



## Documento di Progettazione iniziale del Corso di Dottorato di Ricerca

<b>Dottorato di Ricerca: SCIENZE FISICHE E CHIMICHE</b>
<b>Dipartimento di riferimento: Dipartimento di Fisica e Chimica (DiFC) - Emilio Segrè</b>
<b>Anno accademico di attivazione: 2025/2026 (Ciclo: XLI)</b>
<b>Approvato nella riunione del collegio del 04/06/2025</b>

*D.PHD.1.1 In fase di progettazione (iniziale e in itinere) vengono approfondite le motivazioni e le potenzialità di sviluppo e aggiornamento del progetto formativo e di ricerca del Corso di Dottorato di Ricerca, con riferimento all'evoluzione culturale e scientifica delle aree di riferimento, anche attraverso consultazioni con le parti interessate (interne ed esterne) ai profili culturali e professionali in uscita.*

*D.PHD.1.2 Il Collegio del Corso di Dottorato di Ricerca ha definito formalmente una propria visione chiara, articolata e pubblica del percorso di formazione alla ricerca dei dottorandi, coerente con gli obiettivi formativi (specifici e trasversali) e le risorse disponibili.*

*D.PHD.1.3 Le modalità di selezione e le attività di formazione (collegiali e individuali) proposte ai dottorandi sono coerenti con gli obiettivi formativi del Corso di Dottorato di Ricerca e con i profili culturali e professionali in uscita e si differenziano dalla didattica di I e II livello, anche per il ricorso a metodologie innovative per la didattica e per la ricerca.*

*D.PHD.1.4 Il progetto formativo include elementi di interdisciplinarietà, multidisciplinarietà e transdisciplinarietà, pur nel rispetto della specificità del Corso di Dottorato di Ricerca.*

*D.PHD.1.5 Al progetto formativo e di ricerca del Corso di Dottorato di Ricerca viene assicurata adeguata visibilità, anche di livello internazionale, su pagine web dedicate.*

*D.PHD.1.6 Il Corso di Dottorato di Ricerca persegue obiettivi di mobilità e internazionalizzazione anche attraverso lo scambio di docenti e dottorandi con altre sedi italiane o straniere, e il rilascio di titoli doppi, multipli o congiunti in convenzione con altri Atenei.*

### Descrizione del progetto formativo e di ricerca (D.PHD.1.1)

- Descrizione del progetto, delle motivazioni e delle potenzialità di sviluppo**

Il Corso di Dottorato di Ricerca in Scienze Fisiche e Chimiche, incardinato nel Dipartimento di Fisica e Chimica (DiFC) dell'Università degli Studi di Palermo (UNIPA), cura l'alta formazione finalizzata allo svolgimento di ricerca scientifica innovativa che copre una vasta gamma di tematiche a carattere fortemente interdisciplinare in settori d'avanguardia nel panorama della Fisica e della Chimica. Inoltre, il Corso fa parte della Scuola di Dottorato di UNIPA, che promuove e coordina attività trasversali mirate a potenziare le competenze dei dottorandi, favorendone la crescita personale e professionale all'interno di un contesto interdisciplinare e internazionale

Il progetto formativo proposto per il 41° ciclo è allineato all'evoluzione culturale e scientifica delle aree di riferimento (Fisica e Chimica), è coerente con il rapporto annuale 2024 di Autovalutazione sulla base degli



indicatori ANVUR e le opinioni degli studenti, è allineato al Piano Strategico (PS) del DiFC. Il progetto è altresì attento alla crescita professionale dei dottorandi grazie alle indicazioni offerte dai portatori d'interesse (stakeholder): esponenti del mondo del lavoro, delle professioni, dei centri di ricerca e delle imprese ubicate nel territorio nazionale e internazionale.

