

## ALLEGATO B2 al Regolamento

### **Elenco degli insegnamenti con Settori Scientifico Disciplinari (SSD), Obiettivi formativi specifici e propedeuticità**

Le tipologie di attività didattica sono: lezioni d'aula (A), esercitazioni d'aula (E), esercitazioni di laboratorio (L).

DM 270/04, art. 12.2.b-c

<i>Attività Formativa</i>	<b>Fisica della Materia Condensata I</b>
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	997SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento intende fornire i concetti teorici fondamentali per capire il comportamento degli elettroni nei cristalli e gli strumenti di base per trattarli, sia in problemi risolvibili con metodi classici che in quelli che richiedono un trattamento quantistico. Principali argomenti: modelli per elettroni liberi non interagenti. Reticoli e strutture cristalline. Elettroni indipendenti in un potenziale periodico (elettroni di Bloch) e bande di energia. Semiconduttori. Magnetismo.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Laboratorio di Fisica dello Stato Solido</b>
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	681SM
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A+L)
<i>Obiettivi specifici</i>	Conoscenza di alcuni metodi sperimentali e di alcuni strumenti attualmente usati nel campo della ricerca fisica. Esempi di esperimenti che si possono eseguire durante il corso: fotoluminescenza di pozzi quantici, misura di proprietà elettroniche, ottiche e di trasporto di sistemi a confinamento quantistico, spettroscopia elettronica con risoluzione sub-nanometrica.

<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Fisica della Materia Condensata II</b>
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	967SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento intende fornire tecniche teoriche per trattare gli effetti delle interazioni in sistemi a molti corpi. Tra le altre saranno considerate applicazioni a problemi quali risposta lineare e schermo dielettrico in un sistema di cariche mobili, sistemi di elettroni, sistemi di elettroni e fononi, superconduttività.
<i>Propedeuticità</i>	Fisica della Materia Condensata I
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Dinamica dei sistemi quantistici</b>
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	680SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	A complemento di quanto viene trattato negli insegnamenti caratterizzanti obbligatori di meccanica quantistica (principalmente stati stazionari) il presente insegnamento intende coprire un argomento di particolare interesse per la fisica della materia condensata, ma anche più trasversale, quale l'evoluzione di sistemi con Hamiltoniani dipendenti dal tempo (approssimazione adiabatica, impulsiva...).
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Simmetrie in materia condensata</b>
---------------------------	--

<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	3
<i>Codice</i>	671SM
<i>Tipologia Didattica</i>	24 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento intende coprire un argomento di complementi di meccanica quantistica di particolare interesse per la fisica della materia condensata, ma anche più trasversale, quale i gruppi finiti di simmetria e loro rappresentazioni irriducibili, con applicazioni ai sistemi quantistici
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Laboratorio di Fisica della Materia</b>
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	994SM
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A+L)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Conoscenza delle più diffuse tecniche sperimentali per lo studio delle proprietà geometriche ed elettroniche delle superfici dei solidi. Nelle esercitazioni: preparazione e caratterizzazione di superfici di metalli di transizione.</p> <p>Obiettivi: (i) introdurre gli studenti alla strumentazione scientifica utilizzata in condizioni di ultra alto vuoto, (ii) sviluppare capacità di analisi critica nella misura di grandezze fisiche rilevanti nel campo della fisica della materia condensata e (iii) migliorare le competenze per l'analisi dei dati raccolti.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Geometria e Topologia in Struttura elettronica</b>
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	759SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)

<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento intende coprire la geometria della meccanica quantistica non relativistica, negli aspetti che riguardano la fisica molecolare e degli stati condensati. L'obiettivo è dare una visione d'insieme di fenomeni apparentemente molto diversi, ma nei quali gli aspetti geometrici e topologici sono dominanti. Argomenti trattati: Effetto Aharonov-Bohm, intersezioni coniche nelle molecole, fasi di Berry, effetto Hall quantizzato, trasporto semiclassico, teorie moderne della polarizzazione e della magnetizzazione orbitale, metrica quantistica e localizzazione elettronica, isolanti topologici.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Laboratorio di Fisica Computazionale</b>
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	993SM
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A+L)
<i>Obiettivi specifici</i>	Implementazione e utilizzo di metodi stocastici e loro applicazioni numeriche (algoritmi e giustificazioni; equilibratura; stima degli errori); in particolare: metodi Monte Carlo per l'integrazione numerica in meccanica statistica.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Fondamenti di Fisica delle Superfici</b>
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	995SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento, incentrato sulla descrizione dei principali fenomeni fisici caratteristici delle superfici dei solidi e delle tecniche sperimentali comunemente utilizzate per il loro studio, si prefigge l'obiettivo di far acquisire agli studenti la conoscenza delle più importanti proprietà fisico/chimiche delle superfici di metalli e semiconduttori. L'insegnamento si propone inoltre di sviluppare capacità di analisi delle relazioni tra

