it, 0000-0002-2408-4590

Patrizia Rossi, University of Florence, Italy, p.rossi@unifi.it, 0000-0003-3495-0031

Giulia Serrano, University of Florence, Italy, giulia.serrano@unifi.it, 0000-0001-7953-7780

Martina Lippi, University of Florence, Italy, martina.lippi@unifi.it, 0000-0003-2861-332X

Alberto Privitera, University of Florence, Italy, alberto.privitera@unifi.it, 0000-0002-7062-8077

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Andrea Caneschi, Paola Paoli, Patrizia Rossi, Giulia Serrano, Martina Lippi, Alberto Privitera, *Chimica@DIEF: buone collaborazioni danno ottimi frutti*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.16, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 111-116, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

e metodiche computazionali (data mining, *molecular modelling*) allo scopo di individuare le correlazioni struttura-proprietà.

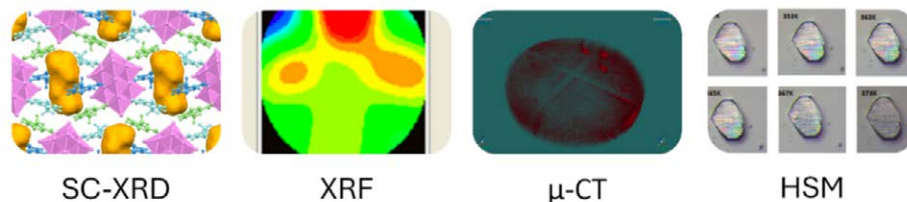


Figura 69 Esempi di immagini ricavate da studi SC-XRD, XRF, μ -CT e HSM.

Relativamente alle collaborazioni portate avanti dal gruppo, vorremmo ricordare, a titolo di esempio, la collaborazione con Menarini (che vanta una durata più che trentennale), iniziata sotto la responsabilità scientifica del Prof. Dapporto, prima con Menarini Ricerche S.p.A. e proseguita poi con la Prof.ssa Paoli ed attualmente con la Prof.ssa Rossi con A. Menarini Manufacturing Logistics and Services s.r.l. e con Lu-sochimica S.p.A. (società del gruppo Menarini). I risultati di tali collaborazioni, che hanno riguardato lo studio delle forme solide cristalline di principi attivi farmaceutici (*Active Pharmaceutical Ingredients, API*) e più in generale di molecole aventi interesse farmacologico, sono stati oggetto di numerose pubblicazioni su riviste internazionali (Rossi et al. 2021).

Infatti, in ambito farmaceutico lo studio, la caratterizzazione e la razionalizzazione delle correlazioni tra struttura tridimensionale e proprietà delle forme solide degli API o candidati API sono cruciali per selezionare la forma solida con le migliori caratteristiche quali solubilità, bio-disponibilità, punto di fusione, comprimibilità, ecc. Tali studi sono fondamentali anche per ridurre i rischi di cambiamenti della forma solida durante le fasi di sviluppo del farmaco (stabilità nel tempo e al variare delle condizioni ambientali con conseguente possibile amorfizzazione, formazione di polimorfi e/o solvatomorfi) che inevitabilmente causano costi aggiuntivi, problemi brevettuali e ritardi nel programma di sviluppo del farmaco. Il know-how sviluppato da ambo le parti nel corso di queste collaborazioni ha consentito di partecipare con successo a bandi emessi dalla Regione Toscana,^{1,2} oltre che dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze nonché alla stesura di tesi di laurea di studenti dell'Ateneo fiorentino. Lo stesso gruppo ha negli anni intrapreso una serie di collaborazioni con aziende operanti nel campo della produzione di tessuti tecnici e della rifinitura di tessuti del distretto pratese. Tra queste, particolarmente fruttuosa si è rivelata la collaborazione decennale con Rifinitura Santo Stefano S.p.A., azienda con sede a Prato, leader del settore, che si è svolta nell'ambito di diversi progetti anch'essi finanziati dalla Regione Toscana³ e,

¹ "TEDD – Sviluppo di farmaci innovativi per la terapia del dolore." POR CREO FESR 2007-2013 (linea di intervento 1.1.c), 2011.

² "API@cocristalli - Sviluppo di nuovi cocristalli in ambito farmaceutico." Bando per "Progetti di alta formazione attraverso l'attivazione di Assegni di Ricerca", nell'ambito di Giovanisi (www.giovanisi.it), il progetto della Regione Toscana per l'autonomia dei giovani, 2021.

³ Considerando il settore tessile nella sua globalità le quote di mercato detenute dalla Rifinitura Santo Stefano sono del 25-30% all'interno del distretto tessile pratese, del 5% a livello nazionale per tessuti lanieri e del 2% per tessuti cotonieri. "SMART: Materiali per la regolazione termica attiva dei tessuti - Smart Materials for Active-thermal Regulation Textiles." Bando della Regione Toscana, "Aiuti allo sviluppo sperimentale", 2012. "GO3 Green – Green Ozone Treatments for textile facto-

più di recente, del progetto ECO2WASH finanziato dal MISE (Ministero dello Sviluppo Economico)⁴, di cui è responsabile scientifico per il DIEF la Prof.ssa Rossi. Oltre al Gruppo di Chimica Strutturale e Proprietà Molecolari che si occupa dello studio e dell'identificazione di eventuali modifiche strutturali/morfologiche dei tessuti sottoposti a procedure di lavaggio innovative eco-sostenibili e delle correlazioni con proprietà quali il cambiamento nella «mano» e di altre proprietà meccaniche fondamentali per un tessuto, nel progetto sono coinvolti anche colleghi ingegneri del Dipartimento afferenti al gruppo di Ingegneria dei Materiali ed ad altre sezioni (Analisi numerica, Costruzioni e Tecnologie Meccaniche, Fisica Tecnica e Controllo Ambientale, Macchine) che, tramite un approccio multidisciplinare, forniscono indicazioni utili volte al miglioramento dei parametri di processo (es. minimizzazione dei costi energetici, scelta dei materiali componenti l'impianto, ecc.).

Per quanto riguarda la ricerca di base, numerose e consolidate sono le collaborazioni con ricercatori delle Università di Urbino, Catania, con l'ICCOM-CNR di Firenze e più di recente con l'Università Federale del Paraná (Curitiba, Brasile) (Camilo et al. 2024) e, nell'ambito del progetto CLEAN AIR (*Low dimensional Coordination poLymErs for VOC Adsorption and AIR remediation*, finanziamento PRIN 2022), con il Politecnico di Milano e con l'ICCOM-CNR di Pisa (la Prof.ssa Paoli è responsabile dell'UdR di Firenze).

In tutti i casi i risultati delle ricerche sono in larga parte ottenuti anche grazie alla strumentazione messa a disposizione dal Centro di Cristallografia Strutturale dell'Università di Firenze (CRIST), un centro di servizi all'avanguardia sia per quanto riguarda la strumentazione che per le competenze del suo personale tecnico, a cui il dipartimento afferisce fin dalla sua costituzione (1989) e che ha contribuito a fondare insieme al Dipartimento di Chimica e al Dipartimento di Scienze della Terra sotto la spinta del Prof. Dapporto che ne è stato a lungo Presidente. L'impegno dei chimici del DIEF per sostenere la crescita e lo sviluppo del CRIST è continuato con la Prof.ssa Paoli sotto la cui presidenza il CRIST ha arricchito la propria dotazione in termini strumentali e di unità di personale, grazie ad importanti finanziamenti ottenuti nell'ambito del bando Ricerca Scientifica e Innovazione Tecnologica dell'Ente Cassa Risparmio di Firenze. Più di recente la Prof.ssa Rossi, attualmente rappresentante del DIEF (insieme al collega Prof. Galvanetto) in seno al Comitato Direttivo del Centro, ha coordinato con successo la richiesta di finanziamento per l'acquisizione di un diffrattometro per polveri munito di una camera calda per fare misure al variare della temperatura (fondamentali per studiare la stabilità delle fasi cristalline). L'impegno dei ricercatori del Gruppo di Chimica Strutturale e Proprietà Molecolari nella promozione della cristallografia a tutto tondo continua nella comunità cristallografica sia in ambito nazionale che internazionale. Le Prof.sse Paoli e Rossi, infatti, hanno ricoperto ruoli in seno al Consiglio di Presidenza dell'Associazione Italiana di Cristallografia (AIC) e hanno curato il programma scientifico di congressi AIC, infine hanno curato l'organizzazione del congresso IUCr (International Union of Crystallography) a Firenze nel 2005 (la Prof.ssa Paoli è stata Presidente del Comitato Organizzatore Locale) che ha visto la partecipazione di oltre 3000 ricercatori, di cui 3 Premi Nobel. La Prof.ssa Paoli, inoltre, ha

ry: Ricerca e sviluppo di trattamenti eco-sostenibili con ozono su tessuti a base cellulosica e laniera.” Bando Regione Toscana “POR FESR 2014-2020 – Bando 2”, 2017. “BioZyme - Ricerca e sviluppo di trattamenti eco-sostenibili con enzimi su tessuti a base cellulosica e laniera.” Bando Regione Toscana “POR FESR 2014-2020 – Bando 2”, 2020.

⁴ “ECO2WASH-Ricerca e sviluppo di un processo di lavaggio di tessuti con CO₂ senza impiego di acqua, prodotti chimici e solventi.” Accordi di Innovazione D.M. 31 Dicembre 2021 e D.D. 18 Marzo 2022.

curato il programma di microsimsposi in congressi internazionali (IUCr) ed europei (ECA). Attualmente la Dott.ssa Martina Lippi (RTDA afferente al DIFE nel settore CHEM-06A) riveste il ruolo di Chair del Gruppo Giovani Cristallografi Italiani e collabora nell'organizzazione in loco della International School of Crystallography, un appuntamento di grande rilievo didattico per coloro che si avvicinano alla cristallografia.

Per quanto riguarda i ricercatori DIFE che fanno parte del Laboratorio di Magnetismo Molecolare, laboratorio a ponte tra il DIFE e il Dipartimento di Chimica dell'Università di Firenze, tramite l'Unità di Ricerca Interdipartimentale «*Materials Characterisation LAB*» – MATCHLAB, questi si occupano principalmente del campo emergente riguardante la Scienza dell'Informazione Quantistica. Questa, utilizzando i principi della fisica quantistica, cerca di sviluppare tecnologie capaci di rivoluzionare l'elaborazione e la trasmissione delle informazioni. Le sue applicazioni spaziano dalla computazione quantistica alla crittografia e sensing, con un potenziale di trasformazione significativo in numerosi settori, tra i quali l'ottimizzazione dei processi industriali e le energie rinnovabili. Questi temi rivestono un'importanza notevole a livello regionale e nazionale, dove l'Italia è in prima linea nella ricerca e nello sviluppo di queste tecnologie, con centri di eccellenza come, a livello internazionale, l'iniziativa europea *Quantum Flagship*, avviata nel 2018, che sostiene la ricerca e l'innovazione nel campo delle tecnologie quantistiche, evidenziando l'importanza della ricerca di materiali quantistici ben oltre i confini italiani. In questo campo in rapida crescita, i ricercatori DIFE si dedicano allo studio della chimica e della scienza dei materiali di nuove molecole che sfruttano lo spin elettronico come sorgente di informazione. Queste unità, conosciute come quantum bit o *qubit*, rappresentano gli analoghi quantistici dei bit classici, che sono alla base di dispositivi di uso quotidiano, come cellulari e computer. Rispetto ai *qubit* tradizionali, solitamente basati su materiali superconduttori (come le giunzioni di Josephson) e semiconduttori (come le vacanze di silicio), le molecole offrono numerosi vantaggi (Figura 70a): consentono un controllo delle proprietà a livello molecolare tramite la sintesi chimica, sono riproducibili su larga scala e garantiscono stabilità, permettendone la deposizione in maniera organizzata su superfici.

Affinché queste molecole siano efficaci come *qubit*, devono soddisfare criteri rigorosi e talvolta antitetici, che richiedono un'ingegnerizzazione e uno studio approfondito delle loro proprietà. Fin dai suoi albori, la sezione ha contribuito all'ingegnerizzazione di nuove molecole magnetiche con proprietà di spin ottimali per tali applicazioni. Dalla scoperta del primo magnete molecolare al mondo (Sessoli et al. 1993; Tesi et al. 2016) (Figura 70b) allo studio di complessi organometallici con tempi di coerenza eccezionali, anche a temperatura ambiente, e selettività di spin per l'implementazione di operazioni quantistiche avanzate (Ranieri et al. 2023a; 2023b) (Figura 70c), la ricerca pionieristica ha posizionato il gruppo tra i leader internazionali del settore. Essendo un ambito multidisciplinare, particolare attenzione è stata prestata non solo alla sintesi, ma anche alla caratterizzazione spettroscopica tramite tecniche magnetiche, come la spettroscopia di risonanza magnetica elettronica e la magnetometria SQUID (lett. «dispositivo superconduttore a interferenza quantistica»). Lo studio delle proprietà in stato solido dei cristalli molecolari è stato fondamentale per comprendere come le proprietà magnetiche variano in funzione dell'orientazione delle molecole rispetto al campo magnetico esterno. In questo contesto, l'analisi delle strutture tramite diffrazione a raggi X e la correlazione tra proprietà magnetiche e strutturali si sono rivelate essenziali.

Negli anni, il gruppo ha ampliato le proprie linee di ricerca, concentrando una parte significativa dei propri sforzi sull'analisi delle proprietà di *qubit* molecolari depositati su superfici. Questo rappresenta un passo cruciale nello sviluppo di tecnologie quantistiche a stato solido. L'analisi delle interazioni all'interfaccia tra molecole

magnetiche e superfici, come oro e grafene, richiede tecniche altamente specializzate, capaci di rilevare molecole a livello di singola unità (Figura 70d). A tal fine, grazie a diversi finanziamenti italiani ed europei, il gruppo ha allestito laboratori avanzati per l'analisi mediante microscopia a scansione tunneling e spettroscopie di fotoemissione. Il gruppo ha inoltre regolarmente accesso, tramite proposte progettuali, a sessioni di tempo-macchina (*beamtime*) ai sincrotroni, consentendo studi ad alta risoluzione e precisione delle proprietà strutturali, chimiche, magnetiche ed elettroniche delle architetture molecolari multi-spin interfacciate sulle superfici solide. Grazie a questa ricerca, il gruppo ha ulteriormente consolidato la sua posizione a livello internazionale, guidando pubblicazioni chiave su riviste di alto impatto, incluse quelle della famiglia *Nature* (Figura 70e) (Serrano et al. 2020; 2022), che hanno rivelato un particolare meccanismo sensoriale da parte dei depositi molecolari rispetto alla transizione dei materiali alla fase superconduttiva.

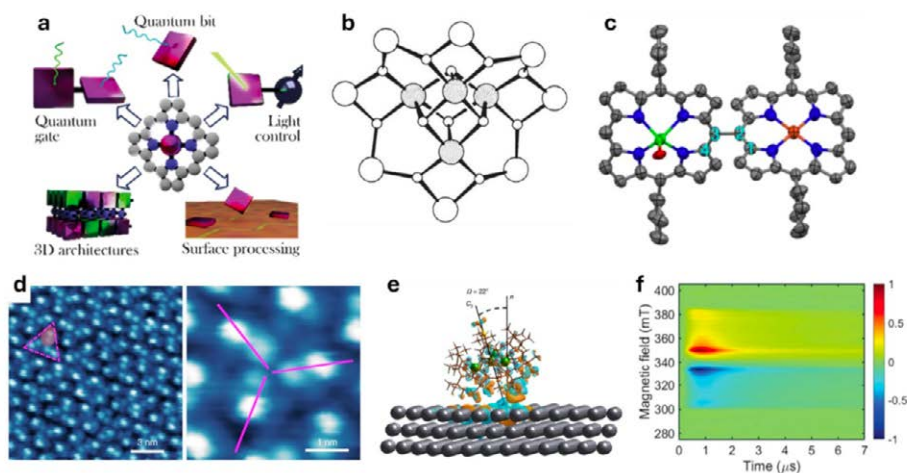


Figura 70 – a) Criteri di Di Vincenzo soddisfatti dai qubit molecolari a base di porfirine (Santanni, Privitera 2024a); b) Rappresentazione schematica del cluster di Mn_{12} ; c) Struttura chimica del dimero porfirinico eterometallico $Cu(II)-VO(IV)$; d) Immagini STM del submonostrato Fe_4SMe su $Pb(111)$ a diversi ingrandimenti; e) Struttura stabile di Fe_4SMe su $Pb(111)$; f) Spettro di risonanza magnetica elettronica risolta nel tempo dello stato di tripletto fotoeccitato della porfirina.

Tale scoperta ha aperto un nuovo filone di ricerca focalizzato sulle interazioni molecola-superconduttori che è stato oggetto di recenti finanziamenti ed attualmente in corso. Negli ultimi anni, la ricerca di nuove funzionalità nei *qubit* molecolari ha spinto il gruppo a indagare nuovi fenomeni quantistici basati sull'uso della chiralità e della luce. Questo progresso è stato possibile grazie al riconoscimento ricevuto attraverso prestigiosi finanziamenti europei. In particolare, nell'ambito della Marie Curie Global, il progetto *Photodriven Spin Selectivity in Chiral Organic Molecules and Devices* condotto da Alberto Privitera, ha ulteriormente ampliato l'attenzione del gruppo sui processi indotti dalla luce in *qubit* molecolari (Figura 70f). Risultati scientifici recenti hanno suggerito la possibilità di sviluppare tecnologie quantistiche a temperature significativamente più elevate (a partire dall'azoto liquido e oltre) rispetto a quelle normalmente richieste, che si basano sull'utilizzo dell'elio liquido (Chiesa et al. 2023; Privitera et al. 2024b). Inoltre, l'impiego della luce e l'attrazione di giovani ricercatori provenienti da

università prestigiose, come l'Università di Oxford, hanno permesso di diversificare gli interessi di ricerca della sezione verso nuove tecnologie, incluso il fotovoltaico. Questo ha portato alla pubblicazione di articoli ad alto impatto (Privitera et al. 2022; Wang et al. 2023; Jungbluth et al. 2024), contribuendo significativamente allo sviluppo delle energie rinnovabili a rendendo gli interessi della sezione sempre più interdisciplinari e integrati con il territorio fiorentino.

Riferimenti bibliografici

- Chiesa, A. et al. 2023. "Chirality-Induced Spin Selectivity: An Enabling Technology for Quantum Applications." *Adv. Mater.* 35: 2300472.
- Jungbluth, A. et al. 2024. "Limiting Factors for Charge Generation in Low-Offset Fullerene-Based Organic Solar Cells." *Nat. Commun.* 15: 5488.
- Missina, J. et al. 2024. "Exploring the Interaction of Decavanadate with Methylene Blue, Toluidine Blue and Rhodamine B." *New J. of Chem.* 48: 14873-83.
- Privitera, A. et al. 2024. "Room-Temperature Optical Spin Polarization of an Electron Spin Qudit in a Vanadyl - Free Base Porphyrin Dimer." *Journal of the American Chemical Society* 147(1): 331-41.
- Ranieri, D. et al. 2023a. "A Heterometallic Porphyrin Dimer as a Potential Quantum Gate: Magneto-Structural Correlations and Spin Coherence Properties." *Angew. Chem. Int. Ed.* 62: e202312936.
- Ranieri, D. et al. 2023b. "An Exchange Coupled Meso-Meso Linked Vanadyl Porphyrin Dimer for Quantum Information Processing." *Chem. Sci.* 14: 61-69.
- Rossi, P. et al. 2020. "Relationships between Anhydrous and Solvated Species of Dextetropfen Trometamol: A Solid-State Point of View." *Cryst. Growth and Des.* 20: 226-36.
- Rossi, P. et al. 2021. "Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drugs-1-Phenylethylamine Diastereomeric Salts: A Systematic Solid-State Investigation." *Cryst. Growth and Des.* 21: 6947-60.
- Sessoli, R. et al. 1993. "Magnetic Bistability In A Metal-Ion Cluster" *Nature* 365: 141-43.
- Tesi, L. et al. 2016. "Quantum Coherence In A Processable Vanadyl Complex: New Tools For The Search Of Molecular Spin Qubits" *Chem. Sci.* 7: 2074-83.

Scienza dei materiali e ingegneria dell'innovazione

*Emanuele Galvanetto, Francesca Borgioli, Stefano Caporali,
Rosa Taurino, Nicola Calisi*

Il gruppo di ricerca di Scienza e Tecnologia dei Materiali del Dipartimento di Ingegneria (DIEF) si occupa già da più di 40 anni dello studio dei materiali sia per attività di ricerca che per consulenza a terzi.

Fin dai primi anni 2000 il gruppo di ricerca è stato attivo nello studio dei trattamenti di nitrurazione a bassa temperatura sugli acciai inossidabili, in particolare sugli acciai inossidabili austenitici. Questo tipo di trattamento consente di incrementare la durezza superficiale degli acciai inossidabili, e quindi la loro resistenza a usura, mantenendo o addirittura aumentando la loro resistenza a corrosione grazie alla formazione delle cosiddette fasi espanse. L'interesse per questi trattamenti è molto cresciuto negli ultimi anni in ambito internazionale, e il gruppo ha dato il suo contributo nell'approfondire le condizioni di formazione delle fasi espanse e lo studio delle loro caratteristiche (Borgioli et al. 2005; Fossati et al. 2011; Stio et al. 2016; Borgioli 2022), pubblicando numerosi articoli sull'argomento. In particolare, per la prima volta ha applicato la nitrurazione a bassa temperatura su un acciaio della serie 2xx (AISI 202) (Borgioli et al. 2010) ed ha dimostrato che è possibile nitrurare acciai inossidabili austenitici Ni-free senza pregiudicare la loro resistenza a corrosione (Borgioli et al. 2018). Recenti studi hanno riguardato anche gli acciai inossidabili ferritici e la formazione delle fasi espanse in questa tipologia di materiali (Borgioli et al. 2024). Lo studio dei trattamenti di nitrurazione a bassa temperatura sugli acciai inossidabili per usi industriali e nell'ambito biomedico è stato finanziato anche da contributi dell'Ente Cassa di Risparmio di Firenze grazie ai progetti «Applicazione di trattamenti innovativi per la modificazione superficiale di acciai inossidabili» e «Trattamenti innovativi di modificazione superficiale di acciai inossidabili austenitici per applicazioni biomediche», in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Biochimiche dell'Università Firenze (ora Dipartimen-

Emanuele Galvanetto, University of Florence, Italy, emanuele.galvanetto@unifi.it, 0000-0003-1742-6836

Francesca Borgioli, University of Florence, Italy, francesca.borgioli@unifi.it, 0000-0003-3779-1662

Stefano Caporali, University of Florence, Italy, stefano.caporali@unifi.it, 0000-0002-5673-0462

Rosa Taurino, University of Florence, Italy, rosa.taurino@unifi.it, 0000-0001-7834-9948

Nicola Calisi, University of Florence, Italy, nicola.calisi@unifi.it, 0000-0001-5060-859X

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Emanuele Galvanetto, Francesca Borgioli, Stefano Caporali, Rosa Taurino, Nicola Calisi, *Scienza dei materiali e ingegneria dell'innovazione*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.17, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 117-122, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

to di Scienze Biomediche, Sperimentali e Cliniche Mario Serio), l'Istituto dei Sistemi Complessi (ISC) del CNR e della ditta Cecchi s.r.l. (Firenze).

Grazie ai contributi ricevuti dall'Ente Cassa di Risparmio di Firenze è stato possibile arricchire la strumentazione del laboratorio con un potenziostato/galvanostato (Reference 3000, Gamry) per lo studio del comportamento a corrosione, un rugosimetro a tastatore per la misura della rugosità superficiale (Talysurf Intra, Taylor Hobson) e un dispositivo per la valutazione della bagnabilità superficiale (PG-X, Fibro System AB).

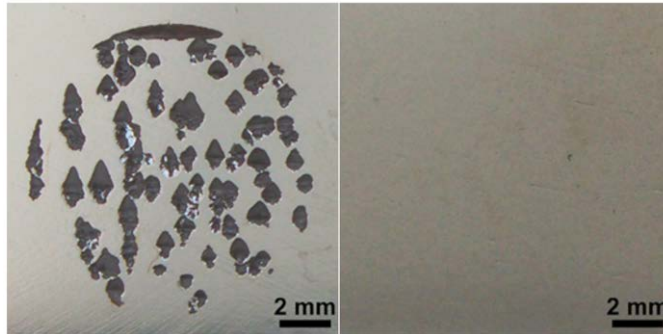


Figura 71 – A sinistra, acciaio inossidabile AISI 316L non trattato e, a destra, nitruato, dopo prova potenziodinamica per valutare la resistenza a corrosione in soluzione di cloruro di sodio.

Successivamente, a partire dal 2018, il gruppo di ricerca ha ampliato le sue tematiche includendo lo studio di film galvanici e processi di anodizzazione, partecipando, sia come responsabile di progetto sia come partner, a tre progetti finanziati dalla Regione Toscana all'interno del bando POR CREO – FESR 2014-20. In particolare, per i progetti CERTIX ed EL4ALL, il gruppo ha ricoperto il ruolo di responsabile scientifico, mentre per il progetto THIN-FASHION ha partecipato come partner. In particolare, il progetto CERTIX aveva come obiettivo quello di realizzare uno strumento per il controllo direttamente in linea produttiva dello spessore di film galvanici. Per quanto riguarda il progetto EL4ALL, questo si prefiggeva di sviluppare nuovi processi galvanici basati sull'utilizzo di DES (deep eutectic systems) in particolare di elettrodeposizione di alluminio e di processi di anodizzazione dell'alluminio e del titanio (Gabellini et al. 2023). Questo processo ha permesso di acquisire competenze specifiche sui processi di anodizzazione e di sviluppare processi per il controllo non solo morfologico, ma anche strutturale delle superfici metalliche. I risultati ottenuti in questo ambito hanno permesso di ottimizzare i bagni di anodizzazione a base di glicole etilenico, che si sono dimostrati più efficaci e versatili rispetto ai bagni tradizionali nella regolazione del rapporto anatase/rutilo, oltre che nelle dimensioni dei cristalliti e nello spessore dello strato di anodizzazione. Questi studi hanno portato alla pubblicazione di contributi scientifici (Gabellini et al. 2020) e all'avvio di collaborazioni industriali.

Importante anche il progetto THIN-FASHION con lo studio e realizzazione, di film sottili di metalli nobili per l'industria della moda e del lusso consentendo l'acquisizione, all'interno del laboratorio congiunto MatchLab, di uno strumento magnetron sputtering per la deposizione CVD di film sottili (Martinuzzi et al. 2022). Tale implementazione strumentale ha permesso un notevole potenziamento dell'attività di deposizione dei film sottili e studi sull'utilizzo di perovskiti ibride come materiali per applicazioni optoelettroniche e fotovoltaiche. Tale pionieristica attività ha permesso di ottenere diversi finanziamenti da parte di Ente Cassa di Risparmio (Borri et al. 2020):

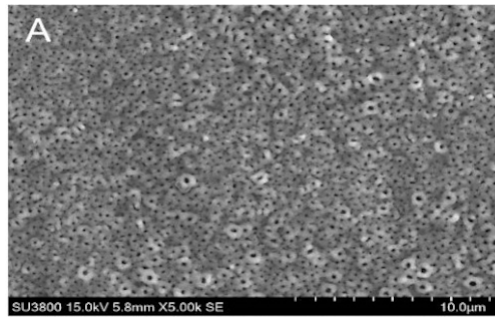


Figura 72 – Immagine SEM di TiO₂ (anatase) nanostrutturato ottenuto per anodizzazione.

- Progetto «Sviluppo di materiali nanostrutturati per la valorizzazione delle produzioni locali nel campo delle energie rinnovabili»;
Progetto «**EFFUSE** – Materiali ad effetto magnetico in fotoreazioni su superfici» finanziato da (Id progetto: 46394);
- Progetto: «**SUPPORto**» – Sintesi di nuove perovskiti senza piombo per applicazioni ottiche e fotovoltaiche. (Id progetto: 24047).

Sempre nell'ambito dei progetti Regione Toscana, il gruppo di ricerca ha avuto la possibilità di collaborare con aziende del comprensorio grazie al progetto Metal-Ink, finanziato all'interno del bando POR-FESR 2014-20 (Bando 1) con la partecipazione di realtà industriali del territorio toscano. Scopo del progetto era la messa a punto di un nuovo processo per la decorazione sia dei materiali metallici utilizzati in ambito moda e fashion, che di materiali ceramici avanzati. I risultati del progetto hanno portato alla presentazione di un brevetto industriale ed è alla base di altri progetti di ricerca quali il progetto CerLux, presentato e finanziato all'interno del bando MISE e attualmente in fase di sviluppo. A questi progetti si aggiungono progetti finanziati da importanti centri di ricerca internazionali quali il Diamond Light Source, UK's national synchrotron (UK), che ha finanziato lo studio «Structure, texture and residual stress analysis of sputtered lead halide perovskite thin films for electronics and solar cells» garantendo l'utilizzo della linea Instrument: I07: Surface and Interface Diffraction, per studi avanzati sulla natura dei film a base perovskitica da noi depositati (Calisi et al. 2023). Altre tematiche di ricerca affrontate riguardano lo sviluppo di materiali nanostrutturati nel settore ceramico. Tale attività ha permesso, nel 2017, di ottenere il finanziamento per il progetto «Sviluppo di dopanti nanostrutturati per il miglioramento delle performance dei manufatti ceramici 'MADE IN TUSCANY'» – acronimo «DOPCer», cofinanziato nell'ambito del POR FESR Toscana 2014-20. Sempre in questi anni, l'accesso a grandi facilities di ricerca internazionali si è svolto con una certa regolarità grazie a collaborazioni instaurate nell'ambito della caratterizzazione di materiali di interesse per le scienze planetarie. Grazie anche al finanziamento ottenuto dalla Regione Toscana nell'ambito del POR FSE 2014-20, Asse A Occupazione – (bando per progetti congiunti di alta formazione attraverso l'attivazione di assegni di ricerca), attraverso il progetto «ASSIEME» (Analisi Strutturale e 3D di Meteoriti Metalliche e creazione di Database Multimediali), il gruppo è stato coinvolto nella caratterizzazione di meteoriti. È stato così possibile applicare tecniche avanzate di caratterizzazione strutturale (microtomografia, diffrazione X ad alta risoluzione) basate anche sull'uso dei neutroni per lo studio di materiali extraterrestri, individuando caratteristiche strutturali quali

tessitura e stress residui (Grazzi et al. 2018; Shehaj et al. 2024), con un approccio innovativo e avanzato per lo studio del Sistema Solare. In particolare, il proposal denominato «Structural Characterization of Iron Meteorites» (proposal 7820), presentato presso ANSTO – Australia's Nuclear Science and Technology Organisation, è stato finanziato ed è stato svolto in due fasi su due linee: DINGO (tomografia neutronica) e KOWARI (diffrazione neutronica).



Figura 73 A sinistra, rendering 3D della meteorite Seymchan ottenuta per microtomografia di neutroni; a destra, Immagine dei due grani dell'asteroide Ryugu messi a disposizione dall'agenzia JAXA ed analizzati presso i laboratori Unifi.

Questi studi hanno poi costituito il background formativo per il progetto Prestige, presentato in collaborazione con INAF nel 2022, che ha portato nel 2023 a condurre, presso l'Ateneo Fiorentino (unico in Italia), l'indagine su due frammenti dell'asteroide Ryugu recuperati dalla missione Hayabusa2 dell'Agenzia Spaziale Giapponese (JAXA)¹.

L'interesse verso i materiali per applicazioni spaziali è proseguito e sarà uno dei principali ambiti di ricerca nel prossimo futuro, anche grazie alla partecipazione al progetto PE15 – Attività spaziali, bandito all'interno del piano PNRR del MUR e dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), denominato Space it up² che coinvolge il gruppo come referente di Unifi per lo spoke 8. Due sono i principali ambiti di ricerca di questo ambizioso progetto: la realizzazione di manufatti ceramici utilizzando risorse planetarie locali, come la regolite lunare e marziana, e lo sviluppo di detector per le radiazioni ionizzanti a base di perovskite.

Sempre nell'ambito dello studio di materiali ceramici avanzati e dell'Additive Manufacturing, il background sempre più eterogeneo del gruppo di ricerca ha permesso di portare avanti studi su materiali ceramici avanzati per tecnologie di Additive Manufacturing, in collaborazione con il Politecnico di Torino (PoliTO). In particolare, grazie al progetto «Dense Eutectic Ceramic Oxide by Additive Manufacturing; Sustainable by Design Materials and Technologies (ECOBAM)», finanziato dall'Unione Europea – Next Generation EU, nell'ambito dei progetti PRIN 2022 PNRR (D.D.1409 del 14/09/2022 Ministero dell'Università e della Ricerca), di cui il gruppo è responsabile di unità e PoliTO il responsabile scientifico, il gruppo di ricerca sta conducendo studi sulla realizzazione di materiali ceramici eutettici a base di allumina. Il finanziamento di questo progetto ha consentito l'espansione dei laboratori di Scienza e Tecnologia dei Materiali grazie all'acquisizione di un granulometro laser (Granulometro Laser «Ma-

¹ <https://www.unifimagazine.it/cosmo-frammenti-asteroide/>

² <https://www.unifimagazine.it/unifi-protagonista-della-ricerca-spaziale-italiana/>

stersizer 3000»), incrementando così la dotazione strumentale presente nei laboratori del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF).

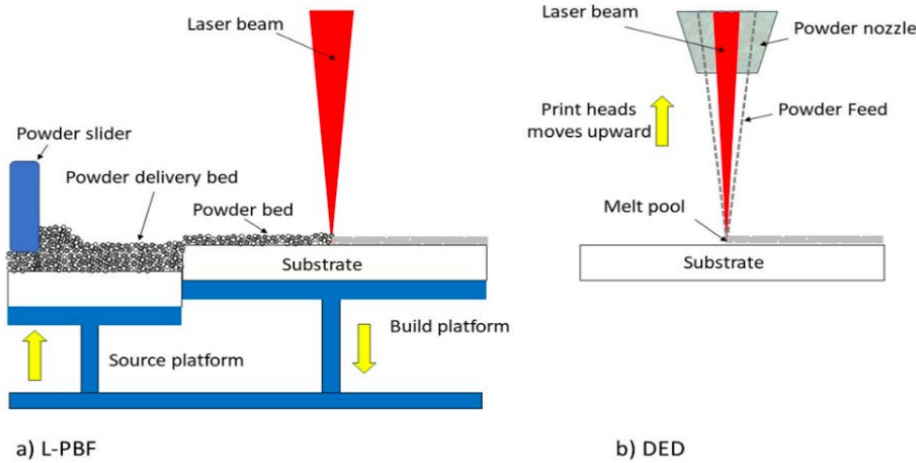


Figura 74 – Schema rappresentativo delle tecnologie di produzione additiva laser a) L-PBF e b) DED, usate per progetto ECOBAM.

Riferimenti bibliografici

- Borgioli, F. 2022. “The “Expanded” Phases in the Low-Temperature Treated Stainless Steels: A Review.” *Metals* 12: 331.
- Borgioli, F. 2024. “Formation of Expanded Phases in Ferritic Stainless Steel Nitrided at Low Temperatures.” *Surface and Coatings Technology* 447: 130309.
- Borgioli, F. et al. 2005. “Glow-discharge Nitriding of AISI 316L Austenitic Stainless Steel: Influence of Treatment Temperature.” *Surface and Coatings Technology* 200: 2474-80.
- Borgioli, F. et al. 2010. “Low Temperature Glow-Discharge Nitriding of a Low Nickel Austenitic Stainless Steel.” *Surface and Coatings Technology* 204: 3410-17.
- Borgioli, F., Galvanetto, E. e T. Bacci. 2018. “Corrosion Behaviour of Low Temperature Nitrided Nickel-Free, AISI 200 And AISI 300 Series Austenitic Stainless Steels in NaCl Solution.” *Corrosion Science* 136: 352-65.
- Borri, C. et al. 2020. “Proof-of-Principle of Inorganic Lead Halide Perovskites Deposition by Magnetron-Sputtering.” *Nanomaterials* 10: 60.
- Calisi, N. et al. 2023. “CsPbBr₃ Perovskite Thin Films by Magnetron Sputtering: The Role of the Substrate on Texture and Morphology.” *Thin Solid Films* 783.
- Fossati, A. et al. 2011. “Improvement of Corrosion Resistance of Austenitic Stainless Steels by Means of Glow-Discharge Nitriding.” *Corrosion Reviews* 29: 209-21.
- Gabellini, L. et al. 2023. “Effect of Bath Composition on Titanium Anodization Using the Constant-Current Approach: A Crystallographic and Morphological Study.” *Coatings* 13: 1284.
- Gabellini, L. et al. 2024. “Anodization From Ionic Liquid and Deep Eutectic Solvents: Alternative Routes to Traditional Surface Treatment.” *Eurocorr2020 conference 7-11 September 2020.ings Technology* 477: 130309.
- Ghilardi, M. et al. 2019. “Smart Lenses with Electrically Tuneable Astigmatism.” *Scientific Reports* 9(1): 16127.
- Grazzi, F. et al. 2018. “Different Conditions of Formation Experienced by Iron Meteorites as Suggested by Neutron Diffraction Investigation.” *Minerals* 8(19).

- Maffli, L. et al. 2015. "Ultrafast All-Polymer Electrically Tunable Silicone Lenses." *Advanced Functional Materials* 25(11): 1656-65.
- Martinuzzi, S. M. et al. 2022. "A Comparative Research on Corrosion Behavior of Electroplated and Magnetron Sputtered Chromium Coatings." *Coatings* 12(2): 257.
- Shehaj, X. et al. 2024. "Textural Study of Vesicles in Tagish Lake (C2-ung) Meteorite Fusion Crust: Constraints on Vesicle Formation during Their Entry into the Earth's Atmosphere." *Minerals* 14(1): 99.
- Stio, M. et al. 2016. "Cultures and Co-Cultures of Human Blood Mononuclear Cells and Endothelial Cells for the Biocompatibility Assessment of Surface Modified AISI 316L Austenitic Stainless Steel." *Materials Science and Engineering C* 69: 1081-91.

La Bioingegneria e le nuove sfide per il futuro

Andrea Corvi, Federico Carpi, Filippo Cavallo

La bioingegneria unisce principi di ingegneria, biologia e medicina per sviluppare soluzioni innovative a problemi legati alla salute e al benessere umano. Grazie a essa, si progettano dispositivi come protesi avanzate, organi artificiali, e sistemi di diagnosi e terapia all'avanguardia. Contribuisce alla creazione di tecnologie che migliorano la qualità della vita, come robot chirurgici e sensori per il monitoraggio medico. Inoltre, la bioingegneria gioca un ruolo chiave nella ricerca su nuove terapie, biotecnologie e nella comprensione del corpo umano. Il seguente capitolo presenta le attività di ricerca svolte all'interno del dipartimento di ingegneria industriale congiuntamente ai laboratori di ricerca attivi.

Il Laboratorio di Termografia Oculare (LaTO)

Responsabile: Prof. Corvi

Il gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Corvi è stato promotore dell'istituzione di un laboratorio di termografia oculare in collaborazione con la Clinica Oculistica dell'Ateneo. In particolare, sono state fatte numerose ricerche relative sia alla perfusione sanguigna oculare sia ad alcune patologie come l'occhio secco. Il sangue è il principale termoregolatore del corpo umano e

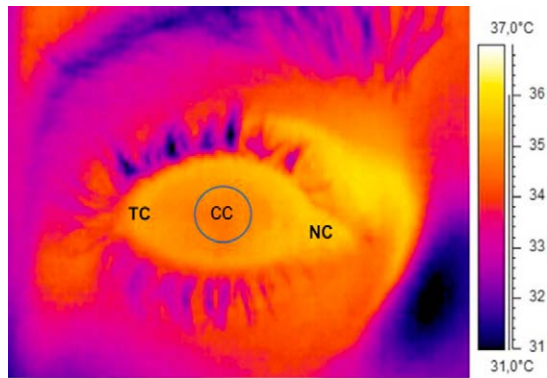


Figura 75 – Distribuzione delle temperature in un occhio. Le temperature massime si hanno sui cantanti nasale e temporale.

Andrea Corvi, University of Florence, Italy, andrea.corvi@unifi.it, 0000-0002-6714-1110
Federico Carpi, University of Florence, Italy, federico.carpi@unifi.it, 0000-0001-8496-5085
Filippo Cavallo, University of Florence, Italy, filippo.cavallo@unifi.it, 0000-0001-7432-5033
Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)
FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Andrea Corvi, Federico Carpi, Filippo Cavallo, *La Bioingegneria e le nuove sfide per il futuro*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.18, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 123-134, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

pertanto l'analisi della temperatura superficiale dell'occhio ha permesso di indagare alcune patologie come il diabete, i tumori, il glaucoma e le retinopatie che possono avere effetti sull'afflusso del sangue nell'occhio. Un tipico termogramma dell'occhio è riportato in Figura 75.

Il Laboratorio di Analisi del Movimento

Responsabile: Prof. Corvi

Nel 2014 è stato realizzato un laboratorio di analisi del movimento presso il CESAT di Fucecchio. Il laboratorio gestito dal DIEF in collaborazione con la Fondazione in Cammino, ONLUS e con la ASL di Empoli ha fornito supporto scientifico al CESAT (centro di eccellenza di chirurgia dell'anca e del ginocchio). Basate su un sistema di analisi della cinematica del movimento SMART, su due piattaforme di forza, su un sistema di analisi elettromiografica wireless e su un sensore inerziale, le ricerche svolte nel laboratorio hanno permesso di valutare differenze nella riabilitazione di pazienti operati con diverse tipologie di protesi evidenziando differenti velocità di recupero di una corretta deambulazione (Figura 76).



Figura 67 – Laboratorio di gait analysis di Fucecchio. Si notano quattro delle otto telecamere SMART e le due piattaforme di forza annegate nella pedana.

Ablazione di masse tumorali con microonde

Responsabile: Prof. Corvi

Il BioLab ha inoltre sviluppato un sistema di ablazione di masse tumorali attraverso irraggiamento con microonde.

La termoablazione a microonde (MWA) rappresenta una delle tecnologie più promettenti nell'ambito della chirurgia minimamente invasiva, con applicazioni che vanno dal trattamento dei tumori alla gestione delle resezioni epatiche complesse. Questa tecnica sfrutta l'energia delle microonde per generare calore localizzato, distruggendo selettivamente il tessuto patologico e riducendo al minimo i danni ai tessuti sani circostanti. Gli studi recenti hanno messo in evidenza risultati rilevanti e innovazioni che rendono la MWA una soluzione efficace e sicura. Una delle principali conquiste riguar-

da la precisione e il controllo offerti dai dispositivi di ablazione avanzati. Un esempio significativo è l'applicatore a microonde sterilizzabile non raffreddato, progettato specificamente per resezioni laparoscopiche e robotiche dal BioLab che ha acquisito negli anni le competenze per sviluppare modelli, procedure e set up sperimentali per il testing dei dispositivi biomedicali ad energia come mostrato nella Figura 68.

I test eseguiti ex vivo hanno confermato la capacità di creare zone di ablazione altamente localizzate, con un significativo controllo delle perdite di sangue. Inoltre, l'integrazione della MWA con piattaforme robotiche, come il sistema da Vinci Research Kit, ha migliorato ulteriormente la precisione e l'efficienza, permettendo una coagulazione prechirurgica del parenchima epatico che minimizza i rischi di emorragia intraoperatoria.

La versatilità di questa tecnologia è stata dimostrata anche in situazioni chirurgiche complesse, come la termoablazione vicino a strutture metalliche, ad esempio protesi bronchiali. Gli studi hanno evidenziato un controllo efficace del riscaldamento anche in presenza di possibili interferenze elettromagnetiche, ampliando così le potenziali applicazioni della tecnica. Un altro aspetto rilevante è la possibilità di creare linee di resezione coagulativa senza la necessità di sistemi di raffreddamento complessi. Ciò rappresenta un passo avanti significativo verso procedure chirurgiche più semplici, rapide e sicure.

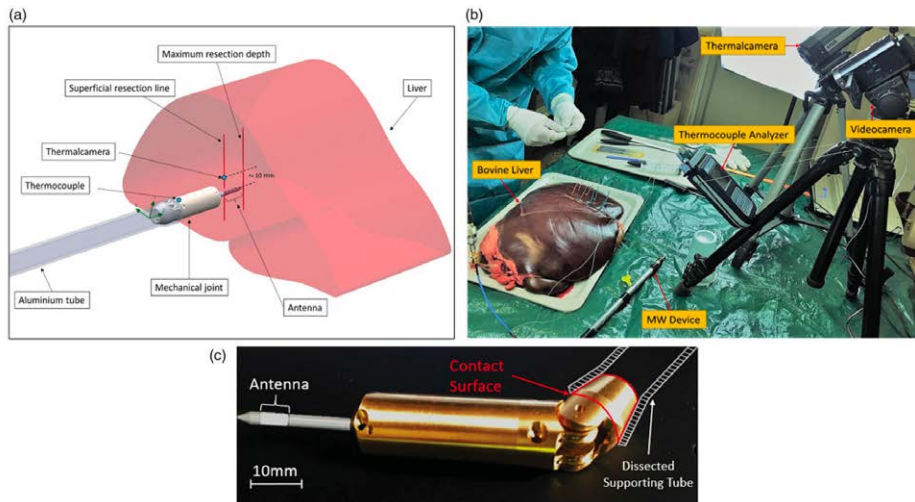


Figura 77 – a) Modellazione CAD 3D e simulazione di un protocollo resettivo in presenza di Epatocarcinoma (HCC); b) Setup sperimentale con tessuto ex vivo per il monitoraggio dell'efficacia termoablattiva del dispositivo sviluppato; c) integrazione del dispositivo a Microonde in uno strumento per uso laparoscopico.

Il perfusore di organi

Responsabile: Prof. Corvi

Quando un organo viene prelevato dal donatore viene messo nella maggior parte dei casi in una borsa termica con del ghiaccio e poi trasportato da autoblunzane, auto della polizia o elicotteri per raggiungere l'ospedale dove è in attesa il paziente in cui l'organo deve essere trapiantato. Il trasferimento deve essere molto veloce perché nonostante che il freddo rallenti il metabolismo cellulare, le cellule dell'organo si danneggiano e muoiono e dopo poche ore l'organo non è più utilizzabile. Nel BioLab si è quindi iniziato lo sviluppo di un perfusore di organi che possa perfondere l'organo appena prelevato con san-

gue, o un surrogato del sangue, ossigenato e alla temperatura corporea. In questo modo, l'organo non dovrebbe «accorgersi» di non essere più nel corpo e potrebbe continuare a vivere anche per tempi più lunghi delle 24 ore. Il prototipo sviluppato è quindi costituito da sistemi di pompaggio del liquido di perfusione, da sistemi di riscaldamento ed eventuale raffreddamento, da un ossigenatore, filtri e sensori di pressione, temperatura e portata. In Figura 78 è riportato lo schema di funzionamento del perfusore.

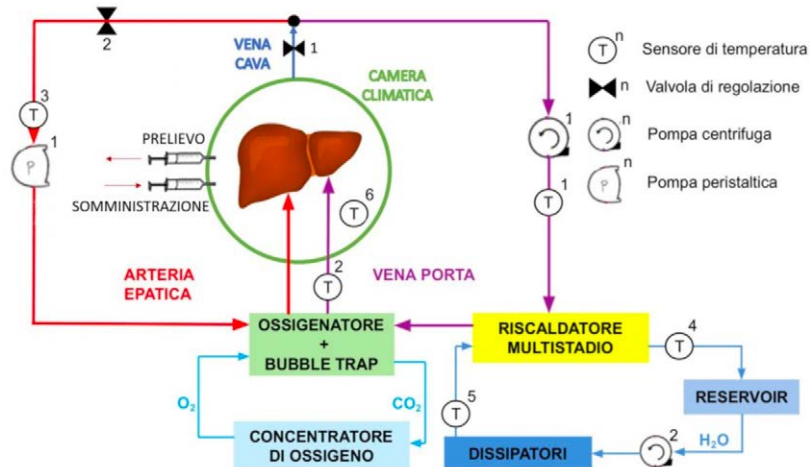


Figura 78 – Schema di funzionamento del perfusore.

Il prototipo, pensato per mantenere in vita fegati e reni, è attualmente in sperimentazione con la collaborazione dei chirurghi del Dipartimento di Medicina Sperimentale e Clinica dell'Ateneo fiorentino (Figura 79). È anche in corso di fondazione uno *spin-off* dell'Università di Firenze che dovrà gestire l'ingegnerizzazione del perfusore e la sua futura commercializzazione.



Figura 79 – Perfusore allestito per i test su fegati di maiale.

Un nuovo approccio alla ricerca sui tumori

Responsabile: Prof. Corvi

Un nuovo filone di ricerca prende spunto dalla considerazione che le cellule tumorali hanno morfologia e proprietà meccaniche diverse dalle cellule sane. In conseguenza hanno frequenze di risonanza diverse (Figura 80).



Figura 80 – Morfologia di una cellula sana e di una cellula tumorale.

Si è quindi pensato che, eccitando il tessuto di un organo in cui siano presenti masse tumorali con ultrasuoni alla frequenza di risonanza delle cellule malate, queste comincino a vibrare e si danneggino, si rompano e comunque vadano in necrosi mentre le cellule sane, la cui frequenza di risonanza è diversa, non si accorgano di nulla. In base a questa idea, è iniziata una campagna di prove, in collaborazione con colleghi del Dipartimento di Medicina Sperimentale e Clinica, su colture cellulari tridimensionali (sferoidi) di un tumore del pancreas, uno dei più aggressivi, andando a sollecitare con ultrasuoni a bassa intensità, a frequenze diverse degli sferoidi fino ad individuare la frequenza che porta alla maggiore mortalità cellulare (Figura 81).

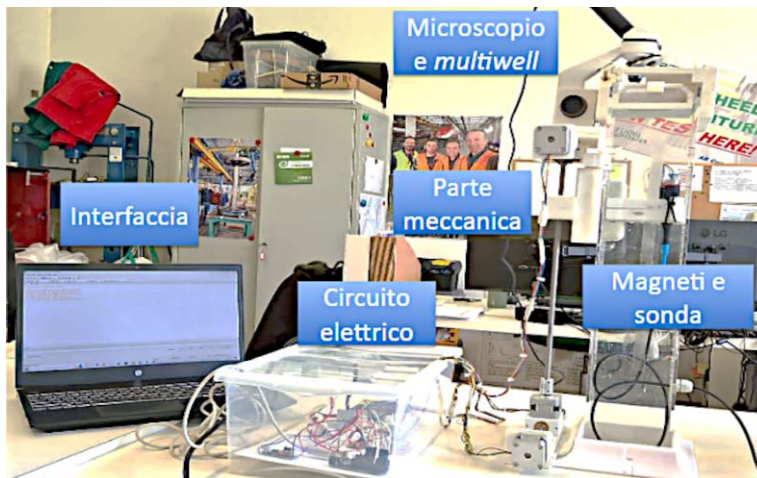


Figura 81 – Lay out sperimentale per l'eccitazione delle colture cellulari.

Attualmente sono in corso prove per individuare la frequenza di risonanza delle cellule sane per verificare che non corrisponda a quella delle cellule tumorali. Il passo

successivo sarà quello di provare a trattare con gli ultrasuoni dei topi nei quali sia stato indotto il tumore del pancreas e valutare se la tecnica possa portare a dei successi anche in vivo (Figura 82).

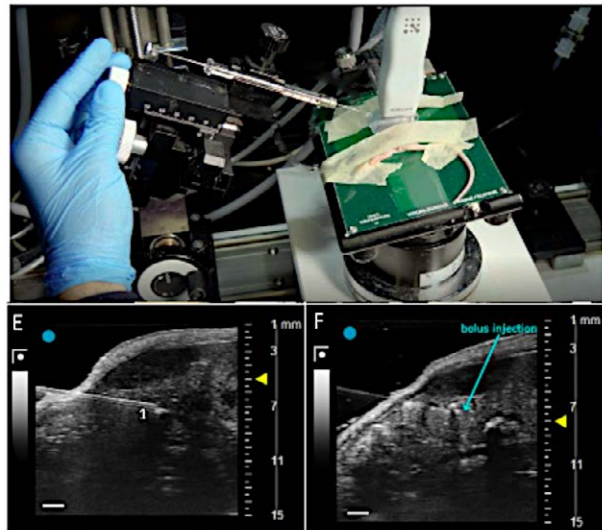


Figura 82 – Attrezzatura per la stimolazione con ultrasuoni guidata da ecografo sui topi.

