



Allegato 3 - Documento di pianificazione e di organizzazione delle attività formative e di ricerca

DENOMINAZIONE DEL CORSO DI DOTTORATO	
Denominazione in inglese	Physics and Astrophysics
Coordinatore	Giuliano Benenti
Anno accademico	2024/25
Cicli di riferimento	XXXVIII-XXXIX-XL
Data di approvazione del Collegio	15/11/2024

Pianificazione annuale delle attività formative

Va predisposto un elenco delle attività formative (corsi, seminari, eventi scientifici ecc), specificando la durata in ore, i CFU, il SSD, l'anno e le tematiche e quali attività prevedono una verifica finale, prevedendo la partecipazione sia dei docenti componenti del Collegio che di studiosi ed esperti italiani e stranieri di alto profilo provenienti dal mondo accademico, dagli enti di ricerca, dalle aziende, dalle istituzioni culturali e sociali. Vanno indicate le attività dedicate al perfezionamento linguistico e informatico. Le attività devono essere distinte da quelle previste per i corsi di studio di I e II ciclo. In riferimento al progetto formativo vanno evidenziati i seguenti elementi previsti nei punti di attenzione:

In accordo con il piano formativo della Scuola di dottorato, i dottorandi in Fisica e Astrofisica sono tenuti a seguire durante i tre anni del loro corso, secondo un piano didattico approvato dal Collegio dei docenti, almeno 60 ore di lezione all'interno degli insegnamenti programmati dal Collegio dei docenti del dottorato in Fisica e Astrofisica, oltre ad almeno 24 ore di attività trasversali offerte nell'ambito della Scuola di dottorato e del Teaching and Learning Center, e a 8 ore a libera scelta. Si specifica che il numero di ore di lezione per CFU ammonta ad 8.

Durante l'anno accademico 2024/25 il corso di dottorato in Fisica e Astrofisica offrirà ai propri allievi i seguenti **corsi specifici**, nettamente distinti da quelli impartiti in insegnamenti relativi ai corsi di studio di primo e secondo livello, strettamente funzionali alle attività di ricerca previste nel corso di dottorato:

- 1) *Advanced topics in astrophysics* (20 ore, 2.5 CFU, SSD: PHYS-05/A, prevista verifica finale)

Docenti: Profs. Stefano Covino (INAF), Francesco Haardt, Alessandro Lupi, Mattia Sormani

Multiscale simulations: incorporating unresolved physical processes in advanced numerical simulations. Search for periodicity in astrophysical time-series. Structure and Physics of the Milky Way. Physics of the reionization era.

- 2) *Feynman path integrals* (10 ore, 1.25 CFU, SSD: PHYS-02/A, prevista verifica finale)

Docente: Prof. Philip Ratcliffe

This short lecture series provides a very brief introduction to the Feynman Path Integral approach to quantisation, which represents a completely original and alternative axiomatic basis for quantum theories. While developed within the framework of non-relativistic quantum mechanics, the method is of particular importance (for its clarity and simplicity) in second or field quantisation. However, it finds useful applications in many other areas, as diverse as statistical mechanics and even, for example, financial analysis. Being limited to eight hours of front-on lectures, little attention is paid to mathematical rigour. In other words, a description of the physical basis and significance will be provided, together with some of the interesting applications of the technique of relevance to physics.



3) *Quantum technologies* (20 ore, 2.5 CFU, SSD: PHYS-03/A e PHYS-04/A, prevista verifica finale)

Docenti: Profs. Alessia Allevi, Giuliano Benenti, Maria Bondani (CNR)

The second quantum revolution is unfolding now, exploiting the enormous advancements in our ability to detect and manipulate single quantum objects and triggering the development of the different quantum technologies. The course, after a preliminary introduction to the principles of quantum information, is intended to introduce the different quantum technologies for computing, simulation, communication, metrology, and machine learning, including quantum optics laboratory demonstration of quantum information protocols.