	struttura geometrica, struttura elettronica e proprietà chimiche di superfici pulite o ricoperte da adsorbati.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Metodi Numerici per la Meccanica Quantistica</b>
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	827SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento fornisce un'introduzione a metodi e tecniche numeriche utili per la risoluzione numerica di problemi quantomeccanici, specialmente in fisica atomica e della materia condensata. Lo scopo dell'insegnamento è eminentemente pratico: si vuole fornire allo studente la capacità di affrontare i problemi complessi di domani tramite la soluzione pratica di problemi semplici, scelti fra quelli che meglio introducono alle tecniche moderne di simulazione. Introduzione di concetti quali stabilità, accuratezza numerica, complessità degli algoritmi, convergenza dei risultati rispetto ai vari parametri del calcolo mediante esempi concreti. Alcuni metodi e tecniche più usate nelle simulazioni quantistiche.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Applicazioni della Radiazione di Sincrotrone</b>
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	992SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Conoscenza dei meccanismi di interazione dei raggi X e dei raggi ultravioletti con la materia; conoscenza delle proprietà della luce di sincrotrone e della strumentazione necessaria a generarla; conoscenza della struttura di una sorgente di luce di sincrotrone e di una linea di luce; conoscenza delle principali tecniche di indagini sperimentale con luce di

	sincrotrone (microscopie, spettroscopie, tecniche di immagine e litografiche).
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Fenomeni Critici</b>
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	820SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Conoscenza degli aspetti più importanti della fenomenologia dei fenomeni critici e della loro descrizione teorica termodinamico-statistica. Capacità di utilizzare, a livello di base, teorie rilevanti alla descrizione di transizioni di fase e fenomeni critici e di comprendere la letteratura recente sull'argomento.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Simulazioni classiche di sistemi a molti corpi</b>
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	771SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento si propone di fornire concetti e metodi necessari, dagli algoritmi alle tecniche di analisi dei dati, per la simulazione dinamica di sistemi a molti corpi governati dalla meccanica classica. Interesse particolare, ma non esclusivo, viene dato alle simulazioni atomistiche. Lo scopo è di mettere lo studente di condurre autonomamente una simulazione, inclusa la scrittura o la modifica del software necessario.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	

<i>Articolazione in moduli</i>	
--------------------------------	--

<i>Attività Formativa</i>	<b>Simmetrie e interazioni fondamentali</b>
<i>SSD</i>	FIS/04
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	618SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Conoscenza degli elementi di base della fisica subnucleare, con particolare attenzione alle proprietà statiche del modello a quark
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Bachelor degree in Physics
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Fisica Nucleare</b>
<i>SSD</i>	FIS/04
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	989SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Acquisire la conoscenza delle più significative proprietà statiche dei nuclei e dei principali meccanismi dei processi di decadimento nucleare
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Modello standard delle interazioni fondamentali</b>
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	616SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Competenze: alla fine del corso lo studente avrà familiarità con le principali proprietà delle interazioni elettro-deboli e forti, saprà riconoscerne i processi più importanti e calcolare le sezioni d'urto

	<p>corrispondenti, per mezzo dell'espansione perturbativa della teoria dei campi (diagrammi di Feynman).</p> <p>Contenuti: si spiegherà come procedere dai dati osservativi negli acceleratori e in altri esperimenti ad alte energie, alla definizione e costruzione della lagrangiana del modello standard e viceversa; come dal modello standard si calcolano le sezioni d'urto e i decadimenti più comuni, usando l'espansione perturbativa della teoria quantistica dei campi.</p>
<i>Propedeuticità</i>	Simmetrie e interazioni fondamentali
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Statistica avanzata per l'analisi dati</b>
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	988SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Alla fine del corso gli studenti sapranno costruire e manipolare modelli probabilistici. Gli studenti conosceranno inoltre - teoricamente e operativamente - i metodi fondamentali di inferenza statistica, con particolare riferimento ai problemi di analisi dati della Fisica. Distribuzioni fondamentali, likelihood, procedure parametriche di vario tipo, errori delle stime. Esempi vari di analisi statistica dei dati trattati da esperimenti attuali.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Metodi di immagine in Fisica Medica</b>
<i>SSD</i>	FIS/07
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	987SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Conoscenza approfondita dei principi fisici dei metodi di imaging diagnostico: radiologia con raggi X, imaging di risonanza magnetica nucleare, imaging con radionuclidi (medicina nucleare). Cenni su ultrasuoni.