Nuovi dispositivi ottici e aptici basati su materiali intelligenti

Responsabile: Prof. Carpi

Molteplici applicazioni nell'ambito delle interfacce essere umano-macchina, degli agenti robotici, dei sistemi indossabili e degli ambienti di realtà virtuale necessitano oggi di nuovi dispositivi che superino le limitazioni di tecnologie convenzionali di attuazione e sensorizzazione. Consideriamo, ad esempio, gli sviluppi recenti nei sistemi di visione impiegati nelle telecamere che popolano il nostro mondo (dallo smartphone che abbiamo in tasca ai droni che volano sopra di noi); essi sono dominati da aspetti computazionali, sotto la spinta di un'intensa ricerca sull'intelligenza artificiale. Al contrario, sino ad oggi è stata dedicata assai meno attenzione all'innovazione dell'hardware ottico. Infatti, anche le telecamere più avanzate utilizzano oggi ancora la stessa strategia dei primi pionieri della fotografia, spostando lenti in vetro (a lunghezza focale costante) avanti e indietro lungo un asse. Anche negli smartphone, le innovazioni ottiche sono principalmente limitate a insiemi di telecamere, utilizzando più lenti (ad esempio tradizionali, grandangolari e teleobiettivo). Il teleobiettivo/zoom, in particolare, crea problemi, a causa del piccolo spessore del telefono: poiché spesso non è possibile adattare più di un obiettivo zoom 2x o 3x, vengono combinate più telecamere con diverse lunghezze focali. Ciò solleva sfide per l'abbinamento delle immagini dalle telecamere, poiché necessitano di simili livelli di esposizione, bilanciamento del bianco e riallineamento, per ridurre al minimo gli artefatti, a causa dell'offset di posizione delle telecamere. Tali sfide aumentano man mano che vengono aggiunte più telecamere per estendere la gamma di zoom. Questi problemi hanno origine dall'uso di un hardware ottico affidabile e consolidato, che sposta le nuove sfide sulla parte computazionale (software). Di conseguenza, i sistemi convenzionali si basano su software specializzati in continuo sviluppo, che richiedono una potenza di calcolo in costante crescita. Un

approccio simile, che dà per scontato il “corpo visivo” (hardware ottico) ed è sbilanciato verso il “cervello visivo” (software), intrinsecamente compromette le dimensioni, il peso, il tempo di risposta e i requisiti di calcolo dei sistemi.

Ciò differisce dall’evoluzione dei sistemi di visione naturale, in cui il corpo visivo e il cervello visivo si evolvono insieme per adattarsi ad ambienti e compiti specifici. Ad esempio, alcuni organismi si basano in gran parte sulla “pre-elaborazione” delle informazioni a livello oculare, per svolgere compiti con un’elaborazione minima ad alto livello (cervello). Nonostante alcuni tentativi tecnologici condotti sino ad oggi di creare hardware ottico che imiti alcune caratteristiche oculari naturali, un passaggio chiave mancante è imitare la controllabilità dinamica della morfologia dell’ottica oculare, tipica degli animali e dell’uomo. Quest’ultima è utilizzata in natura per modulare la convessità delle lenti oculari, in modo da adattare continuamente la lunghezza focale della lente alla distanza del bersaglio (accomodazione). Da molti anni alcune attività di ricerca del gruppo del Prof. Carpi mirano a imitare la semplicità e l’efficienza di tale strategia naturale, mediante lenti soft polimeriche controllabili elettricamente, che combinino più funzioni ottiche nello stesso corpo ottico (messa a fuoco e astigmatismo). L’obiettivo è di aumentare le informazioni che possono essere raccolte dinamicamente con una lente singola, senza la necessità di muoverla, e con minor ingombro, minor peso e minore impegno computazionale.

A tale scopo, le attività si concentrano sullo sviluppo di nuove lenti soft elettricamente deformabili, realizzate in «materiali intelligenti», funzionanti come «muscoli artificiali», chiamati polimeri elettroattivi. Tali muscoli artificiali sono in grado di modificare elettricamente la curvatura della lente, imitando ciò che accade nel cristallino umano, come mostrato in Figura 83 (Carpi et al. 2011; Ghilardi et al. 2019). La realizzazione di tali dispositivi interamente in silicone ha portato alla lente controllabile più veloce al mondo realizzata con materiali intelligenti, avente un tempo di risposta di 175 microsecondi (Maffli et al. 2015).

Un altro ambito di ricerca in cui sono concentrate le attività del gruppo del Prof. Carpi è quello delle interfacce indossabili essere umano-macchina, e, in particolare, quelle progettate per sistemi di realtà virtuale o aumentata. Esse oggi non sono in grado di fornire all’utente un feedback aptico (in particolare tattile) sulle caratteristiche meccaniche di morbidezza/rigidezza degli oggetti virtuali che si stanno esplorando.

Questa limitazione è cruciale, poiché la capacità di restituire la sensazione fisica di morbidezza è fondamentale per un’ampia gamma di applicazioni, come ad esempio simulatori per la formazione medica, sistemi di tele-operazione e sistemi di tele-presenza per interazioni sociali.

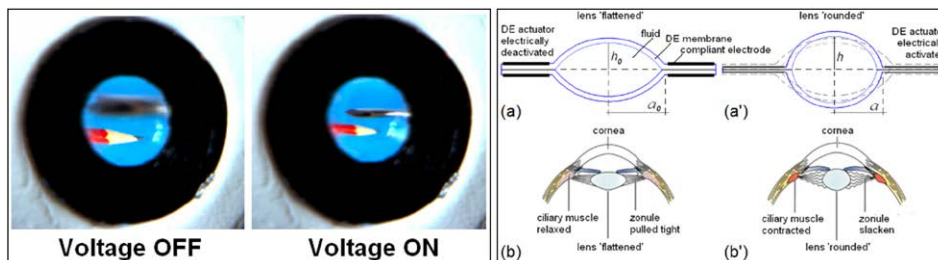


Figura 83 – Esempio di lente biomimetica soft controllabile elettricamente mediante «muscoli artificiali», sviluppata dal gruppo del Prof. Carpi, e sua analogia con il processo di accomodazione, attraverso il quale nell’occhio umano la lente (cristallino) e i muscoli ciliari regolano la messa a fuoco di oggetti a diverse distanze.

La sfida consiste nel creare interfacce aptiche mediante dispositivi compatti, leggeri, comodi ed economici, in grado di fornire un feedback tattile, chiamati display tattili indossabili. Tali dispositivi devono controllare sia l'area di contatto con la pelle, sia la sua profondità di indentazione, che sono fattori cruciali nella percezione della morbidezza. Raggiungere questo obiettivo utilizzando tecnologie di attuazione (motori) convenzionali, senza compromettere la compattezza, il peso e il comfort del dispositivo indossabile, non è banale. In effetti, finora, la maggior parte dei display tattili è costituita da motori elettrici vibranti, inadeguati a rendere informazioni sulla morbidezza di un oggetto.

In tale ambito il gruppo del Prof. Carpi da diversi anni sviluppa sistemi di attuazione innovativi, basati su «materiali intelligenti», che utilizzano sia polimeri elettroattivi (Frediani et al. 2021), sia membrane attivate pneumaticamente (Frediani, Carpi 2020). Un esempio è mostrato in Figura 84. Sempre nell'ambito delle interfacce aptiche, il gruppo sta sviluppando anche un altro tipo di dispositivi, concepiti come una sorta di pelle robotica con capacità di riconoscimento tattile di oggetti. Tale capacità è importante, perché la rilevazione tattile sta cambiando la robotica, consentendo alle macchine di riconoscere e interagire con corpi a contatto, con una precisione simile a quella umana.

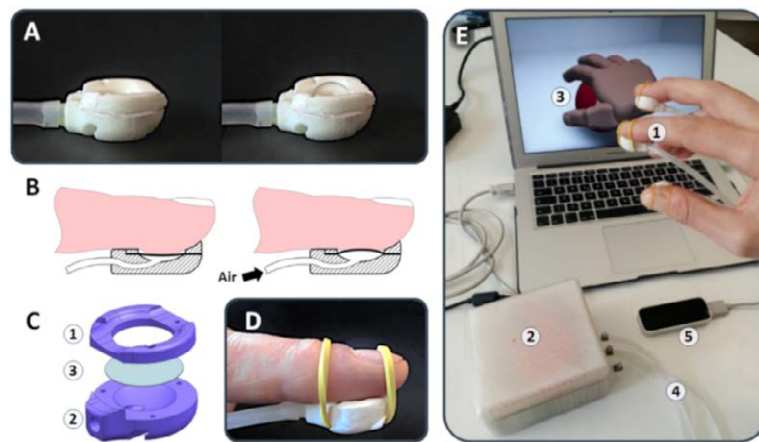


Figura 84 – Esempio di display tattile indossabile per sistemi di realtà virtuale, sviluppato dal gruppo del Prof. Carpi.

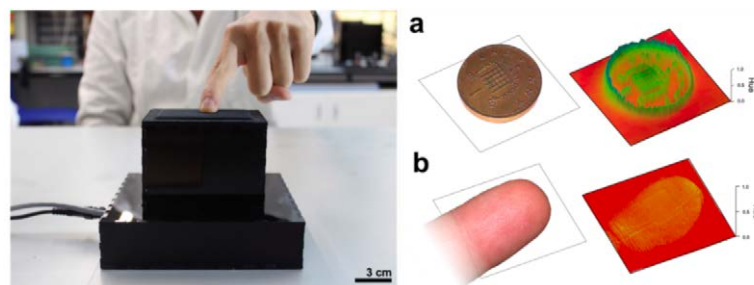


Figura 85 – Prototipo di dispositivo che utilizza una pelle robotica sensorizzata sviluppata dal gruppo del Prof. Carpi e esempi di impronta di una moneta (a) e impronta digitale (b), rilevate dalla pelle robotica.

Tecnologie anche molto recenti, come Digit 3602 di META, sono in grado di mappare pattern di contatto con alta risoluzione, ma non rilevano la pressione di contatto, che è fondamentale per comprendere la morfologia di oggetti 3D. Il gruppo del Prof. Carpi sta sviluppando di sistemi di pelle robotica innovativi, in grado di rilevare pattern di contatto, pressioni e morfologia 3D ad alta risoluzione, come mostrato in Figura 85. Grazie alle elevate prestazioni di riconoscimento tattile, questa pelle robotica è allo studio per migliorare l'interazione essere umano-macchina e il riconoscimento automatico di oggetti a contatto.

Robot, sensori e AI: tecnologie abilitanti al servizio della persona

Responsabile: Prof. Cavallo

Gruppo di Ricerca: Laura Fiorini, Erika Rovini, Alessandra Sorrentino

Il laboratorio di ricerca Biomedical e Robotics guidato dal Prof. Filippo Cavallo si pone l'obiettivo di progettare e sviluppare soluzioni di Internet of Robotics Things solutions per supportare i cittadini fragili in vari contesti (casa, clinica, residenza assistita). Il laboratorio ha la sua sede principale presso il Centro Didattico Morgagni. Ha inoltre attive due sedi congiunte: presso l'istituto di BioRobotica della Scuola Superiore Sant'Anna – laboratorio di Assistive Biorobotics –, e presso il Centro di Riabilitazione IRCCS Fondazione Don Carlo Gnocchi di Firenze. Queste collaborazioni consentono di poter progettare e testare le soluzioni di bioingegneria con i pazienti per poterne valutare effettivo impatto clinico.

Le attività di ricerca si snodano attraverso tre grandi linee: lo sviluppo delle capacità sociali del robot per il miglioramento dell'interazione uomo-robot, il design e la realizzazione di schede elettroniche per lo sviluppo di sistemi wearable custom e smart objects di concerto con lo sviluppo di algoritmi proprietari per il supporto clinico e i test e la valutazione delle soluzioni proposte in ambiente reale.

Sensori indossabili e intelligenza artificiale: come le tecnologie possono supportare pazienti e medici nel percorso di cura

I rapidi progressi nella tecnologia dei sensori, dalla realizzazione delle schede elettroniche, all'evoluzione delle reti di trasmissione dati, fino alla fabbricazione di packaging customizzabili e con materiali biocompatibili, stanno consentendo lo sviluppo di sensori indossabili ad alte prestazioni, sempre più miniaturizzati e adatti ad applicazioni in campo biomedico. I sensori indossabili, corredati di algoritmi di analisi sempre più sofisticati basati su intelligenza artificiale, garantiscono la misurazione di una vasta gamma di informazioni relativamente alla persona, permettendone una caratterizzazione dello stato di salute attraverso la valutazione dell'attività motoria e dei parametri fisiologici. Ad esempio, l'identificazione di schemi motori umani anomali svolge un ruolo cruciale nella rilevazione di numerose malattie (Rovini et al. 2021) (Figura 86). Il deterioramento delle abilità motorie fini, infatti, è un segno distintivo riconosciuto nei disturbi del movimento di tipo neurodegenerativo, tra cui il tremore essenziale e la malattia di Parkinson (PD). È inoltre correlato al declino cognitivo (Mancioppi et al. 2023), che va dal Mild Cognitive Impairment (MCI) fino alla malattia di Alzheimer, e comporta difficoltà per i pazienti nello svolgimento delle attività quotidiane, con un peggioramento significativo della loro qualità della vita (QoL). L'utilizzo di queste tecnologie mira ad avere un impatto notevole sull'identificazione e gestione delle malattie neurodegenerative e croniche permettendone: i) l'identificazione in fase prodromica (Mancioppi et al. 2021), ovvero quando i sintomi caratteristici non sono ancora manifesti in modo evidente, ma rilevabili con i sensori, così da poter intervenire con terapie neuroprotettive; ii) la valutazione oggettiva della sintomatologia tramite la misurazione

ne dei parametri caratteristici durante l'esecuzione di protocolli motori o motorio/cognitivi ad hoc per la valutazione clinica del paziente supportando così il medico in fase di diagnosi (Rovini, Maremmani, Cavallo 2020); iii) il monitoraggio delle condizioni di salute del paziente nel tempo, durante il decorso della malattia, con valutazioni periodiche quantitative ed oggettive che permettano di supportare il clinico anche nelle variazioni della terapia. Se i sensori indossabili permettono il rilevamento di segnali caratteristici dello stato di salute, gli algoritmi di intelligenza artificiale ne permettono l'analisi, identificando parametri e sintomi tipici della patologia investigata e consentendo anche di valutare allo stesso tempo la co-presenza di più sintomi, fornendo al clinico un report dettagliato, oggettivo e immediato dello stato di salute del paziente.



Figura 86 – Sensori indossabili sviluppati all'interno del nostro laboratorio che vengono utilizzati per la misurazione del movimento.

Social Assistive Robotics: come i robot possono aiutarci nella nostra vita quotidiana

Il campo della robotica di assistenza si è significativamente evoluto negli ultimi trent'anni, passando da robot progettati esclusivamente per assistere persone con disabilità fisiche a sistemi multi-robot connessi, in grado di fornire servizi complessi attraverso la cooperazione fisica e cognitiva in diversi ambienti. Negli ultimi anni, i robot di assistenza hanno iniziato a essere concepiti come macchine progettate non solo per lavorare per gli esseri umani, ma anche con gli esseri umani, introducendo il concetto di «robot personali». Al fine di favorire questo cambiamento, la progettazione dei robot ha iniziato a prevedere anche l'integrazione di capacità sociali nei robot, che favoriscano l'interazione uomo-robot in maniera efficace ed intuitiva, in ambienti non strutturati e non protetti (come, ad esempio, gli ambienti domestici), integrando aspetti psicologici e sociali per garantire un'interazione intima. Diversi studi hanno dimostrato che non solo le capacità sociali dei robot favoriscono la relazione con l'utente finale, ma anche l'aspetto dei robot ha un ruolo decisivo. Nel dettaglio, capacità sociali mostrate da un robot antropomorfo sembrano favorire l'interazione tra il robot e il suo utente finale. Basandosi sull'importanza dell'interazione sociale, sono stati successivamente definiti Social Assistive Robots (SARs) tutte quelle piattaforme robotiche che hanno l'obiettivo di creare interazioni strette ed efficaci con gli esseri umani per fornire assistenza e monitorare lo stato di salute (fisico e/o cognitivo) degli utenti tramite parametri misurabili in ambiti come la convalescenza, la riabilitazione e l'apprendimento (Fiorini et al. 2025). L'inte-

razione uomo-robot (HRI) si basa sia su aspetti fisici che cognitivi, promuovendo così un cambiamento di paradigma nella robotica verso la coesistenza uomo-robot. La sfida principale nell'ambito nel SAR risiede nella natura complessa e imprevedibile dell'essere umano, inteso come un sistema complesso, dotato della propria capacità di ragionare e interagire con l'ambiente secondo convenzioni sociali, dettate non solo dal contesto puntuale dell'interazione, ma anche dal contesto culturale ed educativo in cui è cresciuto. La complessità di questa sfida aumenta, se consideriamo che il comportamento dell'essere umano può essere influenzato da ulteriori fattori legati alla condizione clinica della persona. Al fine di diventare cooperativi, i robot devono essere in grado di riconoscere tutti questi aspetti del partner umano e comportarsi nella maniera più appropriata. Più nel dettaglio, le principali caratteristiche di questi robot cooperativi sono, innanzitutto, la capacità di tenere conto delle intenzioni e delle preferenze umane e di adattarsi ad esse; in secondo luogo, devono garantire un'interazione ravvicinata, sicura e affidabile con gli esseri umani in uno spazio di lavoro condiviso; infine, devono possedere la capacità di percepire, ragionare, apprendere e agire in modo sicuro in un mondo parzialmente sconosciuto e abitato da esseri umani. In questo contesto, emerge la crescente necessità di sviluppare modelli comportamentali per i robot sociali al fine di garantire un'interazione di alta qualità e un elevato livello di accettabilità, fornendo servizi utili ed efficienti (Nocentini et al. 2019). Un primo passo per affrontare questa sfida riguarda lo sviluppo di sistemi intelligenti in grado di rilevare lo stato di interesse e il coinvolgimento degli utenti, modulando il proprio comportamento in base a fattori sociali, come la distanza interpersonale, lo stato mentale, la risposta degli utenti e il loro profilo (Sorrentino, Fiorini, Cavallo 2024). Quando i robot sono dotati di capacità cognitive ed emotive, possono stabilire relazioni empatiche con gli utenti e acquisire meccanismi cognitivi sociali, che ne favoriscono l'utilizzo sia in ambito domestico sia clinico. In questo contesto, è cruciale lo sviluppo di architetture cognitive in grado di avvicinarsi a uno stato cognitivo completo, integrando meccanismi di percezione, adattamento e motivazione. In questo contesto si collocano le attività di ricerca del laboratorio inerenti alla human-robot interaction (Figura 87). Applicando principi di user-centered design, sono stati sviluppati dei paradigmi di stimolazione fisica cognitiva per diverse tipologie di persone fragili (bambini con disturbi del neurosviluppo, pazienti affetti da stroke, persone anziane) con diverse piattaforme di robot sociali presenti nel laboratorio di ricerca. L'idea è quella di sfruttare le informazioni percepite dal robot relative all'interazione verbale e non verbale, aggregarle con metodiche di intelligenza artificiale e di utilizzarle in maniera duale: 1) per adattare il comportamento del robot e per 2) fornire un supporto decisionale al terapeuta (Fiorini et al. 2023). Il fine ultimo della ricerca è quello di ottenere dei sistemi bio-cooperativi avanzati per il supporto alla riabilitazione fisico-cognitiva.



Figura 87 – Attività sperimentali con i robot sociali fatte nel laboratorio del Prof. Cavallo nell'anno 2024: (a) Scenario «un, due, tre... stella» con il robot Pepper (b) «Raccontami una storia», attività sperimentale fatta con i bambini (c) Scenario cooperativo con braccio robotico (d) Follow-me con robot ASTRO.

Testare le soluzioni «into the wild»

Al fine di capire l'impatto che le soluzioni integrate di robot, sensori e piattaforme di analisi dati possono portare nella vita dei cittadini, è importante testare le tecnologie in ambienti reali per capirne l'impatto sulla vita e quali fattori ne favoriscono o ne prevengono l'uso. Il progetto Pharaon, coordinato dal Prof. Cavallo, ha coinvolto 40 partner provenienti da 12 stati membri dell'UE, ed è finalizzato a promuovere un invecchiamento sano ed attivo della popolazione europea mediante utilizzo di piattaforme avanzate integrate e altamente personalizzabili. Nel corso dei 60 mesi di progetto, sono state reclutate 3600 persone in tutto il territorio europeo suddivise in 6 diversi siti pilota. In particolare, il DIEF come coordinatore del sito pilota italiano (Dr.ssa Laura Fiorini) ha coordinato le attività di reclutamento di 770 persone di cui 300 anziani sul territorio toscano e su quello pugliese (Lorusso et al. 2023). A livello globale sono stati registrati un aumento della qualità di vita (EQ-5D-3L, VAS) e riduzione della loneliness percepita (UCLA score). A livello italiano, i risultati hanno confermato questo trend. Inoltre, in Italia è stato osservato un aumento della resilienza (RS-14) e una diminuzione significativa dello stress percepito nell'utilizzo della tecnologia misurato con la scala PSS (Pani et al. 2024). I dati qualitativi raccolti hanno evidenziato che il 42% degli anziani intervistati ha espresso la volontà di acquistare le tecnologie dopo la fine del progetto, e che l'esperienza è stata valutata positivamente sia da parte degli utenti anziani che dai loro caregiver primari.

Riferimenti bibliografici

- Carpi, F. et al. 2011. "Bioinspired Tunable Lens with Muscle-Like Electroactive Elastomers." *Advanced Functional Materials* 21(21): 4152-58.
- Fiorini, L. et al. 2023. "User Profiling to Enhance Clinical Assessment and Human-Robot Interaction: A Feasibility Study." *International Journal of Social Robotics* 15(3): 501-16.
- Fiorini, L. et al. 2025. "Robots for Assistive Services." In *Robotics Goes MOOC*. Springer Nature Switzerland.
- Frediani, G. e F. Carpi. 2020. "Tactile Display of Softness on Fingertip." *Scientific Reports* 10(1): 20491.
- Frediani, G. et al. 2021. "A Soft Touch: Wearable Tactile Display of Softness Made of Electroactive Elastomers." *Advanced Materials Technologies* 6(6): 2100016.
- Lorusso, L. et al. 2023. "Design And Evaluation of Personalized Services to Foster Active Aging: The Experience of Technology Pre-Validation in Italian Pilots." *Sensors* 23(2): 797.
- Mancioppi, G. et al. 2021. "Innovative Motor Cognitive Dual-Task Approaches Combining Upper and Lower Limbs May Improve Dementia Early Detection." *Scientific Reports* 11: 7449.
- Mancioppi, G. et al. 2023. "Mild Cognitive Impairment Identification Based on Motor and Cognitive Dual-Task Pooled Indices". *PLoS ONE* 18(8): e0287380.
- Nocentini, O. et al. 2019. "A Survey of Behavioral Models for Social Robots." *Robotics* 8(3): 54.
- Pani, J. et al. 2024. "How Time, Living Situation, and Stress Related to Technology Influence User Acceptance and Usability of a Socialization Service for Older Adults and Their Formal and Informal Caregivers: Six-Month Pilot Study." *JMIR aging* 7: e54736.
- Rovini, E., Maremmani, C. e F. Cavallo. 2020. "A Wearable System to Objectify Assessment of Motor Tasks For Supporting Parkinson's Disease Diagnosis." *Sensors* 20(9): 2630.
- Rovini, E. et al. 2021. "A Wearable Ring-Shaped Inertial System to Identify Action Planning Impairments During Reach-To-Grasp Sequences: A Pilot Study." *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 18: 118.
- Sorrentino, A., Fiorini, L. e F. Cavallo. 2024. "From the Definition to the Automatic Assessment of Engagement in Human-Robot Interaction: A Systematic Review." *International Journal of Social Robotics*, 1-23.

Analisi Numerica e Ingegneria: sinergie e contaminazioni

Stefania Bellavia, Costanza Conti, Benedetta Morini,
Alessandra Papini, Margherita Porcelli

Analisi Numerica e Ingegneria sono naturalmente strettamente correlate. Sin dall'inizio degli anni '60 l'analisi numerica ha avuto un ruolo chiave nella risoluzione numerica di modelli matematici derivanti dall'ingegneria. Le simulazioni numeriche, ovvero la simulazione di particolari fenomeni mediante l'utilizzo di un computer, mantengono oggi un ruolo di fondamentale importanza per l'elevata potenza dei sistemi di calcolo attuali e il massiccio uso delle tecniche di intelligenza artificiale. Il passaggio dalla soluzione reale del problema alla sua approssimazione numerica si realizza attraverso diversi processi di semplificazione, ognuno dei quali inevitabilmente introduce degli errori. Tipicamente, si ricorre ad una discretizzazione del modello, ovvero ad una sua approssimazione in dimensione finita, e si troncano processi al limite. Infine, lo stesso elaboratore, dovendo operare in aritmetica finita, introduce errori di arrotondamento. Uno degli obiettivi degli analisti numerici è progettare algoritmi capaci di fornire un'approssimazione sufficientemente accurata della soluzione del problema reale.



Figura 88 – Flusso di processo per la soluzione di problemi complessi.

Il legame naturale tra Analisi Numerica e Ingegneria è rappresentato nel DIF dalla presenza della sezione di Analisi Numerica. Analisti Numerici afferiscono a dipartimenti di Ingegneria a Firenze dal 1983 in occasione della creazione del Dipartimento di Energetica. Grazie alla volontà e all'impegno del Prof. Sergio Stecco, al quale

Stefania Bellavia, University of Florence, Italy, stefania.bellavia@unifi.it, 0000-0002-3691-7836
Costanza Conti, University of Florence, Italy, costanza.conti@unifi.it, 0000-0001-6878-7784
Benedetta Morini, University of Florence, Italy, benedetta.morini@unifi.it, 0000-0002-9213-3622
Alessandra Papini, University of Florence, Italy, alessandra.papini@unifi.it, 0000-0002-1356-613X
Margherita Porcelli, University of Florence, Italy, margherita.porcelli@unifi.it, 0000-0003-0183-1204

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Stefania Bellavia, Costanza Conti, Benedetta Morini, Alessandra Papini, Margherita Porcelli, *Analisi Numerica e Ingegneria: sinergie e contaminazioni*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.19, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 135-140, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

il dipartimento venne intitolato dopo la sua scomparsa prematura, il Dipartimento di Energetica venne creato con l'obiettivo di unire competenze diversificate e capaci di affrontare aspetti termodinamici e fisici, matematici, meccanici, fluidodinamici, termici, chimici, impiantistici ed economici della conversione dell'energia. A testimonianza del radicamento della sezione di Analisi Numerica nel Dipartimento di Energetica, il Prof. Ferruccio Fontanella, ordinario di Analisi Numerica, fu Direttore del Dipartimento dal 1992 al 1998.

Gli Analisti Numerici che afferivano al Dipartimento di Energetica hanno poi aderito al Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) al momento della sua nascita. Attualmente la sezione di Analisi Numerica è costituita da 5 docenti strutturati, 2 Post-Doc, 2 studenti di dottorato.

La sezione di Analisi Numerica del DIEF si occupa principalmente dello studio e sviluppo di metodologie numeriche nell'ambito della teoria dell'approssimazione e dell'ottimizzazione continua, e collabora con i componenti del dipartimento nella loro applicazione a problemi ingegneristici. Più specificamente, i campi di ricerca relativi alla teoria dell'approssimazione sono l'approssimazione ed interpolazione di dati mediante splines, la modellazione geometrica per il CAGD, la generazione di griglie computazionali, lo studio di funzioni raffinati, wavelets e frames. Nell'ambito dell'ottimizzazione continua, l'attività di ricerca svolta dal Gruppo di Numerical Optimization and Data Analysis (NODA) è principalmente rivolta a problemi di grandi dimensioni mono e multi obiettivo, inclusi quelli che nascono nell'apprendimento automatico, e la ricerca riguarda la risoluzione numerica con e senza derivate, la gestione di vincoli sulle variabili, la realizzazione di software numerico robusto, affidabile e ben documentato per problemi complessi che nascono in settori applicativi diversi.

La sezione si contraddistingue per la ricerca in contesto internazionale e ha collaborazioni continue e consolidate con le seguenti Università ed enti di Ricerca: University of Novi Sad, Department of Mathematics (*accordo di Collaborazione Culturale e Scientifica*), Institut National Polytechnique de Toulouse (INP), Francia (*accordo di Collaborazione Culturale e Scientifica*), Université Hassan-Ier, Marocco (*accordo di Collaborazione Culturale e Scientifica*), École Normale Supérieure de Lyon, Francia (Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme), The University of Edinburgh, UK (School of Mathematics), Université de Mons, Belgio (Department of Mathematics and Operational Research), University of Antwerp, Belgio (Computational Mathematics group), Technische Universität Chemnitz, Germania (Department of Mathematics), Università di Passau, Germania (Faculty of Computer Science and Mathematics), University of Hohenheim, Germania (Institute of Applied Mathematics and Statistics), Universitat de Valencia, Spagna (Facultat de Matemàtiques), Georgia Institute of Technology, Georgia, USA (School of Mathematics), University of Houston, Texas, USA (School of Mathematics).

La collaborazione con i settori dell'ingegneria e della chimica del DIEF è consolidata e si svolge anche nell'ambito del trasferimento tecnologico e di progetti di ricerca. Le applicazioni in cui è stato portato un contributo matematico e numerico sono numerose e includono il contatto ruota-rotai, le reti di distribuzione del gas, la ricostruzione di superfici 3D, l'imputazione di dati mancanti, il monitoraggio energetico mediante tecniche di intelligenza artificiale.

Mostriamo adesso alcuni esempi di collaborazioni con i colleghi del DIEF, senza dare dettagli tecnici, ma cercando di mostrare le sinergie presenti nel Dipartimento ed il potenziale che i modelli matematici e il calcolo scientifico offrono oggi per trattare le complessità dei problemi dell'ingegneria industriale.

Dai modelli tradizionali ai modelli di apprendimento automatico

La lunga collaborazione degli analisti numerici con i colleghi del DIEF è documentata da pubblicazioni e cooperazione in progetti. Alla ricerca con strumenti di analisi numerica tradizionali si è recentemente affiancata quella basata su tecniche di intelligenza artificiale e apprendimento automatico.

Simulazione di impianti industriali e del contatto ruota-rotaia

L'attività di ricerca del gruppo NODA ha maturato un'esperienza ventennale nella risoluzione numerica di sistemi di equazioni e minimi quadrati non lineari con vincoli semplici sulle variabili (Carcasci et al. 2016; Marini, Morini, Porcelli 2018; Meli, Morini, Porcelli 2022; Shi et al. 2023). Per questi problemi sono stati sviluppati diversi algoritmi di cui sono state studiate le proprietà teoriche e la cui implementazione è stata messa a disposizione della comunità scientifica, vedi ad es. i codici STRCNE, TRESNEI, CoDosol.

In particolare, TRESNEI è stato ampiamente utilizzato anche in ambito ingegneristico nel corso di collaborazioni con il gruppo MEVS (Multi Energy Vector Systems Group) e la sezione di Meccanica Applicata del DIEF. Nella prima collaborazione, TRESNEI è stato utilizzato nella simulazione di impianti energetici e di distribuzione del gas. Infatti, processi industriali complessi richiedono strumenti accurati e flessibili per la simulazione di impianti che danno luogo a modelli e codici modulari. Le configurazioni possibili dell'impianto sono definite da una libreria di componenti elementari e ogni componente dell'impianto è descritta da equazioni non lineari che modellizzano le leggi meccaniche e termodinamiche fondamentali. La risoluzione numerica di queste equazioni fornisce le proprietà fisiche (es. temperatura, pressione), la composizione del fluido e le performance dell'impianto (es. salto di pressione). Analogamente, i modelli per le reti di distribuzione del gas naturale sono descritti dalle leggi di conservazione della massa e equazioni per il calcolo delle perdite di carico. La risoluzione numerica di questi modelli richiede la risoluzione di sequenze di sistemi non lineari vincolati, la cui struttura è definita dalla particolare configurazione della rete gas.

Nella seconda collaborazione, il codice TRESNEI è stato utilizzato nella risoluzione di un modello per il contatto tra corpi elastici (ruota-rotaia) volta a determinare l'area di contatto tra i due corpi e la suddivisione di area di adesione e di scivolamento, e le corrispondenti pressioni normali e tangenziali. TRESNEI è stato incluso nel software *Simpack Multibody Simulation* utilizzato dagli ingegneri per l'analisi dinamica di sistemi meccanici e mecatronici.

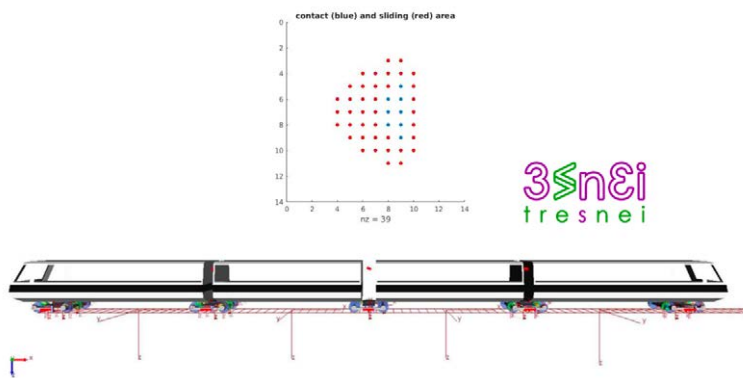


Figura 89 – In alto la ricostruzione dell'impronta di contatto ruota-rotaia in un istante temporale della simulazione (in rosso l'area di contatto e in blu quella di scivolamento). In basso un esempio di veicolo usato come test case nella sperimentazione numerica.

Imputazione di dati mancanti

In molte applicazioni i dati e le misure raccolte, che sono fondamentali per lo sviluppo di modelli di apprendimento automatico, possono essere rappresentati come una matrice della quale non si osservano tutte le entrate ma solo un numero limitato. Le entrate non osservate possono essere viste come misurazioni mancanti o corrotte. Questa è una situazione molto comune e le cause possono essere varie: problemi di comunicazione tra gli apparati di misurazione ed il centro di raccolta dati, malfunzionamento dei sensori che raccolgono i dati, condizioni esterne fuori dal range di operatività ideale della strumentazione. Il problema di recuperare queste misure mancanti viene generalmente indicato come Data Imputation. In Figura 81 un esempio di matrice corrispondente alle misurazioni della velocità del vento media su intervalli di 10 minuti fornite da una turbina eolica in un anno. Gli spazi bianchi corrispondono a dati mancanti o corrotti. In questo caso particolare, i dati mancanti sono dovuti ad errori del sistema di misurazione che non registra i dati, oppure “icing”, ovvero la temperatura ambientale è al di sotto del range di funzionamento dell’anemometro.

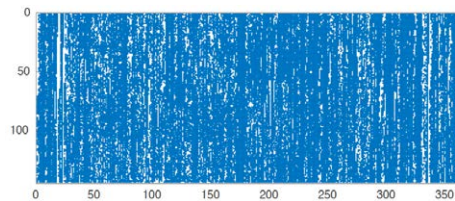


Figura 90 – Dati relativi alla velocità del vento media su intervalli di 10 minuti forniti da una turbina eolica in un anno.

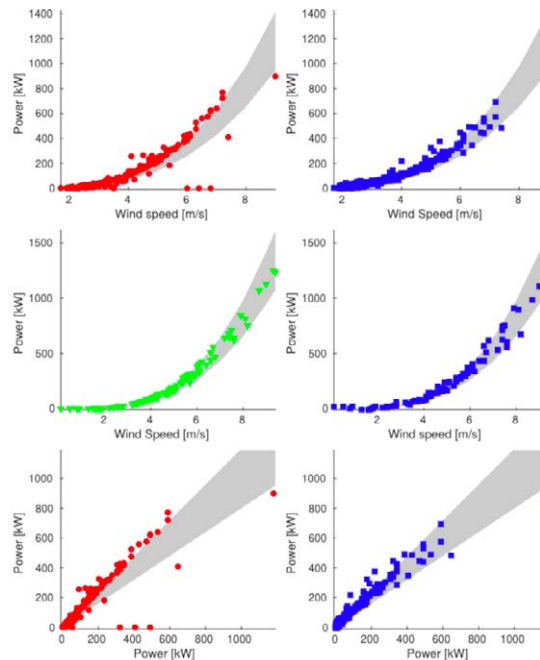


Figura 91 – Nella colonna di sinistra mostriamo i dati della potenza della turbina originali (dall’alto verso il basso: dati corrotti potenza-velocità del vento, dati del validation set potenza-velocità del vento, dati corrotti potenza-potenza ideale), nella destra i dati ricostruiti.

Il gruppo di ricerca NODA, in collaborazione con il gruppo di ricerca Reciprocating Engines and Advanced Systems for Energy (REASE) del DIEF, ha utilizzato algoritmi di matrix completion quali SVT (Cai, Candès, Shen 2010) per l'imputazione di dati mancanti provenienti da un parco eolico situato sull'isola greca di Kedros che comprende 6 turbine eoliche (modello ENERCON E-82 E2) (Silei et al. 2023). Sono stati considerati i dati di ciascuna giornata, scartando i dati corrotti, e sono stati ricostruiti i dati mancanti a partire dall'85% delle misurazioni affidabili. Il rimanente 15% dei dati è stato utilizzato per validare la ricostruzione ottenuta. Nella Figura 82 mostriamo, per un particolare giorno (corrispondente ad una percentuale di dati consistenti fra il 50% e il 75%), il risultato della ricostruzione dei dati di potenza. Mostriamo a sinistra i dati corrotti e a destra quelli ricostruiti. Riportiamo anche i dati del validation set che non sono stati utilizzati nel processo di ricostruzione. L'area grigia indica l'area a cui i dati dovrebbero appartenere per essere ritenuti significativi. Osserviamo come prima cosa che i dati del validation set vengono correttamente ricostruiti e non si ha deterioramento. Inoltre, i dati ricostruiti, corrispondenti ai dati corrotti (esterni all'area curva grigia), appartengono quasi interamente alla curva grigia.

Modelli di apprendimento automatico per il monitoraggio energetico

Il gruppo NODA è fortemente impegnato nello sviluppo di procedimenti di ottimizzazione stocastica per l'allenamento di modelli di apprendimento automatico parameter-free nell'ambito di vari progetti nazionali e internazionali (*Second order methods for optimisation problems in machine learning*, Executive Program of Cooperation in the Field of Science and Technology between the Italian Republic and the Republic of Serbia, PRIN 2022 *Numerical Optimization with Adaptive Accuracy and Applications to Machine Learning*, MaPLe: *Mathematical and Physical approaches to innovative Machine Learning technologies*, Partenariato esteso PE1 FAIR «Future Artificial Intelligence Research» SPOKE 1 Human-Centered AI. Obiettivo 4).

L'utilizzo di questi metodi riduce notevolmente sia il tempo richiesto per la messa a punto del modello, che tipicamente richiede un numero elevato di fasi di allenamento, sia il consumo energetico associato. Questi metodi costituiscono pertanto un passo importante nella direzione della cosiddetta Green AI (Schwartz et al. 2020). D'altra parte, sempre nella direzione della riduzione del consumo energetico, sono diventati di cruciale importanza modelli del comportamento energetico standard di una struttura, un edificio o un macchinario, che permettano di identificare in modo rapido anomalie che portano ad un aumento del consumo. I modelli di apprendimento automatico sono un valido strumento per questo tipo di analisi ma la loro messa a punto richiede un lungo processo di selezione delle caratteristiche del modello e dei dati da utilizzare per il suo allenamento. Il gruppo NODA ha collaborato con il gruppo Multi Energy Vector Systems (MEVS) del DIEF nello sviluppo di modelli basati su reti neurali per il monitoraggio energetico. In particolare, l'utilizzo del codice SIRTR, sviluppato dal gruppo NODA, nella fase di allenamento della rete neurale ha consentito una drastica riduzione del tempo complessivo per la definizione del modello (Zini et al. 2024; Bellavia et al. 2023; Bellavia, Krejic, Morini 2020). Infatti, l'utilizzo di SIRTR consente di ridurre il numero di parametri da scegliere rispetto all'utilizzo di ottimizzatori tradizionali, quali ad esempio il gradiente stocastico. La Figura 83 mostra l'errore quadratico medio sul validation set al crescere del costo computazionale. Si osserva che SIRTR produce la riduzione più rapida dell'errore; è possibile ottenere tale riduzione anche con il gradiente stocastico ma solo con una scelta ad-hoc del parametro denominato learning rate.

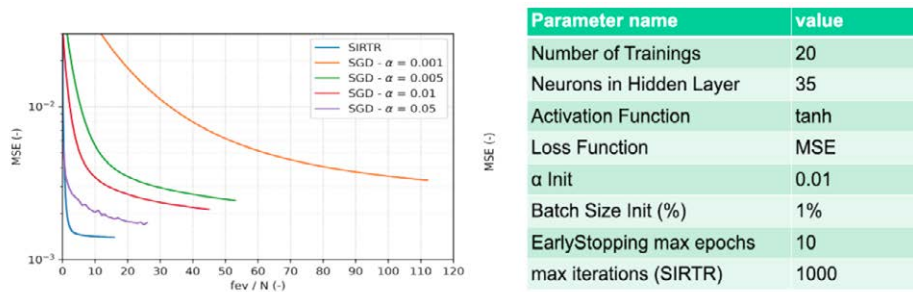


Figura 92 – A sinistra, grafico dell'errore quadratico medio al variare del costo computazionale; a destra, parametri della rete neurale utilizzata.

Riferimenti bibliografici

- Bellavia, S. et al. 2023. "A Stochastic First-Order Trust-Region Method with Inexact Restoration for Finite-Sum Minimization." *Computational Optimization and Applications*.
- Bellavia, S., Krejci, N. e B. Morini. "Inexact Restoration with Subsampled Trust-Region Methods For Finite-Sum Minimization." *Computational Optimization and Applications*.
- Cai, J. F., Candès, E. J., e Z. Shen. 2010. "A Singular Value Thresholding Algorithm For Matrix Completion." *SIAM Journal on Optimization*.
- Carcasci, C. et al. 2016. "A New Modular Procedure For Industrial Plant Simulations And Its Reliable Implementation." *Energy* 94(1): 380-90.
- Marini, L., Morini, B. e M. Porcelli. 2018. "Quasi-Newton Methods for Constrained Nonlinear Systems: Complexity Analysis and Application." *Computational Optimization and Applications* 72(1): 147-70.
- Meli, E. et al. 2022. "Solving Nonlinear Systems of Equations Via Spectral Residual Methods: Stepsize Selection and Applications." *Journal of Scientific Computing* 90: 30.
- Shi, Z. et al. 2023. "A Degraded Adhesion Model for Creep Force Calculation Based on the Contact Algorithm." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*.
- Schwartz, R. et al. 2020. "Green AI." *Commun.*
- Silei, M. et al. 2023. "Recovering Corrupted Data in Wind Farm Measurements: A Matrix Completion Approach." *Energies* 16: 1996-2073.
- Zini, M. et al. 2024. "Tuning-free Stochastic Optimization for Neural Network Training in Building Energy Prediction."

Innovazione tecnologica a servizio del territorio: attività di ricerca e trasferimento tecnologico del Manufacturing Technology Research Laboratory

Gianni Campatelli

Le competenze nel settore della Tecnologia Meccanica sono fondamentali per la formazione di Ingegneri Industriali, e questo ha portato ad un impegno, sin dall'apertura della Facoltà di Ingegneria presso la sede di S. Marta della sezione per lo sviluppo di attività didattiche e di ricerca. Nei primi anni di attività molti docenti si sono avvicinati per coprire la cattedra di Tecnologia Meccanica, spesso provenienti da altre sedi e con una permanenza ridotta presso la sede di Firenze. I primi docenti che hanno avuto una lunga permanenza presso la sede di Firenze, ed hanno insegnato per tutta la loro carriera accademica in questo Ateneo, sono stati il Prof. Andrea Del Taglia ed il Prof. Raffaele Bedini, che sono stati affiancati per un lungo periodo dal Prof. Giovanni Tani, poi trasferitosi presso l'Università di Bologna. Le attività dei primi anni sono state incentrate sulla simulazione ed ottimizzazione di processi produttivi, con particolare attenzione ai processi di foratura e modellazione del comportamento di macchine a controllo numerico. Con il pensionamento di questi primi docenti, che hanno fortemente contribuito a dare una direzione e identità al gruppo, la parte di ricerca e didattica è stata presa in carico da due giovani ricercatori (Gianni Campatelli, entrato in ruolo nel 2005, ed Antonio Scippa nel 2010) che, forti delle esperienze pregresse, hanno dato un indirizzo specifico alle attività di ricerca, concentrando i propri sforzi sulle lavorazioni per asportazione di truciolo. Il gruppo di ricerca si è quindi dotato di una mission orientata allo sviluppo di progetti di ricerca sia finanziati da istituzioni nazionali ed europee che in collaborazione con aziende operanti nel settore sul tema dell'asportazione di truciolo e di una vision focalizzata sulla crescita del gruppo puntando su giovani dottorandi ed assegnisti. È stato anche definito il nome del gruppo di ricerca attuale che è «Manufacturing Technology Research Lab» (MTRL). I primi risultati di ricerca nel settore sono stati sullo studio della dinamica del processo e hanno garantito al gruppo l'ammissione nel 2010 come loan award winner alla Fondazione americana «Machine Tool Research Foundation» (MTTRF), collaborazione che

Gianni Campatelli, University of Florence, Italy, gianni.campatelli@unifi.it, 0000-0002-9699-1368

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Gianni Campatelli, *Innovazione tecnologica a servizio del territorio: attività di ricerca e trasferimento tecnologico del Manufacturing Technology Research Laboratory*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.20, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1*, *Ingegneria Industriale*, pp. 141-145, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

è durata molti anni. La partecipazione alle attività del MTRF è stata particolarmente importante per la storia del gruppo perché ha portato a poter accedere a macchinari di altissimo livello (il primo è stato una fresa a 5 assi con mandrino ad alta velocità, modello Mori Seiki NMV1500 DCG) che hanno permesso la realizzazione di molte campagne sperimentali in condizioni di lavoro raggiungibili solo da poche università italiane, e l'accesso ad un network di contatti internazionali estremamente ricco e collaborativo, focalizzato sulle lavorazioni per asportazione. Infatti, i meeting annuali del MTRF, organizzati perché ogni partner potesse presentare le proprie attività di ricerca, sono sempre stati opportunità importanti per impostare ricerche congiunte e programmare scambi di personale docente e studenti.



Figura 93 – Inaugurazione installazione NMV presso Santa Marta con il Presidente della fondazione MTRF, Prof. Kazuo Yamazaki.

La fondazione ha chiuso le sue attività con il 2020, conseguentemente al pensionamento dello storico presidente, Prof. Kazuo Yamazaki, ed ha lasciato come eredità al MTRL la disponibilità di 3 macchine a controllo numerico (2 frese a 5 assi ed un tornio a controllo numerico) ed un bagaglio di esperienze importanti per sviluppare attività di ricerca a livello internazionale.



MORI SEIKI 1500 DCG

DMG MORI DMU 75

CTX 450 ECOLINE

WAAM PROTOTYPES

Figura 94 – Principali macchine installate presso il MTRL.

Al momento il gruppo è costituito da 2 professori associati, 2 ricercatori a tempo determinato, 4 dottorandi ed 1 assegnista oltre al personale tecnico che supporta le attività di laboratorio.

L'aumento delle dimensioni del gruppo ha permesso anche l'introduzione di nuovi temi di ricerca, in particolare è diventato un filone di attività dominante anche quello

delle tecnologie Additive Manufacturing con tecnologia Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM). La tecnologia WAAM è stata inizialmente introdotta come complementare alle lavorazioni di asportazione per creare dei processi ibridi e successivamente è stata impiegata anche come tecnologia produttiva a sé stante.

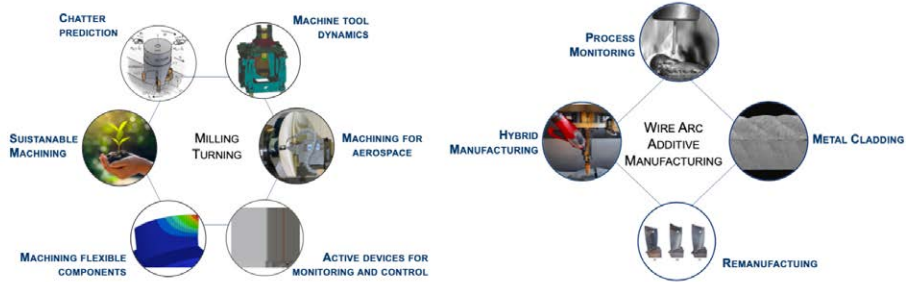


Figura 95 – Attività di ricerca prevalenti del MTRL.

Negli anni le attività sperimentali sono state trasferite dalla sede di S. Marta alla nuova sede del Dipartimento presso Calenzano, dove il laboratorio ha assunto una migliore struttura grazie agli spazi più adeguati. In particolare, le attività connesse ai processi di asportazione e deposizione WAAM sono state trasferite nei nuovi spazi che ospitano: una fresa a 5 assi, un tornio NC, un robot ed un sistema cartesiano per deposizione WAAM oltre a tutta la strumentazione per eseguire prove strumentate. È comunque rimasto operativo anche il laboratorio presso S. Marta, che ospita una fresa a 5 assi per lavorazioni ad alta velocità e la strumentazione metrologica, inclusa una CMM Mitutoyo.



Figura 96 – Laboratorio MTRL presso la sede di Calenzano.

Negli anni i progetti di ricerca internazionale sviluppati dal gruppo sono stati molteplici, ed hanno privilegiato la collaborazione con le imprese. Tra quelli di maggiore interesse si possono citare:

RETROFIX. Progetto di ricerca finanziato nell'ambito della call Manunet III, che aveva come obiettivo lo sviluppo di un kit da installare su una fresatrice esistente con l'obiettivo di trasformarla in una stazione di lavoro ibrida per deposizione ed asporta-

zione di truciolo. Questa soluzione permette di implementare facilmente delle strategie di riparazione per componenti ad alto valore aggiunto. Il progetto si è concentrato sia sullo sviluppo del sistema hardware che della parte di controllo e software per la creazione dei percorsi. Nel progetto erano coinvolte anche aziende nazionali, con l'obiettivo di trasferire le tecnologie sviluppate dal laboratorio alla produzione. In particolare, al progetto ha partecipato FIDIA, azienda piemontese che sviluppa macchine utensili e che ha adattato il kit di progetto alle proprie macchine, e Nuovo Pignone S.r.l. – grande impresa del settore Oil&Gas con sede a Firenze – che ha sfruttato la soluzione sviluppata per mettere a punto un processo di riparazione di palette di turbina. Questa soluzione, che è stata inizialmente testata all'interno del progetto, è ora un approccio consolidato che l'azienda sta utilizzando.

INTEFIX. Progetto finanziato nell'ambito del bando H2020 che ha visto lo sviluppo di una soluzione per la soppressione attiva dei fenomeni vibratorii durante un processo di fresatura, che possono portare alla prematura rottura dell'utensile e ad un degrado della finitura superficiale del componente lavorato. Il sistema sviluppato è costituito da un sistema di supporto dotato di sensori ed attuatori ed una logica di controllo autonoma per monitorare e controllare il processo in tempo reale. Questo bando ha visto la presenza di una grande azienda trentina, Girardini, che ha testato il prodotto all'interno del proprio stabilimento, fornendo dei feedback per la sua messa a punto e valutando l'impatto che tale sistema può avere sulla propria produzione.

FACTS4WORKERS. Il progetto è stato finanziato su bando H2020 ed ha coinvolto molte aziende europee della filiera automotive. Il progetto ha la finalità di migliorare l'attrattività dei luoghi di lavoro attraverso l'implementazione di soluzioni Industria 4.0 all'interno degli stabilimenti. Con questo progetto sono state sviluppate varie soluzioni generiche per il miglioramento delle attività in varie aree dell'azienda, poi adattate sulla base delle specifiche richieste delle aziende partecipanti. Con molte di queste, come ThyssenKrupp, Thermolympic, Schaeffler, Hydria, il gruppo di lavoro ha avuto modo di collaborare in modo continuativo per lo sviluppo, messa a punto ed implementazione delle soluzioni previste.

La vocazione del gruppo è stata sempre quella di sviluppare delle attività di ricerca che potessero avere un interesse per il tessuto industriale locale e nazionale, con l'obiettivo di vedere una pratica applicazione in ambito industriale dei risultati di ricerca sviluppati in laboratorio. Con questo obiettivo sono stati realizzati vari progetti di ricerca con aziende locali, spesso finanziati a livello regionale, che attività di ricerca cono terzi, per lo sviluppo di attività di ricerca presso le aziende.

Un progetto che è interessante citare fra le molteplici attività finanziate dalla Regione Toscana è il DAMP-IT che ha visto come risultato lo sviluppo di un utensile da barenatura intelligente, dotato di sensori ed attuatori, in grado di identificare le condizioni di lavoro instabili ed utilizzare gli attuatori interni per riportare le lavorazioni in condizioni di massima stabilità ed efficienza. Questo processo avviene in modo autonomo grazie alle logiche di controllo implementate all'interno del sistema permettendo un funzionamento del sistema senza nessun intervento da parte dell'operatore ed in modo estremamente rapido appena si verifica l'insorgere del problema. Oltre allo strumento dei progetti di ricerca finanziati da enti locali, negli anni il MTRL ha realizzato varie collaborazioni con aziende, sia di piccole dimensioni che grandi imprese.

