

**Corso di studi: Fisica (Laurea magistrale)****Denominazione:** Fisica**Dipartimento :** FISICA**Classe di appartenenza:** LM-17 FISICA**Interateneo:** No**Interdipartimentale:** No**Obiettivi formativi:** Gli obiettivi formativi del corso di Laurea Magistrale in Fisica, comprendono:

- una solida e approfondita preparazione culturale nei diversi campi della Fisica;
- un'approfondita conoscenza delle moderne strumentazioni di misura e delle tecniche di analisi dei dati;
- un'approfondita conoscenza di strumenti matematici ed informatici di supporto;
- una rigorosa padronanza del metodo scientifico di indagine;
- una elevata preparazione scientifica e operativa in almeno una delle discipline che caratterizzano la classe: Astrofisica, Biofisica, Elettronica, Fisica Applicata, Fisica Medica, Fisica della Materia, Fisica dello Spazio, Fisica Nucleare, Fisica Subnucleare e Astroparticellare, Fisica Teorica, e Geofisica.
- attitudine ad inserirsi nel mondo della ricerca scientifica o in realtà lavorative che necessitino di elevate conoscenze scientifiche e tecnologiche.

Per questo scopo, il corso di Laurea Magistrale e' articolato in curricula che rispondono a specifiche esigenze formative, e che corrispondono a linee di ricerca attive presso il Dipartimento di Fisica o presso Istituzioni ad esso collegate.

La preparazione raggiunta nella Laurea Magistrale, si qualifica per mezzo di conoscenze specifiche che, a seconda del curriculum scelto, assumono la forma di:

- una conoscenza approfondita degli aspetti fondamentali della fisica teorica e una conoscenza operativa dei metodi matematici e di calcolo numerico e simbolico. In particolare, lo studente apprenderà la teoria dei campi classici e quantizzati e la meccanica statistica, e le loro applicazioni alle interazioni fondamentali e alla fisica dello stato condensato;
- un'approfondita comprensione e capacità operativa per un'attività di ricerca in una larga varietà di problematiche della Fisica della Materia, come fisica atomica e molecolare, fisica dei plasmi, elettronica quantistica, biofisica, fisica dello stato solido, fisica dei liquidi e sistemi disordinati, fisica delle superfici e delle interfacce, fisica computazionale. Ciascuna di queste aree di ricerca coinvolge preparazione sia teorica sia sperimentale;
- conoscenze teoriche e fenomenologiche insieme con capacità operative per un'attività di ricerca nel campo della Fisica delle particelle nucleari e subnucleari, della fisica delle onde gravitazionali e di quella delle particelle d'origine cosmica.
- una conoscenza approfondita degli aspetti fondamentali dell'astrofisica e della fisica dello spazio, con i legami che intercorrono tra le evidenze astrofisiche e la fisica di base. Saranno sviluppati gli aspetti teorici e sperimentali della disciplina;
- un'approfondita comprensione e capacità operativa per un'attività di ricerca e di inserimento in differenti settori di lavoro, nel campo della Fisica Medica, con particolare attenzione allo sviluppo di dispositivi fisici per diagnostica biomedica.

**Numero stimato immatricolati:** 130**Requisiti di ammissione e modalità di verifica:** I requisiti curriculari per l'ammissione al corso di Laurea Magistrale sono 90 CFU maturati nei SSD di Fisica (SSD FIS/01-08).

Sono ammessi inoltre gli studenti dell'Ecole Polytechnique (Palaiseau, Francia) su selezione dell'Ecole stessa e successivamente previo esame di ammissione da parte del Dip. di Fisica di Pisa, come regolato da specifica convenzione e "learning agreement" fra Ecole Polytechnique e Università di Pisa.

Il livello richiesto di conoscenza della lingua inglese è il B2.

L'adeguatezza della preparazione personale e della conoscenza della lingua viene verificata tramite l'esame del curriculum dello studente ed un eventuale colloquio a cura del Presidente del CdS o di un suo delegato.

Specifica CFU: Per i corsi cattedratici e di laboratorio la corrispondenza tra crediti e ore di didattica frontale viene stabilita al momento

**Specifica CFU:** Per i corsi cattedratici e di laboratorio la corrispondenza tra crediti e ore di didattica frontale viene stabilita al momento della Programmazione Didattica nel rispetto del vigente Regolamento Didattico di Ateneo.

**Modalità determinazione voto di Laurea:** La Commissione dell'esame di Laurea formula il proprio giudizio considerando la carriera complessiva del candidato ed in particolare:

- l'intero percorso formativo del candidato analizzando:
  - a) i voti degli esami da lui sostenuti nel corso di laurea magistrale;
  - b) la consistenza scientifica e la coerenza del suo piano di studi.
- il valore scientifico del lavoro svolto nella Tesi di Laurea, tenendo conto in particolare
  - a) dell'autonomia dimostrata dal candidato nello svolgimento del lavoro di tesi;
  - b) della qualità dell'elaborato scritto e dell'esposizione orale;
  - c) dell'originalità dimostrata dal candidato;
  - d) del contributo personale del candidato ai risultati ottenuti.

Il voto di Laurea e' espresso in centodecimali. La Commissione giudicatrice su proposta del Presidente, può attribuire la lode con parere unanime.

**Attività di ricerca rilevante:** Il Dipartimento di Fisica di Pisa ha una importante e riconosciuta tradizione di ricerca in ambito internazionale. Le attuali linee di ricerca possono essere brevemente riassunte come segue:

Fisica teorica: Interazioni fondamentali; Teoria quantistica dei campi; Fisica statistica; Fenomeni critici; Fisica dello stato condensato; Sistemi a molto corpi quantistici; Sistemi disordinati; Fisica Nucleare; Fisica dello stato solido.

Fisica della materia:

NanoLab; Fenomeni non lineari, raffreddamento laser, onde di materia, quantum simulations; Metrologia e Spettroscopia ad alta risoluzione; Spettroscopia con sorgenti coerenti e simulazione numerica per lo studio di polimeri e glassformers; Fisica in campi laser intensi e ultrabrevi; Cristalli Liquidi; Comportamento non lineare e stocastico di sistemi fisici; Ablazione Laser; Fenomeni collettivi nei plasmi; Spettroscopia lineare e non lineare nel regime di moto lento; Proprietà elettroniche, ottiche e di trasporto di nanostrutture di semiconduttori; Fisica dei polimeri, liquidi super raffreddati e vetri; Comportamento dielettrico e



## Regolamento Fisica

proprietà di trasporto di sistemi macromolecolari; Dinamica elettrone fonone ed effetto Jahn-Teller; Dinamica non lineare nei plasmi; Spettroscopia a radiofrequenza ed elettronica quantistica; Nuovi materiali per applicazioni laser.

### Astronomia e astrofisica:

Cosmologia/struttura ed evoluzione galattica; Astrofisica delle alte energie/Fisica astroparticellare; Mezzo interstellare; Sistema solare/Pianeti extrasolari; Plasma/MHD/Fluidi; Astrofisica stellare.

### Fisica applicata:

Ricerca e sviluppo in adroterapia. Sviluppi e applicazioni dei fotomoltiplicatori al silicio alla tomografia ad emissione di positroni. Diagnosi coadiuvata dal Computer. Applicazioni delle sorgenti Thomson di raggi X. Immagini a contrasto di fase. Nuove tecniche di indagine micro TC a raggi X. Sviluppi per Imaging funzionale e relativa strumentazione. Sviluppi per risonanza magnetica standard e con campi ultra elevati.

Research and Development in Hadrontherapy. Developments and applications of Silicon Photomultiplier to Positron Emission Tomography. Computer Aided Detection. Applications on X-ray Thomson sources. X-ray Phase contrast imaging. New techniques in X-ray micro CT. Development for Functional Imaging and Related Instrumentation. Developments for standard and ultra-high-field Magnetic Resonance Imaging.

### Fisica delle interazioni fondamentali:

Studio delle caratteristiche delle interazioni delle particelle elementari, quark e leptoni, mediante esperimenti agli acceleratori e con i raggi cosmici. Studio delle onde gravitazionali e delle loro sorgenti. Ricerca di nuova fisica. Gli esperimenti sono effettuati presso grandi centri di ricerca internazionali (CERN, Fermilab, PSI, KEK, Gran Sasso, SLAC, Osservatorio EGO) in collaborazione con la Sezione di Pisa dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Gli esperimenti attivi includono: AMS02; ATLAS; BABAR; BELLE2; CMS; CTA; DARKSIDE; G-2; G-GRANSASSO-RD; GGG; GLAST/FERMI; IXPE; LHCB; LSPE; MAGIA-ADV; MAGIC; MEG; MU2E; NA62; TOTEM; VIRGO

**Rapporto con il mondo del lavoro:** I risultati delle indagini svolta da AlmaLaurea e consorzi simili mostrano per i laureati in Fisica pre e post riforma una situazione occupazionale positiva, con evidenze che contraddicono luoghi comuni molto diffusi circa la mancanza di lavoro per chi intraprende questo tipo di studi. I laureati in Fisica hanno il più alto tasso di occupazione in assoluto (sia dopo uno che dopo cinque anni), anche rispetto alle lauree del gruppo Scientifico, oltre il 90%. Il problema in Italia, dunque, non sembra essere tanto l'ingresso dei laureati nel mondo del lavoro quanto piuttosto il loro numero ridotto. Per questo, e lo si va dicendo da tempo e da più parti autorevoli, le iscrizioni a Fisica sono da incentivare.

Le prospettive professionali dei laureati in fisica, la cui preparazione e' ampiamente riconosciuta ed apprezzata anche a livello internazionale, sono segnalate attualmente nell'industria (ad es. settori elettronico, informatico e biomedico), nelle aree in cui e' richiesta la capacita' di costruire modelli di realta' complesse (ad es. banche, imprese finanziarie, società di consulenza) nel mondo della ricerca scientifica (enti di ricerca, imprese, università) e nella scuola.

La laurea in Fisica è necessaria per l'iscrizione alla Scuola di Specializzazione in Fisica Medica, che apre al mondo del lavoro del Fisico nel Sistema Sanitario Nazionale.

**Informazioni aggiuntive:** La struttura della Laurea Magistrale prevede specifici percorsi formativi attraverso l'attivazione di curricula correlati alle attività di ricerca svolte nel Dipartimento di Fisica e nelle realtà scientifiche e culturali presenti nel territorio, quali la Scuola Normale Superiore, la Scuola S. Anna, il CNR, l'INFN, l'ARPAT. Per questo il Corso di Studi prevede di arricchire l'offerta formativa anche con il contributo di docenti esterni appartenenti a queste istituzioni.

Studenti che intendano seguire orientamenti non esplicitamente previsti sono invitati a presentare i loro piani di studio correlati eventualmente con una sommaria indicazione delle ragioni delle loro scelte; tali piani saranno esaminati dalla Commissione Didattica Paritetica ed approvati, su conforme parere della Commissione, dal Consiglio dei Corsi di Studio delle Classi di Fisica.

DECRETO RETTORALE DEL 04/08/2009 N. 11038



**Curricula definiti nel CDS Fisica**

**PIANO DI STUDIO 2 - INTERAZIONI FONDAMENTALI**

**PIANO DI STUDIO 4 - FISICA TEORICA**

**PIANO DI STUDIO 5 - FISICA DELLA MATERIA**

**PIANO DI STUDIO 3 - FISICA MEDICA**

**PIANO DI STUDIO 1 - ASTRONOMIA E ASTROFISICA**



## Attività formative definite nel CDS Fisica

### Astroparticelle (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Astroparticle Physics

**Obiettivi formativi:** Il modello cosmologico standard. Evoluzione dell'universo dal punto di vista della fisica delle particelle elementari (FPE). Residui cosmologici. Obiettivo: le possibili soluzioni in FPE al problema della massa oscura ed i relativi test sperimentali.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The standard cosmological model. Evolution of the universe from the perspective of elementary particle physics. Cosmological residues. Objective: Possible solutions to the elementary particle physics problem of dark matter and its experimental test.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

#### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Astroparticelle	9	FIS/05 ASTRONOMIA E ASTROFISICA	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Astrofisico, geofisico e spaziale

### Acceleratori Laser-Plasma (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Laser-plasma accelerators

**Obiettivi formativi:** Il corso intende fornire allo studente competenze (sia a livello di fisica che di trattazione analitico/numerica) riguardanti gli acceleratori di particelle compatti da interazione laser-plasma. Tali acceleratori sfruttano il campo elettrico di onde longitudinali nei plasmi eccitate da impulsi laser ultra-intensi e permettono la realizzazione di campi elettrici acceleranti dell'ordine di decine di GV/m, quindi circa tre ordini di grandezza più elevati rispetto a quelli ottenibili con gli acceleratori convenzionali. Tali competenze saranno sviluppate dapprima mediante lo studio dell'eccitazione e propagazione di onde nei plasmi sottocritici e, successivamente, con l'approfondimento delle problematiche fisiche che sottendono la generazione degli impulsi laser ultraintensi. Lo studio dell'evoluzione (anche in regime fortemente nonlineare) di tali onde di plasma e dell'impulso laser che le eccita, verrà successivamente affrontato sia con tecniche analitiche che numeriche. Verranno, inoltre, discussi i principi fisici e le tecniche principali per iniettare i bunches di elettroni nell'onda di plasma, con enfasi sugli schemi di iniezione che consentono la generazione di bunches ad elevata qualità (brillanza), quindi di potenziale utilizzo in acceleratori "in cascata" o in sorgenti di radiazione X coerente (Free Electron Laser).

