

## Astrofisica e Fisica Teorica

### Conoscenza e comprensione

Il curriculum non prevede corsi strettamente obbligatori ma tutte le scelte possibili per il piano carriera prevedono che lo studente raggiunga una solida preparazione sui principali temi di Fisica Teorica o Astrofisica.

In particolare lo studente dovrà acquisire una buona padronanza teorica e pratica della Meccanica Quantistica relativistica, della Teoria dei Campi classica e quantistica, della Relatività Generale, nonché dei principali strumenti matematici utili per questo tipo di studi (Meccanica Quantistica Relativistica, Complementi di Meccanica Quantistica, Fondamenti di Teoria dei Campi, Processi Radiativi, Relatività generale, Relatività Generale: Aspetti Geometrici e Globali, Complementi di Metodi Matematici).

I corsi caratterizzanti concorrono all'acquisizione di una solida preparazione di base per lo studio dei fenomeni fisici di interesse del curriculum. A seconda delle scelte dei corsi caratterizzanti lo studente potrà acquisire

- Conoscenza approfondita della meccanica statistica classica e quantistica e delle sue applicazioni allo studio di sistemi di materia condensata (Meccanica Statistica, Fisica della Materia Condensata)

- Conoscenza approfondita dei principali algoritmi numerici e statistici (quali i metodi Monte Carlo) per lo studio dei problemi fisici e l'analisi dei dati; conoscenza approfondita di alcuni linguaggi di programmazione (Tecniche di Analisi Numerica e Simulazione, Algoritmi Numerici per la Fisica )

- Buona conoscenza dei fondamenti sperimentali del modello standard delle interazioni fondamentali e delle sue applicazioni fenomenologiche ed astrofisiche (Particelle elementari I, Laboratorio di Fisica Nucleare e Subnucleare I, Fondamenti di Fisica Cosmica)

- Conoscenza di base dei processi di interazione tra radiazione elettromagnetica e materia e della fisica della materia allo stato fluido e di plasma (Applicazioni di Elettromagnetismo, Complementi di Fisica Generale, Fisica della Materia allo Stato Fluido e di Plasma)

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, in particolare delle tecniche di rinormalizzazione, di fenomenologia del Modello Standard delle interazioni fondamentali e di applicazioni della fisica delle particelle alla astrofisica e alla cosmologia (Complementi di Teoria dei Campi, Fenomenologia delle Interazioni Fondamentali, Fisica Astroparticellare e Cosmologica).

- Ulteriori conoscenze di matematica utili per lo studio dei problemi attuali di Fisica Teorica, quali la Geometria Differenziale e la Teoria dei Gruppi (Geometria Differenziale e Teoria dei Gruppi).

- Conoscenze avanzate di tecniche sperimentali e numeriche utili in particolare per lo studio di modelli di fisica delle particelle (Sistemi di Calcolo Parallelo e Distribuito, Particelle Elementari II, Rivelatori di Particelle).

- Conoscenze di base sulla moderna teoria dei sistemi dinamici e dei sistemi caotici e sulla interazione fra i processi di produzione di energia e dinamica dei processi climatici (Sistemi

Dinamici, Energia e Ambiente).

- Conoscenza approfondita dei processi di formazione ed evoluzione stellare, della dinamica della Via Lattea e delle galassie, della fisica degli oggetti astrofisici compatti, delle strutture cosmiche extragalattiche e della cosmologia; conoscenze avanzate di fisica solare e tecniche di simulazione numerica di sistemi astrofisici. (Fondamenti di Astrofisica: Galassie e Strutture Cosmologiche, Fondamenti di Astrofisica: Stelle e Via Lattea, Cosmologia).

**Capacità di applicare conoscenza e comprensione**

Il curriculum non prevede corsi strettamente obbligatori ma tutte le scelte possibili per il piano carriera prevedono che lo studente raggiunga una solida preparazione sui principali temi di Fisica Teorica o Astrofisica.

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

- Utilizzare tecniche matematiche avanzate, atte a risolvere problemi di Fisica Teorica o Astrofisica.
- Saper utilizzare le conoscenze acquisite per analizzare dal punto di vista teorico qualunque modello o problema di fisica teorica o astrofisica che richieda l'uso della fisica quantistica, della relatività o della teoria di campo.