	Conoscenza degli sviluppi più recenti di queste tecnologie nella pratica clinica.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Caratteristiche generali dei Rivelatori</b>
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	981SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'obiettivo dell'insegnamento è l'apprendimento delle leggi fisiche che regolano l'interazione della radiazione carica e neutra con la materia, le proprietà generali dei rivelatori e lo studio dei principali rivelatori di energia e posizione. Al termine del corso lo studente dev'essere in grado di progettare un apparato sperimentale per la rivelazione di specifiche particelle ed energie.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Laboratorio Acquisizione e controllo Dati</b>
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	986SM
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A+L)
<i>Obiettivi specifici</i>	Elettronica modulare per l'acquisizione ed il controllo dei dati, software per l'acquisizione e l'analisi dati, misure di tempi di volo e di carica con TDC ed ADC
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Dinamica delle interazioni elettrodeboli e forti</b>
---------------------------	---

<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Lo scopo dell'insegnamento è fornire allo studente la derivazione della Teoria Standard delle interazioni fondamentali: i) proprietà generali delle teorie di gauge e della rottura spontanea; ii) Cromodinamica quantistica, accoppiamento "running", libertà asintotica, modello a partoni, violazione dell'invarianza di scala, reazioni adroniche ad alti $p_T$ ; iii) Modello Standard delle interazioni elettrodeboli, accoppiamenti fondamentali.
<i>Propedeuticità</i>	Modello standard delle interazioni fondamentali
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Laboratorio di Fisica Medica</b>
<i>SSD</i>	FIS/07
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	828SM
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A+L)
<i>Obiettivi specifici</i>	Acquisizione delle competenze di base nell'utilizzo di un tubo radiologico e dei comuni sistemi di dosimetria per la radiologia. Competenze nelle tecniche di caratterizzazione dei sistemi radiologici e conoscenza dei principi di base dei controlli di qualità dei sistemi stessi. Introduzione alle moderne apparecchiature di imaging e di radioterapia, con visite ed esercitazioni presso le unità cliniche. Introduzione all'uso delle simulazioni di MonteCarlo in fisica medica
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Laboratorio di Fisica Nucleare e Subnucleare</b>
<i>SSD</i>	FIS/04
<i>CFU</i>	9
<i>Codice</i>	819SM
<i>Tipologia Didattica</i>	108 h (A+L)

<i>Obiettivi specifici</i>	La finalità dell'insegnamento è l'apprendimento delle moderne tecniche sperimentali in uso nella fisica nucleare e subnucleare. In particolare lo studente apprende a condurre esperimenti di rivelazione di particelle, dalla fase di progettazione a quelle di realizzazione, acquisizione dati e analisi degli stessi.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Laboratorio Acquisizione e Controllo Dati
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Fisica sperimentale nucleare e subnucleare</b>
<i>SSD</i>	FIS/04
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	818SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento introduce alle tematiche sperimentali della fisica nucleare e subnucleare delle alte energie. Vi si discutono in particolare alcune problematiche di misura ed analisi specifiche del sopracitato ambito con lo scopo di fornire conoscenze utili alla progettazione di un esperimento e alla comprensione dei suoi risultati.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Introduzione alla biofisica</b>
<i>SSD</i>	FIS/07
<i>CFU</i>	3
<i>Codice</i>	757SM
<i>Tipologia Didattica</i>	24 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	Questo insegnamento è un'introduzione ad alcuni importanti aspetti della biologia, in cui la modellizzazione e l'indagine di tipo fisico hanno o hanno avuto un ruolo importante. Gli argomenti proposti sono selezionati tra i molti possibili, e tra questi l'insegnamento include: il codice genetico e la struttura del DNA; la cinetica chimica; la struttura delle proteine; l'equazione di Michaelis-Menten; l'elettrostatica delle proteine; il protein-folding; le proteine idratate come sistemi vetrosi; la biomeccanica delle cellule; il bilancio energetico delle cellule; la dinamica delle popolazioni cellulari; gli aspetti termodinamici e meccanico-statistici delle cellule e

