

Allegato B1 (a.a. 2023/24)

Descrizione del percorso di formazione:

Curricula e Piani di Studio

L'offerta didattica della Laurea Magistrale Interateneo in Fisica prevede 6 curricula con i relativi piani di studio. Nel seguito sono riportati:

1. La struttura dei Curricula previsti dall'offerta formativa con la ripartizione dei CFU per tipologia, ambito e Settore Scientifico-Disciplinare (SSD);
2. I Curricula con:
 - a. gli obiettivi formativi
 - b. una tabella per la predisposizione del piano di studi standard, con le possibili scelte degli insegnamenti e la loro scansione temporale
 - c. ulteriori indicazioni per i piani di studio standard.

I piani di studio standard vengono approvati automaticamente e sono studiati a vantaggio dello studente, per fornire un'offerta formativa equilibrata tra preparazione di base e specialistica. Per tali piani di studio si cerca di garantire la non sovrapposizione degli orari delle lezioni.

Sono possibili anche piani di studio individuali, che presentano insegnamenti caratterizzanti (TAF B) ed affini (TAF C) diversi da quelli proposti nei piani di studio standard. I piani di studio individuali devono comunque:

- rispettare i limiti dei CFU dell'ordinamento del corso di laurea
- essere adeguatamente motivati dallo studente
- essere vagliati dalla Commissione Didattica, che ne valuta la coerenza, ed infine approvati dal Consiglio di Corso di Laurea Magistrale Interateneo.

Ad eccezione del curriculum in Scienze e Tecnologie Quantistiche, anche per i piani individuali, il piano di studio dovrà contenere almeno un insegnamento del SSD FIS/03 e almeno un insegnamento del SSD FIS/04.

In base all'ordinamento in vigore il numero di CFU totali per il conseguimento del titolo è di 120, distribuiti come sotto descritto.

- Un numero di CFU su Attività caratterizzanti (TAF B) compreso fra 40 e 96, così ripartiti: fra 6 e 24 CFU in ambito Sperimentale applicativo; fra 6 e 24 CFU in ambito Teorico e dei fondamenti della Fisica; fra 6 e 24 CFU in ambito Microfisico e della struttura della materia; fra 6 e 24 CFU in ambito Astrofisico, geofisico e spaziale.
- Un numero di CFU su Attività formative affini o integrative (TAF C) compreso fra 15 e 21.
- Un numero di CFU su Altre attività (TAF D/E/F) compreso fra 46 e 66 CFU, così ripartiti: fra 9 e 12 CFU a scelta dello studente; fra 35 e 40 CFU per la prova finale; fra 0 e 3 CFU di ulteriori conoscenze linguistiche; fra 0 e 3 CFU di abilità informatiche e telematiche; fra 2 e 6 CFU di tirocini formativi e di orientamento; fra 0 e 2 CFU di altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro.

1. Struttura dei curricula

La suddivisione in numero di CFU per le diverse attività formative per ciascun curriculum è riportata nel seguito, in forma tabellare.

Le tipologie di attività formativa (**TAF**) previste sono:

- **caratterizzanti** o di tipologia **B**
- **affini** o di tipologia **C**
- **a scelta dello studente** o di tipologia **D**
- **per la prova finale** o di tipologia **E**
- **ulteriori attività** o di tipologia **F**

FISICA DELLA MATERIA

| Tipologia | Ambito | SSD | CFU |
|-----------|---|--------------------------------|-----|
| B | Sperimentale applicativo | FIS/01, FIS/07 | 6 |
| | Teorico e dei fondamenti della fisica | FIS/02 | 6 |
| | Microfisico e della struttura della materia | FIS/03, FIS/04 | 24 |
| | Astrofisico, geofisico e spaziale | FIS/05, FIS/06, GEO/10, GEO/12 | 6 |
| C | Affini | | 18 |
| D | A scelta dello studente | | 12 |
| E | Prova finale | | 40 |
| F | Tirocinio | | 5 |
| F | Strumenti Informatici per la Fisica | | 3 |

FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE

| Tipologia | Ambito | SSD | CFU |
|-----------|---|--------------------------------|-----|
| B | Sperimentale applicativo | FIS/01, FIS/07 | 12 |
| | Teorico e dei fondamenti della fisica | FIS/02 | 6 |
| | Microfisico e della struttura della materia | FIS/03, FIS/04 | 18 |
| | Astrofisico, geofisico e spaziale | FIS/05, FIS/06, GEO/10, GEO/12 | 6 |
| C | Affini | | 21 |
| D | A scelta dello studente | | 12 |
| E | Prova finale | | 40 |
| F | Tirocinio | | 5 |