Vista la forte presenza sul territorio e la vocazione innovativa dell'azienda, non è possibile non citare la pluriennale collaborazione con Nuovo Pignone S.r.l. (in passato afferente a GE Oil&Gas ed ora a Baker Hughes). Con l'azienda sono state sviluppate una pluralità di attività e c'è stato un trasferimento continuo di soluzioni innovative e di personale (laureandi, dottorandi, assegnisti) dall'università alla società. Le colla-

borazioni hanno riguardato principalmente i temi della produzione, con focus sullo sviluppo di soluzioni innovative per la produzione efficiente di componenti meccanici tramite lo sviluppo di approcci per modellazione e ottimizzazione del processo di fresatura, la riduzione delle vibrazioni e del chatter in tornitura e fresatura, l'analisi di processi non convenzionali e lo sviluppo di soluzioni green, per venire incontro alle sempre più marcate esigenze di sviluppare delle soluzioni ad elevata sostenibilità, o lo sviluppo di strategie per la riparazione di componenti critici. Negli ultimi anni si è inoltre sviluppata una collaborazione sulle tematiche del Green Manufacturing, portate avanti tramite una borsa di dottorato di tipo industriale (approccio recentemente reso possibile dal MUR) completamente finanziato dalla società. Le collaborazioni sono state portate avanti utilizzando vari strumenti: attività di ricerca conto terzi, dove il gruppo ha operato come fornitore di servizi di ricerca per Nuovo Pignone S.r.l., partecipazione congiunta a progetti di ricerca di comune interesse – sia regionali che europei – che tramite il finanziamento diretto di personale di ricerca da parte della società, come nel caso di borse di dottorato industriali.

La collaborazione del MTRL si è comunque estesa anche a realtà più piccole che insistono sul territorio, mettendo in evidenza come l'Università possa essere un veicolo di innovazione non solo per realtà di grandi dimensioni e con una struttura fortemente organizzata, ma anche per PMI che vogliono sviluppare soluzioni innovative o che abbiano bisogno di un aggiornamento tecnologico. Fra queste è importante ricordare le collaborazioni nel settore della produzione di componenti per la meccanica pesante e la produzione di componentistica del settore moda, particolarmente rilevante nell'area fiorentina.

Attività della sezione di Fisica Tecnica e ricadute sul territorio fiorentino

Adriano Milazzo

La sezione di Fisica Tecnica del Dipartimento di Ingegneria Industriale ha un'origine che risale alla nascita della Scuola (all'epoca Facoltà) di Ingegneria. Il primo titolare di Fisica Tecnica fu il Prof. Enzo Giusti, che aveva una grande esperienza nella progettazione impiantistica. A partire dai primi anni '90, si è affiancato il Prof. Giuseppe Grazzini, che progressivamente ha assunto un ruolo guida nel gruppo. Il Prof. Grazzini si è occupato di numerosi argomenti di ricerca, dagli Heat Pipes (sistemi statici con fluido in cambiamento di fase per la trasmissione del calore) agli ice slurries (miscele di acqua e particelle di ghiaccio utilizzabili in normali impianti idraulici per trasportare il freddo). Il Prof. Grazzini si è occupato anche di termodinamica dell'irreversibilità, con particolare riguardo a «numeri di generazione entropica» atti a quantificare le irreversibilità in vari processi. Dalla precedente esperienza di docente presso lo IUAV (Istituto Universitario di Architettura di Venezia), Grazzini ha riportato un notevole interesse anche verso la termodinamica degli edifici. La Dott.ssa Carla Balocco ha costruito in quegli anni un solido rapporto di collaborazione con Grazzini, che poi ha originato sviluppi nel campo dello studio del comportamento energetico di edifici storici, nell'illuminotecnica e in altri campi. Attualmente la Prof. Balocco è docente presso la Scuola di Architettura.

Un interesse di ricerca che ha portato notevoli sviluppi è quello per gli eiettori. Nei primi anni 2000 è stato realizzato un prototipo di impianto frigorifero con eiettore bistadio secondo una configurazione innovativa. In questi anni si è inserito nel gruppo l'Ing. Rocchetti, attualmente professore associato, che ha svolto il dottorato di ricerca in laboratorio lavorando sul prototipo ad eiezione. Nel 2006 si è affiancato al gruppo l'ing. Milazzo, che, dopo aver collaborato con Grazzini durante il suo triennio di dottorato a fine anni '80, aveva iniziato la carriera come ricercatore all'Università di L'Aquila. Rientrato a Firenze, Milazzo si è rivolto principalmente alla refrigerazione e agli eiettori. Nel 2010 ha iniziato la costruzione di un nuovo prototipo di impianto frigorifero ad eiezione, in collaborazione con la Ditta Frigel di Scandicci, costruttrice di

Adriano Milazzo, University of Florence, Italy, adriano.milazzo@unifi.it, 0000-0002-8605-993X

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Adriano Milazzo, *Attività della sezione di Fisica Tecnica e ricadute sul territorio fiorentino*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.21, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 147-150, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

sistemi di refrigerazione industriali. Il prototipo è stato in parte finanziato con fondi POR-CREO regionali ed ha subito numerosi miglioramenti negli anni successivi. Le prestazioni raggiunte sono allineate ai migliori risultati di letteratura.

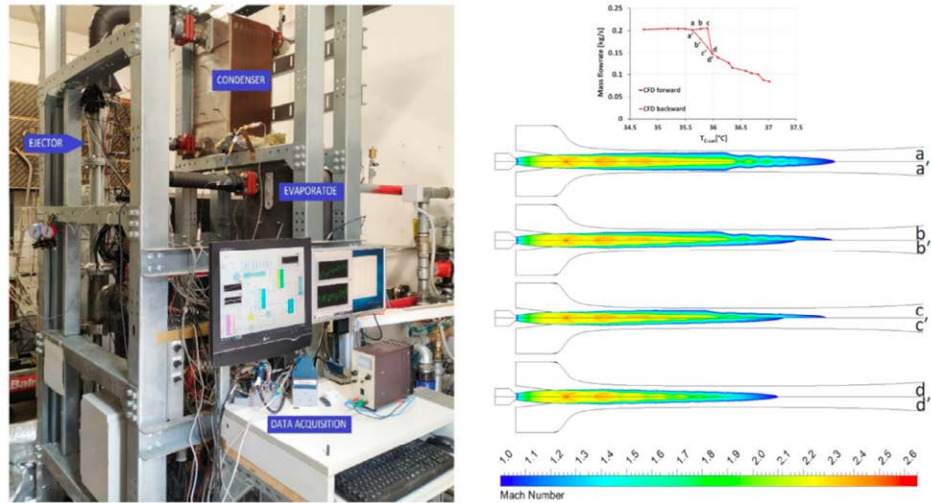


Figura 97 – Alcune attrezzature e test di laboratorio del gruppo.

Attività di rilievo nel recente passato sono quelle inerenti alla progettazione di impianti termici civili e l'analisi energetica dello spazio edificato. A titolo di esempio citiamo la consulenza con l'Ateneo Fiorentino come energy manager e la consulenza con il Comune di Firenze nella stesura del Piano Energetico Comunale.

Attualmente il gruppo di Fisica Tecnica (ThermoGroup) è composto da due professori associati, Milazzo e Rocchetti, e da un ricercatore a tempo determinato, Ing. Lorenzo Talluri, supportati da un nutrito numero di assegnisti e dottorandi. Il gruppo è in forte espansione, grazie all'impegno su più fronti: sia a livello territoriale, con collaborazioni con aziende come Baker Hughes – Nuovo Pignone, Frigel, Officine Mario Dorin, Sammontana e con INRES, che progetta e gestisce impianti frigoriferi per conto di COOP; sia a livello nazionale, collaborando con aziende di rilievo internazionale come Schneider Electric, Danfoss, Nippon Gases, Ferrero e Carel. In parallelo, il gruppo è attivo anche nei bandi europei, con due progetti finanziati in corso: Thunder e Geosyn.

Il progetto Thunder si concentra sull'uso di materiali termo-chimici innovativi per la realizzazione di sistemi di accumulo termico che immagazzinano il calore residuo dei sistemi di raffreddamento dei data center, rendendolo disponibile per riutilizzo da parte di utenti residenziali o industriali. Il gruppo si occupa della modellazione dei fenomeni di trasferimento di calore e massa all'interno dei sistemi di accumulo termo-chimico, per sviluppare tecniche di progettazione per sistemi su scala di laboratorio e prototipale. Parallelamente, è coinvolto nella modellazione e ottimizzazione di reti termiche intelligenti (District Heating and Cooling Networks) capaci di integrare tali dispositivi e concorrere alla decarbonizzazione del settore energetico del riscaldamento e raffrescamento in ambito urbano.

Il progetto Geosyn si concentra sullo sviluppo di una pompa di calore geotermica ad acqua, combinata con un sistema di refrigerazione alimentato da sorgente (geo)termica per applicazioni industriali.

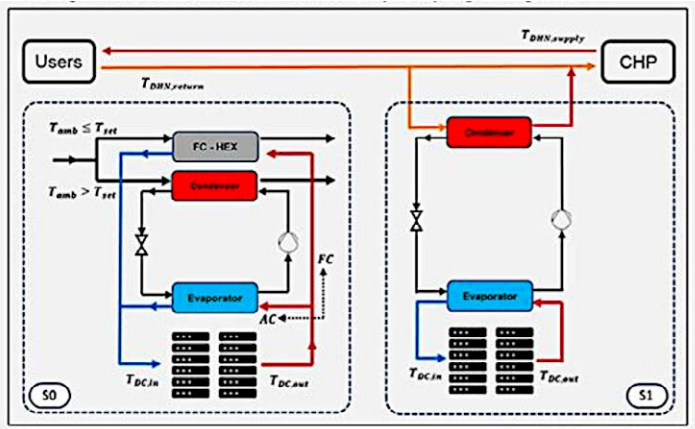


Figura 98 – Una schermata del sistema sviluppato per il progetto Thunder.

Questa soluzione si basa sull'uso a cascata del calore proveniente da formazioni rocciose profonde e superficiali, mettendo in risalto la sostenibilità ambientale grazie all'impiego dell'acqua come fluido di lavoro in tutti i sottosistemi. Il gruppo è responsabile del coordinamento scientifico del progetto, con particolare attenzione alla modellazione del sistema di refrigerazione e all'ottimizzazione dell'intero impianto.

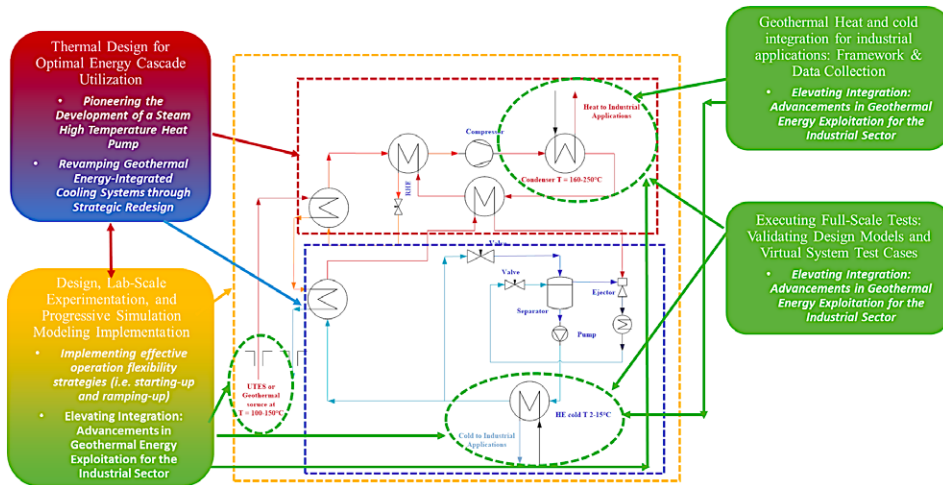


Figura 99 – Una schermata del sistema sviluppato per il progetto Geosyn.

Oltre ai bandi europei, il gruppo è attivo anche a livello nazionale, partecipando al progetto PRIN 2022 PNRR CO₂MIX, che mira allo studio di miscele di CO₂ per cicli inversi. L'obiettivo principale del progetto è identificare e analizzare miscele di refrigeranti sostenibili per pompe di calore e sistemi frigoriferi avanzati. La strategia del progetto si articola su due livelli: a livello di sistema, ottimizzando le prestazioni termo-economiche e ambientali, e a livello di componenti, studiando i meccanismi di trasferimento di calore nel flusso bifase negli scambiatori di calore. Il gruppo ha inoltre l'ambizioso obiettivo di sviluppare un codice numerico CFD per simulare tali miscele in cambiamento di fase.

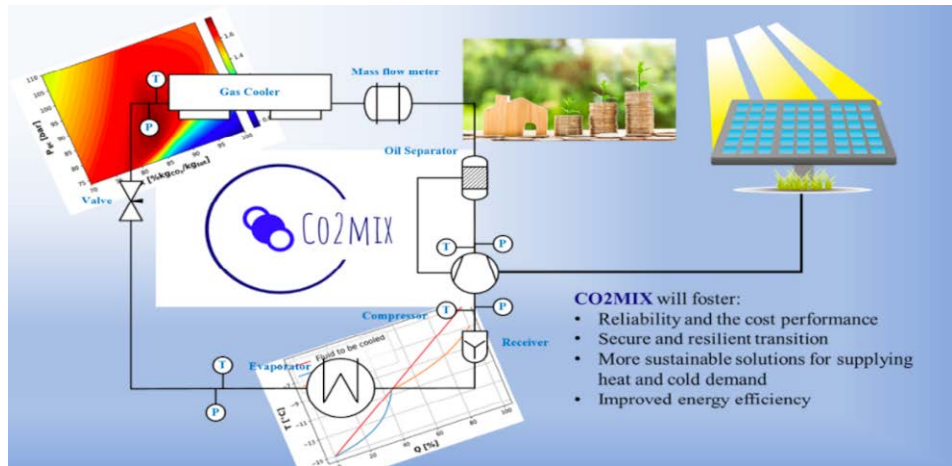


Figura 100 – Una schermata del sistema sviluppato per il progetto Geosyn.

Attualmente il personale del ThermoGroup svolge attività sperimentale presso il Laboratorio di Fisica Tecnica, dove sono in attivazione banchi prova sperimentali per la caratterizzazione di macchine frigorifere, pompe di calore ad alta temperatura, sistemi di accumulo termico stagionali e miscele innovative di fluidi refrigeranti naturali. L'attività sperimentale si affianca a quella numerica e modellistica che il gruppo di ricerca sviluppa in ambito di refrigerazione e condizionamento per usi civili ed industriali.

In conclusione, il ThermoGroup ambisce a rafforzare ulteriormente la propria presenza all'interno del Dipartimento, ampliando il numero di strutturati, assegnisti e dottorandi, e continuando a esplorare la ricerca di frontiera a livello europeo e nazionale. Il gruppo punta a facilitare lo sviluppo di tecnologie a basso impatto ambientale e a promuovere la crescita di nuove aziende nel territorio nei settori della refrigerazione, del condizionamento e dello scambio termico. In futuro, la ricerca si concentrerà su sistemi innovativi di scambio termico, configurazioni all'avanguardia di cicli inversi (frigoriferi e pompe di calore) e studio approfondito di sistemi di accumulo termico connessi a reti di teleriscaldamento.



Figura 101 – Thermo Group.

Macchine a fluido: la ricerca del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF)

Antonio Andreini, Andrea Arnone, Tommaso Bacci, Francesco Balduzzi, Maurizio De Lucia, Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Michele Marconcini, Roberto Pacciani, Alessio Picchi, Lorenzo Pinelli, Francesco Poli, Francesco Taddei, Luca Romani

Questa sezione illustra le attività di ricerca e sviluppo condotte da quattro gruppi del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF):

- TGroup: metodologie avanzate per l'analisi e la progettazione delle turbomacchine
- HTGroup: supporto allo sviluppo tecnologico delle turbine a gas
- AeroacousticGroup: studi e ricerche nel campo dell'aeroacustica
- ARES Group: sviluppo numerico e sperimentale dei motori a combustione interna

Questi gruppi vantano una consolidata tradizione di collaborazione con realtà industriali sia nazionali sia internazionali, contribuendo in modo significativo all'innovazione in diversi ambiti, dalla progettazione delle turbomacchine fino ai motori a combustione interna.

TGROUP – Metodologie avanzate per lo studio ed il progetto delle turbomacchine¹

I primi studi teorici del gruppo di ricerca iniziarono nel 1984-85 sul tema del “flutter” dei profili aerodinamici. Sebbene questa fosse un'importante tematica nella progett-

¹ Questo paragrafo è stato scritto da Andrea Arnone, Roberto Pacciani, Michele Marconcini, Lorenzo Pinelli e Francesco Poli.

Antonio Andreini, University of Florence, Italy, antonio.andreini@unifi.it, 0000-0002-7508-9607
Andrea Arnone, University of Florence, Italy, andrea.arnone@unifi.it, 0000-0001-7471-4442
Tommaso Bacci, University of Florence, Italy, tommaso.bacci@unifi.it, 0000-0002-9890-3528
Francesco Balduzzi, University of Florence, Italy, francesco.balduzzi@unifi.it, 0000-0003-3333-945X
Maurizio De Lucia, University of Florence, Italy, maurizio.delucia@unifi.it, 0000-0003-2000-1927
Bruno Facchini, University of Florence, Italy, bruno.facchini@unifi.it, 0000-0003-4489-4256
Giovanni Ferrara, University of Florence, Italy, giovanni.ferrara@unifi.it, 0009-0004-8713-1958
Michele Marconcini, University of Florence, Italy, michele.marconcini@unifi.it, 0000-0002-4391-0093
Roberto Pacciani, University of Florence, Italy, roberto.pacciani@unifi.it, 0000-0002-7242-0480
Alessio Picchi, University of Florence, Italy, alessio.picchi@unifi.it, 0000-0003-4389-4537
Lorenzo Pinelli, University of Florence, Italy, lorenzo.pinelli@unifi.it, 0000-0002-0457-4218
Francesco Poli, University of Florence, Italy, francesco.poli@unifi.it, 0000-0001-6620-0791
Francesco Taddei, University of Florence, Italy, francesco.taddei@unifi.it, 0000-0001-6341-6490
Luca Romani, University of Florence, Italy, luca.romani@unifi.it, 0000-0002-9482-7804

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Antonio Andreini, Andrea Arnone, Tommaso Bacci, Francesco Balduzzi, Maurizio De Lucia, Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Michele Marconcini, Roberto Pacciani, Alessio Picchi, Lorenzo Pinelli, Francesco Poli, Francesco Taddei, Luca Romani, *Macchine a fluido: la ricerca del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF)*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.22, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 151-161, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

tazione delle turbomacchine, rappresentava al tempo uno strumento complementare e scarsamente generalizzabile. L'obiettivo di ricerca si spostò quindi su metodologie di studio che fossero in linea con le tendenze dei centri di ricerca all'avanguardia nel campo dell'aerodinamica. Nel 1987 iniziò l'attività di ricerca relativa allo sviluppo del codice TRAF (TRANsonic Flow solver), uno strumento di Fluidodinamica Computazionale (CFD) capace di simulare il flusso all'interno di una turbomacchina. Al tempo molti erano gli sviluppi della CFD ma prevalentemente in ambito aerospaziale. L'obiettivo della ricerca e del codice TRAF fu quindi di utilizzare le migliori tecniche di calcolo per lo studio e la progettazione avanzata delle turbomacchine. In questa prima fase si inseriscono le numerose collaborazioni con l'Institute for Computer Applications in Science and Engineering (ICASE, NASA Langley Research Center, VA, USA) e l'Institute for Computational Mechanics in Propulsion (ICOMP, NASA Lewis Research Center, Cleveland, OH, USA).

Successivamente, anche Nuovo Pignone, Fiat Avio, von Kármán Institute e Ansaldo Energia iniziarono ad utilizzare i codici TRAF finanziando attività di ricerca sulla progettazione aerodinamica di turbomacchine. Questo consentì al TGroup di poter portare avanti lo sviluppo delle tecniche CFD implementate nel codice TRAF contando sul supporto finanziario e un diretto utilizzo ed interesse da parte dell'industria. Un percorso che ha anticipato quello che oggi è il trasferimento tecnologico.

Gli anni a venire hanno rappresentato un periodo di florido sviluppo dei metodi CFD e hanno visto l'Università di Firenze sempre in prima linea fra gli attori internazionali ed in particolar modo nei progetti della EU.

Alla aerodinamica si sono aggiunti temi importanti nella progettazione dei propulsori aeronautici come l'aeromeccanica e la previsione del rumore. Di rilievo la collaborazione con Avio sulle pompe criogeniche del lanciatore europeo ARIANE 5. Ad oggi e dopo 40 anni le collaborazioni con le Industrie che inizialmente si sono interessate al TRAF sono sempre attive. Gli obiettivi sono ovviamente più ambiziosi ma la Scuola di Firenze resta comunque un riferimento nel panorama internazionale. Da menzionare tre aspetti di rilievo. Il primo è che l'esperienza decennale nel campo dell'aerodinamica e dell'aeromeccanica ha consentito al TGroup di restare all'avanguardia in un settore, come quello delle macchine a fluido, che oggi si è rivelato strategico nell'ambito della transizione energetica. Il secondo è l'affezione alla fluidodinamica computazionale che si manifesta attraverso i costanti sviluppi della modellistica della turbolenza fino all'utilizzo dell'intelligenza artificiale e del machine learning come supporto allo sviluppo di modelli data-driven. Il terzo è legato alla stretta e duratura collaborazione con le industrie e si è concretizzato in un approccio allo sviluppo della ricerca sempre focalizzato sulla fruibilità dei metodi per la fase di progettazione. Una ricerca quindi con tempi di ricaduta molto rapidi e compatibili con le necessità aziendali.

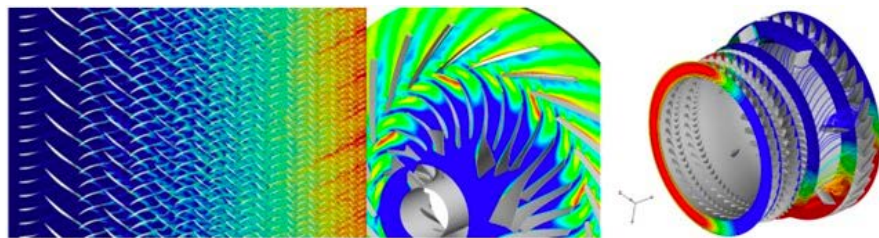


Figura 102 – Applicazioni della fluidodinamica computazionale a moduli di turbomacchine (a) compressore assiale con 11 stadi (b) stadio di turbocompressore per sovralimentazione (c) turbina a gas in condizioni di parzializzazione del combustore.

HTGROUP – Il sostegno allo sviluppo tecnologico delle turbine a gas²

La storia di questa avventura, come è ben delineato nella sezione storica di questa edizione, inizia ormai oltre 30 anni fa e si sviluppa progressivamente con forti legami e connessioni col contesto industriale nazionale ed internazionale e con un contributo sempre crescente alla ricerca competitiva in ambito europeo. Negli ultimi 10 anni l'acquisizione del sito di Calenzano e lo sviluppo del THT-LAB, Laboratory of Technologies for High Temperature, nelle sue funzioni di diagnostica sperimentale e calcolo numerico ad alte prestazioni, rappresenta un indubbio passo in avanti, portando ulteriori possibilità alle principali realtà industriali del settore.

La collaborazione col territorio è stata particolarmente di rilievo con la società Nuovo Pignone, la più importante realtà industriale del distretto fiorentino, diventata negli ultimi trent'anni un riferimento nel settore dell'energia, fino ad essere oggi un asset determinante della multinazionale Baker Hughes (BH), per le turbomacchine e le turbine a gas.

Sicuramente il Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) e in particolare il gruppo di ricerca sullo scambio termico e la combustione ha giocato un ruolo da protagonista contribuendo in maniera significativa al progresso dell'azienda in termini di innovazione tecnologica e ciò ha permesso alla realtà industriale una crescita significativa, giocando un ruolo sempre più orientato alla riduzione delle emissioni inquinanti nel settore power generation, fino alla transizione energetica con un progressivo abbandono dell'uso delle risorse fossili.

Lo sviluppo del THT Lab ha portato lo studio sperimentale ad elevata maturità tecnologica (Technology Readiness Level -TRL 5-6) con la possibilità di sperimentare componenti e moduli di turbina a gas fino a condizioni di temperature e pressione reali (2000 °C e 10 bar), connessa alla simulazione numerica in grado di supportare in maniera adeguata la ricerca scientifica e lo sviluppo industriale, con oltre 1500 cpu cores e nodi GPUs in specifici cluster HPC.

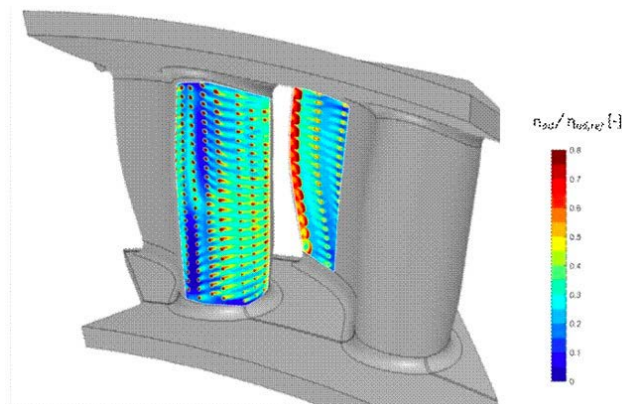


Figura 103 – Misura di efficacia di raffreddamento a film su statore raffreddato.

Lo sviluppo dei nuovi laboratori di Calenzano ha inoltre potenziato notevolmente la capacità di spesa del DIEF nei confronti dell'indotto territoriale della piccola industria

² Questo paragrafo è stato scritto da Bruno Facchini, Antonio Andreini, Alessio Picchi e Tommaso Bacci.

manifatturiera, la cui elevata professionalità ha permesso lo sviluppo di prototipi di elevata qualità tecnica, rendendo possibili ricerche sperimentali e validazioni numeriche di valenza internazionale in ambito scientifico e di interesse diretto per lo sviluppo industriale.

Le tecniche di misura si sono evolute negli anni e ormai si possono applicare sui componenti di macchina «real hardware» come l'uso delle vernici sensibili alla concentrazione dell'ossigeno (Pressure Sensitive Paint) che consente la caratterizzazione dell'efficacia del raffreddamento a film sui profili palari raffreddati degli statori e dei rotori degli stadi ad alta temperatura. La Figura 103 mostra un risultato di questa tipologia ottenuto su un profilo statorico raffreddato di una macchina Baker Hughes (Babazzi et al. 2023).

La capacità sinergica offerta dal DIEF al contesto industriale ha contribuito a rendere Nuovo Pignone BH uno dei leader internazionali nello sviluppo di macchine sempre più efficienti ed affidabili orientate all'uso sempre più marcato delle tecniche di fabbricazione più innovative come l'Additive Manufacturing. In tale contesto risultano rilevanti i contributi in termini di design di geometrie innovative e di caratterizzazione sperimentale delle prestazioni termiche, anche dopo la loro implementazione in componenti reali raffreddati. La Figura 104 mostra un esempio di features innovative per sistemi di raffreddamento interni, preliminarmente caratterizzate a livello di geometria fondamentale (Castelli et al. 2024) successivamente implementate in uno statore raffreddato.

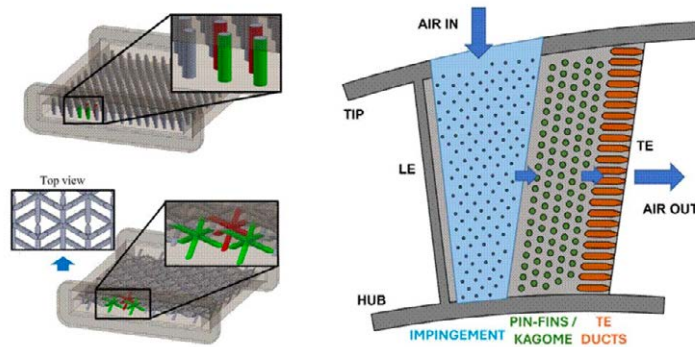


Figura 104 – Geometrie innovative per sistemi di raffreddamento interni.

La progettazione indipendente di nuove macchine richiede in quest'ambito una conoscenza approfondita dei circuiti dell'aria secondaria, il cui funzionamento è determinante per l'affidabilità della turbina. In questo contesto è stato sviluppato un prototipo semplificato di turbina, denominato *stator-rotor cavity rig* (Figura 105), per consentire uno studio dettagliato di fenomeni complessi ancora non del tutto investigati nel contesto della letteratura internazionale riguardanti l'ingestione di gas caldi all'interno degli spazi ruota.

La peculiarità di tale sperimentazione risiede nell'uso di tecniche di diagnostica non intrusiva in grado di fornire risultati in termini di distribuzioni spaziali e di cogliere l'evoluzione di strutture di flusso non stazionarie attraverso approcci *time resolved*.

La pubblicazione dei risultati ottenuti ha suscitato vasto interesse nel contesto internazionale proponendo sia una descrizione fenomenologica dei flussi secondari all'interno delle cavità statore-rotore, sia utili correlazioni progettuali per un impiego diretto nell'ottimizzazione della turbomacchina. Anche nel contesto dei progetti europei si riscontrano i segni evidenti di questa collaborazione, come ad esempio il pro-

getto TRANSITION (Horizon Europe), coordinato da DIEF a cui partecipa Nuovo Pignone BH, orientato allo sviluppo di tecnologie di combustione innovative per facilitare la successiva cattura e sequestrazione della CO_2 (Carbon Capture Storage) negli impianti combinati già in esercizio.

In Figura 106 sono riportate alcune immagini dei test sperimentali condotti presso il THT-Lab volti a determinare le soluzioni ottimali di bruciatori per l'esercizio con Exhaust Gas Recirculation (EGR) capaci di garantire alti tenori di CO_2 allo scarico favorendone la cattura e sequestrazione.

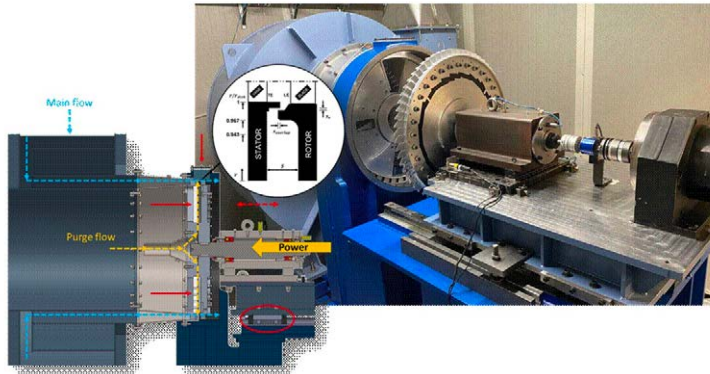


Figura 105 – Stator-Rotor Cavity rig presso il THT LAB del DIEF.

Le investigazioni sperimentali sono state supportate da un'estensiva campagna di simulazioni CFD di tipo high-fidelity (LES), validate sui dati sperimentali e capaci quindi di estendere il numero di configurazioni analizzate.

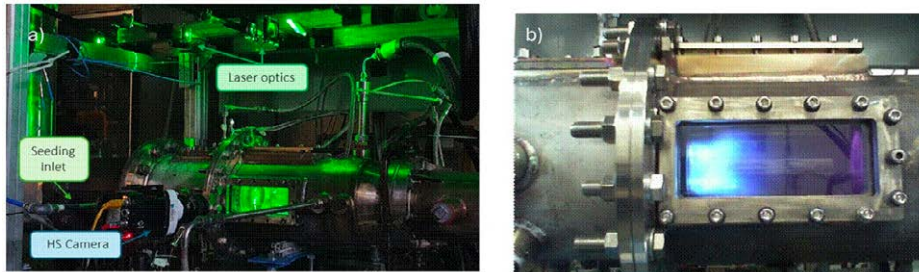


Figura 106 – Test di diagnostica ottica dei processi di combustione presso il THT Lab: a) setup per velocimetria laser PIV, b) visualizzazione di una fiamma turbolenta.

In Figura 107 sono riportati alcuni snapshots delle analisi del processo di spegnimento della fiamma in bruciatori operati ad alto tenore di EGR.

Anche nel campo dell'introduzione dell'idrogeno si ricordano il progetto MSCA-ETN INSPIRE (Horizon 2020), ancora coordinato da DIEF, incentrato sullo studio di combustori di tipo Pressure Gain, una innovativa soluzione per le future turbine a gas alimentate ad idrogeno, che troverà ulteriore sviluppo nel più recente MSCA-DN H2POWRD.

A titolo d'esempio si riporta in Figura 108 un esempio di simulazione di un combustore a detonazione rotante (RDC) nel quale è stato per la prima volta verificata la possibilità di un raffreddamento delle pareti della camera mediante *film cooling*.

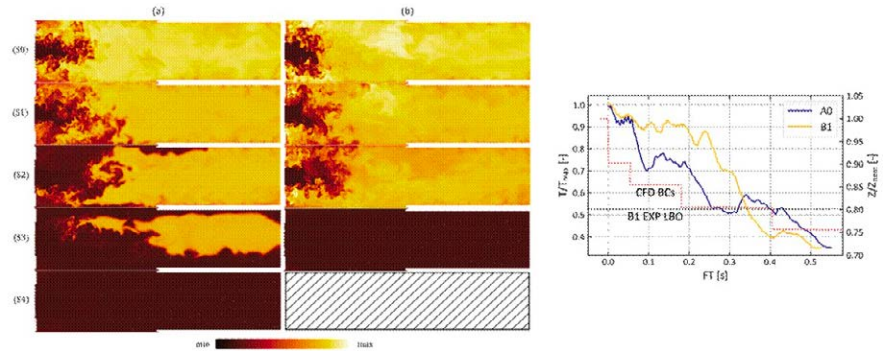


Figura 107 – Simulazioni del processo di Lean Blow Out (LBO) di due configurazioni di bruciatori operati ad alto tenore di EGR.

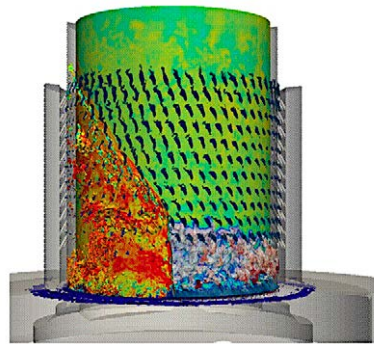


Figura 108 – Snapshot di una simulazione CFD high-fidelity del fronte di fiamma detonante in un combustore RDC (Rotating Detonation COmbustor) raffreddato mediante film cooling.

Da segnalare inoltre il progetto ICHArUS (MSCA-DN, Horizon Europe), dove si sta studiando per via numerica e sperimentale l'utilizzo di campi elettrici ed elettromagnetici per il controllo dei processi di combustione con lo scopo di rendere possibile l'uso di combustibili non convenzionali (idrogeno e ammoniaca) limitando la formazione di sostanze inquinanti e garantendo un'adeguata stabilità operativa. Infine, merita segnalare il progetto ACHIEVE, finanziato nell'ambito della JU Clean Hydrogen (Horizon Europe), volto allo studio dei processi di combustione nelle turbine a gas alimentate mediante miscele idrogeno-ammoniaca, soluzione di estremo interesse per il contesto industriale grazie alla facilità di stoccaggio e trasporto dell'ammoniaca rispetto all'idrogeno puro. Nello stesso contesto Clean Hydrogen si segnala il progetto INSIGH2T, ammesso al finanziamento e partito ad inizio 2025, che vede ancora una volta il DIEF consorziato con Nuovo Pignone BH e i più prestigiosi centri di ricerca europei per lo studio del processo di combustione di idrogeno nelle turbine a gas.

Di particolare rilievo sono le attività di ricerca nel contesto dello sviluppo di combustori a basse emissioni inquinanti per turbine a gas impiegate come motori aeronautici. Nel corso degli ultimi 20 anni si segnalano oltre 15 progetti di ricerca europei a cui il DIEF ha partecipato, spesso anche come capofila. Nel corso degli ultimi 5 anni risulta dominante l'attività di ricerca volta allo sviluppo di tecnologie e metodologie di indagine per il futuro impiego di idrogeno come combustibile carbon-free per l'aviazione civile. Si segnalano i progetti HESTIA (Horizon Europe Cluster 5), HYDEA – finanziato dal JU Clean Aviation e volto alla realizzazione di un primo prototipo dimostratore di motore turbofan ad

idrogeno, ed infine il progetto FFLECS, coordinato dal DIEF, nel quale sono analizzati due concetti rivoluzionari di combustore per motore aeronautico capaci di operare in modalità dual-fuel, alimentati da idrogeno e jet-A simultaneamente. A titolo d'esempio si riporta in Figura 109 un'immagine di una simulazione CFD multi-physics di un settore di combustore anulare a basse emissioni di NOx sviluppato in collaborazione con la società AvioAero.

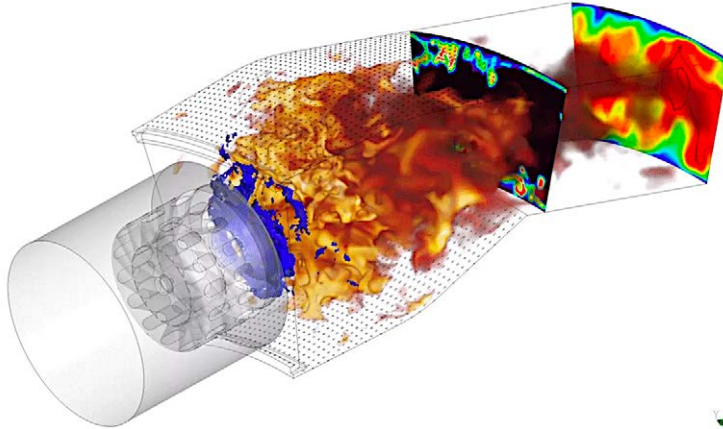


Figura 109 – Simulazione CFD LES di un combustore aeronautico a basse emissioni di NOx svolta in collaborazione con la società AvioAero.

AEROACUSTICGROUP – Aeroacustica³

Già dalla costituzione dell'Istituto e poi Dipartimento di Energetica, nel 1981, ebbero inizio le attività di ricerca sulle misure avanzate nelle macchine, avviate dal Prof. Giampaolo Manfrida. In particolare, la galleria del vento tarasonde, ammodernata più volte, è ancora in uso per lo sviluppo e tarature di sonde pneumatiche (Pitot e sonde direzionali a 3 e 5 fori) e sonde a filo caldo singole e multiple, fino a Mach =0,4. Essa permette la riduzione dei dati ed il calcolo delle incertezze di misura (velocità, pressione statica e totale ed angoli).

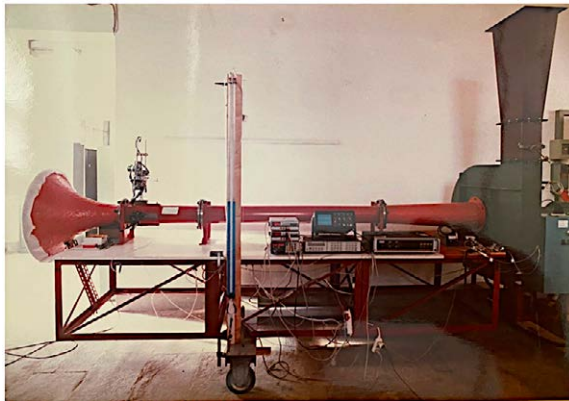


Figura 110 – Galleria tarasonde nel laboratorio (1981).

³ Questo paragrafo è stato scritto da Maurizio De Lucia e Francesco Taddei.

Successivamente, anche grazie a questa eredità il gruppo del Prof. Maurizio De Lucia, a partire dal 1989-90 ha avviato altri filoni di ricerche misuristiche. Inizialmente, il gruppo si è concentrato sulle misure radiometriche di temperatura sui primi stadi delle turbine a gas. Attività che ha portato allo sviluppo di uno standard oggi riconosciuto ed affermato nel settore. Le competenze acquisite nelle misure ad alta e altissima frequenza hanno successivamente permesso di estendere le ricerche alle misure di pressione ad alta frequenza. Da queste basi, intorno al 2004, sono state avviate ricerche specifiche nell'ambito dell'aeroacustica sperimentale.

Presso il Dipartimento sono state sviluppate e proposte tecniche ad oggi parzialmente standardizzate, non più basate sull'uso di microfoni tradizionali, bensì su sensori di pressione dinamici e/o miniaturizzati. In particolare, nel contesto del progetto europeo VITAL mirato allo sviluppo dei motori turbofan di nuova generazione, è stata avviata un'importante attività di ricerca in collaborazione con l'azienda AvioAero (Ora GE-Avio) per lo studio dei meccanismi di generazione del rumore tonale nei motori aeronautici che ha portato a sviluppare tecniche di misure innovative per lo studio sperimentale del rumore generato dalle interazioni aerodinamiche tra rotore e statore. Le tecniche di misura sviluppate hanno consentito lo sviluppo di una galleria rotante ancora disponibile presso il DIFEF e sono state applicate inizialmente sul banco prova Cold Flow di AvioAero presso i laboratori di Torino Sangone su modelli in scala di turbine aeronautiche e successivamente sul banco prova PoloniaAero di GE Aviation per essere usate per la misurazione della potenza sonora su turbine in scala reale, per lo sviluppo di soluzioni progettuali «low-noise» per i futuri motori aeronautici. Di rilievo in questo ambito il contributo del gruppo di lavoro di Unifi nello sviluppo della sensoristica e nella messa a punto di metodologie sperimentali specifiche.

Dall'esperienza maturata nel campo delle misure acustiche sulle turbomacchine recentemente è stato avviato un nuovo filone di ricerca mirato allo sviluppo di rivestimenti fonoassorbenti per l'abbattimento del rumore nei motori aeronautici, i cosiddetti «LINER» acustici. Nel contesto del progetto di ricerca europeo ENOVAL (Engine Module Validators) iniziato nel 2013 è stato inizialmente progettato, realizzato e messo in funzione un banco prova a flusso radente (Grazing Flow Rig) per la misurazione dell'impedenza acustica dei liner in condizioni operative rappresentative dello scarico del motore aeronautico. Il banco prova, mostrato nell'immagine di seguito, è stato modificato ed ottimizzato e ad oggi permette di testare liner con velocità del flusso fino a numero di Mach uguale a 0,5 e temperatura fino a 450 °C.

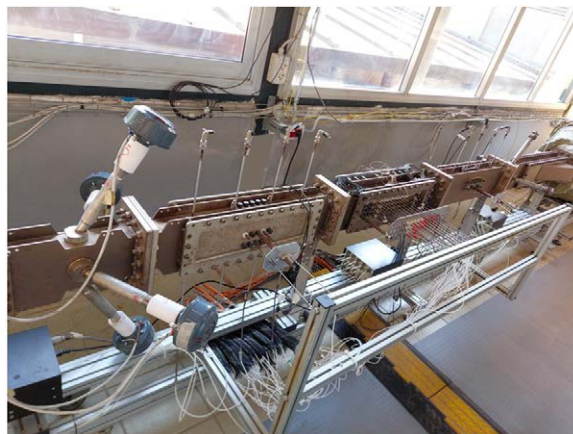


Figura 111 – Banco prova in assetto TEST.

Il banco prova è stato recentemente validato per effettuare misure di impedenza acustica su campioni di liner innovativi per attività di ricerca e su componenti commerciali per attività di sviluppo industriale per aziende del settore aeronautico. L'immagine seguente mostra un campione di liner costruito tramite manifattura additiva presso il Dipartimento.



Figura 112 – Prototipo di LINER realizzato da Unifi-DIEF.

ARES Group – Sviluppo numerico e sperimentale di Motori a Combustione Interna⁴

Il gruppo ARES (Applied Research in Energy Systems) nasce nel 2001 grazie allo stimolo di alcune aziende toscane del settore delle due ruote, come Piaggio e Betamotor, che richiedevano supporto per lo sviluppo dei propri motori a due e quattro tempi.

Dal 2003 il gruppo ha ampliato le proprie attività aprendo a Prato il laboratorio LINEA (Laboratorio di INnovazione per l'Energia e l'Ambiente), con il supporto del PIN – Polo Universitario di Prato. In quegli anni è stato realizzato il primo banco prova motori, dotato di un freno a correnti parassite, che ha rappresentato la base per le successive attività sperimentali. Negli anni successivi la crescita è stata costante, grazie alla partecipazione a numerosi progetti di ricerca finanziati a livello regionale e nazionale e alla collaborazione con importanti aziende del settore, tra cui Piaggio, Aprilia, Guzzi, Betamotor, Ducati, Magneti Marelli ed EDI Progetti.

Un momento di svolta si è avuto nel 2011, quando il gruppo ha supportato la multinazionale giapponese Yanmar nell'apertura del suo centro di ricerca europeo, poi insediato a Firenze (Yanmar R&D Europe). Da allora sono state sviluppate numerose collaborazioni, sia numeriche sia sperimentali, che hanno portato anche al deposito di brevetti in ambito controllo e diagnostica attiva (basata, ad esempio, sull'analisi della pressione indiretta in camera di combustione, delle velocità istantanee del turbocompressore e dell'albero motore). Parallelamente, in collaborazione con Yanmar, HPE e Ferrari GT, è stato avviato un filone di ricerca dedicato all'analisi numerica per l'ottimizzazione termo-strutturale dei turbocompressori. Questo ambito, oggi rafforzato dai finanziamenti PNRR, rappresenta un'area chiave per lo sviluppo di nuove soluzioni legate all'impiego dell'idrogeno.

Un altro settore che ha visto un forte impegno del gruppo è quello dei motori due tempi (2T). Sono state messe a punto diverse configurazioni di iniezione diretta a bassa pressione che hanno consentito significativi miglioramenti in termini di efficienza e riduzione delle emissioni di idrocarburi incombusti. Di recente è stata brevettata una nuova tecnologia, l'AGDI (Air Guided Direct Injection), sviluppata da Unifi e attualmente in fase di validazione, che potrebbe garantire la conformità anche alle più stringenti normative EURO 5+.

⁴ Questo paragrafo è stato scritto da Giovanni Ferrara, Francesco Balduzzi e Luca Romani.

Negli ultimi anni l'attenzione si è concentrata in particolare sulla filiera dell'idrogeno. Con Yanmar R&D Europe sono stati sviluppati sistemi di controllo avanzati per la gestione ciclo-ciclo dell'iniezione di idrogeno, sia indiretta (PFI) che diretta (DI), al fine di evitare fenomeni di combustione anomala. Con Yanmar Italy sono in corso attività di industrializzazione di motori a idrogeno, mentre con Dumarey si sta lavorando a un banco per test di durata degli iniettori H₂. In collaborazione con Asso Werke, invece, il gruppo sta sviluppando componentistica «calda» (pistoni e fasce elastiche) compatibile con la combustione di idrogeno, in un progetto finanziato dal MIMIT. Sempre in ambito PNRR, sono attivi progetti sull'iniezione d'acqua e sull'ibridizzazione di motori alimentati a idrogeno.

Nell'ottica di incrementare l'efficienza e contenere le emissioni inquinanti il gruppo ARES ha maturato esperienza anche nel design delle precamere di combustione (anche in collaborazione con HPE e Betamotor). Recentemente si è attivato un filone di ricerca per la combustione di ammoniaca che vedrà anche l'impiego di pre-camere attive (con iniezione di idrogeno) e passive. Infine, grazie a un finanziamento congiunto dell'Università di Firenze e della Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze, è in fase di installazione una Rapid Compression Expansion Machine (RCEM), la prima in Italia. Questa sofisticata attrezzatura permetterà di analizzare in dettaglio i processi di combustione e di costruire database sperimentali di grande valore sui combustibili di interesse strategico per il futuro: idrogeno, ammoniaca, e-fuels e bio-combustibili.

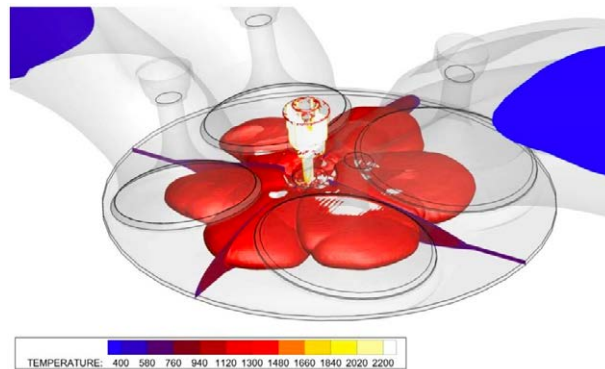


Figura 113 – Simulazione CFD 3D del processo di combustione in un motore dotato di precamera.

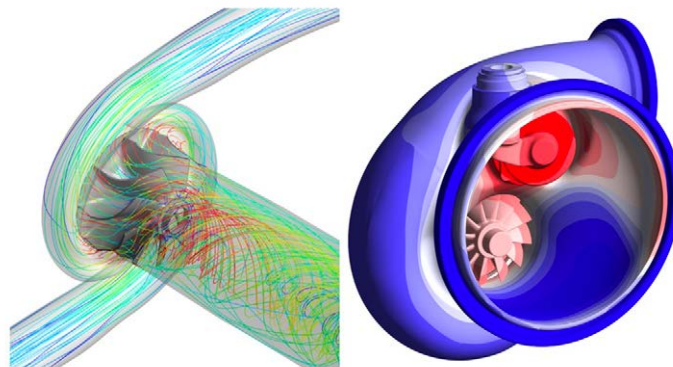


Figura 114 – Simulazioni CFD e termo-strutturali 3D di turbine di turbocompressori.

Riferimenti bibliografici

- Babazzi, G. et al. 2023. "Film Cooling and Cold Streaks Tracking on a Fully Cooled Nozzle Guide Vane Under Representative Combustor Outflow Conditions." *Journal of Turbomachinery* 145(2): 021005.
- Castelli, N. et al. 2024. "Experimental Analysis of Additively Manufactured Latticework Coupons." *Journal of Turbomachinery* 146(6): 061001.

Energie rinnovabili: la ricerca del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF)

Francesco Balduzzi, Alessandro Bianchini, Maurizio De Lucia, Giovanni Ferrara, Daniele Fiaschi, Giampaolo Manfrida, Francesco Papi, Francesco Taddei, Pietro Ungar, Claudio Zuffi

Questa sezione descrive le attività di ricerca e sviluppo svolte nei laboratori del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) nel settore delle energie rinnovabili. In particolare, vengono presentati i principali gruppi di ricerca attivi e le loro linee di indagine, che spaziano dalle tecnologie solari a concentrazione, allo sviluppo di soluzioni innovative per l'energia eolica, fino alle applicazioni geotermiche a basso impatto ambientale. Ciascuna sezione illustra l'evoluzione storica, i progetti di riferimento e i risultati conseguiti, mettendo in evidenza il ruolo di Unifi e delle sue collaborazioni nazionali e internazionali nello sviluppo di sistemi energetici sostenibili.

Gruppo TIES – Sviluppo di tecnologie solari a concentrazione¹

Già dal 1978 presso l'allora Istituto di Energetica si svolgevano le prime ricerche innovative sul solare termodinamico, con la realizzazione nel laboratorio – sotto la guida del Prof. Alessandro Bosio – di uno dei primi simulatori solari (con potenza di 20 kW) sul quale venivano svolte prove di prestazioni in ambiente controllato di collettori solari termici. Successivamente, dal 1985 al 1995 sul terrazzo dell'edificio di S.

¹ Questo paragrafo è stato scritto da Maurizio De Lucia e Francesco Taddei.

Francesco Balduzzi, University of Florence, Italy, francesco.balduzzi@unifi.it, 0000-0003-3333-945X
Alessandro Bianchini, University of Florence, Italy, alessandro.bianchini@unifi.it, 0000-0002-8042-5863
Maurizio De Lucia, University of Florence, Italy, maurizio.delucia@unifi.it, 0000-0003-2000-1927
Giovanni Ferrara, University of Florence, Italy, giovanni.ferrara@unifi.it, 0009-0004-8713-1958
Daniele Fiaschi, University of Florence, Italy, daniele.fiaschi@unifi.it, 0000-0002-9704-3191
Giampaolo Manfrida, University of Florence, Italy, giampaolo.manfrida@unifi.it, 0000-0003-3371-3173
Francesco Papi, University of Florence, Italy, francesco.papi@unifi.it, 0000-0002-5723-7805
Francesco Taddei, University of Florence, Italy, francesco.taddei@unifi.it, 0000-0001-6341-6490
Pietro Ungar, University of Florence, Italy, pietero.ungar@unifi.it,
Claudio Zuffi, University of Florence, Italy, claudio.zuffi@unifi.it, 0000-0001-8703-0576

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Francesco Balduzzi, Alessandro Bianchini, Maurizio De Lucia, Giovanni Ferrara, Daniele Fiaschi, Giampaolo Manfrida, Francesco Papi, Francesco Taddei, Pietro Ungar, Claudio Zuffi, *Energie rinnovabili: la ricerca del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF)*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.23, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 163-172, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

Marta fu installato dal Prof. Giampaolo Manfrida un banco prova per collettori a tubi evacuati, sul quale si raggiungevano temperature fino a 120°C per sperimentare il controllo del sistema a massima exergia ai fini del possibile accoppiamento a cicli ORC (solare termodinamico).



Figura 115 – Banco prova collettori solari evacuati sul terrazzo della sede di S. Marta.