	degli organismi multicellulari; le leggi di scala; una breve introduzione ai temi della Biofisica Computazionale e della Bioinformatica.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Astrofisica Nucleare e Subnucleare</b>
<i>SSD</i>	FIS/04
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	984SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Fisica delle astroparticelle nell'evoluzione dell'universo. Radiazione cosmica di fondo. Radiazione, materia, materia oscura ed energia oscura. Aspetti teorici, osservativi e sperimentali delle astroparticelle. Raggi cosmici nello spazio e nell'atmosfera. Muoni. Raggi gamma. Neutrini. Antiparticelle. Rivelazione. Propagazione. Accelerazione. Generazione. Sorgenti astrofisiche puntiformi. Astronomia gamma e astronomia neutrinica. Neutrini da collassi stellari gravitazionali. Materia oscura. Fiotti di raggi gamma di origine cosmologica. La regione delle energie estremamente elevate.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Astrofisica delle Alte Energie</b>
<i>SSD</i>	FIS/04
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	772SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Introduzione dello stato dell'arte nel campo della fisica astro-particellare. Metodologie e Strumenti di analisi.  Contenuti: strumenti e risultati di frontiera nel campo dell'astrofisica delle particelle alle altissime energie, in particolare per quanto riguarda la radiazione cosmica costituita da nucleoni, fotoni e neutrini; possibilità future legate agli strumenti per la rivelazione di onde gravitazionali. Indagine sul legame tra questi studi e la fisica fondamentale (verifiche in

	condizioni estreme delle simmetrie della natura e ricerca di nuova fisica in condizioni inaccessibili in laboratorio).
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Programmazione C++ per la Fisica</b>
<i>SSD</i>	INF/01
<i>CFU</i>	3
<i>Codice</i>	739SM
<i>Tipologia Didattica</i>	36 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Fornire la conoscenza su come il C++ sia utilizzato nel campo della fisica ed essere in grado di scrivere e utilizzare semplici programmi di analisi dati.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Meccanica Quantistica Avanzata</b>
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	999SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Scopo dell'insegnamento è fornire gli strumenti moderni per lo studio di fenomeni complessi in meccanica quantistica, in particolare quei fenomeni all'interfaccia tra classico e quantistico. L'insegnamento si divide in due parti, una relativa all'analisi dei sistemi quantistici aperti (formalismo della matrice densità, la matrice densità ridotta, l'equazione di Joos-Zeh e Caldeira-Leggett, il Quantum Brownian Motion) e la seconda relativa ai processi stocastici (teoria della misura: breve introduzione e teoremi fondamentali, teoria della probabilità, variabili random: definizione e proprietà, processi stocastici: definizioni ed esempi, processi di Markov, il processo di Wiener, la connessione con i path-integrals, l'integrale stocastico).
<i>Propedeuticità</i>	

<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Relatività Generale I</b>
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	825SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Acquisire una padronanza dei principi fondamentali di teorie covarianti generali e delle tecniche necessarie all'applicazione di questi concetti alla teoria del campo gravitazionale così come è stata sviluppata da Einstein.</p> <p>Trasformazioni di Lorentz, relatività speciale. Concetti fondamentali di geometria differenziale; calcolo ed analisi tensoriale in spazi di Riemann. Equazioni di campo gravitazionale in relatività. Principali applicazioni delle relatività generale.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Teoria dei Campi I</b>
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	760SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Acquisire una padronanza dei principi fondamentali di teorie covarianti generali e delle tecniche necessarie all'applicazione di questi concetti alla teoria del campo gravitazionale così come è stata sviluppata da Einstein. Introduzione alla teoria dei campi classica.</p> <p>Non-relativistic QFT (Eq. di Schroedinger in seconda quantizzazione)</p> <p>Seconda quantizzazione dell'equazione di Klein-Gordon (campo neutro e campo carico)</p> <p>Equazione di Dirac, matrici di Dirac e notazione</p> <p>Seconda quantizzazione dell'equazione di Dirac + teorema di spin-statistica</p> <p>Seconda quantizzazione del campo elettromagnetico</p> <p>Teoria dello scattering</p> <p>Campi in interazione, sviluppo perturbativo, teorema di Wick, regole Feynman</p> <p>Calcolo di un diagramma di Feynman al prim'ordine.</p>