#### Learning outcomes

The course aims at developing (physical and analytical/numerical) skills on compact laser-plasma accelerators employing ultra-intense laser pulses that excite longitudinal plasma waves in under-critical plasmas. Laser-plasma accelerators are nowadays able to generate accelerating gradients of tens of GV/m, i.e. about three orders of magnitude higher than those obtainable in standard accelerators. During the course, the physics of ultraintense laser pulse generation will be introduced. Next, a linear and a fully nonlinear treatment of the plasma waves and of the laser pulse (coupled) evolution will be given. Finally, we will explore bunch-injection techniques (trapping of the electrons in the plasma wave), with emphasis on those schemes aiming at generating high-quality bunches, i.e. bunches having enough quality to be employed in a multi-stage accelerator scheme or to trigger an high-brilliance coherent X-ray source (Free Electron Laser).

**CFU:** 6

**Modalità di verifica finale:** esame orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

#### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Acceleratori Laser-Plasma	6	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali + esercitazioni	Microfisico e della struttura della materia



## Regolamento Fisica

**Acustica 2 (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Acoustics 2

**Obiettivi formativi:** Il rumore delle infrastrutture di trasporto lineari: Misura e caratterizzazione del rumore da traffico stradale e ferroviario; decreti applicativi per il rumore stradale e ferroviario. Caratteristiche delle sorgenti. Confronto con i limiti normativi.

Rumore da traffico aeroportuale: caratteristiche e metodi di modellizzazione. Il modello INM e sua applicazione a casi concreti. Il monitoraggio in continua e gli indicatori per la descrizione del rumore aeroportuale. Le procedure antirumore. Rumore da traffico portuale: le principali sorgenti e la loro caratterizzazione. Le linee guida per la mappatura acustica del progetto Life Nomeports.

La Direttiva Europea 2002/49/CE "determinazione e gestione del rumore ambientale" e la "Good practice guide on strategic noise mapping 2": le richieste normative e gli approcci fisici e modellistici per la realizzazione delle mappe strategiche di rumore e i piani di azione. La direttiva europea UE/2015/996. Il modello CNOSSOS.

Criteri esecutivi per la pianificazione, il risanamento ed il controllo delle emissioni sonore. D.M. 29/11/2000 e risanamento acustico. La priorità degli interventi. Piano d'azione e di risanamento alla luce del D.Lgs. 42/2017. Progettazione degli interventi di risanamento alla sorgente, lungo la via di propagazione e al recettore. Le verifiche di collaudo degli interventi di mitigazione: prestazioni delle pavimentazioni, delle barriere e degli infissi.

Piano aziendale di risanamento acustico: pianificazione delle attività e delle priorità di intervento, modalità di esecuzione e collaudo post operam.

Acustica forense. Compiti del Consulente Tecnico di ufficio e del Consulente tecnico di parte. Procedure da seguire per l'espletamento del mandato. La collaborazione con il giudice per la definizione dei quesiti. La relazione tecnica e la risposta al quesito. Il tentativo di conciliazione.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The course aims to provide a deeper insight into environmental acoustics, advanced measurement techniques, mathematical model of sound propagation, their limits and accuracy.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Acustica 2	6	FIS/07 FISICA APPLICATA (A BENI CULTURALI, AMBIENTALI, BIOLOGIA E MEDICINA)	Affini o integrative	lezioni frontali	Attività formative affini o integrative

**Algoritmi di spettroscopia (3 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Spectroscopy algorithms

**Obiettivi formativi:** Algoritmi numerici per la spettroscopia e per la fisica. Sviluppo di algoritmi grafici di interesse fisico in ambiente tipo Unix sotto il sistema X-Window.

**CFU:** 3

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Algoritmi di spettroscopia	3	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA		lezioni frontali+laboratorio	A scelta dello studente

**Analisi statistica dei dati (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Statistical Data Analysis

**Obiettivi formativi:** Teoria dei test statistici (sia di significato (Fisher) che di decisione (Neyman-Pearson)); teoria degli stimatori (consistenza, distorsione, sufficienza, efficienza...); studio dettagliato dei metodi di Massimo di verosimiglianza e Minimo dei quadrati. Intervalli di Confidenza.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Theory of statistical tests (Significance(Fisher) and Decision making(Neyman-Pearson)); Theory of estimators (consistency, bias, sufficiency efficiency...); Estimation methods: Max Likelihood and Least Square. Confidence Intervals.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Analisi statistica dei dati	9	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Sperimentale applicativo

**Aspetti non perturbativi delle teorie di campo quantistiche (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Non perturbative approaches to quantum field theories

**Obiettivi formativi:** Vengono presentati alcuni approcci non perturbativi allo studio delle teorie di campo quantistiche nel contesto delle interazioni fondamentali, della fisica statistica e della fisica dello stato condensato.

The course presents non perturbative approaches to study quantum field theories in the context of fundamental interactions, statistical physics and condensed matter.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** Fisica teorica

**Modalità di verifica finale:** esame orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Aspetti non perturbativi delle teorie di campo quantistiche	9	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI		lezioni frontali + esercitazioni	A scelta dello studente

**Astrofisica (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Astrophysics

**Obiettivi formativi:** Elementi di Meccanica celeste; strutture autogravitanti e loro proprietà; caratteristiche generali e proprietà osservabili dei corpi celesti (stelle, pianeti, oggetti extragalattici, universo).

Il corso mira a fornire una conoscenza di base della fisica dei corpi celesti e del linguaggio della ricerca astronomica e astrofisica.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Basic Celestial Mechanics; properties of self-gravitating systems; general and observable properties of celestial bodies (stars, planets, extragalactic bodies, universe).

The course aims to give a basic information on astronomical objects as well as to enable further reading in astrophysics.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Astrofisica	9	FIS/05 ASTRONOMIA E ASTROFISICA	Caratterizzanti	lezioni frontali	Astrofisico, geofisico e spaziale

**Astrofisica A (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Astrophysics A

**Obiettivi formativi:** Sstrutture autogravitanti e loro proprietà; caratteristiche generali e proprietà osservabili dei corpi celesti (stelle, pianeti, oggetti extragalattici, universo).

Il corso mira a fornire una conoscenza di base della fisica dei corpi celesti e del linguaggio della ricerca astronomica e astrofisica.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** fortemente consigliata

**Modalità di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Astrofisica A	6	FIS/05 ASTRONOMIA E ASTROFISICA	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Astrofisico, geofisico e spaziale



## Regolamento Fisica

**Astrofisica extragalattica e cosmologia (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Extragalactic Astrophysics and Cosmology

**Obiettivi formativi:** Basi della scala di distanza in cosmologia, popolazioni stellari, evoluzione delle galassie, dinamica stellare, mezzo interstellare, struttura delle galassie, ammassi galattici, materia scura e formazione, legge di Hubble per l'espansione cosmica.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The basis of the cosmic distance scale, galactic population and chemical evolution and origin of the elements after the Big Bang, galactic structure and stellar dynamics and interactions, galaxy clusters, Hubble law for cosmic expansion.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Inglese

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Astrofisica extragalattica e cosmologia	6	FIS/05 ASTRONOMIA E ASTROFISICA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Astrofisica Osservativa (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Astrophysics Observation

**Obiettivi formativi:** Insegnamento delle tecniche osservative e di analisi dati dell'astrofisica ottica, IR, UV.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Teaching of observing and data analysis techniques of optical, IR, UV astronomy.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Astrofisica osservativa	9	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	laboratorio e/o esercitazioni	Sperimentale applicativo

**Astroparticelle A (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Astroparticle physics

**Obiettivi formativi:** Il modello cosmologico standard. Evoluzione dell'universo dal punto di vista della fisica delle particelle elementari (FPE). Residui cosmologici. Obiettivo: le possibili soluzioni in FPE al problema della massa oscura ed i relativi test sperimentali.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Astroparticelle A	6	FIS/05 ASTRONOMIA E ASTROFISICA	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Astrofisico, geofisico e spaziale

**Attività a libera scelta (15 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Free choice

**Obiettivi formativi:** Il Consiglio di Corso di Studio potrà indicare ogni anno attività consigliate per la libera scelta. Altre scelte dovranno essere approvate dal Consiglio di Corso di Studio.

**CFU:** 15

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** esame scritto e/o orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Attività a libera scelta	15	NN No settore	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali + esercitazioni	A scelta dello studente

**Attività a libera scelta (12 cfu) (12 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Free choice (12 cfu)

**Obiettivi formativi:** Il Consiglio di Corso di Studio potrà indicare ogni anno attività consigliate per la libera scelta. Altre scelte dovranno essere approvate dal Consiglio di Corso di Studio

**CFU:** 12

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** esame scritto e/o orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Attività a libera scelta (curr. IF)	12	NN No settore	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali + esercitazioni	A scelta dello studente

**Biofisica (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Biophysics

**Obiettivi formativi:** Il corso fornisce gli elementi di base di biofisica cellulare, e descrive le tecniche spettroscopiche e microscopiche (confocale ed a forza atomica) e di dinamica molecolare con applicazioni ai sistemi fisiologici ed alla nano-biomedicina.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The course provides the basic knowledge of cell biophysics. It discusses the spectroscopy and microscopy (both confocal and at atomic force) techniques and the molecular dynamics with application to physiological systems and to nano-biomedicine.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Biofisica	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Microfisico e della struttura della materia

**Buchi neri astrofisici (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** astrophysical black holes

**Obiettivi formativi:** Obiettivi:

- proprietà dei buchi neri osservabili
- teoria delle perturbazioni su buchi neri
- stato attuale delle osservazioni

Objectives:

- observables properties of black holes
- black hole perturbation theory
- review of current observations

Descrizione

Il corso punta a presentare le proprietà dei buchi neri astrofisici osservati fino ad oggi affinché alla fine del corso gli studenti abbiano una visione aggiornata del campo. Le osservazioni descritte saranno sia nello spettro elettromagnetico che gravitazionale. Quindi, saranno descritti i metodi di misura impiegati in ambo gli ambiti. Verranno richiamate le soluzioni di Schwarzschild e Kerr, studiata la teoria delle perturbazioni per la metrica di Schwarzschild. Quest'ultima sarà utilizzata per introdurre il concetto di modi quasi-normali di un buco nero ed approfondire la loro utilità come strumenti osservativi.

Per quanto riguarda le osservazioni elettromagnetiche, verrà introdotta la teoria dei dischi di accrescimento e presentati alcuni aspetti osservativi fondamentali. A causa della sua interdisciplinarietà, il corso si coordinerà con i corsi di gravità sperimentale e processi astrofisici.





## Regolamento Fisica

### Description

The course aims at reviewing the astrophysical properties of black holes observed until now to bring students up to date with the field. We will describe both electro-magnetic and gravitational observations as well as the methods employed in both fields. The course will briefly recap the Schwarzschild and Kerr solutions and will then proceed into perturbation theory on Schwarzschild metric. The latter will be used to introduce the concept of quasi-normal modes of a black hole and to understand their usefulness as observational tool. For the electro-magnetic observations, we will introduce accretion disks and review some of their observational properties. Because of its interdisciplinary nature, the course will coordinate with the experimental gravity and the astrophysical processes courses.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** Seminario

**Lingua ufficiale:** Inglese

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Buchi neri astrofisici	6	FIS/05 ASTRONOMIA E ASTROFISICA	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali + esercitazioni	Astrofisico, geofisico e spaziale

### Chimica Fisica Molecolare (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Molecular chemical physics

**Obiettivi formativi:** Struttura delle molecole. Approssimazione di Born-Oppenheimer. Struttura elettronica di una molecola: orbitali molecolari e determinanti di Slater. Metodo di Hartree-Fock e relative equazioni. Energie orbitali e teorema di Koopmans. Sistemi a guscio chiuso: equazione di Roothaan; sistemi a guscio aperto: equazioni di Pople-Nesbet. Calcolo di osservabili molecolari. Superamento dell'approssimazione Hartree-Fock: metodo della interazione di configurazioni e uso della teoria delle perturbazioni. Studio della risposta lineare. Cenno alla Teoria del Funzionale della Densità di carica (DFT).

**Obiettivi formativi in Inglese:** Molecular structure. Born-Oppenheimer approximation. Electronic structure of a molecule: molecular orbitals and Slater determinants. Hartree-Fock method and basic equations. Orbital energies and Koopmans' theorem. Closed shell systems: Roothaan equations. Open shells systems: Pople-Nesbet equations. Calculation of molecular observables. Beyond the Hartree-Fock approximation: configuration interaction method and perturbation theories. Linear response theory. Basic concepts of density functional theory.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Chimica Fisica Molecolare	9	CHIM/02 CHIMICA FISICA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Computazione e tecnologie quantistiche (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Quantum computation

**Obiettivi formativi:** Circuiti quantistici. Stati intrecciati di EPR. Disuguaglianza di Bell. Macchine di Turing classica e quantistica. Realizzazioni fisiche del quantum computer: fotoni ottici, trappole ioniche, fotoni intrecciati, risonanza magnetica nucleare. Analisi di stati di Bell. Dense coding. Cenni di Teletrasporto quantistico e crittografia quantistica.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Quantum circuits. EPR entangled states. Bell inequality. Classical Turing machines and physical implementation of quantum computers: optical photons, ion traps, entangled photons, nuclear magnetic resonance. Analysis of Bell states. Dense coding. Notions of Quantum Teleportation and Cryptography.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
---------------	-----	-----	-----------	----------------	--------



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Computazione quantistica	6	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Computing methods for experimental physics and data analysis (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Computing methods for experimental physics and data analysis

**Obiettivi formativi:** Lo scopo del corso e' l'insegnamento di tecniche di programmazione e di calcolo nel contesto della fisica sperimentale e applicata sia per quanto riguarda i software necessari all'elaborazione dei dati (data acquisition, reconstruction, simulation) sia per l'analisi dati di alto livello anche attraverso l'utilizzo di strumenti sviluppati dall'industria.