Nel 2004 il Prof. Francesco Martelli formalizzò la costituzione di un centro interdipartimentale, denominato CREAR, per condurre le attività di ricerca interdisciplinari nel campo delle energie rinnovabili. In questo centro furono condotte le prime ricerche sullo sfruttamento delle biomasse a cui poi si sono aggiunte quelle sui biofuel (Prof. Charamonti) e le attività sul solare a concentrazione per mano del Prof. De Lucia. La collaborazione con altri dipartimenti dell'Ateneo di area Agraria, Chimica ed Elettronica e Scienza della Terra risultò fondamentale per sviluppare progetti ambiziosi a livello EU (BIO-MGT, REACT, ALONE etc) piuttosto che progetti nazionali. Sempre su iniziativa del gruppo di ricerca ormai ingrandito ed affermatosi anche internazionalmente, nel 2010 è stato poi costituito il Consorzio Ricerca RE-Cord (Renewable Energy Consortium for Research and Demonstration») che, ampliando le attività del CREAR, mette a sistema le competenze e le risorse (laboratori ed impianti) dei diversi soggetti, anche non accademici. Tutto sotto l'egida di Unifi. Le ricerche sui biofuel sono state finalizzate dal consorzio RECORD che attualmente è diventata una realtà di riferimento a livello EU.

L'energia solare ha una storia molto diversa. Infatti, questo filone di ricerca nasce dalla collaborazione europea di un gruppo del dipartimento, che aveva messo a punto sistemi di Inlet Air Cooling, diventato uno standard nelle centrali elettriche basate sui gruppi combinati, e la German Aerospace Research (DLR). Inizialmente il gruppo di ricerca di Unifi si occupava dell'ottimizzazione dei sistemi ad assorbimento sviluppati in ambito IAC per la realizzazione di impianti di Solar Heating&Cooling, con collettori PTC della DLR ma ben presto furono avviate ricerche in Unifi per ottimizzare questi ultimi.

Fin dagli albori della ricerca in Unifi puntarono subito ad andare oltre lo stato dell'arte dell'epoca che per diversi anni è stato costituito dai risultati del progetto ARCHIMEDE. Programma di interesse nazionale che aveva riportato in auge il solare termodinamico (CSP) proponendo l'Italia al vertice della ricerca nel settore (2001).

Presso Unifi si puntò da subito allo sviluppo di sistemi di media taglia e temperatura sempre a concentrazione lineare ma per applicazioni industriali (2005 progetto SALTO). La presenza in Firenze del CNR-INO (Istituto Nazionale di Ottica) ha poi consentito la creazione di un secondo polo nazionale, dopo ENEA, spostando il baricentro della concentrazione solare per applicazioni non solo in ambito CSP. Sono state tante e molteplici le soluzioni proposte, le iniziative e i progetti per lo sfruttamento ed uso di energia solare sia per applicazioni termiche che CPV.



Figura 116 – Prototipo di sistema Fotovoltaico a concentrazione con recupero termico (CPV-T).

Contemporaneamente, a seguito dell'abbattimento dei costi del PV (2010), Unifi ha studiato e sviluppato una soluzione di micro-concentratore concepito con un'ottica utilizzo simile agli impianti PV. La proposta mirava a superare il concetto dei grandi concentratori parabolici concepiti in ambito del progetto «Archimede» per sviluppare sistemi modulari di piccola taglia (denominati m-PTC) completamente autonomi proprio come i moduli PV. Questa soluzione è stata recentemente (2023-25) inserita tra i progetti strategici nazionali. I sistemi m-PTC sono inseriti tra i progetti PTR. Si tratta del programma nazionale, «la Ricerca di Sistema», concepito per promuovere l'innovazione tecnologica, sperimentando e implementando nuove soluzioni atte a rendere il sistema energetico nazionale più flessibile, efficiente e resiliente nonché a contribuire alla transizione verso un sistema energetico più sostenibile.



Figura 117 – varie soluzioni di PTC sviluppate da Unifi.



Figura 118 – Versione Finale di PTC Industrial Process.



Figura 119 – Impianto PILOT di PTC per Positive Energy District (PED).

Gruppo ARES – Sviluppo di tecnologie eoliche²

Le ultime arrivate fra le turbomacchine del DIEF sono le turbine eoliche. Le macchine rotanti più grandi della Terra sono diverse da ogni altra turbomacchina, elaborando enormi portate, con salti di pressione di pochi Pascal e bassissime velocità di rotazione. Tuttavia, l'esperienza nell'aerodinamica dei profili, soprattutto da un punto di vista computazionale, del DIEF ha fatto sì che questo settore iniziasse nel 2008 per merito del Prof. Carnevale, il quale colse l'opportunità di un progetto finanziato per lo sviluppo di piccoli rotori ad asse verticale per generazione distribuita insieme alla ditta Pramac (Figura 120).

Dopo quell'esperienza, il gruppo di lavoro, che all'epoca comprendeva il Prof. Ferrara, l'Ing. Ferrari ed un dottorando, il Dr. Bianchini, ha continuato a lavorare su temi di aerodinamica instazionaria e di design aerodinamico, espandendo i temi di ricerca anche alle assi orizzontali. Crescendo di anno in anno, il gruppo, oggi coordinato dal dottorando di allora divenuto nel 2024 professore al DIEF, ha portato il settore eolico ad essere uno dei fiori all'occhiello nella ricerca internazionale, con – al tempo della redazione di questo libro – due progetti europei attivi, tre nazionali, e decine di collaborazioni internazionali.



Figura 120 – Rotore ad asse verticale per generazione distribuita.

Il DIEF, inoltre, proprio tramite il Prof. Bianchini, rappresenta dal 2017 l'Università di Firenze nel board della European Academy of Wind Energy (EAWE), unica università italiana insieme al Politecnico di Milano. Nel 2024, Firenze è stata inoltre la sede di TORQUE, la più importante conferenza internazionale sull'energia eolica, con più di 700 partecipanti da tutto il mondo. La ricerca sull'eolico al DIEF spazia dal design aero-servo-elastico delle turbine, al siting in terreni complessi, fino all'argomento di punta della ricerca odierna, rappresentato dall'eolico offshore galleggiante, per il quale il DIEF è uno dei protagonisti. Grazie ai progetti europei FLOATECH prima e FLO-ATFARM oggi, il DIEF sta contribuendo a sviluppare la nuova generazione di rotori galleggianti, molto più grandi dei precedenti (con diametri fino a 300 m – Figura 121) pensati anche per applicazioni a più bassa ventosità come quelle del Mediterraneo. Per supportare questo design, sono in corso di perfezionamento approcci numerici multi-fidelity, che spaziano da quelli ingegneristici necessari per la certificazione delle macchine, fino a modelli high-fidelity come analisi LES di turbine galleggianti (Figura 122).

² Questo paragrafo è stato scritto da Alessandro Bianchini, Francesco Balduzzi, Francesco Papi e Giovanni Ferrara.

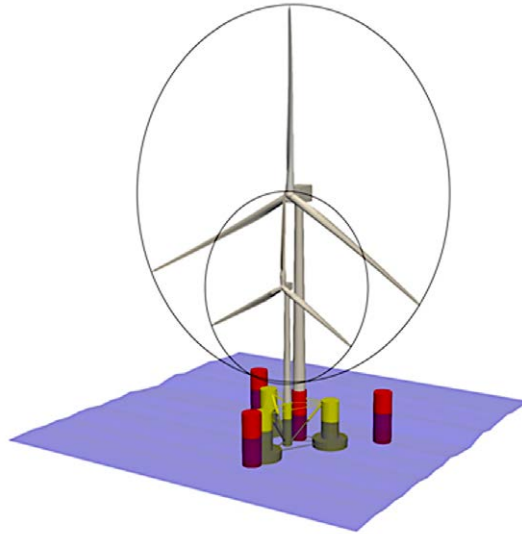


Figura 121 – Esempio di modellazione di rotore galleggiante.

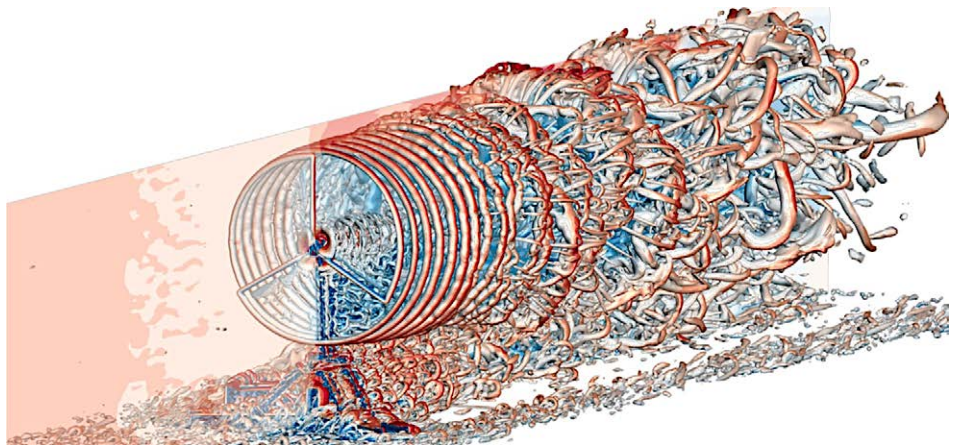


Figura 122 – Analisi LES di turbine galleggianti.

Gruppo SERG (Sustainable Energy Group) – Sviluppo di tecnologie geotermiche³

La ricerca in campo geotermico presso il DIEF si è sviluppata dal 2010, nell'ambito del Progetto regionale BTGeo (Prof. Giampaolo Manfrida e Dr. Daniele Fiaschi), che proponeva piccoli sistemi ibridi a ciclo binario per l'utilizzo di risorse geotermiche a bassa entalpia (90 – 100 °C) con impianti solari termici a tubi evacuati (ETC), in modo da innalzare la temperatura a 150 °C per la conversione termoelettrica mediante cicli Rankine a fluido organico (ORC), Figura 123.

³ Questo paragrafo è stato scritto da Daniele Fiaschi, Giampaolo Manfrida, Pietro Ungar e Claudio Zuffi.

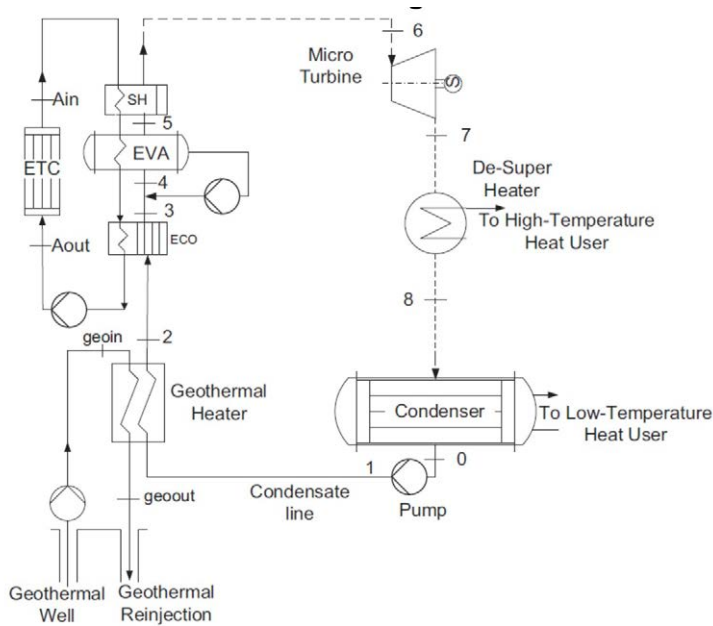


Figura 123 – Esempio di ciclo binario ORC cogenerativo geotermico/solare (Tempesti, Fiaschi 2013).

Negli anni successivi grazie anche al significativo supporto del Dr. Lorenzo Taluri, la ricerca in campo geotermico si è allargata ai sistemi binari a totale reiniezione senza emissioni inquinanti in atmosfera di gas incondensabili (NCG – CO₂ e acido solfidrico). Le tecniche per garantire la stabilità in bifase dei gas incondensabili nella brina geotermica reiniettata ed attuare la Carbon Sequestration hanno costituito la base del Progetto H2020 GECCO (Geothermal Emission Control, 2018-22 (Figura 124).



Figura 124 – Caso studio islandese del progetto GECCO.

In parallelo, il coinvolgimento dei Proff. Fiaschi e Manfreda nel progetto H2020 GEOENVI (2018 – 2021) ha consentito di sviluppare metodologie di Life Cycle Assessment (LCA) armonizzate per risorse, ubicazione geografica e tecnologie per la valutazione dell'impatto ambientale e la sostenibilità di impianti geotermici profondi per la produzione di energia elettrica e calore. Nell'ambito del progetto sono state sviluppate le Linee Guida per la LCA dei sistemi geotermici, che sono l'attuale punto di riferimento europeo ed internazionale. Tali metodologie hanno consentito la comparazione armonica degli impatti ambientali di differenti impianti geotermici, da quelli idrotermali standard a quelli a totale reiniezione. Il confronto è poi efficacemente estendibile ad altre energie rinnovabili, sulla base dell'unità funzionale (kWh utile, Figura 125).

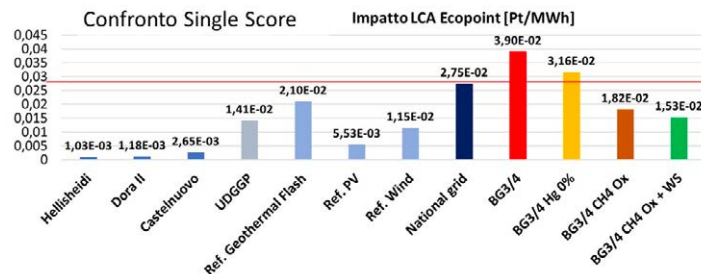


Figura 125 – Confronto impatti LCA di tecnologie rinnovabili con metodologia armonizzata.

Negli anni successivi, il DIEF è diventato un importante riferimento internazionale nell'ambito della geotermia a basso impatto ambientale, consolidando una rete di relazioni interdisciplinari che hanno portato allo sviluppo di consolidati partenariati con istituzioni pubbliche e private. Dal 2018 il DIEF è membro del consiglio direttivo di EERA JPGE (Joint Programme Geothermal).

L'utilizzo delle risorse geotermiche in tutte le loro potenzialità produttive (energia elettrica, calore, freddo) è stato affrontato nel Progetto H2020 LEAP-RE (2020 – 2025) di cui DIEF ha coordinato il WP Geothermal Atlas for Africa, con lo scopo di realizzare la mappa delle risorse geotermiche, i possibili utilizzi tecnologici e potenzialità, i relativi costi e impatti ambientali all'interno del continente africano. Le mappe interattive (Figura 126) sono disponibili sul portale dell'Africa Knowledge Platform⁴ del JRC.

⁴ https://africa-knowledge-platform.ec.europa.eu/explore_maps

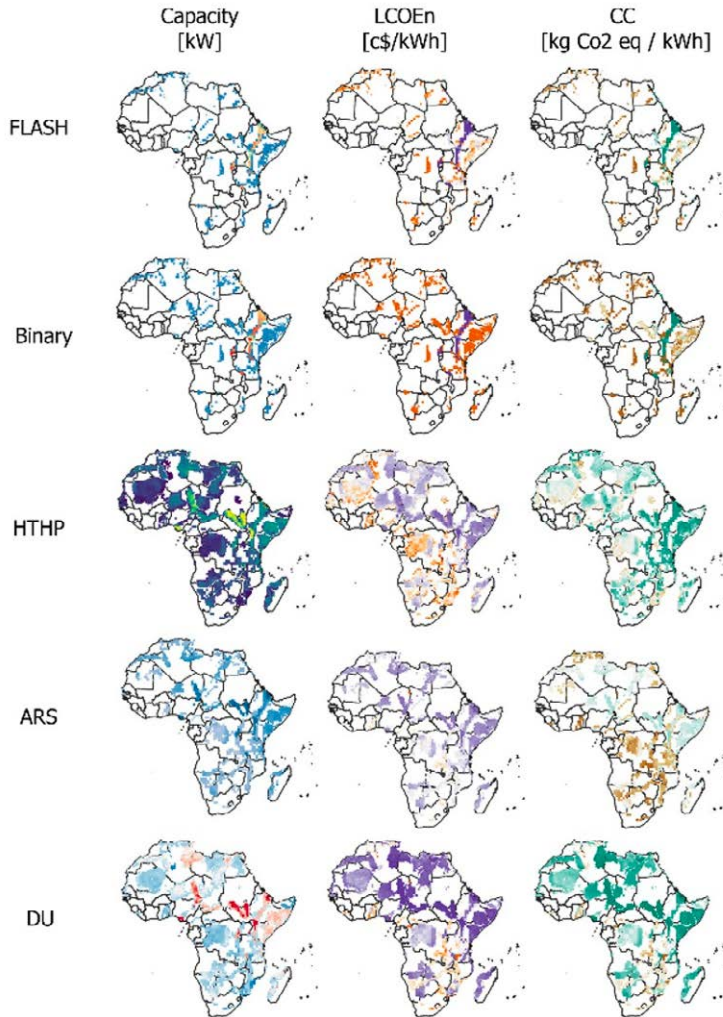


Figura 126 – GAA: mappe di potenzialità, costi e impatti di risorse geotermiche in Africa.

In questo ambito, di rilievo è la capacità acquisita da DIEF nello sviluppo di meta-modelli simulativi in ambiente Python per l'ottimizzazione termodinamica, economica e ambientale di impianti per lo sfruttamento di risorse geotermiche note.

Nell'ambito delle tecnologie geotermiche a basso impatto ambientale, DIEF ha sviluppato rilevanti competenze modellistiche e sperimentali sui sistemi di profondità a circuito chiuso (Closed Loop Geothermal, CLG) per l'utilizzo di risorse ad ampio spettro, anche non idrotermali, con fluidi termovettori alternativi a base di CO₂ e sue miscele per l'estrazione del calore. Questi consentono di sfruttare l'effetto esaltato di pressurizzazione naturale rispetto all'acqua, utile nella generazione di potenza elettrica combinata a quella termica. Ciò rende la tecnologia attraente in particolare nelle applicazioni trigenerative distrettuali. Le miscele a base di CO₂ consentono, con opportuni componenti e dosaggi, di adattarne le proprietà alle caratteristiche delle risorse geologiche locali e alle esigenze delle utilities di superficie, in una configurazione distrettuale a circuito chiuso. In questo contesto, il progetto Horizon HOOLOOP ha consentito la realizzazione del CO₂ Hub (Figura 127), un banco prova sperimenta-

le disponibile presso i laboratori della sede di S. Marta. È costituito da una pompa di calore a CO₂ opportunamente modificata per generare CO₂ nelle condizioni richieste dalla sezione test geotermica, un circuito chiuso riscaldato in basso e raffreddato in alto che simulano, in scala ridotta, la risorsa geotermica e il suo utilizzo di superficie, consentendo la misura della pressurizzazione naturale e delle caratteristiche di scambio termico della CO₂ e di sue possibili miscele in condizioni trans e supercritiche. La pompa di calore che alimenta il CO₂ Hub è dotata di opportune uscite che consentono anche di effettuare test su micro-espansori, eiettori e sistemi di raffreddamento di parti calde di turbomacchine. È un'attrezzatura che rende DIEF tra i pochi attori nazionali ed europei in grado di realizzare test su una rilevante categoria di sistemi energetici e componenti innovativi operanti con CO₂ e sue miscele in condizioni trans e supercritiche.

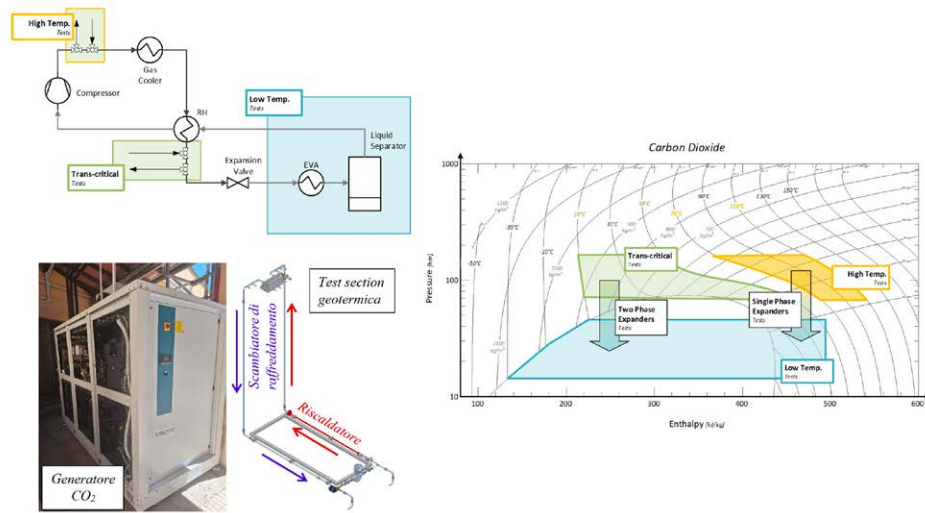


Figura 127 – GAA: mappe di potenzialità, costi e impatti di risorse geotermiche in Africa.

Riferimenti bibliografici

Tempesti, D., e D. Fiaschi. 2013. "Thermo-economic assessment of a micro CHP system fuelled by geothermal and solar energy." *Energy* 58: 45-51.

Sistemi energetici: la ricerca del Dipartimento di Ingegneria Industriale

*Francesco Balduzzi, Alessandro Bianchini, Carlo Carcasci,
Maurizio De Lucia, Giovanni Ferrara, Daniele Fiaschi,
Giampaolo Manfrida, Luca Romani*

Il Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) dell'Università di Firenze affonda le sue radici anche nel precedente Dipartimento di Ingegneria Energetica (DE), che ha rappresentato per decenni un centro di eccellenza nella ricerca applicata ai sistemi energetici. Fin dagli anni '80 e '90, il dipartimento si è distinto per le sue competenze avanzate nella simulazione di impianti di produzione di energia, in particolare quelli basati su turbine a gas e impianti combinati.

Uno dei contributi più significativi è stato lo sviluppo del software GATCO, un programma pionieristico per la simulazione termo-fluidodinamica di impianti a ciclo combinato con turbina a gas (CCGT). Questo strumento ha permesso di analizzare in dettaglio le prestazioni degli impianti in condizioni reali e ha aperto la strada a studi più sofisticati su cicli avanzati.

Negli anni successivi, il dipartimento ha ampliato il proprio raggio d'azione includendo la simulazione di cicli innovativi come il ciclo HAT (Humid Air Turbine) e il ciclo CHAT (Cascade Humidified Advanced Turbine), entrambi orientati all'aumento dell'efficienza energetica e alla riduzione delle emissioni. Questi studi hanno posizionato il DIEF tra i primi in Europa a esplorare le potenzialità di questi sistemi.

Parallelamente, il dipartimento ha sviluppato competenze avanzate nella simulazione in condizioni di off-design e nello studio del raffreddamento delle turbine a gas, tematiche cruciali per la progettazione e l'ottimizzazione degli impianti moderni.

Le analisi exergetiche hanno rappresentato un importante strumento di ricerca per il DIEF, permettendo di valutare in modo approfondito l'efficienza reale dei sistemi energetici. A differenza delle tradizionali analisi energetiche, l'approccio exergetico consente di indi-

Francesco Balduzzi, University of Florence, Italy, francesco.balduzzi@unifi.it, 0000-0003-3333-945X
Alessandro Bianchini, University of Florence, Italy, alessandro.bianchini@unifi.it, 0000-0002-8042-5863
Carlo Carcasci, University of Florence, Italy, carlo.carcasci@unifi.it, 0000-0003-1293-0814
Maurizio De Lucia, University of Florence, Italy, maurizio.delucia@unifi.it, 0000-0003-2000-1927
Giovanni Ferrara, University of Florence, Italy, giovanni.ferrara@unifi.it, 0009-0004-8713-1958
Daniele Fiaschi, University of Florence, Italy, daniele.fiaschi@unifi.it, 0000-0002-9704-3191
Giampaolo Manfrida, University of Florence, Italy, giampaolo.manfrida@unifi.it, 0000-0003-3371-3173
Luca Romani, University of Florence, Italy, luca.romani@unifi.it, 0000-0002-9482-7804

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Francesco Balduzzi, Alessandro Bianchini, Carlo Carcasci, Maurizio De Lucia, Giovanni Ferrara, Daniele Fiaschi, Giampaolo Manfrida, Luca Romani, *Sistemi energetici: la ricerca del Dipartimento di Ingegneria Industriale*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.24, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 173-183, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

viduare con precisione le fonti di irreversibilità nei processi termodinamici, guidando così l'ottimizzazione dei cicli e la progettazione di impianti più sostenibili e performanti. Questa metodologia è stata applicata con successo a impianti a ciclo combinato, cicli innovativi e sistemi di cogenerazione. La modellistica termodinamica ed exergetica è sempre associata a una modellistica previsionale delle prestazioni dei componenti (es. turbine, espansori, scambiatori, condensatori, torri di raffreddamento) in modo da garantire una buona capacità di aderenza alle reali condizioni operative, come ad esempio la variazione delle condizioni ambientali: tipico l'esempio dell'energia solare e della sua conversione termodinamica.

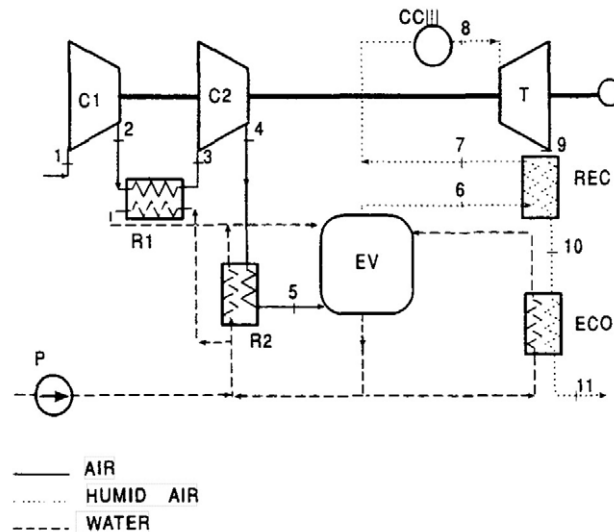


Figura 128 – Schema ciclo HAT studiato nell'anno 1993.

Un altro filone di ricerca importante è stato quello della cogenerazione, con studi su impianti capaci di produrre simultaneamente energia elettrica e calore utile, particolarmente rilevanti per applicazioni industriali e civili. Queste ricerche hanno contribuito alla diffusione di soluzioni energetiche più efficienti e sostenibili sul territorio e nell'accompagnare aziende nelle prime esperienze.

Tra le iniziative più prestigiose promosse dal Dipartimento di Ingegneria Energetica dell'Università di Firenze si annoverano i Florence World Energy Research Symposium (FLOWERS), tenutosi nel 1990, 1994 e 1997. Questi simposi internazionali hanno rappresentato un punto di riferimento per la comunità scientifica impegnata nello studio dei sistemi energetici avanzati, attirando esperti da università e centri di ricerca di tutto il mondo.

A partire dagli anni 2000, il dipartimento ha iniziato a integrare le competenze maturate nel settore termico con lo studio delle energie rinnovabili, dall'energia solare all'energia geotermica fino all'energia eolica. Questo passaggio ha segnato un'evoluzione verso una visione più ampia e sostenibile dell'ingegneria energetica.

Tra le innovazioni più rilevanti introdotte in questo periodo vi è lo studio delle pompe di calore ad assorbimento e dei cicli ORC (Organic Rankine Cycle), particolarmente adatti al recupero di calore da sorgenti a medie e bassa temperatura. Il DIEF ha esplorato l'applicazione di questi cicli in ambiti industriali, geotermici e solari, contribuendo alla loro diffusione e ottimizzazione. Con la sua storia anche relativa a queste attività di ricerca, il Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) dell'Università di Firenze si conferma dunque

un'istituzione di riferimento a livello europeo per la ricerca, l'innovazione e la formazione avanzata sull'energia e la transizione energetica. Grazie a un approccio multidisciplinare, il DIEF è impegnato in numerosi progetti all'avanguardia sia in ambito nazionale che internazionale, con particolare attenzione alle energie rinnovabili, all'idrogeno, alla geotermia, alle reti energetiche, alla modellazione degli scenari energetici, alle comunità energetiche e alle tecnologie emergenti, dal sector coupling allo stoccaggio energetico avanzato.

Di seguito si riporta un'analisi dettagliata delle principali attività di ricerca e innovazione per il settore relativo ai sistemi energetici.

Gruppo ARES – Sviluppo di tecnologie per l'idrogeno¹

Il settore dell'idrogeno rappresenta un asse strategico della transizione energetica europea e uno dei pilastri della ricerca DIEF, in linea con le direttrici del piano REPowerEU e delle Hydrogen Valleys identificate a livello continentale.

Nel laboratorio LINEA situato a Calenzano è presente un banco prova in Italia per la sperimentazione di tecnologie di elettrolisi su scala industriale, con l'obiettivo di ottimizzare il funzionamento degli elettrolizzatori e valutarne le performance e la sicurezza. Il DIEF mette a disposizione la propria competenza per l'analisi scientifica, la simulazione avanzata e la validazione sperimentale delle tecnologie.

Una delle tematiche più recenti introdotte nel DIEF riguarda lo studio avanzato delle tecnologie per la produzione di idrogeno verde. Dal 2020 è attiva una collaborazione con l'azienda multinazionale McPhy, focalizzata sull'analisi e lo sviluppo termo-fluidodinamico di elettrolizzatori alcalini. In una prima fase, supportata anche da un dottorato cofinanziato dall'azienda, la ricerca si è concentrata sull'elaborazione di modelli di simulazione tridimensionale ad alta fedeltà (CFD multifase e multi-physics), finalizzati allo studio elettrochimico e termo-fluidodinamico delle reazioni all'interno delle celle di stack reali. Con i modelli CFD sono state anche portate avanti alcune ottimizzazioni della geometria interna dell'elettrolizzatore (Figura X), che hanno portato a un brevetto internazionale. A fine 2024, è stato inoltre istituito un laboratorio congiunto tra l'azienda e il DIEF, con la realizzazione di un banco prova per il testing sperimentale di stack di grande scala, unico nel suo genere a livello nazionale (Figura Y). Al momento della scrittura di questo libro, sono in corso contatti con importanti player nazionali ed internazionali per attività di testing avanzato degli elettrolizzatori, che ne caratterizzino la performance e l'usura nel tempo.

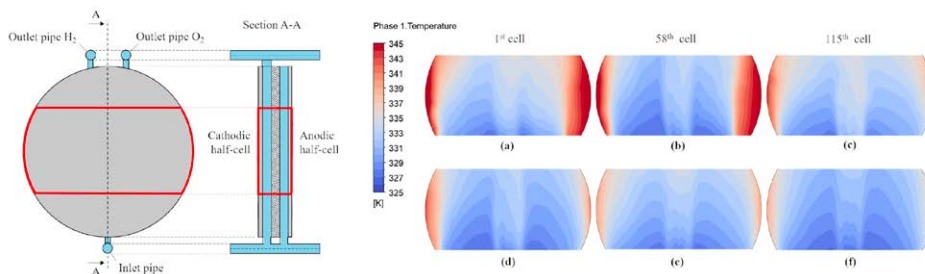


Figura 129 – Distribuzione di temperatura superficiale anodica e catodica di tre celle elettrolitiche lungo lo stack (prima, intermedia e ultima).

¹ Questo paragrafo è stato scritto da Francesco Balduzzi, Alessandro Bianchini, Luca Romani e Giovanni Ferrara.

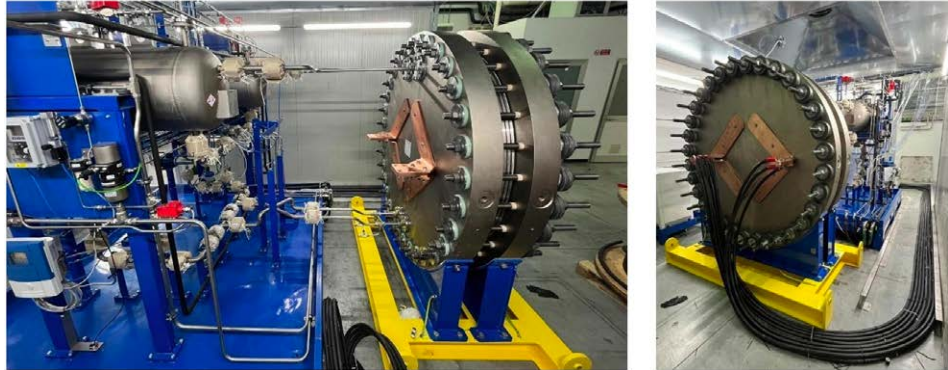


Figura 130 – Banco prova per l'analisi sperimentale di elettrolizzatori alcalini di grossa taglia.

L'impegno del DIEF si estende anche alla progettazione di unità di elettrolisi integrabili in sistemi power-to-gas e all'analisi della loro gestione in scenari di surplus da fonti rinnovabili (eolico e fotovoltaico, in particolare) in linea con le dinamiche di flessibilità energetica necessarie nei nuovi sistemi integrati.

Trasporto dell'idrogeno in pipeline e blending idrogeno-gas naturale²

Il DIEF è attualmente coinvolto a livello scientifico in diversi progetti dedicati al trasporto sicuro ed efficiente dell'idrogeno tramite pipeline, sia in condotte dedicate sia attraverso la conversione delle reti gas esistenti (approccio «hydrogen ready»). La ricerca si concentra sulla simulazione avanzata del trasporto di idrogeno puro e miscele H₂/Metano, testando le condizioni di efficienza, sicurezza e compatibilità della rete attuale con i nuovi vettori energetici.

Il DIEF si impegna nello studio, nella simulazione e nell'ottimizzazione delle reti di trasporto e distribuzione del gas naturale, con un focus crescente sulla decarbonizzazione progressiva e la transizione a una configurazione «hydrogen ready». Il ricorso a modelli di simulazione avanzata (ad esempio tramite il Multi Energy System Simulator – MESS del gruppo MEVS) consente al DIEF di esaminare:

- l'efficienza di esercizio e le strategie di upgrade delle infrastrutture esistenti per l'immissione di nuovi vettori energetici come il biometano, l'idrogeno o i gas sintetici,
- l'implementazione di sistemi digitali avanzati per la sorveglianza H24 delle reti urbane, la previsione della domanda, la riduzione delle perdite, la gestione degli scenari di crisi energetica e la resilienza infrastrutturale.

Alle attività di ricerca DIEF è associato anche lo sviluppo e la sperimentazione di blending units avanzate IoT, sistemi di controllo e sensoristica evoluta, in grado di monitorare la composizione della miscela, la qualità del gas e la sicurezza d'esercizio a ogni nodo della rete. La ricerca interessa anche l'ottimizzazione dell'integrazione tra elettrolizzatori e blending unit, per favorire lo sfruttamento dei surplus rinnovabili secondo le logiche power-to-gas e la creazione di filiere di idrogeno locale (atti-

² Questo paragrafo è stato scritto da Carlo Carcasci.

vità direttamente collegate anche al settore delle comunità energetiche e dei distretti industriali verdi).

La miscelazione controllata di idrogeno in percentuali crescenti nelle reti di gas naturale esistenti è attualmente oggetto di sperimentazione avanzata anche per il DIEF, attraverso studi di simulazione, caratterizzazione dei materiali, testing industriale e collaborazione con utility e istituzioni come Estra, Centria ed Enea. Il progetto pilota sviluppato con il campo prove Centria ad Arezzo prevede immissioni progressive di idrogeno (dal 2% al 10%) per caratterizzare la miscela ed evidenziare eventuali criticità – nessuna evidenziata finora, né a livello di materiali delle condotte né di sicurezza per gli utenti finali.

Gruppo di ricerca Multi Energy Vector System (MEVS) Group. Scenari energetici e modellazione³

Il DIEF è fortemente impegnato nello sviluppo di modelli integrati per lo studio e l'attuazione delle soluzioni di sector coupling – il collegamento funzionale tra i diversi vettori e settori energetici (elettricità, gas, calore, trasporti, industria). Il focus è su:

- power-to-gas (P2G), power-to-hydrogen (P2H) e power-to-Ammonia (P2A): Valutazione dell'interazione tra surplus rinnovabili e la produzione di idrogeno attraverso l'elettrolisi, il suo stoccaggio e successivo utilizzo come vettore energetico alternativo o per la riconversione in energia elettrica (gas-to-power – G2P),
- gestione integrata domanda-offerta con modelli che ottimizzano il flusso energetico tra reti elettriche, del gas e del «calore distribuito», abilitando smart grid e smart district heating,
- integrazione di fonti non programmabili (rinnovabili), sistemi di accumulo e flexibility services nel sistema energetico multi-vettore, anche tramite supporto digitale e intelligenza artificiale applicata ai flussi energetici.

Queste attività sono strategiche nella prospettiva di decarbonizzare i cosiddetti «settori hard-to-abate», aumentare la resilienza del sistema energetico e ridurre la dipendenza da forniture extra-UE.

Il DIEF è un punto di riferimento per l'elaborazione e la simulazione di scenari energetici a diverse scale: dal quartiere alla regione, dal distretto industriale allo scenario nazionale. L'attività è supportata tanto dalle competenze del MEVS Group (Multi Energy Vector Systems Group) quanto dagli input dei principali rapporti di scenario.

Le attività più rilevanti includono:

- sviluppo e utilizzo di piattaforme di simulazione energetica (come MESS – <https://github.com/pielube/MESSpy>) per lo studio degli impatti di differenti politiche di decarbonizzazione, la progettazione di community rinnovabili, il cosiddetto sector coupling e l'analisi dell'ottimizzazione delle reti,
- studio delle traiettorie di decarbonizzazione a breve e medio termine, in relazione ai modelli usati nell'aggiornamento del PNIEC (Piano Nazionale Integrato Energia e Clima), con valutazione di impatti, criticità e opportunità rispetto agli obiettivi UE al 2030 e 2050,
- simulazione di configurazioni multi-energia, analisi della penetrazione di nuovi vettori energetici e studio delle sinergie tra generazione distribuita, accumulo e domanda flessibile,

³ Questo paragrafo è stato scritto da Carlo Carcasci.

- supporto all'elaborazione di strategie di sviluppo sostenibile (SDG-ONU), in cui l'approccio interdisciplinare adottato da DIEF, combinando modellazione tecnica, valutazione ambientale e ottimizzazione economica, diventa un valore aggiunto.

Gruppo di ricerca comunità energetiche rinnovabili e tecnologie emergenti di stoccaggio energetico

Il DIEF promuove la nascita e lo sviluppo di comunità energetiche rinnovabili (CER), un pilastro fondamentale per la transizione energetica italiana. Il coinvolgimento del dipartimento prevede la ricerca applicata sull'ottimizzazione delle comunità energetiche, tramite simulazioni e modellazione dei flussi energetici, definizione delle migliori strategie di autoconsumo e gestione collettiva dell'energia condivisa.

Notevole è infine il contributo in termini di formazione di figure professionali ad alta specializzazione come il «Tecnico superiore per le CER» e le attività di disseminazione e strumenti di valutazione economica dedicati alle CER nel territorio italiano e in contesto europeo.

Tecnologie emergenti di stoccaggio energetico

Lo stoccaggio dell'energia è uno dei campi più dinamici nella ricerca DIEF, essenziale per l'integrazione massiccia delle fonti rinnovabili non programmabili (eolico, solare, ecc.) nel sistema energetico nazionale, studiando l'accoppiamento sistemi rinnovabili-accumulo per la gestione del surplus, la stabilizzazione della rete e la fornitura di servizi di flessibilità.

Il DIEF contribuisce inoltre allo sviluppo di modelli di business innovativi per la diffusione su larga scala degli ESS, in relazione agli scenari di penetrazione del «prosuming» e alle esigenze delle comunità energetiche e dei distretti industriali.

Il DIEF opera anche sui sistemi di stoccaggio di energia termica, sviluppando in primo STES (stoccaggio termico stagionale) nazionale e un interessante PED (Positive Energy District) dove l'energia termica ottenuta da sistemi solari termici a concentrazione a servizio di poco meno di 100 appartamenti alimentano in cascata un ORC e uno storage termico posto in serie a Pompe di calore. L'ibridizzazione con soluzioni fotovoltaiche sia orizzontali che verticali (in facciata) contribuisce a realizzare l'elevato «solar-fraction».



Figura 131 – PED – Impianto Pilota di FIRENZE Torre degli AGLI.



Figura 132 – PED – STORAGE TERMICO (TES) interno ed esterno per Torre degli AGLI.

Utilizzo della CO₂ e sostenibilità dei sistemi energetici⁴

L'uso della CO₂ come fluido termovettore nasce da lontano, da oltre 25 anni DIEF porta avanti ricerche di rilievo sull'utilizzo e la gestione della CO₂ nei sistemi energetici. Le prime ricerche, dalla seconda metà degli anni '90, hanno riguardato il sequestro in impianti di potenza mediante i cicli turbogas semichiusi (Semi Closed Gas Turbine SCGT) con ricircolo parziale dei gas di scarico per aumentarne la concentrazione della CO₂, favorendone la cattura e la successiva rimozione. Successivamente sono stati studiati cicli ibridizzati, come il semichiuso accoppiato al ciclo HAT, SC-HAT), cicli innovativi con cattura della CO₂ a monte della combustione e rigenerazione chimica mediante Reforming ed Auto Thermal Reforming (R-REF, R-ATR), anche integrati con membrane per la separazione dell'aria (Air Membrane AM-ATR, Figura 132). Sono state analizzate diverse opzioni di cattura della CO₂,

⁴ Questo paragrafo è stato scritto da Carlo Carcasci, Maurizio De Lucia, Daniele Fiaschi e Giampaolo Manfrida.



Figura 134 – Pompa di calore a CO₂ (sottocassa per applicazioni ferroviarie).



Figura 135 – Banco prova per sistemi e componenti a CO₂.

Sistemi energetici per sistemi integrati con l'utilizzo di energie rinnovabili

Parallelamente, presso il DIEF, sono stati portati avanti studi per l'utilizzo della CO₂ in condizioni supercritiche (sCO₂) in sistemi efficienti, ecosostenibili ed economici per lo stoccaggio di energia che utilizzano il concetto di Power-to-Heat-to-Power, potenzialmente integrato con l'energia solare a concentrazione (CSP) e il recupero del calore residuo (WHR). Sono stati proposti cicli sCO₂ di piccole/medie dimensioni, nella fascia 1-10 MWe, adattando soluzioni adeguate di turbomacchine radiali e affrontando concetti innovativi per l'applicazione su piccola scala (<1 MW). In questo ambi-

to sono studiate, sia a livello teorico che sperimentale, turbomacchine senza pale che utilizzano l'effetto motore dello strato limite per la trasmissione della coppia (turbine Tesla). Il banco prova CO₂Hub, disponibile presso DIEF, offre la possibilità di testare microturbine, eiettori e altri componenti operanti con sCO₂. Un prototipo di turbina Tesla a CO₂, sviluppato nell'ambito del progetto PRIN 2022 ECOSEARCHER e testato presso il CO₂Hub, è mostrato in figura SE2.

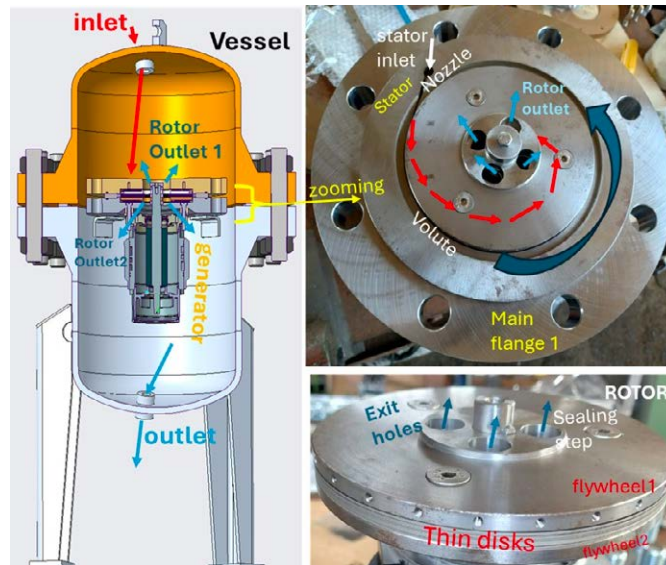


Figura 136 – Prototipo di turbina Tesla a CO₂.

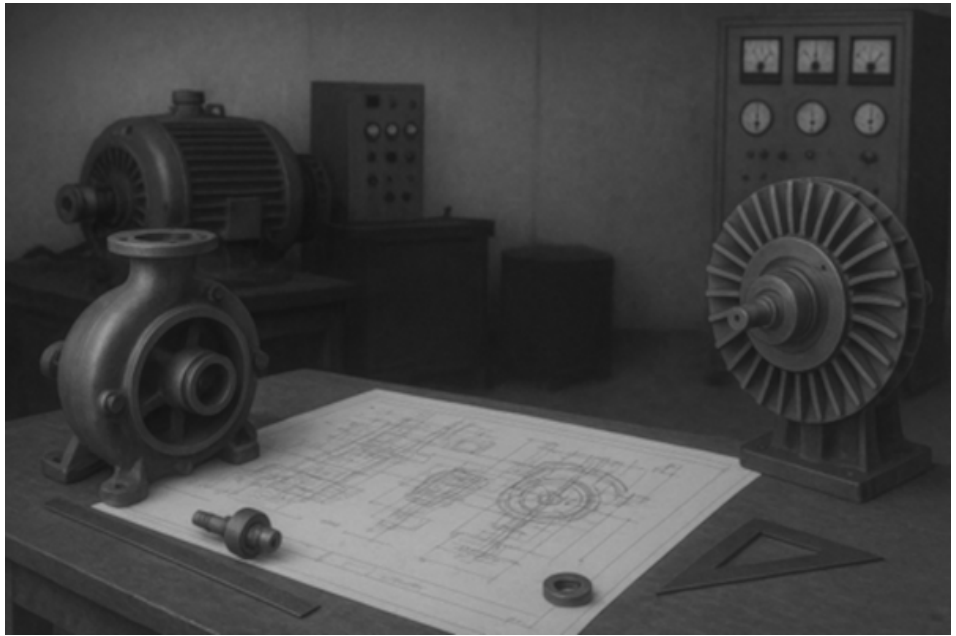
Sostenibilità dei sistemi energetici

DIEF si occupa da molti anni di ottimizzazione dei sistemi energetici convenzionali e ad energie rinnovabili, in un'ottica generale di sviluppare strumenti di conservazione e corretto utilizzo delle risorse naturali. La sostenibilità dei sistemi energetici è oggi un requisito imprescindibile, anche quando si propongono soluzioni innovative e rinnovabili. Da oltre quindici anni DIEF applica metodologie Life Cycle Assessment (LCA) per l'analisi degli impatti ambientali dei sistemi energetici, con particolare riferimento a quelli alimentati da fonti rinnovabili. La LCA è una tecnica per valutare gli impatti ambientali associati a tutte le fasi della vita di un prodotto, dall'estrazione delle materie prime alla lavorazione dei materiali, alla produzione, alla distribuzione, all'uso, alla riparazione e alla manutenzione, fino allo smaltimento o al riciclaggio. Applicata ai sistemi energetici, consente di valutare numericamente gli impatti su varie categorie (cambiamento climatico, salute umana, consumo di risorse ecc.) per unità di prodotto utile in uscita, generalmente identificato come l'unità energetica prodotta (kWh). Abbinata all'analisi termoeconomica, consente di valutarne analiticamente la sostenibilità economico – ambientale. Combinando queste metodologie con l'analisi energetica, DIEF ha guadagnato negli anni una rappresentanza internazionale di primo livello nell'analisi exergo economica (ExEca) ed exergoambientale (ExEnvA) dei sistemi energetici, con particolare riferimento alle energie rinnovabili. L'analisi exergo-economica combina l'analisi exergica e quella economica per determinare il processo di accumulo dei costi lungo le trasformazioni dell'energia e il suo deprezzamento, descrit-

to dalla progressiva diminuzione dell'exergia. Queste informazioni sono molto utili, poiché consentono di valutare le fasi più rilevanti del processo energetico, aprendo la strada al miglioramento e all'ottimizzazione economica dei sistemi energetici, mediante bilanci istantanei [€/s] e fornendo in uscita i costi per unità di prodotto [€/kWh]. L'analisi exergoambientale segue un approccio parallelo alla termoeconomia, combinando l'impatto ambientale determinato mediante LCA (al posto dei costi economici) all'analisi exergetica. I bilanci istantanei [pts/s] forniscono in uscita gli impatti per unità di prodotto [pts/kWh]. DIEF è responsabile dell'analisi di sostenibilità (LCA) nel progetto Horizon Manurefinery (2024 – 2028), dove si propongono reattori modulari innovativi di dimensioni contenute per la conversione degli scarti animali (bovini, suini, ovini) in prodotti utili energetici, mangimi e cosmetici.

PARTE III

Testimonianze dal passato



Radici e memorie: quattro voci per la storia del Dipartimento

Rocco Furferi

La storia di un Dipartimento non è fatta solo di progetti, laboratori e pubblicazioni, ma soprattutto delle persone che ne hanno costruito l'identità nel tempo. Con questa parte del Volume I si rende omaggio ad alcune figure che hanno contribuito in modo significativo alla crescita scientifica, culturale e didattica del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Firenze.

I contributi qui raccolti offrono uno sguardo prezioso e personale su quattro ambiti chiave dell'ingegneria industriale, attraverso le parole di chi ne è stato protagonista. Non si tratta solo di memorie, ma di riflessioni che aiutano a comprendere come la ricerca e la didattica si siano evolute nel tempo, lasciando un'impronta che ancora oggi influenza il presente del Dipartimento.

Nel primo contributo, "Macchine e sistemi per l'energia e l'ambiente a Firenze (e non solo): l'eredità scientifica di Sergio Stecco", a cura del Prof. Ennio Carnevale, viene ripercorsa la figura di uno dei padri fondatori della scuola fiorentina di ingegneria energetica, il cui lascito continua a vivere nelle attività del DIFE e nel suo orientamento verso la sostenibilità.

Segue "Alla scoperta della mecatronica", un racconto originariamente scritto dal compianto Prof. Paolo Toni e ripreso dal Prof. Benedetto Allotta che ripercorre le origini e lo sviluppo di un settore oggi centrale nella formazione e nella ricerca ingegneristica, ma che agli esordi ha richiesto visione, coraggio e spirito pionieristico.

Il terzo testo, "Storia della progettazione meccanica e della costruzione di macchine a Firenze. Un ricordo", a cura del Prof. Paolo Citti, offre uno sguardo affettuoso e rigoroso sulla crescita di un ambito disciplinare, quello della costruzione delle macchine e del disegno meccanico, che ha contribuito alla reputazione tecnico-scientifica del Dipartimento ben oltre i confini regionali.

Infine, "Una storia di ingegneria gestionale a Firenze" racconta l'evoluzione di un settore che ha saputo coniugare rigore quantitativo e attenzione per i sistemi organizzativi, aprendo la strada a un nuovo modo di intendere l'ingegneria come leva per l'efficienza e l'innovazione dei processi aziendali.

Rocco Furferi, University of Florence, Italy, rocco.furferi@unifi.it, 0000-0001-6771-5981

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Rocco Furferi, *Radici e memorie: quattro voci per la storia del Dipartimento*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.26, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 187-188, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

Queste quattro voci restituiscono un affresco vivido e variegato della storia del Dipartimento, contribuendo a conservarne la memoria e a ispirarne il futuro. Esse rappresentano un patrimonio di esperienza e competenza che continua a nutrire la comunità accademica, e che merita di essere ascoltato, valorizzato e tramandato.

Macchine e sistemi per l'energia e l'ambiente a Firenze (e non solo): l'eredità scientifica di Sergio Stecco

Ennio Carnevale

Non troviamo oggi Sergio Stecco nell'elenco dei professori emeriti dell'Università di Firenze soltanto perché ventotto anni fa¹ è scomparso prematuramente al culmine di una brillante carriera accademica mentre raggiungeva in aereo Cincinnati (USA) per accompagnare un suo giovane collaboratore che aveva ottenuto un prestigioso riconoscimento scientifico ad un convegno internazionale del nostro settore. La sua biografia, riportata nella prima edizione del volume *Ingegneri & Ingegneria a Firenze* (Firenze University Press, Firenze, 2013) così si conclude: «Nella purtroppo breve esperienza a Firenze è stato comunque capace di far nascere e consolidare una scuola di alta qualità scientifica riconosciuta in Italia ed all'estero». Da giovane ordinario mi trovai nel 1993, insieme ai colleghi Martelli e Manfrida, a raccogliere l'eredità dell'amico e maestro Sergio Stecco. Per me non è stato facile anche perché agli impegni didattici e scientifici si sono cumulate due mandati triennali come Presidente di Corso di Laurea e poi due mandati triennali come Preside di Facoltà ma sono oggi onorato di avere questa occasione per dare un'idea di cosa è diventata la nostra 'Scuola', che annovera a Firenze 5 professori ordinari, 4 professori associati, 3 ricercatori (RTD B), oltre a numerosi assegnisti e dottorandi il cui numero è compreso da anni fra le 30 e le 40 unità. Mi fa piacere con l'occasione ricordare anche due (allora giovani) nostri allievi Bidini e Desideri che hanno propagato «la scuola di Firenze» a Perugia e a Pisa creando due prestigiosi gruppi di ricerca nel campo delle macchine e dei sistemi energetici. Dal nostro gruppo di ricerca, che ha sempre legato strettamente attività scientifica e didattica, sono nate anche la Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica – che ha riscosso grande successo in termini di occupazione e di prospettive di carriera – e la Scuola di Dottorato (prima in Energetica; poi in Ingegneria Industriale con indirizzo Energia). Quest'ultima fin dai primi cicli ha formato ogni an-

¹ La scomparsa del Prof. Stecco è datata 1992.

