

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.

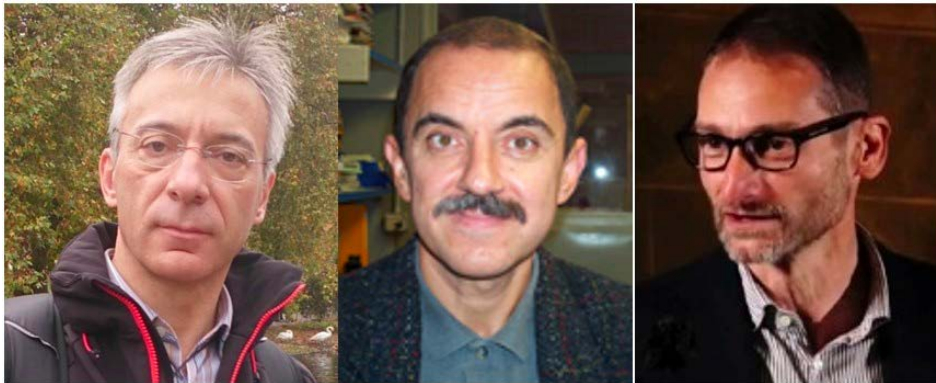


Figura 155 – Da sinistra verso destra: Prof. Maurizio De Lucia, Prof. Giampaolo Manfrida, Prof. Giovanni Ferrara.

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.