Nel corso saranno affrontati alcuni linguaggi di programmazione (e.g. python) e librerie diffuse nel campo dell'analisi dati in fisica sperimentale e anche gli strumenti usati e sviluppati dalle industrie legate ai "big data". Infine saranno introdotte le problematiche relative al calcolo parallelo e i moderni strumenti di machine learning.

Sono previsti due moduli su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, uno incentrato sugli strumenti di base (3 CFU) e uno di approfondimento (3 CFU), e un ulteriore modulo (3 CFU) a scelta tra due programmi di approfondimento specifici per High Energy Physics o Medical Image Analysis.

Argomenti e moduli:

1. Modulo

**CFU:** 9

**Modalità di verifica finale:** Progetto a scelta tra alcuni temi proposti da realizzare con gli strumenti insegnati durante il corso. Esame orale in forma di seminario in cui verranno anche verificate le conoscenze acquisite sugli altri argomenti del corso che non siano parte del progetto presentato.

**Lingua ufficiale:** Italiano

#### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Computing methods for experimental physics and data analysis	9	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Altre attività - scelta libera dello studente	Lezioni frontali+Esercitazioni+Laboratorio	A scelta dello studente

### Cosmologia del primo universo (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Early universe cosmology

**Obiettivi formativi:** Il corso si propone di fornire una panoramica coerente della cosmologia del primo Universo ed il formalismo necessario a comprendere la letteratura scientifica di base attinente.

I principali temi trattati saranno la cosmologia inflazionaria, la teoria delle fluttuazioni della radiazione cosmica di fondo; i processi di produzione di fondi di onde gravitazionali.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** Relatività generale.

Frequenza fortemente consigliata

**Modalità di verifica finale:** esame orale con possibilità di discutere una tesina basata sull'approfondimento di un articolo.

**Lingua ufficiale:** Italiano

#### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Cosmologia del primo universo	9	FIS/05 ASTRONOMIA E ASTROFISICA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Cosmologia del primo Universo A (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Early universe cosmology (A)

**Obiettivi formativi:** Il corso si propone di fornire una panoramica coerente della cosmologia del primo Universo ed il formalismo necessario a comprendere la letteratura scientifica di base attinente.

I principali temi trattati saranno la cosmologia inflazionaria, la teoria delle fluttuazioni della radiazione cosmica di fondo; i processi di produzione di fondi di onde gravitazionali.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1



## Regolamento Fisica

**Propedeuticità:** relatività generale.  
La frequenza è fortemente consigliata  
**Modalità di verifica finale:** Prova orale  
**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Cosmologia del primo universo A	6	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Cromodinamica quantistica (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Quantum chromodynamics  
**Obiettivi formativi:** Simmetrie delle interazioni forti, teorie di gauge non-abeliane, libertà asintotica delle interazioni forti, lagrangiane fenomenologiche di bassa energia, simmetria chirale, il problema U(1), violazioni forti di CP.  
**Obiettivi formativi in Inglese:** Symmetries of strong interactions, non-abelian gauge theories, asymptotic freedom of strong interactions, phenomenological lagrangians at low energy, chiral symmetry, the U(1) problem, strong CP violations.  
**CFU:** 9  
**Reteirabilità:** 1  
**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.  
**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.  
**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Cromodinamica quantistica	9	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Teorico e dei fondamenti della Fisica

### Dinamica non lineare (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Nonlinear dynamics  
**Obiettivi formativi:** Obiettivo del corso è:  
-fornire quelle competenze di base per l'analisi e lo studio dei sistemi nonlineari a dimensione finita.  
-fornire le competenze per affrontare lo studio di segnali (ottenuti da processi di misura in svariati contesti: fisica, biologia ecc...) mediante l'uso dei metodi di analisi nonlineare delle serie temporali.  
-fornire le conoscenze di base per lo studio di sistemi nonlineari a dimensione infinita. In particolare, facendo ricorso a specifici esempi, verranno illustrate le metodologie teoriche con le quali si studiano quei fenomeni caratterizzati dalla propagazione di onde nonlineari.  
**CFU:** 9  
**Reteirabilità:** 1  
**Propedeuticità:** Frequenza vivamente consigliata  
**Modalità di verifica finale:** prova orale  
**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Dinamica non lineare	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Dosimetria (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Dosimetry  
**Obiettivi formativi:** Questo corso presenta una introduzione alla dosimetria delle radiazioni ionizzanti. Vengono illustrati concetti quali l'equilibrio delle particelle cariche, il teorema di reciprocità e la teoria delle cavità applicata a semplici calcoli di dose.  
**Obiettivi formativi in Inglese:** This course is intended as an introduction to ionizing radiation dosimetry. Several concepts are presented such as charged-particle equilibrium and the reciprocity theorem. The principal cavity theories are used to perform simple dose calculations.  
**CFU:** 6  
**Reteirabilità:** 1  
**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.



## Regolamento Fisica

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame scritta e orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Dosimetria	6	FIS/07 FISICA APPLICATA (A BENI CULTURALI, AMBIENTALI, BIOLOGIA E MEDICINA)	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Elaborazione dei segnali Biomedici (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Biomedical Signal Processing

**Obiettivi formativi:** Fornire conoscenza su metodologie avanzate di analisi ed integrazione di segnali: filtri ottimi / adattativi, Total Least Squares, analisi a Componenti Indipendenti; rivelazione di eventi, classificazione, apprendimento e validazione.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Providing knowledge on advanced methods for signal analysis and integration: optimal / adaptive filtering, Total Least Squares, Independent Component Analysis; event detection, classification, learning and validation.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Elaborazione dei segnali Biomedici	6	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Elaborazione dei Segnali per la Fisica (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Signal processing for Physics

**Obiettivi formativi:** Caratteristiche dei segnali di interesse fisico.

Trasformate di Fourier discrete e a tempo discreto.

Trasformata z.

Sistemi lineari tempo invarianti ad impulso finito ed infinito.

Filtri digitali: principi di disegno.

Segnali casuali: teorema di Wiener-Kintchine.

Teorema del campionamento.

Conversione D/A e A/D.

Stime spettrali.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** esame orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Elaborazione dei segnali per la Fisica	6	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Sperimentale applicativo

## Elementi di fisiologia, fisiopatologia e diagnostica (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Fundamentals of physiology, physiopathology and diagnostics

**Obiettivi formativi:** Il corso fornisce elementi di base di fisiologia e fisiopatologia: dalla cellula al tessuto all'organo/apparato, ai sistemi, all'organismo. Sono trattati esempi di integrazione delle metodologie fisiche nelle procedure cliniche di diagnosi e terapia.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
---------------	-----	-----	-----------	----------------	--------



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Elementi di fisiologia, fisiopatologia e diagnostica	6	BIO/09 FISIOLOGIA	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali	A scelta dello studente

**Elettrodinamica dei mezzi continui (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Electrodynamics of continuous media

**Obiettivi formativi:** Il corso vuole offrire complementi di elettromagnetismo, elettrodinamica e ottica lineare e nonlineare orientati ad applicazioni moderne quali la plasmonica, i metamateriali, le altissime intensità.

The course introduces some advanced topics in electrodynamics and optics (plasmonics, metamaterials, nonlinear effects, superintense fields) along with their applications.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Relativistic plasmas in superintense electromagnetic fields: basic theory, characteristic phenomena, application to inertial fusion and charged particle acceleration.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Elettrodinamica dei mezzi continui	6	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Elettronica e sensori (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Electronics and Sensors

**Obiettivi formativi:** Il corso vuole fornire gli elementi di base dell'elettronica moderna e dei principali componenti attivi e passivi. Verranno forniti inoltre elementi di teoria e trattamento dei segnali e numerosi esempi ed applicazioni.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The course is aimed to provide the basic concepts of the modern electronics and of the principal active and passive components. Elements of signal theory and processing will be provided together with several examples and applications.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Elettronica e sensori	6	FIS/07 FISICA APPLICATA (A BENI CULTURALI, AMBIENTALI, BIOLOGIA E MEDICINA)	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Esperimenti fondamentali nella fisica delle particelle elementari (3 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Fundamental experiments in elementary particles physics

**Obiettivi formativi:** Presentazione e commento di esperimenti particolarmente significativi nella storia delle particelle elementari dalla seconda metà del 1900.

**CFU:** 3

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** Seminario su un esperimento a scelta dello studente tra quelli discussi a lezione o su un esperimento concordato con il docente.

Il seminario sarà basato su slides ed avrà una durata di 45 minuti circa.

Successivamente all'esposizione lo studente dovrà rispondere ad eventuali domande del docente sull'argomento del seminario e sugli argomenti svolti a lezione.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI	3	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali + esercitazioni	A scelta dello studente

**Fisica ai collisionatori adronici (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Hadron Collider Physics

**Obiettivi formativi:** Fisica delle particelle elementari ai collisionatori adronici, specialmente protone-protone e protone-antiprotone. Lo studio delle interazioni tra quark e gluoni, costituenti del protone, ha già fornito molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle. Saranno presentati i principali risultati ottenuti agli acceleratori passati: ISR, SPS collider e Tevatron e saranno discusse le prospettive di Fisica al nuovo collisionatore protone-protone: LHC

Study of the elementary particle physics at the hadronic colliders, proton-proton and proton-antiproton. The study of the quark and gluon interactions, which are the proton constituents, already provided many fundamental discoveries in particle physics. A review of the results obtained at the past accelerators: ISR, SPS collider and Tevatron is presented together with the physics at the new proton-proton collider: LHC

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
fisica ai collisionatori adronici	9	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Fisica dei dispositivi elettronici (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Electronic devices physics

**Obiettivi formativi:** Il corso affronta lo studio dei fenomeni fisici che governano il funzionamento dei dispositivi a semiconduttore al fine di formulare i modelli fisico-matematici che ne consentono l'applicazione nei circuiti di elaborazione dei segnali, sia elettronici sia optoelettronici.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The course addresses the study of physical phenomena that govern the operation of semiconductor devices in order to formulate the physical and mathematical models that enable their application in signal processing circuits, both electronic and optoelectronic.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica dei dispositivi elettronici	6	FIS/07 FISICA APPLICATA (A BENI CULTURALI, AMBIENTALI, BIOLOGIA E MEDICINA)	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Fisica dei dispositivi fotonici (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Photonic devices physics

**Obiettivi formativi:** Il corso mira a fornire una conoscenza dei principali costituenti di un laser a stato solido: cavità, sistema di pompaggio e mezzo attivo, dell'analisi delle dinamiche fisiche di un sistema laser, e una comprensione dei principi fisici di funzionamento e delle caratteristiche dei principali dispositivi optoelettronici, con l'attenzione rivolta in buona parte ai semiconduttori ed ai laser in particolare.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The course aim is to offer the knowledge of the main constituents of a solid state laser system: pumping system, cavity, active medium, the analysis of the physical dynamics of a laser system, and an advanced understanding of the physical operating principles and characteristics of the most relevant optoelectronic devices, with a strong focus on semiconductors, and lasers in particular.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.



## Regolamento Fisica

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica dei dispositivi fotonici	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Fisica dei materiali in bassa dimensionalità (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** New materials

**Obiettivi formativi:**

Il corso presenta un percorso sia teorico che sperimentale sui materiali a bassa dimensionalità. Il principale obiettivo del corso è di fornire sia una base teorica per la comprensione delle proprietà di trasporto dei nanodispositivi che una introduzione alle principali tecniche sperimentali per il loro studio. In questo contesto, i principali obiettivi saranno:

- fornire un quadro generale della fisica dei sistemi mesoscopici, evidenziando aspetti quantistici quali l'interferenza e la quantizzazione. Verranno illustrati recenti risultati sperimentali rilevanti e loro spiegazione teorica, con particolare riferimento a sistemi in bassa dimensionalità. Verranno infine affrontati concetti quali protezione topologica e loro realizzazione in sistemi a stato solido.
- fornire una base delle tecniche sperimentali con particolare riferimento alla microscopia e fisica delle superfici. Verranno descritte tecniche di microscopia spm (scanning probe microscopy) con particolare riferimento alla microscopia STM (Scanning Tunneling Microscopy), tecniche per la caratterizzazione di superfici, funzionalizzate e non, quali LEED (Low Energy Electron Diffraction) e spettroscopia Auger. Verranno illustrate particolari applicazioni di queste tecniche nello studio di nuovi materiali e sistemi in bassa dimensionalità.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** Prova finale

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Materiali Innovativi	6	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali + esercitazioni	A scelta dello studente

### Fisica dei plasmi (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Plasma physics

**Obiettivi formativi:** Fondamenti:

Definizione di plasma elettromagnetico  
 Lunghezze e tempi caratteristici  
 Frequenza di plasma  
 Termodinamica statistica di un plasma  
 Ruolo delle collisioni, tempo di rilassamento e tempo dinamico  
 Necessità di una descrizione microscopica, nonlinearietà e nonlocalità della dinamica di un plasma  
 Funzione di distribuzione ed equazione di Vlasov  
 Teoria fenomenologica della turbolenza nei fluidi.  
 Cenni alla turbolenza nei plasmi.