Ennio Carnevale, ennio.carnevale@gmail.com, 0000-0002-9600-4078

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Ennio Carnevale, *Macchine e sistemi per l'energia e l'ambiente a Firenze (e non solo): l'eredità scientifica di Sergio Stecco*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.27, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 189-193, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

no tra 6 e 10 Dottori di Ricerca nel settore energia/ambiente; tutti si sono distinti con brillanti carriere in Università o Enti di Ricerca, o presso aziende di prestigio dove ricoprono ruoli di rilievo in settori chiave legati alla Ricerca e Innovazione. La nostra eredità scientifica è oggi affidata ai nostri allievi e ora colleghi più giovani, tutti laureati alla nostra scuola di Firenze e ormai tutti professori ordinari di prima fascia, e in questo mio contributo per i 50 anni di Ingegneria a Firenze mi fa piacere parlare proprio della intensa e proficua attività scientifica da loro oggi coordinata.

Attività del Gruppo di ricerca SERG (Sustainable Energy Research Group) (Prof. Manfrida)

Il gruppo di ricerca ha perseguito e sviluppato i filoni di ricerca avviati con la supervisione di Sergio Stecco, mantenendo la rete di collaborazioni internazionali da lui stesso avviata. In questo contesto si ricorda la continuità della serie di convegni internazionali ECOS/FLOWERS, avviati con Sergio Stecco dal 1990 e tenuti con organizzazione a Firenze per 5 edizioni (1990, 1992, 1994, 1997 e 2012), ed ancora in corso dopo quasi 35 anni. Significativa anche la collaborazione con ASME (American Society of Mechanical Engineers) – Advanced Energy Systems Division e la presenza nel comitato editoriale di una delle riviste fondanti del settore sistemi energetici (Energy-Elsevier). Il Gruppo ha dato importanti contributi di ricerca al miglioramento delle prestazioni di impianti di conversione di energia con turbine a gas (cicli combinati, cogenerazione di energia-calore-freddo). Il gruppo ha potenziato gli studi sull'applicazione dell'exergia ai fini del perfezionamento dei sistemi energetici, sviluppando anche l'analisi exergo-economica (ricostruzione della struttura dei costi lungo il processo evidenziando i contributi di impianto e di funzionamento operativo, che sono spesso in naturale opposizione) e quella exergo-ambientale (basata sulla valutazione dei costi ambientali con metodologia LCA).

L'attenzione fin dal 1980 alle energie rinnovabili ha fatto sì che questi metodi di miglioramento siano stati applicati in questo campo, dal solare termodinamico alla geotermia: ormai da 10 anni tutta l'attività del gruppo è dedicata alle energie rinnovabili, proponendo non solo miglioramenti a livello di sistema ma anche componenti originali (piccoli espansori per produzione distribuita di elettricità e calore). Per questi motivi il gruppo mantiene nella denominazione il riferimento alla sostenibilità, fornendo un contributo tecnico e misurabile a questo settore per sua natura interdisciplinare. Il gruppo SERG ha mantenuto il proprio interesse verso la progettazione delle macchine e di altri componenti per sistemi energetici o recupero di calore, combinando la modellazione fisica con quella numerica. Inoltre, ha condotto molte attività sperimentali, lavorando sia su prototipi e banchi prova allestiti in laboratorio o modelli in galleria del vento, che eseguendo prove su macchine ed impianti in collaborazione con soggetti industriali. Importanti ed ormai consolidate sono le collaborazioni con il settore civile/ambientale (modellazione fisica delle emissioni in galleria del vento, modelli e prove su generatori eolici e di idraulica marittima/moto ondoso). Le collaborazioni con le aziende sono state molteplici, sia con la grande industria (GE/Nuovo Pignone/Baker Hughes; National Power; Goulds Pumps; ENEL) che con molte aziende di dimensioni medie o piccole del territorio toscano. Il gruppo ha partecipato a numerosi importanti progetti competitivi di ricerca e attualmente ha in corso progetti H2020 relativi ad impianti innovativi per la Geotermia sostenibile.

Attività del gruppo di ricerca TGroup (TRAF Group) (Prof. Andrea Arnone)

Il gruppo coltiva un filone di ricerca avviato nel 1985 sotto la guida di Sergio Stecco nel Dipartimento di Energetica per la progettazione aerodinamica avanzata di

turbomacchine. Le tematiche di ricerca erano focalizzate all'impiego dei più recenti strumenti di ricerca ed in particolare della fluidodinamica computazionale (CFD). In questo contesto, il dottorato di Andrea Arnone, svolto in collaborazione con l'Institute for Computer Applications in Science and Engineering (ICASE), NASA Langley, Virginia (USA) ha condotto allo sviluppo del solutore RANS/URANS TRAF, specificamente pensato per la progettazione aerodinamica di componenti di turbomacchine. A partire dagli anni '90 gli strumenti numerici sviluppati dal gruppo di ricerca sono stati adottati da aziende leader del settore sul territorio nazionale e da importanti centri di ricerca in Europa e nel mondo (NASA Glenn, von Kármán Institute, GE Avio Aero, Baker Hughes, Ansaldo Energia, Avio, Termomeccanica Pompe). L'esperienza del gruppo, consolidata nell'ambito della fluidodinamica computazionale (CFD) con particolare attenzione alle applicazioni industriali al fine di assistere l'innovazione, si è successivamente sviluppata nel corso del primo decennio del 2000 nell'ambito della aeroelasticità computazionale per lo studio del flutter e della risposta forzata nelle turbomacchine e nel settore dell'aeroacustica numerica per la previsione della generazione e della propagazione del rumore nei motori aeronautici. La disponibilità di potenza di calcolo a costi competitivi e di efficienti ed accurati solutori numerici ha consentito lo sviluppo di un ambiente di progettazione multidisciplinare che si avvantaggia di tecniche di ottimizzazione basate su intelligenza artificiale, meta-modelli e metodi evolutivi. Tali metodi guidano il progettista all'identificazione delle soluzioni ottimali all'interno di iperspazi di design di grandi dimensioni, offrendo capacità esplorative che vanno oltre l'intuizione umana, e rispondendo a vincoli e requisiti spesso contrastanti. La partecipazione a numerosi progetti finanziati dalla Comunità Europea nel settore dell'energia e della propulsione aeronautica ha consolidato la collaborazione con Fiat Avio (successivamente GE Avio Aero), Nuovo Pignone (successivamente GE Oil & Gas e Baker Hughes) ed Ansaldo Energia, consentendo al gruppo di confrontarsi con università, centri di ricerca e le principali industrie europee. Particolarmente significativi sono risultati i progetti del settore del trasporto aereo che hanno visto il conseguimento di importanti traguardi nell'ambito della riduzione del consumo specifico di combustibile e del contenimento delle emissioni acustiche dei motori aeronautici nell'ottica degli obiettivi di Horizon 2020 e Flightpath 2050. L'attività di divulgazione della ricerca ha portato alla presentazione ed alla pubblicazione dei risultati a conferenze internazionali di riferimento e su numerose riviste con revisione tra pari. L'attività di trasferimento tecnologico e di formazione di figure professionali in possesso di avanzata capacità di ricerca ha contribuito negli anni a rispondere alla richiesta ed alle esigenze delle industrie nazionali che operano nell'ambito delle turbomacchine, dell'energia e della propulsione. Numerosi ingegneri e dottori di ricerca che si sono formati all'interno del gruppo ricoprono attualmente ruoli di rilievo in aziende leader del settore, in Italia ed all'estero, alcuni sono docenti universitari.

Attività del gruppo di ricerca HTC (Heat Transfer e Combustion) (Prof. Bruno Facchini)

Il gruppo di ricerca inizia le sue attività nei primi anni '90 sotto la spinta del dottorato di ricerca di Bruno Facchini indirizzato con lungimiranza dal compianto Prof. Stecco alle problematiche di raffreddamento nelle turbine a gas sempre più importanti nello scenario industriale e nazionale negli ultimi 30 anni. L'attività si sviluppa negli anni '90 in collaborazione con Fiat Avio (poi AvioAero) e successivamente con Nuovo Pignone e Ansaldo Energia. Nei primi anni viene curato l'approfondimento della conoscenza, totalmente estranea alle aziende italiane del settore, fino a giungere alla definizione di un sistema integrato di progettazione per le parti calde di turbina e combustore, adot-

tato da tutti partner, che ha portato l'industria italiana a una completa indipendenza in uno dei settori tecnologicamente più strategici del settore. A partire dai primi anni 2000 si consolida sempre più anche l'attività nel settore dei combustori principalmente con Nuovo Pignone ed AvioAero, ma il passaggio più importante è la partecipazione ad un sempre maggior numero di progetti europei nell'ambito dello sviluppo di motori aeronautici civili più efficienti, sicuri e rispettosi dell'ambiente. Il gruppo acquisisce così una dimensione internazionale confrontandosi con i principali costruttori e centri di ricerca europei, senza dimenticare importanti interazioni a livello internazionale.

Dal 2000 ad oggi si contano oltre 25 progetti europei come partner o coordinatori! Allo sviluppo delle conoscenze, dei sistemi di progettazione e all'analisi numerica sempre più avanzata ha fatto seguito fin dai primi anni 2000 un progressivo potenziamento delle capacità di sperimentare modelli e componenti, nata nei piccoli laboratori di S.Marta e poi sviluppatasi nel sito di Calenzano con lo sviluppo del THT-LAB, Laboratory of Technologies for High Temperature, che nasce nel 2013 per poter garantire un contributo sempre più significativo nei progetti europei e nel trasferimento tecnologico. Il laboratorio, specializzato nell'analisi di fenomeni di scambio termico e combustione applicati al settore delle macchine industriali e più in generale al settore energetico, è stato avviato e sostenuto con i mezzi propri del gruppo di ricerca ed ha portato poi all'acquisizione da parte di Unifi della nuova sede, dedicata ai laboratori pesanti per tutto il DIEF. Presso il THT lab è possibile sperimentare componenti e sezioni di macchine fino a condizioni di temperature e pressione reali (2000 °C e 10 bar). Il THT lab come tutto il gruppo HTC è oggi punto di riferimento per progetti di ricerca e sviluppo e ottimizzazione di prodotti industriali a livello italiano e internazionale. Ha contribuito a far crescere un consistente gruppo di dottori di ricerca che occupano posizioni di rilievo in ambito accademico nazionale e internazionale e che hanno contribuito in maniera determinante a far crescere le potenzialità di ricerca e sviluppo delle industrie del settore.

Attività del gruppo di ricerca REASE (Reciprocating Engines and Advanced Systems for Energy) (Prof. Giovanni Ferrara)

Il gruppo di ricerca REASE viene costituito nel 2005 su mio impulso e supervisione e sotto il coordinamento scientifico e operativo del Prof. Giovanni Ferrara, per aprire un nuovo campo di ricerca teorico sperimentale sui motori a combustione interna e sulle turbomacchine operatrici (tematiche all'epoca non coltivate a Firenze). Nella prima fase dell'attività scientifica, il gruppo prosegue la storica collaborazione con Nuovo Pignone sulle analisi sperimentali di stadi di compressore centrifugo, e sviluppa una ampia collaborazione con diversi soggetti industriali del territorio toscano. Il supporto alle aziende tramite attività di ricerca applicata e trasferimento tecnologico è infatti stato da sempre una delle linee guida del gruppo. I temi trattati sono quelli della cogenerazione, dell'efficientamento energetico e delle energie rinnovabili. In questo contesto di attività, il gruppo fonda nel 2007, grazie ad un importante finanziamento del MISE, il laboratorio sperimentale LINEA (Laboratorio dell'Innovazione per l'Energia e l'Ambiente). Parallelamente a queste attività, il Prof. Ferrara inizia a dare vita al settore scientifico e didattico dei motori a combustione interna. Tale settore, nonostante la tradizione motoristica soprattutto in ambito motociclistico della Toscana, non era fino a quel momento presente nell'ateneo fiorentino. Grazie ad una forte passione personale e ad uno spiccato dinamismo nei rapporti con le realtà industriali, il Prof. Ferrara ha dato vita ad una vera e propria scuola motoristica a Firenze, che oggi vanta collaborazioni scientifiche con aziende di primo piano del settore, fra cui Ferra-

ri, Ducati, Piaggio, Peugeot, Beta Motor, HPE, Pramac. Questa esperienza è stata altresì determinante per la decisione da parte della multinazionale giapponese Yanmar di aprire il proprio Centro di Ricerca europeo proprio a Firenze, così da proseguire e consolidare il rapporto di collaborazione con il gruppo di ricerca REASE. Oltre a numerose ricerche su temi di frontiera, tale rapporto si è estrinsecato anche nella recente realizzazione all'interno del laboratorio LINEA di una installazione sperimentale congiunta di un innovativo gassificatore per biomasse.

A partire dagli albori, quando era situato a Prato presso il PIN, il laboratorio LINEA si è continuamente sviluppato fino a diventare oggi una struttura di eccellenza dell'ateneo fiorentino, all'interno del complesso di Calenzano. Esso ospita due diverse celle motori, con freni dinamici e statici per le collaborazioni con l'industria e per la ricerca applicata, un banco ad alte prestazioni per l'analisi sperimentale avanzata di compressori centrifughi in collaborazione con Baker Hughes, nonché diverse installazioni sperimentali dedicate ai vari progetti di ricerca, come apparati per l'abbattimento acustico attivo, per il flussaggio di componenti di compressori alternativi, o per lo sviluppo di sistemi di pompaggio per fluidi criogenici. Muovendo dal background scientifico maturato nel campo delle turbomacchine, dal 2008 il gruppo ha infine dato vita anche ad un altro filone di ricerca e didattica fino a quel momento assente nell'ateneo fiorentino, ossia lo studio aerodinamico delle turbine eoliche. Partendo da collaborazioni industriali su macchine di piccola taglia, il gruppo di lavoro è progressivamente cresciuto, fino a contare oggi diversi ricercatori sul tema e rappresentare un riferimento a livello nazionale ed internazionale, tanto da aver garantito – tramite la propria ricerca – l'ingresso dell'Università di Firenze nella European Academy of Wind Energy.

La forte propensione alla ricerca applicata e al trasferimento tecnologico ha permesso al gruppo di ricerca REASE di consolidarsi grazie alla partecipazione a numerosi progetti vinti su bandi competitivi a livello regionale, nazionale ed europeo e grazie alla forte integrazione col mondo industriale: la maggior parte dei dottorandi e assegnisti che si formano nel gruppo di ricerca proseguono poi il loro percorso presso le aziende partner rafforzando la rete di collaborazione. Il successo e il prestigio in ambito nazionale e internazionale dei quattro gruppi di ricerca si misura anche con le cospicue risorse aggiuntive portate al finanziamento della ricerca del nostro Ateneo. Risorse finanziarie derivanti dalla partecipazione a progetti CEE, finanziamenti MIUR e Regione Toscana e convenzioni di ricerca con soggetti industriali con un budget totale medio nell'ultimo quinquennio dell'ordine di 2,5 M€/anno. Con un pizzico di presunzione mi sento di affermare che noi ricercatori dell'area macchine e sistemi energetici abbiamo con continuità abbondantemente restituito all'Ateneo la quota di stipendio imputabile ai nostri obblighi istituzionali di ricerca. Descrivendo questa storia di successo scientifico ricordo le difficoltà degli inizi e quante battaglie abbiamo dovuto affrontare in Ateneo, Sergio Stecco ed io. Oggi tutti sono consci dell'importanza delle tematiche energetico-ambientali ma oltre 40 anni fa, quando parlavamo di Energia fino a fondare l'Istituto di Energetica, primo in Italia con questo nome, venivamo considerati dei visionari e fortemente ostacolati. Oggi tutti danno per scontato che una missione importante dell'Università è anche il trasferimento tecnologico, ma quando noi portavamo in Facoltà convenzioni di ricerca con il mondo industriale non erano pochi i colleghi che, con atteggiamento post-sessantottino, ci tacciavano di 'vendere' la ricerca universitaria. Sono sicuro che i nostri brillanti allievi/colleghi sopra citati sapranno tenere alto il prestigio della nostra scuola e mi auguro che possano cogliere tutte le soddisfazioni che questo impegnativo ma affascinante lavoro può loro dare.

Alla scoperta della Meccatronica

Paolo Toni, Benedetto Allotta

Cresce a Pistoia l'attività del laboratorio di Modellazione Dinamica e Meccatronica (MDM Lab) del Dipartimento di Energetica «Sergio Stecco» dell'Ateneo. Il laboratorio, nato grazie al finanziamento della Regione Toscana, e allestito in un ampio locale all'interno dell'Itis «Silvano Fedi» ristrutturato dalla Provincia di Pistoia, ospita l'attività di ricercatori dell'Ateneo che si occupano, fra l'altro, di meccanica del veicolo ferroviario su un territorio dove è presente il più vasto comparto produttivo del settore.

La Meccatronica, più che una vera e propria scienza, è un approccio multidisciplinare che mira all'integrazione sinergica di varie discipline, tra cui la meccanica, l'elettronica, la teoria del controllo, e l'informatica, nell'ambito della progettazione e della realizzazione dei prodotti con il fine ultimo di migliorarne o ottimizzarne la funzionalità e/o ridurne i costi di produzione. Nasce dalla necessità di creare competenze nell'ambito della modellistica, simulazione e prototipazione dei sistemi di controllo, orientandosi prevalentemente ma non esclusivamente ai sistemi di controllo del movimento. Seguendo questo approccio che valorizza l'interdisciplinarietà, MDM Lab collabora attivamente, nell'ambito di importanti progetti finanziati, con vari gruppi di ricerca dell'Ateneo fiorentino, tra cui il Computational Vision Group ed il DISIT del Dipartimento di Sistemi ed Informatica nonché il Laboratorio di Antenne e Microonde del Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni. Numerose sono le collaborazioni di MDM Lab con partner industriali del settore ferroviario come AnsaldoBreda, ECM, Trenitalia e ItalCertifer (Ferrovie dello Stato), ma anche di altri settori, tra cui GE Oil&Gas (ex Nuovo Pignone), SELEX Galileo, Termomeccanica Pompe, PRAMAC, CESPRO. Fra le finalità della struttura, inaugurata nel febbraio 2009 accogliendo la proposta da parte della Provincia di fare di Pistoia un importante Centro di Competenza nel settore dell'Ingegneria dei trasporti e della Meccatronica, figura non solo la ricerca e il trasferimento tecnologico ma anche la formazione e la didattica: il centro accoglie infatti molto di frequente laureandi che svolgono il proprio lavoro di tesi. Re-

Benedetto Allotta, University of Florence, Italy, benedetto.allotta@unifi.it, 0000-0001-8511-1110

Paolo Toni, ptoni@mapp1.de.unifi.it

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Paolo Toni, Benedetto Allotta, *Alla scoperta della Meccatronica*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.28, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 195-196, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

centemente è stata realizzata ed inaugurata una nuova aula didattica di Meccatronica e Sistemi di Automazione, condivisa fra Itis e MDM Lab e dotata di 25 postazioni computer allievo più una docente e di un robot industriale equipaggiato con un controllore «aperto» e sensori di vario tipo, tra cui alcuni dedicati alla visione artificiale.

MDM Lab partecipa, inoltre, insieme alla Provincia, agli Istituti IPSIA «Pacinotti» e Itis «Fedi» e a fianco di AnsaldoBreda e Servindustria Pistoia, alla realizzazione del nuovo corso ITS Primec (Processi industriali nel settore Meccanico), Diploma di Tecnico Superiore di Processi industriali e prodotti meccanici. Le attività del Laboratorio, fra cui la partecipazione al progetto Thesaurus – finanziato dalla Regione e finalizzato alla realizzazione di tre veicoli robotici sottomarini per l'individuazione e il censimento di manufatti e relitti subacquei di valore archeologico ed etnoantropologico – sono state illustrate lo scorso 13 giugno, a Pistoia, nel convegno «Didattica, ricerca e sinergie con il territorio», tenutosi presso MDM Lab con la partecipazione del presidente della Provincia di Pistoia Federica Fratoni, dell'assessore provinciale allo sviluppo Paolo Magnanensi e di Caterina Bini, presidente della Commissione Sviluppo del Consiglio Regionale della Toscana. Oltre al direttore del Dipartimento di Energetica Paolo Toni, ed ai ricercatori del Laboratorio Andrea Rindi e Benedetto Allotta sono intervenuti il preside dell'Itis «Fedi» Angelo Borchì e rappresentanti delle aziende che collaborano da anni in modo strutturato con il laboratorio (AnsaldoBreda, ECM, ITALCERTIFER). Recentemente i ricercatori ed i dottorandi di MDM Lab hanno presentato all'Incubatore Universitario dell'Ateneo Fiorentino una domanda per essere ammessi al percorso di pre-incubazione finalizzato alla costituzione di uno *spin-off* dell'Università di Firenze denominato «MDM Team». La domanda è stata valutata ed MDM Team figura al secondo posto tra i 10 progetti ammessi al percorso di pre-incubazione.

Dal primo luglio sono inoltre iniziate le attività di collaudo del Centro di Dinamica Sperimentale Osmannoro che si concluderanno tra circa un anno. I ricercatori di MDM Lab sono impegnati insieme a colleghi del Politecnico di Milano e dell'Università di Napoli «Federico II» in attività di assistenza alla commissione di collaudo di RFI. Il Centro è una struttura unica a livello mondiale per le prove su rotabili e sistemi di bordo ferroviari e l'Ateneo fiorentino, come socio di Italcertifer – probabile gestore del Centro – giocherà un ruolo di primo piano.

Storia della progettazione meccanica e della costruzione di macchine a Firenze. Un ricordo

Paolo Citti

La scuola dell'ingegneria meccanica a Firenze nasce agli inizi degli anni '70 con la costituzione dell'Istituto di Ingegneria Meccanica, diretto inizialmente da Demore Quilghini e successivamente da Giovan Gualberto Lisini.

Le attività di ricerca si rafforzarono in quegli anni anche per le numerose iniziative portate avanti dai docenti dell'istituto, fino a sfociare, nel 1983, nei due dipartimenti di Energetica diretto da Francesco Martelli e di quello di Meccanica e Tecnologie Industriali (DMTI), fortemente voluto dal suo primo direttore, Pietro Caparrini; dipartimento che iniziò la sua esperienza scientifica e didattica, con personale docente e tecnico proveniente dagli istituti di Ingegneria Meccanica e di Chimica Applicata. Il dipartimento si impegnò, sin dall'inizio, nel favorire l'aggregazione e l'integrazione dei settori specialistici di diversa estrazione e provenienza in una concreta unità operativa in grado di sviluppare in modo organico le attività di ricerca, sia di base, che tecnologica ed applicata.

In particolare, continuando le attività dei due istituti, grande attenzione venne data ai contatti con le industrie e gli enti pubblici, per la promozione di aree culturali interdisciplinari, fondamentali per lo sviluppo dell'Ingegneria Meccanica. Le tematiche affrontate furono quelle dell'innovazione, nell'ambito della progettazione e della produzione industriale e delle nuove tecnologie, con particolare attenzione ai materiali speciali ed innovati.

Dalla sua istituzione, il DMTI contava già nove professori ordinari ed era articolato in sezioni: Meccanica applicata, Costruzione di Macchine, Tecnologia Meccanica, Scienza dei Materiali, Chimica applicata, Meccanica tessile, Meccanica sperimentale.

In particolare, il gruppo di Progettazione Meccanica e Costruzione di Macchine, guidato da Giovanni Nerli intraprese, fin dai primi anni, una grossa attività di collaborazione con importanti centri di ricerca nel settore delle Macchine tessili, ma anche di collaborazione con ENEA – il PEC del Brasimone – per la caratterizzazione di componenti di tubazioni in AISI 316, soggetti a sollecitazioni in campo elasto-plastico.

Paolo Citti, Guglielmo Marconi University, Italy, p.citti@unimarconi.it, 0000-0002-3066-5105

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Paolo Citti, *Storia della progettazione meccanica e della costruzione di macchine a Firenze. Un ricordo*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.29, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 197-201, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

Nel 1990 il Dipartimento, articolato in sezioni, vedeva:

- Sezione Materiali e tecnologie chimico-metallurgiche – coordinata dal Prof. Aldo Del Puglia con un laboratorio di Prove Materiali e di Trattamenti superficiali dei materiali metallici
- Sezione Tecnologie Meccaniche e Sistemi di Produzione – coordinata dal Prof. Andrea Del Taglia con attività di metrologia, di lavorazioni non convenzionali, CAD, automazione di impianti e CIM
- Sezione Progettazione e Costruzione di Macchine – coordinata dal Prof. Sergio Reale con attività su prove strutturali, affidabilità delle macchine, analisi del rumore e vibrazioni, diagnostica e macchine tessili, dinamica strutturale, analisi e misura delle tensioni.

Successivamente si costituì, su iniziativa del sottoscritto, un'importante collaborazione, nel settore automotive, con il Gruppo Fiat ed il Centro Ricerche Fiat, per studi in ambito statico e dinamico su componenti per il settore automobilistico. Questa attività portò all'istituzione del Gruppo di Lavoro «Progetto e Costruzione di Macchine» (PCM), coordinato da Giovanni Nerli e Paolo Citti.

A partire dal 1986 e fino al 2003, il Dipartimento, in collaborazione con ATA (Associazione Tecnica dell'Automobile) organizzò e promosse, a Firenze, una serie di Convegni (Florence ATA), con cadenza biennale, di rilevanza internazionale, che videro la partecipazione di studiosi provenienti da tutto il mondo dell'automotive.

Numerose furono poi le iniziative promosse dal DMTI, se ne ricordano di seguito alcune, particolarmente significative:

- VIII Convegno AIAS (Associazione Italiana Analisi delle Sollecitazioni) «L'analisi delle sollecitazioni nella progettazione delle macchine e delle strutture» – Firenze, 1980
- FMAC – Florence Modal Analysis Conference – Firenze, 1991 – in partnership con il Politecnico di Torino (Bruno Piombo) ed in collaborazione con: KU – Katholieke Universiteit Leuven (Belgio) – UC – Union College (USA) – SEM – Society for Experimental Mechanics (USA)
- ADM «Associazione nazionale Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale», 10th ADM Conference: «Design Tools and Methods in Industrial Engineering», Firenze, 1997
- XXIX Convegno AIAS (Associazione Italiana Analisi delle Sollecitazioni) «Progettazione meccanica – dall'idea al progetto» – Lucca 2000
- ENTREE 2001- ENvironmental TRaining in Engineering Education – «Integrated Green Policies: Progress for Progress» organizzato da IEE Network in collaborazione con: SEFI Working Group for Environmental Engineering; TAKE CARE Environment and Management Consultants; PCM Working Group for Environmental Quality e DMTI Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali – Università di Firenze 2001
- ICAD 2006, 4th International Conference on Axiomatic Design – Firenze 2006.

Dal 1989 fino al 2002 il Dipartimento contribuì anche a organizzare diversi corsi di formazione e giornate di studio su temi allora attualissimi, che videro la partecipazione di studiosi e tecnici provenienti dal mondo accademico e da quello delle imprese. I corsi tenuti da personaggi di fama internazionale, quali ad esempio il Dr. Nielsen, su «Highly Accelerated Life Test», il Professor Suh, su «Axiomatic Design», il Professor Grubisic su «Operation Usage of Vehicles and Consequences for Design and Testing», il Prof. Hobbs su «Halt: Highly Accelerated Life Tests and Hass: Highly Accelerated Stress Screens».

Tutte queste attività vennero rese possibili anche per il contributo organizzativo, logistico e promozionale di Doriano Giannelli.

Il PCM Work Group ampliò negli anni la sua proposta didattica e scientifica, con la presentazione nel 1996, di un fascicolo, dove vennero sintetizzate le competenze presenti nel Gruppo di Lavoro per i vari settori con:

- Monica Carfagni per il Settore «Environmental and industrial acoustics»
- Giovanni Zonfrillo per il Settore «Material Behavior Research»
- Renzo Capitani per il Settore «Vehicles Research»
- Giovanni Nerli per il Settore «Textile Machine Research»
- Paolo Citti e Giovanni Nerli per il settore «Machine Design Research»
- Paolo Citti per il settore «Quality, Safety and Reliability»
- Monica Carfagni per il settore «Computer Graphics Research»
- Marco Pierini e Monica Carfagni per il settore «Structural Dynamics Research»
- Paolo Citti e Monica Carfagni per il settore «Instrumentation Hardware e Software».

Tali competenze hanno portato nel tempo ad attività altamente qualificanti, con una produzione scientifica di altissimo livello, in ambito internazionale e nazionale. Numerose furono anche, in quegli anni, le collaborazioni con enti di ricerca, nazionali, europei ed internazionali.

Fu proprio a metà degli anni '90 che il DMTI iniziò a partecipare, con successo, ai progetti di ricerca in ambito europeo.

Si ricordano tra tutti i primi due Progetti messi in atto:

- M.O.N.I.C.A nell'ambito del Programma quadro Human Capital and Mobility della Commissione delle Comunità Europee, dove venne stipulato un contratto: N. ERBCHRXCT930378 per un Progetto di Ricerca

Partner Coordinatore: Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali Responsabile: Prof. Paolo Citti; Altri partner: ELASIS (Pomigliano d'Arco – Napoli), Politecnico di Torino (Torino), Rieter (Svizzera), Brüel Acoustics (Danimarca), University of Sheffield (R.U.), Katholieke Universiteit Leuven (Belgio), LMS International (Belgio)

- HEMBOT nell'ambito del Programma quadro del European Program relativo a Industrial & Materials Technologies RTD Project Area 3, dove venne stipulato un Contratto: No. BRPR-CT97-0454 per un Progetto di ricerca intitolato HEMBOT (High Efficiency Motor Bogie for Trains). Main Contractor: Breda Costruzioni Ferroviarie S.p.A., via Ciliegiole, 110/B 51100 Pistoia. Il Dipartimento stipulò con il Main Contractor un Associated Contract. Responsabile Prof. Renzo Capitani.

Alla fine degli anni '90 l'attività del Gruppo di Lavoro, vasta ed articolata, si svolse e si esplicitò principalmente nei settori della Progettazione Meccanica, della Costruzione di Macchine e del Disegno e dei Metodi dell'Ingegneria Industriale. Gli argomenti principali delle ricerche che vennero svolte nel triennio 1997-99 sono di seguito riportati:

- Metodi per lo sviluppo innovativo di Macchine per l'industria tessile
- Metodi innovativi di progettazione in ambito auto-veicolistico (modelli teorici e verifiche sperimentali)
- Modellazione FEM in campo dinamico di strutture (vibro-acustica)
- Messa a punto di metodologie di analisi statistica dei dati di fatica su componenti automobilistici per la caratterizzazione della resistenza a fatica di materiali e di componenti
- Acustica Ambientale ed industriale

- Messa a punto di una procedura di progettazione integrata, attraverso lo sviluppo di un flusso di progetto inserito nell'ambiente CAD prescelto, spingendo il livello di automazione fino al massimo consentito dallo strumento software
- Elaborazioni d'immagini in ambito biomeccanico per lo studio dei principali parametri della geometria femorale
- Sviluppo di un approccio metodologico per la gestione degli aspetti inerenti la sicurezza, l'affidabilità e la qualità nella progettazione meccanica. Vennero adattate metodologie affidabilistiche standard in funzione della UNI EN 1050 per la valutazione di indici di rischio sintetici. Vennero anche messe a punto procedure che, attraverso l'utilizzo di metodologie e strumenti di tipo affidabilistico (FMEA/FMECA e FTA), consentissero l'analisi qualitativa e soprattutto quantitativa dei rischi
- Qualità ambientale e certificazione ecologica di prodotto: con riferimento alle BS 7750, alle ISO 14000 (inerenti ai Sistemi di Gestione Ambientale) e al regolamento EMAS 1836/93 (sull'adesione volontaria delle imprese del settore industriale ad un Sistema Comunitario di Eco-Gestione e Audit). Vennero sviluppate fino dal 1994, analisi di Sistemi di gestione integrati che comprendessero le tematiche relative alla qualità aziendale, alla sicurezza sul lavoro ed alla politica ambientale. Analisi di Life Cycle Assessment (LCA) per la determinazione dell'impatto ambientale di piccoli elettrodomestici: individuazione delle fasi del ciclo di vita a maggiore impatto ambientale e analisi di miglioramento del prodotto. Studio delle normative di carattere prestazionale e determinazione di nuovi criteri ecologici.

Nell'aprile 2004, considerando necessario mettere a punto nuove strategie di carattere scientifico, venne promossa una Convention del Gruppo di Lavoro PCM, coordinato dal sottoscritto, nel complesso delle «Montalve alla Quietè», con la partecipazione di tutti i docenti (Nerli, Capitani, Carfagni, Corvi e Reale – Prof. di 1 fascia); Pierini, Vangi e Zonfrillo (Prof. di 2 fascia); Ricci, Baldanzini e Governi (ricercatori); Arcidiacono, Borchì, Delogu, Miniati e Rosti (assegnisti di ricerca); Bandini, Campatelli, Chiesi, Scippa, Coppi, Furferi, Iacomelli, Meneghin, Calabri, Schiavone, Volpe, Innocenti, Pratesi, Cappelli, Giovannetti, Pratellesi, Gioli, Tozzi (dottorandi del Dottorato di Ricerca in Progetto e Costruzione di Macchine); Citti, Carfagni, Giannelli, Miniati, Tocchini, Falchi, Paciscopi, Marini, Zanobini, Rotesi, Romei, Paganelli e Pasquinelli (Gruppo Sicurezza); Johanna Piersig e Tuuli Piu (segreteria).

Durante l'incontro furono aperti dei tavoli di discussione e di approfondimento. Al termine della giornata si individuarono le nuove strategie scientifiche e di lavoro per i settori di ricerca:

- Modellazione e innovazione di Prodotto e di processo
- Comportamento meccanico dei materiali e materiali innovativi
- Dinamica strutturale
- Progettazione meccanica
- Qualità, affidabilità e sicurezza
- Veicoli terrestri
- Ecodesign
- Acustica ambientale ed industriale.

A partire dal 1984, con l'istituzione in Italia del Dottorato di Ricerca, il DMTI iniziò inoltre a partecipare all'attività di dottorato con l'adesione di alcuni suoi docenti al I Ciclo di Dottorato:

Meccanica Applicata – sede coordinatrice – Università di Bologna e Ingegneria dei Materiali – sede coordinatrice – Università di Pisa.

L'attività fu poi continuata negli anni seguenti con l'istituzione nel 1988 del Dottorato di Ricerca in Progetto e Costruzione di Macchine con Sede amministrativa presso l'Università di Firenze, nell'ambito della scuola di dottorato in «INGEGNERIA INDUSTRIALE». Dottorato partecipato dall'Università di Firenze in collaborazione con l'Università di Bologna, l'Università di Genova e l'Università di Padova.

Ricordo anche che, a metà degli anni '90, venni chiamato dalla Società Nuovo Pignone, acquisita dal colosso americano General Electric, per dirigere e coordinare un gruppo di docenti dell'Università di Firenze, per la formazione frontale di tutto il personale dell'azienda, sulla metodologia «Sei Sigma».

Su mia proposta, a partire dal 2005, ATA promosse ed organizzò in Italia l'attività del Formula Student con il FORMULA ATA – Formula SAE Italy, che è continuata negli anni fino ad oggi e la cui 19° edizione si è tenuta sul circuito Riccardo Paletti a Varano de' Melegari (PR) dal 4 all'8 settembre 2024, una competizione sportiva che mette alla prova nel campo del design ingegneristico di auto monoposto in stile Formula, tra gli studenti delle scuole d'ingegneria. Ogni team deve progettare, costruire, testare e promuovere il proprio prototipo, studiando anche un piano aziendale e un'analisi dettagliata dei costi.

Altre attività rilevanti del DMTI, svolte nel periodo dal 2000 al 2010 sono state:

- Convenzione d'Ateneo (dal 2003 al 2009) Convenzione tra l'Università ed il Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali inerente le attività necessarie ad adempiere alla normativa in materia di salute e sicurezza sui luoghi di lavoro, attività di supporto al Servizio Prevenzione e Protezione di Unifi
- Progetto pilota realizzato dalla Commissione interdisciplinare di Ateneo per la ricerca-intervento sul rischio da stress correlato al lavoro nell'Ateneo fiorentino, coordinato dal DMTI
- Coordinamento della Commissione interdisciplinare «Salute e Sicurezza sul Lavoro: una questione anche di genere» in Collaborazione con INAIL
- Partecipazione prima e direzione poi del CESPPO – Centro di Ateneo per la ricerca, trasferimento e alta formazione, nell'ambito dello studio delle condizioni di rischio e di sicurezza e per lo sviluppo delle attività di Protezione Civile e Ambientale
- Ideazione e sviluppo di un progetto pilota sulla sicurezza da promuovere per i ragazzi delle scuole – SICURLANDIA.

Nel 2010 mi sono trasferito a Roma e pertanto si è conclusa per me l'attività nell'Ateneo fiorentino, che ho svolto con grande impegno e con altrettanta soddisfazione, per più di 35 anni. Rivolgo a questo punto un sentito ringraziamento a tutti coloro con i quali ho avuto il piacere di collaborare e che mi sono stati di grande aiuto nel realizzare le moltissime attività sopra brevemente ricordate.

Una storia di Ingegneria Gestionale a Firenze

Martino Bandelloni, Mario Tucci, Filippo De Carlo, Rinaldo Rinaldi, Romeo Bandinelli, Mario Rapaccini, Filippo Visintin

Nel ricostruire la storia del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale presso l'Ateneo fiorentino è fondamentale, come testimoniato dal Prof. Martino Bandelloni, decano del settore, partire dalle figure che ne posero le fondamenta ben prima della sua istituzione formale. Un ruolo centrale in questa fase primordiale spetta al Prof. Sergio Stecco, prematuramente scomparso nel 1993, la cui carriera si è a lungo intrecciata con quella dello stesso Prof. Bandelloni, rendendolo di fatto un artefice, seppur postumo, della nascita del corso di studi.

Il Prof. Stecco ed il Prof. Bandelloni sono compagni di corso durante il ciclo di studi alla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Genova ed insieme frequentano l'Istituto di Macchine, allora diretto dal Prof. Carmelo Caputo, relatore delle tesi di laurea al termine dell'A.A. 1965-66. Ambedue intraprendono la carriera universitaria come Assistenti Ordinari, anche se in sedi diverse (Genova, Roma). Il Prof. Stecco, divenuto giovanissimo Professore Ordinario di Macchine a Roma nel 1975, viene chiamato presso la Facoltà di Ingegneria di Firenze.

Il Prof. Bandelloni invece giunge a Firenze nell'A.A. 1978-79 con un Incarico interno sul Corso di Economia e Organizzazione Aziendale¹. La legge 382/80 sul riordino del-

¹ Il prof. Stecco sapeva della intenzione dello scrivente di voler continuare il percorso nell'Università a Firenze e lo informò della presenza del bando per la copertura del Corso come incaricato, che dall'A.A. 1979-80 terrà fino all'A.A. 1990-91. Fino a quel momento il prof. Bandelloni aveva operato presso l'università di Genova, nell'Istituto di Tecnologia e Impianti Meccanici, diretto dal prof. Guido Danese. Questi, alla fine degli anni Sessanta, era l'unico professore di Impianti Meccanici fra tutte le università Italiane e la cattedra era finanziata interamente dalla Finsider (Genova all'epoca era il centro della siderurgia italiana con lo stabilimento Italsider a ciclo integrale di Cornigliano). Le attività di ricerca dell'Istituto e i programmi dei corsi attivati, erano ovviamente sbilanciati sulla impiantistica siderurgica, per la quale il Prof. Bandelloni, Assistente Ordinario della materia dal 1969, fu chiamato a organizzare, durante tutti gli anni Settanta, corsi di formazione negli stabilimenti di Genova, Terni, Bagnoli e Taranto.

Martino Bandelloni, University of Florence, Italy, martino.bandelloni@unifi.it

Mario Tucci, University of Florence, Italy, mario.tucci@unifi.it, 0000-0002-7664-8204

Filippo De Carlo, University of Florence, Italy, filippo.decarlo@unifi.it, 0000-0003-4695-5956

Rinaldo Rinaldi, University of Florence, Italy, rinaldo.rinaldi@unifi.it, 0000-0002-9071-1986

Romeo Bandinelli, University of Florence, Italy, romeo.bandinelli@unifi.it, 0000-0002-5547-4225

Mario Rapaccini, University of Florence, Italy, mario.rapaccini@unifi.it, 0000-0003-4499-0627

Filippo Visintin, University of Florence, Italy, filippo.visintin@unifi.it, 0000-0003-3262-6844

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Martino Bandelloni, Mario Tucci, Filippo De Carlo, Rinaldo Rinaldi, Romeo Bandinelli, Mario Rapaccini, Filippo Visintin, *Una storia di Ingegneria Gestionale a Firenze*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.30, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 203-210, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

la docenza universitaria, lo trova operante in due Settori Scientifici Disciplinari (SSD) differenti: come Assistente Ordinario di Impianti Meccanici a Genova sul SSD I11X (poi ING-ND/17, oggi IIND-05/A) e Professore incaricato stabilizzato di Economia e Organizzazione aziendale a Firenze sul SSD I27X (poi ING-IND/35, oggi IEGE-01/A).

Dopo il giudizio di idoneità ad Associato, ottenuto nel Settore degli Impianti industriali meccanici, nel prendere servizio, sceglie l'Università di Firenze e come sede l'Istituto di Energetica. L'Istituto era stato fondato nel 1979 dal Prof. Stecco, distaccatosi da quello di Meccanica e successivamente nel 1982 trasformato in Dipartimento (poi a lui dedicato), di cui assume la direzione dal 1985 al 1990. Il Dipartimento viene creato con l'obiettivo di unire competenze diversificate e capaci di affrontare i molteplici aspetti della conversione dell'energia, non esclusi quelli impiantistici ed economici. È quindi naturale l'adesione al progetto di ricerca da parte del rappresentante dell'area impiantistica, il quale, all'interno del Dipartimento, istituisce una Sezione Impianti e Tecnologie Industriali, detta in breve SITI-DE. È compito del Prof. Bandelloni portare avanti le tematiche e l'insegnamento di Impianti Meccanici nel Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica ed Elettronica, tenuto fino ad allora per supplenza da un docente proveniente dall'Università di Pisa (Prof. Dante Miconi). All'epoca è l'unico corso attivo nella Facoltà di Ingegneria di Firenze nel SSD I11X, corso introdotto come obbligatorio a livello nazionale con la cosiddetta «legge Capocaccia» già negli anni '60².

Il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale è caratterizzato da numerosi insegnamenti derivati dai due SSD caratterizzanti di IIND-05/A e IEGE-01/A, le cui dichiarazioni (DM 04/10/2000) indicano rispettivamente:

IIND-05: il settore studia le metodologie ed i criteri generali che presiedono alla pianificazione, progettazione, realizzazione e gestione degli impianti industriali (o sistemi di produzione);

IEGE-01: il settore raggruppa le competenze per l'integrazione degli aspetti progettuali, economici, organizzativi e gestionali in campo ingegneristico.

Nel 1986 il Prof. Bandelloni diventa Prof. Straordinario e nel 1989 Prof. Ordinario nello stesso Settore di Impianti. Nella relazione della Facoltà sulle attività come Straordinario ai fini dell'Ordinariato si legge fra l'altro «ha collaborato a delineare una possibile area di sviluppo nell'Ingegneria Gestionale in sede locale». Nello svolgimento del Corso di Impianti meccanici già introduce concetti e metodiche non solo di progettazione, ma anche di gestione, concetti per lo più mutuati dalla Ricerca Operativa, come la teoria dei sistemi, la teoria dei grafi, la teoria delle code, le tecniche di programmazione e controllo dei Progetti, la Programmazione matematica lineare e dinamica, le tecniche di simulazione Montecarlo, ecc.).

Il Settore IIND-05 ha finalmente un professore ordinario di ruolo nella Facoltà, condizione necessaria per ottenere un ricercatore che lo aiuti sia nella ricerca che nella didattica, operazione non facile per un settore che è rimasto, fin dalla istituzione della Facoltà, ai margini delle dinamiche interne e agli ultimi posti nelle graduatorie per le chiamate.

Il primo posto di Ricercatore nel settore Impianti Industriali Meccanici arriva alla fine degli anni Ottanta. Partecipa e vince il concorso l'attuale Prof. Mario Tucci, che ha una Laurea con lode in Ingegneria Meccanica, e che ha sviluppato con il Prof. Bandelloni una tesi di impiantistica, modellando al computer la struttura e il funzionamento di un impianto FMS (Flexible Manufacturing System). Nel 1985 inizia il Dottorato di Ricerca nel Dipar-

² Il corso di Impianti Meccanici era entrato nelle Facoltà di Ingegneria con la riforma del DPR 53/60 come materia fondamentale a livello nazionale. La legge fu denominata «Capocaccia» in riferimento al Prof. Giovanni Capocaccia, titolare dell'insegnamento di Meccanica applicata alle macchine nella Facoltà di Ingegneria della Università di Genova, figura di spicco nel panorama accademico italiano dell'epoca e che ebbe un ruolo determinante nella elaborazione della legge stessa.

timento di Energetica che completa nel 1989. Da Ricercatore passa rapidamente a Prof. Associato nel 1992 e Ordinario nell'anno 2000.

Il Prof. Tucci si inserisce immediatamente nel contesto locale e nazionale partecipando alle riunioni e ai convegni delle due principali Associazioni dei settori caratterizzanti: ANIMP (Associazione nazionale di Impiantistica Industriale) ed AIRO (Associazione Italiana di Ricerca Operativa). Tucci viene cooptato subito nelle strutture di funzionamento, in ANIMP dal 1998 al 2007 diviene membro del Consiglio nazionale e dal 2014 entra a far parte del Direttivo della Sezione Manutenzione. Nell'AIRO entra come componente del Comitato Scientifico.

I Convegni annuali di Impiantistica e di Ricerca Operativa, patrocinati dalle rispettive Associazioni, unitamente alle relative riviste di *Impiantistica italiana* ed *European Journal of Operational Research*, diventano le sedi nella quali i docenti si confrontano con il mondo industriale e dove vengono spesso pubblicate le Ricerche del Settore.



Figura 137 – A sinistra, il Prof. Bandelloni (terzo da sinistra) al terzo convegno nazionale di impiantistica di Bari (1974), insieme ai colleghi Prof. Dante Miconi (Pisa), Prof. Salvatore Tommasi (Trieste) e Prof. Paolo Pratali (Pisa); a destra: il Prof. Tucci, il Prof. Bandelloni e il Rettore dell'Università di Firenze Alberto Tesi al convegno ANIMP del 2007 a Biodola, sull'Isola d'Elba.

Un secondo Ricercatore del Settore Impianti industriali meccanici arriva nel 1996, nella persona dell'attuale Prof. Associato Rinaldo Rinaldi. Nel SSD dell'Economia gestionale arriva prima un Ricercatore nell'anno 2002 nella persona dell'attuale Prof. Mario Rapaccini, anche lui proveniente dal Dottorato di Ricerca del Dipartimento di Energetica, e successivamente un Prof. Ordinario (Giuseppe Colombo), proveniente dalla Facoltà di Agraria, trasferitosi a Ingegneria, Dipartimento di Energetica.

Nei Laboratori del Complesso di Santa Marta viene realizzato durante gli anni Ottanta un impianto pilota per lo studio della reologia delle miscele multifase e in particolare delle miscele acqua-carbone (Bandelloni, Bonelli 1989; Tucci et al. 1995). La miscela acqua-carbone nasceva nella prospettiva di unire una ipotetica miniera di carbone alla centrale elettrotermica con una semplice tubazione e comunque di utilizzare il carbone alla stregua di un combustibile liquido³.

Agli inizi degli anni Novanta la sezione SITI-DE si sposta dal complesso di Santa Marta in uno stabile di Via Cesare Lombroso, al n. 6/17⁴, dove può istituire anche un laboratorio didattico e di ricerca, per alloggiare assegnisti e dottorandi, che sempre più

³ In collaborazione con Nuovo Pignone che metteva a disposizione le miscele. Al termine dei test il circuito viene trasformato dai colleghi di Macchine in un impianto prova per macchine idrauliche.

⁴ Preso in affitto dall'Ateneo, dove trova una sistemazione anche la Sezione di Analisi Numerica.

vengono richiesti per ricerche patrocinate da enti esterni. In quegli anni si intensificano, infatti, i contatti e le collaborazioni con aziende del comprensorio fiorentino – pratese e del Consorzio Empolese – Val d'Elsa, naturale laboratorio esterno di ricerca e sviluppo delle tematiche di impiantistica e di gestione della produzione.

Le convenzioni onerose stipulate per lo più negli anni Novanta (ma anche successivamente) permettono di far fronte alle spese di funzionamento della Sezione (acquisto di attrezzature, computer, ...) e consentono il finanziamento di Assegni di Ricerca e borse di studio per un Corso di Dottorato che sarà istituito agli inizi dell'anno Duemila, insieme al nuovo Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale (di cui diremo nel prosieguo).

Fra queste Convenzioni abbiamo il dovere di ricordare, in ordine di tempo, le più importanti: CCTM di Cerreto Guidi (Empoli), Pecci S.p.A., Ferrovie dello Stato, Nuovo Pignone S.p.A., CESI (Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano), Manuli Rubber Industries S.p.A., Mascalzone Latino S.r.l., AOC (Azienda Ospedaliera Careggi).

Il gruppo della Sezione di Impianti e Tecnologie Industriali si impegna anche in Corsi di Formazione esterni riguardanti le tematiche impiantistico-gestionali ad esempio con Nuovo Pignone S.p.A. e Ferrovie dello Stato S.p.A.). Inoltre, organizza e partecipa a Corsi IFTS (Istruzione e Formazione Tecnica Superiore) per formare figure professionali tecniche di livello medio-alto, richieste dalle Aziende del Comprensorio, organizzati in collaborazione con ITIS Antonio Meucci, Confindustria Toscana Servizi, PIN (Polo Universitario città di Prato).

La Sezione Impianti organizza anche corsi sulla sicurezza in ottemperanza al D. Lgs. 494/96, il quale prevede che le Università possono istituire corsi per la creazione delle figure professionali di Coordinatore per la progettazione e Coordinatore per l'esecuzione dei lavori.

Alla fine degli anni Novanta il Gruppo ha ormai acquisito competenze nelle materie dei due settori scientifici caratterizzanti, con metodologie, strumenti e applicazioni nell'area della progettazione e gestione degli impianti industriali:

- Simulazione di sistemi produttivi e di impianti di servizio (Tucci 1983-84; Tucci, Giusti 1994; Bandelloni et al. 1994a; Tucci, Rinaldi 1995; Rinaldi, Romoli, Tucci 1996; Rinaldi, Tucci 1996)
- Localizzazione impianti e Progettazione del Layout (SIMAN, ARENA, SIMPLE ++)
- Progettazione di linee automatizzate (FMS) (Bandelloni, Tucci 1985; Tucci, Giusti 1994)
- Gestione dei Progetti e livellamento delle risorse (Tecniche reticolari, PERT; CPM, PM) (Bandelloni, Rinaldi, Tucci 1994)
- Sicurezza negli ambienti di lavoro (Laboratorio c/o PIN-Prato)
- Valutazione del rischio industriale (Bandelloni et al. 1994b)
- Affidabilità e Manutenzione di impianti (Alberi di guasto, FTA, CMMS)
- Pianificazione e programmazione della produzione (Bandelloni, Rinaldi, Tucci 1994)
- Tecniche di scheduling (simulated annealing, tabu search, algoritmi genetici) (Bandelloni et al. 1994b; Bandelloni et al. 1995)
- Analisi di Impatto ambientale (Life Cycle Assessment, Green Design and Manufacturing, Design for Environment) (Bandelloni, Rinaldi, Tucci 1991)
- Monitoraggio e Recupero dell'Energia (Bandelloni, Carnevale 1983; Carnevale, Tucci 1987; Rinaldi, Petri 1996; Rinaldi 1995; 2022; Grazzini, Rinaldi, Tucci 1994; Tucci et al. 1995; Benedetti, Rinaldi, Saetta 1996)
- Logistica.

Già con il riordino degli studi di Ingegneria del 1989 (DPR 20/05/1989) con il quale la Facoltà passava dai tre corsi di laurea (Civile, Elettronica, Meccanica) a sette (con aggiunta di Informatica, Telecomunicazioni, Ambiente e Territorio, Edile), oltre a quattro Diplomi

Universitari nella sede di Prato (Meccanica, Elettronica, Ambiente e Risorse, Economia e Ingegneria della qualità), i docenti del Gruppo sono chiamati a coprire molti corsi facenti capo ai SSD caratterizzanti, come «gestione degli impianti industriali», «Gestione della produzione e dei sistemi logistici», «Gestione del rischio industriale», «Sicurezza», ecc.