L'obiettivo principale del Corso è quello di formare giovani ricercatori con un solido bagaglio di competenze tecnologiche, informatiche e capacità di *problem-solving*, che siano in grado di condurre ricerca scientifica di base ed applicata in modo autonomo e qualificato in molteplici campi interdisciplinari. A tale fine, il percorso dottorale offre una formazione di base, concentrata soprattutto nel primo anno, attraverso la somministrazione di insegnamenti avanzati sulle tematiche di ricerca svolte all'interno del DiFC, di carattere sperimentale, teorico e applicativo. La formazione degli allievi viene completata attraverso seminari su temi di carattere multidisciplinare, interdisciplinare e transdisciplinare, organizzati dalla Scuola di Dottorato di UNIPA, tenuti da personalità di riferimento in campo nazionale e internazionale. Durante il secondo e terzo anno, l'attività dei dottorandi è principalmente dedicata alla ricerca, sotto la guida di un tutor e di uno o più co-tutor, assegnati all'inizio del primo anno. Inoltre, al fine di sviluppare e approfondire le tematiche di interesse per il lavoro di tesi, è fortemente incoraggiato il trascorrere periodi di formazione e ricerca (superiori a tre mesi) presso centri di ricerca e Università internazionali.

- **Obiettivi formativi (specifici e trasversali)**

Il Corso di Dottorato punta ad offrire un percorso formativo attento ai moderni processi di innovazione, in grado di affrontare le nuove sfide nel rispetto della transizione ecologia e sostenibilità. L'organizzazione del percorso pone al centro le aspettative di formazione dei dottorandi, che includono competenze tecnologiche e informatiche, rigore metodologico, capacità e conoscenze atte a condurre in modo autonomo e qualificato progetti di ricerca scientifica, anche di carattere inter- e multi-disciplinare, in un contesto nazionale e internazionale.

Gli obiettivi e gli ambiti formativi del Corso riflettono le attività di ricerca dei membri del suo collegio, altamente interdisciplinare, che possono riassumersi nelle seguenti linee:

Astrofisica;  
Fisica delle particelle elementari e delle astroparticelle;  
Meccanica quantistica;  
Metodi matematici in meccanica quantistica;  
Fisica dei sistemi complessi;  
Nanomateriali per elettronica e fotonica;  
Didattica della Fisica;  
Chimica dei materiali e nanotecnologie;  
Chimica analitica ambientale;  
Chimica Computazionale

- **Sbocchi occupazionali e professionali previsti**

In accordo agli obiettivi principali del Corso, le competenze acquisite dai Dottori di Ricerca in Scienze Fisiche e Chimiche sono vaste e spendibili in molteplici campi multi- e interdisciplinari. La fisica e la chimica sono infatti scienze trasversali a diverse discipline scientifiche (matematica, ingegneria, statistica, informatica, medicina, biologia, economia) e favoriscono sbocchi professionali in ambito accademico, industriale (energia,



elettronica, fotonica), aerospazio, finanziario, nella conservazione dei beni culturali e nella tutela e monitoraggio ambientale. La formazione fornita dal Corso di Dottorato per svolgere una ricerca d'avanguardia in fisica e chimica è perciò un prerequisito fondamentale per lo sviluppo di molte altre discipline scientifiche e della realtà produttiva del paese.

I previsti sbocchi occupazionali del Dottorato in Scienze Fisiche e Chimiche, sia in campo nazionale che internazionale, sono:

- Posizioni di post-dottorato in università ed enti di ricerca pubblici e privati, che segnano l'inizio della carriera verso posizioni permanenti;
- Posizioni di alto livello tecnologico in laboratori presso università, enti di ricerca, industrie ad alto contenuto innovativo, deputate all'uso di complesse strumentazioni per l'acquisizione di misure scientifiche nei campi della Fisica e della Chimica;
- Insegnamento delle materie scientifiche in scuole secondarie di primo e secondo grado
- Monitoraggio dei beni culturali per garantirne la conservazione grazie allo studio delle proprietà fisico/chimiche dei materiali;
- Data Scientist in imprese, società, centri di ricerca che operano nel settore dell'elaborazione e dell'analisi dati, che richiedono la gestione di grandi quantitativi di dati (flussi bancari, traffico aereo)