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

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

- Scrivere programmi per la risoluzione numerica di problemi di Fisica Teorica o Astrofisica, risolvere numericamente equazioni differenziali, effettuare simulazioni e ricostruzioni di dati sperimentali.
- Saper applicare le conoscenze acquisite per analizzare le caratteristiche di sistemi di materia condensata ed elettromagnetici e di sistemi astrofisici.
- Conoscere lo stato attuale della comprensione teorica delle interazioni elettromagnetiche, deboli e forti.
- Conoscere e comprendere il funzionamento dei moderni apparati sperimentali ed osservativi e delle principali tecniche di rivelazione di particelle elementari e di radiazione elettromagnetica celeste.

A seconda delle scelte di corsi affini/integrativi lo studente dovrà essere in grado di:

- Padroneggiare le tecniche acquisite, sia teoriche che sperimentali o fenomenologiche.
- Dimostrare di avere una chiara consapevolezza del livello di conoscenza raggiunto nel campo della ricerca a cui si riferisce il corso.
- Sapere utilizzare i formalismi matematici formulando in modo semplice il problema fisico a cui si riferiscono.
- Sapere collegare le tecniche sperimentali e gli studi fenomenologici alle problematiche specifiche che si stanno affrontando.

## Fisica del Sistema Meteoclimatico e delle Tecnologie Avanzate

### Conoscenza e comprensione

I corsi obbligatori di Complementi di Fisica Generale e Complementi di Metodi Matematici concorrono all'acquisizione di una approfondita comprensione della fisica alla base dei fenomeni di interesse e rafforzano le conoscenze acquisite nel primo ciclo.

In particolare lo studente dovrà acquisire:

- Buona padronanza teorica e pratica dei fondamenti di alcuni argomenti di Fisica Generale, di particolare interesse per lo studio dei fluidi geofisici e per la fisica delle nuove tecnologie.
- Buona padronanza teorica e pratica degli elementi fondamentali della teoria delle funzioni analitiche e della teoria delle equazioni differenziali ordinarie nel campo complesso e di quelle a derivate parziali.

I corsi caratterizzanti concorrono all'acquisizione di una solida preparazione di base per lo studio dei fenomeni fisici di interesse del curriculum. A seconda delle scelte di corsi caratterizzanti lo studente potrà acquisire:

- Conoscenze di base della Meccanica Quantistica Relativistica, della Teoria di Campo, della Teoria della Relatività Generale e delle fondamentali applicazioni; Conoscenza approfondita dei principali metodi di indagine della meccanica statistica e della termodinamica statistica dei sistemi in equilibrio; conoscenza più approfondita delle statistiche quantistiche applicate alla fisica della materia condensata (Complementi di Meccanica Quantistica, Relatività generale, Meccanica Statistica, Complementi di Struttura)
- Solida preparazione relativamente ai fondamenti teorici della fisica della materia allo stato solido, fluido e di plasma, dell'elettronica ed in altri settori della fisica delle tecnologie avanzate (Fisica dello Stato Solido, Elettr. Digitale, Elettr. Analogica, Microelettronica)
- Conoscenza approfondita delle basi fisico-matematiche che regolano il comportamento dei fluidi geofisici, con particolare attenzione all'atmosfera terrestre; Conoscenze approfondite delle basi fisico-matematiche per lo studio delle onde nonlineari e della turbolenza; comprensione della teoria delle reti neurali; applicazioni alla modellizzazione di sistemi neurali biologici ed alla risoluzione di problemi fisici (Onde Nonlineari e Turbolenza, Fisica dell'Atmosfera, Reti neurali)

### Laboratori

Ogni studente deve frequentare almeno un corso di Laboratorio. A seconda delle scelte di corsi di laboratorio lo studente potrà acquisire:

- Conoscenze fondamentali per la comprensione dei fenomeni fisici alla base delle più diffuse tecniche sperimentali per la caratterizzazione di materiali e dispositivi a stato solido; conoscenze sulle proprietà e le applicazioni base dei transistori MOS e IC MOS (Laboratorio di Fisica della Materia, Lab. Avanzato di Elettronica)
- Conoscenze di base per la misura di agenti fisici nell'ambiente: di alcune tra le tecniche di misure di variabili ambientali e sul principio di funzionamento della strumentazione professionale disponibile. (Laboratorio di Fisica Ambientale)
- Conoscenze di base per la modellizzazione numerica di processi fisici per risolvere problemi nei campi della geofisica e della fisica ambientale. (Laboratorio di Geofisica Computazionale)
- Conoscenze dei metodi per l'elaborazione e l'analisi di dati monodimensionali (filtraggi numerici,

analisi spettrale con metodi di Fourier e parametrici, wavelets). (Trattamento)