FISICA TEORICA

| Tipologia | Ambito | SSD | CFU |
|-----------|---|--------------------------------|-----|
| B | Sperimentale applicativo | FIS/01, FIS/07 | 6 |
| | Teorico e dei fondamenti della fisica | FIS/02 | 18 |
| | Microfisico e della struttura della materia | FIS/03, FIS/04 | 12 |
| | Astrofisico, geofisico e spaziale | FIS/05, FIS/06, GEO/10, GEO/12 | 6 |
| C | Affini | | 21 |
| D | A scelta dello studente | | 12 |
| E | Prova finale | | 40 |
| F | Tirocinio | | 5 |

FISICA DELL'AMBIENTE E INTERDISCIPLINARE

| Tipologia | Ambito | SSD | CFU |
|-----------|---|--------------------------------|-----|
| B | Sperimentale applicativo | FIS/01, FIS/07 | 12 |
| | Teorico e dei fondamenti della fisica | FIS/02 | 6 |
| | Microfisico e della struttura della materia | FIS/03, FIS/04 | 12 |
| | Astrofisico, geofisico e spaziale | FIS/05, FIS/06, GEO/10, GEO/12 | 12 |
| C | Affini | | 18 |
| D | A scelta dello studente | | 12 |
| E | Prova finale | | 40 |
| F | Tirocinio | | 5 |
| F | Abilità informatiche e telematiche | | 3 |

ASTROFISICA E COSMOLOGIA

| Tipologia | Ambito | SSD | CFU |
|-----------|---|--------------------------------|-----|
| B | Sperimentale applicativo | FIS/01, FIS/07 | 6 |
| | Teorico e dei fondamenti della fisica | FIS/02 | 6 |
| | Microfisico e della struttura della materia | FIS/03, FIS/04 | 12 |
| | Astrofisico, geofisico e spaziale | FIS/05, FIS/06, GEO/10, GEO/12 | 18 |
| C | Affini | | 18 |
| D | A scelta dello studente | | 12 |
| E | Prova finale | | 40 |
| F | Tirocinio | | 5 |
| F | Abilità informatiche e telematiche | | 3 |

SCIENZE E TECNOLOGIE QUANTISTICHE

| Tipologia | Ambito | SSD | CFU |
|-----------|---|--------------------------------|-----|
| B | Sperimentale applicativo | FIS/01, FIS/07 | 6 |
| | Teorico e dei fondamenti della fisica | FIS/02 | 24 |
| | Microfisico e della struttura della materia | FIS/03, FIS/04 | 6 |
| | Astrofisico, geofisico e spaziale | FIS/05, FIS/06, GEO/10, GEO/12 | 6 |
| C | Affini | | 18 |
| D | A scelta dello studente | | 12 |
| E | Prova finale | | 40 |
| F | Tirocinio | | 5 |
| F | Abilità informatiche e telematiche | | 3 |

2. Curricula e Piani di Studio

2.1 Curriculum Fisica della Materia

Obiettivi formativi

Il Curriculum Fisica della Materia ha il fine di formare laureati in possesso di una solida preparazione culturale nella fisica della materia sperimentale e/o teorico-computazionale. In generale, il Curriculum permette di avere una visione d'insieme delle attuali problematiche in vari settori della Fisica della Materia, che includono i sistemi disordinati classici, i materiali topologici, i modelli elettronici con forte correlazione, i sistemi atomici o molecolari a basse temperature, la fisica delle superfici e dei nanomateriali. Sono possibili diversi percorsi, incentrati su tecniche sperimentali oppure metodi teorico-computazionali, che portano ad una preparazione scientifica nelle discipline che caratterizzano l'indirizzo.

Il **percorso sperimentale** permette di ottenere:

- Un'approfondita conoscenza delle moderne strumentazioni di misura e delle tecniche di analisi dei dati per sistemi di interesse per la fisica della materia condensata;
- Una familiarità con la strumentazione e le tecniche di laboratorio;
- La capacità di utilizzare strumenti matematici e informatici di supporto;

Il **percorso teorico-computazionale** permette di ottenere:

- Un'approfondita conoscenza delle tecniche numeriche all'avanguardia per trattare sistemi classici e quantistici di rilevanza in fisica della materia condensata;
- Una familiarità con l'utilizzo del calcolo scientifico ad alte prestazioni;
- Una capacità di utilizzare le conoscenze specifiche acquisite per la modellizzazione di sistemi fisici complessi;

Il **percorso misto** permette di avere una visione di insieme dei due percorsi precedenti e di assimilare tecniche sia sperimentali che teorico-computazionali, in modo da ottenere un'ampia comprensione della molteplicità degli aspetti che si presentano in fisica della materia.