• **Parti interessate (stakeholder) e modalità di consultazione**

Il Corso di Dottorato dedica molta attenzione a rafforzare l'occupabilità e la crescita professionale dei dottorandi tramite azioni mirate a raccogliere le indicazioni offerte dai portatori d'interesse (stakeholder): esponenti del mondo del lavoro, dei centri di ricerca e delle imprese ubicate nel territorio nazionale e internazionale. Nei fatti, il Collegio di Dottorato svolge da diversi anni una funzione di punto di incontro tra ricerca scientifica e applicata, promuovendo attività formative in collaborazione con piccole e medie imprese e con alcune delle più importanti multinazionali presenti nel nostro territorio. Questa azione ha favorito il finanziamento e cofinanziamento di borse di dottorato e, in diverse occasioni, i nostri dottori di ricerca sono stati assorbiti da aziende con le quali il Dottorato di Ricerca ha collaborato.

Per favorire una organizzazione sempre più efficace delle attività di consultazione con gli stakeholder, la Scuola di Dottorato di UNIPA ha recentemente istituito un "Comitato consultivo di riferimento", composto da qualificati soggetti esterni all'Ateneo, appartenenti al contesto industriale, sociale, economico e culturale. In questo comitato sono presenti dei soggetti proposti dal Collegio di Dottorato in Scienze Fisiche e Chimiche (INAF, STMicronics s.r.l., NEXDOT, SOLARFOIL, Fondazione GAL HASSIN, NODE Q Limited, PREART).

All'avvio delle attività del 41° ciclo, il collegio dei docenti si impegna a calendarizzare le attività di consultazione con gli stakeholder, per dare la possibilità ai rappresentanti delle imprese di conoscere il flusso di conoscenze e competenze attese durante il percorso formativo e, al contempo, agli allievi del Dottorato di Ricerca di conoscere le richieste del mondo imprenditoriale. Queste azioni sono coerenti con l'Obiettivo 3.1 del piano strategico del DiFC "Favorire il trasferimento tecnologico e il suo impatto sullo sviluppo economico-culturale del territorio".



## Visione del percorso di formazione alla ricerca (D.PHD.1.2)

### • **Coerenza con gli obiettivi formativi (specifici e trasversali) e le risorse disponibili**

Il percorso formativo del Corso è delineato in coerenza con le linee generali d'indirizzo Ministeriali della programmazione del Sistema Universitario per il triennio 2021-2023 (D.M. 289/2021), con il PS di UNIPA che mira a: "Qualificare e valorizzare il Dottorato di Ricerca in una prospettiva internazionale" e con l'Obiettivo 1.4 del PS del DiFC "Favorire l'avvio delle carriere dei giovani studiosi in un ambito internazionale"

Il percorso è altresì delineato coerentemente con le risorse disponibili, in accordo ai seguenti punti:

- i finanziamenti ministeriali MUR destinati ai vari cicli di Dottorato, i finanziamenti/co-finanziamenti a valere su progetti specifici: PNRR, fondi della Regione Sicilia. Si sottolinea che negli ultimi cicli, alcune borse di Dottorato sono state finanziate o cofinanziate da centri di ricerca come l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) e da imprese presenti sul territorio come SOLARFOIL, Fondazione GAL HASSIN, NODE Q Limited, PREART, STMicronics, Fondazione RI.MED; Blue Skies Space.

- i dottorandi seguono lezioni frontali svolte dai docenti del collegio, e hanno la possibilità di frequentare cicli di lezioni e seminari che vedono tra i relatori sia ricercatori dell'Università degli Studi di Palermo sia ricercatori esterni (italiani e stranieri) con i quali i docenti del Collegio condividono interessi scientifici;

- i dottorandi possono seguire le attività formative (seminari, eventi) di carattere interdisciplinare, multidisciplinare e transdisciplinare organizzate dalla Scuola di Dottorato di UNIPA;

- i dottorandi possono accedere alla rete completa dei laboratori del DiFC, attrezzati per: sintesi di materiali; analisi e caratterizzazione avanzata (con tecniche microscopiche e spettroscopiche) di materiali; strutture informatiche per analisi dati e calcolo computazionale. Sono inoltre disponibili le attrezzature messe a disposizione dall'Advanced Technologies Network Center (centro ATEN) di UNIPA e dall'INAF nelle sedi dell'Osservatorio Astronomico di Palermo (OAPa) e dell'Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica (IASF);