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

- Conoscenze avanzate e comprensione dal punto di vista fisico dei meccanismi del tempo meteorologico con riferimento ad eventi reali; conoscenze della variabilità naturale del sistema climatico e dei moderni metodi di datazione e di analisi dei diversi archivi terrestri ed extraterrestri; conoscenza delle variazioni dell'attività solare; conoscenze dei processi fisici che influenzano l'habitat delle specie viventi; conoscenza degli effetti dell'attività umana sul clima, con particolare attenzione alla produzione energetica. (Meteorologia, Terrestre, Ambiente, Trattamento, Energia e Ambiente, Elio fisica)

- Conoscenze fondamentali per la comprensione dei fenomeni fisici alla base delle più diffuse tecniche sperimentali per la caratterizzazione di materiali semiconduttori ed eterostrutture per l'emissione laser; conoscenze approfondite delle applicazioni tecnologiche della Fisica Nucleare; conoscenze teoriche e pratiche per la realizzazione di esperimenti di Fisica Nucleare e Subnucleare che utilizzano diversi tipi di rivelatori di particelle (rivelatori a scintillazione e rivelatori a gas); Conoscenza del modo di operare delle principali tecniche di datazione nonché della strumentazione richiesta e delle procedure di prelevamento di un campione; (Materiali Optoelettronica, Applicazioni Tecniche Fisica Nucleare, LFNSI, Tecniche datazione e archeomagnetismo)

- Conoscenze di base di acustica fisica e delle sue applicazioni nonché degli strumenti e dei metodi di misura del suono; conoscenze di base della natura del legame chimico e dei principi che regolano l'equilibrio chimico in sistemi omogenei ed eterogenei; conoscenze dei processi induttivi e deduttivi che permettono lo sviluppo della ricerca in fisica; conoscenze fondamentali delle architetture e dei concetti fondamentali per la programmazione parallela e distribuita (Sistemi di Calcolo Paralleli e Distribuiti, Idee della fisica, Compl. Chimica, Acustica)

**Capacità di applicare conoscenza e comprensione**

I corsi obbligatori di Complementi di Fisica Generale e Complementi di Metodi Matematici concorrono all'acquisizione di una approfondita comprensione della fisica alla base dei fenomeni di interesse e rafforzano le conoscenze acquisite nel primo ciclo.

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

- Utilizzare tecniche matematiche più complesse, atte a risolvere problemi tipici della fisica applicata e della geofisica/astrofisica
- Evidenziare ed approfondire la sinergia tra sviluppi teorici e progressi sperimentali nella formulazione, verifica e applicazione di modellizzazione di sistemi fisici

I corsi caratterizzanti concorrono all'acquisizione di una solida preparazione di base per lo studio dei fenomeni fisici di interesse del curriculum. Nella preparazione degli esami gli studenti dovranno essere in grado di:

- Affrontare problemi sulla applicazione delle statistiche quantistiche alla fisica della materia condensata e sulla applicazione della meccanica quantistica a casi di interazione a due particelle.
- Elaborare e simulare modelli semplici di sistemi neurali per la risoluzione di problemi fisici.
- Saper applicare le conoscenze acquisite per definire le caratteristiche opto/elettroniche e le prestazioni dei principali dispositivi elettronici e sensori a semiconduttore

Laboratori: ogni studente deve frequentare almeno un corso di Laboratorio. A seconda delle scelte di corsi di laboratorio lo studente potrà acquisire

- Capacità di effettuare misurazioni di spettroscopia ottica, termoluminescenza, spettroscopia di fotoemissione, fotoconduttiva, interferometria in luce bianca; capacità di analizzare i dati sperimentali con strumenti informatici dedicati e di trarre dalle misure le informazioni necessarie per la caratterizzazione dei materiali analizzati.
- Capacità di risolvere un problema o di modellare un processo fisico in modo numerico programmando in Fortran 90/95
- Capacità di elaborare ed analizzare una serie temporale utilizzando metodi spettrali classici ed avanzati e filtri numerici; tale capacità viene sviluppata in modo utile a tutti i campi in cui risulta necessario estrarre segnali e informazione dal rumore di fondo.
- Capacità di utilizzare la programmazione grafica (LabVIEW) per le misure e automazione.