Tutti i percorsi permettono di ottenere un'elevata capacità di lavorare in autonomia e di partecipare a collaborazioni scientifiche in ambito nazionale ed internazionale. La preparazione fornita permetterà allo studente di proseguire il suo sviluppo formativo in un Dottorato di Ricerca in Fisica o in discipline affini, in vista di un possibile inserimento nel mondo della ricerca. In alternativa, i laureati magistrali avranno gli strumenti per potersi inserire nei settori dell'industria tecnologica o informatica. In particolare, il Curriculum di Fisica della Materia prepara per le attività di sviluppo dell'innovazione scientifica, nonché gestione e progettazione delle tecnologie in ambiti correlati con le discipline della Fisica della Materia. Infine, i laureati magistrali avranno acquisito le competenze necessarie per redigere testi scientifici e divulgativi, anche in inglese.

| Fisica della Materia – Insegnamenti | | | | | | | |
|---|--------|-----|-----|---|--------|-----|-----|
| I ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Fisica della Materia Condensata I | FIS/03 | B | 6 | Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia | FIS/05 | B | 6 |
| Teoria dei Campi I <i>oppure</i> Meccanica Statistica | FIS/02 | B | 6 | Fisica della Materia Condensata II | FIS/03 | B | 6 |
| Laboratorio di Fisica della Materia Condensata <i>oppure</i> Laboratorio di Fisica Computazionale | FIS/01 | B | 6 | Laboratorio di Fisica dei Nanomateriali <i>oppure</i> Laboratorio di Simulazioni Atomistiche e Molecolari <i>oppure</i> Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi | FIS/03 | B | 6 |
| Affine 1 | | C | 6 | Affine 2 | | C | 6 |
| Strumenti Informatici per la Fisica | | F | 3 | Insegnamento a Scelta 1 | | D | 6 |
| Totale crediti del I anno | | | | | | | 57 |
| II ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Affine 3 | | C | 6 | Tesi | | E | 30 |
| Insegnamento a Scelta 2 | | D | 6 | | | | |
| Simmetrie e Interazioni Fondamentali | FIS/04 | B | 6 | | | | |
| Tirocinio | | F | 5 | | | | |
| Tesi | | E | 10 | | | | |
| Totale crediti del II anno | | | | | | | 63 |

Insegnamenti Affini – Offerta interna al Curriculum

- Applicazioni della Radiazione di Sincrotrone (FIS/03), I semestre, I anno
- Transizioni di Fase e Fenomeni Critici (FIS/03), I semestre, I anno
- Atomi, Molecole e Fotoni (FIS/03), I semestre, I anno
- Metodi Numerici per la Struttura Elettronica (FIS/03), II semestre, I anno
- Fondamenti di Fisica delle Superfici (FIS/03), II semestre, I anno
- Stati Elettronici non Convenzionali a Bassa Dimensionalità (FIS/03), II semestre, I anno
- Fisica dei Sistemi Disordinati (FIS/03), I semestre, II anno
- Formazione ed Analisi di Immagini in Fisica (FIS/07), I semestre, II anno

Insegnamenti a Scelta ad approvazione automatica – Offerta interna al Curriculum

-
- Nanostrutture (FIS/03), II semestre, I anno
- Fotonica (FIS/03), I semestre, II anno
- Simulazioni Classiche di Sistemi a Molti Corpi (FIS/03), I semestre, II anno
- Biofisica Sperimentale (FIS/07), I semestre, II anno

Insegnamenti a Scelta ad approvazione automatica – Offerta da altri Curricula

- Liquidi Quantistici (FIS/02), II semestre, I anno
- Meccanica Quantistica Avanzata (FIS/02), I semestre, II anno

I piani di studio standard, con le scelte degli insegnamenti come indicato in precedenza, sono approvati d'ufficio. Come "insegnamenti a scelta" è possibile selezionare anche insegnamenti Caratterizzanti o Affini di questo o altri curricula, non già inseriti nel piano di studi come tali, oppure insegnamenti offerti da altri corsi di studio dell'Ateneo. Nel caso si scelgano insegnamenti non elencati in precedenza, il piano di studi dovrà essere vagliato dalla commissione didattica, relativamente alla fattibilità e alla coerenza con il progetto formativo, ed infine approvato in Consiglio di Corso di Laurea Magistrale Interateneo..

