

# Università di Pisa

## Regolamento didattico

<b>Corso di Studio</b>	WFI-LM - FISICA
<b>Tipo di Corso di Studio</b>	Laurea Magistrale
<b>Classe</b>	Classe delle lauree magistrali in Fisica (LM-17)
<b>Anno Ordinamento</b>	2023/2024
<b>Anno Regolamento (coorte)</b>	2024/2025

## Presentazione

<b>Struttura didattica di riferimento</b>	DIPARTIMENTO DI FISICA
<b>Docenti di Riferimento</b>	- CLAUDIO AMOVILLI - IGNAZIO BOMBACI - COSTANTINO BUDRONI - FRANCESCO CALIFANO - FRANCESCA CELLA ZANACCHI - MICHELE CIGNONI - MARIA EVELINA FANTACCI - FRANCESCO FIDECARO - FRANCESCO FORTI - PAOLO FRANCAVILLA - RICCARDO MANNELLA - MATTEO MORROCCHI - DARIO PISIGNANO - MARCO POLINI - GIOVANNI PUNZI - ANGELO RICCIARDONE - STEFANO RODDARO - DAVIDE ROSSINI

	- GIOVANNI SIGNORELLI
	- ALESSANDRO TREDICUCCI
	- ETTORE VICARI
	- OMAR ZANUSSO
	- SCILLA DEGL'INNOCENTI
	- FRANCESCO FORTI
<b>Tutor</b>	- RICCARDO MANNELLA
	- DAVIDE ROSSINI
	- VALERIA ROSSO
<b>Durata</b>	2 Anni
<b>CFU</b>	120
<b>Titolo Rilasciato</b>	Laurea Magistrale in FISICA
<b>Titolo Congiunto</b>	No
<b>Doppio Titolo</b>	No
<b>Modalità Didattica</b>	Convenzionale
<b>Lingua/e in cui si tiene il Corso</b>	Italiano
<b>Indirizzo internet del Corso di Studio</b>	<a href="https://www.df.unipi.it/didattica/laurea-magistrale/presentazione/">https://www.df.unipi.it/didattica/laurea-magistrale/presentazione/</a>
<b>Il corso è</b>	Trasformazione di corso 509
<b>Massimo numero di crediti riconoscibili</b>	12
<b>Percorsi di studio</b>	FISICA MEDICA (10) ASTRONOMIA E ASTROFISICA (11) GENERALE (12) FISICA TEORICA (7) INTERAZIONI FONDAMENTALI (8) FISICA DELLA MATERIA (9)
<b>Sedi del Corso</b>	Università di Pisa (Responsabilità Didattica)

# Obiettivi della Formazione

## **Consultazione con le organizzazioni rappresentative - a livello nazionale e internazionale - della produzione di beni e servizi, delle professioni (Istituzione del corso)**

Il Corso di Laurea in Fisica, così come gli altri corsi di studio dell'Università di Pisa, ha subito negli ultimi anni una evoluzione innescata dalla pubblicazione del D.M. 270/04 e incentrata su innovativi processi di autonomia, di responsabilità e di qualità. L'autonomia didattica si è indirizzata verso alcuni obiettivi di sistema, come la riduzione e la razionalizzazione delle prove d'esame, il miglioramento della qualità e della trasparenza dell'offerta e il rapportarsi tra progettazione e analisi della domanda di conoscenze e competenze espressa dai principali attori del mercato del lavoro, come elemento fondamentale per la qualità e l'efficacia delle attività cui l'università è chiamata.

In sede di istituzione del corso di studio è stata chiesta ai consessi competenti l'espressione di un parere circa l'ordinamento didattico del corso di laurea in Fisica. Il fatto che l'Università di Pisa abbia privilegiato nel triennio la formazione di base e caratterizzante, spostando al secondo livello delle lauree magistrali numerosi indirizzi specialistici che potranno coprire alcune esigenze di conseguimento di professionalità specifiche per determinati settori, è stato giudicato positivamente sottolineando anche che, oltre all'attenzione posta alla formazione di base, positivi sono sia la flessibilità curricolare che l'autonomia e la specificità della sede universitaria, che mostra in questo contesto tutte le eccellenze di cui è depositaria.

Il corso di studio, nell'ambito del riesame annuale, nell'intento di verificare e valutare gli interventi mirati al miglioramento del corso stesso, ha effettuato in proprio un'indagine statistica sullo stato occupazionale dei propri recenti laureati, ricavando dati largamente positivi.

Inoltre, al fine di incrementare i legami internazionali nonché le possibilità occupazionali sul mercato internazionale, ha appena stipulato un accordo con l'Università "Pierre and Marie Curie" di Parigi che prevede lo scambio di studenti tra i due Atenei e il rilascio del doppio titolo di studio.

## **Consultazione con le organizzazioni rappresentative – a livello nazionale e internazionale – della produzione di beni e servizi, delle professioni (Consultazioni successive)**

Nonostante la riconosciuta valenza del percorso da parte dei diversi stakeholders la Direzione del Corso di Studio ha istituito - dal 2017 - un Comitato d'Indirizzo che periodicamente e sistematicamente si è incontrato e confrontato con lo scopo di migliorare, arricchire e potenziare l'offerta formativa del percorso di studio magistrale. Ad oggi si sta modificando la costituzione del Comitato seguendo l'evoluzione dell'attività di ricerca che viene portata avanti in Dipartimento. È importante riflettere su cosa si può migliorare, di un percorso già tanto apprezzato, con i diversi portatori d'interesse.

I docenti del Dipartimento continuano a promuovere proposte per l'offerta formativa affinché sia rispondente al meglio ai nuovi sviluppi della ricerca e del mondo del lavoro.

## **Profilo professionale e sbocchi occupazionali e professionali previsti per i laureati**

### **Ricercatore in Fisica**

#### **Funzioni in un contesto di lavoro:**

Attività di ricerca ed innovazione metodologica e applicativa nei diversi settori della fisica.

### **Competenze associate alla funzione:**

Il corso fornisce profonde conoscenze e adeguata metodologia scientifica nel settore della ricerca in fisica.

Pertanto il laureato magistrale in fisica saprà svolgere attività di ricerca presso industrie o laboratori ed istituti nazionali ed esteri; saprà svolgere attività didattica e di divulgazione ad alto livello della cultura scientifica.

Saprà aggiornarsi autonomamente e continuamente nelle materie di competenza attraverso la consultazione delle pubblicazioni scientifiche.

### **Sbocchi occupazionali:**

Enti pubblici e Privati operanti nel settore della ricerca in fisica.

Dottorato in Fisica; Master di secondo livello proposti: Scuola di specializzazione in Fisica Medica;

Corsi previsti per l'accesso ai concorsi pubblici per l'insegnamento della Matematica e Scienze - e- Matematica e Fisica rispettivamente nella scuola secondaria di primo e secondo grado.

Università o Scuole dove svolgere divulgazione ad alto livello della cultura scientifica.

## **FISICO PROFESSIONISTA MAGISTRALE**

### **Funzioni in un contesto di lavoro:**

Il laureato in Fisica Magistrale andrà a svolgere a livello professionale e in ambiti specialistici, attività di ricerca e sviluppo che implicano l'impiego di metodologie avanzate o innovative.

In particolare svolgerà funzioni di elevata responsabilità e coordinamento:

- nella progettazione di un piano di ricerca e sviluppo di teorie, modelli e sistemi;
- nella progettazione e sviluppo di piani di analisi dati e metodi di calcolo e misura nei diversi settori
- nella valutazione e verifica di gestione delle modalità di calcolo e misura dei diversi settori...

### **Competenze associate alla funzione:**

Il corso, con la sua offerta formativa, garantisce al laureato:

- profonda conoscenza delle metodologie necessarie per inserirsi in ambiti specialistici della ricerca, dello sviluppo e del trasferimento tecnologico;
- spiccata capacità di analisi dati e di valutazione di sistemi complessi nei diversi ambiti della fisica da quella più strettamente teorica a quella applicata.

### **Sbocchi occupazionali:**

Il laureato è specificamente preparato e quindi potrà inserirsi:

- in processi dove si richiede promozione e sviluppo dell'innovazione tecnologica e industriale, e nel trasferimento tecnologico;
- nell'ambito internazionale in processi produttivi che coinvolgono la fisica della materia e dei materiali, l'elettronica, la fotonica, la nanofisica e l'informatica;
- nel settore pubblico dove potrà assumere responsabilità di progetti e strutture.

### **Il corso prepara alla professione di (Codifiche ISTAT):**

- Fisici (2.1.1.1.1)
- Ricercatori e tecnici laureati nelle scienze fisiche (2.6.2.1.2)

### **Conoscenze richieste per l'accesso**

Il corso di laurea non è ad accesso programmato.

Requisito curriculare generale per l'ammissione è il possesso di una laurea triennale in Fisica (classe 25 o classe L-30).

Sono ammessi laureati di altre classi, con titolo conseguito in Italia o equivalente titolo conseguito all'estero, purché in possesso di 90 CFU maturati nei SSD di Fisica (SSD FIS/01-08).

Sono ammessi inoltre gli studenti di Università con cui siano in vigore apposite convenzioni, secondo i requisiti in esse specificati.

Il consiglio, in presenza di laureati con elevata preparazione, ma privi dei 90 crediti nei settori di Fisica, potrà prescrivere eventuali ulteriori insegnamenti da superare prima dell'effettiva immatricolazione alla LM e, ove necessario, vincolerà il percorso magistrale a un preciso e ben delineato piano di studi.

E' richiesta una buona conoscenza della lingua Inglese (livello B2 o superiore).

## **Modalità di ammissione**

Coloro che posseggono i requisiti curricolari per l'ammissione al corso di Laurea Magistrale cioè 90 CFU maturati nei SSD di Fisica (SSD FIS/01-08) sono ammessi di diritto alla LM. Gli studenti di Università con cui è in vigore una convenzione sono ammessi secondo i requisiti in essa specificati.

Agli studenti laureati, con elevata preparazione ma privi del requisito di 90 CFU maturati nei SSD di Fisica (SSD FIS/01-08), una specifica Commissione, preposta alla valutazione, indicherà eventuali ulteriori insegnamenti da superare prima dell'immatricolazione e, ove necessario, vincolerà il loro piano di studi magistrale.

## **Obiettivi formativi specifici del Corso e descrizione del percorso formativo**

Il Corso di Laurea Magistrale in Fisica è progettato per rispondere alla crescente domanda di figure con:

- una solida ed approfondita preparazione culturale nei diversi campi della Fisica e una rigorosa padronanza del metodo scientifico e d'indagine;
- 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 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;
- una attitudine ad inserirsi nel mondo della ricerca scientifica o in realtà lavorative che necessitino di elevate conoscenze scientifiche e tecnologiche.

Il percorso della laurea magistrale in Fisica si propone allora di formare specialisti dotati di una profonda cultura nei fondamenti scientifici della fisica e di elevate competenze nelle tecniche applicative, con l'obiettivo di contribuire al progresso scientifico sia per quanto riguarda gli aspetti di base più tipici della fisica teorica che per il loro utilizzo nei differenti ambiti applicativi.

Il percorso formativo copre argomenti fondamentali indispensabili nel bagaglio culturale di un laureato magistrale del settore.

Inoltre, è prevista l'acquisizione di conoscenze avanzate su alcuni argomenti specialistici di notevole impatto innovativo, che lo studente sceglie in base alle proprie attitudini e ai propri interessi, all'interno di una offerta che copre alcuni dei campi più significativi della fisica: Astrofisica, Biofisica, Elettronica, Fisica Ambientale, Fisica Medica, Fisica della Materia e nanotecnologie, Fisica dello Spazio, Fisica Nucleare, Fisica Subnucleare e Astroparticellare, Fisica Teorica.

Al termine del percorso, il laureato magistrale in Fisica è dotato di una preparazione culturale, scientifica e metodologica che gli permette di accedere ai livelli di studio universitario successivi al magistrale, quali il Dottorato di Ricerca in Fisica o dottorati di ricerca in discipline affini.

### **STRUTTURA DEL PERCORSO DI STUDIO**

Il percorso di studio è strutturato su vari curricula definiti nel regolamento didattico.

Lo studente all'atto dell'iscrizione al primo anno sceglie uno dei curricula attivati. Ogni curriculum

prevederà un significativo numero di cfu caratterizzanti e attività formative affini, attività formative a scelta libera e crediti conseguiti tramite prova finale.

Lo studente è comunque libero di presentare un piano di studio individuale, che il consiglio di corso di studio valuterà nei termini di rispondenza all'ordinamento vigente.

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 conoscenze di carattere fenomenologico in modo da ottenere una formazione completa e non unicamente polarizzata sugli aspetti teorici e matematici della fisica;
- 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.

-

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

Il laureato magistrale avrà le competenze tecnico scientifiche per:

- lavorare con ampia autonomia da solo o in gruppi di ricerca;
- assumere responsabilità di progetti;
- risolvere problemi;
- promuovere attività di ricerca e sviluppo a tutti i livelli.

Le capacità applicative/operative sono raggiunte dallo studente attraverso il suo coinvolgimento nello sviluppo di progetti, attività di laboratorio e preparazione della tesi di laurea. Gli studenti sono incentivati a svolgere lavori di tesi che sono dei veri e propri lavori di ricerca, all'interno del Dipartimento o in altri enti e aziende per abituarli, attraverso anche lavoro di gruppo, ad applicare le conoscenze, analizzare i dati e verificare i risultati.

Le capacità applicative sono verificate con prove scritte e orali, discussione dei risultati ottenuti e schede di valutazione da parte dei supervisori di tesi di laurea (relatori, controrelatori e tutor aziendali ove presenti).

### **Conoscenza e comprensione e Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Dettaglio**

#### **1. FISICA TEORICA**

#### **Conoscenza e capacità di comprensione:**

Il laureato magistrale avrà raggiunto una generale conoscenza e comprensione critica dei vari aspetti della fisica, e una profonda conoscenza e capacità operativa nel settore attinente al percorso educativo

da lui scelto. Avrà infatti affrontato un percorso di studio che copre diversi ambiti disciplinari, approfondendo le metodologie della fisica teorica.

In particolare lo studente avrà acquisito una buona padronanza teorica e pratica della Meccanica Quantistica relativistica, della Teoria dei Campi classica, quantistica e statistica, della Relatività Generale, nonché dei principali strumenti matematici utili per questo tipo di studi.

A seconda delle scelte dei corsi caratterizzanti lo studente avrà anche acquisito:

- Conoscenza approfondita della meccanica statistica e quantistica e delle sue applicazioni allo studio di sistemi di materia condensata.
- Conoscenza dei fondamenti teorici del modello standard delle interazioni fondamentali e delle sue applicazioni fenomenologiche ed astrofisiche.
- Conoscenza di base dei processi di interazione radiazione materia e della fisica della materia allo stato fluido e di plasma.
- Conoscenza dei sistemi complessi.

A seconda delle scelte di corsi affini/integrativi lo studente potrà acquisire:

- Conoscenze avanzate e complementari nel campo della Fisica teorica, quali ulteriori conoscenze di teoria dei campi, di teoria della Gravitazione, fenomenologia del modello standard e della fisica nucleare.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

Nella preparazione degli esami gli studenti dovranno essere in grado di:

- Utilizzare tecniche matematiche avanzate, scrivere programmi per la risoluzione numerica di problemi, risolvere numericamente equazioni differenziali, effettuare simulazioni e ricostruzioni di dati sperimentali atte a risolvere problemi di Fisica Teorica.
- Saper utilizzare le conoscenze acquisite per analizzare dal punto di vista teorico qualunque modello o problema di fisica teorica che richieda l'uso della fisica quantistica, della fisica statistica e della teoria della relatività.
- Saper applicare le conoscenze acquisite per analizzare le caratteristiche di sistemi di materia condensata e di sistemi astrofisici.
- Saper applicare le conoscenze acquisite dallo studio teorico delle interazioni fondamentali.
- Saper applicare le tecniche di Analisi dati.

Fanno parte di quest'area di apprendimento i seguenti piani di studio consigliati:

- Fisica Teorica
- Fenomenologia delle Interazioni Fondamentali

L'offerta dettagliata è reperibile al seguente link: <https://www.df.unipi.it/didattica/laurea-magistrale/piani-di-studio/>

## 10. DATA ANALYSIS IN EXPERIMENTAL PHYSICS

### **Conoscenza e capacità di comprensione:**

Il laureato magistrale avrà raggiunto una generale conoscenza e comprensione critica nell'ambito della fisica sperimentale, dei dispositivi di acquisizione dati e dei metodi di analisi ad essa applicata con una profonda conoscenza e capacità operativa nell'ambito specifico di specializzazione scelto. In particolare sarà in grado di applicare i metodi di analisi più moderni per la gestione, l'analisi e la presentazione di dati anche di grosse dimensioni. L'ambito di applicazione delle metodologie apprese si applicheranno a svariati settori sperimentali che vanno dalla fisica medica, all'astrofisica fino alla fisica delle interazioni fondamentali.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

Lo studente sarà in grado di scegliere le metodologie più appropriate per il campo di specializzazione scelto e di applicarle con spirito critico.

I corsi caratterizzanti per l'area sono:

ANALISI STATISTICA DEI DATI (FIS 01) 9 CFU

COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS (FIS 01) 9 CFU

Un corso a scelta per i vari gruppi:

Gruppo Fisica Sperimentale

LABORATORIO INTERAZIONI FONDAMENTALI S (FIS 01) 9 CFU

INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS (FIS 01) 9 CFU

MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY (FIS 01) 9 CFU

FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI A (FIS 01) 6 CFU

Gruppo Fisica Teorica

FISICA TEORICA 1 (FIS 02) 9 CFU

RELATIVITA` GENERALE (FIS 02) 9 CFU

FISICA STATISTICA (FIS 02) 9 CFU

Gruppo Interazioni nucleari e subnucleari

INTERAZIONI FONDAMENTALI (FIS 04) 9 CFU

MACCHINE ACCELERATRICI (FIS 04) 9 CFU

FISICA NUCLEARE (FIS 04) 9 CFU

FISICA DEI PLASMI (FIS03/05) 9 CFU

FISICA DELLO STATO SOLIDO (FIS 03) 9 CFU

Gruppo Astronomia Astrofisica

ASTROFISICA GENERALE (SE NON GIA` SOSTENUTO NELLA TRIENNALE) 6 CFU

INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITÀ (FIS 05) 6 CFU

COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO A (FIS 05) 6 CFU

ASTROPARTICELLE A (FIS 05) 6 CFU

FISICA STELLARE A (FIS 05) 6 CFU

ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA (FIS 05) 9 CFU

Tesi di laurea 45 CFU

I CFU si completano con altri corsi a scelta

METODI NUMERICI PER LA FISICA (FIS 01) 9 CFU

ELABORAZIONE DEI SEGNALI PER LA FISICA (FIS 01) 6 CFU

METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE 6 CFU

QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES (FIS 03) 9 CFU

MACHINE LEARNING INF/01 9 CFU

ANALISI DEI DATI 6 CFU

SOCIAL NETWORK ANALYSIS (668AA) 6 CFU

DATA MINING (420AA) 12 CFU

DATA MINING AND MACHINE LEARNING 12 CFU

DATA MINING FUNDAMENTALS 6 CFU

11. THEORY OF QUANTUM MATERIALS

**Conoscenza e capacità di comprensione:**

Il laureato magistrale avrà raggiunto una generale conoscenza e comprensione critica dei vari aspetti della fisica, e una profonda conoscenza e capacità operativa nel settore attinente al percorso educativo da lui scelto.

In particolare questo percorso formativo, a contenuto fortemente teorico, fornirà tutte le competenze analitiche e computazionali necessarie per lo studio dei cosiddetti “Materiali quantistici”, termine generico che indica stati condensanti per i quali non è valida una approssimazione semiclassica o in termini di meccanica quantistica elementare. Si tratta di materiali in cui gli effetti quantistici rimangono manifesti su una gamma più ampia di scale di energia e lunghezza. Tali materiali quantistici includono superconduttori, grafene (specialmente nelle sue forme twistate), metalli Planckiani, isolanti topologici, semimetalli di Weyl, liquidi di spin quantistici e “spin ice”. Le proprietà esotiche di tali materiali derivano spesso dalla ridotta dimensionalità, come ad esempio nel caso di elettroni confinati a muoversi in strutture bidimensionali, o dalla natura topologica degli stati elettronici. Inoltre, i materiali quantistici tendono ad essere materiali in cui gli elettroni non possono essere considerati come particelle indipendenti ma interagiscono fortemente. A volte, in tali materiali, nemmeno una descrizione alla Landau in termini di “quasiparticelle” è applicabile.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

Lo studente sarà in grado di costruire e analizzare modelli appropriati per il campo di specializzazione scelto.

I Corsi che permettono di applicare conoscenza e competenze caratterizzanti l'area sono:

FISICA DELLO STATO SOLIDO 9 CFU

FISICA TEORICA 1 9 CFU

FISICA STATISTICA 9 CFU

METODI NUMERICI PER LA FISICA S 6 CFU

(Almeno un insegnamento da ciascuno dei due gruppi seguenti)

CONDENSED MATTER PHYSICS 9 CFU

QUANTUM LIQUIDS 9 CFU

FISICA DEI PLASMI 9 CFU

FISICA STELLARE S 6 CFU

ASTROFISICA GENERALE (se non già sostenuto nella Laurea Triennale) 6 CFU

E` fortemente consigliato che gli insegnamenti per completare il percorso formativo siano scelti tra gli insegnamenti seguenti:

CONDENSED MATTER PHYSICS 9 CFU

QUANTUM LIQUIDS 9 CFU

QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES 9 CFU

ENTANGLEMENT: ADVANCED THEORETICAL CONCEPTS AND APPLICATIONS IN QUANTUM TECHNOLOGIES 3 CFU

INFORMATION METHODS FOR QUANTUM TECHNOLOGIES 9 CFU

SISTEMI COMPLESSI 9 CFU

TERMODINAMICA QUANTISTICA 6 CFU

FISICA TEORICA 2 9 CFU

FLUIDODINAMICA (se non già sostenuto nella Laurea Triennale) 6 CFU

NB: è possibile scegliere anche Metodi numerici per la fisica da 9 CFU

Il percorso formativo è completato da una tesi di laurea per 45 CFU.

## **2. FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI**

### **Conoscenza e capacità di comprensione:**

Il laureato magistrale avrà raggiunto una generale conoscenza e comprensione critica dei vari aspetti della fisica, e una profonda conoscenza e capacità operativa nel settore attinente al percorso educativo da lui scelto.

Avrà infatti affrontato come tutti gli studenti della laurea magistrale in fisica un percorso di studio che copre i diversi ambiti disciplinari e avrà concentrato le sue conoscenze sui diversi ambiti della fisica nucleare e delle particelle elementari, delle onde gravitazionali e delle particelle d'origine cosmica.

In particolare lo studente avrà acquisito una buona padronanza teorica e pratica della Meccanica Quantistica relativistica, una conoscenza approfondita dei fondamenti sperimentali del modello standard delle interazioni fondamentali e delle sue applicazioni fenomenologiche, nonché una metodologia di Analisi Dati a seguito di esperienze di laboratorio sulle Interazioni Fondamentali.

Avrà acquisito anche una buona conoscenza delle argomentazioni astrofisiche e delle astroparticelle.

A seconda delle scelte di corsi affini/integrativi lo studente potrà acquisire:

- Conoscenze avanzate e approfondite nel campo delle interazioni fondamentali, in particolare avrà conoscenze di fisica nucleare, di onde gravitazionali e relatività generale, di accelerazione di particelle, di Simmetrie discrete, e avrà acquisito le metodologie Monte Carlo tipicamente utilizzate per le sperimentazioni di fisica delle particelle.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

Nella preparazione degli esami gli studenti dovranno essere in grado di:

- applicare le loro conoscenze relativamente alle interazioni elettromagnetiche, deboli e forti.
- conoscere e comprendere il funzionamento dei moderni apparati sperimentali e osservativi e delle principali tecniche di rivelazione di particelle elementari.

Avranno una rigorosa padronanza del metodo scientifico di indagine.

Fanno parte di quest'area di apprendimento i seguenti piani di studio consigliati:

- Interazioni Fondamentali

L'offerta dettagliata è reperibile al seguente link: <https://www.df.unipi.it/didattica/laurea-magistrale/piani-di-studio/>

### **3. FISICA DELLA MATERIA**

#### **Conoscenza e capacità di comprensione:**

Il laureato magistrale avrà raggiunto una generale conoscenza e comprensione critica dei vari aspetti della fisica, e una profonda conoscenza e capacità operativa nel settore attinente al percorso educativo da lui scelto.

Avrà infatti affrontato come tutti gli studenti della laurea magistrale in fisica un percorso di studio che copre i diversi ambiti disciplinari e avrà concentrato le sue conoscenze sui diversi ambiti della fisica materia: strutture cristalline, plasmi sistemi disordinati e caotici, nonché loro interazione con la radiazione elettromagnetica.

Conoscenza delle tecniche di indagine delle superfici.

Conoscenza della fisica dei laser e dei dispositivi optoelettronici.

In Particolare lo studente avrà acquisito:

- Una buona conoscenza dei modelli fenomenologici dell'interazione radiazione-materia. Conoscenza delle proprietà ottiche dei materiali a stato solido. Acquisizione delle basi delle tecniche di crescita di cristalli semiconduttori e dei dispositivi basati su tali materiali. Acquisizione delle tecniche di analisi dei materiali e dei dispositivi. Conoscenza di materiali e dispositivi innovativi basati su nanotecnologie.
- Buona conoscenza della meccanica statistica classica e quantistica e delle sue applicazioni allo studio di sistemi di materia condensata (Fisica Statistica o Fisica Teorica di base, Fisica dello Stato Solido), dei processi di interazione radiazione materia e della fisica della materia allo stato fluido e di plasma, (Fisica dei Plasmi e Fluidi, Fondamenti di Interazione Radiazione Materia), Sistemi dinamici e di caos

(Sistemi Complessi).

- Buona conoscenza delle argomentazioni astrofisiche e delle astroparticelle;

A seconda delle scelte di corsi affini/integrativi lo studente potrà acquisire:

- Conoscenze avanzate e approfondite nel campo dei sistemi a molti corpi, della fisica degli atomi freddi e dei condensati, dell'ottica e dell'informazione quantistica, delle tecniche di analisi spettroscopica nanoscopica e reologica, della fisica della materia soffice, e delle tecniche di calcolo e simulazione da principi primi.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

I corsi caratterizzanti concorrono all'acquisizione di una solida preparazione di base per lo studio dei fenomeni fisici di interesse del curriculum.

Gli studenti dovranno essere capaci di:

- applicare le loro conoscenze teorico-sperimentali per la descrizione degli stati energetici della materia nei suoi differenti stati di aggregazione.  
- di descrivere dei fenomeni elementari di interazione radiazione-materia, scegliendo opportunamente il modello di riferimento più efficace.  
- individuare il metodo sperimentale più adatto alla misura delle proprietà ottiche o elettroniche dei materiali.

Fanno parte di quest'area di apprendimento il seguente piano di studio:

- Fisica della Materia

L'offerta dettagliata è reperibile al seguente link: <https://www.df.unipi.it/didattica/laurea-magistrale/piani-di-studio/>

## **4. FISICA MEDICA**

### **Conoscenza e capacità di comprensione:**

Il laureato magistrale avrà raggiunto una generale conoscenza e comprensione critica dei vari aspetti della fisica, e una profonda conoscenza e capacità operativa nel settore attinente al percorso educativo da lui scelto.

Avrà infatti affrontato come tutti gli studenti della laurea magistrale in fisica un percorso di studio che copre i diversi ambiti disciplinari e avrà concentrato le sue conoscenze sui diversi ambiti della fisica medica, in particolare l'interazione radiazione materia, le tecniche di imaging morfologico e funzionale e avrà affrontato esperienze in laboratorio utilizzando strumentazione in uso in campo medico.

- Buona conoscenza della meccanica statistica classica e quantistica.  
- Buona conoscenza delle argomentazioni astrofisiche e delle astroparticelle,  
- Buona conoscenza dei processi di fisica nucleare,  
- Buona conoscenza di biofisica cellulare, e tecniche spettroscopiche e microscopiche.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

I corsi caratterizzanti concorrono all'acquisizione di una solida preparazione di base per lo studio dei fenomeni fisici di interesse del curriculum.

Al termine del percorso formativo lo studente avrà acquisito le tecniche diagnostiche di imaging funzionale e morfologico ed elementi di radioterapia. Saprà così operare nei diversi ambiti applicativi.

A seguito delle esperienze di laboratorio sarà in grado di utilizzare sistemi di rivelazione, acquisirne i dati ed elaborarli per fornire la caratterizzazione dei sistemi stessi.

Fanno parte di quest'area di apprendimento i seguenti piani di studio consigliati:

- Fisica Medica

L'offerta dettagliata è reperibile al seguente link: <https://www.df.unipi.it/didattica/laurea-magistrale/piani-di-studio/>

## 5. ASTRONOMIA E ASTROFISICA

### **Conoscenza e capacità di comprensione:**

Il laureato magistrale avrà raggiunto una generale conoscenza e comprensione critica dei vari aspetti della fisica, e una profonda conoscenza e capacità operativa nel settore attinente al percorso educativo da lui scelto.

Avrà infatti affrontato un percorso di studio che copre i diversi ambiti disciplinari e avrà concentrato le sue conoscenze sulla fisica stellare e delle galassie, della fisica interstellare, della cosmologia e relatività generale.

Avrà acquisito conoscenze di base di fisica nucleare sui meccanismi di fusione nucleare relativi alle reazioni di nucleosintesi stellare e cosmologica. Avrà acquisito tecniche di elaborazioni di immagini astrofisiche.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

Lo studente avrà acquisito la capacità di analizzare i dati osservativi astrofisici e la modellizzazione dei sistemi corrispondenti sulla base delle teorie fondamentali note.

Fanno parte di quest'area di apprendimento i seguenti piani di studio consigliati:

- Astronomia e Astrofisica

L'offerta dettagliata è reperibile al seguente link: <https://www.df.unipi.it/didattica/laurea-magistrale/piani-di-studio/>

## 6. FISICA DELL'UNIVERSO

### **Conoscenza e capacità di comprensione:**

Il laureato magistrale avrà raggiunto una generale conoscenza e comprensione critica dei vari aspetti della fisica, e una profonda conoscenza e capacità operativa nel settore attinente al percorso educativo da lui scelto.

In particolare lo studente avrà acquisito una buona padronanza degli strumenti teorici atti a comprendere i fenomeni fisici rilevanti per lo studio dell'universo, e delle tecniche di analisi dei dati associati alla varietà di strumentazione utilizzata in questo campo.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

I corsi caratterizzanti concorrono all'acquisizione di una solida preparazione di base per lo studio dei fenomeni fisici di interesse del percorso formativo.

I corsi a carattere teorico forniranno le basi per la comprensione e la formulazione della modellistica necessaria.

Gli studenti saranno inoltre capaci di analizzare le diverse informazioni provenienti dalla molteplicità di apparati osservativi utilizzati per lo studio della fisica dell'universo.

Il percorso formativo individuato per raggiungere questi scopi è il seguente:

Astroparticelle (FIS 01/05) 9 CFU

Multimessenger Physics Laboratory (FIS 01) 9 CFU

Relatività Generale (FIS 02) 9 CFU

Fisica Teorica 1 (FIS 02) 9 CFU

In alternativa Astrofisica A (FIS 05) 6 CFU o Processi Astrofisici (FIS/05) 9 CFU o Astrofisica (FIS 05) 9 CFU o Fisica dei Plasmi (FIS 05) 9 CFU

In alternativa Interazione Radiazione Materia (FIS 03) 9 CFU o Reazioni Nucleari di Interesse Astrofisico (FIS 03) 9 CFU

In alternativa Analisi statistica dei dati o Metodi numerici per la fisica (FIS 01/02) 9 CFU  
Tesi di laurea 45 CFU

I rimanenti CFU sono suggeriti entro una rosa di corsi:

Cosmologia del primo universo 9 CFU/Cosmologia del primo universo A 6 CFU (FIS 05)

Fisica delle onde gravitazionali 9 CFU/Fisica delle onde gravitazionali A 6 CFU (FIS 01)

Fisica teorica 2 (FIS 02) 9 CFU

Reazioni nucleari di interesse astrofisico 9 CFU (FIS 04)

Metodologie sperimentali per la fisica delle astroparticelle 9 CFU (FIS 01)

Fisica delle stelle compatte 9 CFU/Fisica delle stelle compatte A 6 CFU (FIS 04)

Astrofisica osservativa 9 CFU (FIS 01)

Interazioni fondamentali (FIS 01) 9 CFU

BUCHI NERI ASTROFISICI (FIS 05) 6 CFU

INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITA' (FIS 05) 6 CFU

Laboratorio interazioni fondamentali S (FIS 01) 9 CFU

## 7. SISTEMI COMPLESSI

### **Conoscenza e capacità di comprensione:**

Il laureato magistrale avrà raggiunto una generale conoscenza e comprensione critica dei vari aspetti della fisica, e una profonda conoscenza e capacità operativa nel settore attinente al percorso educativo da lui scelto.

Avrà infatti affrontato un percorso di studio che copre diversi ambiti disciplinari, approfondendo le metodologie che si incontrano nello studio dei Sistemi Complessi. In particolare lo studente avrà acquisito una buona padronanza teorica e pratica dei processi stocastici, della fisica non lineare, e della fisica statistica, con anche degli strumenti numerici appropriati.

A seconda delle scelte operate, avrà poi acquisito competenze nelle applicazioni dei concetti generali, ad esempio nello studio delle reti, nella oceanografia, nella biorobotica.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

Lo studente sarà in grado di costruire e analizzare modelli appropriati per il campo di specializzazione scelto, tipicamente in un ambito intrinsecamente multidisciplinare.

I Corsi che permettono di applicare conoscenza e competenze caratterizzanti l'area sono:

SISTEMI COMPLESSI (FIS 03) 9 CFU

FISICA STATISTICA (FIS 02) 9 CFU

### **CORSI IN ALTERNATIVA**

(UNO PER CIASCUNO DEI 2 GRUPPI SEGUENTI)

ASTROFISICA GENERALE (se non già seguita nella triennale) 6 CFU

INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITA' (FIS 05) 6 CFU

FISICA STELLARE A 6 CFU

FISICA DEI PLASMI (FIS 05) 9 CFU

ANALISI STATISTICA DEI DATI (FIS 01) 9 CFU

METODI NUMERICI PER LA FISICA (FIS 01/02) 9 CFU

COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS (FIS 01) 9

CFU  
LABORATORIO DI BIOSISTEMI (FIS 01) 15 CFU

Tesi di laurea 45 CFU

I rimanenti CFU sono suggeriti entro una rosa di corsi:

FISICA TEORICA 1 (FIS 02) 9 CFU  
SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI 9 CFU  
DINAMICA NON LINEARE 9 CFU  
OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA 6 CFU  
ANALISI DEI DATI 6 CFU  
QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES 9 CFU  
SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO 9 CFU  
TEORIA DEI GIOCHI 6 CFU  
SOCIAL NETWORK ANALYSIS 6 CFU  
DATA MINING 12 CFU  
DATA MINING AND MACHINE LEARNING 12 CFU  
BIROBOTICA E SISTEMI COMPLESSI 9 CFU  
DATA MINING FUNDAMENTALS 6 CFU  
METODI DELLA FISICA PER LE SCIENZE UMANE 3 CFU  
Statistics for data science 9 CFU

## 8. QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES

### **Conoscenza e capacità di comprensione:**

Il laureato magistrale avrà raggiunto una generale conoscenza e comprensione critica dei vari aspetti della fisica, e una profonda conoscenza e capacità operativa nel settore attinente al percorso educativo da lui scelto.

Avrà infatti affrontato un percorso di studio che copre diversi ambiti disciplinari, approfondendo le metodologie, sia teoriche che sperimentali, che si incontrano in un percorso di Quantum Computing.

In particolare lo studente avrà acquisito una buona padronanza teorica e pratica nel campo della teoria dell'informazione quantistica, entanglement, statistiche quantistiche, sistemi aperti, algoritmi quantistici e relative problematiche sperimentali.

A seconda delle scelte operate, avrà poi acquisito competenze nelle applicazioni dei concetti generali, che varieranno a seconda della scelta (teorica o sperimentale) operata dallo studente. Data la natura anche speculativa della computazione quantistica, saranno forniti gli strumenti metodologici per rapportarsi alle possibili piattaforme sperimentali attualmente in studio per la realizzazione dei computer quantistici.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

Lo studente avrà sviluppato gli strumenti per operare nell'ambito della computazione quantistica, sia a livello teorico che sperimentale. In particolare si prevedere anche esercitazioni su simulatori quantistici come parte del percorso formativo, per affinare conoscenza e comprensione di quanto sviluppato nel piano di studi. Lo studente sarà capace di applicare conoscenze e comprensioni, attraverso i seguenti corsi caratterizzanti:

QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES (FIS 03) 9 CFU  
FISICA STATISTICA (FIS 02) 9 CFU

CORSI IN ALTERNATIVA TOTALE (almeno) 24 CFU  
(ALMENO UNO PER CIASCUNO DEI 3 GRUPPI SEGUENTI)

ASTROFISICA GENERALE (se non già seguita nella triennale) 6 CFU  
FISICA DEI PLASMI (FIS 05) 9 CFU

ANALISI STATISTICA DEI DATI (FIS 01) 9 CFU  
METODI NUMERICI PER LA FISICA (FIS 01/02) 9 CFU  
LABORATORIO OTTICA QUANTISTICA A (FIS 01) 9 CFU

FISICA DELLO STATO SOLIDO (FIS 03) 9 CFU  
FONDAMENTI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA (FIS 03) 9 CFU

Il percorso verrà completato attraverso 45 cfu di tesi e corsi affini e integrativi a scelta dello studente per un totale di 33 cfu.

Tutti i corsi già indicati nelle scelte in alternativa possono essere scelti come corsi a scelta. Inoltre:

INFORMATION METHODS FOR QUANTUM TECHNOLOGIES 6 CFU

Corsi di ambito elettronico Materials and Nanotechnology:  
MATERIALS AND DEVICES FOR NANOSCALE ELECTRONICS 9 CFU  
NANOELETTRONICA E FOTONICA 9 CFU

## 9. PIANI DI STUDIO CONSIGLIATI

### **Conoscenza e capacità di comprensione:**

La rapida evoluzione della ricerca verso ambiti multidisciplinari che combinano competenze tradizionalmente collegate alle singole aree ha reso necessaria la costruzione di percorsi formativi che includano corsi provenienti da due o più ambiti curriculari. Il CdS ha ritenuto opportuno definire un Curriculum Generale per facilitare lo sviluppo di questi nuovi e interessanti Piani di Studio Consigliati. Questo approccio mira a fornire agli studenti una guida verso Piani di Studio multidisciplinari ben strutturati, che soddisfino gli obiettivi previsti per le diverse aree di apprendimento coinvolte, ed al contempo ad ampliare l'offerta formativa.

### **Capacità di applicare conoscenza e comprensione:**

I piani di studio sviluppano obiettivi di conoscenza e comprensione in linea con gli obiettivi, già specificati sopra, relativi alle aree di apprendimento indicate esplicitamente per ciascun piano di studio. I piani di studio che coinvolgono due o più ambiti tra le aree di ricerca tradizionali del dipartimento sono:

Data Analysis in Experimental Physics: Percorso formativo per approfondire gli aspetti legati all'analisi dei dati anche nelle applicazioni alla fisica sperimentale.

Phenomenology of Fundamental Interactions: Percorso formativo per approfondire sia il lato teorico che sperimentale della fisica delle interazioni fondamentali, a metà strada tra l'area teorica e quella di fisica sperimentale delle particelle.

Physics for Cultural Heritage: Questo piano di studio si propone di formare dei Fisici che siano in grado di dialogare efficacemente con Storici dell'Arte, Restauratori e Archeologi, per affrontare, in un ambito multidisciplinare e nei limiti delle rispettive competenze, problematiche complesse che possono trovare soluzione mediante l'uso di strumenti e metodi tipici della ricerca fisica.

Physics of Biosystems: Percorso formativo per approfondire aspetti legati alla fisica della materia e dei sistemi complessi allo studio dei fenomeni rilevanti per le scienze della vita.

Plasma Physics: Percorso per l'acquisizione dei fondamenti e dei processi fisici di base nei plasmi; approfondimento della fisica dei plasmi spaziali e della fusione.

Physics of the Universe: Fornisce competenze a chi intenda studiare i fenomeni dell'universo utilizzando un approccio interdisciplinare teorico e sperimentale basato sull'osservazione dei diversi tipi di segnali cosmici, come onde gravitazionali, radiazione elettromagnetica e astroparticelle, beneficiando anche della vicinanza con l'osservatorio gravitazionale europeo (EGO) e dell'attività di ricerca svolta con il rivelatore di onde gravitazionali Advanced VIRGO.

Physics of Geofluids Dynamics & Solid Earth: Fornisce i fondamenti teorici e applicativi per lo studio

dei processi fondamentali dei fluidi geofisici e della terra solida, con applicazioni alla fisica dei terremoti, alla vulcanologia e alla fisica dell'ambiente.

Quantum Computing and Technologies: Fornisce competenze nel campo del Quantum Computing, sia dal punto di vista teorico che sperimentale.

Complex Systems: Percorso formativo trasversale che fornisce competenze per studiare i sistemi complessi, caratterizzati da avere molte componenti interagenti, con comportamenti difficili da prevedere ed emergenti.

Theory of Quantum Materials: Sviluppa i metodi d'indagine teorico computazionali per lo studio dei nuovi materiali.