Variabili macroscopiche:

Equazioni dei momenti: modello a due fluidi e a singolo fluido  
 La legge di Ohm per plasmi magnetizzati  
 La descrizione magneto-idrodinamica (MHD) di un plasma  
 Equilibrio e stabilità. Linearizzazione e analisi ai modi normali  
 Esempi di propagazione di onde in teoria fluida:  
 onde longitudinali  
 onde elettromagnetiche  
 onde MHD  
 Principali instabilità nella descrizione MHD

Variabili microscopiche:

Descrizione microscopica (cinetica): proprietà dell'equazione di Vlasov  
 Onde di Langmuir in teoria cinetica e risonanza di Landau.  
 Onde e instabilità in plasmi anisotropi magnetizzati: descrizione cinetica e limite fluido



## Regolamento Fisica

Dinamica nonlineare:

Cenni di dinamica non lineare di un plasma: la approssimazione quasilineare e i processi di diffusione anomala

Cenni di teoria della turbolenza in un plasma

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** esame orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica dei plasmi	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Microfisico e della struttura della materia

## Fisica dei sistemi a molticorpi (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Many-body physics

**Obiettivi formativi:** Teoria di Hartree-Fock, gas di elettroni, clusters metallici, quantum dots, equazione di Gross-Pitaevskii, Hartree-Fock-Bogoliubov e teoria di BCS, teoria del funzionale della densità e teoria della risposta lineare.

Obiettivi formativi in Inglese: Hartree-Fock theory, electron gas, metal clusters, quantum dots, Gross-Pitaevskii equation, Hartree-Fock-Bogoliubov and BCS theory, theory of the density functional and the theory of nonlinear reply.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Inglese

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica dei sistemi a molticorpi	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Fisica dei sistemi a molticorpi A (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Many-body physics A

**Obiettivi formativi:** teoria di Hartree-Fock, gas di elettroni, clusters metallici, quantum dots, equazione di Gross-Pitaevskii, Hartree-Fock-Bogoliubov e teoria di BCS, teoria del funzionale della densità e teoria della risposta lineare.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Hartree-Fock theory, electron gas, metal clusters, quantum dots, Gross-Pitaevskii equation, Hartree-Fock-Bogoliubov and BCS theory, theory of the density functional and the theory of nonlinear reply.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Inglese

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica dei sistemi a molticorpi A	6	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Fisica del mezzo diffuso cosmico (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Diffuse Matter in Space: the Interstellar and Intergalactic Medium

**Obiettivi formativi:** Photoionization and photodissociation regions

Radiative processes and nebular diagnostics

Neutral hydrogen: Lyman series absorption, resonance lines

Molecular emission





## Regolamento Fisica

Dust properties and astrochemistry  
 Magnetic fields in diffuse media  
 Continuum processes: Thermal emission from gas and dust  
 Continuum processes: Nonthermal emission: synchrotron, gamma rays  
 Turbulence and dynamical processes

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** frequenza consigliata

**Modalità di verifica finale:** a typical (short) paper on a topic related to the material of the course and discussion.

**Lingua ufficiale:** Inglese

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Mezzi di diffusione interstellare e intergalattici	6	FIS/05 ASTRONOMIA E ASTROFISICA	Affini o integrative	lezioni frontali	Attività formative affini o integrative

### Fisica del plasma sperimentale (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Experimental plasma physics

**Obiettivi formativi:** Vengono fornite le conoscenze di base nell'ambito della fisica del plasma sperimentale. Argomenti: parametri di plasma; ionizzazione di un gas e formazione di un plasma; sorgenti di plasma e confinamento; fenomeni radiativi e diagnostiche di plasma.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The course intends to give the basic knowledge in the field of experimental plasma physics research. Topics: basic plasma parameters; gas ionization and plasma formation; plasma sources and confinement; radiative phenomena and diagnostic techniques.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica del plasma sperimentale	6	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Affini o integrative	laboratorio e/o esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Fisica delle Onde Gravitazionali (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Gravitational Wave Physics

**Obiettivi formativi:** Il corso presenta in maniera unitaria le problematiche della ricerca nel campo delle onde gravitazionali.

Nella prima parte vengono esaminate le caratteristiche della radiazione gravitazionale, generazione e rivelazione, come previste dalla Relatività Generale. Successivamente sono descritte le varie sorgenti e le loro caratteristiche in funzione delle possibilità di rivelazione. Si discutono le tecniche di elaborazione del segnale che consentono di estrarre in presenza di rumore la massima informazione dai dati, giungendo, dopo una descrizione dei rivelatori attualmente in funzione, agli ultimi risultati ottenuti. L'ultima parte è dedicata ad approfondire il funzionamento dei rivelatori e i settori dove le attività di ricerca e sviluppo sono più attive.

**Obiettivi formativi in Inglese:** : Research in Gravitational Wave Physics is presented in a unitary form. Gravitational wave emission and detection, as predicted by General Relativity, is described. Then the various sources and their characteristics are described, in view of gravitational wave detection. Signal processing methods to extract the maximum information out of noisy data are shown; after a description of current detectors, the most recent results are discussed. In the last part detectors are studied in greater detail with the areas where research and development is most active.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** Prova Orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica delle Onde Gravitazionali	9	NN No settore	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali	A scelta dello studente

### Fisica delle Onde Gravitazionali A (6 CFU)



## Regolamento Fisica

**Denominazione in Inglese:** Gravitational Wave Physics (A)

**Obiettivi formativi:** Il corso presenta in maniera unitaria le problematiche della ricerca nel campo delle onde gravitazionali. Nella prima parte vengono esaminate le caratteristiche della radiazione gravitazionale, generazione e rivelazione, come previste dalla Relatività Generale. Successivamente sono descritte le varie sorgenti e le loro caratteristiche in funzione delle possibilità di rivelazione. Si discutono le tecniche di elaborazione del segnale che consentono di estrarre in presenza di rumore la massima informazione dai dati, giungendo, dopo una descrizione dei rivelatori attualmente in funzione, agli ultimi risultati ottenuti. L'ultima parte è dedicata ad approfondire il funzionamento dei rivelatori e i settori dove le attività di ricerca e sviluppo sono più attive.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Research in Gravitational Wave Physics is presented in a unitary form. Gravitational wave emission and detection, as predicted by General Relativity, is described. Then the various sources and their characteristics are described, in view of gravitational wave detection. Signal processing methods to extract the maximum information out of noisy data are shown; after a description of current detectors, the most recent results are discussed. In the last part detectors are studied in greater detail with the areas where research and development is most active

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** Prova Orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica delle Onde Gravitazionali A	6	NN No settore	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali	A scelta dello studente

### Fisica delle Particelle (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Particle Physics

**Obiettivi formativi:** Il corso è dedicato allo studio della Fisica delle Particelle Elementari. I processi principali del Modello Standard Elettrodebole e della Cromodinamica Quantistica verranno presentati sia negli aspetti fenomenologici che nelle problematiche sperimentali. È prevista anche un'introduzione alla fisica dei neutrini e alla violazione della simmetria CP. Infine verranno discussi le prospettive e gli sviluppi futuri.

The course is devoted to the Elementary Particle Physics. The most important processes of the Electroweak Standard Model and of the Quantum Chromodynamics will be presented at phenomenological level together with the related experimental issues. An introduction to the neutrino and to the CP violation physics will be also provided. Finally future perspectives and developments will be discussed.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** Meccanica Quantistica Relativistica, Fisica 3, Interazioni Fondamentali

**Modalità di verifica finale:** esame orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica delle Particelle	9	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Microfisico e della struttura della materia

### Fisica delle stelle compatte (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Compact stars physics

**Obiettivi formativi:** Studio della struttura delle stelle nane bianche e delle stelle di neutroni a partire dalle proprietà della materia ad alte densità. Fenomeni astrofisici associati: Pulsars, Supernovae, GRBs.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Study of the structure of White Dwarfs and Neutron Stars starting from the properties of high density matter. Study of the associated astrophysical phenomena: Pulsars, Supernovae, GRBs.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
---------------	-----	-----	-----------	----------------	--------



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica delle stelle compatte	9	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Fisica delle stelle compatte A (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Physics of Compact Stars A

**Obiettivi formativi:** Studio della struttura delle stelle nane bianche e delle stelle di neutroni a partire dalle proprietà della materia ad alte densità. Fenomeni astrofisici associati: Pulsars, Supernovae, GRBs.

Obiettivi formativi in Inglese: Study of the structure of White Dwarfs and Neutron Stars starting from the properties of high density matter. Study of the associated astrophysical phenomena: Pulsars, Supernovae, GRBs.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica delle stelle compatte A	6	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Fisica delle Superfici e Interfacce (3 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Surfaces and interfaces physics

**Obiettivi formativi:** Il corso consiste in una generale introduzione alla fisica delle superfici e interfacce che mette a fuoco i concetti di base piuttosto che i dettagli specifici, ed esplora i fenomeni fisici sui quali si basano le più importanti tecniche e metodi di analisi superficiale.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The course consists of a general introduction that focuses on the basic concepts of the physics of surfaces and interfaces, and explores the physical phenomena underlying relevant techniques and methods of surface analysis.

**CFU:** 3

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica delle Superfici e Interfacce	3	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Fisica dello stato solido (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Solid State Physics

**Obiettivi formativi:** Elettroni in un potenziale periodico unidimensionale. Descrizione geometrica dei cristalli: reticoli diretti e reciproci. Il gas di elettroni. Livelli di energia elettronici nei solidi. Dinamica reticolare. Proprietà ottiche di semiconduttori e isolanti. Aspetti fondamentali della fisica dei semiconduttori.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Electrons in a one-dimensional periodic potential. Geometric description of crystals: direct and reciprocal lattices. Electron gas. Electronic energy levels in solids. Lattice dynamics. Optical properties of semiconductors and insulators. Fundamental aspects of semiconductor physics.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica dello stato solido	9	FIS/03 FISICA DELLA	Caratterizzanti	lezioni frontali	Microfisico



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
		MATERIA		+ esercitazioni	e della struttura della materia

**Fisica medica (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Medical Physics

**Obiettivi formativi:** Il corso fornisce le basi fisiche delle tecniche diagnostiche in radiologia con raggi X, in medicina nucleare, in ultrasonografia e in Risonanza Magnetica Nucleare. Saranno discussi elementi di radiobiologia, radioterapia ed imaging molecolare.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The course discusses the physics of the diagnostic techniques in X-ray Radiology, Nuclear Medicine, Ultrasonography and Magnetic Resonance Imaging. It also provides elements of Radiobiology, Radiotherapy and Molecular Imaging.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica medica	9	FIS/07 FISICA APPLICATA (A BENI CULTURALI, AMBIENTALI, BIOLOGIA E MEDICINA)	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Sperimentale applicativo

**Fisica musicale (3 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Physics of music

**Obiettivi formativi:** Il corso introduce lo studente alla descrizione fisica del suono, degli strumenti musicali e dell'elaborazione elettronica e digitale di segnali acustici.

**CFU:** 3

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** Prova di esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica musicale	3	FIS/07 FISICA APPLICATA (A BENI CULTURALI, AMBIENTALI, BIOLOGIA E MEDICINA)	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Fisica nucleare (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Nuclear physics

**Obiettivi formativi:** Proprietà generali dei nuclei atomici e dell'interazione nucleare. Decadimenti nucleari e radioattività. Passaggio della radiazione nella materia. Modelli del nucleo atomico. Reazioni nucleari. Fusione nucleare e nucleosintesi stellare. Fissione Nucleare e cenni ai reattori a fissione nucleare.

General properties of atomic nuclei and nuclear interaction. Nuclear decays and radioactivity. Interaction of radiation with matter. Nuclear models. Nuclear reactions. Nuclear fusion and stellar nucleosynthesis.

Nuclear fission and nuclear fission reactors (hints).

**Obiettivi formativi in Inglese:** Structure and models of nuclei, pion exchange and chiral symmetry, nuclear reactions, hydrogen and CNO cycles, production of heavy elements.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
---------------	-----	-----	-----------	----------------	--------



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica nucleare	9	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Microfisica e della struttura della materia

## Fisica Statistica (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Statistical physics

**Obiettivi formativi:** Statistiche quantistiche, sistemi a molti corpi quantistici, transizione di fase e fenomeni critici, transizioni quantistiche.

Quantum statistics, manybody quantum systems, phase transitions and critical phenomena, quantum transitions.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Quantum statistics, Bose-Einstein, Debye theory, phase transitions and Lee-Yang theorems, Landau-Ginzburg theory, superconductivity, BCS theory, superfluidity and two fluids model, Landau theory, vortices.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica statistica	9	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Teorico e dei fondamenti della Fisica

## Fisica stellare (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Stellar Physics

**Obiettivi formativi:** Analisi delle basi fisiche del funzionamento delle strutture stellari e descrizione delle caratteristiche delle stelle durante le fasi evolutive. Si interpreteranno le caratteristiche degli ammassi stellari nel quadro dell'evoluzione della Galassia.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Analysis of the physical mechanisms at the basis of the stellar structures and description of the evolutionary characteristics of stars. The main characteristics of stellar clusters will be understood in the light of the Galactic evolution.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica stellare	9	FIS/05 ASTRONOMIA E ASTROFISICA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Fisica teorica 1 (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Theoretical physics 1

**Obiettivi formativi:** Fornire le basi della teoria di campo quantistica, che è generalmente utilizzata per descrivere le interazioni fondamentali, ma anche sistemi quantistici della fisica dello stato condensato.