Ma la vera svolta per Ingegneria Gestionale si ha con il DPR 509/99 (Regolamento recante norme concernenti l'autonomia didattica degli Atenei), il quale detta nuove disposizioni concernenti i criteri generali per l'ordinamento degli studi universitari e determina la tipologia dei titoli di studio che possono rilasciare le Università: la cosiddetta legge del «tre più due».

La legge da un lato vuole risolvere l'annoso problema dell'elevata permanenza oltre i cinque anni degli studenti nel sistema universitario previgente e, cosa più importante, venire incontro alla necessità per il mondo del lavoro di disporre di giovani dotati di competenze professionalizzanti subito spendibili in contesti lavorativi.

I molteplici contatti, che il Gruppo ha avuto ed ha con il mondo produttivo e industriale del comprensorio, danno la certezza che la figura professionale dell'ingegnere gestionale troverà terreno fertile per il suo impiego. Questa certezza è corroborata dal numero di studenti di gestionale che si riscontra nelle Università dove il Corso di Laurea è già attivo, paragonabile a quello di ingegneria meccanica e di Elettronica.

I docenti dei due Settori caratterizzanti decidono di presentare un programma per l'istituzione del nuovo Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale, ormai presente in quasi tutte le più importanti Università italiane⁵ (compresi i Politecnici di Torino e Milano dove esistono addirittura i Dipartimenti di Ingegneria gestionale).

L'occasione si presenta appunto con il DPR 509/99, il cui articolo 4 introduce il concetto di «classe di corso di studio», secondo cui corsi di studio dello stesso livello, comunque denominati dagli Atenei, devono venire raggruppati in apposite classi di appartenenza. In particolare, più corsi di studio appartenenti allo stesso livello e alla stessa classe devono avere gli stessi obiettivi formativi qualificanti ed i titoli conseguiti al termine di tali percorsi formativi hanno identico valore legale. Ciò permette di mettere in comune molte risorse all'interno della stessa classe.

In forza di questa nuova normativa, a partire dall'A.A. 2001-02, la Facoltà di Ingegneria attiva, tra le altre, la Classe delle lauree in Ingegneria Industriale con i Corsi di Laurea in:

- Ingegneria Gestionale
- Ingegneria Meccanica
- Ingegneria Industriale (sede di Prato), che nasce dalla trasformazione del preesistente diploma universitario in Ingegneria Elettronica.
- Ingegneria dei Trasporti, attivo a partire dall'anno accademico 2002-03 presso la sede didattica di Pistoia.

Nell'A.A. 2001-02 viene quindi attivato il primo anno del Corso di Laurea con la Presidenza del Prof. Bandelloni, che terrà fino all'A.A. 2005-06, seguito sino all'A.A. 2010-11 dal Prof. M. Tucci. Nell'A.A. 2002-03 viene attivata anche il Corso di Laurea Specialistica con sede ad Empoli⁶, presieduta dal Prof. Mario Tucci.

⁵ Il riconoscimento formale della Laurea in Ingegneria Gestionale avvenne con il DPR 20/05/1989. Questo decreto inserì l'Ingegneria Gestionale tra le lauree impartite dalle Facoltà di ingegneria italiane, favorendo la diffusione del Corso in numerose Università. Nell'A.A. 2001-02 la Laurea era attiva, oltre che nei due Politecnici, nelle Università di Bergamo, Bologna, Brescia, Napoli Federico II, Palermo, Padova e Roma Tor Vergata. All'Università di Pisa sarà attivata nell'anno accademico successivo 2002-03.

⁶ La sede era al civ. 40 di via Fratelli Rosselli. La delocalizzazione ad Empoli fu fortemente sponsorizzata dall'Ing. Vittorio Bugli, in rappresentanza del Comune di Empoli, convinto del ruolo e della importanza della Università nello sviluppo del territorio Empolese-Val d'Elsa.

L'A.A. precedente era stato attivato il Dottorato in Ingegneria dell'Affidabilità, Manutenzione e Logistica, fortemente richiesto e sponsorizzato con borse di studio dalle società Nuovo Pignone e Ferrovie dello Stato. Inizialmente, la direzione viene assunta dal Prof. Bandelloni per passare poi al Prof. Tucci dal 2004. In questo Corso di Dottorato (poi ridenominato Dottorato in Ingegneria Industriale e dell'Affidabilità) si formeranno, tra gli altri, gli attuali professori Filippo De Carlo, Delegato al Placement della Scuola di Ingegneria e attuale Segretario AIDI, Filippo Visintin, attuale Referente del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale e Romeo Bandinelli, delegato all'orientamento del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale⁷.

Dall'A.A. 2004-05 il Corso di Laurea viene ristrutturato secondo i dettami del D.M. 270/2004. A distanza di un triennio dall'attuazione della riforma didattica, la principale critica rivolta al sistema del «tre più due» è l'aver reso obbligatorio un percorso triennale «indifferenziato» sia per chi voglia concludere subito gli studi universitari ed entrare nel mondo del lavoro, sia per chi intenda proseguire nel biennio specialistico. Il motivo è l'impossibilità di progettare un percorso formativo di primo livello che possa essere al contempo professionalizzante e metodologico.

Con il D.M. 270/2004 nasce il percorso universitario cosiddetto «a Y», diretto ad istituire – dopo un primo anno di attività didattiche comuni – una divaricazione che prevede la scelta dello studente tra un percorso professionalizzante finalizzato ad ottenere unicamente una laurea di primo livello ed un percorso metodologico propedeutico alla prosecuzione nel biennio specialistico, con il quale può conseguire anche una Laurea Magistrale (nuova denominazione delle lauree specialistiche).

Il primo anno viene reso comune alla laurea di meccanica, con possibilità anche di passare facilmente ad altre lauree della stessa Classe. Il Corso ottiene subito un notevole successo e non poteva essere altrimenti considerando il successo di iscritti e laureati nelle principali Università e Politecnici italiani, passando da poche decine di matricole nel primo anno di attivazione, a cinquanta nel secondo e a più di cento nell'arco del decennio.

Anche a livello nazionale, alla fine del primo decennio degli anni 2000, la quota di laureati magistrali in Ingegneria Gestionale è paragonabile a quella di Ingegneria Meccanica⁸.

Tuttavia, questo percorso, che dà concreta risposta alla domanda di formazione proveniente dal mondo del lavoro, dalle parti sociali e della professione, deve interrompersi per problemi economici e di personale, per poi rinascere in maniera più strutturata con l'istituzione della Scuola di Ingegneria. Il motivo della chiusura del Corso di Laurea nell'A.A. 2010-11 va ricercato innanzitutto nel mancato incremento di personale docente in grado di sopportare il notevole carico didattico che si è venuto a creare con l'aumento degli iscritti (da poche decine al primo anno sono diventati più di 500). La crisi finanziaria dei *subprime* raggiunge il nostro Paese nel 2008 e si abbatte anche sull'Ateneo fiorentino che si trova costretto a bloccare il reclutamento di docenti per tre anni e ad adottare politiche di contenimento della spesa, incluso il blocco degli scatti stipendiali e la riduzione del *turnover*. L'unico mezzo per provare a risollevarne le sorti della Facoltà di Ingegneria è quello di razionalizzare le poche risorse, riducendo e riorganizzando i corsi di laurea, riproponendo un modello formativo più tradizionale, che riporta la didattica nell'ambito della formazione tradizionale dell'ingegnere.

⁷ Altri Dottori di Ricerca prenderanno con successo la strada della Libera Professione (Gianni Bettini, Lorenzo Giagnoni), rimanendo per lungo tempo legati alla Sezione.

⁸ Nel 2022 il CDL in Ingegneria Gestionale raggiungeva il primato di classe di laurea con più laureati, scavalcando anche l'Ingegneria Meccanica. Vedi "Domanda e offerta nel mercato del lavoro dei laureati in Ingegneria gestionale", CNI Centro Studi, report 2023.

In secondo luogo, l'uscita per limiti di età di due professori ordinari dei due settori caratterizzanti, il Prof. Martino Bandelloni (IIND-05) e il Prof. Giuseppe Colombo (IE-GE-01) senza prospettiva di un immediato rimpiazzo, obbligano il Prof. Mario Tucci, Referente per il Corso di Laurea, a impedire nuove iscrizioni in attesa di tempi migliori.

Su forte impulso del mondo produttivo locale e degli organi accademici, in particolare la Scuola di Ingegneria e il nuovo Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF), dall'anno accademico 2016-17, riprende vita il Corso di Laurea di primo livello in Ingegneria Gestionale. A partire dall'anno accademico 2019-20, riparte anche la Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale. Il nuovo percorso forma una figura professionale molto richiesta da imprese e pubblica amministrazione, dal momento che la progettazione e la gestione dei fattori della produzione di un prodotto o di un servizio sono competenze sempre più richieste dal mondo del lavoro. Il nuovo percorso è frutto di un intenso confronto dell'Ateneo con il mondo industriale, con le associazioni di categoria e con le realtà del territorio. Al nuovo percorso, che si pone in diretta continuità con la laurea triennale in Ingegneria Gestionale attiva da tre anni, è possibile accedere anche dai percorsi di primo livello in Ingegneria Meccanica e Ingegneria Informatica.

La laurea magistrale fiorentina si colloca nell'area dell'ingegneria industriale, ma il piano di studi include, accanto alla gestione della filiera produttiva, le competenze necessarie per affrontare le sfide dell'Industria 4.0 e approfondire il fenomeno della digitalizzazione dei processi. L'attenzione alla didattica di alcuni corsi in lingua inglese risponde alla crescente apertura internazionale dei sistemi produttivi e sociali.

L'apprezzamento da parte degli studenti è notevole e testimoniato dall'andamento delle iscrizioni di studenti al primo anno.

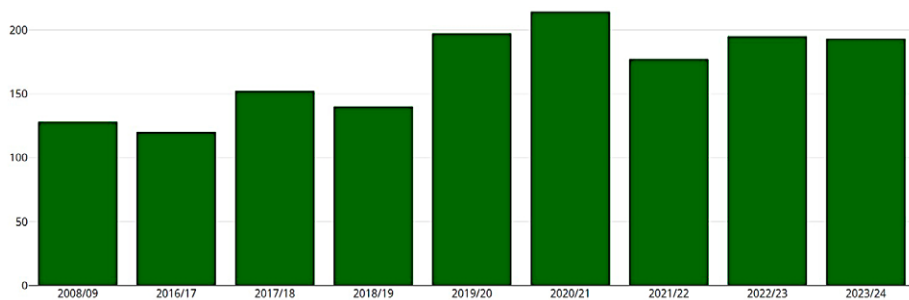


Figura 138 – Immatricolati al Corso di Laurea di primo livello in Ingegneria Gestionale.

L'andamento degli iscritti dell'ultimo quindicennio illustra bene le vicissitudini storiche del corso, con la crisi iniziata nel 2008 e la forte ripresa del 2016.

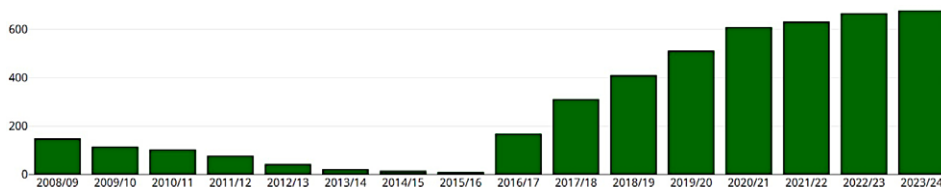


Figura 139 – Iscritti al Corso di Laurea di primo livello in Ingegneria Gestionale.

Attualmente, l'Università di Firenze offre un percorso completo in Ingegneria Gestionale, articolato in una laurea triennale, una laurea magistrale in lingua inglese e un

dottorato, rispondendo alle crescenti esigenze di internazionalizzazione del mercato del lavoro. Infatti, a partire dall'anno accademico 2023-24, il corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale si trasforma nell'International Master's Degree in Management Engineering, con la possibilità di conseguire un doppio titolo presso la Hochschule di Lucerna (Svizzera) e, dal 2025-26 presso l'Instituto Superior Técnico di Lisbona (Portogallo), frequentando almeno sei mesi nell'università consorzata.

Riferimenti bibliografici

- Bandelloni, M. e E. Carnevale. 1983. "Sul recupero di energia nell'industria tessile." *X Convegno nazionale di impiantistica, Pisa* 10.
- Bandelloni, M. e M. Tucci. 1985. "F.M.S.: aspetti economici, impiantistici progettuali." *Riv. Impianti* 10.
- Bandelloni, M. e R. Bonelli. 1989. "A Calculation Method for Determining a Rheological Law to Analyze The Influence of Concentration and Granulometry for Coal-Water-Mixtures." *9th Miami Int. Congress on energy and Environment* 10.
- Bandelloni, M. et al. 1994a. *Miglioramento dell'affidabilità dei sistemi complessi: allocazione ottimale delle risorse, Atti XXI Congresso nazionale ANIMP*. Parma 20-22 ottobre.
- Bandelloni, M. et al. 1994b. "Metodologie di Valutazione del Rischio Industriale: il programma Fault Tree." *Impiantistica Italiana*.
- Bandelloni, M. et al. 1995. "Fuzzysets e alberi di guasto nella valutazione di affidabilità degli impianti." *Impiantistica Italiana* 11-12.
- Bandelloni, M., Rinaldi, R. e M. Tucci. 1991. *Un modello territoriale per la gestione ottimale del sistema di raccolta delle batterie esauste, Atti Giornate di lavoro AIRO '91*, Riva del Garda, 9/9: 40-43.
- Bandelloni, M., Rinaldi, R. e M. Tucci. 1994a. "Optimal Resource Levelling Using Non-Serial Dynamic Programming." *European Journal of Operational Research* 78(2): 162-77.
- Benedetti, P., Rinaldi, R. e S. Saetta. 1996. "Tecniche di valutazione di investimenti in regime di incertezza per impianti di servizio autoproduzione energetica." *Atti XXIII Congresso nazionale ANIMP, Venezia* 10 ottobre: 3-24.
- Carnevale, E. e M. Tucci M. 1987. "Updating Energy Policies in a Tannery District." In *Innovation For Energy Efficiency Conference*, vol. I, 59-70. Newcastle: Elsevier.
- Grazzini, G., Rinaldi, R. e M. Tucci. 1994. "Work and Efficiency Maxima for Irreversible Heat Powerplants." In: *Energy for the 21st Century, Proceedings of Florence World Energy Research Symposium*, Firenze, 6-8 giugno: 417-28.
- Rinaldi, R. 1995. *Valutazione di alternative di impianto nel settore energetico: progetto di un DSS in regime stocastico*, Tesi per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca, Firenze.
- Rinaldi, R. 2022. "Teleriscaldamento urbano sfruttando i cascami termici dei cementifici." *Impiantistica Italiana* 4-5.
- Rinaldi, R. e A. Petri. 1996. "Un algoritmo euristico di Tabù-Search per l'ottimizzazione logistica della raccolta dei rifiuti tossici e nocivi." *Atti Giornate di Lavoro AIRO 96*, Perugia, 16-20 settembre 1996: 492-498.
- Rinaldi, R. e M. Tucci M. 1996. *Drag and drop assembly of models for energy systems stochastic simulation, Proceedings dell'ESS '96, 8th European Simulation Symposium*, Genova October 24-26.
- Rinaldi, R., Romoli, S. e M. Tucci M. 1996. *General Regression Neural Network in Energy Cost Analysis - Proceedings of ECOS '96*, Stoccolma, 25-27 giugno: 573-79.
- Tucci, M. 1983-84. *Simulazione di impianti produttivi, modello e codice di calcolo di FMS*, Tesi di laurea.
- Tucci, M. e R. Giusti R. 1994. "Improving Active Accident Prevention in Robotized Manufacturing Plants." *The International Journal of Robotics Research* 13(4): 334-342
- Tucci, M. et al. 1995. "Correlations Between Rotational Viscosimeter And Pilot Plant Data In CWS Pipeline System Design." In *20th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems. The Year of Compliance*, 445-55. Clearwater, Florida.
- Tucci, R. e R. Rinaldi. 1995. *Analisi multivariata on-line per la valutazione dei costi energetici dei prodotti di una cartiera. Atti del Convegno*, Bologna 15-16 giugno: 299-309.

PARTE IV

La didattica del DIEF a servizio del territorio



Il contributo del Dipartimento di Ingegneria Industriale alla didattica della Scuola di Ingegneria: cenni storici

Rocco Furferi

Fin dalla prima lezione del primo anno del triennio «di Applicazione» per il Corso di Laurea di Ingegneria Meccanica, svoltasi nei locali del Seminario Minore di via di S. Marta 3 l'11 gennaio del 1971, la allora Facoltà (oggi Scuola) di Ingegneria ha avuto l'onore di formare gli allievi ingegneri del territorio su temi legati all'ingegneria industriale. Il Seminario minore, circondato da un grande parco e dotato di spaziosi locali e corridoi disposti su tre piani e un seminterrato era usato solo in parte dalla Curia e dalla Provincia di Firenze, che vi aveva collocato la scuola media Poliziano. La Facoltà, cui fu nominato Preside Giuseppe Francini, disponeva di quattro locali al piano terra dell'ala sinistra dell'edificio e una grande sala al piano superiore, dove vennero provvisoriamente posizionate le prime attrezzature didattiche e scientifiche. Sotto la guida del neonato Istituto di Ingegneria Meccanica, antenato dell'odierno DIEF, ben 809 studenti risultavano iscritti al biennio «Propedeutico» e 50 al triennio di applicazioni in Meccanica. Tali numeri si sarebbero consolidati nel 1974 con 576 studenti iscritti a Ingegneria Meccanica (biennio e triennio di applicazione). In Figura 140 si riporta il numero di Laureati in Ingegneria Meccanica nel periodo 1974-80. I primi due laureati in Ingegneria Meccanica furono l'Ing. Papini Elio e l'Ing. Turchetti Tonino che furono proclamati nel gennaio del 1974.

Dopo che la scuola media Poliziano lasciò i locali del Seminario, a seguito di numerosi lavori di ristrutturazione, l'intero edificio di via di S. Marta 3, eccetto una parte dell'ala sinistra del secondo piano destinata temporaneamente agli insegnamenti di Fisica Superiore e Fisica dello Spazio, fu assegnato dal Consiglio di amministrazione dell'Ateneo fiorentino alla Facoltà di Ingegneria. Questo edificio è stato utilizzato fino ad oggi per le necessità didattiche e scientifiche del triennio, mentre il biennio fu trasferito in una struttura temporanea che avrebbe negli anni successivi lasciato spazio all'odierno complesso di viale Morgagni 40. Nel periodo furono Presidi di Facoltà Demore Quilghini (1975-77) prima e Sergio Stecco poi (1979-82). In quegli anni, ed

Rocco Furferi, University of Florence, Italy, rocco.furferi@unifi.it, 0000-0001-6771-5981

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Rocco Furferi, *Il contributo del Dipartimento di Ingegneria Industriale alla didattica della Scuola di Ingegneria: cenni storici*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.32, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 213-220, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

esattamente nel 1973, fu terminata la costruzione della «Casa dello Studente» locata anch'essa in Morgagni prospiciente all'edificio universitario.

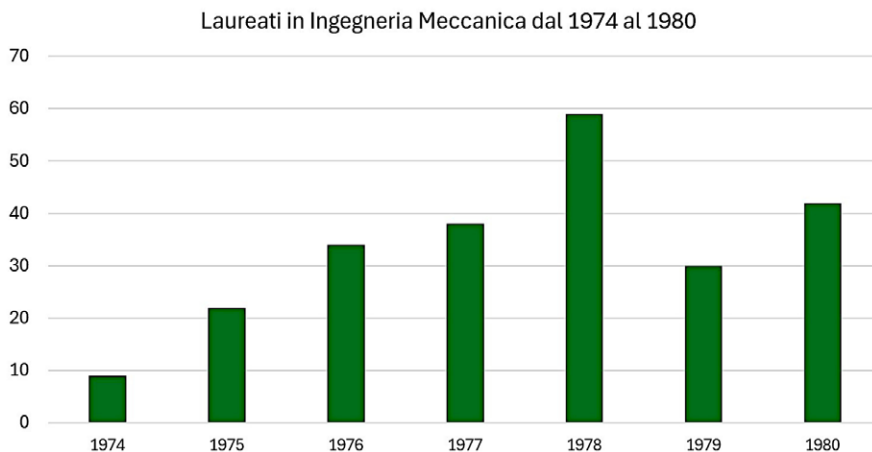


Figura 140 – Laureati in Ingegneria Meccanica nel periodo 1974-80.

Dopo la costituzione dei Dipartimenti DMTI e DE, avvenuta come già citato con il DPR dell'11 luglio 1980 n. 382, la didattica era prevalentemente gestita dalla Facoltà ma i docenti afferivano ai suddetti Dipartimenti che partecipavano pertanto alle decisioni in merito ai Corsi di Studio. Con il loro contributo, l'offerta didattica nei primi anni '80, e fino alla fine del decennio, rimase inalterata in ottemperanza al DPR 53/1960 che aveva trovato attuazione nei tre corsi di Laurea in Meccanica, Elettronica e Civile. Il Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica fu presieduto dapprima dal Prof. Stecco e successivamente dal Prof. Ennio Carnevale (dall'A.A. 1989-90 all'A.A. 1994-95), poi nominato Preside della Facoltà dal 1995 al 2001. La Facoltà contava in quel periodo più di 1100 studenti di cui più di 500 iscritti al Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica.

Solo nell'A.A. 1989-90 intervenne il riordino degli studi di ingegneria che portò, a partire dall'anno accademico 1991-92, ad ampliare l'offerta formativa della Facoltà con tre nuovi Corsi di Laurea: Ingegneria Informatica, ingegneria delle Telecomunicazioni e Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio. Nello stesso anno accademico venne istituito il primo diploma universitario della Facoltà, con durata triennale, in Ingegneria Meccanica presso il Polo Universitario di Prato in Piazza Ciardi.

Nel decennio 1980-90 il numero di Laureati in Ingegneria Meccanica rimase costantemente inferiore alle 50 unità.

La Facoltà si dotò in quegli anni di una serie di strutture per poter offrire didattica che fosse al passo con i tempi: furono create le prime aule di informatica, le aule per il disegno al CAD e i primi laboratori destinati alla didattica.

Il Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica fu all'epoca presieduto dapprima da Giorgio Pradelli (dall'A.A. 1995-96 a tutto l'A.A. 1997-98) e, successivamente, dal Prof. Paolo Toni, che fu attivo in qualità di Presidente anche nei primi anni del 2000 (dall'A.A. 1998-99 all'A.A. 2004-05).

Prima del già citato Prof. Carnevale (che sarà Preside dal 1994 al 2001), svolsero funzione di Preside di Facoltà il Prof. Giuliano Augusti (1982-85), il Prof. Gaetano Villari (1985-87) ed il Prof. Franco Angotti (1987-93).



Figura 141 – Da sinistra verso destra: Prof. Ennio Carnevale, Prof. Paolo Dapporto, Prof. Paolo Toni.

Il decennio dal 1990 al 2000 portò non solo ad un aumento di iscritti al Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica, arrivando a valori costantemente vicini alle 300 matricole ogni anno, ma contestualmente anche ad un consistente incremento progressivo dei Laureati, come dimostrato in Figura 142.

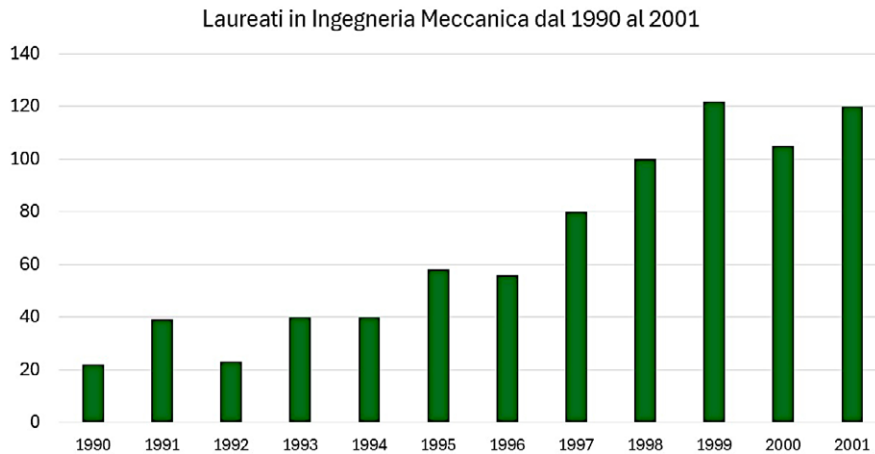


Figura 142 – Laureati in Ingegneria Meccanica nel periodo 1990-2001.

Nel 2001 entrò in vigore la riforma degli ordinamenti, nota come la riforma del 3+2 con l'attuazione del DPR 509/99. Il DPR 509 introduceva una laurea triennale e un biennio specialistico. La laurea triennale mirava a superare le difficoltà dei diplomi nel diventare un livello autonomo della formazione terziaria, mentre il biennio specialistico introduceva un titolo di secondo livello che riprendeva, estendendoli, l'ordinamento e gli obiettivi formativi dell'università prima della riforma del 1980. Questo compromesso aveva lo scopo di aumentare il numero di laureati di primo livello per tentare di rispondere meglio e più rapidamente alle esigenze del mercato del lavoro e per favorire un riallineamento del numero di laureati rispetto agli altri paesi della Comunità Europea, obiettivi mai pienamente raggiunti dal momento che gli studenti, ancora oggi, preferiscono completare l'intero ciclo di cinque anni di formazione. La riforma comportò notevoli difficoltà nella definizione delle nuove Lauree, in particolare per le discipline di base che vedevano compressa la loro offerta didattica per far spazio agli

insegnamenti più caratterizzanti l'area dell'ingegneria industriale. In questo contesto, dall'A.A. 2001-02 l'offerta didattica della Facoltà si modificò radicalmente rispetto al passato prevedendo l'attivazione di 12 corsi di Laurea, tra cui il «nuovo» Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica, inserito insieme ad Ingegneria Gestionale ed Ingegneria Elettrica nella Classe delle Lauree di Ingegneria Industriale. Nella stessa Classe di Laurea furono progettati ed erogati i Corsi di Laurea in Ingegneria Industriale (svolto presso il PIN di Prato) e trasformazione del Diploma universitario in Ingegneria Meccanica e di Ingegneria dei Trasporti (attivato a partire dall'A.A. 2002-03 presso la sede didattica di Pistoia). A livello nazionale si assistette ad una proliferazione di Corsi di Laurea, andando incontro però a problematiche relative alla sostenibilità economica dei corsi stessi. Ad aggravare il quadro economico del periodo, intervenne la crisi del 2008, che avrebbe assunto carattere strutturale negli anni a venire, durante la quale il peso del debito pubblico italiano sul PIL crebbe del 15,4% passando da un «sostenibile» 103,6% ad un ben più oneroso 119%. Numerose piccole e medie imprese del territorio, grandi imprese e lo stesso sistema bancario furono messi a dura prova e ciò generò forte riduzione dei volumi di produzione, modifiche sostanziali nella politica dei prezzi, disoccupazione e generale recessione economica globale. Uno dei risultati fu l'adozione di politiche di austerità che intaccarono in modo significativo la formazione terziaria con un significativo disinvestimento da parte dello Stato nei confronti dell'Università tutta. Non a caso, tra il 2008 ed il 2015 il Fondo di Finanziamento Ordinario all'Università passò da 7,43 miliardi di euro (2008) a 6,91 miliardi (2016). Il finanziamento tornò ai livelli del 2008 solo nel 2019. Ciò comportò, tra le altre cose, una riduzione sostanziale del numero dei dipendenti del comparto Università, stimabile ad un 12,8% nel decennio successivo all'anno della crisi.

La crisi finanziaria del Paese, si rifletté anche sull'Ateneo fiorentino che si trovò costretto a bloccare i progetti edilizi in corso, il reclutamento di docenti per tre anni e a adottare politiche di contenimento della spesa inclusi gli scatti stipendiali e la riduzione del *turnover*. Unitamente alla rapida diminuzione degli organici per pensionamento, l'unico mezzo per risollevare in qualche modo le sorti della Scuola fu quello di razionalizzare le poche risorse, riducendo e riorganizzando i corsi di laurea ripropo- nendo un modello formativo più tradizionale, che poneva al centro la formazione di base e riportava la didattica nell'ambito della formazione tradizionale dell'ingegnere.

I presidenti del Corso di Laurea che si succedettero nel periodo 2000-11 furono: Paolo Toni (1998-99, 2004-05) e Renzo Capitani (2005-06, 2010-11) che svolse anche il ruolo di Presidente Unico dei Corsi di Laurea dell'area Industriale.



Figura 143 – Da sinistra verso destra: Prof. Renzo Capitani, Prof. Franco Angotti, Prof. Alberto Tesi.

La legge 240 del 30 dicembre 2010 entrò formalmente in vigore a fine gennaio 2011 modificando ulteriormente l'assetto organizzativo dell'Ateneo e delle Facoltà, alle quali venne attribuito il nome di Scuola, e mantenendo una struttura a due livelli di Laurea (Triennale e Magistrale) fondamentalmente ricalcante la struttura anglosassone che distingue il Bachelor of Engineering (BE) ed il Master of Engineering (ME). La riforma firmata Gelmini portò a un sistema universitario in cui una parte sempre più significativa delle risorse degli Atenei dipendeva dalla loro capacità di attrarre studenti e di essere efficienti secondo parametri di valutazione standardizzati, via via affinati nel tempo e ancora oggi applicati a cascata a partire dalle modalità di ripartizione delle risorse provenienti dal Fondo di Finanziamento Ordinario (FFO). In questo contesto, le Università si trovarono a competere tra di loro sia per attirare i potenziali studenti, sia per ottenere le risorse necessarie ad ampliare la loro offerta di servizi educativi tramite finanziamenti aggiuntivi nel mercato locale, nazionale o internazionale.

Ai Dipartimenti vennero pertanto formalmente attribuite funzioni finalizzate allo svolgimento della ricerca scientifica, delle attività didattiche e formative, nonché delle attività rivolte all'esterno ad esse correlate o accessorie, dando loro autonomia finanziaria, di gestione ed amministrativa, pur sempre però riferita agli uffici centrali dell'Ateneo. Sempre nell'ottica di razionalizzazione delle risorse, essendo l'intero impianto della Legge Gelmini basato sul concetto di assenza di oneri aggiuntivi per lo Stato, nel 2013 avvenne la «fusione» del Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali e del Dipartimento di Energetica in un unico Dipartimento: il DIEF. Se da un lato la nascita del Dipartimento può considerarsi mero risultato di un tentativo di riduzione dei costi, essa fu soprattutto l'inizio di una storia di successo che permise di riprendere in modo contemporaneo la storia, interrotta con la nascita di DMTI e DE, dell'ingegneria industriale all'interno dell'Università. Il rinnovato rapporto, gioco forza più stretto, tra diversi settori scientifico-disciplinari dell'area della meccanica tradizionale e dell'energetica portò allo sviluppo del DIEF che conosciamo oggi e che lo colloca nel panorama nazionale come una delle eccellenze per la ricerca nei più svariati settori dell'industria, e non solo.

Negli stessi anni videro la luce la Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica (MEL) e la Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica (MEM), per le quali fu nominato Presidente Bruno Facchini (A.A. 2011-12, 2018-19) che successe nel ruolo a Renzo Capitani, nel frattempo nominato Presidente della Scuola di Ingegneria. Nello stesso anno nella Scuola di Ingegneria vide la luce della Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica (ENM), ricompresa all'interno del Consiglio Unico di area Industriale.

Le due suddette Lauree magistrali sintetizzarono, per così dire, la doppia anima del DIEF che, come dimostra la sua storia, ha sempre condotto ricerche sul territorio sia rivolte alla progettazione meccanica, applicata nei diversi settori dell'ingegneria industriale, sia rivolte allo studio delle turbomacchine e dei sistemi di propulsione. Quasi come se i due CdS fossero la naturale evoluzione degli antichi Istituti, già presenti fin dal 1975 e creati per poter rispondere in modo congruo alle esigenze del territorio.

Nel 2013 tutti i Corsi di Studi furono soggetti ad un accreditamento al sistema di Autovalutazione, Valutazione e Accreditamento (AVA) a cui seguì lo sviluppo, in Ateneo, del sistema di Assicurazione della Qualità (AQ) che costituisce l'insieme dei processi con i quali l'Ateneo fiorentino promuoveva, e promuove, la qualità delle attività istituzionali (didattica, ricerca e terza missione/impatto sociale), mediante la pianificazione, l'attuazione, il monitoraggio e il riesame costante delle attività svolte dall'Ateneo, nell'ottica del miglioramento continuo. In questo contesto, in seno al Consiglio Unico venne nominato un Gruppo di Riesame (GdR) in cui svolse la funzione di Presidente Giampaolo Manfreda. Il GdR era, ed è tuttora, una commissione del CdS la cui attività principale consiste

nell'analisi dei risultati dei processi formativi del corso, con la finalità di individuare i punti critici e le possibili azioni di miglioramento. Il GdR è responsabile della compilazione di alcuni quadri della scheda SUA-CdS (Scheda Unica Annuale, strumento gestionale funzionale alla progettazione, alla realizzazione, all'autovalutazione e alla riprogettazione del Corso di Studi), della stesura della Scheda di Monitoraggio Annuale (SMA) basata su una analisi degli Indicatori forniti dall'Agenzia nazionale di Valutazione del Sistema Universitario e della Ricerca (ANVUR), e della redazione periodica del Rapporto di Riesame Ciclico. Il GdR non ha poteri deliberanti e opera come commissione istruttoria del Consiglio di CdS cui è sottoposta l'approvazione dei suoi principali atti.

In una situazione di rinnovata parziale ripresa economica dell'Ateneo, agevolata purtroppo anche dalle economie derivanti dal precedente blocco quinquennale di assunzioni, dal contemporaneo blocco degli scatti stipendiali e, non ultima, dall'eliminazione della ricostruzione della carriera dei docenti, si delineò un quadro meno incerto per i Corsi di Laurea, che si dovettero dotare, gioco forza, di una struttura di gestione consolidata ed ottimizzata.

Per quanto riguarda il GdR, nel 2018 assunse carica di Presidente Michele Marconini. Inoltre, il Consiglio Unico nominò un Comitato di Indirizzo di Area Industriale della Scuola di Ingegneria, costituito all'epoca da importanti aziende del territorio, oltre ai membri del CdS. La Scuola si dotò infine di una Commissione Paritetica composta da docenti e da studenti; presieduta da Renzo Capitani, la commissione svolse e svolge ancora oggi attività di monitoraggio dell'offerta formativa e della qualità della didattica, dell'attività di servizio agli studenti da parte dei professori e dei ricercatori, individua indicatori per la valutazione dei risultati delle stesse, formula pareri sull'attivazione e la soppressione dei Corsi di laurea e di laurea magistrale e redige una relazione annuale (Relazione CPDS) che invia al Nucleo di Valutazione e al Presidio della Qualità dell'Ateneo.

In questo convulso periodo di rinnovamento, i Laureati in Ingegneria Meccanica Specialistica prima e Magistrale poi, hanno mantenuto una numerosità mediamente più alta rispetto al decennio passato, come visibile in Figura 144.

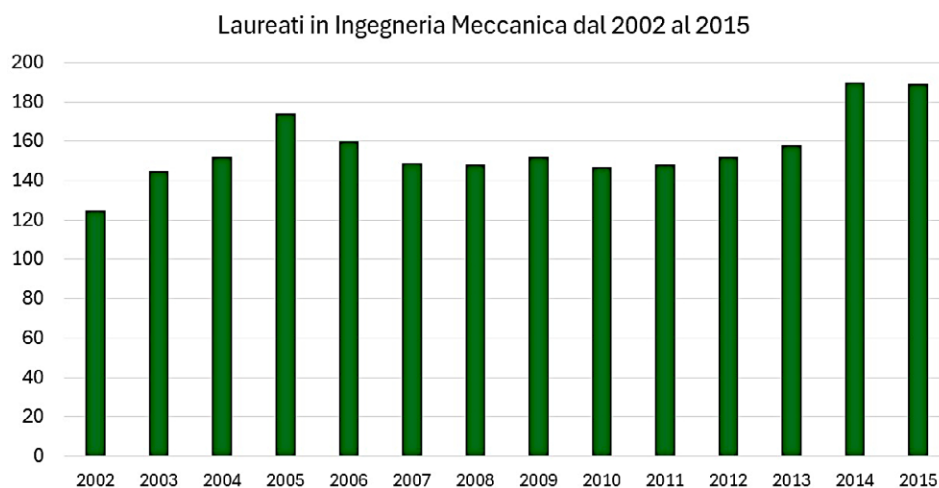


Figura 144 – Laureati in Ingegneria Meccanica nel periodo 2002-15.

Al fine di semplificare i processi di gestione dei CdS dell'area Industriale, nel 2015 venne istituita la figura del Referente del Corso di Laurea, con compiti di responsabilità del corso, in supporto al Presidente Unico dei Corsi di Laurea dell'area Industria-

le. Assunse tale carica per il Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica (MEM) Renzo Capitani che la mantenne fino a tutto l'A.A. 2017-18. Nello stesso anno vide la luce, su impulso delle numerose aziende del territorio, il Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale, per il quale assume la carica di Referente Mario Tucci.

Nell'A.A. 2018-19, contestualmente alla nomina a Direttore del Dipartimento di Ingegneria Industriale di Bruno Facchini, venne nominato Presidente Unico dei CdL di area industriale Marco Pierini (che assunse anche la funzione di Referente per la Laurea Triennale MEM), carica che svolse fino a luglio del 2021 quando venne nominato Prorettore al Trasferimento Tecnologico, Attività Culturali e Impatto Sociale. Assunse invece il ruolo di Referente per la Laurea Magistrale di Energetica Carlo Carcasci. Inoltre, nell'A.A. 2019-20 si aggiunse all'offerta formativa della Scuola, nella Classe delle Lauree di Ingegneria Industriale, il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale in cui Mario Tucci svolse attività di Referente (insieme alla triennale di Gestionale).



Figura 145 – Da sinistra verso destra: Prof. Marco Pierini, Prof. Carlo Carcasci, Prof. Michele Marconcini.

Nel periodo di riferimento, con l'Istituzione della Scuola di Ingegneria (in luogo della Facoltà) la figura di Preside della Facoltà è sostituita dalla figura di Presidente di Scuola. Il primo Presidente è il Prof. Marcantonio Catelani (2013-14) a cui succedono il Prof. Renzo Capitani (2014-16), il Prof. Fabio Castelli (2015-18) e, il Prof. Alessandro Fantechi (2019-24) e l'attuale Presidente Prof. Andrea Arnone.



Figura 146 – Da sinistra verso destra: Prof. Mario Tucci, Prof. Marcantonio Catelani, Prof. Alessandro Fantechi.

Per la Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica fu nominato come Referente, nel 2021, Rocco Furferi, per la Laurea triennale in Meccanica assunse la carica di Referente Paola Paoli, mentre ad Energetica rimase in carica Carcasci. Filippo Visintin fu nominato Referente per la Laurea Magistrale di Ingegneria Gestionale. Nell'A.A. 2022-23 l'offerta didattica dei Corsi di Laurea di area Industriale si arricchì della Laurea Magistrale Mechanical Engineering for Sustainability, interamente in lingua inglese, di cui svolse le funzioni di Referente Niccolò Baldanzini Fino a tutto il 2025 e Massimo Delogu a partire dal gennaio 2026. Nell'A.A. 2023-2024, anche la Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale assunse carattere internazionale divenendo l'odierna Laurea Magistrale in Management Engineering. A maggio del 2025 con la nomina della Prof. ssa Paoli a Presidente della C.I.A. del DIEF, il Prof. Furferi viene nominato Referente del Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica e, contestualmente, il Prof. Alessandro Ridolfi prende l'incarico per Meccanica Magistrale.



Figura 147 – Da sinistra verso destra: Prof. Rocco Furferi – Prof. Filippo Visintin – Prof. Niccolò Baldanzini – Prof. Alessandro Ridolfi.

La storia dell'impegno didattico del DIEF racconta in definitiva come il Dipartimento sia sempre stato impegnato a rimanere un pilastro dell'innovazione e della formazione ingegneristica, pronto a rispondere con competenza e visione alle sfide di un mondo in continua evoluzione. Con lo stesso spirito pionieristico che ha guidato i suoi primi passi, con il contributo del Dipartimento le prossime generazioni di ingegneri, formate nei suoi laboratori e nelle aule della Scuola, contribuiranno a costruire un domani di progresso sostenibile e di eccellenza tecnologica.

Il contributo del Dipartimento di Ingegneria Industriale alla didattica della Scuola di Ingegneria: oggi

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi

L'offerta formativa dei Corsi di Laurea dell'area industriale consta oggi di due lauree triennali in Ingegneria Meccanica (MEL) e Ingegneria Gestionale (GEL) e quattro Lauree Magistrali: Ingegneria Meccanica, Ingegneria Energetica, Mechanical Engineering for Sustainability e Management Engineering. Svolge la funzione di Presidente Unico di Area Industriale Mario Tucci con il supporto dei Referenti di CdS. L'intero complesso dei CdS di cui DIFE è referente gestisce più di 2450 studenti di cui più di 1800 studenti iscritti a CdS triennali, con un'incidenza dell'area industriale sull'intera offerta formativa della Scuola di Ingegneria superiore al 45%. La didattica insiste sia sul plesso di Viale Morgagni, dove sostanzialmente sono erogati tutti i corsi della triennale, sia sul plesso di Santa Marta, dove si svolgono in gran parte gli insegnamenti della laurea magistrale. Sono presenti numerosi Laboratori destinati alla Didattica, quali ad esempio il Laboratorio Smontaggio Motori, il Laboratorio di Elettrotecnica, il Laboratorio di Chimica, il Laboratorio CAD e stampanti 3D e il Laboratorio didattico di Ingegneria Gestionale.

Inoltre, il DIFE partecipa, insieme al DINFO, al Corso di Laurea Triennale e al Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica (di cui svolge le funzioni di Referente il Prof. Federico Carpi) e al Corso di Laurea Magistrale in Robotics Automation and Electrical Engineering cui referente è il Prof. Benedetto Allotta.

Il Comitato di Indirizzo di Area Industriale della Scuola di Ingegneria è oggi costituito dai membri del CU e da rappresentanti di importanti aziende del territorio quali: Associazione Industriali Provincia di Firenze, Ordine degli Ingegneri della provincia di Firenze, BHGE-Nuovo Pignone Tecnologie s.r.l., AEIT – Ass. Italiana Di Elettrotecnica Elettronica Automazione Informatica e Telecomunicazioni, Quest Global, Unitech Textile Machinery S.p.A., RFI s.p.a., F.M.V trasmissioni meccaniche, CoSviG (Consorzio per lo sviluppo delle aree geotermiche), Lippert LCI Industries, di ESTRA

Bruno Facchini, University of Florence, Italy, bruno.facchini@unifi.it, 0000-0003-4489-4256
Giovanni Ferrara, University of Florence, Italy, giovanni.ferrara@unifi.it, 0009-0004-8713-1958
Rocco Furferi, University of Florence, Italy, rocco.furferi@unifi.it, 0000-0001-6771-5981

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi, *Il contributo del Dipartimento di Ingegneria Industriale alla didattica della Scuola di Ingegneria: oggi*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.33, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 221-232, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

S.p.A. e di Electrolux Professional, Ordine dei Periti di Firenze, SSE s.p.a, DITEFER – District for Rail Technologies. High-Speed, Networks' Safety & Security, ATOP s.p.a. e APCO Delegazione Tirrenica. La Commissione Paritetica ha come Presidente Renzo Capitani. Inoltre, nella Scuola sono presenti alcuni Delegati all'Orientamento. Per il DIEF svolge funzione di delegato di scuola Federico Rotini mentre ha ruolo di delegato in uscita e Job Placement (OJP) Filippo De Carlo. A seguito della nomina di Michele Marconcini a membro del Presidio di Qualità dell'Ateneo, svolge oggi la funzione di Presidente del GdR Giovanni Savino.

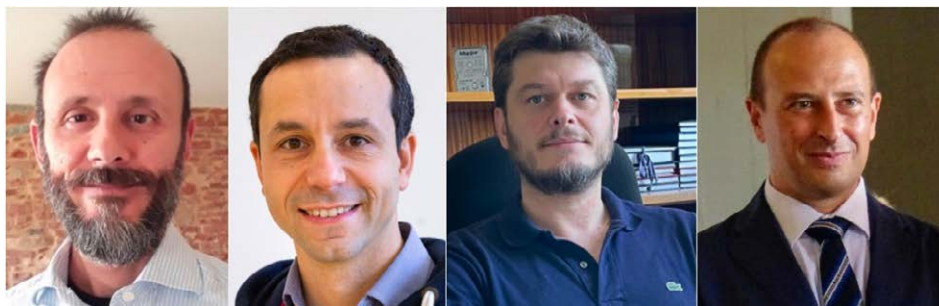


Figura 148 – Da sinistra verso destra: Prof. Federico Carpi, Prof. Giovanni Savino, Prof. Federico Rotini, Prof. Filippo De Carlo.

Si riporta di seguito una descrizione dei Corsi di Laurea oggi presenti nell'offerta formativa della Scuola di Ingegneria che sono incardinati nel DIEF; la numerosità e le caratteristiche dei CdS fanno ben capire la missione del DIEF nel territorio fiorentino ma anche come la didattica sia orientata verso tematiche internazionali e verso le tecnologie del futuro. Presidente del Consiglio Unico di Ingegneria Industriale è, come detto, il Prof. Mario Tucci.

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica (MEL)

Referente: Prof. Rocco Furfuri

Delegati all'orientamento: Ing. Nicola Secciani, Prof. Gabriele Maria Lozito, Prof. Daniele Fiaschi

Il Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica è oggi concepito per formare ingegneri con una solida preparazione scientifica di base e con un'adeguata padronanza dei metodi e dei contenuti tecnico-scientifici dell'ingegneria e dotati di conoscenze e competenze specifiche dell'ingegneria meccanica. Si formano 4 profili professionali (progettista meccanico (R1), progettista di impianti e sistemi per l'energia (R2), progettista di sistemi automatici/robotici per l'industria (R3) e addetto alla ricerca (R4)) per i quali vengono approfondite le conoscenze e competenze proprie dell'area meccanica (es. progettazione meccanica, processi di lavorazione), energetica (es. sistemi per la conversione dell'energia, macchine a fluido) ed elettrica-automazione (es. macchine elettriche, robotica industriale). Il Corso di Studi è articolato in numerosi percorsi, declinati in due diverse modalità: formativo, finalizzato prevalentemente al proseguimento degli studi in una Laurea magistrale, ed applicativo, dove due insegnamenti sono sostituiti da un tirocinio aziendale finalizzato all'inserimento immediato nel mondo del lavoro:

- Meccanico, progettato per formare un Progettista Meccanico
- Meccanico-Scientifico, progettato per formare un Addetto alla Ricerca
- Energia, progettato per formare un Progettista di Impianti e Sistemi per l'Energia

- Robotico e automatico/elettrico, progettato per formare un Progettista di Sistemi Automatici/Robotici per l'Industria.

Gli insegnamenti del primo anno sono uguali per i 7 percorsi. Il secondo anno dei percorsi Formativo ed Applicativo di ciascuna area (ad es. per la meccanica i percorsi Meccanico Formativo e Meccanico Applicativo) è uguale; mentre il terzo anno si differenzia per il tirocinio che caratterizza i percorsi applicativi in sostituzione di due insegnamenti. In particolare, nel primo anno vengono erogati gli insegnamenti di base necessari per conseguire un solido e comune linguaggio scientifico nel campo matematico, fisico, chimico e informatico. A questi si aggiungono la verifica della conoscenza della lingua inglese, la scienza e tecnologia dei materiali ed il disegno meccanico, questi ultimi anticipati per mettere fin da subito studentesse e studenti a contatto con i contenuti tipici dell'ingegneria industriale. Le attività formative comuni del secondo e terzo anno consentono di maturare conoscenze e competenze caratterizzanti e qualificanti la classe di laurea, oltre ad abilità affini e trasversali. Principalmente nel terzo anno sono collocati gli insegnamenti più riconducibili agli obiettivi formativi specifici di ciascun curriculum, oltre alla prova finale e gli insegnamenti a scelta libera selezionati dalle studentesse/dagli studenti.

Nell'A.A. 2024-25 il numero complessivo di studenti iscritti a MEL è stato di 1199 unità con 381 immatricolati.

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale (GEL)

Referente: Prof. Mario Tucci

Delegato all'orientamento: Prof. Romeo Bandinelli

Il Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale forma una figura professionale versatile fortemente richiesta dal settore industriale e dei servizi in quanto unisce ad una solida preparazione scientifica di base una adeguata padronanza dei metodi e dei contenuti tecnico-scientifici generali dell'ingegneria industriale, integrando le capacità più tipicamente progettuali con le conoscenze economiche e le competenze gestionali dei fattori della produzione. La laurea di primo livello prepara adeguatamente al completamento del percorso formativo col conseguimento della laurea magistrale, ma fornisce già gli strumenti sufficienti per un rapido inserimento nel mondo del lavoro, agevolato dal tirocinio previsto dal percorso professionalizzante. Il Corso di Laurea si articola in tre percorsi formativi:

- Progettazione industriale, progettato per formare ingegneri gestionali con le competenze tipiche della progettazione meccanica
- Informatico industriale, progettato per formare ingegneri gestionali con le competenze relative all'analisi e progettazione dei sistemi informativi e delle reti dati
- Professionalizzante, progettato per un rapido inserimento nel mondo del lavoro.

Nel primo anno, vengono erogate le materie di base atte a conseguire un solido e comune linguaggio scientifico nel campo matematico, chimico, fisico, informatico e dei materiali, oltre al miglioramento delle conoscenze linguistiche. Tutti gli insegnamenti del primo anno, ad eccezione di economia e organizzazione aziendale, coincidono con quelli previsti dal Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica. Nel secondo anno vengono conseguite conoscenze e capacità tecniche qualificanti per la classe; per tutti gli studenti, in particolare, si sviluppano le competenze riguardanti la conversione e l'utilizzo dell'energia. Nel terzo anno trovano collocazione tutte le materie caratterizzanti che vengono affrontate in insegnamenti a prevalente contenuto modellistico e metodologico, pur non rinunciando allo sviluppo degli aspetti applicativi.

Nell'A.A. 2024-25 il numero complessivo di studenti iscritti a GEL è stato di 773 unità con 244 immatricolati.

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica Magistrale (MEM)

Referente: Prof. Alessandro Ridolfi

Delegato all'orientamento: Ing. Francesco Buonamici

Il Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica Magistrale forma una figura professionale di riferimento del settore industriale, nel cui ambito rappresenta la risorsa strategica che assume e coordina le principali funzioni progettuali e produttive, attraverso una progressiva diversificazione e specializzazione dei ruoli e delle competenze. Gli studenti della laurea magistrale vengono preparati per ricoprire, con maggiori competenze, responsabilità e autonomia, rispetto ai laureati triennali, i ruoli caratterizzati da conoscenze tipiche dell'ingegneria meccanica. Tali conoscenze sono ottenute sia dagli insegnamenti obbligatori, sia mediante adeguata selezione di insegnamenti a scelta vincolata o scelta libera per completare il piano di studi individuale.

Il Corso di Laurea si articola in otto diversi curricula, ognuno avente uno specifico profilo:

- Progettazione Meccanica, orientato ad un avanzato approfondimento dei metodi e dei criteri di progettazione meccanica e ai processi di innovazione ad essa applicati
- Macchine, orientato agli studi termo-fluidodinamici e allo sviluppo delle turbomacchine e delle macchine volumetriche
- Veicoli stradali, indirizzato alla progettazione e allo sviluppo dei veicoli stradali e dei relativi sistemi di propulsione
- Veicoli ferroviari, indirizzato alla progettazione e allo sviluppo dei veicoli ferroviari nei loro diversi aspetti applicativi
- Produttivo, orientato alla gestione avanzata delle attività di analisi e ingegnerizzazione dei processi produttivi
- Robotica, orientato alla progettazione e allo sviluppo di sistemi robotizzati in ambito industriale
- Propulsione aeronautica, orientato alla progettazione e allo sviluppo di sistemi propulsivi per l'impiego aeronautico
- Modelli per l'Ingegneria Industriale, orientato all'approfondimento delle basi teoriche dell'ingegneria industriale

Il percorso degli studi consta di complessivi 120 crediti: prevede un primo anno sostanzialmente in comune fra i vari curricula nel quale vengono approfonditi gli studi e le capacità di analisi e di modellazione di componenti e sistemi meccanici e delle macchine a fluido, le conoscenze nell'ambito della progettazione industriale e della meccanica applicata alle macchine. Lo studente può orientare definitivamente il proprio percorso formativo nel secondo anno di studio, approfondendo ulteriormente le conoscenze specialistiche secondo i curricula previsti, oltre a personalizzare il proprio percorso con le attività a scelta libera; nel secondo anno viene lasciato ampio spazio al tirocinio, che può essere svolto anche presso aziende ed enti esterni, e alla preparazione della tesi.