L'offerta dettagliata è reperibile al seguente link: <https://www.df.unipi.it/didattica/laurea-magistrale/piani-di-studio/>

Le conoscenze e capacità sono conseguite e verificate nelle seguenti attività formative caratterizzanti:

0013B Advanced technologies for ground-based astrophysics: from microwaves to visible light 6 CFU

193BB Analisi statistica dei dati 9 CFU

369BB Extragalactic astrophysics and cosmology / Astrofisica extragalattica e cosmologia 9 CFU

368BB Astrofisica generale 6 CFU

192BB Astroparticle physics / Astroparticelle 9 CFU

063BB Astroparticle physics S / Astroparticelle S 6 CFU

226BB Astrophysical processes / Processi astrofisici 9 CFU

0010B Astrophysics and multimessenger laboratory 12 CFU

221BB Atom optics / Ottica atomica 9 CFU

403BB Bio-systems lab / Laboratorio di biosistemi 15 CFU

0008B Biophysics for eFLASH therapy 9 CFU

386BB Cell biophysics / Biofisica cellulare 6 CFU

244CC Chimica fisica molecolare 9 CFU

091BB Compact star physics S / Fisica delle stelle compatte S 6 CFU

279BB Complex systems - Neural dynamics / Sistemi complessi - Dinamiche neurali 9 CFU

230BB Complex systems / Sistemi complessi 9 CFU

360BB Computing methods for experimental physics and data analysis 9 CFU

365BB Computing methods for experimental physics and data analysis S 6 CFU

370BB Condensed matter physics 9 CFU

274BB Cosmology of the early universe / Cosmologia del primo universo 9 CFU

275BB Cosmology of the early universe S / Cosmologia del primo universo S 6 CFU

197BB Cromodinamica quantistica 9 CFU

407BB Current trends in quantum matter 3 CFU

0009B Detection techniques: from lab to space 9 CFU

309BB Disordered systems out of equilibrium / Sistemi disordinati fuori equilibrio 9 CFU

092BB Fisica delle superfici e interfacce 3 CFU

204BB Solid state physics / Fisica dello stato solido 9 CFU

206BB Fisica nucleare 9 CFU

207BB Fisica statistica 9 CFU

213BB Fisica teorica 1 9 CFU

214BB Fisica teorica 2 9 CFU

0004B Flexible and nano-electronics 9 CFU

0024B Fluidodynamics 6 CFU

305BB Fundamental interactions / Interazioni fondamentali 9 CFU

304BB Fundamentals of light matter interaction / Fondamenti di interazione radiazione materia 9 CFU

380BB Instrumentation for fundamental interactions physics 9 CFU

414BB Laboratorio di interazioni fondamentali S 9 CFU

0022B Laboratory of instrumental seismology 9 CFU

190BB Laser a stato solido 3 CFU

0023B Mechanics of geophysical fluids 9 CFU

381BB Medical physics 1 / Fisica medica 1 9 CFU  
393BB Medical physics 2 / Fisica medica 2 6 CFU  
104BB Medical physics laboratory / Laboratorio di fisica medica 12 CFU  
185BB Metodi Montecarlo nella fisica sperimentale 6 CFU  
326BB Metodi numerici della fisica 9 CFU  
374BB Metodi numerici della fisica S 6 CFU  
0011B Multimessenger and high-energy astrophysics 6 CFU  
327BB Multimessenger physics lab 9 CFU  
302BB Particle physics / Fisica delle particelle 9 CFU  
373BB Particle physics S / Fisica delle particelle S 6 CFU  
418BB Physics for cultural heritage / Fisica applicata ai beni culturali 9 CFU  
387BB Physics of biosystems / Fisica dei biosistemi 9 CFU  
411BB Physics of matter and nanotechnology laboratory / Laboratorio di fisica della materia e nanotecnologie 15 CFU  
412BB Physics of matter and nanotechnology laboratory S / Laboratorio di fisica della materia e nanotecnologie S 9 CFU  
0012B Physics of star formation 6 CFU  
353BB Plasma physics / Fisica dei plasmi 9 CFU  
0005B 3D and 4D nanomaterials and devices 9 CFU  
378BB Recent highlights in fundamental interactions 3 CFU  
228BB Relativita' Generale 9 CFU

Le conoscenze e capacità sono conseguite e verificate nelle seguenti attività formative affini e integrative:

107BB Accelerator physics S / Macchine acceleratrici S 6 CFU  
357BB Acceleratori laser-plasma 6 CFU  
482BB Armi nucleari, disarmo e proliferazione nucleare 6 CFU  
404BB Nonperturbative approaches to quantum field theories / Aspetti non perturbativi delle teorie di campo quantistiche 9 CFU  
358BB Nonperturbative approaches to quantum field theories S / Aspetti non perturbativi delle teorie di campo quantistiche S 6 CFU  
198BB Dosimetry / Dosimetria 6 CFU  
189BB Elaborazione dei segnali per la fisica 6 CFU  
478EE Elements of physiology, physiopathology and diagnostics / Elementi di fisiologia, fisiopatologia e diagnostica 6 CFU  
080BB Elettronica e sensori 6 CFU  
426BB Entanglement: advanced theoretical concepts and applications in quantum technologies 3 CFU  
170BB Exoplanetary systems / sistemi planetari 6 CFU  
307BB Experimental methods for astroparticle physics s / metodologie sperimentali per la fisica delle astroparticelle s 6 CFU  
306BB Experimental methods for astroparticle physics / Metodologie sperimentali per la fisica delle astroparticelle 9 CFU  
257BB Gravitational wave physics / Fisica delle onde gravitazionali 9 CFU  
256BB Gravitational wave physics S / Fisica delle onde gravitazionali S 6 CFU  
371BB Hadron Collider Physics S / Fisica ai collisionatori adronici S 6 CFU  
201BB Hadron collider physics / Fisica ai collisionatori adronici 9 CFU  
385BB Introduction to neutrino physics / Introduzione alla fisica dei neutrini 3 CFU  
364BB Introduzione alla teoria bayesiana della probabilità 6 CFU  
355BB Kinetic theory of plasmas / Plasmi teoria cinetica 6 CFU  
190BB Laser a stato solido 3 CFU  
384BB Material optical spectroscopy / Spettroscopia ottica dei materiali 6 CFU  
185BB Metodi Montecarlo nella fisica sperimentale 6 CFU  
0020B Neuroengineering 6 CFU  
322BB Nonlinear dynamics / Dinamica non lineare 9 CFU

124BB Nuclear magnetic resonance / Risonanza magnetica nucleare 6 CFU  
375BB Oceanografia fisica su grande scala 9 CFU  
427BB Particle dark matter 6 CFU  
418BB Physics for cultural heritage / Fisica applicata ai beni culturali 9 CFU  
203BB Physics of photonic devices / Fisica dei dispositivi fotonici 9 CFU  
0012B Physics of star formation 6 CFU  
376BB Quantum computing and technology 9 CFU  
328BB Quantum fields and topology 6 CFU  
382BB Quantum liquids 6 CFU  
0019B Quantum machine learning 3 CFU  
354BB Quantum optics and plasma physics / Ottica quantistica e plasmi 9 CFU  
0007B Quantum technologies for fundamental interaction physics 9 CFU  
425BB Quantum thermodynamics / Termodinamica quantistica 6 CFU

## **Autonomia di giudizio, Abilità comunicative, Capacità di Apprendimento**

### **Autonomia di giudizio (making judgements):**

Il laureato magistrale avrà acquisito una elevata capacità di ragionamento critico e capacità che gli consentono di affrontare con un alto grado di autonomia diversi tipi di attività lavorative e ruoli, anche assumendo responsabilità di progetti e strutture. Egli è inoltre in grado di valutare gli aspetti etici della ricerca e l'impatto sulla salute pubblica e l'ambiente.

L'autonomia di giudizio viene sviluppata con l'esercizio costante nella soluzione di problemi teorici e sperimentali, e con l'attività collegata alla preparazione della tesi.

La verifica del livello di autonomia raggiunto viene fatta attraverso prove individuali scritte e orali, attività di laboratorio e con la prova finale.

### **Capacità di apprendimento (learning skills):**

Il laureato magistrale avrà sviluppato capacità di apprendimento dei vari aspetti della fisica, e della matematica, per accedere a livelli di formazione superiori.

Egli sarà capace di affrontare problemi anche in aree differenti dal proprio percorso formativo e nuove tematiche tramite studio autonomo. Avrà inoltre capacità di valutazione delle proprie conoscenze e abilità nell'individuare strumenti e materiale rilevanti per la risoluzione dei problemi incontrati nel proprio lavoro.

Queste capacità sono affinate in tutti i corsi ma in particolare nella preparazione della tesi di laurea, dove allo studente viene richiesto un elaborato originale di ricerca.

La verifica delle capacità di apprendimento sono affidate agli esami delle varie discipline e alla prova finale.

## **Caratteristiche della prova finale**

La laurea magistrale in Fisica si consegue con il superamento di una prova finale consistente nella discussione davanti ad una commissione ufficiale di una tesi elaborata in modo originale dallo studente sotto la guida di un relatore. La tesi riporta un lavoro svolto in autonomia, all'interno del Dipartimento di Fisica o presso aziende, strutture e laboratori tanto universitari quanto pubblici o privati, in Italia e all'estero.

La discussione è rivolta a valutare il contributo originale dello studente al lavoro presentato. Dovrà inoltre documentare i risultati innovativi ottenuti nonché i collegamenti del lavoro svolto con lo stato delle conoscenze nel settore scientifico di riferimento.

Lo svolgimento della tesi consente al laureato magistrale di acquisire ulteriori conoscenze che gli permetteranno un adeguato inserimento nel mondo del lavoro, ed anche eventualmente la prosecuzione del percorso formativo in un dottorato di ricerca.

## **Modalità di svolgimento della prova finale**

Lo studente prepara la sua tesi di laurea a cui sono attribuiti 45 CFU in un tempo di circa 9 mesi. Il lavoro di ricerca viene svolto in dipartimento o all'esterno presso INFN, CNR o anche in laboratori e istituzioni di ricerca sia nazionali che esteri. Nei casi di lavoro fuori sede lo studente avrà un relatore esterno ed uno interno che garantisce la rispondenza del lavoro svolto agli standard qualitativi prefissati dal Corso di Studio. Lo studente presenterà poi la sua tesi davanti ad una commissione nominata dal direttore di dipartimento su proposta del presidente di corso di studio. E' prevista la nomina di due controrelatori, dopo la presentazione del riassunto della tesi, che hanno lo scopo di leggere la tesi e discuterne, prima della presentazione pubblica, i contenuti con il candidato. I controrelatori sono nominati dal Presidente di commissione. La discussione avrà la durata di circa 40 minuti ed rivolta a valutare il contributo originale dello studente al lavoro presentato.

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 è espresso in centodecimi. La Commissione giudicatrice su proposta del Presidente, può attribuire la lode con parere unanime.

# Esperienza dello Studente

## Aule

<https://su.unipi.it/OccupazioneAule>

## Laboratori e Aule informatiche

Vedi allegato

## Sale Studio

<https://www.unipi.it/index.php/servizi-e-orientamento/item/1300-sale-studio>

## Biblioteche

<http://www.sba.unipi.it/it/biblioteche/polo-3/matematica-informatica-fisica>

## Orientamento in ingresso

<https://orientamento.unipi.it/>

## Orientamento e tutorato in itinere

<https://www.unipi.it/index.php/servizi-e-orientamento>

## Assistenza per lo svolgimento di periodi di formazione all'estero (Tirocini e stage)

<https://www.unipi.it/index.php/tirocini-e-job-placement>

## Assistenza e accordi per la mobilità internazionale degli studenti

<https://www.unipi.it/index.php/internazionale>

## Accompagnamento al lavoro

<https://www.unipi.it/index.php/career-service>

## Eventuali altre iniziative

Nel mese di maggio dell'anno precedente all'iscrizione un comitato organizzatore formato da docenti e da rappresentanti degli studenti organizza una giornata per illustrare l'offerta formativa della LM. In questa giornata si illustrano anche:

- le LM dell'Università di Pisa che permettono l'accesso senza debiti formativi ai LT in Fisica: Ingegneria Nucleare, Nanotecnologie e in Geofisica ed Esplorazione, oltre ai corsi seguiti all'estero che permettono il riconoscimento di un doppio titolo;
- le lauree magistrali istituite congiuntamente con atenei stranieri che permettono di ottenere il doppio titolo;
- si organizzano incontri tra laureandi, laureati e studenti che iniziano il percorso di LM per stimolare

l'incontro tra pari.

La giornata viene pubblicizzata sui social e registrata in modo da raggiungere un numero di studenti il più ampio possibile. Inoltre dopo questa giornata ogni area di ricerca offre uno sportello online che gli studenti interessati possono utilizzare per ottenere ulteriori informazioni.

All'inizio dell'anno accademico si organizza un evento per promuovere le occasioni di studio all'estero sia con summer school che con programmi di doppio diploma o attività di tipo Erasmus. A questo evento intervengono colleghi delle Unità promozione Internazionale e unità mobilità Internazionale e Unità Cooperazione Internazionale - Summer School.

## **Opinioni studenti**

Vedi allegato

## **Opinioni laureati**

Vedi allegato

## **Risultati della Formazione**

### **Dati di ingresso, di percorso e di uscita**

Vedi allegato

## **Organizzazione e Gestione della Qualità**

### **Struttura organizzativa e responsabilità a livello di Ateneo**

<https://www.unipi.it/index.php/qualita-e-valutazione>

### **Organizzazione e responsabilità della AQ a livello del Corso di Studio**

<https://www.unipi.it/index.php/qualita-e-valutazione>

### **Programmazione dei lavori e scadenze di attuazione delle iniziative**

<https://www.unipi.it/index.php/qualita-e-valutazione>

### **Riesame annuale**

<https://www.unipi.it/index.php/qualita-e-valutazione>

# Classe/Percorso

Classe

Classe delle lauree magistrali in Fisica (LM-17)

Percorso di Studio

ASTRONOMIA E ASTROFISICA

## Quadro delle attività formative

Caratterizzante				
Ambito disciplinare	CFU	Intervallo di CFU da RAD	SSD	Attività Formative
Sperimentale applicativo	12	6 - 24	FIS/01	0007B - QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS , 9 CFU
				0009B - DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE, 9 CFU
				0010B - ASTROPHYSICS AND MULTIMESSENGER LABORATORY , 12 CFU
				1 - MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY, 9 CFU
				1 - METODI NUMERICI PER LA FISICA, 9 CFU
				1 - ANALISI STATISTICA DEI DATI, 9 CFU
				1 - METODI NUMERICI PER LA FISICA S, 6 CFU
				1 - INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS, 9 CFU
1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA				

				ANALYSIS - S, 6 CFU
				1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS, 9 CFU
Teorico e dei fondamenti della fisica	9	6 - 24	FIS/02	1 - RELATIVITA' GENERALE, 9 CFU
				1 - FISICA TEORICA 2, 9 CFU
				1 - FISICA TEORICA 1, 9 CFU
				1 - FISICA STATISTICA, 9 CFU
Microfisico e della struttura della materia	9	6 - 24	FIS/03	0024B - FLUIDODYNAMICS, 6 CFU
				1 - PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI, 9 CFU
				1 - SOLID STATE PHYSICS /FISICA DELLO STATO SOLIDO, 9 CFU
				1 - FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA, 9 CFU
				1 - QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES, 9 CFU
				1 - COMPLEX SYSTEMS/SISTEMI COMPLESSI, 9 CFU
		6 - 24	FIS/04	1 - REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO, 9 CFU
				1 - FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI, 9 CFU
				1 - FISICA NUCLEARE, 9 CFU
Astrofisico, geofisico e spaziale	18	6 - 24	FIS/05	0014B - BAYESIAN INFERENCE IN ASTRONOMY

			& ASTROPHYSICS, 6 CFU
			1 - EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY S /ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA S, 6 CFU
			1 - ASTROFISICA, 9 CFU
			1 - STELLAR PHYSICS / FISICA STELLARE, 9 CFU
			1 - ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI, 9 CFU
			1 - ASTROPARTICLE PHYSICS / ASTROPARTICELLE, 9 CFU
			1 - ASTROPARTICLES PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S, 6 CFU
			1 - EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY /ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA, 9 CFU
			1 - STELLAR PHYSICS S, 6 CFU
Totale Caratterizzante	48	24 - 96	

<b>Affine/Integrativa</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Attività formative affini o integrative	18	12 - 24	FIS/01	1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE, 9 CFU
				1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE

				<p>ASTROPARTICELLE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - ELABORAZIONE DEI SEGNALI PER LA FISICA, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - ACCELERATOR PHYSICS S/ MACCHINE ACCELERATRICI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI, 9 CFU</p>
		12 - 24	FIS/02	<p>0015B - THEORY OF NUCLEAR INTERACTION, 9 CFU</p> <hr/> <p>0016B - THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S , 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIA DEI GRUPPI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - MODELLO STANDARD DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI, 9 CFU</p> <hr/>

				1 - QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY, 6 CFU
				1 - NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE, 9 CFU
		12 - 24	FIS/03	1 - OTTICA QUANTISTICA E PLASMI, 9 CFU
				1 - KINETIC THEORY OF PLASMAS/ PLASMI TEORIA CINETICA, 6 CFU
				1 - QUANTUM LIQUIDS, 9 CFU
		12 - 24	FIS/04	1 - TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI, 9 CFU
				1 - COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE, 9 CFU
				1 - COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S, 6 CFU
				1 - HADRON COLLIDER PHYSICS / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI, 9 CFU
				1 - TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI, 6 CFU
		12 - 24	FIS/05	0011B - MULTIMESSENGER AND HIGH-ENERGY ASTROPHYSICS, 6 CFU
				0012B - PHYSICS OF STAR FORMATION, 6 CFU
				0027B - ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND BASED ASTROPHYSICS, 6 CFU
				1 - ASTROPHYSICAL BLACK HOLES, 6 CFU

				1 - EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI, 6 CFU
		12 - 24	FIS/07	1 - ELETTRONICA E SENSORI, 6 CFU
Totale Affine/Integrativa		18	12 - 24	

<b>A scelta dello studente</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
A scelta dello studente	9	9 - 15	BIO/09	1 - ELEMENTS OF PHYSIOLOGY, PHYSIOPATHOLOGY AND DIAGNOSTICS / ELEMENTI DI FISILOGIA, FISIOPATOLOGIA E DIAGNOSTICA, 6 CFU
		9 - 15	FIS/01	1 - PARTICLE DARK MATTER, 6 CFU
		9 - 15	FIS/02	1 - METODI NUMERICI DELLA FISICA TEORICA, 9 CFU
		9 - 15	FIS/03	1 - FISICA DEI MATERIALI IN BASSA DIMENSIONALITÀ, 6 CFU
				1 - OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA, 9 CFU
				1 - MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY/ SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI, 6 CFU
				1 - SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA, 3 CFU
				1 - ACCELERATORI LASER-PLASMA, 6 CFU
		9 - 15	FIS/04	1 - ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI, 3 CFU
				1 - REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO S, 6 CFU
				1 - RECENT HIGHLIGHTS IN FUNDAMENTAL INTERACTIONS, 3 CFU

				1 - FISICA DELLE PARTICELLE S, 6 CFU
		9 - 15	FIS/05	0013B - ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND-BASED ASTROPHYSICS: FROM MICROWAVES TO VISIBLE LIGHT, 6 CFU
				1 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITÀ, 6 CFU
		9 - 15	FIS/07	1 - PHYSICS FOR CULTURAL HERITAGE / FISICA APPLICATA AI BENI CULTURALI, 9 CFU
		9 - 15	INF/01	0033A - INFORMATICA CON LABORATORIO, 6 CFU
		9 - 15	NN	1 - LIBERA SCELTA, 18 CFU
				1 - LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI, 18 CFU
Totale A scelta dello studente	9	9 - 15		

<b>Lingua/Prova Finale</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Per la prova finale	44	41 - 45	PROFIN_S	1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
				1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Lingua/Prova Finale	44	41 - 45		

<b>Altro</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro	1	1 - 1	NN	2 - ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO, 1 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Altro	1	1 - 1		

Totale	120	87 - 181		
--------	-----	----------	--	--

# Classe/Percorso

Classe	Classe delle lauree magistrali in Fisica (LM-17)
Percorso di Studio	FISICA DELLA MATERIA

## Quadro delle attività formative

Caratterizzante				
Ambito disciplinare	CFU	Intervallo di CFU da RAD	SSD	Attività Formative
Sperimentale applicativo	15	6 - 24	FIS/01	0007B - QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS , 9 CFU
				0009B - DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE, 9 CFU
				0010B - ASTROPHYSICS AND MULTIMESSENGER LABORATORY , 12 CFU
				0022B - LABORATORY OF INSTRUMENTAL SEISMOLOGY, 9 CFU
				1 - INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS, 9 CFU
				1 - ANALISI STATISTICA DEI DATI, 9 CFU
				1 - METODI NUMERICI PER LA FISICA S, 6 CFU
				1 - MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY, 9 CFU
				1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S, 6 CFU

				1 - METODI NUMERICI PER LA FISICA, 9 CFU
				1 - PHYSICS OF MATTER AND NANOTECHNOLOGY LABORATORY / LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA E NANOTECNOLOGIE, 15 CFU
				1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS, 9 CFU
		6 - 24	FIS/07	0008B - BIOPHYSICS OF eFLASH THERAPY, 9 CFU
Teorico e dei fondamenti della fisica	9	6 - 24	FIS/02	1 - FISICA STATISTICA, 9 CFU
				1 - FISICA TEORICA 1, 9 CFU
				1 - RELATIVITA' GENERALE, 9 CFU
				1 - FISICA TEORICA 2, 9 CFU
Microfisico e della struttura della materia	18	6 - 24	FIS/03	0004B - FLEXIBLE AND NANO-ELECTRONICS, 9 CFU
				0005B - 3D AND 4D NANOMATERIALS AND DEVICES , 9 CFU
				0024B - FLUIDODYNAMICS, 6 CFU
				0025B - GEOPHYSICAL INSTRUMENTATION AND GEOPHYSICAL POTENTIAL FIELDS, 6 CFU
				0026B - ROCK PHYSICS, 6 CFU
				1 - BIOPHYSICS, 6 CFU
				1 - DISORDERED AND OFF-EQUILIBRIUM SYSTEMS, 6 CFU
				1 - BIOFISICA, 9 CFU

				<p>1 - OTTICA QUANTISTICA E PLASMI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - DISORDERED SYSTEMS OUT OF EQUILIBRIUM / SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - COMPLEX SYSTEMS/SISTEMI COMPLESSI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - SOLID STATE PHYSICS /FISICA DELLO STATO SOLIDO, 9 CFU</p>
				<p>1 - FISICA NUCLEARE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - FISICA DELLE PARTICELLE, 9 CFU</p>
Astrofisico, geofisico e spaziale	6	6 - 24	FIS/05	<p>0014B - BAYESIAN INFERENCE IN ASTRONOMY &amp; ASTROPHYSICS, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - STELLAR PHYSICS S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY /ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E</p>

				COSMOLOGIA, 9 CFU
				1 - STELLAR PHYSICS / FISICA STELLARE, 9 CFU
				1 - ASTROPARTICLES PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S, 6 CFU
				1 - PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI, 9 CFU
				1 - ASTROPARTICLE PHYSICS / ASTROPARTICELLE, 9 CFU
				1 - ASTROFISICA GENERALE, 6 CFU
		6 - 24	FIS/06	0023B - MECHANICS OF GEOPHYSICAL FLUIDS, 9 CFU
Totale Caratterizzante	48	24 - 96		

<b>Affine/Integrativa</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Attività formative affini o integrative	18	12 - 24	CHIM/02	1 - CHIMICA FISICA MOLECOLARE, 9 CFU
		12 - 24	FIS/01	1 - SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS, 6 CFU
				1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S, 6 CFU
				1 - ACCELERATOR PHYSICS S/ MACCHINE ACCELERATRICI, 6 CFU
				1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI, 9 CFU
				1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE, 9 CFU

				<p>1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE, 6 CFU</p>
				<p>0015B - THEORY OF NUCLEAR INTERACTION, 9 CFU</p> <hr/> <p>0016B - THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S , 6 CFU</p> <hr/> <p>0017B - TEORIE DI CAMPO STATISTICHE, 9 CFU</p> <hr/> <p>0018B - TEORIE DI CAMPO STATISTICHE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIA DEI GRUPPI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE, 9 CFU</p>
		12 - 24	FIS/02	
		12 - 24	FIS/03	<p>0020B - NEUROENGINEERING, 6 CFU</p> <hr/>

0021B - MICROBIOROBOTICS, 6 CFU
1 - PHYSICS OF BIOSYSTEMS / FISICA DEI BIOSISTEMI, 9 CFU
1 - BIOFISICA CELLULARE // CELL BIOPHYSICS, 6 CFU
1 - ENTANGLEMENT: ADVANCED THEORETICAL CONCEPTS AND APPLICATIONS IN QUANTUM TECHNOLOGIES, 3 CFU
1 - SPECTROSCOPY AND MICROSCOPY OF NANOMATERIALS / SPETTROSCOPIA E MICROSCOPIA DEI NANOMATERIALI, 6 CFU
1 - MODELLIZZAZIONE BIOFISICA DEI SISTEMI COMPLESSI, 6 CFU
1 - INTRODUCTION TO MOLECULAR BIOPHYSICS / INTRODUZIONE ALLA BIOFISICA MOLECOLARE, 6 CFU
1 - CURRENT TRENDS IN QUANTUM MATTER, 3 CFU
1 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE, 3 CFU
1 - ATOM OPTICS/ OTTICA ATOMICA, 9 CFU
1 - TEORIA QUANTISTICA DEI SOLIDI, 9 CFU
1 - MODELLISTICA PER SISTEMI COMPLESSI, 6 CFU

				<p>1 - QUANTUM LIQUIDS, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - KINETIC THEORY OF PLASMAS/ PLASMI TEORIA CINETICA, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - PHYSICS OF PHOTONIC DEVICES, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - ELETTRODINAMICA DEI MEZZI CONTINUI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - COMPLEX SYSTEMS - NEURAL DYNAMICS/ SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - LASER A STATO SOLIDO, 3 CFU</p> <hr/> <p>1 - QUANTUM THERMODYNAMICS / TERMODINAMICA QUANTISTICA, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - NONLINEAR DYNAMICS / DINAMICA NON LINEARE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - ADVANCED CONDENSED MATTER PHYSICS, 9 CFU</p>
		12 - 24	FIS/04	<p>1 - HADRON COLLIDER PHYSICS S / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - HADRON COLLIDER PHYSICS / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE</p>

				COMPATTE S, 6 CFU
				1 - COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE, 9 CFU
		12 - 24	FIS/05	1 - ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI, 9 CFU
				1 - ASTROPHYSICAL BLACK HOLES, 6 CFU
				1 - EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI, 6 CFU
				1 - PHYSICS OF COSMIC DIFFUSE MEDIA/ FISICA DEL MEZZO DIFFUSO COSMICO, 6 CFU
		12 - 24	FIS/07	1 - ELETTRONICA E SENSORI, 6 CFU
				1 - PHYSICS FOR CULTURAL HERITAGE / FISICA APPLICATA AI BENI CULTURALI, 9 CFU
				1 - DOSIMETRY, 6 CFU
				1 - FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI, 6 CFU
				1 - NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE / RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE, 6 CFU
Totale Affine/Integrativa	18	12 - 24		

<b>A scelta dello studente</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
A scelta dello studente	9	9 - 15	BIO/09	1 - ELEMENTS OF PHYSIOLOGY, PHYSIOPATHOLOGY AND DIAGNOSTICS / ELEMENTI DI FISIOLOGIA, FISIOPATOLOGIA E DIAGNOSTICA, 6 CFU
		9 - 15	FIS/02	1 - METODI NUMERICI DELLA FISICA TEORICA, 9 CFU
		9 - 15	FIS/03	1 - OCEANOGRAFIA FISICA

				SU GRANDE SCALA, 9 CFU
				1 - GEOPHYSICAL INSTRUMENTATION AND GEOPHYSICAL POTENTIAL FIELDS, 6 CFU
				0019B - QUANTUM MACHINE LEARNING, 3 CFU
				1 - FISICA DEI MATERIALI IN BASSA DIMENSIONALITÀ, 6 CFU
				1 - MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY/ SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI, 6 CFU
				1 - SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA, 3 CFU
				1 - ACCELERATORI LASER-PLASMA, 6 CFU
		9 - 15	FIS/04	1 - ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI, 3 CFU
				1 - RECENT HIGHLIGHTS IN FUNDAMENTAL INTERACTIONS, 3 CFU
				1 - FISICA DELLE PARTICELLE S, 6 CFU
				1 - REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO S, 6 CFU
		9 - 15	FIS/05	1 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITÀ, 6 CFU
		9 - 15	NN	1 - LIBERA SCELTA, 18 CFU
				1 - LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI, 18 CFU
Totale A scelta dello studente	9	9 - 15		

**Lingua/Prova Finale**

<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Per la prova finale	44	41 - 45	PROFIN_S	1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
				1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Lingua/Prova Finale	44	41 - 45		

<b>Altro</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro	1	1 - 1	NN	2 - ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO, 1 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Altro	1	1 - 1		

Totale	120	87 - 181		
--------	-----	----------	--	--

# Classe/Percorso

<b>Classe</b>	Classe delle lauree magistrali in Fisica (LM-17)
<b>Percorso di Studio</b>	FISICA MEDICA

## Quadro delle attività formative

Caratterizzante				
Ambito disciplinare	CFU	Intervallo di CFU da RAD	SSD	Attività Formative
Sperimentale applicativo	21	6 - 24	FIS/01	0007B - QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS , 9 CFU
				0009B - DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE, 9 CFU
				1 - INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS, 9 CFU
				1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S, 6 CFU
				1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS, 9 CFU
				1 - METODI NUMERICI PER LA FISICA, 9 CFU
				1 - ANALISI STATISTICA DEI DATI, 9 CFU
				1 - MEDICAL PHYSICS LABORATORY A / LABORATORIO DI FISICA MEDICA, 6 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata MEDICAL PHYSICS LABORATORY / LABORATORIO DI FISICA

				MEDICA (104BB))
				1 - METODI NUMERICI PER LA FISICA S, 6 CFU
				1 - MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY, 9 CFU
				2 - MEDICAL PHYSICS LABORATORY B / LABORATORIO DI FISICA MEDICA, 6 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata MEDICAL PHYSICS LABORATORY / LABORATORIO DI FISICA MEDICA (104BB))
		6 - 24	FIS/07	0008B - BIOPHYSICS OF eFLASH THERAPY, 9 CFU
				1 - MEDICAL PHYSICS 1, 9 CFU
Teorico e dei fondamenti della fisica	9	6 - 24	FIS/02	1 - FISICA TEORICA 2, 9 CFU
				1 - RELATIVITA' GENERALE, 9 CFU
				1 - FISICA TEORICA 1, 9 CFU
				1 - COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO S/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE S, 6 CFU
				1 - FISICA STATISTICA, 9 CFU
Microfisico e della struttura della materia	9	6 - 24	FIS/03	0004B - FLEXIBLE AND NANO-ELECTRONICS, 9 CFU
				0005B - 3D AND 4D NANOMATERIALS AND DEVICES , 9 CFU
				1 - COMPLEX SYSTEMS/SISTEMI COMPLESSI, 9 CFU
				1 - PHYSICS OF BIOSYSTEMS / FISICA DEI BIOSISTEMI, 9

				CFU
				1 - DISORDERED SYSTEMS OUT OF EQUILIBRIUM / SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO, 9 CFU
				1 - BIOFISICA CELLULARE // CELL BIOPHYSICS, 6 CFU
				1 - SOLID STATE PHYSICS /FISICA DELLO STATO SOLIDO, 9 CFU
				1 - BIOFISICA, 9 CFU
				1 - BIOROBOTICA E SISTEMI COMPLESSI, 9 CFU
				1 - COMPLEX SYSTEMS - NEURAL DYNAMICS/ SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI, 9 CFU
				1 - QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES, 9 CFU
				1 - INTRODUCTION TO MOLECULAR BIOPHYSICS / INTRODUZIONE ALLA BIOFISICA MOLECOLARE, 6 CFU
				1 - FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA, 9 CFU
		6 - 24	FIS/04	1 - FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI, 9 CFU
				1 - FISICA DELLE PARTICELLE, 9 CFU
				1 - REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO, 9

				CFU
				1 - FISICA NUCLEARE, 9 CFU
Astrofisico, geofisico e spaziale	6	6 - 24	FIS/05	1 - STELLAR PHYSICS S, 6 CFU
				1 - ASTROPARTICLE PHYSICS / ASTROPARTICELLE, 9 CFU
				1 - PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI, 9 CFU
				1 - ASTROPARTICLES PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S, 6 CFU
				1 - ASTROFISICA GENERALE, 6 CFU
				1 - EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY /ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA, 9 CFU
				1 - STELLAR PHYSICS / FISICA STELLARE, 9 CFU
Totale Caratterizzante	45	24 - 96		

<b>Affine/Integrativa</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Attività formative affini o integrative	21	12 - 24	CHIM/02	1 - CHIMICA FISICA MOLECOLARE, 9 CFU
		12 - 24	FIS/01	1 - SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS, 6 CFU
				1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE, 9 CFU
				1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S, 6 CFU

				<p>1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - ACCELERATOR PHYSICS S/ MACCHINE ACCELERATRICI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE, 6 CFU</p>
		12 - 24	FIS/02	<p>0015B - THEORY OF NUCLEAR INTERACTION, 9 CFU</p> <hr/> <p>0016B - THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S , 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIA DEI GRUPPI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - CROMODINAMICA QUANTISTICA, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S, 6 CFU</p>

			1 - QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY, 6 CFU
		12 - 24	FIS/03 0020B - NEUROENGINEERING, 6 CFU
			0021B - MICROBIOROBOTICS, 6 CFU
			1 - SPECTROSCOPY AND MICROSCOPY OF NANOMATERIALS / SPETTROSCOPIA E MICROSCOPIA DEI NANOMATERIALI, 6 CFU
			1 - ATOM OPTICS/ OTTICA ATOMICA, 9 CFU
			1 - BIOPHYSICS, 6 CFU
			1 - OTTICA QUANTISTICA E PLASMI, 9 CFU
			1 - NONLINEAR DYNAMICS / DINAMICA NON LINEARE, 9 CFU
			1 - KINETIC THEORY OF PLASMAS/ PLASMI TEORIA CINETICA, 6 CFU
			1 - LASER A STATO SOLIDO, 3 CFU
			1 - PHYSICS OF PHOTONIC DEVICES, 9 CFU
			1 - ELETTRODINAMICA DEI MEZZI CONTINUI, 6 CFU
			1 - QUANTUM LIQUIDS, 9 CFU
			1 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE, 3 CFU
			1 - MODELLISTICA PER SISTEMI COMPLESSI, 6 CFU

				1 - ADVANCED CONDENSED MATTER PHYSICS, 9 CFU
		12 - 24	FIS/04	1 - ACCELERATOR PHYSICS/MACCHINE ACCELERATRICI, 9 CFU
				1 - COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE, 9 CFU
				1 - COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S, 6 CFU
		12 - 24	FIS/05	1 - ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI, 9 CFU
				1 - ASTROPHYSICAL BLACK HOLES, 6 CFU
				1 - EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI, 6 CFU
		12 - 24	FIS/07	1 - MEDICAL PHYSICS 2, 6 CFU
				1 - FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI, 6 CFU
				1 - NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE / RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE, 6 CFU
				1 - ELETTRONICA E SENSORI, 6 CFU
				1 - DOSIMETRY, 6 CFU
Totale Affine/Integrativa	21	12 - 24		

### A scelta dello studente

Ambito disciplinare	CFU	Intervallo di CFU da RAD	SSD	Attività Formative
A scelta dello studente	9	9 - 15	BIO/09	1 - ELEMENTS OF PHYSIOLOGY, PHYSIOPATHOLOGY AND DIAGNOSTICS / ELEMENTI DI FISILOGIA, FISIOPATOLOGIA E DIAGNOSTICA, 6 CFU
		9 - 15	FIS/02	1 - METODI NUMERICI DELLA FISICA TEORICA, 9 CFU

		9 - 15	FIS/03	<p>1 - FONDAMENTI DI OTTICA, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - FISICA DEI MATERIALI IN BASSA DIMENSIONALITÀ, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY/ SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA, 3 CFU</p> <hr/> <p>1 - ACCELERATORI LASER-PLASMA, 6 CFU</p>
		9 - 15	FIS/04	<p>1 - FISICA DELLE PARTICELLE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - RECENT HIGHLIGHTS IN FUNDAMENTAL INTERACTIONS, 3 CFU</p> <hr/> <p>1 - ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI, 3 CFU</p>
		9 - 15	FIS/05	<p>1 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITÀ, 6 CFU</p>
		9 - 15	FIS/07	<p>1 - PHYSICS FOR CULTURAL HERITAGE / FISICA APPLICATA AI BENI CULTURALI, 9 CFU</p>
		9 - 15	INF/01	<p>0033A - INFORMATICA CON LABORATORIO, 6 CFU</p>
		9 - 15	NN	<p>1 - LIBERA SCELTA, 18 CFU</p> <hr/> <p>1 - LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI, 18 CFU</p>
Totale A scelta dello studente	9	9 - 15		

### Lingua/Prova Finale

Ambito disciplinare	CFU	Intervallo di CFU da RAD	SSD	Attività Formative
Per la prova finale	44	41 - 45	PROFIN_S	1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
				1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Lingua/Prova Finale	44	41 - 45		

### Altro

Ambito disciplinare	CFU	Intervallo di CFU da RAD	SSD	Attività Formative
Altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro	1	1 - 1	NN	2 - ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO, 1 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Altro	1	1 - 1		
Totale	120	87 - 181		

# Classe/Percorso

<b>Classe</b>	Classe delle lauree magistrali in Fisica (LM-17)
<b>Percorso di Studio</b>	FISICA TEORICA

## Quadro delle attività formative

Caratterizzante				
Ambito disciplinare	CFU	Intervallo di CFU da RAD	SSD	Attività Formative
Sperimentale applicativo	9	6 - 24	FIS/01	0007B - QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS , 9 CFU
				0009B - DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE, 9 CFU
				0010B - ASTROPHYSICS AND MULTIMESSENGER LABORATORY , 12 CFU
				1 - PHYSICS OF MATTER AND NANOTECHNOLOGY LABORATORY / LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA E NANOTECNOLOGIE, 15 CFU
				1 - PHYSICS OF MATTER AND NANOTECHNOLOGY LABORATORY S/ LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA E NANOTECNOLOGIE, 9 CFU
				1 - INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS, 9 CFU
				1 - METODI NUMERICI PER LA FISICA, 9 CFU
				1 - METODI NUMERICI PER LA FISICA S, 6 CFU

				<p>1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - ANALISI STATISTICA DEI DATI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - FUNDAMENTAL INTERACTIONS LABORATORY S, 9 CFU</p>
Teorico e dei fondamenti della fisica	18	6 - 24	FIS/02	<p>1 - FISICA TEORICA 2, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - FISICA TEORICA 1, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - FISICA STATISTICA, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - RELATIVITA' GENERALE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - CROMODINAMICA QUANTISTICA, 9 CFU</p>
Microfisico e della struttura della materia	9	6 - 24	FIS/03	<p>1 - PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - DISORDERED SYSTEMS OUT OF EQUILIBRIUM / SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - BIOFISICA, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - COMPLEX SYSTEMS/SISTEMI COMPLESSI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - SOLID STATE PHYSICS /FISICA DELLO STATO SOLIDO, 9 CFU</p>

				1 - FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA, 9 CFU
				1 - FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI, 9 CFU
		6 - 24	FIS/04	1 - REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO, 9 CFU
				1 - FISICA DELLE PARTICELLE, 9 CFU
				1 - FISICA NUCLEARE, 9 CFU
				1 - ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI, 9 CFU
				1 - ASTROPARTICLE PHYSICS / ASTROPARTICELLE, 9 CFU
				1 - ASTROFISICA GENERALE, 6 CFU
				1 - COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO S/ COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE S, 6 CFU
Astrofisico, geofisico e spaziale	6	6 - 24	FIS/05	1 - STELLAR PHYSICS / FISICA STELLARE, 9 CFU
				1 - ASTROPARTICLES PHYSICS S / ASTROPARTICELLE S, 6 CFU
				1 - EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY / ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA, 9 CFU
				1 - STELLAR PHYSICS S, 6 CFU
Totale Caratterizzante	42	24 - 96		

<b>Affine/Integrativa</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Attività formative affini o integrative	18	12 - 24	FIS/01	1 - PARTICLE DARK MATTER, 6 CFU
				1 - ACCELERATOR PHYSICS S/ MACCHINE ACCELERATRICI, 6 CFU
				1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S, 6 CFU
				1 - METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE, 6 CFU
				1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S, 6 CFU
				1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE, 9 CFU
				1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI, 9 CFU
				1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S, 6 CFU
		12 - 24	FIS/02	0015B - THEORY OF NUCLEAR INTERACTION, 9 CFU
				0016B - THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S , 6 CFU
				0017B - TEORIE DI CAMPO STATISTICHE, 9 CFU

				<p>0018B - TEORIE DI CAMPO STATISTICHE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIA DEI GRUPPI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY, 6 CFU</p>
		12 - 24	FIS/03	<p>1 - QUANTUM THERMODYNAMICS / TERMODINAMICA QUANTISTICA, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - NONLINEAR DYNAMICS / DINAMICA NON LINEARE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - ELETTRODINAMICA DEI MEZZI CONTINUI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - QUANTUM LIQUIDS, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - ADVANCED CONDENSED MATTER PHYSICS, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - OTTICA QUANTISTICA E PLASMI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - MODELLISTICA PER SISTEMI COMPLESSI, 6 CFU</p> <hr/>

				<p>1 - PHYSICS OF PHOTONIC DEVICES, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE, 3 CFU</p> <hr/> <p>1 - ATOM OPTICS/ OTTICA ATOMICA, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - COMPLEX SYSTEMS - NEURAL DYNAMICS/ SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - LASER A STATO SOLIDO, 3 CFU</p> <hr/> <p>1 - KINETIC THEORY OF PLASMAS/ PLASMI TEORIA CINETICA, 6 CFU</p>
		12 - 24	FIS/04	<p>1 - COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - HADRON COLLIDER PHYSICS / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - HADRON COLLIDER PHYSICS S / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI S, 6 CFU</p>
		12 - 24	FIS/05	<p>1 - EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE, 9 CFU</p>

				1 - ASTROPHYSICAL BLACK HOLES, 6 CFU
				1 - NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE / RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE, 6 CFU
				1 - DOSIMETRY, 6 CFU
				1 - MEDICAL PHYSICS 2, 6 CFU
		12 - 24	FIS/07	1 - FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI, 6 CFU
				1 - ELETTRONICA E SENSORI, 6 CFU
				1 - MEDICAL PHYSICS 1, 9 CFU
Totale Affine/Integrativa	18	12 - 24		

<b>A scelta dello studente</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
A scelta dello studente	15	9 - 15	BIO/09	1 - ELEMENTS OF PHYSIOLOGY, PHYSIOPATHOLOGY AND DIAGNOSTICS / ELEMENTI DI FISILOGIA, FISIOPATOLOGIA E DIAGNOSTICA, 6 CFU
		9 - 15	FIS/02	1 - METODI NUMERICI DELLA FISICA TEORICA, 9 CFU
		9 - 15	FIS/03	1 - OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA, 9 CFU
				1 - FISICA DEI MATERIALI IN BASSA DIMENSIONALITÀ, 6 CFU
				1 - MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY/ SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI, 6 CFU
				1 - FONDAMENTI DI OTTICA, 6 CFU

				1 - SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA, 3 CFU
				1 - ACCELERATORI LASER-PLASMA, 6 CFU
		9 - 15	FIS/04	1 - ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI, 3 CFU
				1 - REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO S, 6 CFU
				1 - FISICA DELLE PARTICELLE S, 6 CFU
				1 - RECENT HIGHLIGHTS IN FUNDAMENTAL INTERACTIONS, 3 CFU
		9 - 15	FIS/05	1 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITÀ, 6 CFU
		9 - 15	FIS/07	1 - PHYSICS FOR CULTURAL HERITAGE / FISICA APPLICATA AI BENI CULTURALI, 9 CFU
		9 - 15	INF/01	0033A - INFORMATICA CON LABORATORIO, 6 CFU
		9 - 15	NN	1 - LIBERA SCELTA, 18 CFU
				1 - LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI, 18 CFU
Totale A scelta dello studente	15	9 - 15		

<b>Lingua/Prova Finale</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Per la prova finale	44	41 - 45	PROFIN_S	1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
				1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività

			formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Lingua/Prova Finale	44	41 - 45	

<b>Altro</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro	1	1 - 1	NN	2 - ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO, 1 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Altro	1	1 - 1		

Totale	120	87 - 181		
--------	-----	----------	--	--

# Classe/Percorso

<b>Classe</b>	Classe delle lauree magistrali in Fisica (LM-17)
<b>Percorso di Studio</b>	GENERALE