Esempio di piano di studio di carattere sperimentale:

- **Laboratorio di Fisica della Materia Condensata**
- **Laboratorio di Fisica dei Nanomateriali**
- **Affine 1:** Applicazione della Radiazione di Sincrotrone oppure Atomi, Molecole e Fotoni
- **Affine 2:** Fondamenti di Fisica delle Superfici
- **Affine 3:** Formazione ed Analisi di Immagini in Fisica
- **A scelta 1:** Nanostrutture oppure Liquidi Quantistici
- **A scelta 2:** Fotonica oppure Biofisica Sperimentale

Esempio di piano di studio di carattere teorico-computazionale:

- **Laboratorio di Fisica Computazionale**
- **Laboratorio di Simulazioni Atomistiche e Molecolari** oppure **Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi**
- **Affine 1:** Transizioni di Fase e Fenomeni Critici oppure Atomi, Molecole e Fotoni
- **Affine 2:** Metodi Numerici per la Struttura Elettronica oppure Stati Elettronici non Convenzionali a Bassa Dimensionalità
- **Affine 3:** Fisica dei Sistemi Disordinati
- **A scelta 1:** Nanostrutture oppure Liquidi Quantistici
- **A scelta 2:** Simulazioni Classiche di Sistemi a Molti Corpi oppure Meccanica Quantistica Avanzata

Un piano di studio di carattere misto teorico-sperimentale è anche possibile, con corsi selezionati tra quelli dei due percorsi precedenti.

2.2 Curriculum Fisica Nucleare e Subnucleare

Obiettivi Formativi

Il Curriculum Fisica Nucleare e Subnucleare ha il fine di formare laureati in possesso di:

- una solida preparazione culturale nella fisica nucleare e subnucleare teorico-fenomenologica e/o sperimentale-applicativa;
- un'approfondita conoscenza delle moderne strumentazioni di misura e delle tecniche di analisi dei dati;
- un'approfondita conoscenza di strumenti matematici e informatici di supporto;
- un'elevata preparazione scientifica e operativa nelle discipline che caratterizzano l'indirizzo;
- grande familiarità con la strumentazione e le tecniche di laboratorio;
- capacità di utilizzare fluentemente, in forma scritta e orale, la lingua inglese, oltre all'Italiano, ed eventualmente un'altra lingua dell'Unione Europea, con riferimento anche ai lessici disciplinari;
- un'elevata capacità sia di lavorare con ampia autonomia che di partecipare a collaborazioni scientifiche allargate all'ambito nazionale e internazionale, anche assumendo responsabilità di progetti e strutture;
- capacità di utilizzare le conoscenze specifiche acquisite per la modellizzazione di sistemi fisici complessi e nei campi delle scienze applicate.

I laureati magistrali in Fisica Nucleare e Subnucleare saranno in possesso di una preparazione atta a svolgere attività nei seguenti campi: promozione e sviluppo dell'innovazione scientifica e tecnologica, nonché la gestione e progettazione delle tecnologie in ambiti correlati con le discipline fisiche nucleari e subnucleari, nei settori dell'industria, dell'ambiente, della sanità, dei beni culturali e della pubblica amministrazione; la divulgazione ad alto livello della cultura scientifica con particolare riferimento agli aspetti sperimentali e applicativi della fisica nucleare e subnucleare. Disporranno inoltre di un'ottima preparazione per affrontare un dottorato di ricerca sia in Italia che all'estero.

| Fisica Nucleare e Subnucleare – Insegnamenti | | | | | | | |
|--|--------|-----|-----|--|--------|-----|-----|
| I ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Fisica della Materia Condensata I | FIS/03 | B | 6 | Cosmologia I <i>oppure</i> Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia | FIS/05 | B | 6 |
| Teoria dei Campi I | FIS/02 | B | 6 | Caratteristiche generali dei Rivelatori | FIS/01 | B | 6 |
| Simmetrie e interazioni fondamentali | FIS/04 | B | 6 | Laboratorio Acquisizione e controllo Dati | FIS/01 | B | 6 |
| Affine 1: | | C | 6 | Fisica Nucleare | FIS/04 | B | 6 |
| | | | | Affine 2: | | C | 6 |
| Insegnamento a scelta 1 | | | | | | D | 6 |
| Totale crediti del I anno | | | | | | | 60 |
| II ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Affine 3: Laboratorio di Fisica Nucleare e subnucleare | FIS/04 | C | 9 | Tesi | | E | 30 |
| Insegnamento a scelta 2 | | D | 6 | | | | |
| Tirocinio | | F | 5 | | | | |
| Tesi | | E | 10 | | | | |
| Totale crediti del II anno | | | | | | | 60 |

Nota: Cosmologia I richiede come propedeuticità Relatività Generale I.