4) *Non-Newtonian aspects of general relativity* (20 ore, 2.5 CFU, SSD: PHYS-02/A, prevista verifica finale)

Docente: Prof. Sergio Cacciatori

This is a 20 hours course, where some specific aspects of the general relativistic dynamics will be discussed, compared to the analogous mechanisms in Newtonian gravity, when allowed. The main topics included in the course are: -Einstein equations and their comparison with Newtonian gravity: time dependence, non-harmonicity, tensorial character, non-linearity; -Gravitational waves: generation and detection; weak and strong gravitational waves, effective one-body formalism; -Dragging effects and weak and strong gravitomagnetism, with applications to the motion of massive bodies and galaxies. However, modifications on the program can be considered on demand, in order to adapt the details of the lessons to the specific needs of the students.

5) *Fluorescence methods in molecular biophysics* (20 ore, 2.5 CFU, SSD: PHYS-06/A, prevista verifica finale)

Docente: Prof. Luca Nardo

Biophysics is a subject intrinsically at the interface between hard sciences and life sciences, and constitutes an ideal bridge within these two fascinating universes. In this teaching module the biophysical approach will be outlined, evidencing its specificities and originality with respect to classical biological subjects. The basics of molecular biology will be sketched in "pills". In so doing, the students will be led to mature a deep comprehension of the intimate relationship between biomolecules structures and their biological function. Subsequently, some considerations will be driven about the peculiar thermodynamics of metabolic reactions. Binding reactions will be modelled in details evidencing their crucial role in metabolic regulation. The main concepts underlying the electronic state transition spectroscopy of molecules in solution will be recalled. The advantages of fluorescence will be discussed and several advanced fluorescence techniques will be presented and applied to the elucidation of binding equilibria. Particularly, we will focus on time- resolved and fluctuation analyses methods. Further, we will correlate the conformational dynamics of biomolecules with benchmark spectral features, introducing fluorescence resonance energy transfer, both applied on molecular ensembles and at the single molecule level, as a powerful tool to characterize biomolecular structures and interactions. All the above topics will be tackled by relying both on examples extracted from the research experience of the teacher and on critical examination of seminal papers from the historical literature. At the end of the course, the students will inherit a comprehensive panorama of time-correlated single photon counting, fluorescence correlation spectroscopy and single- molecule fluorescence resonance energy transfer. Moreover, they will gain some insight on the molecular mechanisms governing life and on the physical laws on which they are based.

6) *Low-noise measurements and feedback: a laboratory* (20 ore, 2.5 CFU, SSD: PHYS-06/A, prevista verifica finale)



Docente: Prof. Marco Lamperti

Freshman statistics tells you that if you want data with lower noise, you can always average for longer. Sometimes this would take an unfeasible amount of time, other times you might realize that noise increases with the duration of the measurement - the infamous experimental drifts - and more averaging is detrimental. In this hands-on course we will introduce how to characterize the time dependence of noise using the noise power spectral density, and how to identify the best averaging time before drifts kill the measurement through the Allan deviation. We will introduce two methods for increasing signal-to-noise ratio: lock-in detection, which works well when the property to be measured can be switched on and off periodically, and closed-loop feedback control, to stabilize the experimental apparatus and reduce drifts in the first place. The course is well suited to experimentalists and theoreticians alike: we will see techniques at work in any mobile phone and modern kitchen oven, that can be implemented in many experimental setting but also used to understand how gravitational waves are detected.

- 7) *Advanced concepts of light-matter interaction and their applications* (10 ore, 1.25 CFU, SSD: PHYS-03/A, prevista verifica finale)

Docente: Prof.ssa Ottavia Jedrkiewicz (CNR)

This short course introduces students to the basic concepts of light-matter interactions and their applications. It begins with an introduction to laser physics and the different regimes of light-matter interaction driven by intense laser fields. The course then focuses on key applications of lasers, such as micromachining (cutting, drilling, and machining of transparent materials), medical applications (e.g., eye surgery), and applications to astrophysics (spectroscopy and interferometry).

Sono previsti inoltre **seminari/colloquia/minicorsi** da parte di visitatori del Dipartimento di Scienze a Alta Tecnologia su varie tematiche di interesse attuale, quali la data science, i big data, il machine learning, l'intelligenza artificiale, le tecnologie quantistiche, la biofisica. Il programma dettagliato dei seminari verrà stabilito durante le riunioni del Collegio dei Docenti e sfrutterà la possibilità di attrarre visitatori mediante la programmazione per visiting professors del nostro Ateneo o tramite altri fondi resisi disponibili.