A seconda delle scelte di corsi affini/integrativi, nella preparazione degli esami gli studenti dovranno essere in grado di:

- Elaborare, con l'ausilio del materiale reperibile su internet, le proprie previsioni meteorologiche.
- Stimare il valore dell'Energy Gap di un materiale semiconduttore e di un'eterostruttura.
- Effettuare le seguenti misure: misura della vita media del muone a riposo, misura della direzione dei raggi cosmici con rivelatori di posizione; misura del coefficiente di assorbimento dei raggi gamma in vari materiali
- Eseguire sperimentalmente un'autenticazione o datazione con la tecnica della termoluminescenza e di effettuare misure di decadimento nucleare

## **Fisica Nucleare, Subnucleare e Biomedica**

### **Conoscenza e comprensione**

I corsi obbligatori di Rivelatori di Particelle e di Laboratorio di Fisica Nucleare e Subnucleare I concorrono all'acquisizione di una approfondita comprensione della fisica alla base delle tecniche di misura più utilizzate nel campo e forniscono una prima formazione pratica sull'utilizzo delle stesse.

In particolare lo studente dovrà acquisire:

- Una buona padronanza teorica e pratica dei fondamenti della perdita di energia delle particelle nella materia e dei principi di funzionamento dei rivelatori di particelle e dell'elettronica associata;
- Una buona padronanza teorica e pratica delle tecniche di misura più utilizzate (come scintillatori e rivelatori a gas). Questi elementi vengono acquisiti attraverso esperienze di laboratorio con cui gli studenti devono anche acquisire le conoscenze base dei fenomeni discussi negli altri corsi.

I corsi caratterizzanti concorrono a fornire una solida preparazione di base per lo studio dei fenomeni fisici di interesse del curriculum. A seconda delle scelte di corsi caratterizzanti lo studente potrà acquisire:

- conoscenze di base della Meccanica Quantistica Relativistica e della Teoria dei Campi;
- conoscenza approfondita dei principali metodi di calcolo (analisi dati e simulazioni Montecarlo) utilizzati nella Fisica Nucleare e Subnucleare;
- conoscenza approfondita delle basi sperimentali della fisica delle particelle elementari e del modello standard;
- conoscenze di base dell'interazione della radiazione ionizzante e non ionizzante con i tessuti biologici;
- conoscenze di base nella modellizzazione di sistemi biologici.

### **Laboratori**

Ogni studente deve frequentare almeno due corsi di Laboratorio. A seconda delle scelte di corsi di laboratorio lo studente potrà acquisire:

- conoscenze fondamentali per la comprensione dei fenomeni fisici alla base delle più diffuse tecniche sperimentali per la rivelazione delle particelle elementari;
- conoscenze di base sul funzionamento di alcune tecniche fisiche applicate alla medicina nella terapia e nella diagnostica.

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

- conoscenze avanzate sulle possibili applicazioni delle tecniche di fisica nucleare;
- conoscenze fondamentali sul funzionamento dei più moderni circuiti di elettronica analogica e digitale (con possibili laboratori);
- conoscenze di base della cinematica relativistica e dei principi di funzionamento degli acceleratori di particelle;

- conoscenze di base della sperimentazione in fisica delle particelle senza l'uso di macchine acceleratrici;
- conoscenze di base sulla fisica della radiazione cosmica e dell'astrofisica delle alte energie;
- conoscenze di base di fisica ambientale.

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

I corsi obbligatori di Rivelatori di Particelle e di Laboratorio di Fisica Nucleare e Subnucleare I concorrono all'acquisizione di una approfondita comprensione della fisica alla base delle tecniche di misura più utilizzate nel campo e forniscono una prima formazione pratica sull'utilizzo delle stesse.

Nella preparazione degli esami gli studenti dovranno:

- aver compreso e acquisito i meccanismi di perdita di energia delle particelle nella materia e del funzionamento dei rivelatori di particelle;
- essere in grado di utilizzare e descrivere il funzionamento pratico dei rivelatori di particelle;
- essere in grado di condurre una corretta analisi statistica dei dati acquisiti in laboratorio;
- effettuare misure del tipo: misura della vita media del muone a riposo, misura della direzione dei raggi cosmici con rivelatori di posizione; misura del coefficiente di assorbimento dei raggi gamma in vari materiali.