Basics of quantum field theories, which describe fundamental interactions, but also quantum systems in condensed matter.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Basics of scattering theory, field theories and conserved quantities, Dirac equation and its solutions, field quantization, CPT theorem, perturbation theory and Feynman diagrams, processes in electrodynamics, phonons.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame scritta e orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica teorica 1	9	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Teorico e dei fondamenti della Fisica

## Fisica teorica 2 (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Theoretical physics 2

**Obiettivi formativi:** Corso avanzato sulle teorie di campo quantistiche e statistiche, introdotte attraverso l'approccio funzionale del Path Integral.

Rinormalizzazione. Teorie di gauge abeliane e non abeliane. Rottura di simmetria. Meccanismo di Higgs. Teorie delle interazioni

fondamentali: Modello Standard. Rinormalizzazione alla Wilson e applicazioni ai fenomeni critici.

Advance course of quantum and statistical field theory, introduced using the functional approach based on the Path Integral.

Renormalization. Abelian and nonabelian gauge theories. Breaking of the symmetry, Higgs mechanism. Theory of fundamental interactions:

Standard Model. Wilson renormalization and applications to critical phenomena.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Generator functionals, effective action, renormalization, path integral, BRS symmetry, weak decays, dynamical symmetries of strong interactions, chiral group, sigma model, teorie di gauge non-abeliane, asymptotic freedom.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

Propedeuticità: teorica 1

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fisica teorica 2	9	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Teorico e dei fondamenti della Fisica

## Fondamenti di interazione radiazione materia (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Fundamentals of matter-radiation interaction

**Obiettivi formativi:** Concetti base dell'interazione radiazione-materia. Probabilità di transizione. Matrice densità, larghezze spettrali, dinamica temporale. Quantizzazione del campo elettromagnetico ed emissione spontanea. Fluttuazioni nelle statistiche. Laser e maser. Risonanza magnetica. Risposta ottica lineare e non-lineare. Effetti coerenti. Micro- e nano-ottica

Basic concepts of matter-radiation interaction. Transition probabilities. Density matrix, spectral linewidths, temporal dynamics. Quantization of the electromagnetic field and spontaneous emission. Statistical fluctuations. Lasers and masers. Magnetic resonance. Linear and non-linear optical response. Coherent effects. Micro- and nano-optics.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** prova scritta+orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Fondamenti di interazione radiazione materia	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Microfisico e della struttura della materia

## Interazioni fondamentali (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Fundamental Interactions

**Obiettivi formativi:** Fornire un'introduzione quantitativa alla fisica delle particelle elementari e delle loro interazioni, dal punto di vista fenomenologico e sperimentale.

•



## Regolamento Fisica

To provide a quantitative introduction to the physics of elementary particles and of their interactions, from the phenomenological and experimental viewpoint.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** Meccanica Quantistica Relativistica, Fisica 3, Introduzione alla fisica subnucleare.

La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame scritta ed orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Interazioni fondamentali	9	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Microfisico e della struttura della materia

### Introduzione alla teoria Bayesiana della probabilità (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Introduction to Bayesian probability theory

**Obiettivi formativi:** Obiettivi:

- padronanza del teorema di Bayes
- principio di massima entropia
- metodi numerici rilevanti

Objectives

- mastering of Bayes theorem
- maximum entropy principle
- relevant numerical methods

Descrizione:

Il corso punta ad introdurre la teoria Bayesiana della probabilità come logica estesa. Per questo motivo, dopo una breve rivisitazione dell'algebra Booleana, il teorema di Bayes verrà ricavato a partire dal teorema di Cox. Verranno quindi introdotti i fondamenti di stima dei parametri e test di ipotesi nel contesto Bayesiano. Verrà quindi introdotto il principio di massima entropia e verranno discusse alcune delle più note distribuzioni di probabilità derivate da quest'ultimo. Infine, verranno introdotti alcuni concetti fondamentali di processi stocastici e studiati nel contesto del principio di massima entropia. Il corso inoltre presenterà esempi pratici di algoritmi rilevanti, markov chain monte carlo e nested sampling, per la soluzione di problemi di inferenza.

Description:

The course objective is to introduce Bayesian probability theory as extended logic. After a quick review of Boolean algebra, we derive Bayes theorem from Cox theorem. We will then introduce fundamentals of parameter estimation as well as Bayesian

model selection. Further, we will introduce the maximum entropy principle and we will discuss some of the most common probability distributions that can be derived from it.

We will introduce some fundamental concepts of stochastic processes and discuss them within the context of the maximum entropy principle. The course will also introduce practical examples of algorithms, such as markov chain monte carlo and nested sampling, that are relevant for the solution of inference problems.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** seminario

**Lingua ufficiale:** Inglese

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Introduzione alla teoria Bayesiana della probabilità	6	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Altre attività - scelta libera dello studente	Lezioni frontali + e-learning	Astrofisico, geofisico e spaziale

### Laboratorio di fisica medica (12 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Medical physics laboratory

**Obiettivi formativi:** Nel corso di laboratorio viene effettuata la caratterizzazione di scintillatori, fotorivelatori e sensori allo stato solido per la misura di campi di radiazioni ionizzanti. Saranno implementate tecniche sperimentali di imaging con sistemi diagnostici di media-alta complessità, quali TAC, SPECT, PET. Inoltre verranno effettuate simulazioni a calcolatore



## Regolamento Fisica

di codici Monte Carlo.

This Hands-on-laboratory covers, the characterization of scintillators photodetectors and solid state sensors for the measurement of ionizing radiation fields. Experimental imaging techniques are implemented and make use of medium/high complexity diagnostic systems, such as, CT, SPECT and PET. Computer simulations with Monte Carlo codes are also performed.

**Obiettivi formativi in Inglese:** This hands-on laboratory course covers the characterization of scintillators, photodetectors and solid state sensors for the measurement of ionizing radiation fields. Experimental imaging techniques are implemented that make use of medium/high complexity diagnostic systems, such as CT, SPECT, PET and MRI. Computer simulations with Monte Carlo codes are also performed.

**CFU:** 12

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Laboratorio di fisica medica - Modulo A	6	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	laboratorio e/o esercitazioni	Sperimentale applicativo
Laboratorio di fisica medica - Modulo B	6	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	laboratorio e/o esercitazioni	Sperimentale applicativo

### Laboratorio di Fisica Medica B (15 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Medical physics laboratory B

**Obiettivi formativi:** Nel corso di laboratorio viene effettuata la caratterizzazione di scintillatori, fotoregistratori e sensori allo stato solido per la misura di campi di radiazioni ionizzanti. Saranno implementate tecniche sperimentali di imaging con sistemi diagnostici di media-alta complessità, quali TAC, SPECT, PET. Inoltre verranno effettuate simulazioni a calcolatore di codici Monte Carlo.

This Hands-on-laboratory covers, the characterization of scintillators photodetectors and solid state sensors for the measurement of ionizing radiation fields. Experimental imaging techniques are implemented and make use of medium/high complexity diagnostic systems, such as, CT, SPECT and PET. Computer simulations with Monte Carlo codes are also performed.

**Obiettivi formativi in Inglese:** This hands-on laboratory course covers the characterization of scintillators, photodetectors and solid state sensors for the measurement of ionizing radiation fields. Experimental imaging techniques are implemented that make use of medium/high complexity diagnostic systems, such as CT, SPECT, PET and MRI. Computer simulations with Monte Carlo codes are also performed.

**CFU:** 15

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Laboratorio di Fisica Medica B	15	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	laboratorio e/o esercitazioni	Sperimentale applicativo

### Laboratorio di interazioni fondamentali (12 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Fundamental interactions laboratory

**Obiettivi formativi:** Il corso ha lo scopo di fornire allo studente una conoscenza di base dell'interazione tra radiazione e materia, e far acquisire una pratica di laboratorio con rivelatori di particelle singole.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The aim of the course is to provide the basics of matter and radiation interactions, and a practical laboratory experience with single-particle detectors.

**CFU:** 12

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza è obbligatoria

**Modalità di verifica finale:** Prove di laboratorio e verifica orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Laboratorio di interazioni fondamentali	12	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	laboratorio e/o esercitazioni	Sperimentale applicativo





## Regolamento Fisica

**Laboratorio di interazioni fondamentali A (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Fundamental interactions laboratory A

**Obiettivi formativi:** Il corso ha lo scopo di fornire allo studente una conoscenza di base dell'interazione tra radiazione e materia, e far acquisire una pratica di laboratorio con rivelatori di particelle singole.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The aim of the course is to provide the basics of matter and radiation interactions, and a practical laboratory experience with single-particle detectors.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza e' obbligatoria

**Modalità di verifica finale:** Prove di laboratorio e verifica orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Laboratorio di interazioni fondamentali A	9	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	laboratorio e/o esercitazioni	Sperimentale applicativo

**Laboratorio di interazioni Fondamentali B (15 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Fundamental interactions laboratory B

**Obiettivi formativi:** Obiettivi formativi: Il corso ha lo scopo di fornire allo studente una conoscenza di base dell'interazione tra radiazione e materia, e far acquisire una pratica di laboratorio con rivelatori di particelle singole.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The aim of the course is to provide the basics of matter and radiation interactions, and a practical laboratory experience with single-particle detectors.

**CFU:** 15

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza e' obbligatoria

**Modalità di verifica finale:** Prove di laboratorio e verifica orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
MODULO B	6	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	laboratorio e/o esercitazioni	Sperimentale applicativo
MODULO A	9	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	laboratorio e/o esercitazioni	Sperimentale applicativo

**Laboratorio di ottica quantistica (12 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Quantum optics laboratory

**Obiettivi formativi:** Propagazione delle onde e.m. in mezzi omogenei. Stato di polarizzazione di un onda e.e. Legge di rifrazione e riflessione. Interferenza. Olografia. Propagazione gaussiana dei fasci e.m. Fibre ottiche

**Obiettivi formativi in Inglese:** Electromagnetic waves propagation in homogeneous media. State of polarization of an electromagnetic wave. Law Refraction, Reflection. Interference. Holography. Gaussian propagation of e.m. beams. Fiber optics

**CFU:** 12

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza e' obbligatoria

**Modalità di verifica finale:** Prove di laboratorio e verifica orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Laboratorio di ottica quantistica	12	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	laboratorio e/o esercitazioni	Sperimentale applicativo

**Laboratorio di ottica quantistica A (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Quantum optics laboratory A

**Obiettivi formativi:** Propagazione delle onde e.m. in mezzi omogenei. Stato di polarizzazione di un onda e.e. Legge di rifrazione e riflessione.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Electromagnetic waves propagation in homogeneous media. State of polarization of an electromagnetic wave. Law Refraction, Reflection.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1



## Regolamento Fisica

**Propedeuticità:** La frequenza e' obbligatoria  
**Modalità di verifica finale:** Prove di laboratorio e verifica orale  
**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Laboratorio di ottica quantistica A	9	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	laboratorio e/o esercitazioni	Sperimentale applicativo

### Laboratorio di ottica quantistica B (15 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Quantum optics laboratory B  
**Obiettivi formativi:** Propagazione delle onde e.m. in mezzi omogenei. Stato di polarizzazione di un onda e.e. Legge di rifrazione e riflessione. Interferenza. Olografia. Propagazione gaussiana dei fasci e.m. Fibre ottiche  
**Obiettivi formativi in Inglese:** Electromagnetic waves propagation in homogeneous media. State of polarization of an electromagnetic wave. Law Refraction, Reflection. Interference. Holography. Gaussian propagation of e.m. beams. Fiber optics  
**CFU:** 15  
**Reteirabilità:** 1  
**Propedeuticità:** La frequenza e' obbligatoria  
**Modalità di verifica finale:** Prove di laboratorio e verifica orale  
**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Laboratorio di ottica quantistica B	15	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	laboratorio e/o esercitazioni	Sperimentale applicativo

### Laser a Stato Solido (3 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Solid State Lasers  
**Obiettivi formativi:** Differenti classi di cristalli isolanti, sistemi di crescita.  
 Ioni di terre rare nei cristalli (eccitazioni dei livelli, vita media radiativa e meccanismi di trasferimento di energia)  
 Apparat sperimentali per la misura dello spettro di luminescenza e di eccitazione emesso da un cristallo.  
 Laser tre e quattro livelli, parametri laser (sezione d'urto d'emissione, sezione d'urto d'assorbimento)  
 Laser in regime impulsato: (Q-switching e Mode Locking)  
 Laser ad emissione verticale (VCSEL)  
 Laser a stato solido in regime continuo ed impulsato nella regione di 1 micron e 2 micron  
 laser a stato solido in regime continuo ed impulsato nella regione dell'ultravioletto e del visibile.  
**Obiettivi formativi in Inglese:** Different classes of insulating crystals; growth techniques. Rare earth ions in crystals: multiplets Hamiltonian, selection rules. Crystal field interaction  
 Multiplets excitation and radiative average lifetime. Mechanisms of energy transfer, phonon interaction.  
**CFU:** 3  
**Reteirabilità:** 1  
**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.  
**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.  
**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Laser a Stato Solido	3	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Macchine acceleratrici (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Particles accelerators  
**Obiettivi formativi:** Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni.  
**Obiettivi formativi in Inglese:** The course will present principles and operation of accelerators of electrons and protons.  
**CFU:** 9  
**Reteirabilità:** 1  
**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.  
**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.  
**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Macchine acceleratrici	9	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Macchine acceleratrici A (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Particles Accelerators A

**Obiettivi formativi:** Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** Prova Orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Macchine acceleratrici A	6	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Metodi algebrici della Meccanica Quantistica (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Algebraic methods in quantum mechanics