È già stato programmato per novembre il minicorso (10 ore) su *Lectures on Stellar Dynamics*, tenuto dal Prof. James Binney (Univ. di Oxford), astrofisico di fama mondiale.

Course rationale: The book “Galactic Dynamics” by Binney & Tremaine has been the standard textbook on stellar dynamics since its first edition in 1987. Although updated with a second edition in 2008, the book reflects the authors’ understanding of the subject in the early 1980s. Fortunately, there has been a lot of progress in the last 40 years and a fresh start is in order. The ambition of the course is to provide a modern and succinct overview of the field of stellar dynamics.

Le **attività trasversali** per i dottorandi offerte nell’ambito della Scuola di dottorato o dal Teaching and Learning Center in accordo con la Scuola di dottorato saranno, per l’anno accademico 2024/25, le seguenti:

- 1) *“Innovation Camp” for Insubria PhD students - A deep dive into innovation and execution* (36 ore)

Objective: According to EU Council, entrepreneurship is one of the eight Key Competences for Lifelong learning. Innovation Camp for PhD Students is a course dedicated to the dissemination of entrepreneurship and innovation concepts among PhD students and to the development of the related hard and soft skills. It begins from the milestones of the lean startup approach up to the development of an innovative idea. At the end of the course an open badge will be issued to all participants who attended both the open day and at least 75% of the remaining proposed activities.



Course topics: Open day: Research potential, entrepreneurship, and technology transfer (4 h); Introduction to startup world (4 h); Legal aspects (4 h); The Lean Startup with hands-on (4 h); Funding and supporting the idea (4 h); Communication of the idea (4 h); Team working & mentoring activities (4 h); Pitch refinement session (4 h); Final presentation of business ideas (4 h)

2) *Safety in the laboratory* (14 ore)

Legal aspects. Working with videoterminals. Working with chemicals. Working with lasers and radioactive sources. Biohazard.

3) *Artificial intelligence* (8 ore)

Foundations of AI. The AI act. Applications (Biology, Surgery, Medicine, Economics, Humanities, Astrophysics, Materials science)

4) *Research integrity* (12 ore)

The course aims to promote knowledge of the principles and standards defined in the European Code of Conduct for Research Integrity (<https://allea.org/wp-content/uploads/2023/06/European-Code-of-Conduct-Revised-Edition-2023.pdf>), providing essential tools for their application in various contexts where scientific research is conducted. It takes into account the roles of the different figures involved in various capacities, their tasks and responsibilities, as well as the pressures each may face from time to time. The code applies to all scientific and humanities disciplines and promotes the importance of honesty and collaboration in the research process. The research community has the responsibility to formulate principles, ensure the quality and integrity of research, and actively respond to situations where forms of scientific misconduct occur. The code aims to strengthen this responsibility and provide tools to prevent and – if necessary – recognize and manage violations of research integrity.

5) *Academic writing and publishing* (8 ore)

By the end of the course, students should be able to: craft texts in different genres (e.g., summary, problem statement, annotations, etc.); produce an original academic research paper in your field of studies; practice analysis in written form through synthesis of academic papers; provide constructive feedback to peers on their written work, and address issues identified by the instructor and peers when revising one's own written work.

6) *Personal branding* (12 ore)

At the end of the course, the participant will be able to effectively manage their presence on social media by creating high-quality content and will know how to communicate in an official capacity to best promote themselves on their personal and professional channels.

7) *Public speaking* (8 ore)

The course introduces important elements of successful presentations including effective listening, presentation organization, and logical structure; informative and persuasive speech; use of visual aids, research, and evidence; ethical considerations; and techniques for building confidence in public speaking. Objectives: to increase confidence and poise when speaking to audiences or groups; to expand student's abilities with computer mediated communication in order to better prepare them for future presentations online; to enrich students' ability to master all components that make a speech successful: understanding timing, figuring out how much practice is needed, ensuring deliverables are clear, and being able to meet deadlines.