## Quadro delle attività formative

Caratterizzante				
Ambito disciplinare	CFU	Intervallo di CFU da RAD	SSD	Attività Formative
Sperimentale applicativo	9	6 - 24	FIS/01	0007B - QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS , 9 CFU
				0009B - DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE, 9 CFU
				0022B - LABORATORY OF INSTRUMENTAL SEISMOLOGY, 9 CFU
				1 - BIO-SYSTEMS LAB - I MODULO, 9 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata BIO-SYSTEMS LAB/ LABORATORIO DI BIOSISTEMI (403BB))
				1 - LABORATORIO DI INTERAZIONI FONDAMENTALI S, 9 CFU
				1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS, 9 CFU
				1 - ANALISI STATISTICA DEI DATI, 9 CFU
				1 - MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY, 9 CFU

				<p>1 - METODI NUMERICI PER LA FISICA, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - PHYSICS OF MATTER AND NANOTECHNOLOGY LABORATORY S/ LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA E NANOTECNOLOGIE, 9 CFU</p> <hr/> <p>2 - BIO-SYSTEMS LAB- II MODULO, 6 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata BIO-SYSTEMS LAB/ LABORATORIO DI BIOSISTEMI (403BB))</p>
Teorico e dei fondamenti della fisica	18	6 - 24	FIS/02	<p>1 - RELATIVITA' GENERALE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - FISICA TEORICA 1, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - FISICA STATISTICA, 9 CFU</p>
Microfisico e della struttura della materia	9	6 - 24	FIS/03	<p>0004B - FLEXIBLE AND NANO-ELECTRONICS, 9 CFU</p> <hr/> <p>0005B - 3D AND 4D NANOMATERIALS AND DEVICES , 9 CFU</p> <hr/> <p>0024B - FLUIDODYNAMICS, 6 CFU</p> <hr/> <p>0025B - GEOPHYSICAL INSTRUMENTATION AND GEOPHYSICAL POTENTIAL FIELDS, 6 CFU</p> <hr/> <p>0026B - ROCK PHYSICS, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - COMPLEX SYSTEMS/SISTEMI COMPLESSI, 9 CFU</p>

				1 - DISORDERED SYSTEMS OUT OF EQUILIBRIUM / SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO, 9 CFU
				1 - FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA, 9 CFU
				1 - SOLID STATE PHYSICS /FISICA DELLO STATO SOLIDO, 9 CFU
				1 - PHYSICS OF BIOSYSTEMS / FISICA DEI BIOSISTEMI, 9 CFU
				1 - REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO, 9 CFU
		6 - 24	FIS/04	1 - FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI, 9 CFU
				1 - FISICA NUCLEARE, 9 CFU
Astrofisico, geofisico e spaziale	9	6 - 24	FIS/05	1 - ASTROPARTICLES PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S, 6 CFU
				1 - STELLAR PHYSICS / FISICA STELLARE, 9 CFU
				1 - ASTROFISICA GENERALE, 6 CFU
				1 - ASTROPARTICLE PHYSICS / ASTROPARTICELLE, 9 CFU
				1 - COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO S/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE S, 6 CFU
				1 - STELLAR PHYSICS S, 6 CFU
		6 - 24	FIS/06	0023B - MECHANICS OF GEOPHYSICAL FLUIDS, 9 CFU

Totale Caratterizzante	45	24 - 96
------------------------	----	---------

<b>Affine/Integrativa</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Attività formative affini o integrative	18	12 - 24	FIS/01	1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE, 9 CFU
				1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S, 6 CFU
				1 - ACCELERATOR PHYSICS S/ MACCHINE ACCELERATRICI, 6 CFU
				1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI, 9 CFU
				1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S, 6 CFU
				1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S, 6 CFU
				1 - METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE, 6 CFU
				1 - INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS, 9 CFU
		12 - 24	FIS/02	1 - NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE, 9 CFU

				<p>1 - TEORIA DEI GRUPPI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES S / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S, 6 CFU</p>
		12 - 24	FIS/03	<p>1 - SPECTROSCOPY AND MICROSCOPY OF NANOMATERIALS / SPETTROSCOPIA E MICROSCOPIA DEI NANOMATERIALI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY/ SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - PHYSICS OF PHOTONIC DEVICES, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - MODELLISTICA PER SISTEMI COMPLESSI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - LASER A STATO SOLIDO, 3 CFU</p> <hr/> <p>1 - NONLINEAR DYNAMICS / DINAMICA NON LINEARE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - ADVANCED CONDENSED MATTER PHYSICS, 9 CFU</p> <hr/>

				<p>1 - OTTICA QUANTISTICA E PLASMI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - ATOM OPTICS/ OTTICA ATOMICA, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - COMPLEX SYSTEMS - NEURAL DYNAMICS/ SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE, 3 CFU</p>
		12 - 24	FIS/04	<p>1 - COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - SIMMETRIE DISCRETE, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - HADRON COLLIDER PHYSICS S / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - HADRON COLLIDER PHYSICS / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI, 9 CFU</p>
		12 - 24	FIS/05	<p>1 - ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - ASTROPHYSICAL BLACK HOLES, 6 CFU</p>
		12 - 24	FIS/07	<p>1 - PHYSICS OF SOUND, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE / RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE, 6</p>

			CFU
			1 - FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI, 6 CFU
			1 - DOSIMETRY, 6 CFU
			1 - ELETTRONICA E SENSORI, 6 CFU
			1 - IMAGING PER LA FISICA BIO-MEDICA, 9 CFU
Totale Affine/Integrativa	18	12 - 24	

<b>A scelta dello studente</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
A scelta dello studente	12	9 - 15	FIS/01	1 - SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS, 6 CFU
		9 - 15	FIS/03	1 - SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA, 3 CFU
				1 - ACCELERATORI LASER-PLASMA, 6 CFU
		9 - 15	NN	1 - LIBERA SCELTA, 18 CFU
				1 - LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI, 18 CFU
Totale A scelta dello studente	12	9 - 15		

<b>Lingua/Prova Finale</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Per la prova finale	44	41 - 45	PROFIN_S	1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
				1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Lingua/Prova Finale	44	41 - 45		

<b>Altro</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro	1	1 - 1	NN	2 - ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO, 1 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Altro	1	1 - 1		
Totale	120	87 - 181		

# Classe/Percorso

Classe	Classe delle lauree magistrali in Fisica (LM-17)
Percorso di Studio	INTERAZIONI FONDAMENTALI

## Quadro delle attività formative

Caratterizzante				
Ambito disciplinare	CFU	Intervallo di CFU da RAD	SSD	Attività Formative
Sperimentale applicativo	15	6 - 24	FIS/01	1 - FUNDAMENTAL INTERACTIONS LABORATORY S, 9 CFU
				1 - METODI NUMERICI PER LA FISICA S, 6 CFU
				1 - ANALISI STATISTICA DEI DATI, 9 CFU
				1 - METODI NUMERICI PER LA FISICA, 9 CFU
				1 - MODULO A, 9 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata Fundamental Interactions laboratory (413BB))
				1 - INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS, 9 CFU
				1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS, 9 CFU
Teorico e dei fondamenti della fisica	9	6 - 24	FIS/02	1 - FISICA STATISTICA, 9 CFU
				1 - FISICA TEORICA 1, 9 CFU

				1 - CROMODINAMICA QUANTISTICA, 9 CFU
				1 - RELATIVITA' GENERALE, 9 CFU
				1 - FISICA TEORICA 2, 9 CFU
Microfisico e della struttura della materia	15	6 - 24	FIS/03	0004B - FLEXIBLE AND NANO-ELECTRONICS, 9 CFU
				0005B - 3D AND 4D NANOMATERIALS AND DEVICES , 9 CFU
				1 - SPECTROSCOPY AND MICROSCOPY OF NANOMATERIALS / SPETTROSCOPIA E MICROSCOPIA DEI NANOMATERIALI, 6 CFU
				1 - MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY/ SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI, 6 CFU
				1 - COMPLEX SYSTEMS/SISTEMI COMPLESSI, 9 CFU
				1 - DISORDERED SYSTEMS OUT OF EQUILIBRIUM / SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO, 9 CFU
				1 - FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA, 9 CFU
				1 - PLASMI A, 6 CFU
				1 - SOLID STATE PHYSICS /FISICA DELLO STATO SOLIDO, 9 CFU
				1 - QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES, 9 CFU

				1 - BIOFISICA, 9 CFU
				1 - FISICA DELLE PARTICELLE, 9 CFU
		6 - 24	FIS/04	1 - FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI, 9 CFU
				1 - REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO, 9 CFU
				1 - FISICA NUCLEARE, 9 CFU
Astrofisico, geofisico e spaziale	6	6 - 24	FIS/05	0014B - BAYESIAN INFERENCE IN ASTRONOMY & ASTROPHYSICS, 6 CFU
				1 - ASTROPARTICLES PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S, 6 CFU
				1 - EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY /ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA, 9 CFU
				1 - COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO S/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE S, 6 CFU
				1 - ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI, 9 CFU
				1 - STELLAR PHYSICS S, 6 CFU
				1 - ASTROPARTICLE PHYSICS / ASTROPARTICELLE, 9 CFU
				1 - STELLAR PHYSICS / FISICA STELLARE, 9 CFU
				1 - ASTROFISICA GENERALE, 6 CFU

			1 - PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI, 9 CFU
Totale Caratterizzante	45	24 - 96	

<b>Affine/Integrativa</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Attività formative affini o integrative	18	12 - 24	FIS/01	0007B - QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS , 9 CFU
				0009B - DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE, 9 CFU
				0010B - ASTROPHYSICS AND MULTIMESSENGER LABORATORY , 12 CFU
				1 - SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS, 6 CFU
				1 - MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY, 9 CFU
				1 - ELABORAZIONE DEI SEGNALI PER LA FISICA, 6 CFU
				1 - COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S, 6 CFU
				1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S, 6 CFU
				1 - ACCELERATOR PHYSICS S/ MACCHINE ACCELERATRICI, 6 CFU

				<p>1 - FISICA DEL PLASMA SPERIMENTALE, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE, 9 CFU</p>
		12 - 24	FIS/02	<p>0015B - THEORY OF NUCLEAR INTERACTION, 9 CFU</p> <hr/> <p>0016B - THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S , 6 CFU</p> <hr/> <p>0017B - TEORIE DI CAMPO STATISTICHE, 9 CFU</p> <hr/> <p>0018B - TEORIE DI CAMPO STATISTICHE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S, 6 CFU</p>

				1 - COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE, 9 CFU
				1 - TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY, 6 CFU
				1 - TEORIA DEI GRUPPI, 6 CFU
				0019B - QUANTUM MACHINE LEARNING, 3 CFU
				1 - KINETIC THEORY OF PLASMAS/ PLASMI TEORIA CINETICA, 6 CFU
				1 - OTTICA QUANTISTICA E PLASMI, 9 CFU
				1 - PHYSICS OF PHOTONIC DEVICES, 9 CFU
				1 - ATOM OPTICS/ OTTICA ATOMICA, 9 CFU
		12 - 24	FIS/03	1 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE, 3 CFU
				1 - LASER A STATO SOLIDO, 3 CFU
				1 - NONLINEAR DYNAMICS / DINAMICA NON LINEARE, 9 CFU
				1 - QUANTUM LIQUIDS, 9 CFU
				1 - ADVANCED CONDENSED MATTER PHYSICS, 9 CFU
				1 - COMPLEX SYSTEMS - NEURAL DYNAMICS/ SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI, 9 CFU
		12 - 24	FIS/04	1 - ACCELERATOR PHYSICS/MACCHINE ACCELERATRICI, 9 CFU

				<p>1 - HADRON COLLIDER PHYSICS S / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - SIMMETRIE DISCRETE, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - ARMI NUCLEARI, DISARMO E PROLIFERAZIONE NUCLEARE, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - HADRON COLLIDER PHYSICS / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI, 9 CFU</p> <hr/> <p>1 - COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE, 9 CFU</p>
		12 - 24	FIS/05	<p>0011B - MULTIMESSENGER AND HIGH-ENERGY ASTROPHYSICS, 6 CFU</p> <hr/> <p>0013B - ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND-BASED ASTROPHYSICS: FROM MICROWAVES TO VISIBLE LIGHT, 6 CFU</p> <hr/> <p>0027B - ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND BASED ASTROPHYSICS, 6 CFU</p> <hr/> <p>1 - EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI, 6 CFU</p>

				1 - ASTROPHYSICAL BLACK HOLES, 6 CFU
				1 - PHYSICS OF COSMIC DIFFUSE MEDIA/ FISICA DEL MEZZO DIFFUSO COSMICO, 6 CFU
		12 - 24	FIS/07	0008B - BIOPHYSICS OF eFLASH THERAPY, 9 CFU
				1 - FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI, 6 CFU
				1 - NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE / RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE, 6 CFU
				1 - ELETTRONICA E SENSORI, 6 CFU
				1 - DOSIMETRY, 6 CFU
<b>Totale Affine/Integrativa</b>	<b>18</b>	<b>12 - 24</b>		

<b>A scelta dello studente</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
A scelta dello studente	12	9 - 15	BIO/09	1 - ELEMENTS OF PHYSIOLOGY, PHYSIOPATHOLOGY AND DIAGNOSTICS / ELEMENTI DI FISILOGIA, FISIOPATOLOGIA E DIAGNOSTICA, 6 CFU
		9 - 15	FIS/01	1 - PARTICLE DARK MATTER, 6 CFU
		9 - 15	FIS/03	1 - FISICA DEI MATERIALI IN BASSA DIMENSIONALITÀ, 6 CFU
				1 - OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA, 9 CFU
				1 - SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA, 3 CFU
				1 - ACCELERATORI LASER-PLASMA, 6 CFU
		9 - 15	FIS/04	1 - RECENT HIGHLIGHTS IN FUNDAMENTAL

				INTERACTIONS, 3 CFU
				1 - ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI, 3 CFU
				1 - REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO S, 6 CFU
				1 - INTRODUCTION TO NEUTRINO PHYSICS, 3 CFU
				1 - FISICA DELLE PARTICELLE S, 6 CFU
		9 - 15	FIS/05	1 - INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITÀ, 6 CFU
		9 - 15	FIS/07	1 - PHYSICS FOR CULTURAL HERITAGE / FISICA APPLICATA AI BENI CULTURALI, 9 CFU
		9 - 15	INF/01	0033A - INFORMATICA CON LABORATORIO, 6 CFU
		9 - 15	NN	1 - LIBERA SCELTA, 18 CFU
				1 - LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI, 18 CFU
Totale A scelta dello studente	12	9 - 15		

<b>Lingua/Prova Finale</b>				
<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Per la prova finale	44	41 - 45	PROFIN_S	1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
				1 - PROVA FINALE, 44 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW)) (Segmento del Modulo 1 - PROVA FINALE dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Lingua/Prova Finale	44	41 - 45		

<b>Altro</b>				

<b>Ambito disciplinare</b>	<b>CFU</b>	<b>Intervallo di CFU da RAD</b>	<b>SSD</b>	<b>Attività Formative</b>
Altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro	1	1 - 1	NN	2 - ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO, 1 CFU (Modulo dell'Attività formativa integrata PROVA FINALE (125ZW))
Totale Altro	1	1 - 1		
Totale	120	87 - 181		

## Percorso di Studio: comune (PDS0-2023)

CFU totali: 90, di cui 45 derivanti da AF obbligatorie e 45 da AF a scelta

### 2° Anno (anno accademico 2025/2026)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
<b>ACCELERATORI LASER-PLASMA (357BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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 agli 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).	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (212ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (717ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
<b>PROVA FINALE (125ZW)</b> <b>Moduli</b> PROVA FINALE (1) ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO (2)	45	LM-17	E	Per la prova finale	NN, PROFIN_S
<b>SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA (043BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

## Percorso di Studio: FISICA TEORICA (7)

CFU totali: 813, di cui 45 derivanti da AF obbligatorie e 768 da AF a scelta

## 1° Anno (anno accademico 2024/2025)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
ACCELERATOR PHYSICS S / MACCHINE ACCELERATRICI S (107BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
ANALISI STATISTICA DEI DATI (193BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
ASTROFISICA GENERALE (368BB) <b>Obiettivi</b> Il corso intende trattare alcuni dei principali problemi dell'astrofisica moderna, illustrando in modo interdisciplinare le differenti tecniche necessarie per affrontare i problemi cosmici.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS /ASTROPARTICELLE (192BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S (063BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPHYSICAL BLACK HOLES/ BUCHI NERI ASTROFISICI (359BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05

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.					
ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI (226BB) <b>Obiettivi</b> La fisica dell'astrofisica e le base di osservazioni. 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.	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPHYSICS AND MULTIMESSENGER LABORATORY (0010B) <b>Obiettivi</b> The course will provide the students a laboratory approach to the main aspects of modern observational astrophysics in the multimessenger context. With a series of dedicated experiences, the students will learn how to perform observations and data analysis with telescopes operating across the electromagnetic spectrum from radio to gamma rays and with gravitational wave detectors. At the end of the course the students will be able to: know the main experimental techniques for electromagnetic and gravitational wave detection; access to archives of astrophysical data; perform observations and data reduction; perform data manipulation and analysis of electromagnetic (radio, optical, IR, UV, X-ray and gamma rays) and gravitational wave observations; develop data analysis projects based on state-of-the art tools used in the modern multimessenger astrophysics research.	12	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
ATOM OPTICS/ OTTICA ATOMICA (221BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
BIOFISICA (196BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S (091BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE (278BB) <b>Obiettivi</b> Studio della struttura delle stelle nane bianche e delle stelle di neutroni a partire dalle proprietà della materia ad alte	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04

densita`. Fenomeni astrofisici associati: Pulsars, Supernovae, GRBs					
COMPLEX SYSTEMS - NEURAL DYNAMICS / SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI (279BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce alcuni metodi matematici utilizzati per lo studio dei sistemi neurali	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
COMPLEX SYSTEMS / SISTEMI COMPLESSI (230BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS (360BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso e' l'insegnamento di tecniche di programmazione e di calcolo nel contesto della fisica sperimentale e applicata. Sono previsti due moduli su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, uno incentrato sugli strumenti di base (strumenti di collaborazione, linguaggio python, classi, algoritmi), e uno di approfondimento (calcolo parallelo e machine learning), e un ulteriore modulo (3 CFU) a scelta tra due programmi di approfondimento specifici per High Energy Physics o Medical Image Analys	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S (365BB) <b>Obiettivi</b> 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 parti su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, una incentrata sugli strumenti di base (3 CFU) e una di approfondimento (3 CFU).	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
CONDENSED MATTER PHYSICS (370BB) <b>Obiettivi</b> 9 CFU (6 CFU + 1 moduli da 3 CFU, lo studente ne sceglie uno tra due offerti) Modulo da 6 CFU Introduction to the theory of electron liquids, Linear response theory, Many-body diagrammatic perturbation theory, Landau theory of Fermi liquids Modulo A da 3 CFU Quantum theory of transport and the role of electron-electron interactions, Semiclassical and quantum theories of electron transport, The fractional quantum Hall effect Modulo B da 3 CFU Superconductivity, Quantum matter without quasiparticles	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO S/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE S (275BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE (274BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
CROMODINAMICA QUANTISTICA (197BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE (0009B) <b>Obiettivi</b> The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

<p>the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength</p>					
<p>DISORDERED SYSTEMS OUT OF EQUILIBRIUM / SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO (309BB) <b>Obiettivi</b> Il Corso intende fornire conoscenze di base in: • Descrizione</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

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.					
DOSIMETRY/ DOSIMETRIA (198BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
ELEMENTS OF PHYSIOLOGY, PHYSIOPATHOLOGY AND DIAGNOSTICS / ELEMENTI DI FISILOGIA, FISIOPATOLOGIA E DIAGNOSTICA (478EE) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	D	A scelta dello studente	BIO/09
ELETTRODINAMICA DEI MEZZI CONTINUI (356BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
ELETTRONICA E SENSORI (080BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (323BB) <b>Obiettivi</b> Presentazione e commento di esperimenti particolarmente significativi nella storia delle particelle elementari dalla seconda metà del 1900.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI (170BB) <b>Obiettivi</b> Dynamics of planetary systems: few body problems, tidal interactions, resonance and chaos, effects of binarity, effects of stars in a cluster environment (fly-by effects). 2. Planetary interiors: geophysics of Jovian and Terrestrial planets, plate tectonics and subsolidus convection, magnetic field generation, phase and chemical stratification; Kuiper Belt objects, icy bodies, and planetinos. 3. Planetary atmospheres and radiative transfer, stability of climate, feedback mechanisms. 4. Sun-planet connections: stellar winds, magnetospheres. 5. Stellar and planetary system formation: stability of pre-solar accretion disks, T Tau stars and protostars, UX Ori stars, debris disks and their evolution, asteroids and planetesimals. 6. Exoplanetary searches: transits, proper motion, radial velocities, high contrast direct imaging.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE	6	LM-17	C	Attività	FIS/01

<p>PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S (307BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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 trattati 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.</p>				formative affini o integrative	
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE (306BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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 trattati 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.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY / ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA (369BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Cosmologia osservativa; formazione delle strutture dal fondo</p>	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05

cosmico a microonde alle galassie odierne; evoluzione dinamica e chimica delle galassie e delle loro componenti (stelle, mezzo interstellare, materia oscura)					
<b>FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI (084BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<b>FISICA DEI MATERIALI IN BASSA DIMENSIONALITÀ (352BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
<b>FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE (092BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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 alcune fra le più importanti tecniche e metodi di analisi superficiale. Si promuove lo sviluppo di spirito critico e di sintesi volta a individuare i concetti fondamentali alla base delle materie di studio. Si promuove l'approfondimento autonomo da parte degli studenti degli argomenti trattati.	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>FISICA NUCLEARE (206BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<b>FISICA STATISTICA (207BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce un'introduzione alla meccanica statistica di equilibrio, per sistemi classici e quantistici. In particolare si occupa di: - proprietà termodinamiche dei gas di particelle classiche interagenti (equazione di van der Waals, metodi	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02

perturbativi ed espansioni in cluster); - transizioni di fase e teoremi di Lee-Yang; - fenomeni critici (teoria di Ginzburg-Landau, cenni sul gruppo di rinormalizzazione e universalità); - statistiche quantistiche e gas quantistici non interagenti (condensazione di Bose-Einstein; proprietà magnetiche dei gas di fermioni liberi); - seconda quantizzazione e sistemi a molti corpi quantistici (gas di Bose debolmente interagenti; sistemi fermionici su reticolo); - transizioni di fase quantistiche (soluzione del modello di Ising quantistico 1D)					
FISICA TEORICA 1 (213BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamentali della fisica	FIS/02
FISICA TEORICA 2 (214BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamentali della fisica	FIS/02
FONDAMENTI DI OTTICA (424BB) <b>Obiettivi</b> Il corso copre le basi dell'ottica classica, discutendo i concetti di interferenza, diffrazione e birifrangenza, con l'obiettivo di giungere alla discussione di alcuni fenomeni rilevanti per le loro applicazioni in ambito fotonico, optoelettronico, della microscopia ottica avanzata e della manipolazione della materia. Il corso prevede la visita ad alcuni laboratori di ricerca. - Richiami di ottica geometrica ed elettromagnetismo. Interferenza, interferometri. Cavità ottiche. Diffrazione. - Polarizzazione della luce, dicroismo, birifrangenza, effetti acusto- ed elettro-ottici. - Fasci gaussiani, radiazione laser. Guide d'onda. Basi di ottica a trasformata di Fourier. Microscopia ottica e sue varianti sub-diffrazione. Pinzette ottiche. - Visita di alcuni laboratori di ottica (4 ore)	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI (305BB) <b>Obiettivi</b> Conoscenza di base quantitativa della fisica delle particelle elementari e delle loro interazioni, dal punto di vista fenomenologico e sperimentale. Capacità di valutare quantitativamente processi ed esperimenti. Conoscenza dello sviluppo temporale e delle principali scoperte.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
FUNDAMENTAL INTERACTIONS LABORATORY S (414BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura	FIS/03

MATERIA (304BB) <b>Obiettivi</b> 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				della materia	
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI (257BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S (256BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
HADRON COLLIDER PHYSICS / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI (201BB) <b>Obiettivi</b> 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 permesso molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle quali la scoperta dei bosoni intermedi W e Z, del quark top e del bosone di Higgs. Saranno presentati i principali risultati ottenuti agli collisionatori ISR, SPS collider, Tevatron e LHC insieme a una discussione delle prospettive future. Nella parte finale saranno esaminati in dettaglio alcuni degli articoli che descrivono i risultati scientifici più importanti ottenuti a LHC e effettuata una analisi di dati reali raccolti.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
HADRON COLLIDER PHYSICS S / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI S (371BB) <b>Obiettivi</b> Fisica delle particelle elementari ai collisionatori adronici,	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04

<p>specialmente protone-protone e protone-antiprotone. Lo studio delle interazioni tra quark e gluoni, costituenti del protone, ha permesso molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle quali la scoperta dei bosoni intermedi W e Z, quark top e del bosone di Higgs.. Saranno presentati i principali risultati ottenuti agli collisionatori ISL, SPS collider, Tevatron e LHC insieme a una discussione delle prospettive future.</p>					
<p>INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS (380BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenta argomenti avanzati nel campo della strumentazione per la fisica delle particelle, con particolare attenzione alle applicazioni in fisica nucleare e delle particelle, ma con esempi anche da altri campi. Gli studenti acquisiranno la conoscenza delle moderne tecnologie dei sensori e relativa elettronica, e di come possono essere organizzati in un sistema di rivelazione. Verranno anche forniti esempi di come la strumentazione avanzata è utilizzata nelle misure di fisica.</p>	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<p>INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITÀ (364BB) <b>Obiettivi</b> 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.</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/05
<p>KINETIC THEORY OF PLASMAS/PLASMI TEORIA CINETICA (355BB) <b>Obiettivi</b> 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. Onde di plasma di grande ampiezza. Trasporto anomalo nei plasmi di fusione.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>LASER A STATO SOLIDO (190BB) <b>Obiettivi</b> 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) Apparati 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</p>	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

di 1 micron e 2 micron laser a stato solido in regime continuo ed impulsato nella regione dell'ultravioletto e del visibile.					
MEDICAL PHYSICS 1/ FISICA MEDICA 1 (381BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce le basi fisiche delle tecniche diagnostiche in radiologia, in medicina nucleare con radioisotopi emettitori di singolo fotone e di positroni, e delle tecniche usate in radioterapia. In particolare vengono approfonditi i seguenti argomenti: interazioni radiazione materia; radioattività e decadimenti radioattivi; radiografia, tomografia computerizzata e tomosintesi; imaging in medicina nucleare (SPECT, PET); risonanza magnetica nucleare; ecografia; radiobiologia e radioterapia convenzionale	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE (185BB) <b>Obiettivi</b> ornire conoscenza sulle metodologie statistiche avanzate per la simulazione montecarlo impiegate sia nella progettazione che nella comprensione delle risposte di complessi apparati sperimentali.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
METODI NUMERICI DELLA FISICA TEORICA (218BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/02
METODI NUMERICI PER LA FISICA (326BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
METODI NUMERICI PER LA FISICA S (374BB) <b>Obiettivi</b> 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 2 fra 8 diversi moduli proposti, ciascuno equivalente a 3 CFU, e raggiungere in ciascuno di questi le competenze necessarie per portare	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

avanti in modo autonomo un progettino numerico sulle tematiche relative al modulo.					
<b>MODELLIZZAZIONE DEI SISTEMI COMPLESSI (111BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso è mirato a fornire gli strumenti teorici per la modellizzazione di sistemi complessi.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY (327BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<b>NONLINEAR DYNAMICS / DINAMICA NON LINEARE (322BB)</b> <b>Obiettivi</b> Gli obiettivi principali di questo corso sono quelli di promuovere l'acquisizione di competenze teoriche, sia di base che avanzate, per lo studio di sistemi dinamici nonlineari per i quali l'evoluzione temporale dei corrispondenti stati è determinata da leggi esclusivamente deterministiche. Questi sistemi dinamici (anche semplici) possono sviluppare comportamenti molto complessi, come ad esempio il caos deterministico. Pertanto, un'importante finalità del corso è quella di formare gli studenti in modo che siano in grado di utilizzare i principali approcci formali per lo studio e la caratterizzazione dinamica di sistemi nonlineari. Infine, per concretizzare l'applicazione dei principali approcci e metodi analitici del corso ad esempi concreti, una particolare attenzione verrà dedicata allo svolgimento di esercizi (in aula e per casa).	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE (358BB)</b> <b>Obiettivi</b> Vengono presentati alcuni approcci non perturbativi allo studio delle teorie di campo quantistiche nel contesto delle interazioni fondamentali, della fisica statistica e della materia condensata. Il corso è diviso in tre parti, fra di loro interconnesse per vari aspetti ma ciascuna di per se autoconsistente e corrispondente ad un carico didattico di circa 3 CFU. Nella prima parte viene trattata la teoria del gruppo di rinormalizzazione e le tecniche di sviluppo di grande N; la seconda parte è dedicata alla formulazione e allo studio delle teorie di campo su reticolo; la terza parte è dedicata alle anomalie nelle teorie quantistiche di campo e allo studio delle teorie di campo conformi.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE / RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE (124BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<b>OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA (375BB)</b>	9	LM-17	D	A scelta dello	FIS/03

<p><b>Obiettivi</b> Il corso tratta argomenti rilevanti per lo studio della dinamica dei fenomeni oceanici, privilegiando le tematiche di carattere generale piuttosto che le questioni specifiche della circolazione locale. Sarà perciò introdotto il concetto di sistema complesso e le grandezze oceanografiche saranno considerate come caratteristiche emergenti, a larga scala, di specifici sistemi complessi (caotici e/o turbolenti). Dopo l'introduzione dei concetti generali sarà affrontato in particolare lo studio di alcuni importanti fenomeni oceanici, come le grandi correnti termoaline (per esempio, la Corrente del Golfo), il Nino/La Nina o la North Atlantic Oscillation.</p>				studente	
<p>PARTICLE DARK MATTER (427BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso è di introdurre il problema della materia oscura, la sua ricerca diretta, e la ricerca agli acceleratori di particelle. Verranno discusse le motivazioni che hanno portato all'introduzione dell'ipotesi dell'esistenza di una materia non barionica e i principali modelli di estensione del modello standard. Si discuteranno le tecniche sperimentali di rivelazione diretta a massa bassa e intermedia. Si presenteranno le ricerche di particelle candidate di materia oscura agli acceleratori di particelle. Verranno passati in rassegna gli esperimenti in corso e le direzioni sperimentali future.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>PARTICLE PHYSICS / FISICA DELLE PARTICELLE (302BB) <b>Obiettivi</b> 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.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<p>PARTICLE PHYSICS S / FISICA DELLE PARTICELLE S (373BB) <b>Obiettivi</b> 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.</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
<p>PHYSICS FOR CULTURAL HERITAGE / FISICA APPLICATA AI BENI CULTURALI (418BB) <b>Obiettivi</b> L'insegnamento si prefigge di fornire un quadro ampio delle problematiche relative ai campi di indagine propri della fisica applicata ai beni culturali, trattando anche alcuni aspetti di base della conservazione, del restauro e dell'informatica. In tal modo gli studenti potranno avere una conoscenza, competenza e capacità di valutare gli ambiti ed i limiti di applicabilità delle specifiche metodologie (metodiche e tecniche fisiche, chimiche, mineralogico-petrografiche, naturalistiche e informatiche innovative necessarie allo studio e alla conservazione dei Beni</p>	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/07

culturali). Attraverso l'illustrazione di diversi casi studio, l'insegnamento intende inoltre fornire agli studenti alcuni esempi di linee di ricerca nel campo della diagnostica dei Beni culturali, dei metodi di datazione e provenienza, nonché della caratterizzazione dei materiali utilizzati nel settore dei Beni culturali.					
PHYSICS OF MATTER AND NANOTECHNOLOGY LABORATORY S/ LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA E NANOTECNOLOGIE S (412BB) <b>Obiettivi</b> Metodologie sperimentali di analisi spettrale, interferometria, olografia ed ottica guidata. Apparati laser. Principi alla base dei metodi litografici per micro-nanofotonica. Tecniche di microscopia. Gli obiettivi formativi vengono ottenuti affrontando un programma specifico di esperienze laboratoriali.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
PHYSICS OF MATTER AND NANOTECHNOLOGY LABORATORY/ LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA E NANOTECNOLOGIE (411BB) <b>Obiettivi</b> Metodologie sperimentali di analisi spettrale, interferometria, olografia ed ottica guidata. Apparati laser. Principi alla base dei metodi litografici per micro-nanofotonica. Tecniche di microscopia.	15	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
PHYSICS OF PHOTONIC DEVICES/ FISICA DEI DISPOSITIVI FOTONICI (203BB) <b>Obiettivi</b> Il corso mira a fornire una conoscenza dei principali costituenti di un laser a stato solido: cavita', 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. Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico. Saranno inoltre affrontate (mutuando 8 ore di lezione da un corso di chimica) i seguenti argomenti: "Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico."	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI (353BB) <b>Obiettivi</b> 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, nonlinearity e nonlocality 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	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

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 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					
QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES (376BB) <b>Obiettivi</b> Computazione quantistica: basi della computazione quantistica, della manipolazione dei qubit e dei principali algoritmi (Deutsch, Grover, Shor); programmazione quantistica usando il linguaggio Microsoft e IBM Simulazione quantistica: concetti di base, realizzazione fisica su diverse piattaforme Comunicazione quantistica: principali protocolli di quantum key exchange; analisi di sicurezza dei protocolli Metrologia quantistica: principi di base, implementazione con NV centres e atomi freddi .	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY (328BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
QUANTUM LIQUIDS (382BB) <b>Obiettivi</b> Al termine dell'insegnamento, la/lo studente avrà sviluppato le conoscenze concettuali, procedurali e fattuali nella fisica dei liquidi quantistici all'equilibrio (modulo da 6 CFU) e dei sistemi quantistici aperti driven-dissipative (modulo da 3 CFU), e loro ingegnerizzazione come simulatori quantistici in piattaforme attuali di tecnologie quantistiche. In particolare: (a) Metodi teorici avanzati per predire e caratterizzare la fisica di liquidi quantistici all'equilibrio, loro relazione con metodi di simulazione quantistica, e classificazione per funzionalità e tipologie di problemi. Tra i metodi: risposta lineare, idrodinamica quantistica, funzionale di densità e di corrente, funzioni di Green e metodi non perturbativi, bosonizzazione. (b) Metodi teorici e numerici per sistemi quantistici fuori dall'equilibrio e driven-dissipative: sistemi Markoviani e non Markoviani, dissipation engineering, simulazione quantistica con metodi stocastici e tensor networks, misura e feedback, e applicazioni a tecnologie quantistiche, chimica e biologia quantistiche. (c) Principi di funzionamento delle principali piattaforme di tecnologie quantistiche: atomi, atomi dipolari e di Rydberg, ioni ultrafreddi, atomi in cavità QED; circuiti a superconduttore; fluidi di luce in cavità ottiche; sistemi a bassa dimensionalità. Loro uso come simulatori quantistici	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

<p>per materia condensata, fisica fondamentale, metrologia quantistica, gravità analoga, e cosmologia. Obiettivi formativi Riconoscere l'emergere delle proprietà macroscopiche nella complessità dei modelli microscopici che descrivono i liquidi quantistici all'equilibrio e driven-dissipative. Formalizzare i concetti e imparare ad affrontarli con i metodi sviluppati. Collegare la conoscenza concettuale e la formalizzazione con la fenomenologia e le applicazioni. Organizzare la conoscenza disciplinare in una mappa concettuale che include campi come termodinamica, meccanica statistica e transizioni di fase, teorie di campo. Valutare criticamente articoli di ricerca specializzati. Progettare descrizioni teoriche per il comportamento dei liquidi quantici in diverse piattaforme sperimentali. Comunicare in modo efficace ed efficiente. Lavorare con autonomia, consapevolezza e capacità di autovalutazione. Sviluppare capacità di lavoro di squadra.</p>					
<p>QUANTUM OPTICS AND PLASMA PHYSICS / OTTICA QUANTISTICA E PLASMI (354BB) <b>Obiettivi</b> Competenze in Ottica Fisica, Ottica Quantistica, Applicazioni dei LASERS, Accelerazione LASER-Plasma di particelle e sorgenti secondarie di radiazione X e gamma</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS (0007B) <b>Obiettivi</b> Quantum technologies exploit the capability to control quantum properties of matter to devise sensors with unprecedented performance, that allow us to perform otherwise unattainable measurements in terms of sensitivity and resolution. The course focuses on quantum sensing and describes emerging technologies that exploit quantum aspects of the matter. In particular, it will focus on superconducting devices (SQUIDS, TESs, KIDs, Qubits, parametric amplifiers, etc.) and semiconductor devices with low dimensionality with applications to fundamental interaction physics such as dark matter search, axions and Majorana's neutrino, neutrino coherent scattering, high-frequency gravitational waves and other. Some real experiments using cryogenic quantum sensors will be discussed, delving into the experimental and scientific aspects that defined their conception.</p>	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<p>QUANTUM THERMODYNAMICS/ TERMODINAMICA QUANTISTICA (425BB) <b>Obiettivi</b> Obiettivi formativi:il corso tratta argomenti moderni di termodinamica fuori equilibrio di sistemi fisici in regime quantistico, con lo scopo di introdurre gli studenti alla nuova branca di ricerca denominata "termodinamica quantistica. Il corso si apre con una parte introduttiva dedicata ai fondamenti meccanici (classici) della termodinamica e alle relazioni di fluttuazioni classiche. Alcune nozioni di teoria dell'informazione quantistica saranno propedeutiche allo studio delle relazioni di fluttuazione quantistiche e a temi caldi di ricerca quali ad esempio le macchine termiche quantistiche,il principio di Landauer in regime quantum e le loro applicazioni ai computer quantistici.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO (227BB) <b>Obiettivi</b></p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04

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.					
REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO S (377BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
RECENT HIGHLIGHTS IN FUNDAMENTAL INTERACTIONS (378BB) <b>Obiettivi</b> Corso monografico per presentare e discutere i più recenti risultati in un settore - variabile di anno in anno - delle interazioni fondamentali. Il corso inizierà con lezioni introduttive, seguite da seminari, letture di articoli, sessioni di discussione con particolare riferimento alle prospettive future.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
RELATIVITA' GENERALE (228BB) <b>Obiettivi</b> Descrizione geometrica dello spazio e del tempo in presenza di gravi fornita dalla teoria della relatività 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamentali della fisica	FIS/02
SOLID STATE PHYSICS / FISICA DELLO STATO SOLIDO (204BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
STELLAR PHYSICS S (098BB) <b>Obiettivi</b> Analisi delle basi fisiche del funzionamento delle strutture stellari e descrizione delle caratteristiche delle stelle durante le diverse fasi evolutive. Syllabus: Introduzione generale sulle caratteristiche delle stelle nella Via Lattea e nel Gruppo Locale. Condizioni di equilibrio per le strutture stellari. Meccanismi fisici in gioco nelle strutture stellari: equazione di stato della materia stellare, produzione di energia nucleare, catture neutroniche, meccanismi di interazione fotone-materia, trasporto di energia (radiativo, convettivo e conduttivo), nucleosintesi stellare. Equazioni di struttura stellare. Formazione stellare ed evoluzione iniziale. Fasi di combustione di H centrale ed in shell. Il modello solare. Fasi di combustione di elio. Fasi evolutive avanzate.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
STELLAR PHYSICS/ FISICA STELLARE (211BB) <b>Obiettivi</b> Analisi delle basi fisiche del funzionamento delle strutture stellari e descrizione delle caratteristiche delle stelle durante	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05

le fasi evolutive. Si interpreteranno le caratteristiche degli ammassi stellari nel quadro dell'evoluzione della Galassia					
TEORIA DEI GRUPPI (286BB) <b>Obiettivi</b> Acquisire i concetti base e l'utilizzo della teoria dei gruppi in fisica: assiomi dei gruppi, gruppi finiti e infiniti, gruppi discreti e continui. Gruppi e algebre di Lie. Teoria delle rappresentazione. Gruppi familiari in fisica: SU(2), SU(3), SO(3), SO(4), Gruppo di Lorentz e di Poincare'. Teoria delle radici e pesi in algebre semi-semplici. Alcuni applicazioni in meccanica quantistica.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI (277BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI A (137BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
TEORIE DELLA GRAVITAZIONE (251BB) <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S (140BB) <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY (187BB) <b>Obiettivi</b> Descrivere le applicazioni dei metodi della teoria dei campi quantizzati nel calcolo di invarianti topologici associati ai	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

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.					
---	--	--	--	--	--

## 2° Anno (anno accademico 2025/2026)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
<p>ACCELERATORI LASER-PLASMA (357BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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 agli 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).</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
<p>ASTROPHYSICS AND MULTIMESSENGER LABORATORY (0010B)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>The course will provide the students a laboratory approach to the main aspects of modern observational astrophysics in the multimessenger context. With a series of dedicated experiences, the students will learn how to perform observations and data analysis with telescopes operating across the electromagnetic spectrum from radio to gamma rays and with gravitational wave detectors. At the end of the course the students will be able to: know the main experimental techniques for electromagnetic and gravitational wave detection; access to archives of astrophysical data; perform observations and data reduction; perform data manipulation and analysis of electromagnetic (radio, optical, IR, UV, X-ray and gamma rays) and gravitational wave observations; develop data analysis projects based on state-of-the art tools used in the modern multimessenger astrophysics research.</p>	12	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<p>CROMODINAMICA QUANTISTICA (197BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Simmetrie delle interazioni forti, teorie di gauge non-abeliane, libertà asintotica delle interazioni forti, lagrangiane</p>	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02

fenomenologiche di bassa energia, simmetria chirale, il problema U(1), violazioni forti di CP					
FISICA NUCLEARE (206BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
FISICA STATISTICA (207BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce un'introduzione alla meccanica statistica di equilibrio, per sistemi classici e quantistici. In particolare si occupa di: - proprietà termodinamiche dei gas di particelle classiche interagenti (equazione di van der Waals, metodi perturbativi ed espansioni in cluster); - transizioni di fase e teoremi di Lee-Yang; - fenomeni critici (teoria di Ginzburg-Landau, cenni sul gruppo di rinormalizzazione e universalità); - statistiche quantistiche e gas quantistici non interagenti (condensazione di Bose-Einstein; proprietà magnetiche dei gas di fermioni liberi); - seconda quantizzazione e sistemi a molti corpi quantistici (gas di Bose debolmente interagenti; sistemi fermionici su reticolo); - transizioni di fase quantistiche (soluzione del modello di Ising quantistico 1D)	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (212ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (717ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
PARTICLE DARK MATTER (427BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso è di introdurre il problema della materia oscura, la sua ricerca diretta, e la ricerca agli acceleratori di particelle. Verranno discusse le motivazioni che hanno portato all'introduzione dell'ipotesi dell'esistenza di una materia non barionica e i principali modelli di estensione del modello standard. Si discuteranno le tecniche sperimentali di rivelazione diretta a massa bassa e intermedia. Si presenteranno le ricerche di particelle candidate di materia oscura agli acceleratori di particelle. Verranno passati in rassegna gli esperimenti in corso e le direzioni sperimentali future.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
PHYSICS OF MATTER AND NANOTECHNOLOGY LABORATORY S/ LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA E NANOTECNOLOGIE S (412BB) <b>Obiettivi</b> Metodologie sperimentali di analisi spettrale, interferometria, olografia ed ottica guidata. Apparati laser. Principi alla base dei metodi litografici per micro-nanofotonica. Tecniche di microscopia. Gli obiettivi formativi vengono ottenuti affrontando un programma specifico di esperienze laboratoriali.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
PHYSICS OF MATTER AND NANOTECHNOLOGY LABORATORY/ LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA E NANOTECNOLOGIE (411BB) <b>Obiettivi</b> Metodologie sperimentali di analisi spettrale, interferometria, olografia ed ottica guidata. Apparati laser.	15	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