Insegnamenti Affini – Offerta interna al Curriculum

- Laboratorio di Fisica Nucleare e subnucleare (FIS/04), 9 CFU, I semestre, II anno
- Fondamenti di fisica medica (FIS/07), 6 CFU, I semestre, I anno
- Laboratorio di fisica medica (FIS/07), 6 CFU, II semestre, I anno
- Fisica sperimentale nucleare e subnucleare (FIS/04), 6 CFU, I semestre, II anno
- Statistica avanzata per la Fisica (FIS/01), 6 CFU, I semestre
- Rivelatori a semiconduttore e apparati per la Fisica nucleare e subnucleare (FIS/04), 6 CFU, I semestre, I anno.
- Astrofisica nucleare e subnucleare (FIS/04), 6 CFU, II semestre, I anno
- Programmazione avanzata e tecniche di simulazione per la fisica (FIS/01) 6 CFU, I semestre
- Onde gravitazionali (FIS/01), 6 CFU, I semestre

Insegnamenti a Scelta – Offerta interna al Curriculum

- Ottica Avanzata (FIS/04), 6 CFU, II semestre, I anno

Insegnamenti a Scelta - Offerta da altri Curricula (tutti da 6 CFU):

- Dinamica delle interazioni elettrodeboli e forti (FIS/02), I semestre, II anno
- Formazione ed analisi delle immagini in Fisica (FIS/07), I semestre
- Relatività Generale I (FIS/02) I semestre
- Applicazioni della Radiazione di Sincrotrone (FIS/03), I semestre, I anno

Piani di studio standard, approvati d'ufficio:

a – Percorso di Fisica delle Particelle

Affine 1: Statistica Avanzata per la Fisica

Affine 2: Modello Standard delle Interazioni Fondamentali

A scelta: due insegnamenti tra

- Rivelatori a semiconduttore e apparati per la Fisica nucleare e subnucleare
- Programmazione avanzata e tecniche di simulazione per la fisica
- Ottica Avanzata
- Relatività Generale I
- Dinamica delle interazioni elettrodeboli e forti
- Fisica sperimentale nucleare e subnucleare

b – Percorso di Fisica delle Astroparticelle

Affine 1: Onde gravitazionali

Affine 2: Astrofisica nucleare e subnucleare

A scelta: due insegnamenti tra

- Statistica Avanzata per la Fisica
- Programmazione avanzata e tecniche di simulazione per la fisica
- Ottica Avanzata
- Relatività Generale I
- Modello Standard delle Interazioni Fondamentali

c – Percorso di Fisica Medica

Affine 1: Fondamenti di Fisica Medica

Affine 2: Laboratorio di Fisica Medica

A scelta: due insegnamenti tra

- Statistica Avanzata per la Fisica
- Programmazione avanzata e tecniche di simulazione per la fisica
- Formazione ed analisi delle immagini in Fisica
- Rivelatori a semiconduttore e apparati per la Fisica nucleare e subnucleare
- Applicazioni della Radiazione di Sincrotrone

I piani di studio standard, con le scelte degli insegnamenti come indicato in precedenza, sono approvati d'ufficio. Come "insegnamenti a scelta" è possibile selezionare anche insegnamenti Caratterizzanti o Affini di questo o altri curricula, non già inseriti nel piano di studi come tali, oppure insegnamenti offerti da altri corsi di studio dell'Ateneo. Nel caso si scelgano insegnamenti non elencati in precedenza, il piano di studi dovrà essere vagliato dalla commissione didattica, relativamente alla fattibilità e alla coerenza con il progetto formativo, ed infine approvato in Consiglio di Corso di Laurea Magistrale Interateneo.