<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Teoria dei Campi II</b>
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	751SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Approccio alla teoria quantistica dei campi attraverso il formalismo dell'integrale sui cammini. Calcolo delle correzioni radiative ai correlatori quantistici e agli elementi della matrice S di scattering; divergenze e rinormalizzazione. Beta function e gruppo di rinormalizzazione. Integrale sui cammini per fermioni. Teorie di gauge abeliane (QED) e non-abeliane (YM). Determinante di Fadeev-Popov e simmetria BRST. Anomalie.
<i>Propedeuticità</i>	Teoria dei Campi I
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Meccanica statistica</b>
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	750SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Comprensione ed uso delle tecniche di base della meccanica statistica quantistica dei sistemi ad infiniti gradi di libertà con particolare riferimento all'esistenza di rappresentazioni inequivalenti ed al fenomeno della rottura spontanea di simmetria. Capacità di applicazione di tali tecniche a semplici sistemi di spin, fermionici e bosonici che presentano transizioni di fase.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	

<i>Articolazione in moduli</i>	
--------------------------------	--

<i>Attività Formativa</i>	<b>Relatività Generale II</b>
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	823SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	i) Comprendere la struttura globale dello spazio-tempo in Relatività Generale. ii) Sviluppare gli strumenti e le tecniche per riconoscere le conseguenze della presenza di simmetrie in teorie covarianti generali. iii) Essere in grado di formulare principi variazionali per teorie covarianti generali. iv) Cominciare a sviluppare la capacità di applicare i concetti precedenti a situazioni particolari di interesse corrente in astrofisica, cosmologia e/o gravità quantistica/teoria delle stringhe.
<i>Propedeuticità</i>	Relatività Generale I, <i>oppure</i> , Cosmologia I
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Introduzione all'Informazione Quantistica</b>
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	826SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	La teoria quantistica dell'informazione studia le conseguenze dell'uso di sistemi quantistici nella manipolazione e trasmissione d'informazione. Particolare rilevanza sarà data al fenomeno dell'entanglement e al suo comportamento in presenza di rumore e dissipazione. Oltre ad alcune delle applicazioni più note dei sistemi entangled, quali il teletrasporto ed alcuni protocolli computazionali elementari, si esamineranno alcuni più recenti sviluppi nel campo degli atomi ultra-freddi che permettono il superamento del cosiddetto limite di shot-noise nella misura di parametri fisici. Scopo dell'insegnamento è quello di fornire una panoramica degli aspetti sopra menzionati.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	

<i>Articolazione in moduli</i>	
--------------------------------	--

<i>Attività Formativa</i>	<b>Applicazione della Teoria dei Gruppi alla Fisica</b>
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	683SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento ha lo scopo di consentire allo studente di 1) Impraticarsi con il concetto di gruppi di Lie e del loro ruolo in fisica; 2) Imparare a costruire le Rappresentazioni dei gruppi unitari; 3) Imparare a costruire le rappresentazioni del gruppo di Lorentz.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Metodi di Potenziale</b>
<i>SSD</i>	GEO/10
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	952SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Essere in grado di utilizzare osservazioni dei campi di gravità e magnetico applicando metodi del potenziale, essere in grado di applicare metodi di inversione e modellazione essenziali in tutte le applicazioni geofisiche sia superficiali che profonde.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Sismologia</b>
<i>SSD</i>	GEO/10
<i>CFU</i>	6