Principi alla base dei metodi litografici per micro-nanofotonica. Tecniche di microscopia.					
PROVA FINALE (125ZW)	45	LM-17	E	Per la prova finale	NN, PROFIN_S
<b>Moduli</b>					
PROVA FINALE (1)	44				
ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO (2)	1				
QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS (0007B)	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<b>Obiettivi</b> Quantum technologies exploit the capability to control quantum properties of matter to devise sensors with unprecedented performance, that allow us to perform otherwise unattainable measurements in terms of sensitivity and resolution. The course focuses on quantum sensing and describes emerging technologies that exploit quantum aspects of the matter. In particular, it will focus on superconducting devices (SQUIDS, TESs, KIDs, Qubits, parametric amplifiers, etc.) and semiconductor devices with low dimensionality with applications to fundamental interaction physics such as dark matter search, axions and Majorana's neutrino, neutrino coherent scattering, high-frequency gravitational waves and other. Some real experiments using cryogenic quantum sensors will be discussed, delving into the experimental and scientific aspects that defined their conception.					
QUANTUM THERMODYNAMICS/ TERMODINAMICA QUANTISTICA (425BB)	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>Obiettivi</b> Obiettivi formativi:il corso tratta argomenti moderni di termodinamica fuori equilibrio di sistemi fisici in regime quantistico, con lo scopo di introdurre gli studenti alla nuova branca di ricerca denominata "termodinamica quantistica. Il corso si apre con una parte introduttiva dedicata ai fondamenti meccanici (classici) della termodinamica e alle relazioni di fluttuazioni classiche. Alcune nozioni di teoria dell'informazione quantistica saranno propedeutiche allo studio delle relazioni di fluttuazione quantistiche e a temi caldi di ricerca quali ad esempio le macchine termiche quantistiche,il principio di Landauer in regime quantum e le loro applicazioni ai computer quantistici.					
RELATIVITA' GENERALE (228BB)	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>Obiettivi</b> Descrizione geometrica dello spazio e del tempo 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.					
SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA (043BB)	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
<b>Obiettivi</b> 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.					
TEORIE DI CAMPO STATISTICHE (0017B)	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>Obiettivi</b> E' un corso avanzato sulle teorie di campo statistiche, che vengono generalmente definite attraverso un approccio					

funzionale, analogo a quello delle teorie di campo quantistiche. Viene introdotto, e approfondito, il framework del gruppo di rinormalizzazione alla Wilson, che rappresenta uno dei paradigmi fondamentali per lo studio dei fenomeni critici (generalmente osservati alle transizioni di fase classiche e quantistiche) e per estendere la definizione delle teorie di campo quantistiche interagenti ai regimi non perturbativi. Il corso affronta questioni connesse con la descrizione dei comportamenti dei sistemi statistici a molti corpi all'equilibrio, e della loro dinamica all'equilibrio e fuori equilibrio. Viene infine discusso un approccio non perturbativo molto utilizzato nell'ambito delle teorie di campo fortemente interagenti, che consiste nello sviluppo rispetto all'inverso del numero di componenti del campo fondamentale (espansione a grandi N).					
<b>TEORIE DI CAMPO STATISTICHE S (0018B)</b> <b>Obiettivi</b> E' un corso avanzato sulle teorie di campo statistiche, che vengono generalmente definite attraverso un approccio funzionale, analogo a quello delle teorie di campo quantistiche. Viene introdotto, e approfondito, il framework del gruppo di rinormalizzazione alla Wilson, che rappresenta uno dei paradigmi fondamentali per lo studio dei fenomeni critici (generalmente osservati alle transizioni di fase classiche e quantistiche) e per estendere la definizione delle teorie di campo quantistiche interagenti ai regimi non perturbativi. Il corso affronta questioni connesse con la descrizione dei comportamenti dei sistemi statistici a molti corpi all'equilibrio, e della loro dinamica all'equilibrio e fuori equilibrio.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>THEORY OF NUCLEAR INTERACTION (0015B)</b> <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni. Metodi numerici con relative esercitazioni.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S (0016B)</b> <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

## Anno di corso non specificato

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
<b>INFORMATICA CON LABORATORIO (0033A)</b> <b>Obiettivi</b> Introdurre algoritmi (base) e strutture dati per risolvere problemi efficienti in tempo e/o spazio. Saranno trattate anche tecniche per valutare la complessità degli algoritmi e dei problemi. Infine, queste tecniche saranno sperimentate mediante implementazione nel linguaggio C++ e altre esperienze di laboratorio. Sviluppare capacità di base	6	LM-17	D	A scelta dello studente	INF/01

sull'utilizzo di strutture dati, e sulla comprensione e lo sviluppo di algoritmi efficienti in tempo e/o spazio.					
MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY / SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI (384BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
MEDICAL PHYSICS 2 / FISICA MEDICA 2 (393BB) <b>Obiettivi</b> Introduzione all'imaging molecolare Tomografia a Emissione di Positroni (PET): strumentazione e metodi avanzati Imaging ibrido PET/CT: correzione per attenuazione Imaging ibrido PET/MR: tecnologia e metodi Strumentazione per imaging preclinico CT, SPECT/CT, PET/CT e PET/MR Principi di imaging ottico: imaging a fluorescenza e bioluminescenza Imaging a luce Cerenkov (CLI) Cenni di imaging a ultrasuoni e imaging fotoacustico Radioterapia con particelle cariche Introduzione alla ricostruzione delle immagini tomografiche Metodi di ricostruzione analitici Metodi di ricostruzione iterativi	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07

## Percorso di Studio: INTERAZIONI FONDAMENTALI (8)

CFU totali: 870, di cui 60 derivanti da AF obbligatorie e 810 da AF a scelta

**Sede Didattica**

Università di Pisa

### 1° Anno (anno accademico 2024/2025)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
3D AND 4D NANOMATERIALS AND DEVICES (0005B) <b>Obiettivi</b> Main topics and knowledge targeted: Physical principles and experimental methods for realizing and characterizing intelligent materials. Stimuli-responsive properties (structure, optical, transport). Three-dimensional fabrication at multiple length-scales. Organics, molecular materials. Nanocomposites. Shape-memory systems. Liquid crystal elastomers. Photochromic and thermochromic materials. Relevant physical processes and technologies: polymerization processes, multiphoton processes, nanolithography, material extrusion and jetting, additive nano-manufacturing.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
ACCELERATOR PHYSICS / MACCHINE ACCELERATRICI (217BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
ACCELERATOR PHYSICS S / MACCHINE	6	LM-17	C	Attività	FIS/01

ACCELERATRICI S (107BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni.				formative affini o integrative	
ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND BASED ASTROPHYSICS (0027B)	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND-BASED ASTROPHYSICS: FROM MICROWAVES TO VISIBLE LIGHT (0013B) <b>Obiettivi</b> The course is divided into two parts of 18 hours each, which share the aim of providing knowledge for understanding the principles of design, operation and performance of complex ground instruments for astronomical use. The atmosphere's opacity to electromagnetic radiation allows astronomical observations to be carried out from the Earth in only two windows of the spectrum: the radio band (microwaves) and the optical-infrared band (from ultraviolet to thermal infrared). The two parts of the course therefore refer to the two frequency bands, illustrating for each of them the main technologies implemented in new generation astronomical instruments. In particular, for the radio band, the course will focus on the first stages that constitute the reception chain of radio telescopes, starting from the antenna/array systems up to microwave components and cryogenic receivers. For these components, the course will provide the basic concepts, the possible architectural solutions, the main figures of merit, the analysis and development techniques, the challenges of the future instruments and finally some examples. This part will be concluded with the possibility of visiting a radio astronomy station operated by the National Institute of Astrophysics. Regarding the visible band, the course will deal with optical-infrared telescopes from the ground and in particular the adaptive optics technique, which allows full exploitation of the current large instruments (8-10m) and the generation under construction (25-40 m). The course of adaptive optics will focus on: elements of optics and optical telescopes; components and adaptive systems configuration; main existing systems and under development for the next generation of telescopes. Finally, the students will have the opportunity to visit the adaptive optics laboratories of the INAF headquarters in Florence.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
ANALISI STATISTICA DEI DATI (193BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
ARMI NUCLEARI, DISARMO E PROLIFERAZIONE NUCLEARE (428BB) <b>Obiettivi</b> L'insegnamento si propone di fornire agli studenti competenze sulla struttura e funzionamento delle armi nucleari, sullo stato attuale della loro diffusione, sui trattati che riguardano le armi nucleari e sui rischi che oggi corre l'umanità come conseguenza della presenza di armi nucleari.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
ASTROFISICA GENERALE (368BB)	6	LM-17	B	Astrofisico,	FIS/05

<b>Obiettivi</b> Il corso intende trattare alcuni dei principali problemi dell'astrofisica moderna, illustrando in modo interdisciplinare le differenti tecniche necessarie per affrontare i problemi cosmici.				geofisico e spaziale	
ASTROPARTICLE PHYSICS /ASTROPARTICELLE (192BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S (063BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPHYSICS AND MULTIMESSENGER LABORATORY (0010B) <b>Obiettivi</b> The course will provide the students a laboratory approach to the main aspects of modern observational astrophysics in the multimessenger context. With a series of dedicated experiences, the students will learn how to perform observations and data analysis with telescopes operating across the electromagnetic spectrum from radio to gamma rays and with gravitational wave detectors. At the end of the course the students will be able to: know the main experimental techniques for electromagnetic and gravitational wave detection; access to archives of astrophysical data; perform observations and data reduction; perform data manipulation and analysis of electromagnetic (radio, optical, IR, UV, X-ray and gamma rays) and gravitational wave observations; develop data analysis projects based on state-of-the art tools used in the modern multimessenger astrophysics research.	12	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
BAYESIAN INFERENCE IN ASTRONOMY & ASTROPHYSICS (0014B) <b>Obiettivi</b> The course will present an introduction to the fundamentals of Bayesian probability theory as well as to their applications to astronomical and astrophysical data. At the end of the course, the students will be familiar with: Boolean algebra Product and sum rules and Bayes theorem Maximum entropy principle and applications Numerical integration methods like Markov Chain Monte Carlo and nested sampling Elements of stochastic processes and their application to time and spatial series Inference of point processes Hierarchical models and censored data	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
BIOPHYSICS OF eFLASH THERAPY (0008B) <b>Obiettivi</b> The goal of the course is to introduce the student to the physical and biological problems related to the FLASH effect, an in vivo biological effect in which tissue toxicities, typical of radiotherapy, can be reduced while maintaining the same efficacy on tumor. The following topics will be	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07

covered: i) Mechanisms of biological damage induced by ionizing radiation. ii) Radiobiological modelling iii) Introduction to radiotherapy. iv) FLASH effect: review of in vivo and in vitro experiments and of radiobiological models. v) Radiobiological modelling of the FLASH effect by Monte Carlo and Molecular Dynamics approaches.vi) Experimental methods and techniques for FLASH effect investigation.					
<b>COMPLEX SYSTEMS / SISTEMI COMPLESSI (230BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<b>COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS (360BB)</b> <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso e' l'insegnamento di tecniche di programmazione e di calcolo nel contesto della fisica sperimentale e applicata. Sono previsti due moduli su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, uno incentrato sugli strumenti di base (strumenti di collaborazione, linguaggio python, classi, algoritmi), e uno di approfondimento (calcolo parallelo e machine learning), e un ulteriore modulo (3 CFU) a scelta tra due programmi di approfondimento specifici per High Energy Physics o Medical Image Analys	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<b>COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S (365BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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 parti su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, una incentrata sugli strumenti di base (3 CFU) e una di approfondimento (3 CFU).	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<b>COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO S/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE S (275BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
<b>COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE (274BB)</b> <b>Obiettivi</b>	9	LM-17	C	Attività formative	FIS/02

<p>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.</p>				<p>affini o integrative</p>	
<p>DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE (0009B)  <b>Obiettivi</b>  The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength  The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength  The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength  The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength  The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength</p>	<p>9</p>	<p>LM-17</p>	<p>C</p>	<p>Attività formative affini o integrative</p>	<p>FIS/01</p>

<p>techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength</p>					
<p><b>DOSIMETRY/ DOSIMETRIA (198BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<p><b>ELABORAZIONE DEI SEGNALI PER LA FISICA (189BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p><b>ELETTRONICA E SENSORI (080BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<p><b>ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA</b></p>	3	LM-17	D	A scelta dello	FIS/04

DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (323BB) <b>Obiettivi</b> Presentazione e commento di esperimenti particolarmente significativi nella storia delle particelle elementari dalla seconda metà del 1900.				studente	
EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S (307BB) <b>Obiettivi</b> 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 trattati 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE (306BB) <b>Obiettivi</b> 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 trattati 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	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

astrofisica X, astrofisica gamma, di interferometri gravitazionali.					
<b>FISICA NUCLEARE (206BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<b>FISICA STATISTICA (207BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce un'introduzione alla meccanica statistica di equilibrio, per sistemi classici e quantistici. In particolare si occupa di: - proprietà termodinamiche dei gas di particelle classiche interagenti (equazione di van der Waals, metodi perturbativi ed espansioni in cluster); - transizioni di fase e teoremi di Lee-Yang; - fenomeni critici (teoria di Ginzburg-Landau, cenni sul gruppo di rinormalizzazione e universalità); - statistiche quantistiche e gas quantistici non interagenti (condensazione di Bose-Einstein; proprietà magnetiche dei gas di fermioni liberi); - seconda quantizzazione e sistemi a molti corpi quantistici (gas di Bose debolmente interagenti; sistemi fermionici su reticolo); - transizioni di fase quantistiche (soluzione del modello di Ising quantistico 1D)	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>FISICA TEORICA 1 (213BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>FISICA TEORICA 2 (214BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>FLEXIBLE AND NANO-ELECTRONICS (0004B)</b> <b>Obiettivi</b> The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

<p>electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications.</p>					
<p>FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI (305BB)  <b>Obiettivi</b>  Conoscenza di base quantitativa della fisica delle particelle elementari e delle loro interazioni, dal punto di vista fenomenologico e sperimentale. Capacità di valutare quantitativamente processi ed esperimenti. Conoscenza dello sviluppo temporale e delle principali scoperte.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<p>FUNDAMENTAL INTERACTIONS LABORATORY S (414BB)  <b>Obiettivi</b>  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.</p>	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<p>FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION</p>	9	LM-17	B	Microfisico e	FIS/03

/ FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA (304BB) <b>Obiettivi</b> 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				della struttura della materia	
Fundamental Interactions laboratory (413BB) <b>Obiettivi</b> 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. <b>Moduli</b> MODULO B (2) MODULO A (1)	15   6 9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI (257BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S (256BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
HADRON COLLIDER PHYSICS / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI (201BB) <b>Obiettivi</b> 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 permesso molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle quali la scoperta del bosone intermedio W e Z, del quark top e del bosone di Higgs. Saranno	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04

presentati i principali risultati ottenuti agli collisionatori ISR, SPS collider , Tevatron e LHC insieme a una discussione delle prospettive future. Nella parte finale saranno esaminati in dettaglio alcuni degli articoli che descrivono i risultati scientifici piu' importanti ottenuti a LHC e effettuata una analisi di dati reali raccolti.					
HADRON COLLIDER PHYSICS S / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI S (371BB) <b>Obiettivi</b> 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 permesso molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle quali la scoperta del bosoni intermedi W e Z , quark top e del bosone di Higgs.. Saranno presentati i principali risultati ottenuti agli collisionatori ri ISR, SPS collider, Tevatron e LHC insieme a una discussione delle prospettive future.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS (380BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenta argomenti avanzati nel campo della strumentazione per la fisica delle particelle, con particolare attenzione alle applicazioni in fisica nucleare e delle particelle, ma con esempi anche da altri campi. Gli studenti acquisiranno la conoscenza delle moderne tecnologie dei sensori e relativa elettronica, e di come possono essere organizzati in un sistema di rivelazione. Verranno anche forniti esempi di come la strumentazione avanzata è utilizzata nelle misure di fisica.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
INTRODUCTION TO NEUTRINO PHYSICS / INTRODUZIONE ALLA FISICA DEI NEUTRINI (385BB) <b>Obiettivi</b> Il corso vuole essere una introduzione autoconsistente alla fisica dei neutrini partendo dalle osservazioni sperimentali: decadimento beta e interazioni con la materia, che hanno determinato l'esistenza dei tre tipi di neutrini. Neutrini dal decadimento beta. Evidenza sperimentale di tre tipi di neutrini. Elicita' dei neutrini. Sezioni d'urto di interazione di neutrini: di corrente carica e neutra. Fenomenologia delle oscillazioni di neutrini con esperimenti con acceleratori, reattori nucleari e con neutrini solari e atmosferici per la determinazione dei parametri dell'oscillazione. Matrice PNMS e differenze dei quadrati delle masse dei neutrini. Misura diretta delle masse dei tre tipi di neutrini. Neutrini da supernova e importanza dei neutrini anche in astrofisica e cosmologia.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE (185BB) <b>Obiettivi</b> ornire conoscenza sulle metodologie statistiche avanzate per la simulazione montecarlo impiegate sia nella progettazione che nella comprensione delle risposte di complessi apparati sperimentali.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
METODI NUMERICI PER LA FISICA (326BB) <b>Obiettivi</b> Il corso e` 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	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

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.					
<b>METODI NUMERICI PER LA FISICA S (374BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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 2 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.	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<b>MULTIMESSENGER AND HIGH-ENERGY ASTROPHYSICS (0011B)</b> <b>Obiettivi</b> The course will focus on the main sources of interest in the field of multimessenger and high-energy astrophysics, with particular attention to the processes responsible for the emission of high-energy electromagnetic radiation, neutrinos and gravitational waves and discussing also the most recent results from Galactic and extragalactic multimessenger observations At the end of the course the students will be able to: Know the main emission processes of high-energy electromagnetic radiation, gravitational waves and neutrinos; Know the current observational and theoretical scenarios in multimessenger astrophysics; Know the main detecting techniques used today in multimessenger astrophysics; Know the properties of the Sun as an high-energy and multimessenger source; Know the high-energy emission properties of novae and supernovae; Properties of Galactic multimessenger sources: pulsars, supernova remnants and high-mass and low-mass binary systems; Know the main properties and characteristic emission of extragalactic sources and their progenitors: Active Galactic Nuclei, Gamma-Ray Burst and Compact Binary Coalescences;	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
<b>MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY (327BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

physics; -develop an analysis project based on Python and on the specific tools required for the analysis.					
<p>PARTICLE DARK MATTER (427BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Lo scopo del corso è di introdurre il problema della materia oscura, la sua ricerca diretta, e la ricerca agli acceleratori di particelle. Verranno discusse le motivazioni che hanno portato all'introduzione dell'ipotesi dell'esistenza di una materia non barionica e i principali modelli di estensione del modello standard. Si discuteranno le tecniche sperimentali di rivelazione diretta a massa bassa e intermedia. Si presenteranno le ricerche di particelle candidate di materia oscura agli acceleratori di particelle. Verranno passati in rassegna gli esperimenti in corso e le direzioni sperimentali future.</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/01
<p>PARTICLE PHYSICS / FISICA DELLE PARTICELLE (302BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<p>PARTICLE PHYSICS S / FISICA DELLE PARTICELLE S (373BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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.</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
<p>QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES (376BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Computazione quantistica: basi della computazione quantistica, della manipolazione dei qubit e dei principali algoritmi (Deutsch, Grover, Shor); programmazione quantistica usando il linguaggio Microsoft e IBM          Simulazione quantistica: concetti di base, realizzazione fisica su diverse piattaforme          Comunicazione quantistica: principali protocolli di quantum key exchange; analisi di sicurezza dei protocolli          Metrologia quantistica: principi di base, implementazione con NV centres e atomi freddi.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>QUANTUM MACHINE LEARNING (0019B)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>We believe that quantum machine learning will play a crucial role in reducing the computational complexity of machine learning algorithms, making it possible to address problems classically unmanageable. In the course, we will give the students machine-learning skills and show how to reformulate all suitable algorithms in the corresponding quantum version. The students will be challenged to apply the learned concepts, methodologies, and techniques in realizing a working version of one of the algorithms</p>	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

presented in the course to a real problem, and running it on an actual quantum device.					
<p>QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS (0007B)</p> <p><b>Obiettivi</b> Quantum technologies exploit the capability to control quantum properties of matter to devise sensors with unprecedented performance, that allow us to perform otherwise unattainable measurements in terms of sensitivity and resolution. The course focuses on quantum sensing and describes emerging technologies that exploit quantum aspects of the matter. In particular, it will focus on superconducting devices (SQUIDS, TESs, KIDs, Qubits, parametric amplifiers, etc.) and semiconductor devices with low dimensionality with applications to fundamental interaction physics such as dark matter search, axions and Majorana's neutrino, neutrino coherent scattering, high-frequency gravitational waves and other. Some real experiments using cryogenic quantum sensors will be discussed, delving into the experimental and scientific aspects that defined their conception.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO (227BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> 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.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<p>REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO S (377BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> 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.</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
<p>RECENT HIGHLIGHTS IN FUNDAMENTAL INTERACTIONS (378BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> Corso monografico per presentare e discutere i più recenti risultati in un settore - variabile di anno in anno - delle interazioni fondamentali. Il corso inizierà con lezioni introduttive, seguite da seminari, letture di articoli, sessioni di discussione con particolare riferimento alle prospettive future.</p>	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
<p>RELATIVITA' GENERALE (228BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> Descrizione geometrica dello spazio e del tempo in presenza di gravi fornita dalla teoria della relatività 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.</p>	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<p>SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS (338BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> Lo studente apprenderà le basi della elaborazione numerica dei segnali ed alcune applicazioni alla fisica. Caratteristiche dei segnali di interesse fisico. Trasformate di Fourier discrete</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

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.					
<b>SIMMETRIE DISCRETE (308BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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 leptonic 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
<b>SOLID STATE PHYSICS / FISICA DELLO STATO SOLIDO (204BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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. Proprieta' ottiche di semiconduttori e isolanti. Aspetti fondamentali della fisica dei semiconduttori.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<b>TEORIE DI CAMPO STATISTICHE (0017B)</b> <b>Obiettivi</b> E' un corso avanzato sulle teorie di campo statistiche, che vengono generalmente definite attraverso un approccio funzionale, analogo a quello delle teorie di campo quantistiche. Viene introdotto, e approfondito, il framework del gruppo di rinormalizzazione alla Wilson, che rappresenta uno dei paradigmi fondamentali per lo studio dei fenomeni critici (generalmente osservati alle transizioni di fase classiche e quantistiche) e per estendere la definizione delle teorie di campo quantistiche interagenti ai regimi non perturbativi. Il corso affronta questioni connesse con la descrizione dei comportamenti dei sistemi statistici a molti corpi all'equilibrio, e della loro dinamica all'equilibrio e fuori equilibrio. Viene infine discusso un approccio non perturbativo molto utilizzato nell'ambito delle teorie di campo fortemente interagenti, che consiste nello sviluppo rispetto all'inverso del numero di componenti del campo fondamentale (espansione a grandi N).	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>TEORIE DI CAMPO STATISTICHE S (0018B)</b> <b>Obiettivi</b> E' un corso avanzato sulle teorie di campo statistiche, che vengono generalmente definite attraverso un approccio funzionale, analogo a quello delle teorie di campo quantistiche. Viene introdotto, e approfondito, il framework del gruppo di rinormalizzazione alla Wilson, che rappresenta uno dei paradigmi fondamentali per lo studio dei fenomeni critici (generalmente osservati alle transizioni di fase classiche e quantistiche) e per estendere la definizione delle teorie di campo quantistiche interagenti ai regimi non perturbativi. Il corso affronta questioni connesse con la descrizione dei comportamenti dei sistemi statistici a molti corpi all'equilibrio, e della loro dinamica all'equilibrio e fuori equilibrio.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>THEORY OF NUCLEAR INTERACTION (0015B)</b> <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare.	9	LM-17	C	Attività formative	FIS/02

L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni. Metodi numerici con relative esercitazioni.				affini o integrative	
THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S (0016B) <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

## 2° Anno (anno accademico 2025/2026)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
3D AND 4D NANOMATERIALS AND DEVICES (0005B) <b>Obiettivi</b> Main topics and knowledge targeted: Physical principles and experimental methods for realizing and characterizing intelligent materials. Stimuli-responsive properties (structure, optical, transport). Three-dimensional fabrication at multiple length-scales. Organics, molecular materials. Nanocomposites. Shape-memory systems. Liquid crystal elastomers. Photochromic and thermochromic materials. Relevant physical processes and technologies: polymerization processes, multiphoton processes, nanolithography, material extrusion and jetting, additive nano-manufacturing.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
ACCELERATOR PHYSICS S / MACCHINE ACCELERATRICI S (107BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
ACCELERATORI LASER-PLASMA (357BB) <b>Obiettivi</b> 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 agli 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),	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

quindi di potenziale utilizzo in acceleratori "in cascata" o in sorgenti di radiazione X coerente (Free Electron Laser).					
ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND BASED ASTROPHYSICS (0027B)	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND-BASED ASTROPHYSICS: FROM MICROWAVES TO VISIBLE LIGHT (0013B) <b>Obiettivi</b> The course is divided into two parts of 18 hours each, which share the aim of providing knowledge for understanding the principles of design, operation and performance of complex ground instruments for astronomical use. The atmosphere's opacity to electromagnetic radiation allows astronomical observations to be carried out from the Earth in only two windows of the spectrum: the radio band (microwaves) and the optical-infrared band (from ultraviolet to thermal infrared). The two parts of the course therefore refer to the two frequency bands, illustrating for each of them the main technologies implemented in new generation astronomical instruments. In particular, for the radio band, the course will focus on the first stages that constitute the reception chain of radio telescopes, starting from the antenna/array systems up to microwave components and cryogenic receivers. For these components, the course will provide the basic concepts, the possible architectural solutions, the main figures of merit, the analysis and development techniques, the challenges of the future instruments and finally some examples. This part will be concluded with the possibility of visiting a radio astronomy station operated by the National Institute of Astrophysics. Regarding the visible band, the course will deal with optical-infrared telescopes from the ground and in particular the adaptive optics technique, which allows full exploitation of the current large instruments (8-10m) and the generation under construction (25-40 m). The course of adaptive optics will focus on: elements of optics and optical telescopes; components and adaptive systems configuration; main existing systems and under development for the next generation of telescopes. Finally, the students will have the opportunity to visit the adaptive optics laboratories of the INAF headquarters in Florence.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
ASTROFISICA GENERALE (368BB) <b>Obiettivi</b> Il corso intende trattare alcuni dei principali problemi dell'astrofisica moderna, illustrando in modo interdisciplinare le differenti tecniche necessarie per affrontare i problemi cosmici.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS /ASTROPARTICELLE (192BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S (063BB) <b>Obiettivi</b> Il modello cosmologico standard. Evoluzione dell'universo	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05

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					
ASTROPHYSICAL BLACK HOLES/ BUCHI NERI ASTROFISICI (359BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI (226BB) <b>Obiettivi</b> La fisica dell'astrofisica e le basi di osservazioni. Equilibrio statistico, processi radiativi (atomi, molecole, 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.	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPHYSICS AND MULTIMESSENGER LABORATORY (0010B) <b>Obiettivi</b> The course will provide the students a laboratory approach to the main aspects of modern observational astrophysics in the multimessenger context. With a series of dedicated experiences, the students will learn how to perform observations and data analysis with telescopes operating across the electromagnetic spectrum from radio to gamma rays and with gravitational wave detectors. At the end of the course the students will be able to: know the main experimental techniques for electromagnetic and gravitational wave detection; access to archives of astrophysical data; perform observations and data reduction; perform data manipulation and analysis of electromagnetic (radio, optical, IR, UV, X-ray and gamma rays) and gravitational wave observations; develop data analysis projects based on state-of-the-art tools used in the modern multimessenger astrophysics research.	12	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
ATOM OPTICS/ OTTICA ATOMICA (221BB) <b>Obiettivi</b> Interazione della luce con un sistema quantistico. Raffreddamento laser. Le interazioni a due corpi tra atomi	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

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.					
BAYESIAN INFERENCE IN ASTRONOMY & ASTROPHYSICS (0014B) <b>Obiettivi</b> The course will present an introduction to the fundamentals of Bayesian probability theory as well as to their applications to astronomical and astrophysical data. At the end of the course, the students will be familiar with: Boolean algebra Product and sum rules and Bayes theorem Maximum entropy principle and applications Numerical integration methods like Markov Chain Monte Carlo and nested sampling Elements of stochastic processes and their application to time and spatial series Inference of point processes Hierarchical models and censored data	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
BIOFISICA (196BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S (091BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE (278BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COMPLEX SYSTEMS - NEURAL DYNAMICS / SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI (279BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce alcuni metodi matematici utilizzati per lo studio dei sistemi neurali	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
COMPLEX SYSTEMS / SISTEMI COMPLESSI (230BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S (365BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso è 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,	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

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 parti su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, una incentrata sugli strumenti di base (3 CFU) e una di approfondimento (3 CFU).					
CONDENSED MATTER PHYSICS (370BB) <b>Obiettivi</b> 9 CFU (6 CFU + 1 moduli da 3 CFU, lo studente ne sceglie uno tra due offerti) Modulo da 6 CFU Introduction to the theory of electron liquids, Linear response theory, Many-body diagrammatic perturbation theory, Landau theory of Fermi liquids Modulo A da 3 CFU Quantum theory of transport and the role of electron-electron interactions, Semiclassical and quantum theories of electron transport, The fractional quantum Hall effect Modulo B da 3 CFU Superconductivity, Quantum matter without quasiparticles	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO S/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE S (275BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE (274BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
CROMODINAMICA QUANTISTICA (197BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE (0009B) <b>Obiettivi</b> The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01



use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength					
DISORDERED SYSTEMS OUT OF EQUILIBRIUM / SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO (309BB) <b>Obiettivi</b> Il Corso intende fornire conoscenze di base in: • Descrizione ed interpretazione del disordine in liquidi, colloidali, 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
DOSIMETRY/ DOSIMETRIA (198BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
ELABORAZIONE DEI SEGNALI PER LA FISICA (189BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
ELEMENTS OF PHYSIOLOGY, PHYSIOPATHOLOGY AND DIAGNOSTICS / ELEMENTI DI FISILOGIA, FISIOPATOLOGIA E DIAGNOSTICA (478EE) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	D	A scelta dello studente	BIO/09
ELETTRONICA E SENSORI (080BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (323BB)	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04

<p><b>Obiettivi</b> Presentazione e commento di esperimenti particolarmente significativi nella storia delle particelle elementari dalla seconda metà del 1900.</p>					
<p>EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI (170BB) <b>Obiettivi</b> Dynamics of planetary systems: few body problems, tidal interactions, resonance and chaos, effects of binarity, effects of stars in a cluster environment (fly-by effects). 2. Planetary interiors: geophysics of Jovian and Terrestrial planets, plate tectonics and subsolidus convection, magnetic field generation, phase and chemical stratification; Kuiper Belt objects, icy bodies, and planetinos. 3. Planetary atmospheres and radiative transfer, stability of climate, feedback mechanisms. 4. Sun-planet connections: stellar winds, magnetospheres. 5. Stellar and planetary system formation: stability of pre-solar accretion disks, T Tau stars and protostars, UX Ori stars, debris disks and their evolution, asteroids and planetesimals. 6. Exoplanetary searches: transits, proper motion, radial velocities, high contrast direct imaging.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S (307BB) <b>Obiettivi</b> 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 integrazione in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattati 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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE (306BB) <b>Obiettivi</b> 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</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

loro integrazione in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattati 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 e' 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.					
EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY / ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA (369BB) <b>Obiettivi</b> Cosmologia osservativa; formazione delle strutture dal fondo cosmico a microonde alle galassie odierne; evoluzione dinamica e chimica delle galassie e delle loro componenti (stelle, mezzo interstellare, materia oscura)	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI (084BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
FISICA DEI MATERIALI IN BASSA DIMENSIONALITÀ (352BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
FISICA DEL PLASMA SPERIMENTALE (088BB)	6	LM-17	C	Attività	FIS/01

<b>Obiettivi</b> 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.				formative affini o integrative	
<b>FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE (092BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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 alcune fra le più importanti tecniche e metodi di analisi superficiale. Si promuove lo sviluppo di spirito critico e di sintesi volta a individuare i concetti fondamentali alla base delle materie di studio. Si promuove l'approfondimento autonomo da parte degli studenti degli argomenti trattati.	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>FISICA NUCLEARE (206BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<b>FISICA STATISTICA (207BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce un'introduzione alla meccanica statistica di equilibrio, per sistemi classici e quantistici. In particolare si occupa di: - proprietà termodinamiche dei gas di particelle classiche interagenti (equazione di van der Waals, metodi perturbativi ed espansioni in cluster); - transizioni di fase e teoremi di Lee-Yang; - fenomeni critici (teoria di Ginzburg-Landau, cenni sul gruppo di rinormalizzazione e universalità); - statistiche quantistiche e gas quantistici non interagenti (condensazione di Bose-Einstein; proprietà magnetiche dei gas di fermioni liberi); - seconda quantizzazione e sistemi a molti corpi quantistici (gas di Bose debolmente interagenti; sistemi fermionici su reticolo); - transizioni di fase quantistiche (soluzione del modello di Ising quantistico 1D)	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>FISICA TEORICA 1 (213BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>FISICA TEORICA 2 (214BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>FLEXIBLE AND NANO-ELECTRONICS (0004B)</b> <b>Obiettivi</b> The course will deal with the physics and applications of	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

<p>nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications.</p>					
<p>FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI (305BB)</p>	<p>9</p>	<p>LM-17</p>	<p>B</p>	<p>Microfisico e della struttura</p>	<p>FIS/04</p>

<b>Obiettivi</b> Conoscenza di base quantitativa della fisica delle particelle elementari e delle loro interazioni, dal punto di vista fenomenologico e sperimentale. Capacità di valutare quantitativamente processi ed esperimenti. Conoscenza dello sviluppo temporale e delle principali scoperte.				della materia	
FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA (304BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI (257BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S (256BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
HADRON COLLIDER PHYSICS / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI (201BB) <b>Obiettivi</b> 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 permesso molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle quali la scoperta dei bosoni intermedi W e Z, del quark top e del bosone di Higgs. Saranno presentati i principali risultati ottenuti agli collisionatori ISR, SPS collider, Tevatron e LHC insieme a una discussione	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04

delle prospettive future. Nella parte finale saranno esaminati in dettaglio alcuni degli articoli che descrivono i risultati scientifici piu' importanti ottenuti a LHC e effettuata una analisi di dati reali raccolti.					
HADRON COLLIDER PHYSICS S / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI S (371BB) <b>Obiettivi</b> 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 permesso molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle quali la scoperta del bosoni intermedi W e Z , quark top e del bosone di Higgs.. Saranno presentati i principali risultati ottenuti agli collisionatori ri ISR, SPS collider, Tevatron e LHC insieme a una discussione delle prospettive future.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITÀ (364BB) <b>Obiettivi</b> 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 verra' ricavato a partire dal teorema di Cox. Verranno quindi introdotti i fondamenti di stima dei parametri e test di ipotesi nel contesto Bayesiano. Verra' 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 presentera' esempi pratici di algoritmi rilevanti, markov chain monte carlo e nested sampling, per la soluzione di problemi di inferenza.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/05
KINETIC THEORY OF PLASMAS/PLASMI TEORIA CINETICA (355BB) <b>Obiettivi</b> Equazione di Vlasov. Soluzioni stazionarie. Onde in teoria Vlasov. Smorzamento di Landau. Intrappolamento di particelle. Instabilità risonanti. L'eq. di Vlasov in plasm magnetizzati. Verso la MHD: onde di Alfvén. L'equazione di Ohm generalizzata. Onde di plasma di grande ampiezza. Trasporto anomalo nei plasm di fusione.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
LASER A STATO SOLIDO (190BB) <b>Obiettivi</b> 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.	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (212ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello	NN

				studente	
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (717ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE (185BB) <b>Obiettivi</b> ornire conoscenza sulle metodologie statistiche avanzate per la simulazione montecarlo impiegate sia nella progettazione che nella comprensione delle risposte di complessi apparati sperimentali.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
METODI NUMERICI PER LA FISICA S (374BB) <b>Obiettivi</b> Il corso e` 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 affrontera` una particolare tecnica numerica attualmente in utilizzo nella ricerca in fisica e le sue applicazioni piu` rilevanti. Nella parte introduttiva verranno ricapitolati alcuni argomenti di analisi numerica di base, necessari per poter proficuamente affrontare i moduli specifici. Lo studente dovra` scegliere 2 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.	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
MULTIMESSENGER AND HIGH-ENERGY ASTROPHYSICS (0011B) <b>Obiettivi</b> The course will focus on the main sources of interest in the field of multimessenger and high-energy astrophysics, with particular attention to the processes responsible for the emission of high-energy electromagnetic radiation, neutrinos and gravitational waves and discussing also the most recent results from Galactic and extragalactic multimessenger observations At the end of the course the students will be able to: Know the main emission processes of high-energy electromagnetic radiation, gravitational waves and neutrinos; Know the current observational and theoretical scenarios in multimessenger astrophysics; Know the main detecting techniques used today in multimessenger astrophysics; Know the properties of the Sun as an high-energy and multimessenger source; Know the high-energy emission properties of novae and supernovae; Properties of Galactic multimessenger sources: pulsars, supernova remnants and high-mass and low-mass binary systems; Know the main properties and characteristic emission of extragalactic sources and their progenitors: Active Galactic Nuclei, Gamma-Ray Burst and Compact Binary Coalescences;	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
NONLINEAR DYNAMICS / DINAMICA NON LINEARE (322BB) <b>Obiettivi</b> Gli obiettivi principali di questo corso sono quelli di promuovere l'acquisizione di competenze teoriche, sia di base che avanzate, per lo studio di sistemi dinamici nonlineari per i quali l'evoluzione temporale dei corrispondenti stati è determinata da leggi esclusivamente deterministiche. Questi sistemi dinamici (anche semplici) possono sviluppare comportamenti molto complessi, come	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

ad esempio il caos deterministico. Pertanto, un'importante finalità del corso è quella di formare gli studenti in modo che siano in grado di utilizzare i principali approcci formali per lo studio e la caratterizzazione dinamica di sistemi nonlineari. Infine, per concretizzare l'applicazione dei principali approcci e metodi analitici del corso ad esempi concreti, una particolare attenzione verrà dedicata allo svolgimento di esercizi (in aula e per casa).					
NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE (358BB) <b>Obiettivi</b> Vengono presentati alcuni approcci non perturbativi allo studio delle teorie di campo quantistiche nel contesto delle interazioni fondamentali, della fisica statistica e della materia condensata. Il corso è diviso in tre parti, fra di loro interconnesse per vari aspetti ma ciascuna di per se autoconsistente e corrispondente ad un carico didattico di circa 3 CFU. Nella prima parte viene trattata la teoria del gruppo di rinormalizzazione e le tecniche di sviluppo di grande N; la seconda parte è dedicata alla formulazione e allo studio delle teorie di campo su reticolo; la terza parte è dedicata alle anomalie nelle teorie quantistiche di campo e allo studio delle teorie di campo conformi.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE / RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE (124BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA (375BB) <b>Obiettivi</b> Il corso tratta argomenti rilevanti per lo studio della dinamica dei fenomeni oceanici, privilegiando le tematiche di carattere generale piuttosto che le questioni specifiche della circolazione locale. Sarà perciò introdotto il concetto di sistema complesso e le grandezze oceanografiche saranno considerate come caratteristiche emergenti, a larga scala, di specifici sistemi complessi (caotici e/o turbolenti). Dopo l'introduzione dei concetti generali sarà affrontato in particolare lo studio di alcuni importanti fenomeni oceanici, come le grandi correnti termoaline (per esempio, la Corrente del Golfo), il Nino/La Nina o la North Atlantic Oscillation.	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
PARTICLE DARK MATTER (427BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso è di introdurre il problema della materia oscura, la sua ricerca diretta, e la ricerca agli acceleratori di particelle. Verranno discusse le motivazioni che hanno portato all'introduzione dell'ipotesi dell'esistenza di una materia non barionica e i principali modelli di estensione del modello standard. Si discuteranno le tecniche sperimentali di rivelazione diretta a massa bassa e intermedia. Si presenteranno le ricerche di particelle candidate di materia oscura agli acceleratori di particelle. Verranno passati in rassegna gli esperimenti in corso e le direzioni sperimentali future.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/01
PARTICLE PHYSICS / FISICA DELLE PARTICELLE (302BB) <b>Obiettivi</b>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04

