



Documento di Progettazione iniziale del Corso di Dottorato di Ricerca

Dottorato di Ricerca: SCIENZE FISICHE E CHIMICHE
Dipartimento di riferimento: Dipartimento di Fisica e Chimica (DiFC) - Emilio Segrè
Anno accademico di attivazione: 2023/2024 (Ciclo: XXXIX)
Approvato nella riunione del collegio del 18/05/2023

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.

L'obiettivo principale del Corso è quello di formare giovani ricercatori scientificamente "versatili", in grado di operare nel campo della ricerca fondamentale e applicata presso Università ed enti di ricerca, nell'insegnamento nella scuola secondaria, e nel mondo produttivo in ambito industriale, finanziario, o in quello delle consulenze aziendali. 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, a carattere sperimentale, teorico e applicativo. La formazione degli allievi viene anche curata attraverso seminari e attività laboratoriali, tenuti dai membri del collegio dei docenti e da ricercatori di altre istituzioni italiane e straniere. 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, è fortemente incoraggiato lo svolgimento di periodi di formazione e ricerca presso centri di ricerca e Università internazionali al fine di sviluppare e approfondire le tematiche di interesse per il lavoro di tesi.

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

Il Corso di Dottorato punta ad offrire un percorso formativo attento ai moderni processi di innovazione ed 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 multidisciplinare, 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;

Fisica dei sistemi complessi;

Nanomateriali per elettronica e fotonica;

Didattica della Fisica;

Chimica dei materiali e nanotecnologie;

Chimica analitica ambientale

- **Sbocchi occupazionali e professionali previsti**

Il Dottorato di Ricerca in Scienze Fisiche e Chimiche mira a formare allievi 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. La fisica e la chimica sono infatti scienze trasversali a diverse discipline scientifiche (matematica, statistica, informatica, medicina, biologia, economia) e favoriscono sbocchi professionali in ambito accademico, industriale (energia, elettronica, fotonica), 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 universitari e di enti di ricerca, deputate all'uso di complesse strumentazioni per l'acquisizione di misure scientifiche nei campi della Fisica e della Chimica;



- 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)
- Insegnamento delle materie scientifiche in scuole secondarie di primo e secondo grado

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

Il Corso di Dottorato dedica molta attenzione per rafforzare l'occupabilità e la crescita professionale dei dottorandi tramite azioni mirate a raccogliere le indicazioni offerte dalle parti interessate (stakeholder): esponenti del Mondo del Lavoro, delle Professioni, 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, grazie anche all'iniziativa dei docenti nel promuovere 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 di borse di dottorato e, alcune occasioni, i nostri dottori di ricerca sono stati assorbiti da aziende con le quali il Dottorato di Ricerca ha collaborato.

Queste attività saranno ulteriormente intensificate coinvolgendo gli stakeholder a tenere dei seminari, nell'ambito di alcuni Workshop organizzati dal Corso di Dottorato, attraverso i quali sarà data la possibilità ai rappresentanti delle imprese di conoscere il flusso di conoscenze e competenze acquisite dai dottorandi durante il loro percorso formativo e, al contempo, agli allievi del Dottorato di Ricerca di conoscere le richieste del mondo imprenditoriale.

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) e con il Piano Strategico di UNIPA che mira a:

- qualificare e valorizzare il Dottorato di Ricerca in una prospettiva 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 (PON "Ricerca e Innovazione" 2014-2020, PNRR), fondi della Regione Sicilia. Si sottolinea che negli ultimi cicli, alcune borse di Dottorato sono state finanziate da istituti di ricerca come l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) e da imprese presenti sul territorio come STMicroelectronics;
- 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 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. I dottorandi possono anche accedere alle 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 seguire le attività formative di carattere interdisciplinare (seminari, eventi) organizzate dalla Scuola di Dottorato di UNIPA;

- 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 seguente lista:

- 1) Advanced microscopy and spectroscopy techniques applied to nanomaterials
- 2) Advanced time resolved spectroscopy
- 3) Organic/Inorganic Nanocomposites: thermodynamics, structure, and applications
- 4) Numerical methods for out-of-equilibrium statistical physics
- 5) Open quantum systems and quantum machine learning
- 6) Experimental techniques in astroparticle physics
- 7) Extrasolar Planets
- 8) Project Management in the Scientific-Spatial Context
- 9) Introduction to DFT and TDDFT
- 10) Astrophysics laboratory of thermal X-ray plasmas
- 11) Millisecond Pulsars: Theory and Observations
- 12) Introduction to agent-based models
- 13) Long Range correlations in statistical physics
- 14) Quantum field theory in a curved spacetime or in non-inertial frames
- 15) Quantum optics & topology in photonic lattices
- 16) Quantitative and Qualitative Analysis Methods in Physics Education Research
- 17) Quantum Information Theory and Quantum Computing
- 18) Heterogeneous Catalysis: Computational and Experimental Perspective
- 19) X-Ray Photoelectron Spectroscopy - materials and biomaterials analysis and applications

Il calendario delle lezioni frontali 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.

- 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 forniti sia all'interno del Collegio dei Docenti del Dottorato in Scienze Fisiche e Chimiche sia dalla Scuola di Dottorato di UNIPA. 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. Tali tematiche potranno essere 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. L'obiettivo finale delle attività formative sopra riportate rafforza la formazione nel campo della gestione e della valorizzazione della ricerca e della proprietà intellettuale, la conoscenza dei sistemi di ricerca europei e internazionali e fa da volano anche in riferimento alla conoscenza dei potenziali sbocchi professionali affini alle tematiche del progetto formativo del Corso di Dottorato di Ricerca in Scienze Fisiche e Chimiche.

- 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 Meccanica Quantistica e Molecolare: Gaussian, SIESTA, Psi3, Molpro, Dirac10, NWChem, VASP, DL_POLY; programmi di visualizzazione molecolare: Molden, Molekel, gOpenMol.

Software per la simulazione atomistica (NAMD, VMD, MDAnalysis, HOLE, GIMP, Inkscape, Pymol, Rasmol, Avogadro, Clustal X, Jmol, Grace)

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/scienze fisiche e chimiche/>. 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

Nel futuro, si intende implementare la visibilità del sito creando ulteriori pagine web dedicate ai curricula dei docenti del Collegio ad altri contenuti, anche suggeriti dai dottorandi, sull'organizzazione del corso e sui servizi.

Mobilità e internazionalizzazione (D.PHD.1.6)

Il Corso di Dottorato, Internazionale fino al 37° ciclo, 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. Ciò ha favorito una "naturale" mobilità dei dottorandi verso sedi nazionali e straniere al fine di 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.