8) *Project management* (8 ore)

How to start, define and organize a project; how to develop a project plan, including scoping, sequencing tasks, and determining the critical path; how to assess, prioritize and manage project risk; how to execute projects and use the earned value approach to monitor and control progress.

Per quanto riguarda il **perfezionamento linguistico**, a livello di scuola di dottorato verrà attivato un corso di lingua inglese riservato ai dottorandi. Il corso è facoltativo e riservato a tutti i dottorandi che intendano frequentarlo. Il corso mirerà a un miglioramento e consolidamento delle 4 abilità fondamentali della lingua (listening, reading, speaking, writing) e fornirà ai frequentanti alcune strategie utili ad affrontare un possibile esame di Certificazione (B2 FIRST – Cambridge Assessment English, Livello B2 del Quadro Comune Europeo di Riferimento per la Conoscenza delle Lingue, QCER). Le lezioni saranno integrate da un percorso di apprendimento misto della lingua inglese tramite la piattaforma software MacMillan English Campus (MEC), che prevede esercizi di listening e reading comprehension, pronuncia e grammatica ritagliati sul livello dei singoli dottorandi e utili all'acquisizione graduale di competenze necessarie a raggiungere il livello B2.

Infine, per quanto riguarda il **perfezionamento informatico**, essendo diverse le competenze richieste dai vari ambiti di ricerca, si ritiene più idoneo proporre la partecipazione degli allievi a scuole tematiche, quali ad esempio la CERN School of Computing o corsi del CINECA. La scelta dei corsi specifici e delle altre attività formative sono soggette all'approvazione dal Collegio dei docenti, che terrà conto delle necessità formative dei singoli allievi, in relazione anche al loro progetto di tesi.

A) Integrazione dei dottorandi nella comunità scientifica

Va indicata la presenza di momenti formativi di scambio/presentazione dei risultati della ricerca (numero e cadenza temporale)

Il dottorando deve tenere in Dipartimento alla fine del primo e del secondo anno di corso (durante il mese di novembre) un seminario sulla sua attività di ricerca, accessibile anche ai non esperti dello specifico settore. Deve inoltre tenere in Dipartimento (durante la primavera del suo secondo anno di corso) un seminario su un argomento di un'area diversa rispetto a quella in cui si sviluppa il suo lavoro di tesi. In alternativa, il dottorando può tenere un seminario su un argomento nel suo ambito di ricerca, di interesse generale e diverso dallo specifico argomento di tesi. Tale seminario va inteso come rivolto ai non esperti del campo ed ha lo scopo di ampliare gli interessi del dottorando oltre il suo specifico lavoro di tesi. Riguardo a questi seminari, tutti i dottorandi sono tenuti a seguire i seminari dei colleghi, al fine di favorire l'interazione tra i dottorandi medesimi e una loro più efficace integrazione nella comunità scientifica. Queste attività favoriscono lo sviluppo delle communication skill, che arricchiscono e completano la formazione del dottorando.

Il dottorando è inoltre tenuto a seguire almeno una Scuola Internazionale (quali, a puro titolo esemplificativo, la locale Lake Como School, la scuola Enrico Fermi di Varenna, e le scuole organizzare da ICTP e CECAM), che costituiscono occasioni uniche per entrare a contatto con la comunità scientifica internazionale nel suo settore di ricerca. Inoltre, in occasione di scuole e conferenze a cui partecipano i dottorandi hanno spesso l'occasione di presentare il loro lavoro tramite poster o brevi presentazioni orali.

Sono infine caldeggiati soggiorni di ricerca all'estero dei dottorandi, favoriti anche dall'aumento fino al 50% della borsa di dottorato. Essi non sono considerati obbligatori ma il corso di dottorato in Fisica e Astrofisica ha come target un periodo medio previsto all'estero di almeno 3 mesi per studente.