<p>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.</p>					
<p>PARTICLE PHYSICS S / FISICA DELLE PARTICELLE S (373BB)  <b>Obiettivi</b>  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.</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
<p>PHYSICS FOR CULTURAL HERITAGE / FISICA APPLICATA AI BENI CULTURALI (418BB)  <b>Obiettivi</b>  L'insegnamento si prefigge di fornire un quadro ampio delle problematiche relative ai campi di indagine propri della fisica applicata ai beni culturali, trattando anche alcuni aspetti di base della conservazione, del restauro e dell'informatica. In tal modo gli studenti potranno avere una conoscenza, competenza e capacità di valutare gli ambiti ed i limiti di applicabilità delle specifiche metodologie (metodiche e tecniche fisiche, chimiche, mineralogico-petrografiche, naturalistiche e informatiche innovative necessarie allo studio e alla conservazione dei Beni culturali). Attraverso l'illustrazione di diversi casi studio, l'insegnamento intende inoltre fornire agli studenti alcuni esempi di linee di ricerca nel campo della diagnostica dei Beni culturali, dei metodi di datazione e provenienza, nonché della caratterizzazione dei materiali utilizzati nel settore dei Beni culturali.</p>	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/07
<p>PHYSICS OF COSMIC DIFFUSE MEDIA / FISICA DEL MEZZO DIFFUSO COSMICO (324BB)  <b>Obiettivi</b>  Photoionization and photodissociation regions Radiative processes and nebular diagnostics Neutral hydrogen: Lyman series absorption, resonance lines Molecular emission 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</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
<p>PHYSICS OF PHOTONIC DEVICES/ FISICA DEI DISPOSITIVI FOTONICI (203BB)  <b>Obiettivi</b>  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. Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico. Saranno inoltre affrontate i seguenti argomenti: "Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico."					
<b>PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI (353BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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, non linearità e non località 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 Dinamica non lineare: 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	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
<b>PLASMI A (223BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<b>PROVA FINALE (125ZW)</b>  <b>Moduli</b> PROVA FINALE (1) ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO (2)	45  44 1	LM-17	E	Per la prova finale	NN, PROFIN_S
<b>QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES (376BB)</b> <b>Obiettivi</b> Computazione quantistica: basi della computazione quantistica, della manipolazione dei qubit e dei principali algoritmi (Deutsch, Grover, Shor); programmazione quantistica usando il linguaggio Microsoft e IBM Simulazione quantistica: concetti di base, realizzazione fisica su diverse piattaforme Comunicazione quantistica: principali	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

protocolli di quantum key exchange; analisi di sicurezza dei protocolli Metrologia quantistica: principi di base, implementazione con NV centres e atomi freddi .					
<p>QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY (328BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<p>QUANTUM LIQUIDS (382BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Al termine dell'insegnamento, la/lo studente avrà sviluppato le conoscenze concettuali, procedurali e fattuali nella fisica dei liquidi quantistici all'equilibrio (modulo da 6 CFU) e dei sistemi quantistici aperti driven-dissipative (modulo da 3 CFU), e loro ingegnerizzazione come simulatori quantistici in piattaforme attuali di tecnologie quantistiche. In particolare: (a) Metodi teorici avanzati per predire e caratterizzare la fisica di liquidi quantistici all'equilibrio, loro relazione con metodi di simulazione quantistica, e classificazione per funzionalità e tipologie di problemi. Tra i metodi: risposta lineare, idrodinamica quantistica, funzionale di densità e di corrente, funzioni di Green e metodi non perturbativi, bosonizzazione. (b) Metodi teorici e numerici per sistemi quantistici fuori dall'equilibrio e driven-dissipative: sistemi Markoviani e non Markoviani, dissipation engineering, simulazione quantistica con metodi stocastici e tensor networks, misura e feedback, e applicazioni a tecnologie quantistiche, chimica e biologia quantistiche. (c) Principi di funzionamento delle principali piattaforme di tecnologie quantistiche: atomi, atomi dipolari e di Rydberg, ioni ultrafreddi, atomi in cavità QED; circuiti a superconduttore; fluidi di luce in cavità ottiche; sistemi a bassa dimensionalità. Loro uso come simulatori quantistici per materia condensata, fisica fondamentale, metrologia quantistica, gravità analoga, e cosmologia. Obiettivi formativi Riconoscere l'emergere delle proprietà macroscopiche nella complessità dei modelli microscopici che descrivono i liquidi quantistici all'equilibrio e driven-dissipative. Formalizzare i concetti e imparare ad affrontarli con i metodi sviluppati. Collegare la conoscenza concettuale e la formalizzazione con la fenomenologia e le applicazioni. Organizzare la conoscenza disciplinare in una mappa concettuale che include campi come termodinamica, meccanica statistica e transizioni di fase, teorie di campo. Valutare criticamente articoli di ricerca specializzati. Progettare descrizioni teoriche per il comportamento dei liquidi quantici in diverse piattaforme sperimentali. Comunicare in modo efficace ed efficiente. Lavorare con autonomia, consapevolezza e capacità di autovalutazione. Sviluppare capacità di lavoro di squadra.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>QUANTUM MACHINE LEARNING (0019B)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>We believe that quantum machine learning will play a crucial role in reducing the computational complexity of machine learning algorithms, making it possible to address</p>	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

problems classically unmanageable. In the course, we will give the students machine-learning skills and show how to reformulate all suitable algorithms in the corresponding quantum version. The students will be challenged to apply the learned concepts, methodologies, and techniques in realizing a working version of one of the algorithms presented in the course to a real problem, and running it on an actual quantum device.					
<p>QUANTUM OPTICS AND PLASMA PHYSICS / OTTICA QUANTISTICA E PLASMI (354BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> Competenze in Ottica Fisica, Ottica Quantistica, Applicazioni dei LASERS, Accelerazione LASER-Plasma di particelle e sorgenti secondarie di radiazione X e gamma</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS (0007B)</p> <p><b>Obiettivi</b> Quantum technologies exploit the capability to control quantum properties of matter to devise sensors with unprecedented performance, that allow us to perform otherwise unattainable measurements in terms of sensitivity and resolution. The course focuses on quantum sensing and describes emerging technologies that exploit quantum aspects of the matter. In particular, it will focus on superconducting devices (SQUIDS, TESs, KIDs, Qubits, parametric amplifiers, etc.) and semiconductor devices with low dimensionality with applications to fundamental interaction physics such as dark matter search, axions and Majorana's neutrino, neutrino coherent scattering, high-frequency gravitational waves and other. Some real experiments using cryogenic quantum sensors will be discussed, delving into the experimental and scientific aspects that defined their conception.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO (227BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> 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.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<p>REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO S (377BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> 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.</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
<p>RECENT HIGHLIGHTS IN FUNDAMENTAL INTERACTIONS (378BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> Corso monografico per presentare e discutere i più recenti risultati in un settore - variabile di anno in anno - delle interazioni fondamentali. Il corso inizierà con lezioni introduttive, seguite da seminari, letture di articoli, sessioni di discussione con particolare riferimento alle prospettive future.</p>	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04

RELATIVITA' GENERALE (228BB) <b>Obiettivi</b> Descrizione geometrica dello spazio e del tempo 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamentali della fisica	FIS/02
SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS (338BB) <b>Obiettivi</b> Lo studente apprenderà le basi della elaborazione numerica dei segnali ed alcune applicazioni alla fisica. 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
SIMMETRIE DISCRETE (308BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
SOLID STATE PHYSICS / FISICA DELLO STATO SOLIDO (204BB) <b>Obiettivi</b> 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. Proprieta' ottiche di semiconduttori e isolanti. Aspetti fondamentali della fisica dei semiconduttori.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA (043BB) <b>Obiettivi</b> 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.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
STELLAR PHYSICS S (098BB) <b>Obiettivi</b> Analisi delle basi fisiche del funzionamento delle strutture stellari e descrizione delle caratteristiche delle stelle durante le diverse fasi evolutive. Syllabus: Introduzione generale sulle caratteristiche delle stelle nella Via Lattea e nel Gruppo Locale. Condizioni di equilibrio per le strutture stellari. Meccanismi fisici in gioco nelle strutture stellari: equazione di stato della materia stellare, produzione di energia nucleare, catture neutroniche, meccanismi di interazione fotone-materia, trasporto di energia (radiativo, convettivo e conduttivo), nucleosintesi stellare. Equazioni di struttura stellare. Formazione stellare ed evoluzione iniziale. Fasi di combustione di H centrale ed in shell. Il modello solare. Fasi di combustione di elio. Fasi evolutive avanzate.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
STELLAR PHYSICS/ FISICA STELLARE (211BB) <b>Obiettivi</b> Analisi delle basi fisiche del funzionamento delle strutture stellari e descrizione delle caratteristiche delle stelle durante	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05

le fasi evolutive. Si interpreteranno le caratteristiche degli ammassi stellari nel quadro dell'evoluzione della Galassia					
TEORIA DEI GRUPPI (286BB) <b>Obiettivi</b> Acquisire i concetti base e l'utilizzo della teoria dei gruppi in fisica: assiomi dei gruppi, gruppi finiti e infiniti, gruppi discreti e continui. Gruppi e algebre di Lie. Teoria delle rappresentazione. Gruppi familiari in fisica: SU(2), SU(3), SO(3), SO(4), Gruppo di Lorentz e di Poincare'. Teoria delle radici e pesi in algebre semi-semplici. Alcuni applicazioni in meccanica quantistica.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI (277BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI A (137BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
TEORIE DELLA GRAVITAZIONE (251BB) <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S (140BB) <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIE DI CAMPO STATISTICHE (0017B) <b>Obiettivi</b> E' un corso avanzato sulle teorie di campo statistiche, che vengono generalmente definite attraverso un approccio	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

funzionale, analogo a quello delle teorie di campo quantistiche. Viene introdotto, e approfondito, il framework del gruppo di rinormalizzazione alla Wilson, che rappresenta uno dei paradigmi fondamentali per lo studio dei fenomeni critici (generalmente osservati alle transizioni di fase classiche e quantistiche) e per estendere la definizione delle teorie di campo quantistiche interagenti ai regimi non perturbativi. Il corso affronta questioni connesse con la descrizione dei comportamenti dei sistemi statistici a molti corpi all'equilibrio, e della loro dinamica all'equilibrio e fuori equilibrio. Viene infine discusso un approccio non perturbativo molto utilizzato nell'ambito delle teorie di campo fortemente interagenti, che consiste nello sviluppo rispetto all'inverso del numero di componenti del campo fondamentale (espansione a grandi N).					
<b>TEORIE DI CAMPO STATISTICHE S (0018B)</b> <b>Obiettivi</b> E' un corso avanzato sulle teorie di campo statistiche, che vengono generalmente definite attraverso un approccio funzionale, analogo a quello delle teorie di campo quantistiche. Viene introdotto, e approfondito, il framework del gruppo di rinormalizzazione alla Wilson, che rappresenta uno dei paradigmi fondamentali per lo studio dei fenomeni critici (generalmente osservati alle transizioni di fase classiche e quantistiche) e per estendere la definizione delle teorie di campo quantistiche interagenti ai regimi non perturbativi. Il corso affronta questioni connesse con la descrizione dei comportamenti dei sistemi statistici a molti corpi all'equilibrio, e della loro dinamica all'equilibrio e fuori equilibrio.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>THEORY OF NUCLEAR INTERACTION (0015B)</b> <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni. Metodi numerici con relative esercitazioni.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S (0016B)</b> <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY (187BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

**Anno di corso non specificato**

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
<b>INFORMATICA CON LABORATORIO (0033A)</b> <b>Obiettivi</b> Introdurre algoritmi (base) e strutture dati per risolvere problemi efficienti in tempo e/o spazio. Saranno trattate anche tecniche per valutare la complessità degli algoritmi e dei problemi. Infine, queste tecniche saranno sperimentate mediante implementazione nel linguaggio C++ e altre esperienze di laboratorio. Sviluppare capacità di base sull'utilizzo di strutture dati, e sulla comprensione e lo sviluppo di algoritmi efficienti in tempo e/o spazio.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	INF/01
<b>MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY / SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI (384BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<b>SPECTROSCOPY AND MICROSCOPY OF NANOMATERIALS / SPETTROSCOPIA E MICROSCOPIA DEI NANOMATERIALI (383BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

## Percorso di Studio: FISICA DELLA MATERIA (9)

CFU totali: 918, di cui 60 derivanti da AF obbligatorie e 858 da AF a scelta

**Sede Didattica**

Università di Pisa

### 1° Anno (anno accademico 2024/2025)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
<b>3D AND 4D NANOMATERIALS AND DEVICES (0005B)</b> <b>Obiettivi</b> Main topics and knowledge targeted: Physical principles and experimental methods for realizing and characterizing intelligent materials. Stimuli-responsive properties (structure, optical, transport). Three-dimensional fabrication at multiple length-scales. Organics, molecular materials. Nanocomposites. Shape-memory systems. Liquid crystal elastomers. Photochromic and thermochromic materials. Relevant physical processes and technologies: polymerization processes, multiphoton processes, nanolithography, material extrusion and jetting, additive nano-manufacturing.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

ANALISI STATISTICA DEI DATI (193BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI (226BB) <b>Obiettivi</b> La fisica dell'astrofisica e le base di osservazioni. Equilibrio statistico, processi radiativi (atomi, molecoli, processi continui termici e non), trasporto radiativo e formazione degli spettri. Idrodinamica: equazioni di moto, vorticit�, viscosit�, autosimilarit�, instabilit�, turbolenza. Applicazioni in astrofisica, e.g. venti, supernovae/novae, regioni H II, convezione, dischi d'accrescimento.	9	LM-17	C	Attivit� formative affini o integrative	FIS/05
ASTROPHYSICS AND MULTIMESSENGER LABORATORY (0010B) <b>Obiettivi</b> The course will provide the students a laboratory approach to the main aspects of modern observational astrophysics in the multimessenger context. With a series of dedicated experiences, the students will learn how to perform observations and data analysis with telescopes operating across the electromagnetic spectrum from radio to gamma rays and with gravitational wave detectors. At the end of the course the students will be able to: know the main experimental techniques for electromagnetic and gravitational wave detection; access to archives of astrophysical data; perform observations and data reduction; perform data manipulation and analysis of electromagnetic (radio, optical, IR, UV, X-ray and gamma rays) and gravitational wave observations; develop data analysis projects based on state-of-the art tools used in the modern multimessenger astrophysics research.	12	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
ATOM OPTICS/ OTTICA ATOMICA (221BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
BAYESIAN INFERENCE IN ASTRONOMY & ASTROPHYSICS (0014B) <b>Obiettivi</b> The course will present an introduction to the fundamentals of Bayesian probability theory as well as to their applications to astronomical and astrophysical data. At the end of the course, the students will be familiar with: Boolean algebra Product and sum rules and Bayes theorem Maximum entropy principle and applications Numerical integration methods like Markov Chain Monte Carlo and nested sampling Elements of stochastic processes and their application to time and spatial series Inference of point processes Hierarchical models and censored data	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
BIOFISICA (196BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce gli elementi di base di biofisica cellulare, e	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

descrive le tecniche spettroscopiche e microscopiche (confocale ed a forza atomica) e di dinamica molecolare con applicazioni ai sistemi fisiologici ed alla nano-biomedicina.					
BIOFISICA CELLULARE // CELL BIOPHYSICS (386BB) <b>Obiettivi</b> L'insegnamento fornisce le basi fisiche che caratterizzano i sistemi complessi che costituiscono l'unità più semplice della vita, la cellula. In particolare: • termodinamica dei sistemi biologici lontani dall'equilibrio e ruolo della selezione naturale • strutture alla nanoscala come piattaforme per i processi biologici e la loro regolazione • applicazione di tecniche fisiche sperimentali allo studio dei processi fisici intracellulari, con particolare riguardo alla microscopia/nanoscopia ottica.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
BIOPHYSICS (268BB)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
CHIMICA FISICA MOLECOLARE (244CC) <b>Obiettivi</b> 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).	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	CHIM/02
COMPLEX SYSTEMS - NEURAL DYNAMICS / SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI (279BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce alcuni metodi matematici utilizzati per lo studio dei sistemi neurali	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
COMPLEX SYSTEMS / SISTEMI COMPLESSI (230BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS (360BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso è l'insegnamento di tecniche di programmazione e di calcolo nel contesto della fisica sperimentale e applicata. Sono previsti due moduli su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, uno incentrato sugli strumenti di base (strumenti di collaborazione, linguaggio python, classi, algoritmi), e uno di approfondimento (calcolo parallelo e machine learning), e un ulteriore modulo (3 CFU) a scelta tra due programmi di approfondimento specifici per High Energy Physics o Medical Image Analysis	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL	6	LM-17	B	Sperimentale	FIS/01

PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S (365BB) <b>Obiettivi</b> 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 parti su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, una incentrata sugli strumenti di base (3 CFU) e una di approfondimento (3 CFU).				applicativo	
CONDENSED MATTER PHYSICS (370BB) <b>Obiettivi</b> 9 CFU (6 CFU + 1 moduli da 3 CFU, lo studente ne sceglie uno tra due offerti) Modulo da 6 CFU Introduction to the theory of electron liquids, Linear response theory, Many-body diagrammatic perturbation theory, Landau theory of Fermi liquids Modulo A da 3 CFU Quantum theory of transport and the role of electron-electron interactions, Semiclassical and quantum theories of electron transport, The fractional quantum Hall effect Modulo B da 3 CFU Superconductivity, Quantum matter without quasiparticles	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
CURRENT TRENDS IN QUANTUM MATTER (407BB) <b>Obiettivi</b> At the end of the course activities, students will have enhanced their understanding of how quantum phenomena occurring in different condensed-matter and atomic-molecular systems, at bulk and nanoscale level, are interwoven. The course comprises the discussion of a series of seminars, which will be planned every year, according to the most cutting edge quantum matter physics of the moment. Topics will include: - Strongly correlated many-body systems, in particular electrons and ultracold atoms - Fluids of light - Cavity modified interactions - Systems in reduced dimensionality - Driven-dissipative open quantum systems - Quantum metrology - Analog quantum systems The seminars will be delivered by theorists and experimentalists leading these fields of research. Overviews will be provided on concepts and tools, and on pertinent models of interacting quantum matter, with an interdisciplinary approach	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
DISORDERED AND OFF-EQUILIBRIUM SYSTEMS (315BB) <b>Obiettivi</b> 1. Non-periodical long range positional order: quasi-crystals 2. Disorder in long range positional atomic systems (cellular disorder) 3. Disorder in atomic systems without long range interactions (topological disorder) 4. Disorder in polymeric systems 5. Supercooled metastable states and glass transition in liquids 6. Elements of non-equilibrium thermodynamics 7. Polymeric chain dynamics 8. Non-equilibrium states in active matter 9. Scattering from disordered systems:	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

generalities 10. Photon scattering (X-rays and light) 11. Neutron scattering					
DISORDERED SYSTEMS OUT OF EQUILIBRIUM / SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO (309BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
ELETTRODINAMICA DEI MEZZI CONTINUI (356BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
ELETTRONICA E SENSORI (080BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
ENTANGLEMENT: ADVANCED THEORETICAL CONCEPTS AND APPLICATIONS IN QUANTUM TECHNOLOGIES (426BB) <b>Obiettivi</b> This course focuses on the theory of quantum entanglement for bipartite and multipartite quantum systems. Entanglement can be seen as a resource for several information processing tasks underpinning new quantum technologies. The course presents geometrical methods for the characterisation and quantification of entanglement and related quantum correlations such as Bell nonlocality, as well as approaches to its experimental certification requiring different levels of trust on the experimental devices. Finally, applications of such correlations in quantum technology are presented.	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
FISICA DEI MATERIALI IN BASSA DIMENSIONALITÀ (352BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

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.					
<b>FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE (092BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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 alcune fra le più importanti tecniche e metodi di analisi superficiale. Si promuove lo sviluppo di spirito critico e di sintesi volta a individuare i concetti fondamentali alla base delle materie di studio. Si promuove l'approfondimento autonomo da parte degli studenti degli argomenti trattati.	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>FISICA STATISTICA (207BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce un'introduzione alla meccanica statistica di equilibrio, per sistemi classici e quantistici. In particolare si occupa di: - proprietà termodinamiche dei gas di particelle classiche interagenti (equazione di van der Waals, metodi perturbativi ed espansioni in cluster); - transizioni di fase e teoremi di Lee-Yang; - fenomeni critici (teoria di Ginzburg-Landau, cenni sul gruppo di rinormalizzazione e universalità); - statistiche quantistiche e gas quantistici non interagenti (condensazione di Bose-Einstein; proprietà magnetiche dei gas di fermioni liberi); - seconda quantizzazione e sistemi a molti corpi quantistici (gas di Bose debolmente interagenti; sistemi fermionici su reticolo); - transizioni di fase quantistiche (soluzione del modello di Ising quantistico 1D)	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>FISICA TEORICA 1 (213BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>FLEXIBLE AND NANO-ELECTRONICS (0004B)</b> <b>Obiettivi</b> The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

<p>electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications.</p>					
<p>FLUIDODYNAMICS (0024B)</p>	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA (304BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>          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</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>GEOPHYSICAL INSTRUMENTATION AND GEOPHYSICAL POTENTIAL FIELDS (0025B)</p>	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura	FIS/03

<p>GEOPHYSICAL INSTRUMENTATION AND GEOPHYSICAL POTENTIAL FIELDS (337BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> : Richiami di elettronica. Circuiti lineari nel dominio del tempo e nel dominio delle frequenze. Cenni sugli amplificatori operazionali. Caratteristiche generali della strumentazione: funzione di trasferimento; sensibilità e accuratezza; densità spettrale di potenza; rumore. Acquisizione di un segnale e conversione analogico - digitale. La misura del tempo. Scale di tempi. Tempo UT, UTC e TAI Sistemi satellitari di localizzazione punto (GNSS). Il sistema GPS: modalità di misura e cause di incertezza. GPS differenziale. Integrazioni al GPS (GLONASS) ed altri sistemi GNSS (GLONASS, Galileo, Bei-dou). Introduzione matematica alla descrizione dei campi di potenziale Campo gravitazionale e Elementi di geodesia. Coordinate geodetiche. Il campo gravitazionale. Il geoide e i modelli di campo gravitazionale. L'ellissoide di riferimento . La gravità normale. Anomalie di gravità. Variazioni temporali del campo di gravità. La strumentazione gravimetrica. Gravimetri assoluti: pendolo, gravimetri a caduta libera, gravimetri quantistici. Gravimetri a molla, gravimetro superconduttore. Gravimetri da mezzi mobili e gradiometria. Fondamenti di magnetismo. Leggi fondamentali e proprietà magnetiche dei materiali. Il campo geomagnetico. Descrizione del campo geomagnetico. Origine del campo geomagnetico e sua evoluzione temporale. Il modello globale IGRF Magnetometri. Fluxgate,e SQUID. Magnetometri atomici: magnetometri a precessione di protone, a effetto Overhauser, a pompaggio ottico di vapore di atomi alcalini. Magnetometri a He4. L'indagine geomagnetica. Campagne magnetometriche. Carta d'anomalia. Analisi spettrale e carte filtrate. Onde sismiche. Concetti fondamentali. Sismometri. Oscillatore armonico smorzato. Sismometri e geofoni. Simometri statici a feedback e a larga banda.</p>	6	LM-17	D	della materia A scelta dello studente	FIS/03
<p>INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS (380BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> Il corso presenta argomenti avanzati nel campo della strumentazione per la fisica delle particelle, con particolare attenzione alle applicazioni in fisica nucleare e delle particelle, ma con esempi anche da altri campi. Gli studenti acquisiranno la conoscenza delle moderne tecnologie dei sensori e relativa elettronica, e di come possono essere organizzati in un sistema di rivelazione. Verranno anche forniti esempi di come la strumentazione avanzata è utilizzata nelle misure di fisica.</p>	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<p>KINETIC THEORY OF PLASMAS/PLASMI TEORIA CINETICA (355BB)</p> <p><b>Obiettivi</b> Equazione di Vlasov. Soluzioni stazionarie. Onde in teoria Vlasov. Smorzamento di Landau. Intrappolamento di particelle. Instabilità risonanti. L'eq. di Vlasov in plasm magnetizzati. Verso la MHD: onde di Alfvén. L'equazione di Ohm generalizzata. Onde di plasma di grande ampiezza. Trasporto anomalo nei plasm di fusione.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>LASER A STATO SOLIDO (190BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p>	3	LM-17	C	Attività formative	FIS/03

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.				affini o integrative	
MECHANICS OF GEOPHYSICAL FLUIDS (0023B)	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/06
METODI NUMERICI PER LA FISICA (326BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
METODI NUMERICI PER LA FISICA S (374BB) <b>Obiettivi</b> 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 2 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.	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
MICROBIOROBOTICS (0021B)	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
MODELLIZZAZIONE BIOFISICA DEI SISTEMI COMPLESSI (273BB) <b>Obiettivi</b> L'attività dell'ingegnere biomedico, sia in ambito di ricerca che professionale, opera nel contesto dei sistemi biologici che, come ben noto, sono classici esempi di sistemi complessi. Pertanto, nel percorso di formazione universitaria	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

dell'ingegnere biomedico è più che mai opportuno che vengano acquisite competenze specifiche per lo studio di sistemi non lineari. In coerenza con questo paradigma, gli obiettivi principali del corso mirano a far acquisire allo studente quelle competenze riguardanti l'utilizzo di metodi non lineari, sia di base che avanzati, per lo studio di sistemi complessi, come quelli di interesse biomedico, con una particolare attenzione agli aspetti metodologici e applicativi. I contenuti del corso possono essere schematicamente suddivisi nelle seguenti parti: a) metodi per lo studio di sistemi non lineari deterministici (anche spazialmente estesi); b) applicazioni di questi metodi in ambito biologico e biomedico.					
<b>MODELLIZZAZIONE DEI SISTEMI COMPLESSI (111BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso è mirato a fornire gli strumenti teorici per la modellizzazione di sistemi complessi.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY (327BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<b>NEUROENGINEERING (0020B)</b> <b>Obiettivi</b> Principles of bioengineering. Invasive and non-invasive neural recordings. Brain machine interface design. Processing of neural information. Spiking neurons networks and mesoscale cortical networks. From healthy to pathological neural dynamics. Hybrid models for the development of neural interfaces. Neural manifolds. Cognitive functions. Long and short term memory in distributed neural networks.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>NONLINEAR DYNAMICS / DINAMICA NON LINEARE (322BB)</b> <b>Obiettivi</b> Gli obiettivi principali di questo corso sono quelli di promuovere l'acquisizione di competenze teoriche, sia di base che avanzate, per lo studio di sistemi dinamici non lineari per i quali l'evoluzione temporale dei corrispondenti stati è determinata da leggi esclusivamente deterministiche. Questi sistemi dinamici (anche semplici) possono sviluppare comportamenti molto complessi, come ad esempio il caos deterministico. Pertanto, un'importante finalità del corso è quella di formare gli studenti in modo che siano in grado di utilizzare i principali approcci formali per lo studio e la caratterizzazione dinamica di sistemi non lineari. Infine, per concretizzare l'applicazione dei principali approcci e metodi analitici del corso ad esempi concreti, una particolare attenzione verrà dedicata allo svolgimento di esercizi (in aula e per casa).	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA (375BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso tratta argomenti rilevanti per lo studio della	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

<p>dinamica dei fenomeni oceanici, privilegiando le tematiche di carattere generale piuttosto che le questioni specifiche della circolazione locale. Sarà perciò introdotto il concetto di sistema complesso e le grandezze oceanografiche saranno considerate come caratteristiche emergenti, a larga scala, di specifici sistemi complessi (caotici e/o turbolenti). Dopo l'introduzione dei concetti generali sarà affrontato in particolare lo studio di alcuni importanti fenomeni oceanici, come le grandi correnti termoaline (per esempio, la Corrente del Golfo), il Nino/La Nina o la North Atlantic Oscillation.</p>					
<p>PHYSICS OF BIOSYSTEMS / FISICA DEI BIOSISTEMI (387BB)  <b>Obiettivi</b>  L'insegnamento si focalizza sui principi fisici che caratterizzano la materia attiva, partendo dalla comprensione dei meccanismi che regolano i processi nei sistemi biologici "modello" per arrivare alla caratterizzazione di sistemi e materiali "bio-ispirati", introducendo nuovi modelli ed approcci di particolare rilevanza nell'ambito della scienza dei materiali. Particolare attenzione è dedicata alle strutture, alle simmetrie, alle interazioni molecolari, ai processi di self-assembly, alle proprietà meccaniche e mecano-sensibili dei sistemi biologici coinvolti nello sviluppo di attuatori e materiali innovativi. Inoltre si introducono le più recenti tecniche di imaging, sviluppate nel campo della microscopia ottica a fluorescenza e a super-risoluzione, e le loro applicazioni allo studio dei processi e delle interazioni molecolari in sistemi biologici di interesse.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>PHYSICS OF MATTER AND NANOTECHNOLOGY LABORATORY/ LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA E NANOTECNOLOGIE (411BB)  <b>Obiettivi</b>  Metodologie sperimentali di analisi spettrale, interferometria, olografia ed ottica guidata. Apparati laser. Principi alla base dei metodi litografici per micro-nanofotonica. Tecniche di microscopia.</p>	15	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<p>PHYSICS OF PHOTONIC DEVICES/ FISICA DEI DISPOSITIVI FOTONICI (203BB)  <b>Obiettivi</b>  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. Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico. Saranno inoltre affrontate (mutuando 8 ore di lezione da un corso di chimica) i seguenti argomenti: "Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico."</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

<p>PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI (353BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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 Necessita' di una descrizione microscopica, nonlinearity e nonlocalita' 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 stabilita'. Linearizzazione e analisi ai modi normali Esempi di propagazione di onde in teoria fluida: onde longitudinali onde elettromagnetiche onde MHD Principali instabilita' nella descrizione MHD Variabili microscopiche: Descrizione microscopica (cinetica): proprieta' dell'equazione di Vlasov Onde di Langmuir in teoria cinetica e risonanza di Landau. Onde e instabilita' in plasmi anisotropi magnetizzati: descrizione cinetica e limite fluido 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</p>	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
<p>QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES (376BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Computazione quantistica: basi della computazione quantistica, della manipolazione dei qubit e dei principali algoritmi (Deutsch, Grover, Shor); programmazione quantistica usando il linguaggio Microsoft e IBM Simulazione quantistica: concetti di base, realizzazione fisica su diverse piattaforme Comunicazione quantistica: principali protocolli di quantum key exchange; analisi di sicurezza dei protocolli Metrologia quantistica: principi di base, implementazione con NV centres e atomi freddi .</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>QUANTUM LIQUIDS (382BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Al termine dell'insegnamento, la/lo studente avra' sviluppato le conoscenze concettuali, procedurali e fattuali nella fisica dei liquidi quantistici all'equilibrio (modulo da 6 CFU) e dei sistemi quantistici aperti driven-dissipative (modulo da 3 CFU), e loro ingegnerizzazione come simulatori quantistici in piattaforme attuali di tecnologie quantistiche. In particolare: (a) Metodi teorici avanzati per predire e caratterizzare la fisica di liquidi quantistici all'equilibrio, loro relazione con metodi di simulazione quantistica, e classificazione per funzionalita' e tipologie di problemi. Tra i metodi: risposta lineare, idrodinamica quantistica, funzionale di densita' e di corrente, funzioni di Green e metodi non perturbativi, bosonizzazione. (b) Metodi teorici e numerici per sistemi quantistici fuori dall'equilibrio e driven-dissipative: sistemi Markoviani e non Markoviani, dissipation engineering, simulazione quantistica con metodi stocastici e tensor networks, misura e feedback, e applicazioni a tecnologie quantistiche, chimica e biologia quantistiche. (c) Principi di funzionamento delle principali piattaforme di tecnologie quantistiche: atomi, atomi dipolari e di Rydberg, ioni ultrafreddi, atomi in cavitaa QED; circuiti a</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

<p>superconduttore; fluidi di luce in cavità ottiche; sistemi a bassa dimensionalità. Loro uso come simulatori quantistici per materia condensata, fisica fondamentale, metrologia quantistica, gravità analoga, e cosmologia. Obiettivi formativi Riconoscere l'emergere delle proprietà macroscopiche nella complessità dei modelli microscopici che descrivono i liquidi quantistici all'equilibrio e driven-dissipative. Formalizzare i concetti e imparare ad affrontarli con i metodi sviluppati. Collegare la conoscenza concettuale e la formalizzazione con la fenomenologia e le applicazioni. Organizzare la conoscenza disciplinare in una mappa concettuale che include campi come termodinamica, meccanica statistica e transizioni di fase, teorie di campo. Valutare criticamente articoli di ricerca specializzati. Progettare descrizioni teoriche per il comportamento dei liquidi quantici in diverse piattaforme sperimentali. Comunicare in modo efficace ed efficiente. Lavorare con autonomia, consapevolezza e capacità di autovalutazione. Sviluppare capacità di lavoro di squadra.</p>					
<p>QUANTUM MACHINE LEARNING (0019B) <b>Obiettivi</b> We believe that quantum machine learning will play a crucial role in reducing the computational complexity of machine learning algorithms, making it possible to address problems classically unmanageable. In the course, we will give the students machine-learning skills and show how to reformulate all suitable algorithms in the corresponding quantum version. The students will be challenged to apply the learned concepts, methodologies, and techniques in realizing a working version of one of the algorithms presented in the course to a real problem, and running it on an actual quantum device.</p>	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
<p>QUANTUM OPTICS AND PLASMA PHYSICS / OTTICA QUANTISTICA E PLASMI (354BB) <b>Obiettivi</b> Competenze in Ottica Fisica, Ottica Quantistica, Applicazioni dei LASERs, Accelerazione LASER-Plasma di particelle e sorgenti secondarie di radiazione X e gamma</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>QUANTUM THERMODYNAMICS/ TERMODINAMICA QUANTISTICA (425BB) <b>Obiettivi</b> Obiettivi formativi:il corso tratta argomenti moderni di termodinamica fuori equilibrio di sistemi fisici in regime quantistico, con lo scopo di introdurre gli studenti alla nuova branca di ricerca denominata "termodinamica quantistica. Il corso si apre con una parte introduttiva dedicata ai fondamenti meccanici (classici) della termodinamica e alle relazioni di fluttuazioni classiche. Alcune nozioni di teoria dell'informazione quantistica saranno propedeutiche allo studio delle relazioni di fluttuazione quantistiche e a temi caldi di ricerca quali ad esempio le macchine termiche quantistiche,il principio di Landauer in regime quantum e le loro applicazioni ai computer quantistici.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>RELATIVITA' GENERALE (228BB) <b>Obiettivi</b> Descrizione geometrica dello spazio e del tempo 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.</p>	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02

ROCK PHYSICS (0026B)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS (338BB) <b>Obiettivi</b> Lo studente apprenderà le basi della elaborazione numerica dei segnali ed alcune applicazioni alla fisica. 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
SOLID STATE PHYSICS / FISICA DELLO STATO SOLIDO (204BB) <b>Obiettivi</b> 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. Proprieta' ottiche di semiconduttori e isolanti. Aspetti fondamentali della fisica dei semiconduttori.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
TEORIA QUANTISTICA DEI SOLIDI (235BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenta teorie e metodi per lo studio delle proprietà di stato fondamentale e le eccitazioni elettroniche in sistemi a molti elettroni. In particolare: Teorie di campo medio per il calcolo degli stati elettronici nei materiali; approssimazioni a singola particella e loro superamento. Teoria del funzionale densità e sua implementazione computazionale. Teoria a molti corpi degli stati eccitonici. Teoria dei plasmoni e schermo dielettrico nei cristalli. Densità degli stati proiettata e funzione di Green. Momenti di una Hamiltoniana e funzione di Green. Il problema classico dei momenti e sua soluzione con frazioni continue. Il metodo ricorsivo di Haydock-Heine-Kelly-Lanzos. Equazione di Dyson e Metodo di rinormalizzazione per gli stati elettronici. Costruzione di Hamiltoniane tight-binding ridotte per il calcolo di stati elettronici in sistemi multilayer. Metodi ricorsivi e trasporto elettronico. Superconduttività: aspetti fenomenologici, teorie termodinamiche, teoria dei London, teoria di Pippard, teoria di Ginzburg-Landau. Interazione elettrone-elettrone mediata da fononi; teoria BCS, Teoria di Bogoliubov-Valatin, Tunneling Giaever e tunneling Josephson. Riflessione di Andreev.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
TEORIE DI CAMPO STATISTICHE (0017B) <b>Obiettivi</b> E' un corso avanzato sulle teorie di campo statistiche, che vengono generalmente definite attraverso un approccio funzionale, analogo a quello delle teorie di campo quantistiche. Viene introdotto, e approfondito, il framework del gruppo di rinormalizzazione alla Wilson, che rappresenta uno dei paradigmi fondamentali per lo studio dei fenomeni critici (generalmente osservati alle transizioni di fase classiche e quantistiche) e per estendere la definizione delle teorie di campo quantistiche interagenti ai regimi non perturbativi. Il corso affronta questioni connesse con la descrizione dei comportamenti dei sistemi statistici a molti corpi all'equilibrio, e della loro dinamica all'equilibrio e fuori equilibrio. Viene infine discusso un approccio non	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

perturbativo molto utilizzato nell'ambito delle teorie di campo fortemente interagenti, che consiste nello sviluppo rispetto all'inverso del numero di componenti del campo fondamentale (espansione a grandi N).					
<p>TEORIE DI CAMPO STATISTICHE S (0018B)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>E' un corso avanzato sulle teorie di campo statistiche, che vengono generalmente definite attraverso un approccio funzionale, analogo a quello delle teorie di campo quantistiche. Viene introdotto, e approfondito, il framework del gruppo di rinormalizzazione alla Wilson, che rappresenta uno dei paradigmi fondamentali per lo studio dei fenomeni critici (generalmente osservati alle transizioni di fase classiche e quantistiche) e per estendere la definizione delle teorie di campo quantistiche interagenti ai regimi non perturbativi. Il corso affronta questioni connesse con la descrizione dei comportamenti dei sistemi statistici a molti corpi all'equilibrio, e della loro dinamica all'equilibrio e fuori equilibrio.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<p>THEORY OF NUCLEAR INTERACTION (0015B)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni. Metodi numerici con relative esercitazioni.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<p>THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S (0016B)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

## 2° Anno (anno accademico 2025/2026)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
<p>ACCELERATOR PHYSICS S / MACCHINE ACCELERATRICI S (107BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>ACCELERATORI LASER-PLASMA (357BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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 agli 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</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

<p>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, verra' 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 qualita' (brillanza), quindi di potenziale utilizzo in acceleratori "in cascata" o in sorgenti di radiazione X coerente (Free Electron Laser).</p>					
<p><b>ANALISI STATISTICA DEI DATI (193BB)</b>  <b>Obiettivi</b>  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</p>	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<p><b>ASTROFISICA GENERALE (368BB)</b>  <b>Obiettivi</b>  Il corso intende trattare alcuni dei principali problemi dell'astrofisica moderna, illustrando in modo interdisciplinare le differenti tecniche necessarie per affrontare i problemi cosmici.</p>	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
<p><b>ASTROPARTICLE PHYSICS /ASTROPARTICELLE (192BB)</b>  <b>Obiettivi</b>  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.</p>	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
<p><b>ASTROPARTICLE PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S (063BB)</b>  <b>Obiettivi</b>  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</p>	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
<p><b>ASTROPHYSICAL BLACK HOLES/ BUCHI NERI ASTROFISICI (359BB)</b>  <b>Obiettivi</b>  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</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05

alcuni aspetti osservativi fondamentali. A causa della sua interdisciplinarietà, il corso si coordinerà con i corsi di gravità sperimentale e processi astrofisici.					
<p>ATOM OPTICS/ OTTICA ATOMICA (221BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>BAYESIAN INFERENCE IN ASTRONOMY &amp; ASTROPHYSICS (0014B)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>The course will present an introduction to the fundamentals of Bayesian probability theory as well as to their applications to astronomical and astrophysical data. At the end of the course, the students will be familiar with: Boolean algebra Product and sum rules and Bayes theorem Maximum entropy principle and applications Numerical integration methods like Markov Chain Monte Carlo and nested sampling Elements of stochastic processes and their application to time and spatial series Inference of point processes Hierarchical models and censored data</p>	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
<p>BIOFISICA (196BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>BIOFISICA CELLULARE // CELL BIOPHYSICS (386BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>L'insegnamento fornisce le basi fisiche che caratterizzano i sistemi complessi che costituiscono l'unità più semplice della vita, la cellula. In particolare: • termodinamica dei sistemi biologici lontani dall'equilibrio e ruolo della selezione naturale • strutture alla nanoscala come piattaforme per i processi biologici e la loro regolazione • applicazione di tecniche fisiche sperimentali allo studio dei processi fisici intracellulari, con particolare riguardo alla microscopia/nanoscopia ottica.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>BIOPHYSICS (268BB)</p>	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>BIOPHYSICS OF eFLASH THERAPY (0008B)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>The goal of the course is to introduce the student to the physical and biological problems related to the FLASH effect, an in vivo biological effect in which tissue toxicities, typical of radiotherapy, can be reduced while maintaining the same efficacy on tumor. The following topics will be covered: i) Mechanisms of biological damage induced by ionizing radiation. ii) Radiobiological modelling iii) Introduction to radiotherapy. iv) FLASH effect: review of in vivo and in vitro experiments and of radiobiological models. v) Radiobiological modelling of the FLASH effect by Monte Carlo and Molecular Dynamics approaches. vi) Experimental methods and techniques for FLASH effect investigation.</p>	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/07
<p>CHIMICA FISICA MOLECOLARE (244CC)</p> <p><b>Obiettivi</b></p>	9	LM-17	C	Attività formative	CHIM/02

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).				affini o integrative	
COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S (091BB) <b>Obiettivi</b> Studio della struttura delle stelle nane bianche e delle stelle di neutroni a partire dalle proprietà della materia ad alta densità. Fenomeni astrofisici associati: Pulsars, Supernovae, GRBs.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE (278BB) <b>Obiettivi</b> Studio della struttura delle stelle nane bianche e delle stelle di neutroni a partire dalle proprietà della materia ad alta densità. Fenomeni astrofisici associati: Pulsars, Supernovae, GRBs	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COMPLEX SYSTEMS - NEURAL DYNAMICS / SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI (279BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce alcuni metodi matematici utilizzati per lo studio dei sistemi neurali	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
COMPLEX SYSTEMS / SISTEMI COMPLESSI (230BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS (360BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso è l'insegnamento di tecniche di programmazione e di calcolo nel contesto della fisica sperimentale e applicata. Sono previsti due moduli su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, uno incentrato sugli strumenti di base (strumenti di collaborazione, linguaggio python, classi, algoritmi), e uno di approfondimento (calcolo parallelo e machine learning), e un ulteriore modulo (3 CFU) a scelta tra due programmi di approfondimento specifici per High Energy Physics o Medical Image Analysis	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S (365BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso è 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,	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

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 parti su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, una incentrata sugli strumenti di base (3 CFU) e una di approfondimento (3 CFU).					
CONDENSED MATTER PHYSICS (370BB) <b>Obiettivi</b> 9 CFU (6 CFU + 1 moduli da 3 CFU, lo studente ne sceglie uno tra due offerti) Modulo da 6 CFU Introduction to the theory of electron liquids, Linear response theory, Many-body diagrammatic perturbation theory, Landau theory of Fermi liquids Modulo A da 3 CFU Quantum theory of transport and the role of electron-electron interactions, Semiclassical and quantum theories of electron transport, The fractional quantum Hall effect Modulo B da 3 CFU Superconductivity, Quantum matter without quasiparticles	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE (274BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
CURRENT TRENDS IN QUANTUM MATTER (407BB) <b>Obiettivi</b> At the end of the course activities, students will have enhanced their understanding of how quantum phenomena occurring in different condensed-matter and atomic-molecular systems, at bulk and nanoscale level, are interwoven. The course comprises the discussion of a series of seminars, which will be planned every year, according to the most cutting edge quantum matter physics of the moment. Topics will include: - Strongly correlated many-body systems, in particular electrons and ultracold atoms - Fluids of light - Cavity modified interactions - Systems in reduced dimensionality - Driven-dissipative open quantum systems - Quantum metrology - Analog quantum systems The seminars will be delivered by theorists and experimentalists leading these fields of research. Overviews will be provided on concepts and tools, and on pertinent models of interacting quantum matter, with an interdisciplinary approach	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE (0009B) <b>Obiettivi</b> The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01



<p>techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength</p>					
<p>DISORDERED AND OFF-EQUILIBRIUM SYSTEMS (315BB) <b>Obiettivi</b> 1. Non-periodical long range positional order: quasi-crystals 2. Disorder in long range positional atomic systems (cellular disorder) 3. Disorder in atomic systems without long range interactions (topological disorder) 4. Disorder in polymeric systems 5. Supercooled metastable states and glass transition in liquids 6. Elements of non-equilibrium thermodynamics 7. Polymeric chain dynamics 8. Non-equilibrium states in active matter 9. Scattering from disordered systems: generalities 10. Photon scattering (X-rays and light) 11. Neutron scattering</p>	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>DISORDERED SYSTEMS OUT OF EQUILIBRIUM / SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO (309BB) <b>Obiettivi</b> 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.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>DOSIMETRY/ DOSIMETRIA (198BB) <b>Obiettivi</b> 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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<p>ELEMENTS OF PHYSIOLOGY, PHYSIOPATHOLOGY AND DIAGNOSTICS / ELEMENTI DI FISILOGIA, FISIOPATOLOGIA E DIAGNOSTICA (478EE) <b>Obiettivi</b> 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</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	BIO/09