2.3 Curriculum Fisica Teorica

Obiettivi Formativi

Il Curriculum Fisica Teorica ha il fine di formare laureati in possesso di:

- una visione d'insieme delle attuali problematiche di frontiera in vari settori della ricerca in fisica teorica, dalla fisica delle particelle elementari agli aspetti più formali della teoria quantistica dei campi, dalle nuove frontiere della fisica quantistica agli sviluppi più recenti in teorie della gravitazione e nello studio dei sistemi complessi;
- un'elevata capacità di padroneggiare formulazioni teoriche astratte e di produrre modellizzazioni concrete di sistemi fisici;
- una solida conoscenza di metodi matematici avanzati e di strumenti matematici di supporto;
- un'elevata preparazione scientifica e operativa nelle discipline che caratterizzano l'indirizzo;
- un'adeguata conoscenza delle moderne strumentazioni di misura e delle tecniche di analisi dati;
- capacità di utilizzare fluentemente, in forma scritta e orale, la lingua inglese, oltre all'Italiano, ed eventualmente un'altra lingua dell'Unione Europea, con riferimento anche ai lessici disciplinari;
- una buona capacità di affrontare problemi di natura nuova e di proporre soluzioni;
- un'elevata capacità di lavorare in autonomia e di partecipare a collaborazioni scientifiche allargate all'ambito nazionale e internazionale.

Coloro che conseguiranno la laurea magistrale in Fisica Teorica saranno preparati a svolgere attività di alto livello quali ricerca e sviluppo nel settore pubblico e privato su temi che vanno dalla fisica fondamentale ai sistemi complessi. Potranno anche trovare occupazione nel crescente settore della divulgazione della cultura scientifica e nel trasferimento di conoscenze avanzate. Avranno inoltre una solida preparazione per affrontare un dottorato di ricerca sia in Italia che all'estero.

| Fisica Teorica – Insegnamenti | | | | | | | |
|--|--------|-----|-----|---|--------|-----|-----|
| I ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Teoria dei Campi I | FIS/02 | B | 6 | Teoria dei Campi II <i>oppure</i> Introduzione all'Informazione Quantistica | FIS/02 | B | 6 |
| Simmetrie e interazioni fondamentali | FIS/04 | B | 6 | Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi | FIS/03 | B | 6 |
| Relatività Generale I <i>oppure</i> Meccanica Statistica | FIS/02 | B | 6 | Cosmologia I | FIS/05 | B | 6 |
| Laboratorio di Fisica della Materia Condensata <i>oppure</i> Laboratorio di Fisica Computazionale | FIS/01 | B | 6 | Insegnamento Affine 1 | | C | 6 |
| Complementi di Teoria dei Campi (II semestre) <i>oppure</i> Meccanica Quantistica e Relatività Speciale (I semestre) | | | | | FIS/02 | C | 3 |
| Insegnamento Affine 2 | | | | | | C | 6 |
| Insegnamento a scelta 1 | | | | | | D | 6 |
| Totale crediti del I anno | | | | | | | 63 |
| II ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Insegnamento a scelta 2 | | D | 6 | Tesi | | E | 30 |
| Insegnamento Affine 3 | | C | 6 | | | | |
| Tirocinio | | F | 5 | | | | |
| Tesi | | E | 10 | | | | |
| Totale crediti del II anno | | | | | | | 57 |

Nota: Cosmologia I richiede come propedeuticità Relatività Generale I.

I **piani di studio** contenenti insegnamenti affini (TAF C) e a scelta (TAF D) tra quelli sotto indicati sono **approvati d'ufficio**.

Insegnamenti affini (TAF C): I due panieri contengono insegnamenti omogenei relativamente all'offerta formativa; il primo copre l'ambito della Meccanica Quantistica e Statistica, il secondo l'ambito delle Teorie di Campo e delle Particelle Elementari.

Paniere 1: Meccanica Quantistica e Statistica

- Introduzione all'Informazione Quantistica (FIS/02), II semestre I anno (6CFU)
- Liquidi quantistici (FIS/02), II semestre I anno (6CFU)
- Meccanica Quantistica Avanzata (FIS/02), I Semestre (6CFU)
- Meccanica Quantistica e Relatività Speciale (FIS/02), I Semestre (3CFU)
- Meccanica Statistica (FIS/02) I semestre I anno (6CFU)

Paniere 2: Campi e Particelle

- Teoria dei Campi II (FIS/02), II semestre I anno (6CFU)
- Teoria dei Campi III (FIS/02), I semestre II anno (6CFU)
- Complementi di Teoria dei Campi (FIS/02), II semestre I anno (3CFU)
- Modello standard delle interazioni fondamentali (FIS/02), II semestre I anno (6CFU)
- Dinamica delle interazioni elettrodeboli e forti (FIS/02), I semestre II anno (6CFU)
- Relatività Generale II (FIS/02), I semestre II anno (6CFU)
- Meccanica Statistica (FIS/02), I semestre I o II anno (6CFU)
- Fisica delle particelle e cosmologia (FIS/02), II semestre I anno (6CFU)