**Obiettivi formativi:** Si studiano le basi matematiche della interpretazione probabilistica della meccanica quantistica, formulazione algebrica e  $C^*$  algebre, simmetrie e costruzione GNS, disuguaglianze di Bell.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The mathematical basis of the probabilistic interpretation of quantum mechanics are studied, together with the algebraic formulation and  $C^*$  algebras, symmetries and GNS construction, Bell inequalities.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Metodi algebrici della Meccanica Quantistica	6	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Metodi montecarlo nella fisica sperimentale (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Montecarlo methods in experimental physics

**Obiettivi formativi:** Fornire conoscenza sulle metodologie statistiche avanzate per la simulazione montecarlo impiegate sia nella progettazione che nella comprensione delle risposte di complessi apparati sperimentali.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Provide advanced knowledge of statistical methods for Monte Carlo simulation used in the planning and in understanding the responses of complex experimental apparatuses.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Metodi montecarlo nella fisica sperimentale	6	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Metodi numerici della Fisica Teorica (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Numerical methods in theoretical Physics



## Regolamento Fisica

**Obiettivi formativi:** Il corso propone una introduzione ad alcune tecniche di indagine numerica comuni sia alla meccanica statistica sia alla teoria quantistica dei campi nella formulazione del path-integral, basate sul calcolo della funzione di partizione mediante metodi Monte-Carlo.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Numerical analysis, approximations and errors, numerical integration, Gauss-Legendre algorithm, applications, numerical solutions of ordinary differential and Schroedinger equations, Numerov algorithm.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova orale con eventuale discussione di un progetto specifico su una delle tematiche del corso.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Metodi numerici della Fisica Teorica	9	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali + esercitazioni	A scelta dello studente

### Metodi numerici per la Fisica (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Numerical methods in Physics

**Obiettivi formativi:** Il corso è organizzato in forma modulare, con laboratorio numerico, e propone una introduzione a tecniche di indagine numerica rilevanti per vari ambiti della fisica, quali meccanica statistica, teoria quantistica dei campi, stato condensato, materiali soffici. Verranno proposti diversi moduli, ognuno dei quali affronterà una particolare tecnica numerica attualmente in utilizzo nella ricerca in fisica e le sue applicazioni più rilevanti.

Nella parte introduttiva verranno ricapitolati alcuni argomenti di analisi numerica di base, necessari per poter proficuamente affrontare i moduli specifici.

Lo studente dovrà scegliere 3 fra 8 diversi moduli proposti, ciascuno equivalente a 3 CFU, e raggiungere in ciascuno di questi le competenze necessarie per portare avanti in modo autonomo un progettino numerico sulle tematiche relative al modulo.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** La valutazione sarà basata sullo svolgimento dei mini-progetti relativi a ciascuno dei moduli scelti e sulla discussione dei risultati ottenuti.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Metodi numerici per la Fisica	9	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	lezioni frontali+laboratorio	Sperimentale applicativo

### Metodologie sperimentali per la fisica delle astroparticelle (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Experimental methods for astroparticle physics

**Obiettivi formativi:** Il corso presenta la strumentazione e le tecniche sperimentali per l'osservazione di sorgenti astrofisiche nel dominio delle alte energie. Le diverse strumentazioni sono discusse partendo dagli ordini di grandezza delle quantità da misurare (flussi, spettri...). I rivelatori di fotoni e di particelle sono trattati come i blocchi fondamentali prima di discutere le loro integrazioni in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattate discutendo le diverse regioni come aree di ricerca: astrofisica X, astrofisica gamma, astrofisica con raggi cosmici, astrofisica con neutrini, astrofisica gravitazionale, ricerca di materia oscura. Le conoscenze acquisite forniranno agli studenti interessati ad una tesi nel campo delle astroparticelle la conoscenza della strumentazione e delle tecniche di osservazione di sorgenti astrofisiche ad alta energia per lavorare alla strumentazione, pianificare ed eseguire le osservazioni. Il corso comprende una parte dedicata al follow-up delle controparti elettromagnetiche di eventi ad alta energia.

Una parte del corso è dedicata agli archivi pubblici di dati di esperimenti di alte energie e ai metodi di analisi dei dati, con esercitazioni in classe su dati (open data) di astrofisica X, astrofisica gamma, di interferometri gravitazionali.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** ESAME ORALE

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Metodologie sperimentali per la fisica delle astroparticelle	9	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
					integrative

**Metodologie sperimentali per la fisica delle astroparticelle A (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Experimental methods for astroparticle physics A

**Obiettivi formativi:** Il corso presenta la strumentazione e le tecniche sperimentali per l'osservazione di sorgenti astrofisiche nel dominio delle alte energie. Le diverse strumentazioni sono discusse partendo dagli ordini di grandezza delle quantità da misurare (flussi, spettri...). I rivelatori di fotoni e di particelle sono trattati come i blocchi fondamentali prima di discutere le loro integrazioni in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattate discutendo le diverse regioni come aree di ricerca: astrofisica X, astrofisica gamma, astrofisica con raggi cosmici, astrofisica con neutrini, astrofisica gravitazionale, ricerca di materia oscura. Le conoscenze acquisite forniranno agli studenti interessati ad una tesi nel campo delle astroparticelle la conoscenza della strumentazione e delle tecniche di osservazione di sorgenti astrofisiche ad alta energia per lavorare alla strumentazione, pianificare ed eseguire le osservazioni. Una parte del corso è dedicata agli archivi pubblici di dati di esperimenti di alte energie e ai metodi di analisi dei dati, con esercitazioni in classe su dati (open data) di astrofisica X, astrofisica gamma, di interferometri gravitazionali.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** ESAME ORALE

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Metodologie sperimentali per la fisica delle astroparticelle A	6	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Misure fisiche nella Normativa Ambientale (3 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Environmental Legislation Physical Measurements

**Obiettivi formativi:** Rumore e vibrazioni negli ambienti di lavoro:

D.Lgs. 81/08, Titolo VIII, Capo III e tecniche di misura: analisi di casi concreti in luoghi di lavoro - Valutazione dell'esposizione personale - Controllo del rumore alla sorgente - metodi per la riduzione dell'esposizione. Cenni al controllo attivo e passivo del rumore - Protettori individuali.

Vibrazioni meccaniche: Fisica elementare delle vibrazioni - Risonanza - Trasmissibilità - Effetti e controllo delle vibrazioni dei macchinari nelle costruzioni e sull'uomo - Misure di vibrazioni - Leggi e norme tecniche. Controllo delle vibrazioni negli ambienti di lavoro.

Acustica forense:

Compiti del Consulente Tecnico di ufficio e del Consulente tecnico di parte. Procedure da seguire per l'espletamento del mandato. La collaborazione con il giudice per la definizione dei quesiti. La relazione tecnica e la risposta al quesito. Il tentativo di conciliazione.

Esercitazioni pratiche sull'uso dei software per la progettazione dei requisiti acustici degli edifici:

Utilizzo dei software per la progettazione dei requisiti acustici degli edifici. Case studies in ambienti civili e di edilizia sovvenzionata.

Esercitazioni pratiche sull'uso dei software per la propagazione sonora:

Utilizzo dei software per la propagazione sonora in ambiente esterno. Predisposizione dei dati in ingresso al modello.

Utilizzo dei programmi GIS. Applicazione dei modelli ad interim e del modello CNOSSOS. Case studies su infrastrutture lineari (ferrovie e strade) e sorgenti industriali.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The course aims to provide a deeper insight into environmental acoustics issues, technical norms and legislation in force

**CFU:** 3

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Misure fisiche nella Normativa Ambientale	3	FIS/07 FISICA APPLICATA (A BENI CULTURALI, AMBIENTALI, BIOLOGIA E MEDICINA)	Affini o integrative	lezioni frontali	Attività formative affini o integrative

**Modellizzazione dei Sistemi Complessi (6 CFU)**



## Regolamento Fisica

**Denominazione in Inglese:** Complex systems models

**Obiettivi formativi:** Il corso è mirato a fornire gli strumenti teorici per la modellizzazione di sistemi complessi.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The course is aimed to provide theoretical tools for modeling biological systems.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Modellizzazione dei Sistemi Complessi	6	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Modello standard delle interazioni fondamentali (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Standard model for particle interactions

**Obiettivi formativi:** Modello standard delle interazioni fondamentali, implicazioni in ambito cosmologico.

Standard model of the fundamental interactions, Phenomenology of fundamental interactions, Connections with cosmological issues.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Description of the fundamental interactions and gauge theories; Higgs phenomenon and applications at LHC, experimental discovery of supersymmetry, neutrino's oscillations, naturalness, particle physics at the cosmological level.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Modello standard delle interazioni fondamentali	9	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Multimessenger Physics Laboratory (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Multimessenger Physics Laboratory

**Obiettivi formativi:** At the end of the course the students will be able to:

- know the main experimental techniques and facilities to detect the various cosmic messengers
- know the data format used in modern experiments in the multimessenger context
- access archives and open data available from multimessenger facilities
- perform basic data analysis in the context of high-energy astrophysics, gravitational waves, astroparticle physics
- develop an analysis project based on Python and on the specific tools required for the analysis

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** si consiglia la frequenza

Prerequisites

Basic working knowledge of the Python language.

Basic concepts of statistics (statistical distributions and their properties, fitting methods, chi squared test)

The students will be able to run the projects on their laptop, without the need to install many tools by themselves. The required tools and software will be provided through a custom environment as virtual machine, that the students will be able to install on their laptops. The virtual machine will require a standard operating system such as Linux, Windows or Mac OS. Also, other solutions (e.g. remote desktop access) will be considered as a backup solution in case of problems with the virtual machines.

**Modalità di verifica finale:** Prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
---------------	-----	-----	-----------	----------------	--------



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Multimessenger Physics Laboratory	9	FIS/01 FISICA SPERIMENTALE	Caratterizzanti	lezioni frontali+laboratorio	Sperimentale applicativo

**Ottica atomica (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Atomic Optics

**Obiettivi formativi:** Interazione della luce con un sistema quantistico. Raffreddamento laser. Le interazioni a due corpi tra atomi ultra-freddi e il loro controllo. Interferometria atomica e correlazioni quantistiche. Condensati di Bose-Einstein e laser atomici. I gas quantistici degeneri come sistemi semplici per studiare la fisica a molti corpi.

Interactions between light and quantum systems. Laser cooling. Two-body interactions between ultra-cold atoms and their control. Atomic interferometry and quantum correlations. Bose-Einstein condensates and atom lasers. The degenerate quantum gases as simple systems to study the many-body physics.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** fortemente consigliata

**Modalità di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
ottica atomica	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Ottica quantistica e plasmi (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Quantum Optics and Plasma Physics

**Obiettivi formativi:** Competenze in Ottica Fisica, Ottica Quantistica, Applicazioni dei LASERs, Accelerazione LASER-Plasma di particelle e sorgenti secondarie di radiazione X e gamma

**Obiettivi formativi in Inglese:** Electromagnetic radiation and quantum physics. Thermal and coherent radiation sources. Spatial and temporal coherence. Brilliance of a source and intensity of radiation. Nonlinear Optics: harmonic generation. Parametric amplifier. Self-focusing of laser beams.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** Tutti gli esami del triennio. La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Ottica quantistica e plasmi	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Plasmi Teoria Cinetica (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Plasma Physics kinetic theory

**Obiettivi formativi:** Equazione di Vlasov. Soluzioni stazionarie. Onde in teoria Vlasov. Smorzamento di Landau.

Intrappolamento di particelle. Instabilità risonanti. L'eq. di Vlasov in plasmi magnetizzati. Verso la MHD: onde di Alfvén. L'equazione di Ohm generalizzata.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Vlasov Eq, Stationary solutions, Waves in Vlasov theory. Landau damping, Particle trapping. Vlasov eq. in magnetized plasmas. Towards MHD Alfvén waves, Generalized Ohm's law.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Inglese

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Plasmi B	6	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o





## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
					integrative

**Plasmi A (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Plasma Physics A

**Obiettivi formativi:** Definizione di plasma. Comportamento collettivo. Dal sistema a N corpi alla teoria di campo medio. Ruolo delle collisioni. Modello fluido e variabili macroscopiche. Equilibrio, stabilità, onde. Plasmi spaziali. Cenni di fusione magnetica e inerziale.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Definition of a plasma. Collective behavior. From a N body system to mean field theory. The role of collisions. Fluid model and macroscopic variables. Equilibrium, stability, waves. Space plasmas. Outlines of magnetic and inertial fusion.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Inglese

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Plasmi A	6	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Microfisico e della struttura della materia

**Plasmi a bassa temperatura (3 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Low temperature plasmas

**Obiettivi formativi:** Plasmi "freddi" da scariche in natura e tecnologia: importanza storica, parametri tipici e leggi caratteristiche. Regimi e dispositivi per applicazioni industriali: trattamenti superficiali, microincisione, nanofabbricazione, pirolisi.

**Obiettivi formativi in Inglese:** "Cold" discharge plasmas in nature and technology: historical relevance, typical parameters and characteristic laws. Regimes and devices for industrial applications: surface processing, etching, nanofabrication, pyrolysis.