<p>ELETTRODINAMICA DEI MEZZI CONTINUI (356BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>  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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>ELETTRONICA E SENSORI (080BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>  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</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<p>ENTANGLEMENT: ADVANCED THEORETICAL CONCEPTS AND APPLICATIONS IN QUANTUM TECHNOLOGIES (426BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>  This course focuses on the theory of quantum entanglement for bipartite and multipartite quantum systems. Entanglement can be seen as a resource for several information processing tasks underpinning new quantum technologies. The course presents geometrical methods for the characterisation and quantification of entanglement and related quantum correlations such as Bell nonlocality, as well as approaches to its experimental certification requiring different levels of trust on the experimental devices. Finally, applications of such correlations in quantum technology are presented.</p>	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<p>ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (323BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>  Presentazione e commento di esperimenti particolarmente significativi nella storia delle particelle elementari dalla seconda metà del 1900.</p>	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
<p>EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI (170BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>  Dynamics of planetary systems: few body problems, tidal interactions, resonance and chaos, effects of binarity, effects of stars in a cluster environment (fly-by effects). 2. Planetary interiors: geophysics of Jovian and Terrestrial planets, plate tectonics and subsolidus convection, magnetic field generation, phase and chemical stratification; Kuiper Belt objects, icy bodies, and planetinos. 3. Planetary atmospheres and radiative transfer, stability of climate, feedback mechanisms. 4. Sun-planet connections: stellar winds, magnetospheres. 5. Stellar and planetary system formation: stability of pre-solar accretion disks, T Tau stars and protostars, UX Ori stars, debris disks and their evolution, asteroids and planetesimals. 6. Exoplanetary searches: transits, proper motion, radial velocities, high contrast direct imaging.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S (307BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>  Il corso presenta la strumentazione e le tecniche sperimentali per l'osservazione di sorgenti astrofisiche nel dominio delle</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

<p>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 trattati 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.</p>					
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE (306BB) <b>Obiettivi</b> 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 trattati 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.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY / ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA (369BB) <b>Obiettivi</b> Cosmologia osservativa; formazione delle strutture dal fondo cosmico a microonde alle galassie odierne; evoluzione dinamica e chimica delle galassie e delle loro componenti (stelle, mezzo interstellare, materia oscura)</p>	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
<p>FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI (084BB) <b>Obiettivi</b></p>	6	LM-17	C	Attività formative	FIS/07

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.				affini o integrative	
<b>FISICA DEI MATERIALI IN BASSA DIMENSIONALITÀ (352BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
<b>FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE (092BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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 alcune fra le più importanti tecniche e metodi di analisi superficiale. Si promuove lo sviluppo di spirito critico e di sintesi volta a individuare i concetti fondamentali alla base delle materie di studio. Si promuove l'approfondimento autonomo da parte degli studenti degli argomenti trattati.	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>FISICA NUCLEARE (206BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<b>FISICA STATISTICA (207BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce un'introduzione alla meccanica statistica di equilibrio, per sistemi classici e quantistici. In particolare si occupa di: - proprietà termodinamiche dei gas di particelle classiche interagenti (equazione di van der Waals, metodi perturbativi ed espansioni in cluster); - transizioni di fase e teoremi di Lee-Yang; - fenomeni critici (teoria di Ginzburg-Landau, cenni sul gruppo di rinormalizzazione e universalità); - statistiche quantistiche e gas quantistici non interagenti (condensazione di Bose-Einstein; proprietà	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02

magnetiche dei gas di fermioni liberi); - seconda quantizzazione e sistemi a molti corpi quantistici (gas di Bose debolmente interagenti; sistemi fermionici su reticolo); - transizioni di fase quantistiche (soluzione del modello di Ising quantistico 1D)					
FISICA TEORICA 1 (213BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamentali della fisica	FIS/02
FISICA TEORICA 2 (214BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamentali della fisica	FIS/02
FLEXIBLE AND NANO-ELECTRONICS (0004B) <b>Obiettivi</b> The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials:	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications.					
FLUIDODYNAMICS (0024B)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI (305BB) <b>Obiettivi</b> Conoscenza di base quantitativa della fisica delle particelle elementari e delle loro interazioni, dal punto di vista fenomenologico e sperimentale. Capacità di valutare quantitativamente processi ed esperimenti. Conoscenza dello sviluppo temporale e delle principali scoperte.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA (304BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
GEOPHYSICAL INSTRUMENTATION AND GEOPHYSICAL POTENTIAL FIELDS (337BB) <b>Obiettivi</b> : Richiami di elettronica. Circuiti lineari nel dominio del tempo e nel dominio delle frequenze. Cenni sugli amplificatori operazionali. Caratteristiche generali della strumentazione: funzione di trasferimento; sensibilità e accuratezza; densità spettrale di potenza; rumore. Acquisizione di un segnale e conversione analogico - digitale. La misura del tempo. Scale di tempi. Tempo UT, UTC e TAI Sistemi satellitari di localizzazione punto (GNSS). Il sistema GPS: modalità di misura e cause di incertezza. GPS differenziale. Integrazioni al GPS (GLONASS) ed altri sistemi GNSS (GLONASS, Galileo,	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

<p>Bei-dou). Introduzione matematica alla descrizione dei campi di potenziale Campo gravitazionale e Elementi di geodesia. Coordinate geodetiche. Il campo gravitazionale. Il geoide e i modelli di campo gravitazionale. L'ellissoide di riferimento . La gravità normale. Anomalie di gravità. Variazioni temporali del campo di gravità. La strumentazione gravimetrica. Gravimetri assoluti: pendolo, gravimetri a caduta libera, gravimetri quantistici. Gravimetri a molla, gravimetro superconduttore. Gravimetri da mezzi mobili e gradiometria. Fondamenti di magnetismo. Leggi fondamentali e proprietà magnetiche dei materiali. Il campo geomagnetico. Descrizione del campo geomagnetico. Origine del campo geomagnetico e sua evoluzione temporale. Il modello globale IGRF Magnetometri. Fluxgate, e SQUID. Magnetometri atomici: magnetometri a precessione di protone, a effetto Overhauser, a pompaggio ottico di vapore di atomi alcalini. Magnetometri a He4. L'indagine geomagnetica. Campagne magnetometriche. Carta d'anomalia. Analisi spettrale e carte filtrate. Onde sismiche. Concetti fondamentali. Sismometri. Oscillatore armonico smorzato. Sismometri e geofoni. Simometri statici a feedback e a larga banda.</p>					
<p>GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI (257BB)  <b>Obiettivi</b>  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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S (256BB)  <b>Obiettivi</b>  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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>HADRON COLLIDER PHYSICS / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI (201BB)  <b>Obiettivi</b>  Fisica delle particelle elementari ai collisionatori adronici, specialmente protone-protone e protone-antiprotone. Lo studio delle interazioni tra quark e gluoni, costituenti del</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04

<p>protone, ha permesso molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle quali la scoperta del bosoni intermedi W e Z , del quark top e del bosone di Higgs.. Saranno presentati i principali risultati ottenuti agli collisionatori ISR, SPS collider , Tevatron e LHC insieme a una discussione delle prospettive future. Nella parte finale saranno esaminati in dettaglio alcuni degli articoli che descrivono i risultati scientifici piu' importanti ottenuti a LHC e effettuata una analisi di dati reali raccolti.</p>					
<p>HADRON COLLIDER PHYSICS S / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI S (371BB) <b>Obiettivi</b> 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 permesso molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle quali la scoperta del bosoni intermedi W e Z , quark top e del bosone di Higgs.. Saranno presentati i principali risultati ottenuti agli collisionatori ri ISR, SPS collider, Tevatron e LHC insieme a una discussione delle prospettive future.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
<p>INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS (380BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenta argomenti avanzati nel campo della strumentazione per la fisica delle particelle, con particolare attenzione alle applicazioni in fisica nucleare e delle particelle, ma con esempi anche da altri campi. Gli studenti acquisiranno la conoscenza delle moderne tecnologie dei sensori e relativa elettronica, e di come possono essere organizzati in un sistema di rivelazione. Verranno anche forniti esempi di come la strumentazione avanzata è utilizzata nelle misure di fisica.</p>	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<p>INTRODUCTION TO MOLECULAR BIOPHYSICS / INTRODUZIONE ALLA BIOFISICA MOLECOLARE (389BB) <b>Obiettivi</b> L'insegnamento introduce a concetti di base come la struttura delle biomolecole (proteine, acidi nucleici, carboidrati, cofattori, lipidi) e le loro funzioni (proteine strutturali, enzimi, recettori, proteine di membrana; Acidi nucleici: deposito e trasferimento dell'informazione genetica; componenti della membrana cellulare). Si illustrano inoltre i principali metodi di spettroscopia molecolare (Spettroscopia elettronica: assorbimento UV/vis, dicroismo circolare, fluorescenza e fosforescenza; Spettroscopia vibrazionale di biomolecole: IR e Raman) e di indagine strutturale (Cristallografia a raggi X, NMR e microscopia elettronica). Una parte del corso è dedicata alla modellistica delle biomolecole: modelli atomistici, metodi quanto-meccanici (QM), meccanica molecolare e campi di forza empirici, dinamica molecolare e accelerata (replica exchange e metadinamica) fino alla predizione e disegno di strutture di proteine. Si illustrano inoltre i concetti generali alla base dei modelli a multiscale: PES/FES, variabili collettive, modelli coarse grained, a rete elastica e modelli di Go, modelli di solvente implicito, modelli di membrana implicita, altri modelli "continui". Infine sono illustrate alcune applicazioni riguardanti: i recettori di membrana e la trasmissione degli impulsi nervosi, le interfacce bio-non bio (ad es,</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

nanoparticelle funzionalizzate), la struttura e la fotofisica delle proteine fluorescenti.					
INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITÀ (364BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/05
KINETIC THEORY OF PLASMAS/PLASMI TEORIA CINETICA (355BB) <b>Obiettivi</b> Equazione di Vlasov. Soluzioni stazionarie. Onde in teoria Vlasov. Smorzamento di Landau. Intrappolamento di particelle. Instabilità risonanti. L'eq. di Vlasov in plasm magnetizzati. Verso la MHD: onde di Alfvén. L'equazione di Ohm generalizzata. Onde di plasma di grande ampiezza. Trasporto anomalo nei plasm di fusione.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
LABORATORY OF INSTRUMENTAL SEISMOLOGY (0022B)	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
LASER A STATO SOLIDO (190BB) <b>Obiettivi</b> 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.	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (212ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (717ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
MECHANICS OF GEOPHYSICAL FLUIDS (0023B)	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/06
METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE (185BB) <b>Obiettivi</b> ornire conoscenza sulle metodologie statistiche avanzate per la simulazione montecarlo impiegate sia nella progettazione	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

che nella comprensione delle risposte di complessi apparati sperimentali.					
METODI NUMERICI DELLA FISICA TEORICA (218BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/02
METODI NUMERICI PER LA FISICA (326BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
METODI NUMERICI PER LA FISICA S (374BB) <b>Obiettivi</b> 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 2 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.	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
MICROBIOROBOTICS (0021B)	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
MODELLIZZAZIONE DEI SISTEMI COMPLESSI (111BB) <b>Obiettivi</b> Il corso è mirato a fornire gli strumenti teorici per la modellizzazione di sistemi complessi.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY (327BB) <b>Obiettivi</b> 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-	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

energy astrophysics, gravitational waves, astroparticle physics; -develop an analysis project based on Python and on the specific tools required for the analysis.					
NEUROENGINEERING (0020B) <b>Obiettivi</b> Principles of bioengineering. Invasive and non-invasive neural recordings. Brain machine interface design. Processing of neural information. Spiking neurons networks and mesoscale cortical networks. From healthy to pathological neural dynamics. Hybrid models for the development of neural interfaces. Neural manifolds. Cognitive functions. Long and short term memory in distributed neural networks.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
NONLINEAR DYNAMICS / DINAMICA NON LINEARE (322BB) <b>Obiettivi</b> Gli obiettivi principali di questo corso sono quelli di promuovere l'acquisizione di competenze teoriche, sia di base che avanzate, per lo studio di sistemi dinamici nonlineari per i quali l'evoluzione temporale dei corrispondenti stati è determinata da leggi esclusivamente deterministiche. Questi sistemi dinamici (anche semplici) possono sviluppare comportamenti molto complessi, come ad esempio il caos deterministico. Pertanto, un'importante finalità del corso è quella di formare gli studenti in modo che siano in grado di utilizzare i principali approcci formali per lo studio e la caratterizzazione dinamica di sistemi nonlineari. Infine, per concretizzare l'applicazione dei principali approcci e metodi analitici del corso ad esempi concreti, una particolare attenzione verrà dedicata allo svolgimento di esercizi (in aula e per casa).	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE (358BB) <b>Obiettivi</b> Vengono presentati alcuni approcci non perturbativi allo studio delle teorie di campo quantistiche nel contesto delle interazioni fondamentali, della fisica statistica e della materia condensata. Il corso è diviso in tre parti, fra di loro interconnesse per vari aspetti ma ciascuna di per se autoconsistente e corrispondente ad un carico didattico di circa 3 CFU. Nella prima parte viene trattata la teoria del gruppo di rinormalizzazione e le tecniche di sviluppo di grande N; la seconda parte è dedicata alla formulazione e allo studio delle teorie di campo su reticolo; la terza parte è dedicata alle anomalie nelle teorie quantistiche di campo e allo studio delle teorie di campo conformi.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE / RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE (124BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA (375BB) <b>Obiettivi</b> Il corso tratta argomenti rilevanti per lo studio della dinamica dei fenomeni oceanici, privilegiando le tematiche di carattere generale piuttosto che le questioni specifiche della circolazione locale. Sarà perciò introdotto il concetto di	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

<p>sistema complesso e le grandezze oceanografiche saranno considerate come caratteristiche emergenti, a larga scala, di specifici sistemi complessi ( caotici e/o turbolenti). Dopo l'introduzione dei concetti generali sarà affrontato in particolare lo studio di alcuni importanti fenomeni oceanici, come le grandi correnti termoaline (per esempio, la Corrente del Golfo), il Nino/La Nina o la North Atlantic Oscillation.</p>					
<p>PARTICLE PHYSICS / FISICA DELLE PARTICELLE (302BB)  <b>Obiettivi</b>  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 .</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<p>PARTICLE PHYSICS S / FISICA DELLE PARTICELLE S (373BB)  <b>Obiettivi</b>  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 .</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
<p>PHYSICS FOR CULTURAL HERITAGE / FISICA APPLICATA AI BENI CULTURALI (418BB)  <b>Obiettivi</b>  L'insegnamento si prefigge di fornire un quadro ampio delle problematiche relative ai campi di indagine propri della fisica applicata ai beni culturali, trattando anche alcuni aspetti di base della conservazione, del restauro e dell'informatica. In tal modo gli studenti potranno avere una conoscenza, competenza e capacità di valutare gli ambiti ed i limiti di applicabilità delle specifiche metodologie (metodiche e tecniche fisiche, chimiche, mineralogico-petrografiche, naturalistiche e informatiche innovative necessarie allo studio e alla conservazione dei Beni culturali). Attraverso l'illustrazione di diversi casi studio, l'insegnamento intende inoltre fornire agli studenti alcuni esempi di linee di ricerca nel campo della diagnostica dei Beni culturali, dei metodi di datazione e provenienza, nonché della caratterizzazione dei materiali utilizzati nel settore dei Beni culturali.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<p>PHYSICS OF BIOSYSTEMS / FISICA DEI BIOSISTEMI (387BB)  <b>Obiettivi</b>  L'insegnamento si focalizza sui principi fisici che caratterizzano la materia attiva, partendo dalla comprensione dei meccanismi che regolano i processi nei sistemi biologici "modello" per arrivare alla caratterizzazione di sistemi e materiali "bio-ispirati", introducendo nuovi modelli ed approcci di particolare rilevanza nell'ambito della scienza dei materiali. Particolare attenzione è dedicata alle strutture, alle simmetrie, alle interazioni molecolari, ai processi di self-assembly, alle proprietà meccaniche e mecano-sensibili dei</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

sistemi biologici coinvolti nello sviluppo di attuatori e materiali innovativi. Inoltre si introducono le più recenti tecniche di imaging, sviluppate nel campo della microscopia ottica a fluorescenza e a super-risoluzione, e le loro applicazioni allo studio dei processi e delle interazioni molecolari in sistemi biologici di interesse.					
PHYSICS OF COSMIC DIFFUSE MEDIA / FISICA DEL MEZZO DIFFUSO COSMICO (324BB) <b>Obiettivi</b> Photoionization and photodissociation regions Radiative processes and nebular diagnostics Neutral hydrogen: Lyman series absorption, resonance lines Molecular emission 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	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
PHYSICS OF PHOTONIC DEVICES/ FISICA DEI DISPOSITIVI FOTONICI (203BB) <b>Obiettivi</b> 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. Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico. Saranno inoltre affrontate (mutuando 8 ore di lezione da un corso di chimica) i seguenti argomenti: "Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico."	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI (353BB) <b>Obiettivi</b> 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, non linearità e non località 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	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05

teoria cinetica e risonanza di Landau. Onde e instabilita' in plasmi anisotropi magnetizzati: descrizione cinetica e limite fluido 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					
PROVA FINALE (125ZW)	45	LM-17	E	Per la prova finale	NN, PROFIN_S
<b>Moduli</b> PROVA FINALE (1)	44				
ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO (2)	1				
QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES (376BB) <b>Obiettivi</b> Computazione quantistica: basi della computazione quantistica, della manipolazione dei qubit e dei principali algoritmi (Deutsch, Grover, Shor); programmazione quantistica usando il linguaggio Microsoft e IBM Simulazione quantistica: concetti di base, realizzazione fisica su diverse piattaforme Comunicazione quantistica: principali protocolli di quantum key exchange; analisi di sicurezza dei protocolli Metrologia quantistica: principi di base, implementazione con NV centres e atomi freddi .	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY (328BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
QUANTUM LIQUIDS (382BB) <b>Obiettivi</b> Al termine dell'insegnamento, la/lo studente avrà sviluppato le conoscenze concettuali, procedurali e fattuali nella fisica dei liquidi quantistici all'equilibrio (modulo da 6 CFU) e dei sistemi quantistici aperti driven-dissipative (modulo da 3 CFU), e loro ingegnerizzazione come simulatori quantistici in piattaforme attuali di tecnologie quantistiche. In particolare: (a) Metodi teorici avanzati per predire e caratterizzare la fisica di liquidi quantistici all'equilibrio, loro relazione con metodi di simulazione quantistica, e classificazione per funzionalità e tipologie di problemi. Tra i metodi: risposta lineare, idrodinamica quantistica, funzionale di densità e di corrente, funzioni di Green e metodi non perturbativi, bosonizzazione. (b) Metodi teorici e numerici per sistemi quantistici fuori dall'equilibrio e driven-dissipative: sistemi Markoviani e non Markoviani, dissipation engineering, simulazione quantistica con metodi stocastici e tensor networks, misura e feedback, e applicazioni a tecnologie quantistiche, chimica e biologia quantistiche. (c) Principi di funzionamento delle principali piattaforme di tecnologie quantistiche: atomi, atomi dipolari e di Rydberg, ioni ultrafreddi, atomi in cavità QED; circuiti a superconduttore; fluidi di luce in cavità ottiche; sistemi a bassa dimensionalità. Loro uso come simulatori quantistici per materia condensata, fisica fondamentale, metrologia	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

<p>quantistica, gravità analoga, e cosmologia. Obiettivi formativi Riconoscere l'emergere delle proprietà macroscopiche nella complessità dei modelli microscopici che descrivono i liquidi quantistici all'equilibrio e driven-dissipative. Formalizzare i concetti e imparare ad affrontarli con i metodi sviluppati. Collegare la conoscenza concettuale e la formalizzazione con la fenomenologia e le applicazioni. Organizzare la conoscenza disciplinare in una mappa concettuale che include campi come termodinamica, meccanica statistica e transizioni di fase, teorie di campo. Valutare criticamente articoli di ricerca specializzati. Progettare descrizioni teoriche per il comportamento dei liquidi quantici in diverse piattaforme sperimentali. Comunicare in modo efficace ed efficiente. Lavorare con autonomia, consapevolezza e capacità di autovalutazione. Sviluppare capacità di lavoro di squadra.</p>					
<p>QUANTUM OPTICS AND PLASMA PHYSICS / OTTICA QUANTISTICA E PLASMI (354BB) <b>Obiettivi</b> Competenze in Ottica Fisica, Ottica Quantistica, Applicazioni dei LASERS, Accelerazione LASER-Plasma di particelle e sorgenti secondarie di radiazione X e gamma</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS (0007B) <b>Obiettivi</b> Quantum technologies exploit the capability to control quantum properties of matter to devise sensors with unprecedented performance, that allow us to perform otherwise unattainable measurements in terms of sensitivity and resolution. The course focuses on quantum sensing and describes emerging technologies that exploit quantum aspects of the matter. In particular, it will focus on superconducting devices (SQUIDS, TESs, KIDs, Qubits, parametric amplifiers, etc.) and semiconductor devices with low dimensionality with applications to fundamental interaction physics such as dark matter search, axions and Majorana's neutrino, neutrino coherent scattering, high-frequency gravitational waves and other. Some real experiments using cryogenic quantum sensors will be discussed, delving into the experimental and scientific aspects that defined their conception.</p>	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<p>REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO (227BB) <b>Obiettivi</b> 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.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<p>REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO S (377BB) <b>Obiettivi</b> 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.</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
<p>RECENT HIGHLIGHTS IN FUNDAMENTAL</p>	3	LM-17	D	A scelta dello	FIS/04

INTERACTIONS (378BB) <b>Obiettivi</b> Corso monografico per presentare e discutere i più recenti risultati in un settore - variabile di anno in anno - delle interazioni fondamentali. Il corso inizierà con lezioni introduttive, seguite da seminari, letture di articoli, sessioni di discussione con particolare riferimento alle prospettive future.				studente	
RELATIVITA' GENERALE (228BB) <b>Obiettivi</b> Descrizione geometrica dello spazio e del tempo in presenza di gravi fornita dalla teoria della relatività 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamentali della fisica	FIS/02
ROCK PHYSICS (0026B)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS (338BB) <b>Obiettivi</b> Lo studente apprenderà le basi della elaborazione numerica dei segnali ed alcune applicazioni alla fisica. 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
SOLID STATE PHYSICS / FISICA DELLO STATO SOLIDO (204BB) <b>Obiettivi</b> 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. Proprieta' ottiche di semiconduttori e isolanti. Aspetti fondamentali della fisica dei semiconduttori.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA (043BB) <b>Obiettivi</b> 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.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
STELLAR PHYSICS S (098BB) <b>Obiettivi</b> Analisi delle basi fisiche del funzionamento delle strutture stellari e descrizione delle caratteristiche delle stelle durante le diverse fasi evolutive. Syllabus: Introduzione generale sulle caratteristiche delle stelle nella Via Lattea e nel Gruppo Locale. Condizioni di equilibrio per le strutture stellari. Meccanismi fisici in gioco nelle strutture stellari: equazione di stato della materia stellare, produzione di energia nucleare, catture neutroniche, meccanismi di interazione fotone-materia, trasporto di energia (radiativo, convettivo e conduttivo), nucleosintesi stellare. Equazioni di struttura stellare. Formazione stellare ed evoluzione iniziale. Fasi di combustione di H centrale ed in shell. Il modello solare. Fasi di combustione di elio. Fasi evolutive avanzate.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
STELLAR PHYSICS/ FISICA STELLARE (211BB) <b>Obiettivi</b>	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e	FIS/05

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				spaziale	
TEORIA DEI GRUPPI (286BB) <b>Obiettivi</b> Acquisire i concetti base e l'utilizzo della teoria dei gruppi in fisica: assiomi dei gruppi, gruppi finiti e infiniti, gruppi discreti e continui. Gruppi e algebre di Lie. Teoria delle rappresentazione. Gruppi familiari in fisica: SU(2), SU(3), SO(3), SO(4), Gruppo di Lorentz e di Poincare'. Teoria delle radici e pesi in algebre semi-semplici. Alcuni applicazioni in meccanica quantistica.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI (277BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI A (137BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
TEORIA QUANTISTICA DEI SOLIDI (235BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenta teorie e metodi per lo studio delle proprietà di stato fondamentale e le eccitazioni elettroniche in sistemi a molti elettroni. In particolare: Teorie di campo medio per il calcolo degli stati elettronici nei materiali; approssimazioni a singola particella e loro superamento. Teoria del funzionale densità e sua implementazione computazionale. Teoria a molti corpi degli stati eccitonici. Teoria dei plasmoni e schermo dielettrico nei cristalli. Densità degli stati proiettata e funzione di Green. Momenti di una Hamiltoniana e funzione di Green. Il problema classico dei momenti e sua soluzione con frazioni continue. Il metodo ricorsivo di Haydock-Heine-Kelly-Lanzos. Equazione di Dyson e Metodo di rinormalizzazione per gli stati elettronici. Costruzione di Hamiltoniane tight-binding ridotte per il calcolo di stati elettronici in sistemi multilayer. Metodi ricorsivi e trasporto elettronico. Superconduttività: aspetti fenomenologici, teorie termodinamiche, teoria dei London, teoria di Pippard, teoria di Ginzburg-Landau. Interazione elettrone-elettrone mediata da fononi; teoria BCS, Teoria di Bogoliubov-Valatin, Tunneling Giaever e tunneling Josephson. Riflessione di Andreev.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
TEORIE DELLA GRAVITAZIONE (251BB) <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.					
<b>TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S (140BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>TEORIE DI CAMPO STATISTICHE (0017B)</b> <b>Obiettivi</b> E' un corso avanzato sulle teorie di campo statistiche, che vengono generalmente definite attraverso un approccio funzionale, analogo a quello delle teorie di campo quantistiche. Viene introdotto, e approfondito, il framework del gruppo di rinormalizzazione alla Wilson, che rappresenta uno dei paradigmi fondamentali per lo studio dei fenomeni critici (generalmente osservati alle transizioni di fase classiche e quantistiche) e per estendere la definizione delle teorie di campo quantistiche interagenti ai regimi non perturbativi. Il corso affronta questioni connesse con la descrizione dei comportamenti dei sistemi statistici a molti corpi all'equilibrio, e della loro dinamica all'equilibrio e fuori equilibrio. Viene infine discusso un approccio non perturbativo molto utilizzato nell'ambito delle teorie di campo fortemente interagenti, che consiste nello sviluppo rispetto all'inverso del numero di componenti del campo fondamentale (espansione a grandi N).	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>TEORIE DI CAMPO STATISTICHE S (0018B)</b> <b>Obiettivi</b> E' un corso avanzato sulle teorie di campo statistiche, che vengono generalmente definite attraverso un approccio funzionale, analogo a quello delle teorie di campo quantistiche. Viene introdotto, e approfondito, il framework del gruppo di rinormalizzazione alla Wilson, che rappresenta uno dei paradigmi fondamentali per lo studio dei fenomeni critici (generalmente osservati alle transizioni di fase classiche e quantistiche) e per estendere la definizione delle teorie di campo quantistiche interagenti ai regimi non perturbativi. Il corso affronta questioni connesse con la descrizione dei comportamenti dei sistemi statistici a molti corpi all'equilibrio, e della loro dinamica all'equilibrio e fuori equilibrio.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<b>THEORY OF NUCLEAR INTERACTION (0015B)</b> <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni. Metodi numerici con relative esercitazioni.					
THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S (0016B) <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY (187BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

## Anno di corso non specificato

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY / SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI (384BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
SPECTROSCOPY AND MICROSCOPY OF NANOMATERIALS / SPETTROSCOPIA E MICROSCOPIA DEI NANOMATERIALI (383BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

## Percorso di Studio: FISICA MEDICA (10)

CFU totali: 828, di cui 57 derivanti da AF obbligatorie e 771 da AF a scelta

Sede Didattica

Università di Pisa

1° Anno (anno accademico 2024/2025)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
3D AND 4D NANOMATERIALS AND DEVICES (0005B) <b>Obiettivi</b> Main topics and knowledge targeted: Physical principles and experimental methods for realizing and characterizing intelligent materials. Stimuli-responsive properties (structure, optical, transport). Three-dimensional fabrication at multiple length-scales. Organics, molecular materials. Nanocomposites. Shape-memory systems. Liquid crystal elastomers. Photochromic and thermochromic materials. Relevant physical processes and technologies: polymerization processes, multiphoton processes, nanolithography, material extrusion and jetting, additive nano-manufacturing.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
ACCELERATOR PHYSICS / MACCHINE ACCELERATRICI (217BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
ACCELERATOR PHYSICS S / MACCHINE ACCELERATRICI S (107BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
ANALISI STATISTICA DEI DATI (193BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
ASTROFISICA GENERALE (368BB) <b>Obiettivi</b> Il corso intende trattare alcuni dei principali problemi dell'astrofisica moderna, illustrando in modo interdisciplinare le differenti tecniche necessarie per affrontare i problemi cosmici.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS /ASTROPARTICELLE (192BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S (063BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI (226BB) <b>Obiettivi</b> La fisica dell'astrofisica e le base di osservazioni. Equilibrio statistico, processi radiativi (atomi, molecoli, processi continui termici e non), trasporto radiativo e formazione	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05

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.					
BIOFISICA (196BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
BIOFISICA CELLULARE // CELL BIOPHYSICS (386BB) <b>Obiettivi</b> L'insegnamento fornisce le basi fisiche che caratterizzano i sistemi complessi che costituiscono l'unità più semplice della vita, la cellula. In particolare: • termodinamica dei sistemi biologici lontani dall'equilibrio e ruolo della selezione naturale • strutture alla nanoscala come piattaforme per i processi biologici e la loro regolazione • applicazione di tecniche fisiche sperimentali allo studio dei processi fisici intracellulari, con particolare riguardo alla microscopia/nanoscopia ottica.	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
BIOPHYSICS (268BB)	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
BIOPHYSICS OF eFLASH THERAPY (0008B) <b>Obiettivi</b> The goal of the course is to introduce the student to the physical and biological problems related to the FLASH effect, an in vivo biological effect in which tissue toxicities, typical of radiotherapy, can be reduced while maintaining the same efficacy on tumor. The following topics will be covered: i) Mechanisms of biological damage induced by ionizing radiation. ii) Radiobiological modelling iii) Introduction to radiotherapy. iv) FLASH effect: review of in vivo and in vitro experiments and of radiobiological models. v) Radiobiological modelling of the FLASH effect by Monte Carlo and Molecular Dynamics approaches. vi) Experimental methods and techniques for FLASH effect investigation.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/07
BIOROBOTICA E SISTEMI COMPLESSI (392BB) <b>Obiettivi</b> Active matter and smart materials: from cell motility to micro-robots: Physics and geometry of smart materials; Cell biophysics and micro-motility; Scaling laws for micro-nano robotics; Animal and robot locomotion. Systems Bioengineering: Processing of biological signals; Adaptive Oscillators; Computational Neuroscience, spiking neurons networks; Hybrid models for the development of neural interfaces	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPLEX SYSTEMS / SISTEMI COMPLESSI (230BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS (360BB)	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

<p><b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso e' l'insegnamento di tecniche di programmazione e di calcolo nel contesto della fisica sperimentale e applicata. Sono previsti due moduli su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, uno incentrato sugli strumenti di base (strumenti di collaborazione, linguaggio python, classi, algoritmi), e uno di approfondimento (calcolo parallelo e machine learning), e un ulteriore modulo (3 CFU) a scelta tra due programmi di approfondimento specifici per High Energy Physics o Medical Image Analys</p>					
<p>COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S (365BB) <b>Obiettivi</b> 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 parti su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, una incentrata sugli strumenti di base (3 CFU) e una di approfondimento (3 CFU).</p>	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<p>COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO S/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE S (275BB) <b>Obiettivi</b> 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.</p>	6	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<p>DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE (0009B) <b>Obiettivi</b> The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from</p>	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01



processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength					
DOSIMETRY/ DOSIMETRIA (198BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
ELEMENTS OF PHYSIOLOGY, PHYSIOPATHOLOGY AND DIAGNOSTICS / ELEMENTI DI FISILOGIA, FISIOPATOLOGIA E DIAGNOSTICA (478EE) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	D	A scelta dello studente	BIO/09
EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY / ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA (369BB) <b>Obiettivi</b> Cosmologia osservativa; formazione delle strutture dal fondo cosmico a microonde alle galassie odierne; evoluzione dinamica e chimica delle galassie e delle loro componenti (stelle, mezzo interstellare, materia oscura)	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
FISICA NUCLEARE (206BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
FISICA STATISTICA (207BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce un'introduzione alla meccanica statistica di equilibrio, per sistemi classici e quantistici. In particolare si occupa di: - proprietà termodinamiche dei gas di particelle classiche interagenti (equazione di van der Waals, metodi perturbativi ed espansioni in cluster); - transizioni di fase e teoremi di Lee-Yang; - fenomeni critici (teoria di Ginzburg-Landau, cenni sul gruppo di rinormalizzazione e universalità); - statistiche quantistiche e gas quantistici non interagenti (condensazione di Bose-Einstein; proprietà magnetiche dei gas di fermioni liberi); - seconda quantizzazione e sistemi a molti corpi quantistici (gas di Bose debolmente interagenti; sistemi fermionici su reticolo); - transizioni di fase quantistiche (soluzione del modello di Ising quantistico 1D)	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
FISICA TEORICA 1 (213BB) <b>Obiettivi</b> Fornire le basi della teoria di campo quantistica, che è	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02

<p>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.</p>					
<p><b>FLEXIBLE AND NANO-ELECTRONICS (0004B)</b>  <b>Obiettivi</b>  The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in</p>	<p>9</p>	<p>LM-17</p>	<p>B</p>	<p>Microfisico e della struttura della materia</p>	<p>FIS/03</p>

nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications.					
FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI (305BB) <b>Obiettivi</b> Conoscenza di base quantitativa della fisica delle particelle elementari e delle loro interazioni, dal punto di vista fenomenologico e sperimentale. Capacità di valutare quantitativamente processi ed esperimenti. Conoscenza dello sviluppo temporale e delle principali scoperte.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA (304BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS (380BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenta argomenti avanzati nel campo della strumentazione per la fisica delle particelle, con particolare attenzione alle applicazioni in fisica nucleare e delle particelle, ma con esempi anche da altri campi. Gli studenti acquisiranno la conoscenza delle moderne tecnologie dei sensori e relativa elettronica, e di come possono essere organizzati in un sistema di rivelazione. Verranno anche forniti esempi di come la strumentazione avanzata è utilizzata nelle misure di fisica.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
INTRODUCTION TO MOLECULAR BIOPHYSICS / INTRODUZIONE ALLA BIOFISICA MOLECOLARE (389BB) <b>Obiettivi</b> L'insegnamento introduce a concetti di base come la struttura delle biomolecole (proteine, acidi nucleici, carboidrati, cofattori, lipidi) e le loro funzioni (proteine strutturali, enzimi, recettori, proteine di membrana; Acidi nucleici: deposito e trasferimento dell'informazione genetica; componenti della membrana cellulare). Si illustrano inoltre i principali metodi di spettroscopia molecolare (Spettroscopia elettronica: assorbimento UV/vis, dicroismo circolare, fluorescenza e fosforescenza; Spettroscopia vibrazionale di biomolecole: IR e Raman) e di indagine strutturale (Cristallografia a raggi X, NMR e microscopia elettronica). Una parte del corso è dedicata alla modellistica delle biomolecole: modelli atomistici, metodi quanto-meccanici (QM), meccanica molecolare e campi di forza empirici, dinamica molecolare e accelerata (replica exchange e metadinamica) fino alla predizione e disegno di strutture di proteine. Si illustrano inoltre i concetti generali alla base dei modelli a multiscala: PES/FES, variabili collettive, modelli coarse grained, a rete elastica e modelli di Go, modelli di	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

solvente implicito, modelli di membrana implicita, altri modelli "continui". Infine sono illustrate alcune applicazioni riguardanti: i recettori di membrana e la trasmissione degli impulsi nervosi, le interfacce bio-non bio (ad es, nanoparticelle funzionalizzate), la struttura e la fotofisica delle proteine fluorescenti.					
MEDICAL PHYSICS 1/ FISICA MEDICA 1 (381BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce le basi fisiche delle tecniche diagnostiche in radiologia, in medicina nucleare con radioisotopi emettitori di singolo fotone e di positroni, e delle tecniche usate in radioterapia. In particolare vengono approfonditi i seguenti argomenti: interazioni radiazione materia; radioattività e decadimenti radioattivi; radiografia, tomografia computerizzata e tomosintesi; imaging in medicina nucleare (SPECT, PET); risonanza magnetica nucleare; ecografia; radiobiologia e radioterapia convenzionale	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/07
MEDICAL PHYSICS 2 / FISICA MEDICA 2 (393BB) <b>Obiettivi</b> Introduzione all'imaging molecolare Tomografia a Emissione di Positroni (PET): strumentazione e metodi avanzati Imaging ibrido PET/CT: correzione per attenuazione Imaging ibrido PET/MR: tecnologia e metodi Strumentazione per imaging preclinico CT, SPECT/CT, PET/CT e PET/MR Principi di imaging ottico: imaging a fluorescenza e bioluminescenza Imaging a luce Cerenkov (CLI) Cenni di imaging a ultrasuoni e imaging fotoacustico Radioterapia con particelle cariche Introduzione alla ricostruzione delle immagini tomografiche Metodi di ricostruzione analitici Metodi di ricostruzione iterativi	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
MEDICAL PHYSICS LABORATORY / LABORATORIO DI FISICA MEDICA (104BB) <b>Obiettivi</b> 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 di codici Monte Carlo. <b>Moduli</b> MEDICAL PHYSICS LABORATORY B / LABORATORIO DI FISICA MEDICA (2) MEDICAL PHYSICS LABORATORY A / LABORATORIO DI FISICA MEDICA (1)	12  6 6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE (185BB) <b>Obiettivi</b> ornire conoscenza sulle metodologie statistiche avanzate per la simulazione montecarlo impiegate sia nella progettazione che nella comprensione delle risposte di complessi apparati sperimentali.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
METODI NUMERICI PER LA FISICA (326BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

numerica attualmente in utilizzo nella ricerca in fisica e le sue applicazioni piu` rilevanti. Nella parte introduttiva verranno ricapitolati alcuni argomenti di analisi numerica di base, necessari per poter proficuamente affrontare i moduli specifici. Lo studente dovra` 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.					
<b>METODI NUMERICI PER LA FISICA S (374BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso e` 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 affrontera` una particolare tecnica numerica attualmente in utilizzo nella ricerca in fisica e le sue applicazioni piu` rilevanti. Nella parte introduttiva verranno ricapitolati alcuni argomenti di analisi numerica di base, necessari per poter proficuamente affrontare i moduli specifici. Lo studente dovra` scegliere 2 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.	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<b>MICROBIOROBOTICS (0021B)</b>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY (327BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<b>NEUROENGINEERING (0020B)</b> <b>Obiettivi</b> Principles of bioengineering. Invasive and non-invasive neural recordings. Brain machine interface design. Processing of neural information. Spiking neurons networks and mesoscale cortical networks. From healthy to pathological neural dynamics. Hybrid models for the development of neural interfaces. Neural manifolds. Cognitive functions. Long and short term memory in distributed neural networks.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE / RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE (124BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce le conoscenze di base della RMN trattata in forma classica e quantistica. Vengono discussi i pricipi e le tecniche della tomografia 3D con risonanza magnetica per l'imaging "in-vivo", la spettroscopia e l'imaging funzionale	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<b>PHYSICS OF BIOSYSTEMS / FISICA DEI BIOSISTEMI (387BB)</b>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura	FIS/03

<b>Obiettivi</b> L'insegnamento si focalizza sui principi fisici che caratterizzano la materia attiva, partendo dalla comprensione dei meccanismi che regolano i processi nei sistemi biologici "modello" per arrivare alla caratterizzazione di sistemi e materiali "bio-ispirati", introducendo nuovi modelli ed approcci di particolare rilevanza nell'ambito della scienza dei materiali. Particolare attenzione è dedicata alle strutture, alle simmetrie, alle interazioni molecolari, ai processi di self-assembly, alle proprietà meccaniche e mecano-sensibili dei sistemi biologici coinvolti nello sviluppo di attuatori e materiali innovativi. Inoltre si introducono le più recenti tecniche di imaging, sviluppate nel campo della microscopia ottica a fluorescenza e a super-risoluzione, e le loro applicazioni allo studio dei processi e delle interazioni molecolari in sistemi biologici di interesse.				della materia	
<b>QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES (376BB)</b> <b>Obiettivi</b> Computazione quantistica: basi della computazione quantistica, della manipolazione dei qubit e dei principali algoritmi (Deutsch, Grover, Shor); programmazione quantistica usando il linguaggio Microsoft e IBM Simulazione quantistica: concetti di base, realizzazione fisica su diverse piattaforme Comunicazione quantistica: principali protocolli di quantum key exchange; analisi di sicurezza dei protocolli Metrologia quantistica: principi di base, implementazione con NV centres e atomi freddi .	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<b>QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS (0007B)</b> <b>Obiettivi</b> Quantum technologies exploit the capability to control quantum properties of matter to devise sensors with unprecedented performance, that allow us to perform otherwise unattainable measurements in terms of sensitivity and resolution. The course focuses on quantum sensing and describes emerging technologies that exploit quantum aspects of the matter. In particular, it will focus on superconducting devices (SQUIDS, TESs, KIDs, Qubits, parametric amplifiers, etc.) and semiconductor devices with low dimensionality with applications to fundamental interaction physics such as dark matter search, axions and Majorana's neutrino, neutrino coherent scattering, high-frequency gravitational waves and other. Some real experiments using cryogenic quantum sensors will be discussed, delving into the experimental and scientific aspects that defined their conception.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
<b>RELATIVITA' GENERALE (228BB)</b> <b>Obiettivi</b> Descrizione geometrica dello spazio e del tempo 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS (338BB)</b> <b>Obiettivi</b> Lo studente apprenderà le basi della elaborazione numerica dei segnali ed alcune applicazioni alla fisica. Caratteristiche dei segnali di interesse fisico. Trasformate di Fourier discrete e a tempo discreto. Trasformata z. Sistemi lineari tempo	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

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.					
SOLID STATE PHYSICS / FISICA DELLO STATO SOLIDO (204BB) <b>Obiettivi</b> 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. Proprieta' ottiche di semiconduttori e isolanti. Aspetti fondamentali della fisica dei semiconduttori.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
STELLAR PHYSICS S (098BB) <b>Obiettivi</b> Analisi delle basi fisiche del funzionamento delle strutture stellari e descrizione delle caratteristiche delle stelle durante le diverse fasi evolutive. Syllabus: Introduzione generale sulle caratteristiche delle stelle nella Via Lattea e nel Gruppo Locale. Condizioni di equilibrio per le strutture stellari. Meccanismi fisici in gioco nelle strutture stellari: equazione di stato della materia stellare, produzione di energia nucleare, catture neutroniche, meccanismi di interazione fotone-materia, trasporto di energia (radiativo, convettivo e conduttivo), nucleosintesi stellare. Equazioni di struttura stellare. Formazione stellare ed evoluzione iniziale. Fasi di combustione di H centrale ed in shell. Il modello solare. Fasi di combustione di elio. Fasi evolutive avanzate.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
STELLAR PHYSICS/ FISICA STELLARE (211BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
THEORY OF NUCLEAR INTERACTION (0015B) <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni. Metodi numerici con relative esercitazioni.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S (0016B) <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