<i>Codice</i>	678SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Fornire la base di conoscenza necessaria per la comprensione della fisica delle onde sismiche (i.e. genesi, propagazione e analisi), anche come strumento per lo studio multiscala dell'interno della Terra.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Fluidodinamica Geofisica</b>
<i>SSD</i>	ICAR/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	979SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Il punto centrale è quello di evidenziare la connessione tra la fenomenologia marina ed atmosferica a grande scala, appresa in altri Corsi oppure opportunamente anticipata, e l'impiego della medesima fenomenologia in ambiti formali. Un tanto per giungere alle conoscenze di base attuali della Fluidodinamica geofisica.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza della fisica matematica necessaria allo studio della meccanica del continuo, incluso l'analisi tensoriale
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Rischio Sismico e Vulcanico</b>
<i>SSD</i>	FIS/07
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	815SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Fornire la base di conoscenza dei metodi di analisi della pericolosità sismica e vulcanica: metodi probabilistici e deterministici, vulnerabilità e rischio, terremoti ed eventi di scenario e di progetto.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Fisica dell'Atmosfera</b>
<i>SSD</i>	FIS/06
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	774SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento è volto a fornire gli strumenti concettuali e analitici atti a comprendere e descrivere i fenomeni atmosferici, con particolare attenzione alla termodinamica e alla dinamica alla mesoscala. Verranno presentati i meccanismi di interazioni tra i flussi atmosferici e l'orografia, i processi di formazione delle precipitazioni, nonché i meccanismi alla base del ristagno atmosferico e della trasformazione degli inquinanti. Nell'ambito dell'insegnamento verranno inoltre analizzate simulazioni numeriche mediante un modello atmosferico non-idrostatico.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Fisica dello strato limite atmosferico</b>
<i>SSD</i>	FIS/06
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	679SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento intende fornire essenziali complementi ai corsi di Fluidodinamica geofisica e di Fisica dell'atmosfera che sono utili alla comprensione e soprattutto alla modellazione, analitica e numerica, dei fenomeni fisici alla microscala, i quali hanno sede negli strati atmosferici prossimi alla superficie terrestre. Nel corso vengono trattati gli scambi energetici e di quantità di moto tra l'atmosfera e la superficie del pianeta, l'interazione tra la radiazione entrante, uscente dal sistema atmosferico e l'aria, i problemi turbolenti residenti nello strato limite e le loro conseguenze sui moti alle diverse scale spaziali, temporali e sulla dispersione e la trasformazione fotochimica degli inquinanti e dei gas serra.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Astrofisica teorica</b>
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	756SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Conoscere la fisica degli interni stellari e dei processi radiativi importanti in astrofisica. Nella prima parte del corso verranno acquisite conoscenze relative ai meccanismi fisici su cui si basano la struttura e l'evoluzione delle stelle.</p> <p>Conoscere la fisica del trasferimento della radiazione. Nella seconda parte lo studente acquisirà conoscenze sui processi di emissione continua della radiazione, sia termici che non termici, e sulla fisica dei nuclei galattici attivi.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Astrofisica</b>
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	973SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	Lo studente acquisirà le conoscenze di base, teoriche e fenomenologiche, concernenti i principali oggetti astronomici e loro caratteristiche anche per fruire al meglio degli altri insegnamenti più specialistici.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Evoluzione di Stelle e Galassie</b>
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	970SM

<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	Conoscere l'evoluzione delle stelle e delle popolazioni stellari nelle galassie. Lo studente acquisirà conoscenze sui principi di nucleosintesi stellare, dalla nucleosintesi primordiale alle supernovae e ai raggi cosmici; teorie sui progenitori delle supernovae di diverso tipo. Acquisirà inoltre conoscenze sulla sequenza di Hubble delle galassie e le proprietà osservative della Galassia: principi di evoluzione chimica delle galassie, il tasso di formazione stellare, la funzione iniziale di massa e la produzione di elementi chimici da parte delle stelle; confronto tra modelli teorici e osservazioni; evoluzione spettro-fotometrica delle galassie; calcolo dell'evoluzione della luminosità bolometrica e delle luminosità monocromatiche per popolazioni stellari semplici e composte e confronti con le osservazioni; derivazione dell'età degli oggetti astronomici utilizzando l'evoluzione fotometrica ed altri metodi. Età dell'universo. Diagramma di Hubble e parametro di decelerazione dell'universo.
<i>Propedeuticità</i>	Astrofisica teorica
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Atmosfere stellari</b>
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	753SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	Comprendere la struttura delle atmosfere stellari e derivare i loro parametri specifici: distribuzione di temperatura, densità ed opacità e composizione chimica. Verrà studiato il problema del Trasporto Radiativo in mezzi otticamente sottili ed otticamente spessi anche in presenza di diffusione. Parte del corso sarà dedicata alla soluzione dell'equazione del Trasporto Radiativo nel caso delle Atmosfere Stellari con metodi analitici e numerici e alla discussione di modelli di fotosfere stellari sia semi-empirici che teorici.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Cosmologia I</b>
<i>SSD</i>	FIS/05