- i dottorandi possono utilizzare le risorse disponibili presso il sistema bibliotecario di Ateneo (patrimonio librario, abbonamenti cartacei e on-line dell'Ateneo a riviste scientifiche di riferimento per l'area Fisica e Chimica). A tale fine, all'avvio delle attività del 41° ciclo, il collegio dei docenti si impegna a organizzare una giornata informativa che coinvolga il personale dei servizi bibliotecari

- coerentemente con le risorse messe a disposizione da UNIPA, il Centro Linguistico di Ateneo (CLA) organizza corsi di formazione linguistica aperti a tutti i dottorandi che hanno la possibilità di perfezionare l'uso della lingua inglese che è usata nella divulgazione scientifica.

## Attività di formazione collegiale e individuale (D.PHD.1.3)

Le attività di formazione collegiali e individuali privilegiano contenuti e metodologie coerenti con le tematiche di ricerca del Corso di Dottorato, e sono pertanto distinti dalle materie insegnate nei corsi di laurea di I e II livello. Il percorso formativo è articolato in:

- attività obbligatorie per un totale di 60 ore di lezioni frontali, che i dottorandi possono distribuire su tre corsi (20 ore ciascuno) scelti all'interno della lista sotto riportata, che verrà anche pubblicata nel sito web prima dell'avvio delle attività del 41° ciclo. I contenuti degli insegnamenti proposti abbracciano le attività di ricerca dei membri del collegio dei docenti, e sono funzionali ad acquisire conoscenze e metodologie utili allo



svolgimento dei progetti di ricerca in aree specifiche della fisica e della chimica. Lo svolgimento delle lezioni frontali è distribuito in due periodi: I semestre novembre – febbraio; II semestre marzo – luglio. Il calendario delle singole lezioni viene in genere concordato fra il docente responsabile e gli allievi. Il riconoscimento delle attività svolte è effettuato attraverso un esame sui contenuti del corso, per un totale di 3 esami.

- 1) Advanced microscopy and spectroscopy techniques applied to nanomaterials **(I year - II sem.)**
- 2) Time resolved spectroscopy and microscopy **(I year - II sem.)**
- 3) Organic/Inorganic nanocomposites: thermodynamics, structure, and applications **(I year - II sem.)**
- 4) Numerical methods for out-of-equilibrium statistical physics **(I year - II sem.)**
- 5) Open quantum systems dynamics and quantum machine learning **(I and II year - II sem.)**
- 6) Experimental techniques in astroparticle physics **(I year - II sem.)**
- 7) Extrasolar Planets **(I year - II sem.)**
- 8) Project Management in the Scientific-Spatial Context **(II year - I sem.)**
- 9) Introduction to DFT and TDDFT **(I year - I sem.)**
- 10) Astrophysics laboratory of thermal X-ray plasmas **(I year - II sem.)**
- 11) Millisecond Pulsars: Theory and Observations **(I and II year - I sem.)**
- 12) Introduction to agent-based models **(I year - I sem.)**
- 13) Long Range correlations in statistical physics **(I year - II sem.)**
- 14) Quantum field theory in a curved spacetime or in non-inertial frames **(I and II year - I sem.)**
- 15) Quantum optics & topology in photonic lattices **(I year - II sem.)**
- 16) Quantitative and Qualitative Analysis Methods in Physics Education Research **(I) year - II sem.)**
- 17) Quantum Information Theory and Quantum Computing **(I year - II sem.)**
- 18) Heterogeneous Catalysis: Computational and Experimental Perspective **(I year - II sem.)**
- 19) X-Ray Photoelectron Spectroscopy - materials and biomaterials analysis and applications **(I year - I sem.)**
- 20) Femtosecond science and nonlinear optics **(I year - II sem.)**
- 21) Non-Hermitian Hamiltonians and related topics **(I year - I sem.)**
- 22) Advanced Materials and Technologies for Photovoltaics **(I year - II sem.)**
- 23) Advanced General Relativity and rudiments of Quantum Gravity” **(I year - II sem.)**
- 24) Magnetohydrodynamics in Astrophysical Processes **(II year - I sem.)**