## 2° Anno (anno accademico 2025/2026)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
3D AND 4D NANOMATERIALS AND DEVICES (0005B) <b>Obiettivi</b> Main topics and knowledge targeted: Physical principles and experimental methods for realizing and characterizing	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

intelligent materials. Stimuli-responsive properties (structure, optical, transport). Three-dimensional fabrication at multiple length-scales. Organics, molecular materials. Nanocomposites. Shape-memory systems. Liquid crystal elastomers. Photochromic and thermochromic materials. Relevant physical processes and technologies: polymerization processes, multiphoton processes, nanolithography, material extrusion and jetting, additive nano-manufacturing.					
ACCELERATOR PHYSICS S / MACCHINE ACCELERATRICI S (107BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
ACCELERATORI LASER-PLASMA (357BB) <b>Obiettivi</b> 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 agli 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).	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
ANALISI STATISTICA DEI DATI (193BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
ASTROFISICA GENERALE (368BB) <b>Obiettivi</b> Il corso intende trattare alcuni dei principali problemi dell'astrofisica moderna, illustrando in modo interdisciplinare le differenti tecniche necessarie per affrontare i problemi cosmici.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS /ASTROPARTICELLE (192BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05

ASTROPARTICLE PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S (063BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPHYSICAL BLACK HOLES/ BUCHI NERI ASTROFISICI (359BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
ATOM OPTICS/ OTTICA ATOMICA (221BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
BIOFISICA (196BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
BIOPHYSICS (268BB)	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
CHIMICA FISICA MOLECOLARE (244CC) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	CHIM/02

lineare. Cenno alla Teoria del Funzionale della Densità di carica (DFT).					
COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S (091BB) <b>Obiettivi</b> Studio della struttura delle stelle nane bianche e delle stelle di neutroni a partire dalle proprietà della materia ad alta densità. Fenomeni astrofisici associati: Pulsars, Supernovae, GRBs.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE (278BB) <b>Obiettivi</b> Studio della struttura delle stelle nane bianche e delle stelle di neutroni a partire dalle proprietà della materia ad alta densità. Fenomeni astrofisici associati: Pulsars, Supernovae, GRBs	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COMPLEX SYSTEMS - NEURAL DYNAMICS / SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI (279BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce alcuni metodi matematici utilizzati per lo studio dei sistemi neurali	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPLEX SYSTEMS / SISTEMI COMPLESSI (230BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS (360BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso è l'insegnamento di tecniche di programmazione e di calcolo nel contesto della fisica sperimentale e applicata. Sono previsti due moduli su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, uno incentrato sugli strumenti di base (strumenti di collaborazione, linguaggio python, classi, algoritmi), e uno di approfondimento (calcolo parallelo e machine learning), e un ulteriore modulo (3 CFU) a scelta tra due programmi di approfondimento specifici per High Energy Physics o Medical Image Analysis	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S (365BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso è 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 parti su strumenti di programmazione di utilità	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

trasversale per la fisica sperimentale e applicata, una incentrata sugli strumenti di base (3 CFU) e una di approfondimento (3 CFU).					
CONDENSED MATTER PHYSICS (370BB) <b>Obiettivi</b> 9 CFU (6 CFU + 1 moduli da 3 CFU, lo studente ne sceglie uno tra due offerti) Modulo da 6 CFU Introduction to the theory of electron liquids, Linear response theory, Many-body diagrammatic perturbation theory, Landau theory of Fermi liquids Modulo A da 3 CFU Quantum theory of transport and the role of electron-electron interactions, Semiclassical and quantum theories of electron transport, The fractional quantum Hall effect Modulo B da 3 CFU Superconductivity, Quantum matter without quasiparticles	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO S/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE S (275BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE (274BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
CROMODINAMICA QUANTISTICA (197BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE (0009B) <b>Obiettivi</b> The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

processing Discussion of noise in experiments in physics  
Detection of electromagnetic radiation down to single  
photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum  
techniques and adopted in quantum experiments Single-  
photon experiments with parametric down conversion  
source: entanglement, quantum correlations, interference, etc  
Superconducting QUantum Interference Device (SQUID)  
use and characterization Thermal camera for infrared  
detection: imaging with multi-pixels detector Detection of  
astronomical signals: observation of the Milky Way using  
single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength  
The course will feature advanced laboratory experiments  
focused on the different approaches to the detection of  
electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from  
the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal  
processing Discussion of noise in experiments in physics  
Detection of electromagnetic radiation down to single  
photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum  
techniques and adopted in quantum experiments Single-  
photon experiments with parametric down conversion  
source: entanglement, quantum correlations, interference, etc  
Superconducting QUantum Interference Device (SQUID)  
use and characterization Thermal camera for infrared  
detection: imaging with multi-pixels detector Detection of  
astronomical signals: observation of the Milky Way using  
single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength  
The course will feature advanced laboratory experiments  
focused on the different approaches to the detection of  
electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from  
the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal  
processing Discussion of noise in experiments in physics  
Detection of electromagnetic radiation down to single  
photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum  
techniques and adopted in quantum experiments Single-  
photon experiments with parametric down conversion  
source: entanglement, quantum correlations, interference, etc  
Superconducting QUantum Interference Device (SQUID)  
use and characterization Thermal camera for infrared  
detection: imaging with multi-pixels detector Detection of  
astronomical signals: observation of the Milky Way using  
single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength  
The course will feature advanced laboratory experiments  
focused on the different approaches to the detection of  
electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from  
the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal  
processing Discussion of noise in experiments in physics

Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength					
DISORDERED SYSTEMS OUT OF EQUILIBRIUM / SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO (309BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
DOSIMETRY/ DOSIMETRIA (198BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
ELEMENTS OF PHYSIOLOGY, PHYSIOPATHOLOGY AND DIAGNOSTICS / ELEMENTI DI FISIOLOGIA, FISIOPATOLOGIA E DIAGNOSTICA (478EE) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	D	A scelta dello studente	BIO/09
ELETTRODINAMICA DEI MEZZI CONTINUI (356BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
ELETTRONICA E SENSORI (080BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (323BB) <b>Obiettivi</b> Presentazione e commento di esperimenti particolarmente significativi nella storia delle particelle elementari dalla seconda metà del 1900.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI (170BB) <b>Obiettivi</b> Dynamics of planetary systems: few body problems, tidal	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05

<p>interactions, resonance and chaos, effects of binarity, effects of stars in a cluster environment (fly-by effects). 2. Planetary interiors: geophysics of Jovian and Terrestrial planets, plate tectonics and subsolidus convection, magnetic field generation, phase and chemical stratification; Kuiper Belt objects, icy bodies, and planetinos. 3. Planetary atmospheres and radiative transfer, stability of climate, feedback mechanisms. 4. Sun-planet connections: stellar winds, magnetospheres. 5. Stellar and planetary system formation: stability of pre-solar accretion disks, T Tau stars and protostars, UX Ori stars, debris disks and their evolution, asteroids and planetesimals. 6. Exoplanetary searches: transits, proper motion, radial velocities, high contrast direct imaging.</p>					
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S (307BB)  <b>Obiettivi</b>  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 integrazione in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattati 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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE (306BB)  <b>Obiettivi</b>  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 integrazione in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattati 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</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

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 e' 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.					
EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY / ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA (369BB) <b>Obiettivi</b> Cosmologia osservativa; formazione delle strutture dal fondo cosmico a microonde alle galassie odierne; evoluzione dinamica e chimica delle galassie e delle loro componenti (stelle, mezzo interstellare, materia oscura)	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI (084BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
FISICA DEI MATERIALI IN BASSA DIMENSIONALITÀ (352BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE (092BB) <b>Obiettivi</b> 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 alcune fra le più importanti tecniche e metodi di analisi superficiale. Si promuove lo sviluppo di spirito critico e di sintesi volta a individuare i concetti fondamentali alla base delle materie di studio. Si promuove	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

l'approfondimento autonomo da parte degli studenti degli argomenti trattati.					
<b>FISICA NUCLEARE (206BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<b>FISICA STATISTICA (207BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce un'introduzione alla meccanica statistica di equilibrio, per sistemi classici e quantistici. In particolare si occupa di: - proprietà termodinamiche dei gas di particelle classiche interagenti (equazione di van der Waals, metodi perturbativi ed espansioni in cluster); - transizioni di fase e teoremi di Lee-Yang; - fenomeni critici (teoria di Ginzburg-Landau, cenni sul gruppo di rinormalizzazione e universalità); - statistiche quantistiche e gas quantistici non interagenti (condensazione di Bose-Einstein; proprietà magnetiche dei gas di fermioni liberi); - seconda quantizzazione e sistemi a molti corpi quantistici (gas di Bose debolmente interagenti; sistemi fermionici su reticolo); - transizioni di fase quantistiche (soluzione del modello di Ising quantistico 1D)	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>FISICA TEORICA 1 (213BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>FISICA TEORICA 2 (214BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>FLEXIBLE AND NANO-ELECTRONICS (0004B)</b> <b>Obiettivi</b> The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

<p>electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications.</p>					
<p>FONDAMENTI DI OTTICA (424BB)  <b>Obiettivi</b>  Il corso copre le basi dell'ottica classica, discutendo i concetti di interferenza, diffrazione e birifrangenza, con l'obiettivo di giungere alla discussione di alcuni fenomeni rilevanti per le loro applicazioni in ambito fotonico, optoelettronico, della microscopia ottica avanzata e della manipolazione della materia. Il corso prevede la visita ad alcuni laboratori di ricerca. - Richiami di ottica geometrica ed elettromagnetismo. Interferenza, interferometri. Cavità ottiche. Diffrazione. - Polarizzazione della luce, dicroismo, birifrangenza, effetti acusto- ed elettro-ottici. - Fasci gaussiani, radiazione laser. Guide d'onda. Basi di ottica a trasformata di Fourier. Microscopia ottica e sue varianti sub-diffrazione. Pinzette ottiche. - Visita di alcuni laboratori di ottica (4 ore)</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI (305BB) <b>Obiettivi</b> Conoscenza di base quantitativa della fisica delle particelle elementari e delle loro interazioni, dal punto di vista fenomenologico e sperimentale. Capacità di valutare quantitativamente processi ed esperimenti. Conoscenza dello sviluppo temporale e delle principali scoperte.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA (304BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI (257BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S (256BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS (380BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenta argomenti avanzati nel campo della strumentazione per la fisica delle particelle, con particolare attenzione alle applicazioni in fisica nucleare e delle particelle, ma con esempi anche da altri campi. Gli studenti acquisiranno la conoscenza delle moderne tecnologie dei sensori e relativa elettronica, e di come possono essere	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

organizzati in un sistema di rivelazione. Verranno anche forniti esempi di come la strumentazione avanzata è utilizzata nelle misure di fisica.					
INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITÀ (364BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/05
KINETIC THEORY OF PLASMAS/PLASMI TEORIA CINETICA (355BB) <b>Obiettivi</b> Equazione di Vlasov. Soluzioni stazionarie. Onde in teoria Vlasov. Smorzamento di Landau. Intrappolamento di particelle. Instabilità risonanti. L'eq. di Vlasov in plasm magnetizzati. Verso la MHD: onde di Alfvén. L'equazione di Ohm generalizzata. Onde di plasma di grande ampiezza. Trasporto anomalo nei plasm di fusione.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
LASER A STATO SOLIDO (190BB) <b>Obiettivi</b> 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) Apparati 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.	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (212ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (717ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
MEDICAL PHYSICS 1/ FISICA MEDICA 1 (381BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce le basi fisiche delle tecniche diagnostiche in radiologia, in medicina nucleare con radioisotopi emettitori di singolo fotone e di positroni, e delle tecniche usate in radioterapia. In particolare vengono approfonditi i seguenti argomenti: interazioni radiazione materia; radioattività e decadimenti radioattivi; radiografia, tomografia computerizzata e tomosintesi; imaging in medicina nucleare	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/07

(SPECT, PET); risonanza magnetica nucleare; ecografia; radiobiologia e radioterapia convenzionale					
MEDICAL PHYSICS 2 / FISICA MEDICA 2 (393BB) <b>Obiettivi</b> Introduzione all'imaging molecolare Tomografia a Emissione di Positroni (PET): strumentazione e metodi avanzati Imaging ibrido PET/CT: correzione per attenuazione Imaging ibrido PET/MR: tecnologia e metodi Strumentazione per imaging preclinico CT, SPECT/CT, PET/CT e PET/MR Principi di imaging ottico: imaging a fluorescenza e bioluminescenza Imaging a luce Cerenkov (CLI) Cenni di imaging a ultrasuoni e imaging fotoacustico Radioterapia con particelle cariche Introduzione alla ricostruzione delle immagini tomografiche Metodi di ricostruzione analitici Metodi di ricostruzione iterativi	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE (185BB) <b>Obiettivi</b> ornire conoscenza sulle metodologie statistiche avanzate per la simulazione montecarlo impiegate sia nella progettazione che nella comprensione delle risposte di complessi apparati sperimentali.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
METODI NUMERICI DELLA FISICA TEORICA (218BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/02
METODI NUMERICI PER LA FISICA (326BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
METODI NUMERICI PER LA FISICA S (374BB) <b>Obiettivi</b> 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 2 fra 8 diversi moduli proposti, ciascuno equivalente a 3 CFU, e raggiungere in	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

ciascuno di questi le competenze necessarie per portare avanti in modo autonomo un progettino numerico sulle tematiche relative al modulo.					
MICROBIOROBOTICS (0021B)	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
MODELLIZZAZIONE DEI SISTEMI COMPLESSI (111BB) <b>Obiettivi</b> Il corso è mirato a fornire gli strumenti teorici per la modellizzazione di sistemi complessi.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY (327BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
NEUROENGINEERING (0020B) <b>Obiettivi</b> Principles of bioengineering. Invasive and non-invasive neural recordings. Brain machine interface design. Processing of neural information. Spiking neurons networks and mesoscale cortical networks. From healthy to pathological neural dynamics. Hybrid models for the development of neural interfaces. Neural manifolds. Cognitive functions. Long and short term memory in distributed neural networks.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
NONLINEAR DYNAMICS / DINAMICA NON LINEARE (322BB) <b>Obiettivi</b> Gli obiettivi principali di questo corso sono quelli di promuovere l'acquisizione di competenze teoriche, sia di base che avanzate, per lo studio di sistemi dinamici nonlineari per i quali l'evoluzione temporale dei corrispondenti stati è determinata da leggi esclusivamente deterministiche. Questi sistemi dinamici (anche semplici) possono sviluppare comportamenti molto complessi, come ad esempio il caos deterministico. Pertanto, un'importante finalità del corso è quella di formare gli studenti in modo che siano in grado di utilizzare i principali approcci formali per lo studio e la caratterizzazione dinamica di sistemi nonlineari. Infine, per concretizzare l'applicazione dei principali approcci e metodi analitici del corso ad esempi concreti, una particolare attenzione verrà dedicata allo svolgimento di esercizi (in aula e per casa).	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE (358BB) <b>Obiettivi</b> Vengono presentati alcuni approcci non perturbativi allo studio delle teorie di campo quantistiche nel contesto delle interazioni fondamentali, della fisica statistica e della materia condensata. Il corso è diviso in tre parti, fra di loro interconnesse per vari aspetti ma ciascuna di per se	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

<p>autoconsistente e corrispondente ad un carico didattico di circa 3 CFU. Nella prima parte viene trattata la teoria del gruppo di rinormalizzazione e le tecniche di sviluppo di grande N; la seconda parte è dedicata alla formulazione e allo studio delle teorie di campo su reticolo; la terza parte è dedicata alle anomalie nelle teorie quantistiche di campo e allo studio delle teorie di campo conformi.</p>					
<p>NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE / RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE (124BB) <b>Obiettivi</b> 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</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<p>OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA (375BB) <b>Obiettivi</b> Il corso tratta argomenti rilevanti per lo studio della dinamica dei fenomeni oceanici, privilegiando le tematiche di carattere generale piuttosto che le questioni specifiche della circolazione locale. Sarà perciò introdotto il concetto di sistema complesso e le grandezze oceanografiche saranno considerate come caratteristiche emergenti, a larga scala, di specifici sistemi complessi (caotici e/o turbolenti). Dopo l'introduzione dei concetti generali sarà affrontato in particolare lo studio di alcuni importanti fenomeni oceanici, come le grandi correnti termoaline (per esempio, la Corrente del Golfo), il Nino/La Nina o la North Atlantic Oscillation.</p>	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
<p>PARTICLE PHYSICS / FISICA DELLE PARTICELLE (302BB) <b>Obiettivi</b> 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.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<p>PARTICLE PHYSICS S / FISICA DELLE PARTICELLE S (373BB) <b>Obiettivi</b> 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.</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
<p>PHYSICS FOR CULTURAL HERITAGE / FISICA APPLICATA AI BENI CULTURALI (418BB) <b>Obiettivi</b> L'insegnamento si prefigge di fornire un quadro ampio delle problematiche relative ai campi di indagine propri della fisica applicata ai beni culturali, trattando anche alcuni aspetti di base della conservazione, del restauro e dell'informatica. In tal modo gli studenti potranno avere una conoscenza, competenza e capacità di valutare gli ambiti ed i limiti di applicabilità delle specifiche metodologie (metodiche e tecniche fisiche, chimiche, mineralogico-</p>	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/07

petrografiche, naturalistiche e informatiche innovative necessarie allo studio e alla conservazione dei Beni culturali). Attraverso l'illustrazione di diversi casi studio, l'insegnamento intende inoltre fornire agli studenti alcuni esempi di linee di ricerca nel campo della diagnostica dei Beni culturali, dei metodi di datazione e provenienza, nonché della caratterizzazione dei materiali utilizzati nel settore dei Beni culturali.					
PHYSICS OF PHOTONIC DEVICES/ FISICA DEI DISPOSITIVI FOTONICI (203BB) <b>Obiettivi</b> Il corso mira a fornire una conoscenza dei principali costituenti di un laser a stato solido: cavita', 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. Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico. Saranno inoltre affrontate (mutuando 8 ore di lezione da un corso di chimica) i seguenti argomenti: "Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico."	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI (353BB) <b>Obiettivi</b> 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, non linearità e non località 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 Dinamica non lineare: 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	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
PROVA FINALE (125ZW) <b>Moduli</b>	45	LM-17	E	Per la prova finale	NN, PROFIN_S

PROVA FINALE (1)	44				
ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO (2)	1				
<p>QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES (376BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Computazione quantistica: basi della computazione quantistica, della manipolazione dei qubit e dei principali algoritmi (Deutsch, Grover, Shor); programmazione quantistica usando il linguaggio Microsoft e IBM</p> <p>Simulazione quantistica: concetti di base, realizzazione fisica su diverse piattaforme</p> <p>Comunicazione quantistica: principali protocolli di quantum key exchange; analisi di sicurezza dei protocolli</p> <p>Metrologia quantistica: principi di base, implementazione con NV centres e atomi freddi .</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY (328BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<p>QUANTUM LIQUIDS (382BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Al termine dell'insegnamento, la/lo studente avrà sviluppato le conoscenze concettuali, procedurali e fattuali nella fisica dei liquidi quantistici all'equilibrio (modulo da 6 CFU) e dei sistemi quantistici aperti driven-dissipative (modulo da 3 CFU), e loro ingegnerizzazione come simulatori quantistici in piattaforme attuali di tecnologie quantistiche. In particolare: (a) Metodi teorici avanzati per predire e caratterizzare la fisica di liquidi quantistici all'equilibrio, loro relazione con metodi di simulazione quantistica, e classificazione per funzionalità e tipologie di problemi. Tra i metodi: risposta lineare, idrodinamica quantistica, funzionale di densità e di corrente, funzioni di Green e metodi non perturbativi, bosonizzazione. (b) Metodi teorici e numerici per sistemi quantistici fuori dall'equilibrio e driven-dissipative: sistemi Markoviani e non Markoviani, dissipation engineering, simulazione quantistica con metodi stocastici e tensor networks, misura e feedback, e applicazioni a tecnologie quantistiche, chimica e biologia quantistiche. (c) Principi di funzionamento delle principali piattaforme di tecnologie quantistiche: atomi, atomi dipolari e di Rydberg, ioni ultrafreddi, atomi in cavità QED; circuiti a superconduttore; fluidi di luce in cavità ottiche; sistemi a bassa dimensionalità. Loro uso come simulatori quantistici per materia condensata, fisica fondamentale, metrologia quantistica, gravità analogica, e cosmologia. Obiettivi formativi Riconoscere l'emergere delle proprietà macroscopiche nella complessità dei modelli microscopici che descrivono i liquidi quantistici all'equilibrio e driven-dissipative. Formalizzare i concetti e imparare ad affrontarli con i metodi sviluppati. Collegare la conoscenza concettuale e la formalizzazione con la fenomenologia e le applicazioni. Organizzare la conoscenza disciplinare in una mappa concettuale che include campi come termodinamica,</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

meccanica statistica e transizioni di fase, teorie di campo. Valutare criticamente articoli di ricerca specializzati. Progettare descrizioni teoriche per il comportamento dei liquidi quantici in diverse piattaforme sperimentali. Comunicare in modo efficace ed efficiente. Lavorare con autonomia, consapevolezza e capacità di autovalutazione. Sviluppare capacità di lavoro di squadra.					
QUANTUM OPTICS AND PLASMA PHYSICS / OTTICA QUANTISTICA E PLASMI (354BB) <b>Obiettivi</b> Competenze in Ottica Fisica, Ottica Quantistica, Applicazioni dei LASERS, Accelerazione LASER-Plasma di particelle e sorgenti secondarie di radiazione X e gamma	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO (227BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO S (377BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
RECENT HIGHLIGHTS IN FUNDAMENTAL INTERACTIONS (378BB) <b>Obiettivi</b> Corso monografico per presentare e discutere i più recenti risultati in un settore - variabile di anno in anno - delle interazioni fondamentali. Il corso inizierà con lezioni introduttive, seguite da seminari, letture di articoli, sessioni di discussione con particolare riferimento alle prospettive future.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
RELATIVITA' GENERALE (228BB) <b>Obiettivi</b> Descrizione geometrica dello spazio e del tempo in presenza di gravi fornita dalla teoria della relatività 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS (338BB) <b>Obiettivi</b> Lo studente apprenderà le basi della elaborazione numerica dei segnali ed alcune applicazioni alla fisica. 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
SOLID STATE PHYSICS / FISICA DELLO STATO SOLIDO (204BB)	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura	FIS/03

<b>Obiettivi</b> 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. Proprieta' ottiche di semiconduttori e isolanti. Aspetti fondamentali della fisica dei semiconduttori.				della materia	
SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA (043BB) <b>Obiettivi</b> 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.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
STELLAR PHYSICS S (098BB) <b>Obiettivi</b> Analisi delle basi fisiche del funzionamento delle strutture stellari e descrizione delle caratteristiche delle stelle durante le diverse fasi evolutive. Syllabus: Introduzione generale sulle caratteristiche delle stelle nella Via Lattea e nel Gruppo Locale. Condizioni di equilibrio per le strutture stellari. Meccanismi fisici in gioco nelle strutture stellari: equazione di stato della materia stellare, produzione di energia nucleare, catture neutroniche, meccanismi di interazione fotone-materia, trasporto di energia (radiativo, convettivo e conduttivo), nucleosintesi stellare. Equazioni di struttura stellare. Formazione stellare ed evoluzione iniziale. Fasi di combustione di H centrale ed in shell. Il modello solare. Fasi di combustione di elio. Fasi evolutive avanzate.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
STELLAR PHYSICS/ FISICA STELLARE (211BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
TEORIA DEI GRUPPI (286BB) <b>Obiettivi</b> Acquisire i concetti base e l'utilizzo della teoria dei gruppi in fisica: assiomi dei gruppi, gruppi finiti e infiniti, gruppi discreti e continui. Gruppi e algebre di Lie. Teoria delle rappresentazione. Gruppi familiari in fisica: SU(2), SU(3), SO(3), SO(4), Gruppo di Lorentz e di Poincare'. Teoria delle radici e pesi in algebre semi-semplici. Alcuni applicazioni in meccanica quantistica.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIE DELLA GRAVITAZIONE (251BB) <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S (140BB) <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività	6	LM-17	C	Attività formative	FIS/02

Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.				affini o integrative	
THEORY OF NUCLEAR INTERACTION (0015B) <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni. Metodi numerici con relative esercitazioni.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S (0016B) <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY (187BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

## Anno di corso non specificato

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
INFORMATICA CON LABORATORIO (0033A) <b>Obiettivi</b> Introdurre algoritmi (base) e strutture dati per risolvere problemi efficienti in tempo e/o spazio. Saranno trattate anche tecniche per valutare la complessità degli algoritmi e dei problemi. Infine, queste tecniche saranno sperimentate mediante implementazione nel linguaggio C++ e altre esperienze di laboratorio. Sviluppare capacità di base sull'utilizzo di strutture dati, e sulla comprensione e lo sviluppo di algoritmi efficienti in tempo e/o spazio.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	INF/01
MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY / SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI (384BB) <b>Obiettivi</b> 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,	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

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					
SPECTROSCOPY AND MICROSCOPY OF NANOMATERIALS / SPETTROSCOPIA E MICROSCOPIA DEI NANOMATERIALI (383BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

## Percorso di Studio: ASTRONOMIA E ASTROFISICA (11)

CFU totali: 669, di cui 57 derivanti da AF obbligatorie e 612 da AF a scelta

Sede Didattica

Università di Pisa

### 1° Anno (anno accademico 2024/2025)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND BASED ASTROPHYSICS (0027B)	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND-BASED ASTROPHYSICS: FROM MICROWAVES TO VISIBLE LIGHT (0013B) <b>Obiettivi</b> The course is divided into two parts of 18 hours each, which share the aim of providing knowledge for understanding the principles of design, operation and performance of complex ground instruments for astronomical use. The atmosphere's opacity to electromagnetic radiation allows astronomical observations to be carried out from the Earth in only two windows of the spectrum: the radio band (microwaves) and the optical-infrared band (from ultraviolet to thermal infrared). The two parts of the course therefore refer to the two frequency bands, illustrating for each of them the main technologies implemented in new generation astronomical instruments. In particular, for the radio band, the course will focus on the first stages that constitute the reception chain of radio telescopes, starting from the antenna/array systems up to microwave components and cryogenic receivers. For these components, the course will provide the basic concepts, the possible architectural solutions, the main figures of merit, the analysis and development techniques, the challenges of the future instruments and finally some examples. This part will be concluded with the possibility of visiting a radio astronomy station operated by the National Institute of Astrophysics. Regarding the visible band, the course will deal with optical-infrared telescopes from the ground and in	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/05

particular the adaptive optics technique, which allows full exploitation of the current large instruments (8-10m) and the generation under construction (25-40 m). The course of adaptive optics will focus on: elements of optics and optical telescopes; components and adaptive systems configuration; main existing systems and under development for the next generation of telescopes. Finally, the students will have the opportunity to visit the adaptive optics laboratories of the INAF headquarters in Florence.					
ASTROFISICA (194BB)	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS /ASTROPARTICELLE (192BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S (063BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPHYSICAL BLACK HOLES/ BUCHI NERI ASTROFISICI (359BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI (226BB) <b>Obiettivi</b> La fisica dell'astrofisica e le basi di osservazioni. Equilibrio statistico, processi radiativi (atomi, molecole, processi continui termici e non), trasporto radiativo e formazione degli spettri. Idrodinamica: equazioni di moto, vorticità, viscosità, autosimilarità, instabilità, turbolenza.	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05

Applicazioni in astrofisica, e.g. venti, supernovae/novae, regioni H II, convezione, dischi d'accrescimento.					
ASTROPHYSICS AND MULTIMESSENGER LABORATORY (0010B) <b>Obiettivi</b> The course will provide the students a laboratory approach to the main aspects of modern observational astrophysics in the multimessenger context. With a series of dedicated experiences, the students will learn how to perform observations and data analysis with telescopes operating across the electromagnetic spectrum from radio to gamma rays and with gravitational wave detectors. At the end of the course the students will be able to: know the main experimental techniques for electromagnetic and gravitational wave detection; access to archives of astrophysical data; perform observations and data reduction; perform data manipulation and analysis of electromagnetic (radio, optical, IR, UV, X-ray and gamma rays) and gravitational wave observations; develop data analysis projects based on state-of-the art tools used in the modern multimessenger astrophysics research.	12	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S (091BB) <b>Obiettivi</b> Studio della struttura delle stelle nane bianche e delle stelle di neutroni a partire dalle proprietà della materia ad alta densità. Fenomeni astrofisici associati: Pulsars, Supernovae, GRBs.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE (278BB) <b>Obiettivi</b> Studio della struttura delle stelle nane bianche e delle stelle di neutroni a partire dalle proprietà della materia ad alta densità. Fenomeni astrofisici associati: Pulsars, Supernovae, GRBs	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE (274BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI (170BB) <b>Obiettivi</b> Dynamics of planetary systems: few body problems, tidal interactions, resonance and chaos, effects of binarity, effects of stars in a cluster environment (fly-by effects). 2. Planetary interiors: geophysics of Jovian and Terrestrial planets, plate tectonics and subsolidus convection, magnetic field generation, phase and chemical stratification; Kuiper Belt objects, icy bodies, and planetinos. 3. Planetary atmospheres and radiative transfer, stability of climate, feedback mechanisms. 4. Sun-planet connections: stellar winds, magnetospheres. 5. Stellar and planetary system formation: stability of pre-solar accretion disks, T Tau stars and protostars, UX Ori stars, debris disks and their evolution, asteroids and planetesimals. 6. Exoplanetary searches:	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05

transits, proper motion, radial velocities, high contrast direct imaging.					
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S (307BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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 integrazione in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattati 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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE (306BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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 integrazione in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattati 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.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY / ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e	FIS/05

COSMOLOGIA (369BB) <b>Obiettivi</b> Cosmologia osservativa; formazione delle strutture dal fondo cosmico a microonde alle galassie odierne; evoluzione dinamica e chimica delle galassie e delle loro componenti (stelle, mezzo interstellare, materia oscura)				spaziale	
EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY S /ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA S (045BB)	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
FISICA NUCLEARE (206BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
FISICA STATISTICA (207BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce un'introduzione alla meccanica statistica di equilibrio, per sistemi classici e quantistici. In particolare si occupa di: - proprietà termodinamiche dei gas di particelle classiche interagenti (equazione di van der Waals, metodi perturbativi ed espansioni in cluster); - transizioni di fase e teoremi di Lee-Yang; - fenomeni critici (teoria di Ginzburg-Landau, cenni sul gruppo di rinormalizzazione e universalità); - statistiche quantistiche e gas quantistici non interagenti (condensazione di Bose-Einstein; proprietà magnetiche dei gas di fermioni liberi); - seconda quantizzazione e sistemi a molti corpi quantistici (gas di Bose debolmente interagenti; sistemi fermionici su reticolo); - transizioni di fase quantistiche (soluzione del modello di Ising quantistico 1D)	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
FISICA TEORICA 1 (213BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
FISICA TEORICA 2 (214BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
FLUIDODYNAMICS (0024B)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI (257BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

dalla Relatività Generale. Successivamente sono descritte le varie sorgenti e le loro proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.					
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S (256BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
METODI NUMERICI PER LA FISICA (326BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
MULTIMESSENGER AND HIGH-ENERGY ASTROPHYSICS (0011B) <b>Obiettivi</b> The course will focus on the main sources of interest in the field of multimessenger and high-energy astrophysics, with particular attention to the processes responsible for the emission of high-energy electromagnetic radiation, neutrinos and gravitational waves and discussing also the most recent results from Galactic and extragalactic multimessenger observations. At the end of the course the students will be able to: Know the main emission processes of high-energy electromagnetic radiation, gravitational waves and neutrinos; Know the current observational and theoretical scenarios in multimessenger astrophysics; Know the main detecting techniques used today in multimessenger astrophysics; Know the properties of the Sun as an high-energy and multimessenger source; Know the high-energy emission properties of novae and supernovae; Properties of Galactic	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05

multimessenger sources: pulsars, supernova remnants and high-mass and low-mass binary systems; Know the main properties and characteristic emission of extragalactic sources and their progenitors: Active Galactic Nuclei, Gamma-Ray Burst and Compact Binary Coalescences;					
PHYSICS OF STAR FORMATION (0012B) <b>Obiettivi</b> Knowledge of the processes of absorption and emission of gaseous matter in star-forming clouds; Knowledge of the distinctive properties of the different phases (neutral and ionised) of the interstellar medium, and their connection to star-forming regions; Basic principles of interstellar gas dynamics (ionisation fronts, shocks, collapse); Knowledge of physical and chemical processes in interstellar clouds; atomic and molecular transitions, structure of molecules; magnetic fields; cosmic rays; matter-radiation interaction under low temperature and density conditions. Learning outcomes: Knowing how to deal with the global properties of star-forming regions; Being able to measure the temperature, mass, density, and chemical composition of interstellar star-forming clouds from the emission of atoms and molecules; Knowing how to model molecular chemistry, particularly that of species of biogenic importance, and gravitational collapse in a simplified approach.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI (353BB) <b>Obiettivi</b> 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 Necessita' di una descrizione microscopica, nonlinearieta' e nonlocalita' 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): proprieta' dell'equazione di Vlasov Onde di Langmuir in teoria cinetica e risonanza di Landau. Onde e instabilita' in plasmi anisotropi magnetizzati: descrizione cinetica e limite fluido 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	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS (0007B) <b>Obiettivi</b> Quantum technologies exploit the capability to control quantum properties of matter to devise sensors with unprecedented performance, that allow us to perform otherwise unattainable measurements in terms of sensitivity and resolution. The course focuses on quantum sensing and describes emerging technologies that exploit quantum aspects of the matter. In particular, it will focus on superconducting devices (SQUIDS, TESs, KIDs, Qubits,	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

parametric amplifiers, etc.) and semiconductor devices with low dimensionality with applications to fundamental interaction physics such as dark matter search, axions and Majorana's neutrino, neutrino coherent scattering, high-frequency gravitational waves and other. Some real experiments using cryogenic quantum sensors will be discussed, delving into the experimental and scientific aspects that defined their conception.					
<b>REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO (227BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<b>RELATIVITA' GENERALE (228BB)</b> <b>Obiettivi</b> Descrizione geometrica dello spazio e del tempo 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
<b>STELLAR PHYSICS/ FISICA STELLARE (211BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05

## 2° Anno (anno accademico 2025/2026)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
<b>ACCELERATOR PHYSICS S / MACCHINE ACCELERATRICI S (107BB)</b> <b>Obiettivi</b> Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<b>ACCELERATORI LASER-PLASMA (357BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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 piu' elevati rispetto a quelli ottenibili con agli 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, verra' successivamente affrontato sia con tecniche analitiche che numeriche. Verranno, inoltre, discussi i principi fisici e le tecniche	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

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).					
ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND BASED ASTROPHYSICS (0027B)	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
ADVANCED TECHNOLOGIES FOR GROUND-BASED ASTROPHYSICS: FROM MICROWAVES TO VISIBLE LIGHT (0013B) <b>Obiettivi</b> The course is divided into two parts of 18 hours each, which share the aim of providing knowledge for understanding the principles of design, operation and performance of complex ground instruments for astronomical use. The atmosphere's opacity to electromagnetic radiation allows astronomical observations to be carried out from the Earth in only two windows of the spectrum: the radio band (microwaves) and the optical-infrared band (from ultraviolet to thermal infrared). The two parts of the course therefore refer to the two frequency bands, illustrating for each of them the main technologies implemented in new generation astronomical instruments. In particular, for the radio band, the course will focus on the first stages that constitute the reception chain of radio telescopes, starting from the antenna/array systems up to microwave components and cryogenic receivers. For these components, the course will provide the basic concepts, the possible architectural solutions, the main figures of merit, the analysis and development techniques, the challenges of the future instruments and finally some examples. This part will be concluded with the possibility of visiting a radio astronomy station operated by the National Institute of Astrophysics. Regarding the visible band, the course will deal with optical-infrared telescopes from the ground and in particular the adaptive optics technique, which allows full exploitation of the current large instruments (8-10m) and the generation under construction (25-40 m). The course of adaptive optics will focus on: elements of optics and optical telescopes; components and adaptive systems configuration; main existing systems and under development for the next generation of telescopes. Finally, the students will have the opportunity to visit the adaptive optics laboratories of the INAF headquarters in Florence.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/05
ANALISI STATISTICA DEI DATI (193BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
ASTROFISICA (194BB)	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS /ASTROPARTICELLE (192BB) <b>Obiettivi</b> Il modello cosmologico standard. Evoluzione dell'universo dal punto di vista della fisica delle particelle elementari	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05

(FPE). Residui cosmologici. Obiettivo: le possibili soluzioni in FPE al problema della massa oscura ed i relativi test sperimentali.					
ASTROPARTICLE PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S (063BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPHYSICAL BLACK HOLES/ BUCHI NERI ASTROFISICI (359BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI (226BB) <b>Obiettivi</b> La fisica dell'astrofisica e le basi di osservazioni. Equilibrio statistico, processi radiativi (atomi, molecole, 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.	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
BAYESIAN INFERENCE IN ASTRONOMY & ASTROPHYSICS (0014B) <b>Obiettivi</b> The course will present an introduction to the fundamentals of Bayesian probability theory as well as to their applications to astronomical and astrophysical data. At the end of the course, the students will be familiar with: Boolean algebra Product and sum rules and Bayes theorem Maximum entropy principle and applications Numerical integration methods like Markov Chain Monte Carlo and nested sampling Elements of stochastic processes and their application to time and spatial series Inference of point processes Hierarchical models and censored data	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S (091BB) <b>Obiettivi</b>	6	LM-17	C	Attività formative	FIS/04

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.				affini o integrative	
COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE (278BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COMPLEX SYSTEMS / SISTEMI COMPLESSI (230BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS (360BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso è l'insegnamento di tecniche di programmazione e di calcolo nel contesto della fisica sperimentale e applicata. Sono previsti due moduli su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, uno incentrato sugli strumenti di base (strumenti di collaborazione, linguaggio python, classi, algoritmi), e uno di approfondimento (calcolo parallelo e machine learning), e un ulteriore modulo (3 CFU) a scelta tra due programmi di approfondimento specifici per High Energy Physics o Medical Image Analysis	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S (365BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso è 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 parti su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, una incentrata sugli strumenti di base (3 CFU) e una di approfondimento (3 CFU).	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE (274BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02



<p>use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength</p>					
<p>ELABORAZIONE DEI SEGNALI PER LA FISICA (189BB) <b>Obiettivi</b> 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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>ELEMENTS OF PHYSIOLOGY, PHYSIOPATHOLOGY AND DIAGNOSTICS / ELEMENTI DI FISILOGIA, FISIOPATOLOGIA E DIAGNOSTICA (478EE) <b>Obiettivi</b> 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</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	BIO/09
<p>ELETTRONICA E SENSORI (080BB) <b>Obiettivi</b> 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</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<p>ESPERIMENTI FONDAMENTALI NELLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (323BB)</p>	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04

<p><b>Obiettivi</b> Presentazione e commento di esperimenti particolarmente significativi nella storia delle particelle elementari dalla seconda metà del 1900.</p>					
<p>EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI (170BB) <b>Obiettivi</b> Dynamics of planetary systems: few body problems, tidal interactions, resonance and chaos, effects of binarity, effects of stars in a cluster environment (fly-by effects). 2. Planetary interiors: geophysics of Jovian and Terrestrial planets, plate tectonics and subsolidus convection, magnetic field generation, phase and chemical stratification; Kuiper Belt objects, icy bodies, and planetinos. 3. Planetary atmospheres and radiative transfer, stability of climate, feedback mechanisms. 4. Sun-planet connections: stellar winds, magnetospheres. 5. Stellar and planetary system formation: stability of pre-solar accretion disks, T Tau stars and protostars, UX Ori stars, debris disks and their evolution, asteroids and planetesimals. 6. Exoplanetary searches: transits, proper motion, radial velocities, high contrast direct imaging.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S (307BB) <b>Obiettivi</b> 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 integrazione in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattati 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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE (306BB) <b>Obiettivi</b> 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</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

loro integrazione in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattati 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 e' 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.					
EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY / ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA (369BB) <b>Obiettivi</b> Cosmologia osservativa; formazione delle strutture dal fondo cosmico a microonde alle galassie odierne; evoluzione dinamica e chimica delle galassie e delle loro componenti (stelle, mezzo interstellare, materia oscura)	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY S /ASTROFISICA EXTRAGALATTICA E COSMOLOGIA S (045BB)	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
FISICA DEI MATERIALI IN BASSA DIMENSIONALITÀ (352BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
FISICA NUCLEARE (206BB) <b>Obiettivi</b> Proprietà generali dei nuclei atomici e dell'interazione nucleare. Decadimenti nucleari e radioattività. Passaggio della radiazione nella materia. Modelli del nucleo atomico.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04

Reazioni nucleari. Fusione nucleare e nucleosintesi stellare. Fissione Nucleare e cenni ai reattori a fissione nucleare.					
FISICA STATISTICA (207BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce un'introduzione alla meccanica statistica di equilibrio, per sistemi classici e quantistici. In particolare si occupa di: - proprietà termodinamiche dei gas di particelle classiche interagenti (equazione di van der Waals, metodi perturbativi ed espansioni in cluster); - transizioni di fase e teoremi di Lee-Yang; - fenomeni critici (teoria di Ginzburg-Landau, cenni sul gruppo di rinormalizzazione e universalità); - statistiche quantistiche e gas quantistici non interagenti (condensazione di Bose-Einstein; proprietà magnetiche dei gas di fermioni liberi); - seconda quantizzazione e sistemi a molti corpi quantistici (gas di Bose debolmente interagenti; sistemi fermionici su reticolo); - transizioni di fase quantistiche (soluzione del modello di Ising quantistico 1D)	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
FISICA TEORICA 1 (213BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
FISICA TEORICA 2 (214BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
FLUIDODYNAMICS (0024B)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI (305BB) <b>Obiettivi</b> Conoscenza di base quantitativa della fisica delle particelle elementari e delle loro interazioni, dal punto di vista fenomenologico e sperimentale. Capacità di valutare quantitativamente processi ed esperimenti. Conoscenza dello sviluppo temporale e delle principali scoperte.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA (304BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI (257BB) <b>Obiettivi</b>	9	LM-17	C	Attività formative	FIS/01

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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.				affini o integrative	
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S (256BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
HADRON COLLIDER PHYSICS / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI (201BB) <b>Obiettivi</b> 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 permesso molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle quali la scoperta dei bosoni intermedi W e Z, del quark top e del bosone di Higgs. Saranno presentati i principali risultati ottenuti agli collisionatori ISR, SPS collider, Tevatron e LHC insieme a una discussione delle prospettive future. Nella parte finale saranno esaminati in dettaglio alcuni degli articoli che descrivono i risultati scientifici più importanti ottenuti a LHC e effettuata una analisi di dati reali raccolti.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS (380BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenta argomenti avanzati nel campo della strumentazione per la fisica delle particelle, con particolare attenzione alle applicazioni in fisica nucleare e delle particelle, ma con esempi anche da altri campi. Gli studenti acquisiranno la conoscenza delle moderne tecnologie dei sensori e relativa elettronica, e di come possono essere organizzati in un sistema di rivelazione. Verranno anche forniti esempi di come la strumentazione avanzata è utilizzata nelle misure di fisica.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
INTRODUZIONE ALLA TEORIA BAYESIANA DELLA PROBABILITÀ (364BB) <b>Obiettivi</b> padronanza del teorema di Bayes - principio di massima	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/05