B) Autonomia del dottorando

Vanno illustrate le attività organizzate per sviluppare l'autonomia del dottorando nel concepire, progettare, realizzare e divulgare programmi di ricerca e/o di innovazione

Al fine di sviluppare l'autonomia del dottorando nel concepire, progettare, realizzare e divulgare programmi di ricerca e/o di innovazione, sono previsti corsi trasversali, il cui contenuto è stato descritto sopra nella pianificazione annuale delle attività formative, sulla valorizzazione dei prodotti della ricerca ("Innovation camp"), sulla scrittura scientifica (corso su Academic writing and publishing), sulla disseminazione dei risultati della ricerca (corsi su Public speaking e Personal branding) e sulla gestione dei progetti di ricerca (corso su Project management).

C) Risorse Finanziarie e strutturali

Vanno indicate le risorse disponibili per le attività del Dottorato e fornite dall'Ateneo/ Dipartimento. Specificare quali risorse finanziarie e strutturali sono a disposizione dei Dottorandi per lo svolgimento delle attività di studio e di ricerca. (posti, borse, budget aggiuntivi ecc.)

Per lo svolgimento dell'attività di ricerca in Italia e all'estero, oltre alla borsa di studio, è assicurato al dottorando un budget corrispondente al 10% della sua borsa di dottorato. Possibili risorse aggiuntive dipendono dalle disponibilità del gruppo di ricerca con cui lavora il dottorando. Il budget di funzionamento del corso di dottorato in Fisica e Astrofisica (1500 euro/anno negli ultimi anni) permette l'organizzazione di alcuni seminari/colloquia. Risorse aggiuntive per invitare visiting professor sono state sporadicamente disponibili in passato.

D) Attività didattiche e di tutoraggio

Vanno previste le attività didattiche e/o tutoraggio coerenti con il progetto di ricerca consentite ad ogni dottorando (numero massimo di ore annue)

Il dottorando può svolgere attività di tutorato e di didattica integrativa presso l'Università degli Studi dell'Insubria, fino ad un massimo di quaranta ore annue. Tali attività sono caldegiate ma non considerate obbligatorie.

Calendario annuale

A seguito dell'aggiornamento annuale dell'offerta, viene aggiornato anche il calendario delle attività

Si riporta di seguito il calendario tentativo dei corsi specifici offerti dal dottorato in Fisica e Astrofisica per l'anno accademico 2024/25. Il calendario potrà subire modifiche, anche in seguito ad esigenze dei dottorandi o alla disponibilità di aule.

1. Advanced topics in astrophysics (Profs. Stefano Covino, Francesco Haardt, Alessandro Lupi, Mattia Sormani)

November 26, 27, h. 11-13:30

December 3, 4, h. 11-13:30

January 14-15, h. 11-13:30

February 4-5, h. 11-13:30

2. Feynman path integrals (Prof. Phil Ratcliffe)

April 29, h. 11-13

May 6, 13, 20, 27, h. 11-13

3. Quantum technologies (Profs. Alessia Allevi, Giuliano Benenti, Maria Bondani)

April 8, 9, 16, h. 14-16

May 6, 7, 13, h. 14-16

May 27, 28, h. 9:30 – 12:30

3. Non-Newtonian aspects of general relativity (Prof. Sergio Cacciatori)

March 11, 13, 18, 20, 25, 27, h. 16-18

April 1, 3, 8, 10, h. 16-18

5. Fluorescence methods in molecular biophysics (Prof. Luca Nardo)

January 8, h. 10-12

January 10, 15, 17, h. 10-13

January 22, 24, h. 10-12

January 29, h. 10-13

January 31, h. 10-12

6. Low-noise measurements and feedback: a laboratory (Prof. Marco Lamperti)

January 10, 17, 24, 31, h. 14-18

February 7, h. 14-18

7. Advanced concepts of light-matter interaction and their applications (Prof.ssa Ottavia Jedrkiewicz)

April 28, 30, h. 11-13

May 5, 7, 12, h. 11-13

Il calendario dei seminari/colloquia/minicorsi verrà stabilito e aggiornato durante le prossime riunioni del Collegio dei Docenti.

È già disponibile il calendario del minicorso di *Lectures on Stellar Dynamics* tenuto da James Binney (Univ. Oxford):

November 18, 19, 20, 21, h. 14-16

November 22, h. 11-13