- attività integrative che includono cicli di seminari organizzati dal collegio dei docenti, che sono tenuti sia da ricercatori UNIPA che da ricercatori esterni (italiani e stranieri). Grazie agli argomenti trattati nei seminari, i dottorandi hanno la possibilità di essere costantemente informati sui recenti progressi negli ambiti di ricerca del DiFC, in linea con gli obiettivi del Corso di Dottorato.

## Attività di formazione di carattere multidisciplinare, interdisciplinare e transdisciplinare (D.PHD.1.4)

Il progetto formativo include elementi di interdisciplinarietà, multidisciplinarietà e transdisciplinarietà, che sono principalmente forniti dalla Scuola di Dottorato di UNIPA che organizza seminari con cadenza bimestrale, e all'interno del Collegio dei Docenti del Dottorato in Scienze Fisiche e Chimiche.

Le principali attività sono riportate nel seguito:



- Conoscenza dei sistemi di ricerca europei e internazionali, con particolare attenzione agli aspetti riguardanti la cooperazione nelle attività di ricerca e nei sistemi di finanziamento, la formazione nel campo della gestione e della valorizzazione della ricerca e della proprietà intellettuale, importanti perché offrono potenziali sbocchi professionali alla conclusione del progetto formativo del Corso di Dottorato di Ricerca in Scienze Fisiche e Chimiche. Tali tematiche saranno affrontate attraverso l'organizzazione di seminari di approfondimento in aree di particolare interesse quali l'etica della ricerca scientifica e il reperimento di fondi di ricerca. Queste attività formative potranno anche giovare dei periodi di soggiorno all'estero (non inferiori a 3 mesi), che coinvolgono la maggior parte dei dottorandi. Inoltre, in alcuni percorsi specifici del Corso, gli allievi sviluppano le proprie ricerche presso la sede di imprese partner che cofinanziano il progetto, acquisendo quindi competenze peculiari dei professionisti della ricerca, ovvero la capacità di individuare soluzioni non convenzionali, creando sviluppo e innovazione.

- Sviluppo di capacità di disseminazione/comunicazione dell'attività di ricerca, trasferimento tecnologico e imprenditoriale, sotto forma di seminari, workshop, congressi e/o partecipazione ad eventi divulgativi specifici finalizzati alla fruizione di nozioni fondamentali utili per il futuro inserimento dei dottorandi in strutture pubbliche o private che operano nel settore della ricerca industriale e/o in imprese per lo sviluppo di progetti di ricerca e sviluppo tecnologico (R&ST). A tale scopo, il progetto formativo prevede l'organizzazione di giornate di incontro tra gli studenti del Corso di Dottorato e figure professionali provenienti da centri di ricerca scientifica e/o parchi tecnologici che si occupano di ricerca e innovazione, che potranno fornire nozioni e metodologie utili per analizzare il reale bisogno di innovazione in un'impresa e per individuare nel mondo della ricerca pubblica o privata una soluzione (tecnologia o competenza) in grado di soddisfarlo.

- Approfondimento linguistico avanzato (lingua Inglese) finalizzato innanzitutto a facilitare la stesura della tesi finale nella sopracitata lingua e ad incentivare le molteplici collaborazioni scientifiche internazionali peculiari del percorso di dottorato. Tali abilità linguistiche sono anche cruciali per la divulgazione dei risultati della ricerca sia in forma orale (congressi/scuole internazionali) che scritta (stesura di lavori scientifici su riviste internazionali e di eventuali progetti di ricerca internazionali).