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.					
KINETIC THEORY OF PLASMAS/PLASMI TEORIA CINETICA (355BB) <b>Obiettivi</b> Equazione di Vlasov. Soluzioni stazionarie. Onde in teoria Vlasov. Smorzamento di Landau. Intrappolamento di particelle. Instabilità risonanti. L'eq. di Vlasov in plasmii magnetizzati. Verso la MHD: onde di Alfvén. L'equazione di Ohm generalizzata. Onde di plasma di grande ampiezza. Trasporto anomalo nei plasmi di fusione.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (212ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (717ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE (185BB) <b>Obiettivi</b> ornire conoscenza sulle metodologie statistiche avanzate per la simulazione montecarlo impiegate sia nella progettazione che nella comprensione delle risposte di complessi apparati sperimentali.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
METODI NUMERICI DELLA FISICA TEORICA (218BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/02
METODI NUMERICI PER LA FISICA (326BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

METODI NUMERICI PER LA FISICA S (374BB) <b>Obiettivi</b> Il corso e` 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 affrontera` una particolare tecnica numerica attualmente in utilizzo nella ricerca in fisica e le sue applicazioni piu` rilevanti. Nella parte introduttiva verranno ricapitolati alcuni argomenti di analisi numerica di base, necessari per poter proficuamente affrontare i moduli specifici. Lo studente dovra` scegliere 2 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 progettno numerico sulle tematiche relative al modulo.	6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
MODELLO STANDARD DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI (219BB) <b>Obiettivi</b> Modello standard delle interazioni fondamentali, implicazioni in ambito cosmologico. Standard model of the fundamental interactions, Phenomenology of fundamental interactions, Connections with cosmological issues.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
MULTIMESSENGER AND HIGH-ENERGY ASTROPHYSICS (0011B) <b>Obiettivi</b> The course will focus on the main sources of interest in the field of multimessenger and high-energy astrophysics, with particular attention to the processes responsible for the emission of high-energy electromagnetic radiation, neutrinos and gravitational waves and discussing also the most recent results from Galactic and extragalactic multimessenger observations At the end of the course the students will be able to: Know the main emission processes of high-energy electromagnetic radiation, gravitational waves and neutrinos; Know the current observational and theoretical scenarios in multimessenger astrophysics; Know the main detecting techniques used today in multimessenger astrophysics; Know the properties of the Sun as an high-energy and multimessenger source; Know the high-energy emission properties of novae and supernovae; Properties of Galactic multimessenger sources: pulsars, supernova remnants and high-mass and low-mass binary systems; Know the main properties and characteristic emission of extragalactic sources and their progenitors: Active Galactic Nuclei, Gamma-Ray Burst and Compact Binary Coalescences;	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY (327BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI	9	LM-17	C	Attività formative	FIS/02

<p>DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE (358BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Vengono presentati alcuni approcci non perturbativi allo studio delle teorie di campo quantistiche nel contesto delle interazioni fondamentali, della fisica statistica e della materia condensata. Il corso è diviso in tre parti, fra di loro interconnesse per vari aspetti ma ciascuna di per se autoconsistente e corrispondente ad un carico didattico di circa 3 CFU. Nella prima parte viene trattata la teoria del gruppo di rinormalizzazione e le tecniche di sviluppo di grande N; la seconda parte è dedicata alla formulazione e allo studio delle teorie di campo su reticolo; la terza parte è dedicata alle anomalie nelle teorie quantistiche di campo e allo studio delle teorie di campo conformi.</p>				affini o integrative	
<p>OCEANOGRAFIA FISICA SU GRANDE SCALA (375BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Il corso tratta argomenti rilevanti per lo studio della dinamica dei fenomeni oceanici, privilegiando le tematiche di carattere generale piuttosto che le questioni specifiche della circolazione locale. Sarà perciò introdotto il concetto di sistema complesso e le grandezze oceanografiche saranno considerate come caratteristiche emergenti, a larga scala, di specifici sistemi complessi (caotici e/o turbolenti). Dopo l'introduzione dei concetti generali sarà affrontato in particolare lo studio di alcuni importanti fenomeni oceanici, come le grandi correnti termoaline (per esempio, la Corrente del Golfo), il Nino/La Nina o la North Atlantic Oscillation.</p>	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
<p>PARTICLE DARK MATTER (427BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>Lo scopo del corso è di introdurre il problema della materia oscura, la sua ricerca diretta, e la ricerca agli acceleratori di particelle. Verranno discusse le motivazioni che hanno portato all'introduzione dell'ipotesi dell'esistenza di una materia non barionica e i principali modelli di estensione del modello standard. Si discuteranno le tecniche sperimentali di rivelazione diretta a massa bassa e intermedia. Si presenteranno le ricerche di particelle candidate di materia oscura agli acceleratori di particelle. Verranno passati in rassegna gli esperimenti in corso e le direzioni sperimentali future.</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/01
<p>PARTICLE PHYSICS S / FISICA DELLE PARTICELLE S (373BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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.</p>	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
<p>PHYSICS FOR CULTURAL HERITAGE / FISICA APPLICATA AI BENI CULTURALI (418BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>L'insegnamento si prefigge di fornire un quadro ampio delle problematiche relative ai campi di indagine propri della fisica applicata ai beni culturali, trattando anche alcuni aspetti di base della conservazione, del restauro e dell'informatica. In tal modo gli studenti potranno avere una conoscenza, competenza e capacità di valutare gli ambiti ed i</p>	9	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/07

limiti di applicabilità delle specifiche metodologie (metodiche e tecniche fisiche, chimiche, mineralogico-petrografiche, naturalistiche e informatiche innovative necessarie allo studio e alla conservazione dei Beni culturali). Attraverso l'illustrazione di diversi casi studio, l'insegnamento intende inoltre fornire agli studenti alcuni esempi di linee di ricerca nel campo della diagnostica dei Beni culturali, dei metodi di datazione e provenienza, nonché della caratterizzazione dei materiali utilizzati nel settore dei Beni culturali.					
PHYSICS OF STAR FORMATION (0012B) <b>Obiettivi</b> Knowledge of the processes of absorption and emission of gaseous matter in star-forming clouds; Knowledge of the distinctive properties of the different phases (neutral and ionised) of the interstellar medium, and their connection to star-forming regions; Basic principles of interstellar gas dynamics (ionisation fronts, shocks, collapse); Knowledge of physical and chemical processes in interstellar clouds; atomic and molecular transitions, structure of molecules; magnetic fields; cosmic rays; matter-radiation interaction under low temperature and density conditions. Learning outcomes: Knowing how to deal with the global properties of star-forming regions; Being able to measure the temperature, mass, density, and chemical composition of interstellar star-forming clouds from the emission of atoms and molecules; Knowing how to model molecular chemistry, particularly that of species of biogenic importance, and gravitational collapse in a simplified approach.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI (353BB) <b>Obiettivi</b> 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 Necessita' di una descrizione microscopica, nonlinearieta' e nonlocalita' 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): proprietaria' 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 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	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
PROVA FINALE (125ZW) <b>Moduli</b> PROVA FINALE (1) ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO (2)	45 44 1	LM-17	E	Per la prova finale	NN, PROFIN_S

<p>QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES (376BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>          Computazione quantistica: basi della computazione quantistica, della manipolazione dei qubit e dei principali algoritmi (Deutsch, Grover, Shor); programmazione quantistica usando il linguaggio Microsoft e IBM          Simulazione quantistica: concetti di base, realizzazione fisica su diverse piattaforme          Comunicazione quantistica: principali protocolli di quantum key exchange; analisi di sicurezza dei protocolli          Metrologia quantistica: principi di base, implementazione con NV centres e atomi freddi .</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY (328BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>          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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<p>QUANTUM LIQUIDS (382BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>          Al termine dell'insegnamento, la/lo studente avrà sviluppato le conoscenze concettuali, procedurali e fattuali nella fisica dei liquidi quantistici all'equilibrio (modulo da 6 CFU) e dei sistemi quantistici aperti driven-dissipative (modulo da 3 CFU), e loro ingegnerizzazione come simulatori quantistici in piattaforme attuali di tecnologie quantistiche. In particolare: (a) Metodi teorici avanzati per predire e caratterizzare la fisica di liquidi quantistici all'equilibrio, loro relazione con metodi di simulazione quantistica, e classificazione per funzionalità e tipologie di problemi. Tra i metodi: risposta lineare, idrodinamica quantistica, funzionale di densità e di corrente, funzioni di Green e metodi non perturbativi, bosonizzazione. (b) Metodi teorici e numerici per sistemi quantistici fuori dall'equilibrio e driven-dissipative: sistemi Markoviani e non Markoviani, dissipation engineering, simulazione quantistica con metodi stocastici e tensor networks, misura e feedback, e applicazioni a tecnologie quantistiche, chimica e biologia quantistiche. (c) Principi di funzionamento delle principali piattaforme di tecnologie quantistiche: atomi, atomi dipolari e di Rydberg, ioni ultrafreddi, atomi in cavità QED; circuiti a superconduttore; fluidi di luce in cavità ottiche; sistemi a bassa dimensionalità. Loro uso come simulatori quantistici per materia condensata, fisica fondamentale, metrologia quantistica, gravità analogica, e cosmologia. Obiettivi formativi Riconoscere l'emergere delle proprietà macroscopiche nella complessità dei modelli microscopici che descrivono i liquidi quantistici all'equilibrio e driven-dissipative. Formalizzare i concetti e imparare ad affrontarli con i metodi sviluppati. Collegare la conoscenza concettuale e la formalizzazione con la fenomenologia e le applicazioni. Organizzare la conoscenza disciplinare in una mappa concettuale che include campi come termodinamica, meccanica statistica e transizioni di fase, teorie di campo. Valutare criticamente articoli di ricerca specializzati. Progettare descrizioni teoriche per il comportamento dei</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

liquidi quantici in diverse piattaforme sperimentali. Comunicare in modo efficace ed efficiente. Lavorare con autonomia, consapevolezza e capacità di autovalutazione. Sviluppare capacità di lavoro di squadra.					
QUANTUM OPTICS AND PLASMA PHYSICS / OTTICA QUANTISTICA E PLASMI (354BB) <b>Obiettivi</b> Competenze in Ottica Fisica, Ottica Quantistica, Applicazioni dei LASERS, Accelerazione LASER-Plasma di particelle e sorgenti secondarie di radiazione X e gamma	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS (0007B) <b>Obiettivi</b> Quantum technologies exploit the capability to control quantum properties of matter to devise sensors with unprecedented performance, that allow us to perform otherwise unattainable measurements in terms of sensitivity and resolution. The course focuses on quantum sensing and describes emerging technologies that exploit quantum aspects of the matter. In particular, it will focus on superconducting devices (SQUIDS, TESs, KIDs, Qubits, parametric amplifiers, etc.) and semiconductor devices with low dimensionality with applications to fundamental interaction physics such as dark matter search, axions and Majorana's neutrino, neutrino coherent scattering, high-frequency gravitational waves and other. Some real experiments using cryogenic quantum sensors will be discussed, delving into the experimental and scientific aspects that defined their conception.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO (227BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO S (377BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
RECENT HIGHLIGHTS IN FUNDAMENTAL INTERACTIONS (378BB) <b>Obiettivi</b> Corso monografico per presentare e discutere i più recenti risultati in un settore - variabile di anno in anno - delle interazioni fondamentali. Il corso inizierà con lezioni introduttive, seguite da seminari, letture di articoli, sessioni di discussione con particolare riferimento alle prospettive future.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/04
RELATIVITA' GENERALE (228BB) <b>Obiettivi</b> Descrizione geometrica dello spazio e del tempo in presenza di gravi fornita dalla teoria della relatività generale, e le sue	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02

applicazioni, come i buchi neri, radiazione gravitazionale, e la cosmologia del big bang. Aspetti sperimentali per lo studio dei fenomeni gravitazionali.					
SOLID STATE PHYSICS / FISICA DELLO STATO SOLIDO (204BB) <b>Obiettivi</b> 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. Proprieta' ottiche di semiconduttori e isolanti. Aspetti fondamentali della fisica dei semiconduttori.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA (043BB) <b>Obiettivi</b> 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.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
STELLAR PHYSICS S (098BB) <b>Obiettivi</b> Analisi delle basi fisiche del funzionamento delle strutture stellari e descrizione delle caratteristiche delle stelle durante le diverse fasi evolutive. Syllabus: Introduzione generale sulle caratteristiche delle stelle nella Via Lattea e nel Gruppo Locale. Condizioni di equilibrio per le strutture stellari. Meccanismi fisici in gioco nelle strutture stellari: equazione di stato della materia stellare, produzione di energia nucleare, catture neutroniche, meccanismi di interazione fotone-materia, trasporto di energia (radiativo, convettivo e conduttivo), nucleosintesi stellare. Equazioni di struttura stellare. Formazione stellare ed evoluzione iniziale. Fasi di combustione di H centrale ed in shell. Il modello solare. Fasi di combustione di elio. Fasi evolutive avanzate.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
STELLAR PHYSICS/ FISICA STELLARE (211BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
TEORIA DEI GRUPPI (286BB) <b>Obiettivi</b> Acquisire i concetti base e l'utilizzo della teoria dei gruppi in fisica: assiomi dei gruppi, gruppi finiti e infiniti, gruppi discreti e continui. Gruppi e algebre di Lie. Teoria delle rappresentazione. Gruppi familiari in fisica: SU(2), SU(3), SO(3), SO(4), Gruppo di Lorentz e di Poincare'. Teoria delle radici e pesi in algebre semi-semplici. Alcuni applicazioni in meccanica quantistica.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI (277BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI A (137BB) <b>Obiettivi</b> La diffusione elastica e il potenziale ottico. Nucleo	6	LM-17	C	Attività formative	FIS/04

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.				affini o integrative	
TEORIE DELLA GRAVITAZIONE (251BB) <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S (140BB) <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
THEORY OF NUCLEAR INTERACTION (0015B) <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni. Metodi numerici con relative esercitazioni.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
THEORY OF NUCLEAR INTERACTION S (0016B) <b>Obiettivi</b> Caratteristiche generali dell'interazione nucleare. L'approccio fenomenologico e i potenziali realistici. L'approccio in teoria di campo effettiva: la chiral effective field theory e la pionless effective field theory. Applicazione dei vari modelli allo studio dei nuclei leggeri e degli stati di scattering a pochi nucleoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY (187BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

## Anno di corso non specificato

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
<b>INFORMATICA CON LABORATORIO (0033A)</b> <b>Obiettivi</b> Introdurre algoritmi (base) e strutture dati per risolvere problemi efficienti in tempo e/o spazio. Saranno trattate anche tecniche per valutare la complessità degli algoritmi e dei problemi. Infine, queste tecniche saranno sperimentate mediante implementazione nel linguaggio C++ e altre esperienze di laboratorio. Sviluppare capacità di base sull'utilizzo di strutture dati, e sulla comprensione e lo sviluppo di algoritmi efficienti in tempo e/o spazio.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	INF/01
<b>MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY / SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI (384BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

## Percorso di Studio: GENERALE (12)

CFU totali: 684, di cui 45 derivanti da AF obbligatorie e 639 da AF a scelta

Sede Didattica

Università di Pisa

### 1° Anno (anno accademico 2024/2025)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
<b>3D AND 4D NANOMATERIALS AND DEVICES (0005B)</b> <b>Obiettivi</b> Main topics and knowledge targeted: Physical principles and experimental methods for realizing and characterizing intelligent materials. Stimuli-responsive properties (structure, optical, transport). Three-dimensional fabrication at multiple length-scales. Organics, molecular materials. Nanocomposites. Shape-memory systems. Liquid crystal elastomers. Photochromic and thermochromic materials. Relevant physical processes and technologies: polymerization processes, multiphoton processes, nanolithography, material extrusion and jetting, additive nano-manufacturing.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<b>ANALISI STATISTICA DEI DATI (193BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

ASTROFISICA GENERALE (368BB) <b>Obiettivi</b> Il corso intende trattare alcuni dei principali problemi dell'astrofisica moderna, illustrando in modo interdisciplinare le differenti tecniche necessarie per affrontare i problemi cosmici.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS /ASTROPARTICELLE (192BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPARTICLE PHYSICS S /ASTROPARTICELLE S (063BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
ASTROPHYSICAL PROCESSES/ PROCESSI ASTROFISICI (226BB) <b>Obiettivi</b> La fisica dell'astrofisica e le base di osservazioni. Equilibrio statistico, processi radiativi (atomi, molecoli, processi continui termici e non), trasporto radiativo e formazione degli spettri. Idrodinamica: equazioni di moto, vorticit�, viscosita�, autosimilarita�, instabilita�, turbolenza. Applicazioni in astrofisica, e.g. venti, supernovae/novae, regioni H II, convezione, dischi d'accrescimento.	9	LM-17	C	Attivit� formative affini o integrative	FIS/05
BIO-SYSTEMS LAB/ LABORATORIO DI BIOSISTEMI (403BB) <b>Obiettivi</b> Metodologie sperimentali di analisi spettrale ed ottica guidata. Apparati laser. Principi alla base dei metodi litografici per biosistemi. Interazioni delle radiazioni ionizzanti con la materia. Sorgenti di radiazioni ionizzanti per applicazioni biomediche. Rivelatori di radiazione basati su materiali scintillanti. Fotorivelatori a stato solido per imaging biomedico. Tecniche di imaging ottico e microscopia. <b>Moduli</b> BIO-SYSTEMS LAB - I MODULO (1) BIO-SYSTEMS LAB- II MODULO (2)	15 9 6	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
COMPLEX SYSTEMS / SISTEMI COMPLESSI (230BB) <b>Obiettivi</b> 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 arrivera� fino al trattamento del caos in sistemi conservativi e dissipativi. Verranno sottolineati gli aspetti e applicazioni interdisciplinari, con particolare enfasi alla termodinamica fuori equilibrio.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL PHYSICS AND DATA ANALYSIS (360BB) <b>Obiettivi</b> Lo scopo del corso e' l'insegnamento di tecniche di	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01

programmazione e di calcolo nel contesto della fisica sperimentale e applicata. Sono previsti due moduli su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, uno incentrato sugli strumenti di base (strumenti di collaborazione, linguaggio python, classi, algoritmi), e uno di approfondimento (calcolo parallelo e machine learning), e un ulteriore modulo (3 CFU) a scelta tra due programmi di approfondimento specifici per High Energy Physics o Medical Image Analys					
CONDENSED MATTER PHYSICS (370BB) <b>Obiettivi</b> 9 CFU (6 CFU + 1 moduli da 3 CFU, lo studente ne sceglie uno tra due offerti) Modulo da 6 CFU Introduction to the theory of electron liquids, Linear response theory, Many-body diagrammatic perturbation theory, Landau theory of Fermi liquids Modulo A da 3 CFU Quantum theory of transport and the role of electron-electron interactions, Semiclassical and quantum theories of electron transport, The fractional quantum Hall effect Modulo B da 3 CFU Superconductivity, Quantum matter without quasiparticles	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
COSMOLOGIA DEL PRIMO UNIVERSO S/COSMOLOGY OF THE EARLY UNIVERSE S (275BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05
DETECTION TECHNIQUES: FROM LAB TO SPACE (0009B) <b>Obiettivi</b> The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength The course will feature advanced laboratory experiments focused on the different approaches to the detection of electromagnetic radiation, with wavelengths ranging from the RF/microwave to the optical regime. Theory of signal processing Discussion of noise in experiments in physics Detection of electromagnetic radiation down to single photon sensitivity Basics of cryogenic and vacuum techniques and adopted in quantum experiments Single-photon experiments with parametric down conversion source: entanglement, quantum correlations, interference, etc Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) use and characterization Thermal camera for infrared detection: imaging with multi-pixels detector Detection of	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01



astronomical signals: observation of the Milky Way using single-dish radio telescope operating at 21-cm wavelength					
DISORDERED SYSTEMS OUT OF EQUILIBRIUM / SISTEMI DISORDINATI FUORI EQUILIBRIO (309BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
FISICA NUCLEARE (206BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
FISICA STATISTICA (207BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce un'introduzione alla meccanica statistica di equilibrio, per sistemi classici e quantistici. In particolare si occupa di: - proprietà termodinamiche dei gas di particelle classiche interagenti (equazione di van der Waals, metodi perturbativi ed espansioni in cluster); - transizioni di fase e teoremi di Lee-Yang; - fenomeni critici (teoria di Ginzburg-Landau, cenni sul gruppo di rinormalizzazione e universalità); - statistiche quantistiche e gas quantistici non interagenti (condensazione di Bose-Einstein; proprietà magnetiche dei gas di fermioni liberi); - seconda quantizzazione e sistemi a molti corpi quantistici (gas di Bose debolmente interagenti; sistemi fermionici su reticolo); - transizioni di fase quantistiche (soluzione del modello di Ising quantistico 1D)	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
FISICA TEORICA 1 (213BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
FLEXIBLE AND NANO-ELECTRONICS (0004B) <b>Obiettivi</b> The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

<p>electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications. The course will deal with the physics and applications of nanoscale materials in electronics/optoelectronics, with a particular focus on the physical principles governing nanostructured systems. Introduction to materials for flexible/nano-electronics: nanostructured semiconductors, low-dimensional materials, polymeric materials. Physics of flexible/nano-materials: charge and heat transport at the nanoscale, Landauer-Buttiker formalism, Coulomb blockade, transport phenomena in polymeric materials; optical response in nanomaterials, inter/intra-band transitions, engineering of the optical response; strain effects, interplay between transport phenomena, optics and mechanics. Fabrication methods: substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications.</p>					
FLUIDODYNAMICS (0024B)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
<p>FUNDAMENTAL INTERACTIONS / INTERAZIONI FONDAMENTALI (305BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>  Conoscenza di base quantitativa della fisica delle particelle elementari e delle loro interazioni, dal punto di vista fenomenologico e sperimentale. Capacità di valutare quantitativamente processi ed esperimenti. Conoscenza dello sviluppo temporale e delle principali scoperte.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
<p>FUNDAMENTALS OF LIGHT MATTER INTERACTION / FONDAMENTI DI INTERAZIONE RADIAZIONE MATERIA (304BB)</p> <p><b>Obiettivi</b>  Concetti base dell'interazione radiazione-materia.</p>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

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					
GEOPHYSICAL INSTRUMENTATION AND GEOPHYSICAL POTENTIAL FIELDS (0025B)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
INSTRUMENTATION FOR FUNDAMENTAL INTERACTIONS PHYSICS (380BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenta argomenti avanzati nel campo della strumentazione per la fisica delle particelle, con particolare attenzione alle applicazioni in fisica nucleare e delle particelle, ma con esempi anche da altri campi. Gli studenti acquisiranno la conoscenza delle moderne tecnologie dei sensori e relativa elettronica, e di come possono essere organizzati in un sistema di rivelazione. Verranno anche forniti esempi di come la strumentazione avanzata è utilizzata nelle misure di fisica.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
LABORATORIO DI INTERAZIONI FONDAMENTALI S (431BB)	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
LABORATORY OF INSTRUMENTAL SEISMOLOGY (0022B)	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
MECHANICS OF GEOPHYSICAL FLUIDS (0023B)	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/06
METODI NUMERICI PER LA FISICA (326BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
MULTIMESSENGER PHYSICS LABORATORY (327BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
PHYSICS OF BIOSYSTEMS / FISICA DEI BIOSISTEMI (387BB) <b>Obiettivi</b>	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

L'insegnamento si focalizza sui principi fisici che caratterizzano la materia attiva, partendo dalla comprensione dei meccanismi che regolano i processi nei sistemi biologici "modello" per arrivare alla caratterizzazione di sistemi e materiali "bio-ispirati", introducendo nuovi modelli ed approcci di particolare rilevanza nell'ambito della scienza dei materiali. Particolare attenzione è dedicata alle strutture, alle simmetrie, alle interazioni molecolari, ai processi di self-assembly, alle proprietà meccaniche e mecano-sensibili dei sistemi biologici coinvolti nello sviluppo di attuatori e materiali innovativi. Inoltre si introducono le più recenti tecniche di imaging, sviluppate nel campo della microscopia ottica a fluorescenza e a super-risoluzione, e le loro applicazioni allo studio dei processi e delle interazioni molecolari in sistemi biologici di interesse.					
PHYSICS OF MATTER AND NANOTECHNOLOGY LABORATORY S/ LABORATORIO DI FISICA DELLA MATERIA E NANOTECNOLOGIE S (412BB) <b>Obiettivi</b> Metodologie sperimentali di analisi spettrale, interferometria, olografia ed ottica guidata. Apparati laser. Principi alla base dei metodi litografici per micro-nanofotonica. Tecniche di microscopia. Gli obiettivi formativi vengono ottenuti affrontando un programma specifico di esperienze laboratoriali.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
PLASMA PHYSICS / FISICA DEI PLASMI (353BB) <b>Obiettivi</b> 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 Necessita' di una descrizione microscopica, nonlinearieta' e nonlocalita' della dinamica di un plasma Funzione di distribuzione ed equazione di Vlasov Teoria fenomenologica della turbolenza nei fluidi. Cenni alla turbolenza nei plasm. Variabili macroscopiche: Equazioni dei momenti: modello a due fluidi e a singolo fluido La legge di Ohm per plasm magnetizzati La descrizione magneto-idrodinamica (MHD) di un plasma Equilibrio e stabilita'. Linearizzazione e analisi ai modi normali Esempi di propagazione di onde in teoria fluida: onde longitudinali onde elettromagnetiche onde MHD Principali instabilita' nella descrizione MHD Variabili microscopiche: Descrizione microscopica (cinetica): proprieta' dell'equazione di Vlasov Onde di Langmuir in teoria cinetica e risonanza di Landau. Onde e instabilita' in plasm anisotropi magnetizzati: descrizione cinetica e limite fluido 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	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES (376BB) <b>Obiettivi</b> Computazione quantistica: basi della computazione quantistica, della manipolazione dei qubit e dei principali algoritmi (Deutsch, Grover, Shor); programmazione quantistica usando il linguaggio Microsoft e IBM Simulazione quantistica: concetti di base, realizzazione fisica su diverse piattaforme Comunicazione quantistica: principali protocolli di quantum key exchange; analisi di sicurezza dei	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03

protocolli Metrologia quantistica: principi di base, implementazione con NV centres e atomi freddi .					
QUANTUM TECHNOLOGIES FOR FUNDAMENTAL INTERACTION PHYSICS (0007B) <b>Obiettivi</b> Quantum technologies exploit the capability to control quantum properties of matter to devise sensors with unprecedented performance, that allow us to perform otherwise unattainable measurements in terms of sensitivity and resolution. The course focuses on quantum sensing and describes emerging technologies that exploit quantum aspects of the matter. In particular, it will focus on superconducting devices (SQUIDS, TESs, KIDs, Qubits, parametric amplifiers, etc.) and semiconductor devices with low dimensionality with applications to fundamental interaction physics such as dark matter search, axions and Majorana's neutrino, neutrino coherent scattering, high-frequency gravitational waves and other. Some real experiments using cryogenic quantum sensors will be discussed, delving into the experimental and scientific aspects that defined their conception.	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
REAZIONI NUCLEARI DI INTERESSE ASTROFISICO (227BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/04
RELATIVITA' GENERALE (228BB) <b>Obiettivi</b> Descrizione geometrica dello spazio e del tempo 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.	9	LM-17	B	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02
ROCK PHYSICS (0026B)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS (338BB) <b>Obiettivi</b> Lo studente apprenderà le basi della elaborazione numerica dei segnali ed alcune applicazioni alla fisica. 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.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/01
SOLID STATE PHYSICS / FISICA DELLO STATO SOLIDO (204BB) <b>Obiettivi</b> 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. Proprieta' ottiche di semiconduttori e isolanti. Aspetti fondamentali della fisica dei semiconduttori.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
STELLAR PHYSICS S (098BB)	6	LM-17	B	Astrofisico,	FIS/05

<b>Obiettivi</b> Analisi delle basi fisiche del funzionamento delle strutture stellari e descrizione delle caratteristiche delle stelle durante le diverse fasi evolutive. Syllabus: Introduzione generale sulle caratteristiche delle stelle nella Via Lattea e nel Gruppo Locale. Condizioni di equilibrio per le strutture stellari. Meccanismi fisici in gioco nelle strutture stellari: equazione di stato della materia stellare, produzione di energia nucleare, catture neutroniche, meccanismi di interazione fotone-materia, trasporto di energia (radiativo, convettivo e conduttivo), nucleosintesi stellare. Equazioni di struttura stellare. Formazione stellare ed evoluzione iniziale. Fasi di combustione di H centrale ed in shell. Il modello solare. Fasi di combustione di elio. Fasi evolutive avanzate.				geofisico e spaziale	
STELLAR PHYSICS/ FISICA STELLARE (211BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05

## 2° Anno (anno accademico 2025/2026)

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
3D AND 4D NANOMATERIALS AND DEVICES (0005B) <b>Obiettivi</b> Main topics and knowledge targeted: Physical principles and experimental methods for realizing and characterizing intelligent materials. Stimuli-responsive properties (structure, optical, transport). Three-dimensional fabrication at multiple length-scales. Organics, molecular materials. Nanocomposites. Shape-memory systems. Liquid crystal elastomers. Photochromic and thermochromic materials. Relevant physical processes and technologies: polymerization processes, multiphoton processes, nanolithography, material extrusion and jetting, additive nano-manufacturing.	9	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
ACCELERATOR PHYSICS S / MACCHINE ACCELERATRICI S (107BB) <b>Obiettivi</b> Il corso presenterà i principi e i modi di funzionamento di acceleratori di elettroni e di protoni.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
ACCELERATORI LASER-PLASMA (357BB) <b>Obiettivi</b> 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 agli 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	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03

dell'impulso laser che le eccita, verra' 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 qualita' (brillanza), quindi di potenziale utilizzo in acceleratori "in cascata" o in sorgenti di radiazione X coerente (Free Electron Laser).					
ASTROPHYSICAL BLACK HOLES/ BUCHI NERI ASTROFISICI (359BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
ATOM OPTICS/ OTTICA ATOMICA (221BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
COMPACT STAR PHYSICS S/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE S (091BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COMPACT STAR PHYSICS/ FISICA DELLE STELLE COMPATTE (278BB) <b>Obiettivi</b> 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	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
COMPLEX SYSTEMS - NEURAL DYNAMICS / SISTEMI COMPLESSI - DINAMICHE NEURALI (279BB) <b>Obiettivi</b> Il corso fornisce alcuni metodi matematici utilizzati per lo studio dei sistemi neurali	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
COMPUTING METHODS FOR EXPERIMENTAL	6	LM-17	C	Attività	FIS/01

PHYSICS AND DATA ANALYSIS - S (365BB) <b>Obiettivi</b> 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 parti su strumenti di programmazione di utilità trasversale per la fisica sperimentale e applicata, una incentrata sugli strumenti di base (3 CFU) e una di approfondimento (3 CFU).				formative affini o integrative	
DOSIMETRY/ DOSIMETRIA (198BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
ELETTRONICA E SENSORI (080BB) <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
EXOPLANETARY SYSTEMS / SISTEMI PLANETARI (170BB) <b>Obiettivi</b> Dynamics of planetary systems: few body problems, tidal interactions, resonance and chaos, effects of binarity, effects of stars in a cluster environment (fly-by effects). 2. Planetary interiors: geophysics of Jovian and Terrestrial planets, plate tectonics and subsolidus convection, magnetic field generation, phase and chemical stratification; Kuiper Belt objects, icy bodies, and planetinos. 3. Planetary atmospheres and radiative transfer, stability of climate, feedback mechanisms. 4. Sun-planet connections: stellar winds, magnetospheres. 5. Stellar and planetary system formation: stability of pre-solar accretion disks, T Tau stars and protostars, UX Ori stars, debris disks and their evolution, asteroids and planetesimals. 6. Exoplanetary searches: transits, proper motion, radial velocities, high contrast direct imaging.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/05
EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS S / METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE S (307BB) <b>Obiettivi</b> 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 integrazione in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01

tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattati 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 e' 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.					
<p>EXPERIMENTAL METHODS FOR ASTROPARTICLE PHYSICS/ METODOLOGIE SPERIMENTALI PER LA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE (306BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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 quantita' da misurare (flussi, spettri...). I rivelatori di fotoni e di particelle sono trattati come i blocchi fondamentali prima di discutere le loro integrazione in strumentazione complessa per esperimenti a Terra e dallo spazio. La strumentazione e le tecniche per la fisica delle astroparticelle sono trattati 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 e' 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.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
<p>FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI (084BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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.</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<p>FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE (092BB)</p> <p><b>Obiettivi</b></p> <p>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 alcune fra le più importanti tecniche e metodi di analisi superficiale. Si promuove lo sviluppo di spirito critico e di sintesi volta a individuare i concetti fondamentali alla base delle materie di studio. Si promuove</p>	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03



substrates, bottom-up and top-down fabrication techniques, characterization methods. Overview of emergent device applications.					
FLUIDODYNAMICS (0024B)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
GEOPHYSICAL INSTRUMENTATION AND GEOPHYSICAL POTENTIAL FIELDS (0025B)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI (257BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
GRAVITATIONAL WAVE PHYSICS S / FISICA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI S (256BB) <b>Obiettivi</b> 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 proprietà di emissione in relazione al contesto dell'astrofisica multimessaggera. 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
HADRON COLLIDER PHYSICS / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI (201BB) <b>Obiettivi</b> 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 permesso molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle quali la scoperta dei bosoni intermedi W e Z, del quark top e del bosone di Higgs. Saranno presentati i principali risultati ottenuti agli collisionatori ISR, SPS collider, Tevatron e LHC insieme a una discussione delle prospettive future. Nella parte finale saranno esaminati in dettaglio alcuni degli articoli che descrivono i risultati scientifici più importanti ottenuti a LHC e effettuata una analisi di dati reali raccolti.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
HADRON COLLIDER PHYSICS S / FISICA AI COLLISIONATORI ADRONICI S (371BB) <b>Obiettivi</b> Fisica delle particelle elementari ai collisionatori adronici,	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04

specialmente protone-protone e protone-antiprotone. Lo studio delle interazioni tra quark e gluoni, costituenti del protone, ha permesso molte scoperte fondamentali nella fisica delle particelle quali la scoperta del bosoni intermedi W e Z , quark top e del bosone di Higgs.. Saranno presentati i principali risultati ottenuti agli collisionatori ri ISR, SPS collider, Tevatron e LHC insieme a una discussione delle prospettive future.					
IMAGING PER LA FISICA BIO-MEDICA (388BB) <b>Obiettivi</b> L'insegnamento costituisce una introduzione alle tecniche di acquisizione di immagini in campo biomedico, partendo dai concetti di base fino ad illustrare alcune applicazioni avanzate in ambito clinico. Gli argomenti trattati riguardano le immagini a raggi X (radiografia analogica e digitale e tomografia computerizzata), la Risonanza Magnetica Nucleare (con applicazioni di imaging e spettroscopia), la tomografia a emissione di positrone (PET). Vengono inoltre illustrati i principi di imaging ottico (fluorescenza e bioluminescenza), di imaging a luce Cherenkov (CLI) e di imaging a ultrasuoni e fotoacustico.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
LABORATORY OF INSTRUMENTAL SEISMOLOGY (0022B)	9	LM-17	B	Sperimentale applicativo	FIS/01
LASER A STATO SOLIDO (190BB) <b>Obiettivi</b> 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.	3	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (212ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
LIBERA SCELTA PER RICONOSCIMENTI (717ZW)	18	LM-17	D	A scelta dello studente	NN
MECHANICS OF GEOPHYSICAL FLUIDS (0023B)	9	LM-17	B	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/06
METODI MONTECARLO NELLA FISICA SPERIMENTALE (185BB) <b>Obiettivi</b> ornire conoscenza sulle metodologie statistiche avanzate per la simulazione montecarlo impiegate sia nella progettazione che nella comprensione delle risposte di complessi apparati sperimentali.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/01
MODELLIZZAZIONE DEI SISTEMI COMPLESSI (111BB) <b>Obiettivi</b> Il corso è mirato a fornire gli strumenti teorici per la modellizzazione di sistemi complessi.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
NONLINEAR DYNAMICS / DINAMICA NON LINEARE (322BB) <b>Obiettivi</b>	9	LM-17	C	Attività formative	FIS/03

<p>Gli obiettivi principali di questo corso sono quelli di promuovere l'acquisizione di competenze teoriche, sia di base che avanzate, per lo studio di sistemi dinamici nonlineari per i quali l'evoluzione temporale dei corrispondenti stati è determinata da leggi esclusivamente deterministiche. Questi sistemi dinamici (anche semplici) possono sviluppare comportamenti molto complessi, come ad esempio il caos deterministico. Pertanto, un'importante finalità del corso è quella di formare gli studenti in modo che siano in grado di utilizzare i principali approcci formali per lo studio e la caratterizzazione dinamica di sistemi nonlineari. Infine, per concretizzare l'applicazione dei principali approcci e metodi analitici del corso ad esempi concreti, una particolare attenzione verrà dedicata allo svolgimento di esercizi (in aula e per casa).</p>				affini o integrative	
<p>NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES S / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE (404BB) <b>Obiettivi</b> Vengono presentati alcuni approcci non perturbativi allo studio delle teorie di campo quantistiche nel contesto delle interazioni fondamentali, della fisica statistica e della materia condensata. Il corso è diviso in tre parti, fra di loro interconnesse per vari aspetti ma ciascuna di per se autoconsistente e corrispondente ad un carico didattico di circa 3 CFU. Nella prima parte viene trattata la teoria del gruppo di rinormalizzazione e le tecniche di sviluppo di grande N; la seconda parte è dedicata alla formulazione e allo studio delle teorie di campo su reticolo; la terza parte è dedicata alle anomalie nelle teorie quantistiche di campo e allo studio delle teorie di campo conformi. Il corso sarà basato su due di queste parti, a scelta dello studente. T</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<p>NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE (358BB) <b>Obiettivi</b> Vengono presentati alcuni approcci non perturbativi allo studio delle teorie di campo quantistiche nel contesto delle interazioni fondamentali, della fisica statistica e della materia condensata. Il corso è diviso in tre parti, fra di loro interconnesse per vari aspetti ma ciascuna di per se autoconsistente e corrispondente ad un carico didattico di circa 3 CFU. Nella prima parte viene trattata la teoria del gruppo di rinormalizzazione e le tecniche di sviluppo di grande N; la seconda parte è dedicata alla formulazione e allo studio delle teorie di campo su reticolo; la terza parte è dedicata alle anomalie nelle teorie quantistiche di campo e allo studio delle teorie di campo conformi.</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
<p>NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE / RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE (124BB) <b>Obiettivi</b> 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</p>	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
<p>PHYSICS OF PHOTONIC DEVICES/ FISICA DEI DISPOSITIVI FOTONICI (203BB) <b>Obiettivi</b> Il corso mira a fornire una conoscenza dei principali costituenti di un laser a stato solido: cavità, sistema di</p>	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03

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. Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico. Saranno inoltre affrontate i seguenti argomenti: "Proprietà ottiche di nanomateriali, con particolare riferimento alla risonanza plasmonica di superficie localizzata in sistemi zero-dimensionali. La teoria di Mie e le sue semplificazioni ed estensioni. Possibilità di combinare materiali differenti sulla singola nanostruttura. Applicazioni in campo tecnologico e biomedico."					
PHYSICS OF SOUND (408BB) <b>Obiettivi</b> Il corso introduce lo studente all'acustica, con enfasi sulla fisica del suono, degli strumenti musicali e dell'elaborazione elettronica e digitale di segnali acustici.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/07
PROVA FINALE (125ZW) <b>Moduli</b> PROVA FINALE (1) ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO (2)	45 44 1	LM-17	E	Per la prova finale	NN, PROFIN_S
QUANTUM FIELDS AND TOPOLOGY (328BB) <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
QUANTUM OPTICS AND PLASMA PHYSICS / OTTICA QUANTISTICA E PLASMI (354BB) <b>Obiettivi</b> Competenze in Ottica Fisica, Ottica Quantistica, Applicazioni dei LASERs, Accelerazione LASER-Plasma di particelle e sorgenti secondarie di radiazione X e gamma	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
ROCK PHYSICS (0026B)	6	LM-17	B	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03
SIGNAL PROCESSING FOR PHYSICS (338BB) <b>Obiettivi</b> Lo studente apprenderà le basi della elaborazione numerica dei segnali ed alcune applicazioni alla fisica. 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. Spettri.	6	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/01

SIMMETRIE DISCRETE (308BB) <b>Obiettivi</b> Il corso si propone di discutere le simmetrie discrete nella fisica delle particelle elementari. Vengono esaminati i più 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 inquadrate nell'ambito della teoria elettrodebole, di cui vengono discussi gli aspetti fenomenologici.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
SPECTROSCOPY ALGORITHMS / ALGORITMI DI SPETTROSCOPIA (043BB) <b>Obiettivi</b> 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.	3	LM-17	D	A scelta dello studente	FIS/03
TEORIA DEI GRUPPI (286BB) <b>Obiettivi</b> Acquisire i concetti base e l'utilizzo della teoria dei gruppi in fisica: assiomi dei gruppi, gruppi finiti e infiniti, gruppi discreti e continui. Gruppi e algebre di Lie. Teoria delle rappresentazione. Gruppi familiari in fisica: SU(2), SU(3), SO(3), SO(4), Gruppo di Lorentz e di Poincare'. Teoria delle radici e pesi in algebre semi-semplici. Alcuni applicazioni in meccanica quantistica.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIA DELLE REAZIONI NUCLEARI (277BB) <b>Obiettivi</b> 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.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/04
TEORIE DELLA GRAVITAZIONE (251BB) <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.	9	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02
TEORIE DELLA GRAVITAZIONE S (140BB) <b>Obiettivi</b> Il corso va inteso come un seguito del corso di Relatività Generale in cui si sviluppano più nel dettaglio alcuni aspetti formali e si fornisce un'introduzione a vari argomenti più avanzati. L'obiettivo è dare agli studenti tutti gli strumenti necessari ad una comprensione della ricerca moderna nel campo della gravità classica e quantistica. Il programma include: geometria differenziale e riemanniana per scopi fisici, studio delle formulazioni lagrangiana e hamiltoniana della gravità, costruzione di teorie di campo su spazio curvo, aspetti teorici di fisica di buchi neri (soluzioni, meccanica e	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

formazione), radiazione di Hawking e termodinamica dei buchi neri.					
<b>TOPOLOGICAL QUANTUM FIELD THEORY (187BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/02

### Anno di corso non specificato

Attività Formativa	CFU	Classe	TAF	Ambito	SSD
<b>MATERIAL OPTICAL SPECTROSCOPY / SPETTROSCOPIA OTTICA DEI MATERIALI (384BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03
<b>SPECTROSCOPY AND MICROSCOPY OF NANOMATERIALS / SPETTROSCOPIA E MICROSCOPIA DEI NANOMATERIALI (383BB)</b> <b>Obiettivi</b> 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.	6	LM-17	C	Attività formative affini o integrative	FIS/03