Nell'A.A. 2024-25 il numero complessivo di studenti iscritti a MEM è stato di 272 unità con 117 immatricolati.

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica (ENM)

Referente: Prof. Carlo Carcasci

Delegato all'orientamento: Ing. Francesco Balduzzi

Il Corso di Laurea in Ingegneria Energetica Magistrale forma una figura professionale di riferimento in un ambito di vitale importanza per la società nelle sue diverse articolazioni. L'uso razionale ed efficiente dell'energia è infatti un elemento essenziale

su cui fondare uno sviluppo sostenibile e rispettoso dell'ambiente, in questo ambito l'Ingegnere Energetico è impegnato sia nella messa a punto di sistemi di conversione sempre più efficienti e basati sull'impiego di fonti rinnovabili, sia nello sviluppo di macchine e componenti sempre più efficienti e affidabili. Gli studenti della laurea magistrale vengono preparati per ricoprire, con maggiori competenze, responsabilità e autonomia, i ruoli, caratterizzati da competenze tipiche dell'ingegneria energetica, per i quali sono stati formati dalla laurea triennale nell'ambito industriale e in particolare in quello dell'ingegneria meccanica ed elettrica e i cui relativi insegnamenti sono ritenuti requisiti essenziali di accesso alla magistrale. Tali implementazioni sono ottenute nel percorso degli esami obbligatori o mediante adeguata selezione di esami a scelta vincolata o scelta libera per completare il piano di studi individuale.

Il Corso di Laurea si articola in due orientamenti:

- Percorso «Energia», focalizzato sullo sviluppo e la gestione di impianti complessi per la conversione dell'energia
- Percorso «Macchine», concentrato maggiormente sullo sviluppo e la progettazione di efficienti macchine a fluido come turbomacchine, macchine volumetriche e sistemi di combustione.

Il percorso consta di complessivi 120 crediti: prevede un primo anno volto a fornire conoscenze e competenze di livello specialistico nel settore dei sistemi di conversione dell'energia convenzionali, innovativi e rinnovabili oltre dei sistemi elettrici, includendo approfondimenti in settori affini come la meccanica applicata alle macchine e la chimica applicata. Lo studente approfondisce definitivamente il proprio percorso formativo nel secondo anno di studio, potendo selezionare corsi, sia nel settore energetico sia in quello delle macchine a fluido, oltre a personalizzare il proprio percorso con le attività a scelta libera; nel secondo anno viene lasciato ampio spazio al tirocinio, che può essere svolto anche presso aziende ed enti esterni, e alla preparazione della tesi.

Nell'A.A. 2024-25 il numero complessivo di studenti iscritti a ENM è stato di 95 unità con 27 immatricolati.

Corso di Laurea Magistrale Management Engineering (MME)

Referente: Prof. Filippo Visintin

Delegato all'orientamento: Prof. Romeo Bandinelli

Il Corso di Laurea in Management Engineering, tenuto completamente in lingua inglese, forma professionisti di alto livello con padronanza di metodi statistici, analitici e numerici e con spiccate capacità tecnico-scientifiche, economiche e organizzative, economiche e organizzative. L'ampiezza degli argomenti trattati e il livello di approfondimento che caratterizza le attività didattiche, forniscono ai laureati un'elevata preparazione tecnica e culturale che li qualifica a ricoprire molteplici ruoli in grandi aziende. Una preparazione tecnica e culturale di alto livello, tale da consentire ai laureati di ricoprire molteplici ruoli in aziende di grandi e medie dimensioni, oltre che di e medie imprese, ma anche in aziende di piccole dimensioni, dove possono raggiungere in breve tempo posizioni manageriali. Le attività didattiche sono infatti finalizzate alla preparazione di figure professionali in grado di guidare processi di cambiamento come la trasformazione digitale dell'industria manifatturiera, contribuire all'adozione di nuove soluzioni e sistemi di soluzioni e sistemi di produzione all'avanguardia e assistere nello sviluppo di nuovi modelli di business. modelli di business. L'ingegnere gestionale formato all'Università di Firenze ha un orientamento prevalentemente industriale, ma può lavorare anche in aziende di servizi. ma può lavorare anche in imprese di servizi.

Il Corso di Laurea si articola in due orientamenti, uno dei quali ha carattere internazionale in quanto prevede di sostenere alcuni insegnamenti, un progetto di specializzazione e la Tesi di Laurea presso l'Università HSLU di Lucerna, conseguendo così il doppio titolo italiano e svizzero.

- Smart Industry
- International

Per entrambi i curricula, i corsi obbligatori sono quasi tutti nell'area della gestione operativa, impiantistica industriale, progettazione e gestione dei processi produttivi e dei sistemi di produzione, automazione, nonché economia e organizzazione aziendale, innovazione e gestione dei progetti. Nel primo anno, le conoscenze di base vengono rafforzate anche attraverso l'approfondimento della ricerca operativa e della statistica per esperimenti e previsioni. Il secondo anno differenzia i due curricula permettendo di optare per la scelta del doppio titolo.

Nell'A.A. 2024-25 il numero complessivo di studenti iscritti a MME è stato di 177 unità con 94 immatricolati.

Corso di Laurea Magistrale Mechanical Engineering for Sustainability (MES)

Referente: Prof. Massimo Delogu

Delegato all'orientamento: Prof. Alessandro Bianchini

Il Corso di Laurea Magistrale Mechanical Engineering for Sustainability, tenuto completamente in lingua inglese, forma la nuova generazione di ingegneri con le competenze tecniche richieste dal mercato del lavoro per sostenere la transizione dell'industria verso un paradigma di produzione più sostenibile ed ecologico. Il tradizionale background di un ingegnere meccanico viene arricchito con competenze sulla legislazione e sulle metodologie nel campo della sostenibilità e dell'economia circolare. L'uso di approcci didattici moderni per accelerare la curva di apprendimento e facilitare l'applicazione delle conoscenze a casi di studio rilevanti per l'industria, con particolare enfasi sui project work, sviluppati in team e assegnati in collaborazione con partner industriali. Il Corso di Studi prevede tre diversi percorsi, ognuno dei quali persegue uno degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite:

- Design, finalizzato allo sviluppo del prodotto con un approccio strutturato all'innovazione, sull'analisi del ciclo di vita e sulla progettazione analisi del ciclo di vita e progettazione, e produzione con le tecnologie più sostenibili
- Energy Technologies, finalizzato ad approfondire la comprensione della generazione e della gestione di energie rinnovabili e delle tecnologie di accumulo
- Mobility, finalizzato allo sviluppo della prossima generazione di veicoli elettrici e la loro interazione con le infrastrutture, nel contesto più ampio della mobilità sostenibile e automatizzata

Nell'A.A. 2024-25 il numero complessivo di studenti iscritti a MES è stato di 58 unità con 9 immatricolati.

Corsi di Laurea collaborati dal DIEF con il DINFO

Infine, come già ricordato, il DIEF è coreferente insieme al Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (DINFO) dei CdS in Ingegneria Biomedica Magistrale e nel CdS RAM (Robotics, Automation and Electrical Engineering).

Il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica forma figure professionali di elevato livello, dotate di padronanza di contenuti tecnico-scientifici generali tipici dell'Ingegneria, applicati ad ambiti specifici inerenti sistemi diagnostici e terapeutici

per la salute umana, quali ad esempio la strumentazione biomedica, l'acquisizione e l'elaborazione dei segnali e delle immagini biomediche, i modelli di sistemi fisiologici, i fenomeni bioelettrici, la biomeccanica, la robotica e mecatronica biomedica, i sistemi di riabilitazione, l'ingegneria dei tessuti biologici, i biomateriali, le protesi e gli organi artificiali, le applicazioni informatiche ai sistemi viventi, e la gestione delle apparecchiature e delle strutture sanitarie.

Il Corso di Laurea in Robotics, Automation and Electrical Engineering forma tecnici e professionisti di elevato livello dotati di una significativa padronanza dei metodi della modellistica analitica e numerica e dei contenuti tecnico-scientifici generali della Robotica, dell'Automazione e dell'Ingegneria dell'Energia Elettrica, con una spiccata attitudine interdisciplinare e fornendo le conoscenze, le competenze e le abilità che sono alla base di numerosi «Jobs of the future», in modo da rispondere alla fortissima richiesta da parte del mercato del lavoro.

Alcuni numeri

Complessivamente i corsi di studi che afferiscono all'area Industriale contano, all'A.A. 2024-25, 602 studenti alle Magistrali e 2574 studenti alle Triennali con un totale di 3176 studenti. Si tratta di una considerevole percentuale di studenti dell'Ateneo, pari al 6,7%. Il 46,2% degli immatricolati al primo anno delle triennali della Scuola di Ingegneria, sono iscritti ai CCdSS MEL e GEL. Il rapporto tra studenti e docenti è pari a 39,7.

I dati occupazionali mostrano che i CdS dell'area industriale sono fortemente connessi al mondo del lavoro sul territorio ma anche a livello nazionale e internazionale. Le Lauree dell'area dell'Ingegneria Industriale sono tra le più richieste nel mondo del lavoro, con tassi di superiori al 95%. Il 70% delle Laureate e dei Laureati svolge professione intellettuale, scientifica e di elevata specializzazione (58%) o professione tecnica (12%). Il restante 30% svolge altre attività inclusa però, con una buona percentuale, l'attività di ricerca post-laurea ed il Dottorato di Ricerca. I settori di impiego sono: Metalmeccanica e meccanica di precisione (40%), Chimica/Energia (20%), Trasporti (5%), Consulenze tecniche (5%), Istruzione e Ricerca (25%). Più dell'80% delle Laureate e dei Laureati ritiene che la laurea conseguita sia molto efficace o efficace per il lavoro che ricoprono e l'83% ritiene la formazione professionale acquisita come molto adeguata al contesto lavorativo con una percentuale maggiore al 70% di laureati che ritiene di utilizzare in misura elevata quanto appreso all'università. Con uno sguardo al futuro, il DIF prosegue il suo cammino verso l'eccellenza, determinato a formare ingegneri che sapranno affrontare le sfide globali e guidare l'innovazione sostenibile. Con il costante impegno per la qualità e il progresso, con l'apertura all'internazionalizzazione dei Corsi di Studio, con il continuo miglioramento dei laboratori e delle infrastrutture di ricerca, il contributo del Dipartimento verso la società e l'industria continuerà a crescere, costruendo solide fondamenta per una nuova generazione di professionisti visionari e competenti.

Honours Programme

Su iniziativa del Presidente del Consiglio Unico dei CdS di area Industriale e dei Referenti di MEM, ENM, MME e MES, nel 2024 è istituito un Honours Programme in collaborazione con Baker Huges (BH) – Nuovo Pignone finalizzato ad arricchire le competenze dei giovani studenti nel settore delle Turbomacchine e di accompagnarli ad una prospettiva di carriera all'interno della Energy Valley che si sta strutturando nel territorio Toscano con epicentro a Firenze. Il Programma prevede un insieme di attività formative, corsi pratici e di training on the job in laboratorio ed officina presso BH.

Attività studentesche: un laboratorio di eccellenza per la formazione e l'innovazione

Le competizioni studentesche internazionali rappresentano oggi, per molte università italiane e straniere, uno strumento strategico di formazione e promozione. Non solo offrono ai partecipanti un'occasione unica per applicare sul campo le conoscenze acquisite nei corsi di studio, ma contribuiscono in modo significativo a valorizzare l'immagine e la reputazione degli Atenei di appartenenza, rafforzandone l'attrattiva a livello nazionale e globale. Questi eventi costituiscono veri e propri banchi di prova per i futuri ingegneri, chiamati a confrontarsi con colleghi provenienti da altri contesti accademici e culturali, in scenari che ricalcano da vicino le dinamiche del mondo professionale. Al di là delle competenze tecniche, i partecipanti sono chiamati a dimostrare capacità trasversali fondamentali: saper tradurre la teoria in pratica, gestire tempi e risorse, lavorare in gruppo, riconoscere e valorizzare la leadership, affrontare imprevisti e prendere decisioni efficaci sotto pressione.

In altre parole, queste esperienze favoriscono l'acquisizione di quelle competenze complementari – le cosiddette *soft skills* – che oggi rappresentano un elemento distintivo per l'inserimento e la crescita professionale. Comunicazione, organizzazione, problem solving, spirito di iniziativa e consapevolezza del proprio ruolo all'interno di un gruppo sono qualità che le aziende cercano, e che le competizioni contribuiscono a far emergere e consolidare. Per il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Firenze, promuovere e sostenere la partecipazione a questi eventi significa investire nel talento dei propri studenti e, al tempo stesso, raccontare al mondo l'eccellenza della propria formazione. Un connubio virtuoso tra didattica, ricerca e visione internazionale.

Non a caso, dunque, all'interno dei Corsi di Laurea dell'area Industriale, gli studenti hanno l'opportunità di prendere parte a iniziative formative di straordinario valore, concepite per sviluppare competenze avanzate su tematiche di frontiera. Tra queste, spiccano alcune attività che nel tempo hanno riscosso grande successo e ampio riconoscimento sia in ambito accademico che industriale: Formula SAE, SAUC-E e Red Propulsion. Queste esperienze si sviluppano nel contesto di prestigiose competizioni internazionali, dove studenti provenienti da tutto il mondo si confrontano nella progettazione e realizzazione di sistemi ad altissimo contenuto tecnico, diventando veri protagonisti dell'innovazione.

In particolare, nel campo della Formula SAE (Society of Automotive Engineers), la Scuola di Ingegneria dell'Università di Firenze ospita con orgoglio il Firenze Race Team (<https://www.firenzerace.it/>), una delle realtà più dinamiche e consolidate del panorama universitario nazionale. Con una squadra composta da circa 70 studenti altamente motivati e specializzati, la squadra rappresenta un autentico laboratorio di sperimentazione multidisciplinare e un vivaio di talenti. In oltre vent'anni di attività, il Firenze Race Team ha costruito una solida reputazione, grazie anche al sostegno di importanti partner e sponsor come Beta Motorcycles, Welt Electronic, Bacci Trasmissioni, Baker Hughes, Bossard, SKF, Studio Bellandi, ACI Firenze, ACI Prato e Andrea Failli Cloud Solutions. Il team è diventato un punto di riferimento imprescindibile per tutti gli studenti dell'Ateneo appassionati di motorsport, ma anche per chi desidera vivere un'esperienza formativa concreta e sfidante, in cui teoria e pratica si incontrano per dare forma a soluzioni tecnologiche d'avanguardia. L'attività del Firenze Race Team si distingue per la sua capacità di generare innovazione continua, in un dialogo costante con il mondo delle imprese e con i più alti standard della ricerca applicata.

Ne è testimonianza l'ultima creazione del gruppo: la FR-25, vettura che celebra il 25° anniversario del gruppo con una livrea speciale ispirata ai colori storici della prima monoposto. La FR-25 rappresenta l'evoluzione più recente del prototipo, carat-

terizzata da un avanzato sistema di guida autonoma e da un'attenta ottimizzazione dell'aerodinamica. Il redesign del fondo e delle ali, la rimozione delle pance e l'introduzione di un nuovo sistema di raffreddamento con due masse radianti simmetriche, integrato nelle nuove geometrie, sono solo alcuni degli elementi che ne fanno un gioiello di ingegneria.



Figura 149 – Vettura FR-25.

Nel 2024, il Firenze Race Team ha partecipato con orgoglio alla prestigiosa competizione Formula SAE Italy, svoltasi presso l'Autodromo di Varano de' Melegari. Un evento che rappresenta uno dei più importanti appuntamenti internazionali per le squadre universitarie di ingegneria, dove si sfidano i migliori talenti accademici nella progettazione e costruzione di vetture da corsa ad alto contenuto tecnologico. La squadra ha affrontato con determinazione tutte le prove previste dalla competizione – tecniche, dinamiche e statiche – mettendo alla prova le soluzioni ingegneristiche sviluppate sulla propria monoposto. Le giornate in pista sono state segnate da momenti di grande intensità, in cui la preparazione, lo spirito di collaborazione e la passione degli studenti hanno brillato nel confronto con oltre 60 squadre universitarie provenienti da tutta Europa e oltre. Il risultato finale – quarto posto assoluto – testimonia la qualità del lavoro svolto, l'alto livello di competenza raggiunto e la capacità del gruppo fiorentino di competere con successo in uno dei contesti più sfidanti del panorama accademico internazionale. Un traguardo che conferma il Firenze Race Team come eccellenza dell'Università di Firenze e simbolo del connubio tra formazione, ricerca applicata e cultura dell'innovazione.



Figura 150 – Firenze Race Team alla Formula ATA del 2024.

Da oltre quindici anni il Centre for Maritime Research and Experimentation (CMRE) della NATO, con sede a La Spezia, promuove una prestigiosa competizione internazionale che coinvolge team universitari provenienti da paesi membri dell'Alleanza. La sfida consiste nella progettazione e realizzazione di veicoli autonomi sabbacquei (AUV), capaci di operare in maniera completamente autonoma in ambienti marini reali, talvolta anche in collaborazione con droni aerei o veicoli di superficie. Le missioni includono operazioni complesse come la mappatura del fondale, il riconoscimento di oggetti sommersi, l'ispezione di infrastrutture sabbacquee o la sorveglianza di pipeline. A partire dal 2012, grazie all'expertise consolidata nel campo della robotica sottomarina del Laboratorio di Modellazione Dinamica e Meccatronica (MDM Lab), l'Università di Firenze ha dato vita a un team studentesco capace di affrontare queste sfide con spirito competitivo e rigore scientifico. Nasce così lo Unifi Robotics Team, che debutta alla competizione SAUC-E con il veicolo autonomo Turtle, per poi tornare nel 2013 con il nuovo AUV FeelHippo, ottenendo risultati di rilievo sin dalle prime partecipazioni. In particolare, al suo esordio, il team conquista il premio «Rookie of the Year Award», mentre l'anno successivo sale sul podio con un terzo posto assoluto, segnando l'inizio di una storia di successo.

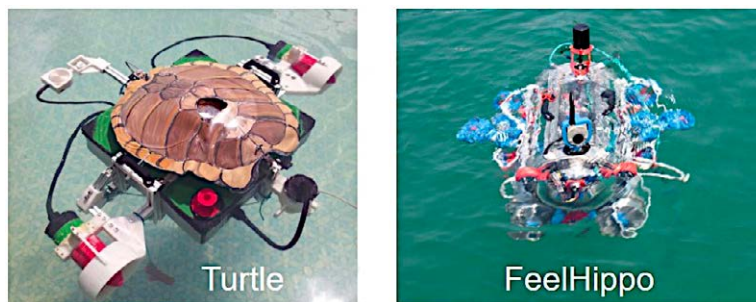


Figura 151 – I robot Turtle e FeelHippo.

Da allora, molta strada è stata fatta: l'Unifi Robotics Team ha conquistato negli anni un'autorevolezza riconosciuta a livello internazionale, distinguendosi per l'alto livello di innovazione e la qualità ingegneristica dei propri prototipi. A partire dal 2018, il team si è affermato come protagonista assoluto nelle competizioni promosse dal CMRE e da altri enti internazionali, collezionando vittorie consecutive in contesti ad altissimo contenuto tecnico. Tra queste, spicca l'ultima affermazione nel 2025 alla competizione RAMI – Robotics for Asset Maintenance and Inspection, dove il team è stato proclamato vincitore assoluto. La gara, svoltasi in mare aperto, prevedeva tre prove distinte: l'identificazione autonoma di boe immerse nella colonna d'acqua, il riconoscimento e la mappatura di strutture sommerse simulate, e il monitoraggio di una tubazione, replicando una missione reale di ispezione di pipeline.

Protagonista indiscusso della competizione è stato ancora una volta il veicolo FeelHippo AUV, che ha dimostrato straordinarie capacità decisionali e operative. In particolare, nella prima prova, ha brillato grazie all'implementazione di un comportamento reattivo: riconosciuta una boa gialla, l'AUV ha eseguito una rotazione completa attorno all'oggetto, mantenendolo costantemente al centro del campo visivo – tutto in piena autonomia. Una prestazione che ha confermato non solo l'efficacia del sistema, ma anche l'elevato livello di intelligenza artificiale e controllo autonomo raggiunto.

Questi successi rappresentano molto più di risultati sportivi: sono la dimostrazione concreta della qualità della formazione offerta dal Dipartimento di Ingegneria Indu-

striale dell'Università di Firenze, e della capacità di tradurre la ricerca in applicazioni avanzate, valorizzando il talento degli studenti e contribuendo all'evoluzione della robotica applicata in ambito marittimo.



Figura 152 – Foto dell'edizione 2025 della competizione RAMI (Robotics for Asset Maintenance and Inspection).

Nel novembre 2022 prende vita, con il fondamentale contributo del DIEF, un progetto ambizioso e visionario: nasce Red Propulsion (<https://redpropulsion.it/>), un gruppo interdisciplinare che unisce circa 40 membri, tra studenti e docenti, provenienti non solo dall'area dell'Ingegneria Industriale, ma anche da Ingegneria dell'Informazione e dalla Scuola di Chimica. Un'unione di competenze che ha dato origine a una realtà unica nel panorama accademico italiano: un gruppo universitario impegnato nello sviluppo e sperimentazione di razzi a scopo didattico e di ricerca. Il laboratorio in cui opera Red Propulsion è molto più di uno spazio fisico: è un vero e proprio catalizzatore di idee, innovazione e passione scientifica, dove le conoscenze teoriche acquisite in aula si trasformano in progetti concreti. Gli studenti lavorano fianco a fianco su ogni fase del processo, dalla progettazione aerodinamica alla realizzazione dei sistemi di propulsione, dalla costruzione alla strumentazione elettronica, dall'elaborazione dei dati ai test sperimentali. Ogni lancio è frutto di un impegno multidisciplinare e collaborativo, in cui si intrecciano meccanica, materiali avanzati, elettronica, software, gestione del progetto e molto altro.

Grazie alla guida di docenti appassionati e alla collaborazione con esperti del settore, Red Propulsion rappresenta una vera palestra di alta formazione, dove gli studenti imparano a gestire la complessità di progetti tecnologicamente avanzati e a lavorare in team in un contesto altamente competitivo. Ma Red Propulsion è anche una sfida culturale, un ponte tra accademia e industria, tra sogno e realtà. L'obiettivo è chiaro e ambizioso: spingere i confini della conoscenza aerospaziale, promuovere la cultura scientifica e formare le nuove generazioni di ingegneri e scienziati, capaci di immaginare e costruire il futuro. In collaborazione con docenti ed esperti del settore, ogni fase del progetto, dalla progettazione aerodinamica alla realizzazione dei sistemi di propulsione, dall'analisi dei dati ai test sul campo, è affrontata dagli studenti. Le attività offrono agli studenti l'opportunità di mettere in pratica le competenze apprese in aula, favorendo

un apprendimento pratico e multidisciplinare che abbraccia settori come l'ingegneria meccanica, l'ingegneria dei materiali, l'elettronica, l'informatica e molto altro ancora.

L'obiettivo è spingere oltre i confini della conoscenza aerospaziale, contribuendo allo sviluppo di soluzioni innovative e promuovendo la cultura scientifica attraverso l'esperienza diretta. Ogni lancio rappresenta non solo una sfida tecnologica, ma anche una dimostrazione di come il lavoro di squadra, la ricerca e la passione possano condurre a risultati straordinari.

Oggi, più determinati che mai, i membri del team Red Propulsion guardano con entusiasmo alla loro prossima sfida: la partecipazione all'European Rocketry Challenge, prestigiosa competizione internazionale che vedrà protagonista il terzo razzo a propellente solido attualmente in fase di sviluppo: RED ASTER. Dopo aver portato a termine con successo la progettazione dei primi due vettori – RED GOBLIN, con un impulso totale di 613 Ns, e RED ONE, con 1395 Ns – il team è pronto a entrare nella fase di costruzione e test dei propri prototipi. Grazie agli spazi dedicati e ai fondi messi a disposizione dal laboratorio, è ora possibile dare forma concreta a quanto immaginato e progettato. RED ASTER rappresenta un salto qualitativo importante per la squadra: non solo per la complessità tecnica, ma anche per il valore simbolico del progetto, che si candida a diventare il portabandiera dell'eccellenza fiorentina nel campo dell'ingegneria aerospaziale studentesca. Questo nuovo traguardo segna una tappa fondamentale del percorso di crescita di Red Propulsion, e conferma come il lavoro di squadra, la passione per la ricerca e l'audacia nell'innovazione possano trasformare un'idea in una realtà destinata a lasciare il segno.



Figura 153 – Il Team di Red Propulsion nel 2024.

Innovazione, passione, lavoro di squadra e visione internazionale: sono questi i pilastri su cui si fondano le attività formative extracurricolari promosse dal Dipartimento di Ingegneria Industriale. Esperienze che, oltre a formare professionisti altamente qualificati, contribuiscono a rafforzare il prestigio dell'Ateneo fiorentino nel mondo dell'ingegneria e dell'alta tecnologia.

Dottorato di Ricerca in Ingegneria Industriale

Giovanni Ferrara, Lapo Governi

Il programma di dottorato (Dottorato di Ricerca italiano) è una qualifica accademica post-laurea originariamente prevista nel sistema universitario italiano dalla legge delega 21 febbraio 1980, n. 28, e istituito dal Decreto Ministeriale del 15 giugno 1982. Il Primo Ciclo di Dottorato ha avuto inizio nel 1984. Rappresenta l'implementazione del 3° ciclo di istruzione e formazione alla ricerca nel sistema accademico italiano e fornisce le capacità e le competenze richieste per svolgere ricerche altamente qualificate in università, istituzioni pubbliche e aziende private. Offre inoltre un'istruzione superiore professionale e orientata alla ricerca per la gestione e la guida dello sviluppo tecnico per grandi aziende e imprese, a livello nazionale ed europeo/internazionale. Sin dalla prima attivazione del dottorato in Italia, l'Università di Firenze ha attivato una scuola di dottorato nel settore dell'ingegneria industriale. In particolare, erano presenti dottorandi sia afferenti al Dipartimento di Energetica sia al Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali che facevano riferimento rispettivamente al Dottorato in Progetto e Costruzione di Macchine e a quello di Ingegneria Energetica.

Con riferimento all'ex Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali, nel 1984 fu richiesta l'attivazione di un corso di Dottorato al CUN. All'epoca, il corso fu attivato di concerto con Bologna, che fu sede delle attività per 3 cicli. Per l'Università di Firenze furono coordinatori i professori Lisini, Caparrini, Nerli e Citti. Furono studenti di Dottorato il Prof. Capitani (I ciclo) e la Prof.ssa Carfagni (III Ciclo).

Il Prof. Citti si attivò, nel 1987, per consolidare il Corso di Dottorato presso il Dipartimento, creando così nel 1987 il Dottorato in Progetto e Costruzione di Macchine¹. Si trattava di un dottorato pluri-sede con Citti Coordinatore per Firenze e con il

¹ Si ringrazia il Prof. Citti per aver raccolto i dati storici relativi al Dottorato in Ingegneria Progetto e Costruzione di Macchine.

Prof. Squadrone dell'Università di Genova, il Prof. Atzori dell'Università di Padova ed il Prof. Molari dell'Università di Bologna. Il Corso di Dottorato rimase consorziato fino a tutto il 2010, quando per effetto della Legge Gelmini, disciplinato dall'Art. 4 della Legge 3 luglio 1998, n.210, come modificato dall'art. 19 della Legge 30 dicembre 2010, n.240, vengono istituite le Scuole di Dottorato, soggette ad accreditamento da parte dell'ANVUR. Nasce così, presso l'allora Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali il Dottorato in progetto e Costruzioni di Macchine (mantenendo così l'originario nome del Corso consorziato) con Coordinamento da parte del Prof. Nerli.

Il Dipartimento di Energetica aveva attivato un Dottorato di Ricerca a partire dal Secondo Ciclo su Iniziativa del Prof. Martelli. Il Dottorato nasceva con unica sede Firenze. Si trattò di un esperimento in qualche modo un po' avanzato, atteso che i primi dottorati erano spesso in consorzio fra varie sedi, con l'intento di raccogliere una maggiore ampiezza di tematiche da affrontare. L'idea del dottorato in Energetica era quella di focalizzarsi su alcune tematiche fondanti l'attività di ricerca del Dipartimento, in linea con le prassi nord-europee/anglosassoni, ove il dottorato era una struttura tipica del dipartimento e legato alle sue peculiari attività di ricerca. L'avventura si dimostrò proficua e molti dei dottorandi dei primi cicli ebbero importanti successi sia accademici (alcuni Prof. Ordinari guidarono i cicli più recenti, altri si distinsero in posizioni di top management industriali). Il Dipartimento iniziò anche a supportare alcune borse di dottorato attraverso contratti di ricerca e/o progetti di ricerca europei consentendo così anche un processo di internazionalizzazione dell'attività formativa di terzo livello. Il collegio dei docenti raccoglieva diverse competenze che concorrevano tutte, a vario titolo ad approfondire le tematiche principali del dottorato, ovvero le problematiche energetiche, della conversione energetica, dei sistemi di propulsione delle energie rinnovabili ed alternative. Il dottorato poi si ampliò nel dottorato in Energetica e Tecnologie industriali innovative per meglio affrontare le ulteriori problematiche che il mondo industriale sollecitava all'Accademia. Il Prof. Martelli² ha guidato il dottorato fino al Ciclo 2005 (ciclo XXII), quando si decise di riunire i tre dottorati di Energetica, Tecnologie Industriali ed Affidabilità, Progetto e Costruzione di Macchine nella Scuola di Dottorato in Ingegneria Industriale. La nuova scuola di Dottorato in Ingegneria Industriale, approvata con delibera del Senato Accademico venne presieduta per due successivi trienni (2006 al 2012) dal Prof. Martelli che la traghettò verso lo scenario del nuovo Dipartimento in Ingegneria Industriale nato dalla fusione dei due Dipartimenti. Svolsero le funzioni di referenti per i due indirizzi «Progetto e Sviluppo di Prodotti e Processi Industriali» e «Ingegneria Industriale e dell'Affidabilità» i Prof.ri Marco Pierini e Mario Tucci. Il Prof. Martelli, oltre a coordinare la Scuola di Dottorato svolse anche le funzioni di referente per l'indirizzo in «Energetica e Tecnologie Industriali Innovative».

Al Prof. Martelli succede il Prof. Maurizio De Lucia, che coordina la Scuola di Dottorato del nuovo Dipartimento fino al 2018, che si amplia in 4 curricula: Energia e Tecnologie Ambientali Innovative, Progetto e Sviluppo di Prodotti e Processi, Ingegneria Industriale e Affidabilità e Scienza e Ingegneria dei Materiali.

Ci fu anche un tentativo di istituire una Scuola di Dottorato di Ingegneria che raccogliesse le varie anime dell'Ingegneria ed i differenti Dottorati per il XXIX ciclo ossia Ingegneria Industriale, Ingegneria dell'Informazione e Ingegneria ambientale e Civile. Questa iniziativa, tuttavia, non riuscì a decollare e pertanto le scuole preesistenti

² Si ringrazia il Prof. Martelli per aver raccolto i dati storici relativi al Dottorato in Ingegneria Energetica.

rimangono ben attive e proseguono il loro percorso formativo mantenendo le proprie specificità sia di tematiche che di metodologie fino ai giorni odierni.

DOTTORATO	POSTO A CONCORSO	n. DOMANDE	Candidati presenti	IDONEI	BORSE
Energetica e Tecnologie Industriali Innovative Prof. F.Martelli	15	16	12	10 (9 borse + 1 senza borsa)	2 Borse Ateneo 1 Borsa su fondo giovani 6 Fondi ricerca 1 senza borsa (di cui 1 riservato per stranieri)
Progetto e Sviluppo di Prodotti e Processi Industriali (già Progetto e Costruzione di Macchine) Prof. Marco Pierini	14 + 3 borse Marie-Curie ammesse dal Collegio	17	10	10 +3 Marie-Curie	1 Borse Ateneo 6 Borse su fondi ricerca 3 senza borsa
Ingegneria Industriale e dell’Affidabilità Prof. M.Tucci	6	11	11	6	1 Borse Ateneo 3 Borsa su fondi di ricerca 2 senza borsa

Figura 154 – Un estratto del verbale del 23/12/2009.

Nel triennio 2018-21 fu nominato come Coordinatore di Dottorato il Prof. Giampaolo Manfrida. Nel 2021 fu nominato Coordinatore per il Dottorato il Prof. Giovanni Ferrara. Infine, a partire dal 2025, svolge le mansioni di Coordinatore il Prof. Lapo Governi.

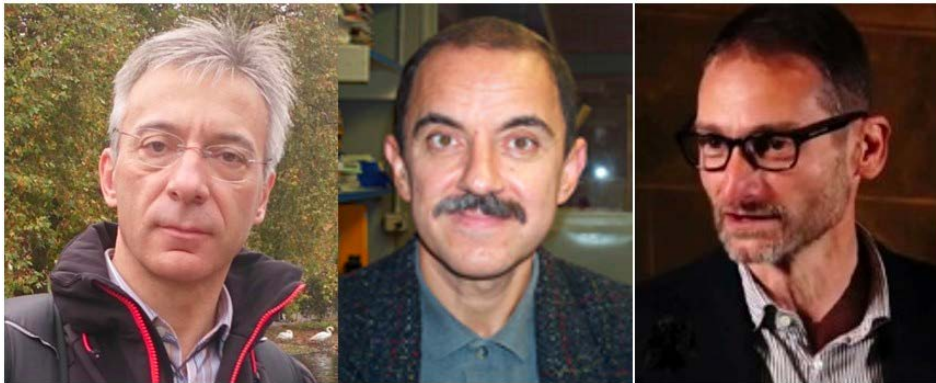


Figura 155 – Da sinistra verso destra: Prof. Maurizio De Lucia, Prof. Giampaolo Manfrida, Prof. Giovanni Ferrara.

Nel cuore della transizione energetica e della sostenibilità ambientale, il curriculum di dottorato Energia e Tecnologie Industriali e Ambientali Innovative rappresenta uno dei pilastri della ricerca avanzata del DIEF. Questo percorso si rivolge a giovani ricercatori interessati a studiare, sviluppare e migliorare le tecnologie legate alla produzione, distribuzione e utilizzo dell’energia, con un’attenzione particolare alle fonti rinnovabili e all’efficienza dei processi. Le sfide globali legate al cambiamento climatico impongono un ripensamento delle tecnologie energetiche, che devono essere non solo efficaci, ma anche sostenibili. Per questo, l’impatto ambientale è sempre al centro della ricerca: ogni soluzione tecnologica viene valutata tenendo conto sia degli effetti sull’ambiente, sia della sua fattibilità economica. È un equilibrio delicato, che richiede competenze trasversali e un approccio multidisciplinare capace di integrare ingegneria, economia e consapevolezza ecologica.

Tra le principali aree di ricerca affrontate nel curriculum troviamo:

- Lo studio e l'ottimizzazione delle fonti rinnovabili, con particolare attenzione all'energia geotermica, eolica e solare
- L'efficienza energetica negli usi industriali e civili, con analisi che considerano sia i costi sia l'impatto ambientale
- L'analisi numerica e sperimentale di macchine complesse, come turbine a gas, compressori e motori a combustione interna, per migliorarne le prestazioni, ridurre le emissioni e favorire l'utilizzo di combustibili alternativi
- Le tecnologie per la refrigerazione, che spaziano dalla climatizzazione domestica alle applicazioni industriali e medicali a bassa temperatura, con un forte impegno nella scelta di refrigeranti ecocompatibili e nell'aumento dell'efficienza energetica.

Questo curriculum rappresenta una testimonianza concreta dell'impegno del DIEF verso un futuro energetico più pulito, efficiente e consapevole, in cui l'innovazione tecnologica è messa al servizio dell'ambiente e della società.

Nel mondo in continua evoluzione dell'ingegneria industriale, la formazione di esperti capaci di affrontare le sfide dell'innovazione è fondamentale. Il curriculum di dottorato dedicato alla Progettazione e Sviluppo di Prodotti e Processi Industriali si propone proprio questo obiettivo: formare ricercatori e professionisti altamente qualificati nel campo della progettazione meccanica, della modellazione digitale e dell'ingegneria dei materiali e dei processi.

Le competenze sviluppate in questo percorso trovano applicazione in molteplici settori, dalla meccanica computazionale avanzata all'industria dei trasporti, dall'edilizia alla bioingegneria, fino alla manifattura additiva e all'innovazione nel design di prodotto.

Le principali aree di ricerca includono:

- Studio e caratterizzazione dei materiali, con attenzione particolare ai compositi e alle plastiche rinforzate
- Metodi e tecniche per l'analisi di prodotto e processo, con l'obiettivo di migliorare progettazione e produzione di componenti meccanici complessi
- Monitoraggio strutturale, per identificare, mappare e quantificare danni nei componenti meccanici e prevenirne l'insorgere
- Modellazione cinematica e dinamica dei veicoli, con approfondimenti sull'ingegneria automobilistica e motociclistica, in particolare riguardo alla dinamica del veicolo e all'elettrificazione
- Tecnologie per la guida autonoma (ADAS) e metodi di sviluppo e validazione per la guida automatizzata sicura
- Hardware in the Loop (HiL) e Human in the Loop: tecniche che consentono di testare in modo realistico i componenti integrandoli in sistemi complessi e considerando l'interazione con l'essere umano
- Analisi della sostenibilità lungo il ciclo di vita del prodotto, per un approccio progettuale responsabile e consapevole
- Materiali intelligenti per applicazioni biomedicali e mecatroniche bio-ispirate
- Manifattura Additiva (Additive Manufacturing) e Design for Additive Manufacturing, che aprono nuove prospettive progettuali e produttive
- Reverse Engineering e modellazione inversa, per la ricostruzione digitale e funzionale di oggetti fisici
- Progettazione assistita al computer (CAD) avanzata, per soluzioni innovative e ad alta precisione
- Metodi di Design Thinking, per promuovere la creatività nella progettazione ingegneristica.

Formare esperti capaci di affrontare le sfide più complesse dell'industria moderna: è questo l'obiettivo del curriculum di dottorato in Ingegneria Industriale e dell'Affidabilità, un percorso ad alta specializzazione che abbraccia una vasta gamma di tematiche, dalla meccatronica alla robotica, dalla dinamica dei veicoli alla manutenzione predittiva, fino all'ottimizzazione dei sistemi produttivi. Il programma unisce competenze teoriche e pratiche in ambiti strategici come la progettazione meccanica, i materiali innovativi, l'intelligenza artificiale applicata, la qualità e la sicurezza dei sistemi industriali. Si tratta di un percorso fortemente interdisciplinare, capace di integrare ricerca scientifica e applicazioni tecnologiche in settori critici per il futuro della mobilità, della salute e della produzione sostenibile.

Le principali aree di ricerca includono:

- Progettazione, simulazione e test di dispositivi robotici indossabili, per applicazioni in campo biomedicale e riabilitativo
- Tecnologie subacquee, con particolare attenzione alla progettazione e al collaudo di sistemi robotici per operazioni marine
- Sistemi mobili autonomi, con lo sviluppo di strategie di guida, navigazione e controllo per robot destinati al monitoraggio e all'intervento
- Applicazioni di intelligenza artificiale per la robotica e i veicoli autonomi
- Sistemi meccatronici bioispirati, basati su materiali intelligenti per applicazioni biomedicali avanzate
- Ottimizzazione della dinamica ferroviaria, della progettazione dei veicoli su rotaia e dell'interazione ruota-binario (contatto, aderenza, usura e fatica)
- Progettazione e modellazione multifisica di macchine rotanti, anche mediante produzione additiva e materiali innovativi
- Ingegneria dei sistemi produttivi e logistici, con l'impiego di strumenti di simulazione e ottimizzazione
- Healthcare System Engineering, per l'ottimizzazione dei processi sanitari in termini di efficienza e qualità del servizio
- Lean Production, digitalizzazione e servitizzazione nei processi manifatturieri
- Gestione della qualità, affidabilità e sicurezza nei sistemi produttivi, con particolare attenzione alla manutenzione avanzata e alla diagnostica predittiva
- Product Lifecycle Management, per la gestione completa del ciclo di vita del prodotto, dall'ideazione al fine vita.

Questo curriculum rappresenta una visione moderna e integrata dell'ingegneria industriale, dove innovazione tecnologica, sostenibilità e affidabilità si incontrano per costruire le soluzioni del domani. Un ulteriore esempio di come il DIEF continui a essere un punto di riferimento per la ricerca applicata e la formazione di eccellenza a livello internazionale.

Dai materiali tradizionali ai dispositivi quantistici, dalle superfici intelligenti all'accumulo di energia: il curriculum di dottorato in Scienza e Ingegneria dei Materiali esplora l'intero spettro delle tecnologie dei materiali, con un approccio fortemente interdisciplinare che unisce chimica, fisica e ingegneria.

La ricerca in questo ambito è alla base dell'innovazione in moltissimi settori: dall'elettronica all'energia, dalla catalisi alla fotonica, passando per lo sviluppo di materiali intelligenti e nanostrutturati, progettati per rispondere attivamente agli stimoli esterni.

Le principali aree di ricerca includono:

- Sviluppo e caratterizzazione di materiali inorganici e molecolari tradizionali, fondamentali per numerose applicazioni industriali
- Materiali magnetici nanostrutturati e magneti molecolari per applicazioni avanzate, inclusi i futuri sistemi di quantum computing

- Materiali avanzati per la catalisi, la raccolta della luce, l'accumulo e la conversione di energia: elementi chiave per la transizione energetica
- Materiali per elettronica, optoelettronica, spintronica, fotonica e calcolo quantistico, destinati alle tecnologie del domani
- Materiali intelligenti e nanostrutturati, capaci di modificare le proprie proprietà in risposta all'ambiente
- Durabilità e degrado dei materiali, con studi sui meccanismi di corrosione in diversi ambienti e sulle tecniche per prevenirla
- Trattamenti superficiali, rivestimenti metallici e inorganici, funzionalizzazione delle superfici, per migliorare le prestazioni e la vita utile dei materiali.

Questo curriculum rappresenta un punto d'incontro tra scienza di base e applicazioni tecnologiche d'avanguardia, contribuendo a plasmare i materiali su cui si costruirà l'ingegneria del XXI secolo. Il DIEF si conferma così non solo luogo di formazione d'eccellenza, ma anche centro propulsore dell'innovazione sui materiali a livello nazionale e internazionale.

Da molti anni il Dottorato (<https://www.phdingind.unifi.it/>) è in grado di ospitare un numero superiore a 20 nuovi candidati, la maggior parte dei quali tramite borse di studio sponsorizzate o partecipazione a progetti di ricerca o sovvenzioni per la ricerca industriale a contratto. Molti degli ex candidati al dottorato hanno storie di successo esemplari: molti di loro sono professori universitari (in Italia o all'estero) o ricercatori scientifici in prestigiose istituzioni di ricerca in tutto il mondo. Un numero rilevante di loro occupa posizioni di leadership in partner industriali, sia in Italia che in altri paesi europei. Il dottorato in Ingegneria Industriale presso Unifi è orgoglioso della sua tradizione di cooperazione tra industria e ricerca, anche grazie ai forti legami internazionali con altre università e aziende mondiali e vanta una tradizione di eccellenza nella ricerca.

PARTE V

Trasferimento tecnologico



Dal sapere all'innovazione: il ruolo del DIEF nel trasferimento tecnologico

Marco Pierini

Il trasferimento tecnologico rappresenta un elemento cruciale per il progresso scientifico e l'innovazione industriale, ed è una delle più importanti *mission* del Dipartimento di Ingegneria Industriale. Questo processo, che consiste nella condivisione e nell'applicazione delle conoscenze scientifiche e tecnologiche sviluppate all'interno dell'ambiente accademico verso il tessuto produttivo, è fondamentale per creare un ponte tra ricerca e industria.

Per il DIEF, il trasferimento tecnologico non si limita a migliorare la competitività delle imprese attraverso l'adozione di nuove tecnologie, ma contribuisce anche allo sviluppo sostenibile e alla creazione di soluzioni innovative per affrontare sfide globali, come la transizione energetica, la digitalizzazione e l'economia circolare. Attraverso collaborazioni strategiche con aziende, enti pubblici e organizzazioni non governative, il Dipartimento può tradurre le sue competenze teoriche in applicazioni pratiche, stimolando così il progresso economico e sociale.

Nel contesto di Firenze, il trasferimento tecnologico assume un valore ancora più rilevante, data la presenza di un tessuto imprenditoriale caratterizzato sia da grandi imprese ad elevato valore aggiunto dal punto di vista tecnologico, sia da piccole e medie imprese (PMI) ad alta specializzazione, oltre a settori tradizionali come l'artigianato, la moda e il turismo. Grazie alla stretta collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Industriale e queste realtà locali, è possibile promuovere l'innovazione tecnologica in ambiti tecnologicamente avanzati, favorendo inoltre la contaminazione tra antiche competenze artigianali e nuove tecnologie. Questo approccio contribuisce a valorizzare il patrimonio culturale e produttivo della città, rendendolo competitivo a livello globale.

Per di più, Firenze ospita un ecosistema accademico e culturale dinamico, che include, oltre all'Università, anche importanti centri di ricerca, incubatori, acceleratori e hub tecnologici. Questo contesto ha favorito, e continuerà a farlo, la nascita di start-up innovative e facilita lo scambio di conoscenze tra studenti, ricercatori e imprenditori. Il DIEF gioca un ruolo centrale in questo ecosistema, mettendo a disposizione le proprie competenze per supportare progetti di ricerca applicata e iniziative imprenditoriali.

Marco Pierini, University of Florence, Italy, marco.pierini@unifi.it, 0000-0003-3648-5567

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Marco Pierini, *Dal sapere all'innovazione: il ruolo del DIEF nel trasferimento tecnologico*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.36, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 241-242, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

Ciò non solo rappresenta un'opportunità per rafforzare il legame tra ricerca e industria, ma è anche uno strumento strategico per consolidare il ruolo di Firenze come polo di innovazione e sostenibilità. Attraverso l'integrazione di conoscenze avanzate e risorse locali, è possibile affrontare le sfide del futuro con soluzioni innovative, rafforzando al contempo l'identità economica e culturale della città.

Inoltre, il trasferimento tecnologico favorisce una formazione di alto livello per gli studenti e i giovani ricercatori, offrendo loro l'opportunità di lavorare su progetti concreti e multidisciplinari. Questo non solo arricchisce il loro bagaglio di competenze, ma aumenta anche la loro occupabilità in un mercato del lavoro sempre più esigente.

Non ultima, va menzionata la capacità del Dipartimento di attrarre finanziamenti, sia pubblici che privati, che possono essere reinvestiti nella ricerca e nell'innovazione. Questo ciclo virtuoso di scambio di conoscenze e risorse consolida il ruolo del Dipartimento come attore chiave nel sistema dell'innovazione, promuovendo una crescita condivisa e sostenibile.

Spin-off

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara

L'Università di Firenze, seguendo i principi fondanti del proprio Statuto, promuove attivamente il trasferimento delle conoscenze e delle competenze sviluppate nell'ambito delle sue attività di ricerca. Questo obiettivo viene perseguito tramite il sostegno alla creazione di imprese innovative, note come start-up o *spin-off* accademici. Tali *spin-off* sono costituite con la finalità di valorizzare i risultati della ricerca universitaria, traducendoli in applicazioni pratiche e commerciali. L'iniziativa, che intende favorire lo sviluppo di nuove tecnologie, prodotti e servizi ad alto contenuto innovativo che possano rispondere a esigenze di mercato o creare nuove opportunità di crescita economica e sociale, è stata pienamente accolta dal DIEF attraverso la creazione di alcuni *spin-off* accademici che non solo rappresentano un'opportunità di impiego per i ricercatori e studenti coinvolti, ma costituiscono anche un importante strumento per incrementare la competitività dell'ecosistema territoriale, contribuendo alla diffusione di nuove conoscenze e al progresso tecnologico. Attraverso tali iniziative, DIEF contribuisce a generare un impatto positivo in termini di innovazione, con ricadute sia economiche che sociali, favorendo lo sviluppo di un ambiente che stimola l'imprenditorialità, la creazione di posti di lavoro qualificati e il rafforzamento delle relazioni tra il mondo accademico, le imprese e le istituzioni. Ad oggi sono attivi i seguenti *spin-off* promossi dal personale docente del DIEF.

Meccanica 42 S.r.l.

Anno costituzione: 2015; Codice attività (ATECO): 72.19.09; Settore di riferimento: Automotive, mecatronica, meccanica in genere; Iscritta nel registro delle start-up innovative dal 2015.

Soci: Claudio Annicchiarico, Renzo Capitani, Lorenzo Capanni, Danisi Engineering S.r.l.

Bruno Facchini, University of Florence, Italy, bruno.facchini@unifi.it, 0000-0003-4489-4256
Giovanni Ferrara, University of Florence, Italy, giovanni.ferrara@unifi.it, 0009-0004-8713-1958

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, *Spin-off*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.37, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 243-246, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

Meccanica 42 applica le tecniche più innovative a sistemi reali in ambito meccanico riuscendo ad offrire prodotti e servizi per il settore automotive dedicati al miglioramento della sicurezza stradale, attraverso lo sviluppo di sensori, attuatori e centraline per il controllo della dinamica veicolo. Fondata nel marzo 2015, Meccanica 42 nasce dalla collaborazione tra l'Università di Firenze e la Danisi Engineering per costruire un'eccellenza nella fornitura di competenze e dispositivi in ambito mecatronico. È una società giovane operante nel settore automotive, con background accademico e metodo industriale. Offre sul mercato servizi di consulenza per lo sviluppo di veicoli e per la progettazione meccanica in genere. Produce inoltre dispositivi mecatronici, sia da installare a bordo veicolo per il miglioramento delle performance, sia da utilizzare in fase di sviluppo per innalzare il livello di conoscenza dei fenomeni che governano la dinamica del veicolo.

Balance S.r.l.

Anno costituzione: 2018; Codice attività (ATECO): 70.22.09; Settore di riferimento: Industria made in Italy, Fashion, Luxury, Wine; Iscritta nel registro delle start-up innovative dal 2018.

Soci: Romeo Bandinelli, Bianca Bindi, Virginia Fani

Balance si posiziona sul mercato come una società innovativa in grado di erogare supporto, servizi e soluzioni per l'implementazione di tecnologie 4.0. La mission dell'azienda è quella di fornire interventi personalizzati in modo da permettere un'ottimizzazione interna dell'azienda, migliorare le prestazioni e ottimizzare i processi aziendali. I servizi offerti dalla società Balance hanno l'obiettivo di permettere al cliente di conseguire obiettivi di miglioramento legati all'introduzione di tecnologie di Industria 4.0, come blockchain, digital twin e strumenti di Business Intelligence a supporto dei processi organizzativi. Tra le principali attività svolte, rientra anche la riorganizzazione dei processi aziendali affiancata alla definizione di un cruscotto di KPIs per il monitoraggio delle performance. Balance inoltre, supporta le aziende nell'attività di software selection su diverse soluzioni implementabili lungo la filiera quali ERP, PLM o dipartimentali di magazzino.

Morfo Design S.r.l.

Anno costituzione: 2018; Codice attività (ATECO): 72.19.09; Settore di riferimento: Ricerca e sviluppo sperimentale nel campo delle altre scienze naturali e dell'ingegneria; Iscritta nel registro delle start-up innovative dal 2018.

Soci: Juri Bellucci, Matteo Checcucci, Matteo Giovannini, Filippo Rubecchini

Morfo Design offre servizi nel campo del design aerodinamico avanzato. Il progetto scaturisce da un contesto di alto profilo scientifico, maturato all'interno di un gruppo di ricerca universitario che da oltre vent'anni supporta le aziende di turbomacchine dei settori aeronautico e dell'energia. Le soluzioni offerte da Morfo Design si rivolgono a due settori industriali: Aero&Energy e Fans&Pumps. Nel settore Aero&Energy si offrono servizi di consulenza sul Design For Additive Manufacturing (DFAM); nel settore Fans&Pumps si propone il supporto alla progettazione aeromeccanica. In sintesi, i servizi offerti da Morfo Design sono: consulenza su DFAM, basata su morphing e digital geometry, design integrato e multidisciplinare, basato su gestione parametrica e tecniche di ottimizzazione, sviluppo di software ad-hoc per la soluzione di problemi specifici e risorse di calcolo HPC (High Performance Computing).

Ecodrone S.r.l.

Anno costituzione: 2019; Codice attività (ATECO): 62.01; Settore di riferimento: Ambiente ed energia, meccatronica, navalmeccanica e cantieristica navale; Iscritta nel registro delle start-up innovative dal 2020.

Soci: Marco Montagni, Andrea Bertini, Eleonora Dall'Ara, Enrico Boni, Luca Pugi
 Ecodrone offre prodotti e servizi per il monitoraggio di bacini marini e lacustri e di acqua dolce. Prestiamo soluzioni a tutte le aziende ed enti pubblici o privati che hanno la necessità di acquisire in modo automatico dati relativi allo stato delle acque e dei fondali includendo non solo dati fisici chimici e meteorologici ma anche informazioni relative alla biodiversità degli ambienti osservati. Nel 2019 Ecodrone ha partecipato al percorso di accelerazione della Sustainable Ocean Alliance (SOA) a San Francisco (USA). Prossimi obiettivi sono la ricerca di ulteriori investitori e produzione industriale del prodotto pilota.