<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	966SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	Nella prima parte del corso lo studente acquisirà conoscenze di base di Relatività Generale. Nella seconda parte lo studente acquisterà confidenza con i diversi modelli cosmologici, con le basi della cosmologia osservativa, con il modello cosmologico standard (Big Bang) e gli eventi fondamentali dell'evoluzione cosmica, con le teorie relative all'inflazione, alla costante cosmologica, alla materia ed all'energia oscure.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Laboratorio di Tecnologie Astronomiche</b>
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	972SM
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A+L)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento ha la finalità di far acquisire allo studente le conoscenze di base sulle principali tecniche di osservazione astronomica nelle varie bande dello spettro elettromagnetico, e in particolare in banda ottica con osservazioni dalla stazione osservativa INAF, e iniziare a sviluppare la capacità di pianificare un programma osservativo. E' prevista un'attività iniziale di apprendimento di tecniche di programmazione in C e python, con applicazioni particolari alla riduzione e analisi di dati astronomici (osservati e/o simulati).
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Pianeti e astrobiologia</b>
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	752SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)

<i>Obiettivi specifici</i>	Lo scopo principale dell'insegnamento è quello di presentare la fisica dei pianeti e dei sistemi planetari e offrire un'introduzione all'astrobiologia, propedeutica alla trattazione dell'abitabilità planetaria e dei biomarcatori atmosferici. Il sistema solare viene utilizzato come riferimento per lo studio comparativo dei sistemi planetari extrasolari. Viene altresì introdotto lo studio del mezzo interstellare diffuso, con un approfondimento su polvere e molecole interstellari.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Laboratorio di Astrofisica Spaziale</b>
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	968SM
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A+L)
<i>Obiettivi specifici</i>	Comprensione di base di una missione spaziale, dei sistemi che la compongono e delle problematiche legate al suo sviluppo. Apprendimento delle tecniche di analisi dei sistemi spaziali. Conoscenza dei più semplici algoritmi numerici per la soluzione dei problemi fisici semplificati.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Cosmologia II</b>
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	9
<i>Codice</i>	814SM
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento è finalizzato alla conoscenza approfondita ed aggiornata delle problematiche di cosmologia legate allo studio della formazione di galassie, ammassi di galassie e della struttura su grande scala dell'Universo nell'ambito dei modelli cosmologici correnti. L'apprendimento di elementi di evoluzione delle perturbazioni in regime lineare e non lineare, sia tramite tecniche analitiche che numeriche permetterà agli studenti di conoscere i meccanismi che sono alla base

	della formazione ed evoluzione delle strutture cosmiche. L'apprendimento di tecniche statistiche per quantificare la distribuzione di tali strutture permetterà inoltre di comprendere appieno il confronto tra le predizioni teoriche di tali modelli ed i dati osservativi correnti. Tale apprendimento sarà anche finalizzato alla comprensione dei progressi in ambito cosmologico che saranno resi possibili dalla prossima generazione di telescopi sia collocato a terra che nello spazio.
<i>Propedeuticità</i>	Cosmologia I
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Meteorologia e Climatologia dello Spazio</b>
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	754SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento presenta un'introduzione alla Meteorologia e alla Climatologia dello Spazio. Lo studente apprende le nozioni di base relative a: a. fenomenologia; b. modellistica; c. osservazione delle interazioni tra i processi fisici che hanno origine in diversi sistemi astrofisici interni ed esterni al Sistema Solare con gli ambienti planetari e, nel caso della Terra, con i sistemi tecnologici e con gli organismi viventi, rispettivamente: a. su scala temporale breve (Meteorologia); b. su scala temporale lunga (Climatologia).
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Biofisica Sperimentale</b>
<i>SSD</i>	FIS/07
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)

<i>Obiettivi specifici</i>	
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Fisica della Radioterapia</b>
<i>SSD</i>	FIS/04
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	<b>Nanostrutture</b>
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	Il corso intende fornire concetti generali sulle nanostrutture, fornendo altresì una discussione più dettagliata, su esempi specifici, delle tecniche di fabbricazione e caratterizzazione fisica e degli approcci teorici necessari alla comprensione dei fenomeni di interesse. In particolare si discuteranno alcuni tra i seguenti argomenti: effetti della finitezza dei sistemi; forme allotropiche del carbonio; cluster metallici; eterostrutture a semiconduttore; nanostrutture organiche.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Fisica della materia condensata I
<i>Articolazione in moduli</i>	