- Perfezionamento informatico attraverso l'utilizzo di programmi avanzati di calcolo matematico (Matlab, Mathematica e codici dedicati) e di software specifici per le diverse aree:

Sistema di Calcolo per l'Astrofisica Numerica, IDL, R, PYTHON con le librerie specializzate per l'astrofisica  
Software di Chimica Quantistica e Meccanica Molecolare: Gaussian, SIESTA, Molpro, Dirac, QuantumEspresso, Yamboo, DFTB+, Gromacs, FDMNES, Hilbert++;

Software per data Mining: pyMCA, Orange;

Software per l'analisi di diffrazione dei raggi X: GSAS-II, Topas-Academic

Programmi di visualizzazione molecolare: Molden, VMD, VESTA

I dottorandi hanno inoltre la possibilità di partecipare alla scuola Matlab, linguaggio per il calcolo tecnico e ambiente di programmazione per lo sviluppo di algoritmi, per l'analisi di dati, la visualizzazione e il calcolo numerico, organizzata annualmente dal DiFC.



### Visibilità del progetto formativo (D.PHD.1.5)

Il progetto formativo e di ricerca del Corso di Dottorato è pubblicizzato sul sito web esistente, <https://www.unipa.it/dipartimenti/difc/dottorati/scienzefisicheechimiche/>. Inoltre, alla luce della proiezione internazionale del Corso che annovera diversi dottorandi stranieri, tutti i contenuti del sito web sono anche fruibili in lingua inglese.

Il sito web è aggiornato periodicamente per poter contenere tutte le informazioni opportune, relative all'organizzazione del corso e ai servizi a disposizione dei dottorandi. Prima dell'avvio delle attività del 41° ciclo, il Corso di Dottorato si impegna a implementare la visibilità del sito creando dei link alle pagine personali dei docenti del Collegio ad altri contenuti, anche suggeriti dai dottorandi, sull'organizzazione di eventi e sui servizi.

### Mobilità e internazionalizzazione (D.PHD.1.6)

Il Corso di Dottorato è sempre stato attento a rafforzare collaborazioni scientifiche nazionali e internazionali, assicurando al dottorando periodi di mobilità coerenti con il progetto di ricerca verso altre istituzioni accademiche, centri di ricerca e imprese, altamente qualificate nel panorama scientifico. Nei fatti, in accordo agli indicatori di monitoraggio 2 e 4 (codici AVA3 H.O.O.B e AVA3 H.O.O.D), la larga maggioranza di dottorandi trascorre dei periodi (3-6 mesi) di formazione e ricerca presso istituzioni internazionali. Questa "naturale" mobilità dei dottorandi verso sedi nazionali e straniere è stata finora proficua per realizzare tesi di dottorato in collaborazione, nell'ambito di convenzioni ed accordi di cotutela che prevedono il rilascio di doppio titolo. Sono attualmente attive convenzioni di cotutela, sia incoming sia outgoing, con Université Paris Cité, Université Paul Sabatier di Toulouse III, Université Jean Monnet di St-Etienne, Università Tecnica Nazionale dell'Ucraina. È utile osservare che per alcune borse (PON, PNRR) la mobilità presso Istituzioni accademiche e/o industriali o presso enti di ricerca pubblici o privati, italiani o esteri, è obbligatoria e la durata del periodo di ricerca fuori sede è in genere di 6 mesi. Inoltre, la proiezione del Corso di Dottorato verso l'internazionalizzazione è anche testimoniata dal trend positivo nel rilascio del titolo di Doctor Europaeus ed è anche misurata da numerose pubblicazioni di articoli su riviste internazionali con coautori stranieri.

Per il 41° ciclo, il Collegio dei Docenti si impegna affinché la maggior parte degli allievi trascorra un periodo di formazione all'estero di almeno un trimestre. A tale fine, in linea con l'Obiettivo 1.4 del PS del DiFC "Favorire l'avvio delle carriere dei giovani studiosi in un ambito internazionale" si prevedono le seguenti azioni:

- Partecipare a bandi di finanziamento di borse di dottorato che prevedano esperienze di formazione presso enti di ricerca o aziende estere.
- Incoraggiare la partecipazione a bandi di mobilità internazionale per giovani ricercatori (bandi ERASMUS, Fullbright, DAD etc).