I corsi caratterizzanti concorrono a fornire una solida preparazione di base per lo studio dei fenomeni fisici di interesse del curriculum. A seconda delle scelte di corsi caratterizzanti, nella preparazione degli esami gli studenti dovranno essere in grado di:

- affrontare e discutere problemi di meccanica quantistica relativistica e degli altri fondamenti teorici acquisiti con riferimenti ad argomenti di la fisica nucleare e subnucleare;
- elaborare e simulare modelli semplici di calcolo per la risoluzione di problemi fisici;
- saper discutere approfonditamente le basi sperimentali della fisica delle particelle elementari e del modello standard.

### **Laboratori**

Ogni studente deve frequentare almeno due corsi di Laboratorio. A seconda delle scelte di corsi di laboratorio lo studente potrà acquisire:

- la capacità di effettuare misure con rivelatori a scintillatore, a gas e a stato solido;
- la capacità di effettuare misure di interesse biomedico sia con l'uso di apparecchiature didattiche sia con strumentazione professionale;
- la capacità di sviluppare programmi di elaborazione dati nei moderni linguaggi di programmazione;
- la capacità di capire un testo tecnico/scientifico avanzato in lingua inglese.

A seconda delle scelte di corsi affini/integrativi, nella preparazione degli esami gli studenti dovranno essere in grado di:

- dimostrare una buona conoscenza delle applicazioni delle tecniche utilizzate nella fisica nucleare;
- descrivere il funzionamento degli acceleratori di particelle;
- descrivere il funzionamento dei dispositivi di elettronica analogica e digitale utilizzati nel campo della fisica delle particelle;
- discutere le proprietà fondamentali della radiazione cosmica e le principali misure di fisica delle particelle ottenute senza l'uso di macchine acceleratrici;
- descrivere il funzionamento di alcune tra le principali tecnologie fisiche usate nella terapia e nella diagnostica in medicina;
- dimostrare una conoscenza di base di strutture biologiche a livello cellulare e sistemico.

### **Autonomia di giudizio**

Capacità di valutare l'efficacia di soluzioni alternative ad un problema quantitativo e di argomentare la validità di un'ipotesi sulla base di dati reali e del rigore matematico, stimolata nelle esperienze di laboratorio, nei problemi assegnati nei corsi specialistici e nella preparazione della tesi di laurea.

Capacità di valutare la rilevanza ed applicabilità degli sviluppi più recenti della ricerca scientifica e della tecnologia, sviluppata anche attraverso lo studio di articoli scientifici.

Consapevolezza della responsabilità dell'opera dello scienziato nella società e dell'importanza della divulgazione della conoscenza e del metodo scientifico partecipando anche alle attività di orientamento del Corso di Studi.

Strumenti di verifica: discussione in sede di esame, interazione coi docenti durante il lavoro preparatorio della tesi, discussione dell'elaborato finale.

### **Abilità comunicative**

Capacità di comunicare e spiegare ad interlocutori specialisti e non specialisti, in forma efficace, i risultati del proprio lavoro, inserendoli nel loro contesto scientifico e argomentando in maniera chiara le scelte operate, utilizzando strumenti informatici adeguati, acquisita anche mediante la frequenza ai numerosi seminari dipartimentali e le presentazioni del proprio lavoro nell'ambito del progetto di tesi.

Capacità di lavorare in gruppo sviluppata nei laboratori e, dove possibile, nello svolgimento del progetto di tesi.

Conoscenza di buon livello della lingua inglese parlata e scritta, sviluppata anche partecipando a seminari ed utilizzando la letteratura scientifica.

Strumenti di verifica: la qualità e l'efficacia comunicativa concorrono alla valutazione complessiva per i singoli corsi e per la prova finale.

**Capacità di apprendimento**

Capacità di aggiornarsi in modo autonomo seguendo gli sviluppi della Fisica e della tecnologia moderna e di estendere le proprie conoscenze attraverso il confronto interdisciplinare sviluppata esplorando, per la preparazione degli esami e della tesi, la letteratura scientifica.

Questa autonomia viene stimolata, messa alla prova e verificata nei corsi più avanzati e nella preparazione alla prova finale.