**CFU:** 3

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Plasmi a bassa temperatura	3	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Processi astrofisici (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Astrophysical processes

**Obiettivi formativi:** La fisica dell'astrofisica e le base di ossevizioni. Equilibrio statistico, processi radiativi (atomi, molecoli, processi continui termici e non), trasporto radiativo e formazione degli spettri. Idrodinamica: equazioni di moto, vorticità, viscosità, autosimilarità, instabilità, turbolenza. Applicazioni in astrofisica, e.g. venti, supernovae/novae, regioni H II, convezione, dischi d'accrescimento.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The "physics of astrophysical observations". Radiative processes, in general, including spectral line formation in static and moving media and radiative transfer. Fundamentals of hydrodynamics relevant to cosmic environments: self-similarity, viscous and vortical extensions of the equations of motion, fundamental fluid instabilities and dimensionless numbers, turbulence; application to particular astrophysical problems (e.g. interstellar medium, explosive phenomena, winds and outflows, accretion disks)

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Inglese

**Moduli**





## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Processi astrofisici	9	FIS/05 ASTRONOMIA E ASTROFISICA	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Astrofisico, geofisico e spaziale

## Prova finale (45 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Thesis

**CFU:** 45

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** Preparazione di un elaborato scritto e presentazione orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Prova finale	45	PROFIN_S Prova finale per settore senza discipline	Altre attività - prova finale	prova finale	Per la prova finale

## Quantum fields and topology (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Quantum fields and topology

**Obiettivi formativi:** Descrivere le applicazioni dei metodi della teoria dei campi quantizzati nel calcolo di invarianti topologici associati ai nodi ed alle varietà tridimensionali. Apprendere alcune nozioni basilari di topologia e della teoria degli invarianti polinomiali associati ai nodi. Gli argomenti discussi comprendono: teorie di gauge topologiche, operatori di linea di Wilson, relazioni di skein, calcolo perturbativo, operatori composti.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** frequenza fortemente consigliata

**Modalità di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Inglese

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Quantum fields and topology	6	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Reazioni nucleari di interesse astrofisico (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Nuclear reactions of astrophysical relevance

**Obiettivi formativi:** Elementi di teoria della diffusione, sezione d'urto, fattore astrofisico e picco di Gamow. Metodi moderni per lo studio dei sistemi nucleari a pochi corpi: metodo di Faddeev e metodi variazionali. Studio dettagliato delle principali reazioni nucleari della catena pp e della teoria della nucleosintesi primordiale.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Selected topics of scattering theory, cross section, astrophysical factor and Gamow peak. Modern methods for the study of few-nucleon systems: Faddeev method and variational methods. Detailed study of the most important nuclear reactions present in the pp chain and in the theory of Big Bang Nucleosynthesis.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Reazioni nucleari di interesse astrofisico	9	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Relatività generale (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** General relativity

**Obiettivi formativi:** Descrizione geometrica dello spazio e del tempo



## Regolamento Fisica

in presenza di gravi fornita dalla teoria della relativita` generale, e le sue applicazioni, come i buchi neri, radiazione gravitazionale, e la cosmologia del big bang. Aspetti sperimentali per lo studio dei fenomeni gravitazionali.

Geometric description of the the space-time in the presence of matter, as provided by the theory of General Relativity, and some of its physical applications, such as black holes, gravitational waves, and Big Bang cosmology. Experimental aspects of the study of gravitazional phenomena.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The theory of general relativity is presented, together with the basis of the differential geometry, Einstein equations, Schwarzschild metric, gravitational waves, cosmological models.

**CFU:** 9

**Reteirabilita`:** 1

**Propedeuticit`:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni e` fortemente consigliata.

**Modalita` di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Relativita` generale	9	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Caratterizzanti	lezioni frontali + esercitazioni	Teorico e dei fondamenti della Fisica

### Reologia (3 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Rheology

**Obiettivi formativi:** Fluidi complessi, solidi e liquidi classici. Propriet` e misure reologiche. Cinematica e sforzi, tensore degli sforzi. Reologia dei polimeri. Reologia di altri fluidi complessi

**CFU:** 3

**Reteirabilita`:** 1

**Modalita` di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Reologia	3	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attivit` formative affini o integrative

### Risonanza Magnetica Nucleare (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Nuclear Magnetic Resonance

**Obiettivi formativi:** Il corso fornisce le conoscenze di base della RMN trattata in forma classica e quantistica. Vengono discussi i principi e le tecniche della tomografia 3D con risonanza magnetica per l'imaging "in-vivo", la spettroscopia e l'imaging funzionale.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The course provides the basic knowledge of NMR both with a classical and a quantum approach. The fundamentals and the techniques of 3D tomography with magnetic resonance for "in-vivo" imaging, spectroscopy and functional MRI will be discussed.

**CFU:** 6

**Reteirabilita`:** 1

**Propedeuticit`:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni e` fortemente consigliata.

**Modalita` di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Risonanza Magnetica Nucleare	6	FIS/07 FISICA APPLICATA (A BENI CULTURALI, AMBIENTALI, BIOLOGIA E MEDICINA)	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attivit` formative affini o integrative

### Simmetrie Discrete (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Discrete Symmetries



## Regolamento Fisica

**Obiettivi formativi:** Il corso si propone di discutere le simmetrie discrete nella fisica delle particelle elementari. Vengono esaminati i piu' importanti esperimenti relativi alla violazione delle simmetrie P, C, T, CP, CPT e quelli sulla conservazione del numero leptonico e di quello barionico. Le violazioni di P, C, T, CP sono inquadrare nell'ambito della teoria elettrodebole, di cui vengono discussi gli aspetti fenomenologici.

The lectures are aimed to the study of the discrete symmetries in the elementary particle physics. The most important experiments related to the violation of the P, C, T, CP symmetries, as well those searching for the violation of the leptonic and the barionic number, are discussed. In particular the violations of P, C, T, CP are presented with a discussion of the related phenomenological aspects within the electroweak theory.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** Meccanica Quantistica Relativistica, Fisica 3, Interazioni Fondamentali

**Modalità di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Simmetrie Discrete	6	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Sistemi complessi (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Complex Systems

**Obiettivi formativi:** Il corso tratta argomenti rilevanti per lo studio dei sistemi complessi. In particolare, partendo da processi stocastici e nonlineari, con relativo formalismo (ad esempio, equazioni differenziali stocastiche), si arriverà fino al trattamento del caos in sistemi conservativi e dissipativi. Verranno sottolineati gli aspetti e applicazioni interdisciplinari, con particolare enfasi alla termodinamica fuori equilibrio.

The course deals with topics relevant for the study of complex systems. In particular, starting from stochastic and nonlinear processes, with relative formalism (for example, stochastic differential equations), we will arrive to the treatment of chaos in conservative and dissipative systems. The interdisciplinary aspects and applications will be underlined, with particular emphasis on non equilibrium thermodynamics.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** prova orale su progetto individuale

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Sistemi complessi	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Caratterizzanti	lezioni frontali	Microfisico e della struttura della materia

### Sistemi Complessi - Dinamiche Neurali (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Complex Systems - Neural dynamics

**Obiettivi formativi:** Il corso fornisce alcuni metodi matematici utilizzati per lo studio dei sistemi neurali.

The course provides some mathematical methods for the study of neural systems.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Sistemi Complessi - Dinamiche Neurali	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Sistemi disordinati fuori equilibrio (9 CFU)



## Regolamento Fisica

**Denominazione in Inglese:** Disordered and off-equilibrium systems

**Obiettivi formativi:** Il Corso intende fornire conoscenze di base in:

- Descrizione ed interpretazione del disordine in liquidi, colloidi, vetri e polimeri.
- Dinamica e termodinamica degli stati di fuori equilibrio nella materia passiva e attiva.
- Tecniche sperimentali di uso corrente nello studio di struttura e dinamica di sistemi disordinati.

Learning outcomes:

By the end of the course, students will have acquired a basic knowledge in the following areas:

- Description and interpretation of disorder in liquids, colloids, glasses and polymers,
- Dynamics and thermodynamics of the off-equilibrium systems in passive and active matter,
- Experimental techniques currently used in studies concerning structure and dynamics of disordered systems.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Sistemi disordinati fuori equilibrio	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Sistemi planetari (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Planetary systems

**Obiettivi formativi:** Richiami di Meccanica Celeste. Il Sistema Solare: pianeti, pianeti nani e corpi minori. caratteristiche fisiche e problematiche evolutive. Processi di evoluzione dinamica nel Sistema Solare. Evoluzione collisionale nel Sistema Solare. Processi di formazione planetaria. I pianeti extrasolari: scoperta, caratteristiche, problematiche formative ed evolutive. Pianeti abitabili e possibile vita nell'Universo"

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Sistemi planetari	6	FIS/05 ASTRONOMIA E ASTROFISICA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

### Solitoni topologici e aspetti non perturbativi delle teorie di gauge (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Topological solitons and nonperturbative aspects of gauge theories

**Obiettivi formativi:** Aspetti fondamentali dei solitoni topologici di varie codimensioni in teorie di gauge di interesse fisiche, che hanno vaste applicazioni in diversi campi di fisica. Esempi sono il monopolo di Dirac, il monopolo di 't Hooft-Polyakov, gli istantoni in teorie di Yang-Mills, e i vortici in teorie di Higgs Abelian e teorie di gauge non-Abeliane. Elementi base di gruppi di omotopia e geometrie algebriche sarà esposto. Dopo una breve introduzione alla supersimmetria, la soluzione di Seiberg-Witten in teorie di gauge con N=2 supersimmetrie sarà discussa, con cenni allo sviluppo teorico più recente.

Fundamental aspects of topological solitons in four dimensional gauge theories of physical interest will be introduced. They have vast number of applications in diverse fields of physics. Examples are the Dirac and 't Hooft-Polyakov monopoles, instantons in Yang-Mills theories, and vortices in Abelian Higgs model and in nonAbelian gauge theories. Basic notion of homotopy groups and algebraic geometry will be given. After a brief introduction to supersymmetry, the Seiberg-Witten solutions of N=2 supersymmetric gauge theories will be discussed, with some emphasis on the most recent theoretical developments in the related field.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza a lezioni ed esercitazioni è fortemente consigliata

**Modalità di verifica finale:** Prova orale

**Lingua ufficiale:** Inglese

### Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Solitoni topologici e aspetti	6	FIS/02 FISICA TEORICA,	Affini o integrative	lezioni frontali	Attività



## Regolamento Fisica

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
non perturbativi delle teorie di gauge		MODELLI E METODI MATEMATICI		+ esercitazioni	formative affini o integrative

**Spettroscopia dei nanomateriali (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Spectroscopy of nanomaterials

**Obiettivi formativi:** Optical properties of the main physical systems; energy level labelling with quantum numbers and with group theory; experimental techniques: sources, detectors, spectrometers; Fourier and Raman spectroscopy; Optical microscopy and spectroscopy at the diffraction limit: epifluorescence, dark and bright field, confocal configurations. Individual emitting nanoparticles, quantum dots and chromophores. Sub-diffraction microscopy and spectroscopy: STED, PALM, STORM. Plasmon resonances: SPP and LSPR, plasmon spectroscopy. Scanning microscopy and spectroscopy: optical near-field, tip-enhanced spectroscopies, variants of scanning probe spectroscopies.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Spettroscopia dei nanomateriali	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Spettroscopia dei nanomateriali 1 (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Spectroscopy of Nanomaterials 1

**Obiettivi formativi:** • Descrizione dei livelli energetici vibrazionali e rotazionali delle molecole e loro regole di selezione.

- Descrizione dei livelli energetici nei solidi isolanti (centri di colore, terre rare, metalli di transizione) e semiconduttori (elettroni, fononi, eccitoni...)
- Cenni di teoria dei gruppi applicata alla classificazione dei livelli vibrazionali delle molecole.
- Tecniche sperimentali per misure di assorbimento, emissione, vite medie, spettroscopia Raman, spettroscopia di Fourier: reticoli di diffrazione, monocromatori, interferometri, sorgenti e rivelatori

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** Esame finale orale, parte del quale può essere sostenuta basandosi su una breve presentazione su argomento concordato.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Spettroscopia dei nanomateriali 1	6	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali + esercitazioni	A scelta dello studente



## Regolamento Fisica

**Spettroscopia dei nanomateriali 2 (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Spectroscopy of Nanomaterials 2:

**Obiettivi formativi:** • Microscopia ottica confocale e oltre il limite di diffrazione (STED, PALM);

- Proprietà ottiche e confinamento quantico in nanostrutture di semiconduttori;
- Plasmonica superficiale e localizzata;
- Fondamenti di nano-fotonica, sistemi a band-gap fotonico, metamateriali;
- Microscopie e spettroscopie a scansione di sonda e a campo ottico prossimo.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Modalità di verifica finale:** Esame finale orale, parte del quale può essere sostenuta basandosi su una breve presentazione su argomento concordato.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Spettroscopia dei nanomateriali 2	6	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali + esercitazioni	A scelta dello studente

**Teoria dei gruppi (3 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Group theory

**Obiettivi formativi:** Verranno esposti i principi fondamentali della teoria dei gruppi, sia gli aspetti matematici che le applicazioni fisiche. Si studieranno le algebre di Lie e le loro rappresentazioni.

**Obiettivi formativi in Inglese:** The fundamental principles of the group theory will be exposed, together with the mathematical aspects and the physical applications. Lie algebras and their representations will be studied.

**CFU:** 3

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Teoria dei gruppi	3	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Teoria delle reazioni nucleari (9 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Nuclear Reaction Theory

**Obiettivi formativi:** La diffusione elastica e il potenziale ottico. Nucleo Composto. Fissione. Problemi energetici e reazioni nucleari. Onde distorte. Reazioni dirette. Trasferimento Breakup nucleare e Coulombiano. Accoppiamenti ed effetti di ordine superiore. Interazioni nello stato finale. Applicazioni alla fisica dei nuclei esotici. Estrazione di informazioni sulla struttura nucleare mediante l'analisi di dati sperimentali.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Elastic scattering and the optical potential. Compound nucleus. Fission. Nuclear reactions vs. energy problems. Distorted waves. Direct reactions. Transfer. Nuclear and Coulomb Breakup. Couplings and higher order effects. Final state interactions. Exotic nuclei applications. Data analysis and nuclear structure information extraction.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Teoria delle reazioni nucleari	9	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

**Teoria delle reazioni nucleari A (6 CFU)**

**Denominazione in Inglese:** Nuclear Reaction Theory A

**Obiettivi formativi:** La diffusione elastica e il potenziale ottico. Nucleo Composto. Fissione. Problemi energetici e reazioni



## Regolamento Fisica

nucleari.