CoAImed S.r.l.

Anno costituzione: 2021; Codice attività (ATECO): 721100; Settore di riferimento: Ricerca nel campo delle biotecnologie Sviluppo sperimentale nel campo dell'intelligenza artificiale; Iscritta nel registro delle start-up innovative dal 2021. Soci: Filippo Cavallo, Laura Fiorini, Gianmaria Mancioffi, Erika Rovini.

CoAImed (Collaborative development of AI based technologies for medical applications) è una start up innovativa attiva nei settori dell'intelligenza artificiale, sensoristica e biorobotica. Crede nel diritto alla salute e al benessere e allo sviluppo di servizi sanitari innovativi inclusivi. CoAImed mira allo sviluppo, produzione e commercializzazione di prodotti e servizi tecnologici innovativi. CoAImed vuol favorire l'empowerment di clinici e pazienti attraverso strumenti innovativi basati su tecnologie indossabili e algoritmi AI. Intende migliorare la prevenzione, la diagnosi e il trattamento delle malattie neurodegenerative. La prima idea imprenditoriale di CoAI med è WEARnCARE uno strumento di supporto decisionale per neurologi per oggettivare e automatizzare la valutazione dei sintomi motori nella diagnosi e gestione del morbo di Parkinson sia in ospedale che a casa.

Durante il 2019 ha conseguito vari premi e riconoscimenti:

- StartCup Toscana 2020 1st Prize
- Special Support Program Award Open Accelerator Zambon 2020
- Bird & Bird Award Open Accelerator Zambon 2020
- InnovUp Award Start-up Breeding Meet in Italy for Life Science 2021
- Its Campus Award Start-up Breeding Meet in Italy for Life Science 2021

Inoltre, ben 4 *spin-off* promossi dal DIF sono ora divenuti vere e proprie realtà aziendali (perdendo quindi lo status di *spin-off*):

Ergon Reseach S.r.l., società attiva nel campo dell'ingegneria meccanica ed energetica che offre servizi di consulenza e ricerca altamente specializzati per lo sviluppo e la progettazione di prodotti innovativi. Si occupa in particolare di termofluidodinamica e sviluppo software industriali.

FEEL Solutions S.r.l. società costituita da 7 soci provenienti dall'ambiente universitario e commerciale, ad amministratore unico, ha lo scopo di aiutare tutte quelle realtà, con particolare riferimento alle aziende energivore e attente alle problematiche ambientali, che necessitano di sistemi di conversione, accumulo e utilizzo di energia con soluzioni a basso impatto ambientale e contenute emissioni di gas inquinanti, in grado di valorizzare significativamente la sostenibilità delle soluzioni proposte, ottenendo tangibili benefici economici.

MDM Team S.r.l. supporta gli operatori pubblici e privati che operano nei settori della meccanica, mecatronica, robotica, ingegneria ferroviaria e dell'energetica tramite attività di ricerca e sviluppo industriale offrendo servizi di consulenza ingegneristica avanzata, sviluppo di modelli fisico matematici, algoritmi di calcolo e relativi software applicati in campo ferroviario, delle turbomacchine e della robotica sottomarina.

Smartoperations S.r.l. offre servizi e soluzioni a grandi, medie e piccole aziende, enti e organizzazioni per l'innovazione e la trasformazione digitale dei processi produttivi. La società è specializzata nello sviluppo di soluzioni personalizzate basate sui paradigmi della Industria 4.0.

Brevetti promossi dal personale del Dipartimento

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi

Depositare brevetti innovativi è di fondamentale importanza dal momento che questi non solo proteggono le invenzioni e le nuove tecnologie sviluppate all'interno del dipartimento, ma contribuiscono anche a rafforzare la posizione dell'università nel panorama scientifico e tecnologico globale. Attraverso i brevetti, il Dipartimento può trasformare le scoperte accademiche in asset economici, creando opportunità di finanziamento e di partnership con l'industria. Questo processo non solo incrementa le risorse disponibili per ulteriori ricerche, ma incentiva anche la collaborazione tra università e aziende, facilitando il trasferimento tecnologico e l'applicazione pratica delle innovazioni. Inoltre, i brevetti possono attrarre talenti, sia tra studenti che ricercatori, e migliorare la reputazione del dipartimento, rendendolo un centro di eccellenza per l'innovazione industriale. In ultima analisi, depositare brevetti è un passo strategico per tradurre la ricerca in impatti concreti sulla società e sul mercato, contribuendo allo sviluppo sostenibile e al progresso tecnologico. Il personale del DIEF ha lavorato attivamente negli ultimi anni nel trasferimento tecnologico, ed ha sviluppato diverse idee progettuali, di cui si riporta un elenco esemplificativo delle più recenti ricerche.

- Motore a combustione interna a due tempi comprendente un sistema di iniezione ottimizzato.

Inventori: Ferrara Giovanni, Romani Luca, Bosi Lorenzo, Raspanti Sandro, Giannini Niccolò, Balduzzi Francesco, Ciampolini Marco. Numero priorità: 102024000005851. Data deposito: 15 marzo 2024.

- Postazione oscillante giroscopica per simulazione di guida

Inventori: Savino Giovanni, Berzi Lorenzo. Numero priorità: 10202000022531. Data deposito: 24 settembre 2020

Metodo per valutare le accelerazioni subite dalla testa, e dispositivo di protezione per la testa

Bruno Facchini, University of Florence, Italy, bruno.facchini@unifi.it, 0000-0003-4489-4256
Giovanni Ferrara, University of Florence, Italy, giovanni.ferrara@unifi.it, 0009-0004-8713-1958
Rocco Furferi, University of Florence, Italy, rocco.furferi@unifi.it, 0000-0001-6771-5981

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi, *Brevetti promossi dal personale del Dipartimento*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.38, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 247-249, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

Inventori: Savino Giovanni, Berzi Lorenzo. Numero priorità: 10202000022531. Data deposito: 24 settembre 2020.

- Sistema esoscheletrico modulare
Inventori: Ridolfi Alessandro, Allotta Benedetto, Gelli Jonathan, Bartalucci Lorenzo, Bianchi Matteo, Secciani Nicola, Della Valle Andrea, Scoglio Andrea, Mazzoleni Stefano, Cappiello Giovanni. Numero priorità: 102020000001738. Data deposito: 29 gennaio 2020.
- Device per perfusione normotermica
Inventori: Mattia Dimitri, Fabio Staderini, Lucrezia Mazzantini, Sara Aquino, Andrea Corvi, Fabio Cianchi, Federico Linari. Numero priorità: 102019000020498. Data deposito: 6 novembre 2019.
- Veicolo sottomarino a configurazione variabile
Inventori: Allotta Benedetto, Gelli Jonathan, Pagliai Marco, Ridolfi Alessandro. Numero di priorità: 102018000007463. Data di deposito: 24 aprile 2018.
- Dispositivo chirurgico di afferraggio a pinza
Inventori: Carfagni Monica, Governi Lapo, Furferi Rocco, Ucheddu Francesca, Volpe Yary, Buonamici Francesco, Mussa Federico, Spacca Barbara, Scagnet Mirko, Arcovio Elena, McGreevy Kathleen. Numero di priorità: 102018000020500. Data di deposito: 20 dicembre 2018.
- Impianto di rigassificazione per l'alimentazione di motori endotermici di veicoli
Inventori: Manfrida Giampaolo, Fiaschi Daniele. Numero di priorità: 102017000117283. Data di deposito: 17 ottobre 2017
- Metodo per la ricostruzione di modelli CAD tramite adattamento parametrico
Inventori: Governi Lapo, Buonamici Francesco, Carfagni Monica, Furferi Rocco, Lapini Alessandro, Volpe Yary. Numero di priorità: 102017000123187. Data di deposito: 30 ottobre 2017.
- Sistema di adattamento attivo di impedenza acustica controllabile elettricamente
Inventori: Carpi Federico, Frediani Gabriele. Numero priorità: 102018000007696. Data deposito: 31 luglio 2018.
- Sistema di condivisione, monitoraggio e gestione pacchi batterie ricaricabili e metodo
Inventori: De Lucia Maurizio, Cialdai Carlo, Messeri Matteo, Vangi Dario. Numero priorità: 102018000001810. Data deposito: 26 gennaio 2017.
- Coppa per il vuoto atta alla correzione del petto escavato e metodo per la fabbricazione di detta coppa
Inventori: Carfagni Monica, Furferi Rocco, Governi Lapo, Ucheddu Francesca, Volpe Yary, Messineo Antonio, Ghionzoli Marco, Facchini Flavio, Lo Piccolo Roberto, Mc Greevy Kathleen. Numero priorità: 102016000102713. Data deposito: 13 ottobre 2016.
- Sistema di interfaccia guidatore motociclo per sistema di emergenza

Inventori: Savino Giovanni. Numero priorità: 102016000103762. Data deposito: 17 ottobre 2016.

- Sistema attivo per l'abbattimento di rumore tramite sorgenti di controllo e relativo metodo

Inventori: Carfagni Monica, Argenti Fabrizio, Borchetti Francesco, Turchi Alessio, Martelli Lorenzo, Lastrucci Claudio Malagotti Roberto, Tatini Alessandro. Numero priorità: FI2015A000013. Data deposito: 29 gennaio 2015

- Materiale composito sostenibile atto alla produzione di elementi per l'impiego strutturale e non strutturale in edilizia

Inventori: Barbari Matteo; Conti Leonardo; Monti Bernardo; Monti Massimo; Rossi Giuseppe; Rotini Federico; Togni Marco. Numero priorità: 102015000043284. Data deposito: 7 agosto 2015.

- Metodo di realizzazione di materiali compositi sostenibili atti alla produzione di elementi per l'impiego strutturale e non strutturale in edilizia

Inventori: Barbari Matteo; Conti Leonardo; Monti Bernardo; Monti Massimo; Rossi Giuseppe; Rotini Federico; Togni Marco. Numero priorità: 102015000043241. Data deposito: 7 agosto 2015.

- Dispositivo di illuminazione ad inseguimento del percorso da impiegarsi sui veicoli motorizzati ad ampio rollio e beccheggio e metodo ad esso associato

Inventori: Pierini Marco, Baldanzini Niccolò, Savino Giovanni. Numero priorità: IT2008PD0020720080711. Data deposito: 11 luglio 2008.

PARTE VI

Alcuni documenti storici

Testimonianze d'archivio: documenti e verbali per la memoria del Dipartimento

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi

La storia di un'istituzione accademica si costruisce anche attraverso le sue tracce documentali: verbali, relazioni, appunti, lettere e deliberazioni che, nel loro insieme, restituiscono un ritratto autentico e spesso inedito della vita dipartimentale. In queste carte si riflettono non solo le decisioni formali, ma anche le idee, le tensioni, le visioni e i cambiamenti che hanno segnato il tempo e l'identità del Dipartimento di Ingegneria Industriale.

Il capitolo che segue raccoglie una piccola selezione di documenti storici provenienti da verbali e archivi interni, scelti non per il loro valore formale, ma per la capacità di raccontare momenti significativi della vita del Dipartimento: la nascita di nuove aree di ricerca, l'introduzione di corsi innovativi, la definizione di collaborazioni strategiche, o semplicemente il riflesso di un'epoca nel linguaggio, nelle priorità e nello stile di scrittura.

Queste pagine non vogliono essere una ricostruzione sistematica né cronologica, ma piuttosto un viaggio nella memoria attraverso frammenti autentici, che illuminano passaggi cruciali o curiosi del passato. Si tratta di una forma di narrazione 'dal basso', che dà voce agli atti e alle parole di chi ha contribuito – a volte in modo silenzioso e quotidiano – alla crescita dell'istituzione.

Rendere accessibili e leggibili questi materiali significa riconoscere il valore della memoria documentale come parte integrante dell'identità collettiva. È anche un modo per collegare passato e presente, offrendo spunti di riflessione a chi oggi progetta il futuro del Dipartimento, nella consapevolezza che ogni decisione si innesta su una storia più ampia e condivisa.

Bruno Facchini, University of Florence, Italy, bruno.facchini@unifi.it, 0000-0003-4489-4256
Giovanni Ferrara, University of Florence, Italy, giovanni.ferrara@unifi.it, 0009-0004-8713-1958
Rocco Furferi, University of Florence, Italy, rocco.furferi@unifi.it, 0000-0001-6771-5981

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi, *Testimonianze d'archivio: documenti e verbali per la memoria del Dipartimento*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4.40, in Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 1. Ingegneria Industriale*, pp. 253-264, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0972-4, DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

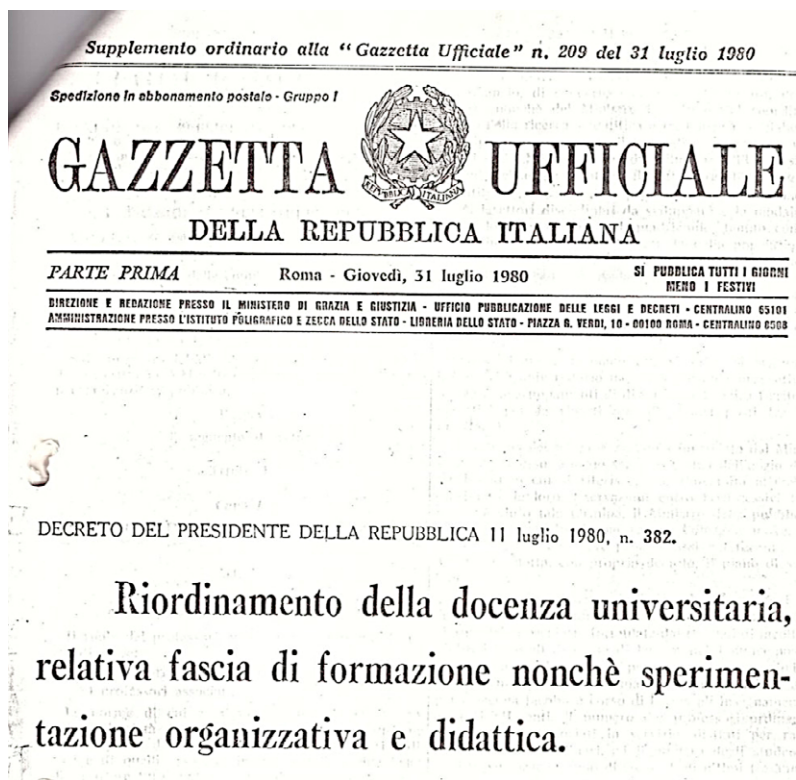


Figura 156 – Copertina del Decreto del Presidente della Repubblica che norma il riordinamento della docenza universitaria, 11 luglio 1980.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE - FACOLTÀ DI INGEGNERIA
ISTITUTO DI INGEGNERIA MECCANICA

L'Albo dell'Istituto medesimo.

Comunque il Consiglio odierno non ha niente da "deliberare" ed "approvare", in quanto la riunione è stata indetta - attesa la scadenza 15-4-1981 - per la presentazione dei progetti di Dipartimento alla Commissione di Ateneo - al fine di rendere, anzitutto, informati ed edotti i Componenti del Consiglio di Istituto di Ingegneria Meccanica dei lavori svolti dalla Commissione nominata nella seduta del 4-3-1981, sulla base delle indicazioni della quale è stato redatto dai proponenti di cui all'Elenco sopra citato (All. n. 2) appena possibile ed in tempo utile, il progetto di "Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali" e, quindi, poter presentare tempestivamente eventuali integrazioni, da unire al progetto stesso, prima che questo passi alla Commissione di Ateneo, per deliberare in merito, modificarne, ed aggiornarne i contenuti, ed approvarne soprattutto le possibili opzioni da parte degli Interessati alla costituzione del Dipartimento stesso.

Ciò non di meno, il Presidente si assume tutta la piena responsabilità per qualunque delibera il Consiglio intenda adottare.

1) - Esame Progetto di Dipartimento.

Anche a nome dei Proponenti, il Prof. Caparrini illustra il Progetto di "Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali", steso in data 15-4-1981, sulla base, delle indicazioni raccolte dalla Commissione Istruttoria all'uopo istituita nella Seduta del 4-3-1981.

In mancanza di rilievi, i presenti, quali proponenti del Progetto medesimo, si riservano (cfr. pag. 9 del progetto) di "apportare al Progetto tutte quelle modifiche e le integrazioni che si renderanno necessari per l'autorevole attuazione da parte della Commissione di Ateneo e per la costituzione del Dipartimento stesso".

2) - Varie ed eventuali.

Il presidente informa di aver ricevuto, in apertura di seduta, Copia della Proposta di "Dipartimento di Energetica".

Il Consiglio ne prende atto.

La seduta è tolta alle ore 12,30 del 16 aprile 1981.

IL SEGRETARIO
(Prof. Ing. Paolo Rissone)

Paolo Rissone

IL PRESIDENTE
(Prof. Ing. Pietro Caparrini)

Pietro Caparrini

50139 Firenze - Via di S. Marta, 3 - tel. 499132 - 474493 - 493300

Figura 157 - Illustrazione da parete del Presidente dell'Istituto di meccanica del Progetto di Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali, datato 16/04/1981. Il DMTI si sarebbe costituito solo nel 1983.

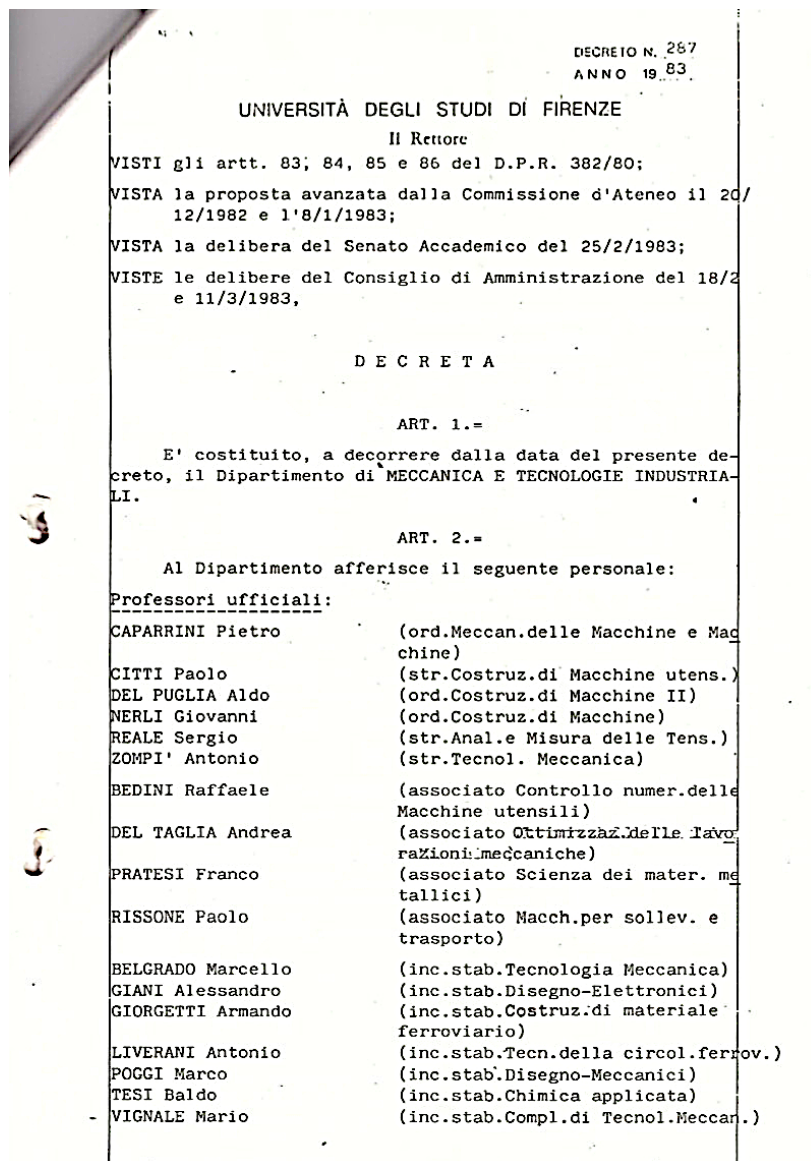


Figura 158 – Decreto di Istituzione del Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali (1983).

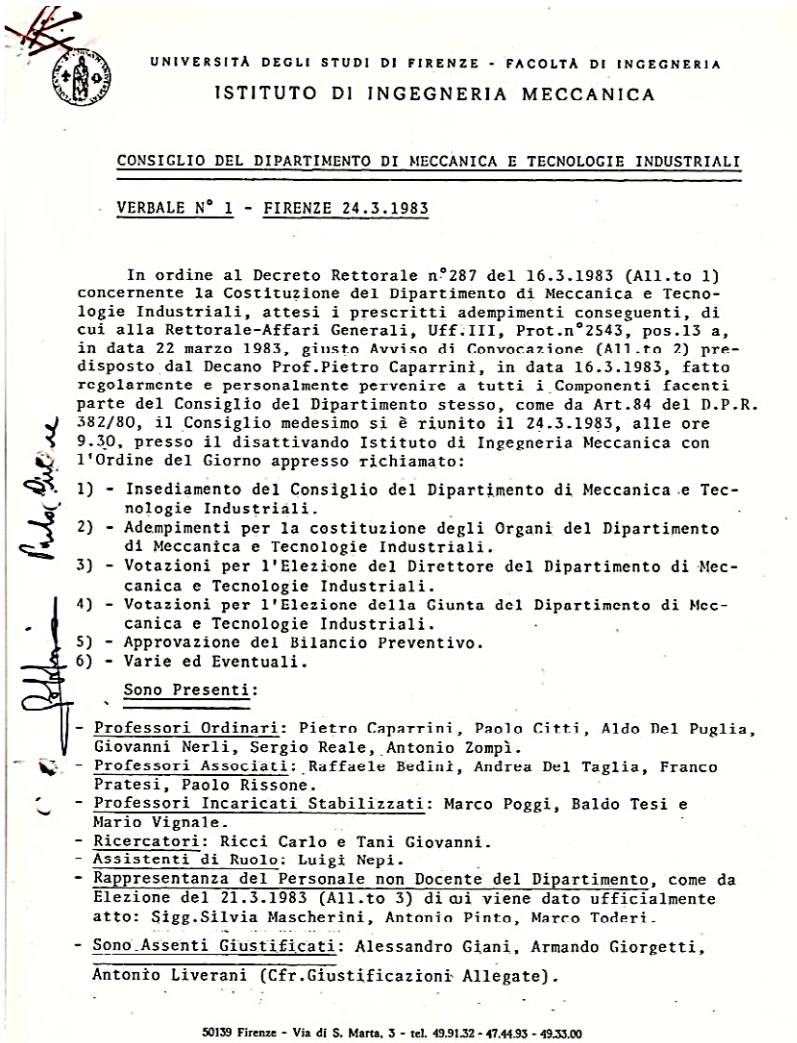


Figura 159 – Ordine del Giorno del I Consiglio del DMTI, marzo 1983. Si può notare ancora l'intestazione dell'Istituto di Meccanica che da lì a poco sarebbe stato disattivato insieme all'Istituto di Energetica.

- 2 -

1) "Richieste Attrezzature Didattiche" - (Lettera Presidenza Facoltà Prot. n.3461/83 del 9.12.1983)

1/a)- Preso debitamente atto di quanto deliberato dalla Facoltà nella Riunione del 5.12.1983, di cui alla Lettera di Presidenza citata in argomento, il Consiglio, sulla scorta di quanto proposto nelle precedenti Sedute del 16.6.83 e del 30.11.83, in occasione, rispettivamente, delle Approvazioni del "Piano Finanziamenti 1984" e del "Bilancio Preventivo 1984", relativi al Dipartimento, come da Note di trasmissione al Rettore Prot.n°35/P del 20.6.83 e Prot.n°155/P del 3.12.83, unanime, dà conferma dell'Elenco di Richieste a livello didattico (Lezioni-Esercitazioni - Studi per Tesi di Laurea - Dottorati di Ricerca- ecc.) appreso riportato. L'Elenco è comprensivo di Attrezzature già acquistate o attualmente in acquisizione, considerate le esigenze contingenti più significative del Dipartimento stesso, ai fini delle attività in corso e da perseguire e attese, ormai, le specifiche funzioni istituzionali e sperimentali di cui al D.P.R. 382/80.

Elenco Attrezzature Didattiche - (Aggiornato a Dicembre 1983 - Gennaio 1984)
In ordine prioritario:

- Durometro "Officine Galileo", Mod.DG 204, per prove di durezza Rockwell e Vickers - (IVA esclusa)	L. 7.079.660
- Durometro "Officine Galileo", Mod.DG 201, per prove di durezza Brinnel - (IVA esclusa)	L. 3.500.000
- Proiettore di Profili "Nikon", Tipo V.12 completo di Accessori - (IVA esclusa)	L. 8.886.150
- Stereo Microscopio "Nikon", Mod.SMZ 10 (IVA esclusa)	L. 5.193.000
- Apparecchiatura per prove di resilienza (Pendolo Sharpy) tipo "Wolpert" Mod.PV30/15E con Accessori + (IVA esclusa)	L.19.000.000
- Banco di controllo misura Tipo "Poli S.p.A.", Mod.BP/c (IVA esclusa)	L.21.700.000
- Apparecchiatura per prove a fatica a flessione rotante Tipo "Schenk", Mod.PUNZ/PUN (IVA esclusa)	L.24.000.000
- Calcolatore Olivetti, Tipo M20, con estensione di memoria a 12 PK, Stampante a 120 colonne e Macchina da Scrivere Olivetti ST20 - (IVA esclusa)	L.12.000.000
- Proiettore per diapositive, Tipo "AGFA" da 35 mm (IVA esclusa)	L. 200.000
- Lavagna Luminosa "3M" portatile - (IVA esclusa)	L. 1.000.000
- Video-Registratore, Telecamera e Monitor "J.V.C" (IVA esclusa)	L. 4.000.000
	<hr/>
	L. 106.558.810

Figura 160 - Elenco delle attrezzature didattiche disponibili presso il DMTI alla fine del 1983.

In apertura di seduta il Prof. Giovanni Nerli commemora il Direttore Prof. Pietro Caparrini, improvvisamente scomparso il 31/7/1986:

"La scomparsa del Prof. Caparrini mi obbliga a presiedere questo Consiglio di Dipartimento (l'ultimo aveva avuto luogo sotto la direzione del Prof. Caparrini il 21 Luglio u.s. [dieci giorni] prima della sua scomparsa).

Seguirà oggi stesso l'elezione del nuovo Direttore, come sapete, poi che insieme ai colleghi ho ritenuto di non rimandare oltre, tenendo conto dei tanti problemi che richiedono un Direttore nella pienezza dei poteri.

Vi prego di scusarmi se oggi non sarò all'altezza nel dirigere questo Consiglio, a maggior ragione essendo il confronto con quelli diretti dal Prof. Caparrini.

La situazione nella quale si viene a trovare ora il Dipartimento pare a me difficile: la perdita è veramente incalcolabile sia dal lato umano, sia per quanto il Prof. Caparrini ha fatto e stava facendo per il Dipartimento, che senza di lui forse neppure sarebbe mai nato.

Aveva una grande capacità e una grande generosità; si prodigava con estremo impegno, senza mai risparmiarsi, sia per il Dipartimento nel suo insieme che per i singoli problemi e per le singole persone; una particolare attenzione aveva per i giovani, qualsiasi ruolo ricoprissero, che, diceva spesso, sono il futuro del Dipartimento.

Credo che il modo migliore di onorare il ricordo del Prof. Caparrini quello che Lui approvverebbe, sia di impegnarci con tutte le forze con il massimo accordo, su tutti i problemi in sospeso e nuovi relativi al personale (docenti, dottorandi, tecnici, amministrativi), alla didattica, alla ricerca, ai rapporti con l'Ateneo, con la Facoltà, con gli altri Dipartimenti, con l'esterno, per non arrestare quello sviluppo quantitativo e qualitativo che si è avuto con continuità negli oltre tre anni della Sua direzione.

In questo breve periodo, in cui ho retto il Dipartimento per l'ordinaria amministrazione, mi sono reso conto di quanto sia il lavoro da fare e quanto impegno richieda.

Uno sforzo comune, con grande spirito di collaborazione, sarà da ora in poi necessario."

Il Prof. Nerli informa dei numerosi attestati di condoglianze pervenuti al Dipartimento per la scomparsa del proprio Direttore.

Il Consiglio si associa unanime alle parole di cordoglio espresso dal Prof. Nerli.

fin. Nerli.

Ue

Figura 161 – Commemorazione e cordoglio per il Prof. Caparrini, 1986.

3.1 - Possibilità di istituzione di nuovo Dottorato.

Il Dipartimento, su relazione in merito del Prof. Paolo Citti, approva unanime l'eventuale istituzione del Dottorato di Ricerca in "Progettazione delle Costruzioni Meccaniche", in corso di definizione, in forma consorziata tra le sedi di Firenze, Padova, Genova, Bologna ed amministrazione presso l'Università di Firenze.

4) PARERI DIPARTIMENTO (Inquadramento Associati - Attività Docenti)

- 4.1 - Incarico di Insegnamento del Prof. Antonio Zompi presso l'Accademia Militare di Modena nell'A.A. 1985/1986.
Il Presidente ricorda che, in relazione al Punto 1.1 dell'Ordine del Giorno del Consiglio di Facoltà del 15.4.1985. "Nulla Osta". Impegni Docenti Extra Facoltà - su richiesta del Presidente, ha espresso "parere favorevole" allo svolgimento, da parte del Prof. A. Zompi, dell'Insegnamento di cui all'oggetto, riservando l'avallo da parte del Consiglio di Dipartimento.
Il Consiglio di Dipartimento ne prende atto e ratifica il parere favorevole già espresso dal Direttore.
- 4.2 - Inquadramento Prof. Mario Vignale - Associato di "Complementi di Tecnologia Meccanica".
Come da documentazione agli Atti del Dipartimento, il Presidente ricorda che nell'Adunanza del 6.5.1985, il Consiglio di Facoltà ha provveduto alla delibera di inquadramento di cui all'oggetto. Il Consiglio ne prende favorevolmente atto, complimentandosi col Prof. Mario Vignale, senza riserva alcuna.
- 4.3 - Inquadramento Prof. Paolo Toni - Associato-
Il Direttore dà atto di aver rimesso al Preside, con Nota d'accompagnamento Prot. 714/P del 5.4.1985, l'assenso positivo, direttamente sottoscritto da tutti i Componenti del Consiglio di Dipartimento, di cui alla richiesta dello stesso Preside di Facoltà Prot. N.323/85 del 20.3.1985, pervenute agli Atti del Dipartimento stesso in data 21.3.1985 (Prot. N.1165/P) ai fini dell'inquadramento dell'Ing. Paolo Toni quale Professore Associato.

Mir

[Signature]

Figura 162 - Proposta di Istituzione di un Dottorato in «Progettazione delle Costruzioni Meccaniche» e inquadramento a Professore Associato del Prof. Paolo Toni, 1985.

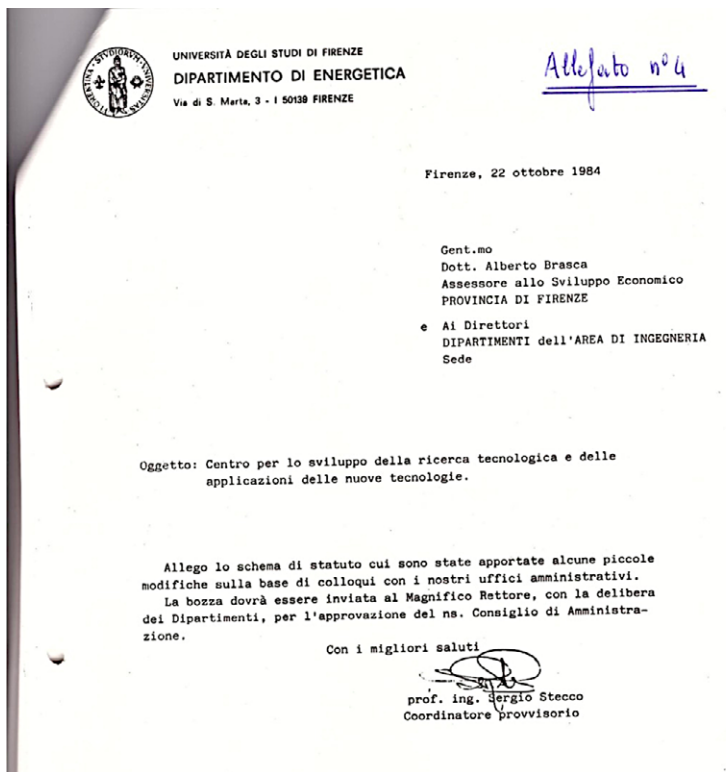


Figura 163 – Stralcio dello Statuto del Centro per lo sviluppo della ricerca tecnologica e delle applicazioni alle nuove tecnologie, proposto dal Prof. Sergio Stecco nell'ottobre del 1984.



SCUOLA DIRETTA A FINI SPECIALI IN TECNOLOGIE TESSILI

NORMATIVA SPECIFICA

- ART. 1 - E' istituita una Scuola diretta a fini speciali in TECNOLOGIE TESSILI presso l'Università degli Studi di Firenze.
 La Scuola ha il compito di preparare personale con competenze e professionalità specialistiche nel settore delle Tecnologie Tessili.
 L'obiettivo è quello di formare quadri intermedi con una banda stretta di competenze in grado di inserirsi rapidamente e con successo negli organigrammi aziendali di un settore industriale molto importante per l'economia nazionale e in rapida evoluzione tecnologica.
 La scuola rilascia il diploma in TECNOLOGIE TESSILI.
- ART. 2 - La Scuola ha la durata di due anni.
 Il primo anno prevede 420 ore di insegnamento e 210 ore di attività pratiche guidate.
 Il secondo anno 360 ore di insegnamento e 280 ore di attività pratiche guidate (compreso il tirocinio).
 In base alle strutture disponibili la Scuola è in grado di accettare un numero massimo di iscritti determinati in 15 per ciascun anno di corso per un totale di 30 studenti.
- ART. 3 - Concorrono alla costituzione della scuola la Facoltà di Ingegneria, cui afferiscono gli insegnamenti, e i Dipartimenti di :
 - Energetica
 - Meccanica e Tecnologie Industriali
 - Ingegneria Elettronica
 Nel manifesto annuale degli Studi viene indicata la sede della Direzione della Scuola.

Figura 164 – Istituzione della Scuola Diretta a Fini Speciali in Tecnologie Tessili, 1987.

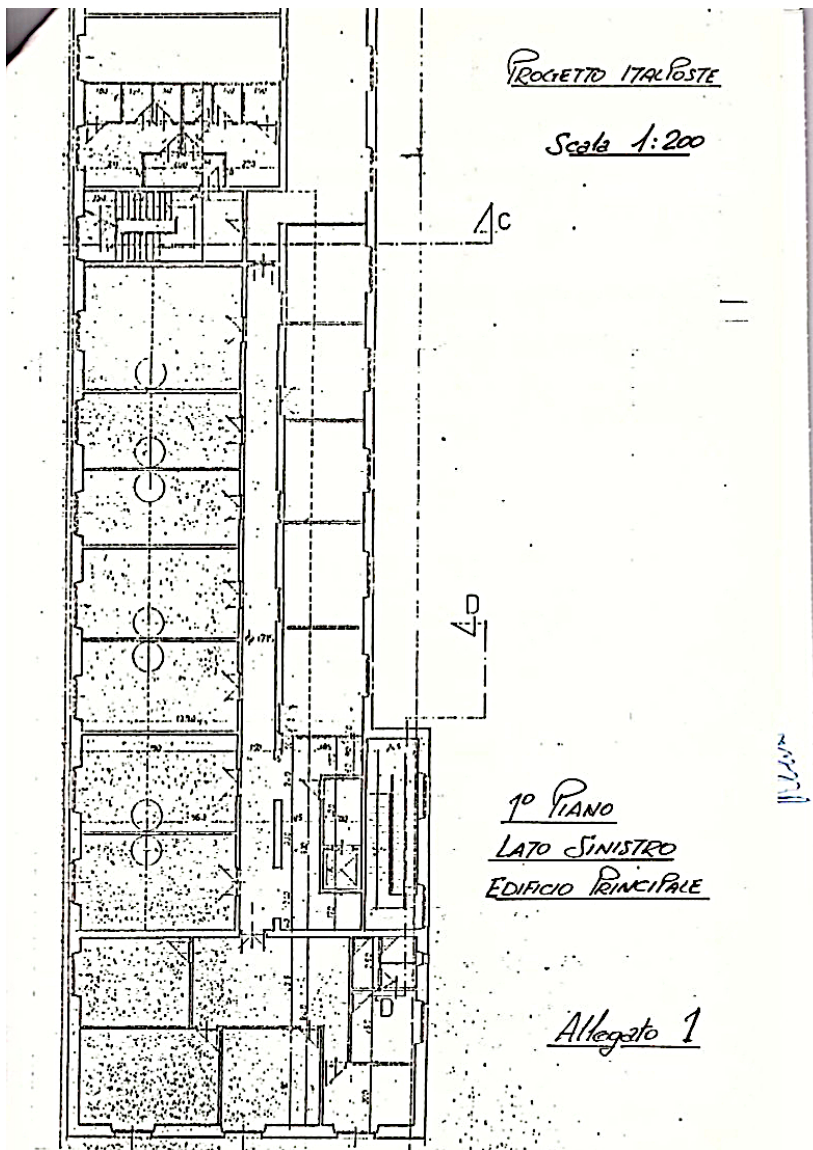


Figura 165 – Progetto di modifica dell'ala sinistra dell'edificio principale di Santa Marta (I Piano), 1989.

- pag.8 -

SEZIONE II

COMPLETARE SOLO NEL CASO IN CUI IL DOTTORATO CHE SI PROPONE E' GIA' STATO ATTIVATO IN PRECEDENZA

1. Il dottorato di ricerca in MECCANICA APPLICATA è stato attivato
nel 1° ciclo
nel 2° ciclo
nel 3° ciclo
nel 4° ciclo
2. Coordinatore (cognome/nome/qualifica/disciplina/sede)
(se diverso da quello proposto per il 5° ciclo)

MENECHETTI Umberto	PO MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	Univ. BOLOGNA
--------------------	--------------------------------------	---------------
3. Collegio docenti (cognome/nome/qualifica/disciplina/sede)
(se diverso da quello proposto per il 5° ciclo)

ANDRISANO Angelo Oreste	PA MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	Univ. BOLOGNA
BARTOLOZZI Giorgio	PO PROGETTI DI MACCHINE	Univ. BOLOGNA
CITTI Paolo	PO COSTRUZIONI DI MACCHINE UTENSILI	Univ. FIRENZE
CIUFFI Renzo	PO COSTRUZIONE DI MATERIALE FERROVIARIO	Univ. FIRENZE
FAVRETTI Gustavo	PO COSTRUZIONI DI MACCHINE	Univ. BOLOGNA
FUNAIOLI Ettore	PO MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	Univ. BOLOGNA
LISINI Giovanguelberto	PO MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	Univ. FIRENZE
MAGGIORE Alberto	PO MECCANICA DELLE MACCHINE	Univ. BOLOGNA
MEDRI Gianluca	PA COMPLEMENTI DI COSTRUZIONE DI MACCHINE	Univ. BOLOGNA
MOLARI Pier Gabriele	PO PROGETTAZIONE ASSISTITA DI STRUTTURE MECCANICHE	Univ. BOLOGNA
NERLI Giovanni	PO COSTRUZIONI DI MACCHINE	Univ. FIRENZE
PARENTI CASTELLI Vincenzo	PA MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE	Univ. BOLOGNA
TONI Paolo	PA MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE E MACCHINE	Univ. FIRENZE
VASSURA Gabriele	PA COSTRUZIONE DI MACCHINE AUTOMATICHE	Univ. BOLOGNA
4. Numero di partecipanti al concorso di ammissione

al 1° ciclo n.:	3
al 2° ciclo n.:	6
al 3° ciclo n.:	5
5. Numero di studenti che ancora frequentano

il 2° ciclo n.:	2
il 3° ciclo n.:	2
6. Data effettiva di inizio del

2° ciclo:	16/04/86
3° ciclo:	29/06/87

Figura 166 – Collegio dei docenti del Dottorato in Meccanica Applicata, V ciclo, 1989.

Postfazione

Alessandra Petrucci

Non è semplice scrivere, come mi è stato chiesto, una postfazione a questi due ricchi volumi, pubblicati con il contributo del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione e del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Firenze, in collaborazione con l'Associazione degli Alumni della Scuola di Ingegneria in Santa Marta.

Non è semplice, perché i contributi sono estremamente articolati e dettagliati, anche se il titolo circoscrive il tema dal punto di vista contenutistico e contestuale.

In realtà, gli Ingegneri hanno dimostrato, in questi ultimi anni, un particolare orgoglio identitario, avendo organizzato, per i 40 e i 50 anni dalla Fondazione della Facoltà, numerose iniziative celebrative, che si sono anche concretizzate in pubblicazioni, come *Ingegneri & ingegneria a Firenze. In occasione dei 50 anni (dal 1970-71 al 2020-21) degli studi di Ingegneria presso l'Ateneo fiorentino*, nel 2021.

Hanno poi contribuito in maniera fattiva alle celebrazioni per i 100 anni dell'Ateneo, confermando nuovamente grande senso di appartenenza: e proprio su questa parola vorrei soffermarmi, da Rettrice e da Ingegnere.

Giorgio Gaber ha scritto una canzone sull'appartenenza, intesa come nesso organico, come legame forte e profondo: «L'appartenenza è avere gli altri dentro sé [...] È quel vigore che si sente se fai parte di qualcosa / Che in sé travolge ogni egoismo personale / Con quell'aria più vitale che è davvero contagiosa».

Questo è quanto emerge dagli scritti anche di questi volumi, che ripercorrono la storia degli studi di Ingegneria Industriale e Ingegneria dell'Informazione, nel quadro della storia della Facoltà di Ingegneria, che fu istituita a Firenze nell'anno accademico 1970-71 con due corsi di laurea (Ingegneria Meccanica ed Elettronica) ai quali, nell'anno accademico successivo, si aggiunse quello in Ingegneria Civile con le 3 sezioni: edile, idraulica e trasporti.

Nei primi anni del secondo dopoguerra, infatti, Nello Carrara, compagno di studi di Enrico Fermi e a cui si deve l'introduzione del termine microonde (*microwave*) nella letteratura tecnico-scientifica, fondò a Firenze l'IROE (Istituto di Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche) del CNR, che avrebbe dato, anni dopo, un contributo fondamentale per la nascita della Facoltà di Ingegneria, da sempre legata all'industria ad alto contenuto tecnologico.

Da allora, i percorsi si sono arricchiti in maniera sorprendente, riuscendo a embriarsi con il territorio e a costruire una rete di relazioni estremamente proficua con le aziende di alta tecnologia dell'area fiorentina.

L'impegno degli Ingegneri alla vita dell'Università è un capitolo molto suggestivo, che analizza il contributo dei Dipartimenti ai ruoli direttivi in organi dell'Ateneo, dai Presidi, ai Presidenti di Scuola, ai Rettori: mi ha colpito l'attenzione riservata a questo aspetto di assunzione di responsabilità nei confronti dell'Istituzione in cui ci si riconosce.

E poi, il contesto. «Firenze», «regione», «Toscana»: questo è lo scenario su cui si dipanano le vicende che prendono forma in questi volumi e che si concretizzano nei gruppi di ricerca, nei centri, nei laboratori, *star up* e *spin off*, in uno stretto legame tra offerta didattica e ricerca scientifica, con visibili effetti in termini di sviluppo e di innovazione tecnologica e ricadute positive, soprattutto nel contesto produttivo dell'area fiorentina e nel *placement* dei nostri laureati.

Nei saggi di questi volumi, viene meso in luce l'apporto dei due Dipartimenti alla formulazione di soluzioni innovative e sostenibili e il loro contributo verso la transizione digitale, che coinvolge l'Ateneo su più livelli.

Ma è la formazione del «capitale umano» l'elemento forte e condiviso, quella che viene definita «fertilizzazione incrociata di competenze che alimenta la vitalità e l'innovazione dell'industria fiorentina e toscana».

In queste parole, c'è il senso dell'impegno di Colleghe e Colleghi, che trasmettono conoscenze, condividono esperienze e valorizzano abilità, senza mai perdere di vista il futuro dei nostri Giovani, come prova il rapporto con l'ordine professionale.

Con grande convinzione, quindi, ringrazio tutti coloro che hanno contribuito a questo volume, la nostra grande squadra, a cui sono orgogliosa di appartenere.

Firenze, 13 ottobre 2025

Autori

Benedetto Allotta – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Meccanica Applicata alle Macchine, DIEF, Unifi.

Andrea Arnone – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Macchine a Fluido, DIEF, Unifi, Presidente della Scuola di Ingegneria di Firenze.

Martino Bandelloni – Già Professore di Impianti Industriali, ora in quiescenza.

Romeo Bandinelli – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare IIND-05/A – Impianti industriali meccanici.

Stefania Bellavia – Professoressa del Gruppo Scientifico-Disciplinare Analisi Numerica, DIEF, Unifi.

Francesca Borgioli – Professoressa del Gruppo Scientifico-Disciplinare Scienza e Tecnologia dei materiali, DIEF, Unifi.

Monica Carfagni – Professoressa del Gruppo Scientifico-Disciplinare Disegno e Metodi dell’Ingegneria Industriale, DIEF, Unifi.

Nicola Calisi – Ricercatore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Scienza e Tecnologia dei materiali, DIEF, Unifi.

Gianni Campatelli – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Tecnologie e sistemi di lavorazione, DIEF, Unifi.

Andrea Caneschi – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Fondamenti Chimici delle Tecnologie, DIEF, Unifi.

Stefano Caporali – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Scienza e Tecnologia dei materiali, DIEF, Unifi.

Ennio Carnevale – Professore Emerito dell’Università di Firenze. Il contributo qui riportato è datato 2020.

Federico Carpi – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Bioingegneria, DIEF, Unifi.

Filippo Cavallo – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Bioingegneria, DIEF, Unifi.

Paolo Citti – Prorettore Università Guglielmo Marconi.

Costanza Conti – Professoressa del Gruppo Scientifico-Disciplinare Analisi Numerica, DIEF, Unifi.

Andrea Corvi – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Bioingegneria, DIEF, Unifi.

Filippo De Carlo – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare IIND-05/A – Impianti industriali meccanici.

Bruno Facchini – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Sistemi per l'Energia e l'Ambiente, DIEF, Unifi, Direttore del Dipartimento di Ingegneria Industriale.

Giovanni Ferrara – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Macchine a Fluido, DIEF, Unifi.

Rocco Furferi – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale, DIEF, Unifi, Referente del Corso di Laurea di Ingegneria Meccanica.

Emanuele Galvanetto – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Scienza e Tecnologia dei materiali, DIEF, Unifi.

Lapo Governi – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale, DIEF, Unifi, Coordinatore del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Industriale.

Martina Lippi – Ricercatrice del Gruppo Scientifico-Disciplinare Fondamenti Chimici delle Tecnologie, DIEF, Unifi.

Benedetta Morini – Professoressa del Gruppo Scientifico-Disciplinare Analisi Numerica, DIEF, Unifi.

Paola Paoli – Professoressa del Gruppo Scientifico-Disciplinare Fondamenti Chimici delle Tecnologie, DIEF, Unifi.

Alessandra Papini – Professoressa del Gruppo Scientifico-Disciplinare Analisi Numerica, DIEF, Unifi.

Alessandra Petrucci – Rettrice Università di Firenze.

Marco Pierini – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Progettazione Meccanica e Costruzione di Macchine, DIEF, Unifi, Prorettore dell'Università di Firenze al Trasferimento Tecnologico, attività culturali e impatto sociale.

Margherita Porcelli – Professoressa del Gruppo Scientifico-Disciplinare Analisi Numerica, DIEF, Unifi.

Alberto Privitera – Ricercatore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Fondamenti Chimici delle Tecnologie, DIEF, Unifi.

Mario Rapaccini – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare IEGE-01/A – Ingegneria economico-gestionale.

Rinaldo Rinaldi – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare IIND-05/A – Impianti industriali meccanici.

Patrizia Rossi – Professoressa del Gruppo Scientifico-Disciplinare Fondamenti Chimici delle Tecnologie, DIEF, Unifi.

Stefano Selleri – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Campi Elettromagnetici, DINFO, Unifi.

Giulia Serrano – Professoressa del Gruppo Scientifico-Disciplinare Fondamenti Chimici delle Tecnologie, DIEF, Unifi.

Rosa Taurino – Ricercatrice del Gruppo Scientifico-Disciplinare Scienza e Tecnologia dei materiali, DIEF, Unifi.

Alberto Tesi – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Automatica, DINFO, Unifi, ex Rettore Università di Firenze.

Paolo Toni – Prof. Toni, scomparso nell'agosto 2024. Contributo datato 2011.

Mario Tucci – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Progettazione meccanica e costruzione di macchine, DIEF, Unifi.

Dario Vangi – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare IIND-05/A – Impianti industriali meccanici, Presidente del Consiglio Unico dei Corsi di Laurea di Ingegneria Industriale.

Enrico Vicario – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare Sistemi di Elaborazione delle Informazioni, DINFO, Unifi, ex Direttore del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione.

Filippo Visintin – Professore del Gruppo Scientifico-Disciplinare IEGE-01/A – Ingegneria economico-gestionale.

DIALOGHI CON LA SOCIETÀ

TITOLI PUBBLICATI

1. Elena Pecchioni, Alba Patrizia Santo, *Florence RockinArt*
2. Orazio Lovino, Sara Migaleddu, Giovanni Pescarmona (a cura di), *Per un'altra Firenze. Voci sul futuro del nostro patrimonio*
3. Franco Angotti, Giovanni Frosali, Giuseppe Pelosi, Marco (a cura di), *Ingegneri & Ingegneria a Firenze. In occasione dei 50 anni (dal 1970-71 al 2020-21) degli studi di Ingegneria presso l'Ateneo fiorentino*
4. Luigi Dei, *Pensose leggerezze*, 2021
5. Floriana Tagliabue (a cura di), *Le tesi delle prime donne laureate a Firenze*, 2022
6. Fulvio Conti, Emanuela Ferretti, Donatella Lippi, Antonella Salvini, Bernardo Sordi, Andrea Zorzi (a cura di), *Firenze e l'Università. Passato, presente e futuro*, 2024
7. Lorenzo Capineri (a cura di), *Olivetti: una complessità virtuosa*, 2024
8. Fulvio Conti, Carlo Sorrentino (a cura di), *La Scuola di Scienze politiche "Cesare Alfieri" (1875-2025)*, 2025
9. Carlo Pratesi, Raffaele Pulli (a cura di), *La chirurgia vascolare dell'ateneo fiorentino: 50 anni di storia*, 2026
10. Franco Angotti, Giovanni Frosali, Giuseppe Pelosi, Marco Pierini, *Ingegneri & Ingegneria a Firenze. In occasione dei 50 anni (dal 1970-71 al 2020-21) degli studi di Ingegneria presso l'Ateneo fiorentino - Nuova edizione*, 2026
11. Bruno Facchini, Giovanni Ferrara, Rocco Furferi (a cura di), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino - 1. Ingegneria Industriale*, 2026
12. Stefano Selleri, Alberto Tesi, Enrico Vicario (a cura di), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino - 2. Ingegneria dell'Informazione*, 2026

Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino

VOLUME

1

Ingegneria Industriale

Ingegneria Industriale, primo volume della serie *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino*, ricostruisce in modo organico la storia e l'evoluzione del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) dell'Università di Firenze, inserendole nel contesto scientifico e produttivo toscano e internazionale. Dalle origini della formazione ingegneristica alla nascita del DIEF nel 2013, il volume valorizza figure chiave, trasformazioni istituzionali e rapporti con l'industria. Ampio spazio è dedicato alle linee di ricerca, ai laboratori, ai progetti nazionali ed europei, inclusi PNRR, e alle attività didattiche e di terza missione, delineando un Dipartimento multidisciplinare, innovativo e orientato al futuro.

BRUNO FACCHINI è professore ordinario, direttore del DIEF dell'Università di Firenze e membro del Senato accademico. Esperto in raffreddamento ad alta temperatura, combustione a basse emissioni e instabilità termo-acustiche, guida il gruppo HTC, collaborando con partner industriali e progetti europei su sistemi energetici sostenibili.

GIOVANNI FERRARA è professore ordinario al DIEF dell'Università di Firenze. Esperto di macchine operatrici e motrici, ha promosso il laboratorio LINEA. Già membro del Consiglio di amministrazione (2017-24) e coordinatore del dottorato, dal 2025 guida il Nucleo di valutazione dell'Ateneo.

ROCCO FURFERI è professore associato al DIEF dell'Università di Firenze, docente di Disegno meccanico e Reverse Engineering. Già referente del Consiglio di corso di studio di Meccanica magistrale, è oggi referente del CdS di Ingegneria meccanica. È responsabile di numerosi progetti finanziati in abito CAD, Beni culturali e Tessile.

ISSN 2975-0210 (print)
ISSN 2975-0334 (online)
ISBN 979-12-215-0971-7 (Print)
ISBN 979-12-215-0972-4 (PDF)
ISBN 979-12-215-0973-1 (XML)
DOI 10.36253/979-12-215-0972-4

www.fupress.com