Onde distorte. Reazioni dirette. Trasferimento, Breakup nucleare e Coulombiano. Accoppiamenti ed effetti di ordine superiore.

Interazioni nello stato finale. Applicazioni alla fisica dei nuclei esotici.

**Obiettivi formativi in Inglese:** Elastic scattering and the optical potential. Compound nucleus. Fission. Nuclear reactions vs. energy problems. Distorted waves. Direct reactions. Transfer. Nuclear and Coulomb Breakup. Couplings and higher order effects. Final state interactions. Exotic nuclei applications. Data analysis and nuclear structure information extraction.

**CFU:** 6

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Teoria delle reazioni nucleari A	6	FIS/04 FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Teoria quantistica dei solidi (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Quantum theory of Solids

**Obiettivi formativi:** Stati elettronici nei solidi: l'approssimazione ad un elettrone e il suo superamento. Eccitoni, plasmoni e schermo dielettrico nei cristalli. L'approssimazione di Born-Oppenheimer. Teorema di Hellmann-Feynman e sua applicazione al calcolo delle forze sui nuclei. Definizione di fase di Berry. Superconduttività

**Obiettivi formativi in Inglese:** Electronic states in solids: the one-electron approximation and beyond. Excitons, plasmons, dielectric screening in crystals. The Born-Oppenheimer approximation. Hellmann-Feynman theorem and its application to the calculation of forces on the nuclei. Berry phase. Superconductivity.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.

**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Teoria quantistica dei solidi	9	FIS/03 FISICA DELLA MATERIA	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Teorie della gravitazione (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** gravitation theory

**Obiettivi formativi:** Dopo aver introdotto la geometria differenziale, sono presentate le formulazioni principali, lagrangiane e hamiltoniane, della gravità classica, e le soluzioni esatte più importanti. Viene studiata la definizione di energia del campo gravitazionale e dimostrata la sua positività. Sono poi trattati gli aspetti notevoli della gravità quantistica, come la radiazione di Hawking, l'entropia dei buchi neri, la formulazione perturbativa e il problema della nonrinormalizzabilità.

**CFU:** 9

**Reteirabilità:** 1

**Propedeuticità:** la frequenza è fortemente consigliata

**Modalità di verifica finale:** prova orale

**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Teorie della gravitazione	9	NN No settore	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali	A scelta dello studente

## Teorie della gravitazione A (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** gravitation theory

**Obiettivi formativi:** Il corso è dedicato alle formulazioni principali, lagrangiane e hamiltoniane, della gravità classica, le soluzioni esatte più importanti, la definizione di energia del campo gravitazionale e la sua positività, la radiazione di Hawking, la teoria delle perturbazioni, e alcuni problemi legati alla quantizzazione del campo



## Regolamento Fisica

gravitazionale.

**CFU:** 6**Reteirabilità:** 1**Propedeuticità:** frequenza fortemente consigliata**Modalità di verifica finale:** prova orale**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Teorie della gravitazione A	6	NN No settore	Altre attività - scelta libera dello studente	lezioni frontali	A scelta dello studente

## Topological quantum field theory (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Topological quantum field theory**Obiettivi formativi:** Descrivere le applicazioni dei metodi della teoria dei campi quantizzati nel calcolo di invarianti topologici associati ai nodi ed alle varietà tridimensionali. Apprendere alcune nozioni basilari di topologia e della teoria degli invarianti polinomiali associati ai nodi. Gli argomenti discussi comprendono: teorie di gauge topologiche, operatori di linea di Wilson, relazioni di skein, calcolo perturbativo, operatori composti.**Obiettivi formativi in Inglese:** Give a description of the applications of quantum field theory in the computation of the topological invariants which are associated with knots and 3-manifolds. Learn some basic notions of topology and of the theory of the polynomial invariants associated with knots. The discussed arguments include: topological gauge theories, Wilson line operators, skein relations, perturbative calculus, composite operators.**CFU:** 6**Reteirabilità:** 1**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni è fortemente consigliata.**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.**Lingua ufficiale:** Inglese

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Topological quantum field theory	6	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Transizioni di fase e fenomeni critici (6 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Phase transitions and critical phenomena**Obiettivi formativi:** Il corso è dedicato alle transizioni di fase di seconda specie e ai fenomeni critici, teoria di Landau-Ginzburg, scaling e trasformazioni di Kadanoff, gruppo di rinormalizzazione e calcolo degli indici critici.**Obiettivi formativi in Inglese:** The course is dedicated to the second order phase transitions and the critical phenomena, Landau-Ginzburg theory, scaling and Kadanoff transformations, renormalization group and the computation of the critical indices.**CFU:** 6**Reteirabilità:** 1**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.**Lingua ufficiale:** Italiano

## Moduli

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Transizioni di fase e fenomeni critici	6	FIS/02 FISICA TEORICA, MODELLI E METODI MATEMATICI	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative

## Trattamento di immagini biomediche (9 CFU)

**Denominazione in Inglese:** Biomedical image processing**Obiettivi formativi:** Il corso fornisce i fondamenti per la ricostruzione tomografica ed elaborazione di immagini biomediche. Sono trattati i temi della visione biologica e artificiale. Sono sviluppate esperienze dirette su sistemi di elaborazione di immagini digitali.**Obiettivi formativi in Inglese:** The course provides the basic for the tomographic reconstruction algorithms and the processing of biomedical images. The physics aspects of the biological and artificial vision are discussed. Hands-on experiences on digital image processing are held.**CFU:** 9



**Regolamento Fisica****Reteirabilità:** 1**Propedeuticità:** La frequenza alle lezioni e alle esercitazioni è fortemente consigliata.**Modalità di verifica finale:** Prova d'esame orale.**Lingua ufficiale:** Italiano**Moduli**

Denominazione	CFU	SSD	Tipologia	Caratteristica	Ambito
Trattamento di immagini biomediche	9	FIS/07 FISICA APPLICATA (A BENI CULTURALI, AMBIENTALI, BIOLOGIA E MEDICINA)	Affini o integrative	lezioni frontali + esercitazioni	Attività formative affini o integrative


**Curriculum: PIANO DI STUDIO 2 - INTERAZIONI FONDAMENTALI**
**Primo anno (48 CFU)**
**Fisica delle Particelle (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Fisica delle Particelle	9	FIS/04	Caratterizzanti	Microfisico e della struttura della materia

**Fisica teorica 1 (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Fisica teorica 1	9	FIS/02	Caratterizzanti	Teorico e dei fondamenti della Fisica

**Interazioni fondamentali (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Interazioni fondamentali	9	FIS/04	Caratterizzanti	Microfisico e della struttura della materia

**Laboratorio di interazioni Fondamentali B (15 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
MODULO B	6	FIS/01	Caratterizzanti	Sperimentale applicativo
MODULO A	9	FIS/01	Caratterizzanti	Sperimentale applicativo

**Gruppo: IF1 ( 6 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corso caratterizzante per il curriculum di Fisica delle Interazioni Fondamentali	Caratterizzanti	Astrofisico, geofisico e spaziale


**Curriculum: PIANO DI STUDIO 2 - INTERAZIONI FONDAMENTALI**
**Secondo anno (72 CFU)**
**Gruppo: IF ( 18 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Altri corsi DI NECESSARIA ATTIVAZIONE per il curriculum di Fisica delle Interazioni Fondamentali	Affini o integrative	

**Gruppo: GR9 ( 9 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
GRUPPO A SCELTA		

**Prova finale (45 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Prova finale	45	PROFIN_S	Altre attività - prova finale	Per la prova finale


**Curriculum: PIANO DI STUDIO 4 - FISICA TEORICA**
**Primo anno (57 CFU)**
**Fisica teorica 1 (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Fisica teorica 1	9	FIS/02	Caratterizzanti	Teorico e dei fondamenti della Fisica

**Fisica teorica 2 (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Fisica teorica 2	9	FIS/02	Caratterizzanti	Teorico e dei fondamenti della Fisica

**Gruppo: TE03 ( 6 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corso caratterizzante - Fisica Teorica	Caratterizzanti	Astrofisico, geofisico e spaziale

**Gruppo: TE01 ( 9 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corso caratterizzante - Fisica Teorica	Caratterizzanti	Sperimentale applicativo

**Gruppo: TE02 ( 9 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corso caratterizzante - Fisica Teorica	Caratterizzanti	Microfisico e della struttura della materia

**Gruppo: GR SCELTA 15 ( 15 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
GR SCELTA 15		

**Curriculum: PIANO DI STUDIO 4 - FISICA TEORICA****Secondo anno (63 CFU)****Gruppo: TEO ( 18 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Altri corsi DI NECESSARIA ATTIVAZIONE per il curriculum di Fisica teorica	Affini o integrative	

**Prova finale (45 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Prova finale	45	PROFIN_S	Altre attività - prova finale	Per la prova finale


**Curriculum: PIANO DI STUDIO 5 - FISICA DELLA MATERIA**
**Primo anno (57 CFU)**
**Fondamenti di interazione radiazione materia (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Fondamenti di interazione radiazione materia	9	FIS/03	Caratterizzanti	Microfisico e della struttura della materia

**Laboratorio di ottica quantistica (12 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Laboratorio di ottica quantistica	12	FIS/01	Caratterizzanti	Sperimentale applicativo

**Gruppo: FMAT3 ( 6 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
caratterizzanti FIS05	Caratterizzanti	Astrofisico, geofisico e spaziale

**Gruppo: FMAT1 ( 9 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corso caratterizzante per il curriculum di Fisica della Materia	Caratterizzanti	Teorico e dei fondamenti della fisica

**Gruppo: FMAT2 ( 9 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corso caratterizzante per il curriculum di Fisica della Materia	Affini o integrative	

**Gruppo: GR SCELTA12 ( 12 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
GR SCELTA 12		

**Curriculum: PIANO DI STUDIO 5 - FISICA DELLA MATERIA****Secondo anno (63 CFU)****Gruppo: FMAT ( 9 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corsi consigliati per il curriculum di Fisica della Materia	Affini o integrative	

**Gruppo: FMATB ( 9 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corso consigliato per il curriculum di Fisica della Materia		

**Prova finale (45 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Prova finale	45	PROFIN_S	Altre attività - prova finale	Per la prova finale


**Curriculum: PIANO DI STUDIO 3 - FISICA MEDICA**
**Primo anno (60 CFU)**
**Fisica medica (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Fisica medica	9	FIS/07	Caratterizzanti	Sperimentale applicativo

**Laboratorio di fisica medica (12 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Laboratorio di fisica medica - Modulo A	6	FIS/01	Caratterizzanti	Sperimentale applicativo
Laboratorio di fisica medica - Modulo B	6	FIS/01	Caratterizzanti	Sperimentale applicativo

**Gruppo: FMED2 (9 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corso caratterizzante del curriculum	Caratterizzanti	Microfisico e della struttura della materia

**Gruppo: FMED3 (6 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corso caratterizzante del curriculum	Caratterizzanti	Astrofisico, geofisico e spaziale

**Gruppo: FMED1 (9 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corso caratterizzante per il curriculum di Fisica Medica	Caratterizzanti	Teorico e dei fondamenti della fisica

**Gruppo: GR SCELTA 15 (15 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
GR SCELTA 15		




**Curriculum: PIANO DI STUDIO 3 - FISICA MEDICA**
**Secondo anno (60 CFU)**
**Gruppo: FMED ( 15 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corsi consigliati per il curriculum di Fisica Medica	Affini o integrative	

**Prova finale (45 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Prova finale	45	PROFIN_S	Altre attività - prova finale	Per la prova finale


**Curriculum: PIANO DI STUDIO 1 - ASTRONOMIA E ASTROFISICA**
**Primo anno (57 CFU)**
**Astrofisica (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Astrofisica	9	FIS/05	Caratterizzanti	Astrofisico, geofisico e spaziale

**Astrofisica Osservativa (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Astrofisica osservativa	9	FIS/01	Caratterizzanti	Sperimentale applicativo

**Processi astrofisici (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Processi astrofisici	9	FIS/05	Caratterizzanti	Astrofisico, geofisico e spaziale

**Relatività generale (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Relativita' generale	9	FIS/02	Caratterizzanti	Teorico e dei fondamenti della Fisica

**Gruppo: ASTRO 1 ( 9 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
ASTRO1	Caratterizzanti	Microfisico e della struttura della materia

**Gruppo: GR SCELTA12 ( 12 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
GR SCELTA 12		


**Curriculum: PIANO DI STUDIO 1 - ASTRONOMIA E ASTROFISICA**
**Secondo anno (63 CFU)**
**Fisica stellare (9 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Fisica stellare	9	FIS/05	Affini o integrative	Attività formative affini o integrative

**Gruppo: ASTR (9 CFU)**

Descrizione	Tipologia	Ambito
Corsi consigliati il per il curriculum di Astronomia e Astrofisica	Affini o integrative	

**Prova finale (45 CFU)**

	CFU	SSD	Tipologia	Ambito
Prova finale	45	PROFIN_S	Altre attività - prova finale	Per la prova finale