Insegnamenti a scelta (TAF D) - offerta interna al curriculum

- Algoritmi Quantistici in Sistemi Quantistici Aperti (FIS/02), II semestre I anno (6CFU)

Insegnamenti a scelta (TAF D) - da altri curricula o percorsi di laurea magistrale

- Atomi, molecole e fotoni (FIS/03), I semestre (6CFU)
- Transizioni di Fase e Fenomeni Critici (FIS/03), I semestre II anno (6CFU)
- Cosmologia II (FIS/05), I semestre II anno (6CFU)
- Advanced Geometry 1 (MAT/03), I semestre (6CFU)
- Advanced Geometry 2 (MAT/03), I semestre (6CFU)

Gli insegnamenti affini indicati nei due panieri concorrono a costituire gli insegnamenti a scelta.

2.4 Curriculum Fisica dell'Ambiente e Interdisciplinare

Obiettivi Formativi

Il Curriculum Fisica dell'Ambiente e Interdisciplinare ha il fine di formare laureati in possesso di:

- una solida preparazione culturale nella fisica ambientale teorico-fenomenologica e/o sperimentale-applicativa;
- un'approfondita conoscenza delle moderne strumentazioni di misura e delle tecniche di analisi dei dati;
- un'approfondita conoscenza di strumenti matematici e informatici di supporto;
- un'elevata preparazione scientifica e operativa nelle discipline che caratterizzano l'indirizzo;
- grande familiarità con la strumentazione e le tecniche di laboratorio;
- capacità di utilizzare fluentemente, in forma scritta e orale, la lingua inglese, oltre all'Italiano, ed eventualmente un'altra lingua dell'Unione Europea, con riferimento anche ai lessici disciplinari;
- un'elevata capacità di lavorare con ampia autonomia, anche assumendo responsabilità di progetti e strutture;
- conoscenze specifiche acquisite per la modellizzazione di sistemi fisici complessi e nei campi delle scienze applicate con particolare attenzione alla fisica dell'ambiente.

I laureati magistrali in Fisica dell'Ambiente e Interdisciplinare svolgeranno attività nei seguenti campi: promozione e sviluppo dell'innovazione scientifica e tecnologica, nonché la gestione e progettazione delle tecnologie in ambiti correlati con le discipline fisiche terrestri, dell'ambiente, e del mezzo circumterrestre, nei settori dell'industria, della sanità, dei beni culturali e della pubblica amministrazione; la divulgazione ad alto livello della cultura scientifica con particolare riferimento agli aspetti sperimentali e applicativi della fisica terrestre e dell'ambiente (e.g. la gestione dei rischi naturali). Avranno inoltre un'ottima preparazione per affrontare un dottorato di ricerca sia in Italia che all'estero.

| Fisica dell'Ambiente e Interdisciplinare – Insegnamenti | | | | | | | |
|--|--------|-----|-----|--|--------|-----|-----|
| I ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Teoria dei Campi I <i>oppure</i> Meccanica Statistica | FIS/02 | B | 6 | Fisica dell'Atmosfera | FIS/06 | B | 6 |
| Fisica della Materia Condensata I | FIS/03 | B | 6 | Fisica Nucleare | FIS/04 | B | 6 |
| Laboratorio di Fisica Computazionale | FIS/01 | B | 6 | Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia | FIS/05 | B | 6 |
| Affine 1: Metodi di potenziale (mutuato dalla LM Geophysics and Geodata) | GEO/10 | C | 6 | Affine 2: Fluidodinamica Geofisica | FIS/06 | C | 6 |
| Insegnamento a scelta 1 | | D | 6 | Insegnamento a scelta 2 | | D | 6 |
| Totale crediti del I anno | | | | | | | 60 |
| II ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Laboratorio di Astrofisica Spaziale <i>oppure</i> Laboratorio di Fisica della Materia Condensata | FIS/01 | B | 6 | Tesi | | E | 30 |
| Affine 3: Dinamica del Clima | FIS/06 | C | 6 | | | | |
| Abilità informatiche e telematiche | | F | 3 | | | | |
| Tirocinio | | F | 5 | | | | |
| Tesi | | E | 10 | | | | |
| Totale crediti del II anno | | | | | | | 60 |

Insegnamenti affini 1, 2 e 3:

Offerta interna al Curriculum:

- Fluidodinamica geofisica (FIS/06), II semestre, I anno
- Dinamica del Clima (FIS/06), I semestre, II anno

Offerta da altri Curricula e da altri Corsi di Laurea:

- Metodi di potenziale (GEO/10), I semestre

Altri insegnamenti affini:

- Introduzione all'Astrofisica (FIS/05), I semestre, I anno
- Fisica dei Dispositivi Elettronici (FIS/01), I semestre, I anno.
- Radioprotezione nel Campo Ambientale e Lavorativo (FIS/07), II semestre (6CFU)

Insegnamenti a Scelta ad approvazione automatica:

Offerta interna al Curriculum:

- Metodi quantitativi per la finanza (FIS/02), II semestre, I anno (6CFU)

Offerta da altri Curricula e da altri Corsi di Laurea:

- Meteorologia e Climatologia dello Spazio (FIS/05), II semestre (6CFU)
- Biofisica sperimentale (FIS/07), I semestre (6CFU)
- Sismologia (GEO/10), II semestre I anno (6CFU) - mutuato dalla LM Geophysics and Geodata

NOTE:

- piani di studio con le scelte degli insegnamenti come indicato in precedenza sono approvati d'ufficio. Come "insegnamenti a scelta" è possibile selezionare anche insegnamenti Caratterizzanti o Affini di questo o altri curricula, non già inseriti nel piano di studi come tali, oppure insegnamenti offerti da altri corsi di studio dell'Ateneo. Nel caso si scelgano insegnamenti non elencati in precedenza, il piano di studi dovrà essere approvato dalla commissione didattica, relativamente alla fattibilità e alla coerenza con il progetto formativo.
- la scelta dell'insegnamento "Introduzione all'Astrofisica (FIS/05)" è consentita esclusivamente in un piano di studi individuale che non presenti già come caratterizzante un insegnamento FIS/05 (in particolare Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia, previsto nel Piano di studi standard, nell'ambito dei CFU riservati all'ambito Astrofisico, geofisico e spaziale (FIS/05, FIS/06, GEO/10, GEO/12)).

2.5 Curriculum Astrofisica e Cosmologia

Obiettivi Formativi

Il Curriculum Astrofisica e Cosmologia ha il fine di formare laureati in possesso di:

- un'ottima padronanza del metodo scientifico di indagine;
- una solida cultura di base nella fisica classica e moderna;
- un'approfondita preparazione nell'astrofisica e cosmologie moderne;
- un'avanzata conoscenza delle moderne strumentazioni di osservazione e di raccolta di dati, e delle relative tecniche di analisi;
- un'approfondita conoscenza di strumenti matematici e informatici di supporto;
- un'elevata capacità operativa e scientifica nelle discipline che caratterizzano il settore;
- capacità di utilizzare fluentemente, in forma scritta e orale, la lingua inglese, oltre all'Italiano, ed eventualmente un'altra lingua dell'Unione Europea, con riferimento anche ai lessici disciplinari;
- un'ampia autonomia nel lavoro, che li metta in grado anche di assumere responsabilità di progettie e strutture;
- capacità di utilizzare le conoscenze specifiche acquisite per la modellizzazione di sistemi fisici complessi e nei campi delle scienze applicate.

La preparazione fornita sarà tale da permettere allo studente la prosecuzione del percorso formativo in un Dottorato di Ricerca in Fisica, Astronomia o in disciplina affine, in vista di un possibile inserimento nel mondo della ricerca fondamentale nell'Università o negli Enti di Ricerca. Più in generale, tale preparazione permetterà allo studente l'inserimento in attività lavorative nel mondo dell'industria e del terziario che richiedano competenze di livello elevato, ampia autonomia e capacità di coordinamento. Tra le attività che i laureati specialisti del settore potranno svolgere si indicano in particolare:

- promozione e sviluppo dell'innovazione scientifica e tecnologica nel campo astrofisico, cosmologico e spaziale, nonché gestione e progettazione delle relative tecnologie;
- progettazione in ambiti correlati con le discipline astrofisiche, cosmologiche e spaziali nei settori dell'industria, dell'ambiente, dei beni culturali e della pubblica amministrazione;
- divulgazione astronomico - astrofisica di alto livello, nonché organizzazione e gestione di progetti divulgativi e di diffusione della cultura scientifica.

| Astrofisica e Cosmologia - Insegnamenti | | | | | | | |
|--|--------|-----|-----|-------------------------|--------|-----|-----|
| I ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Astrofisica delle galassie | FIS/05 | B | 6 | Cosmologia I | FIS/05 | B | 6 |
| Relativita` Generale I <i>oppure</i> Teoria dei Campi I | FIS/02 | B | 6 | Insegnamento Affine 1 | FIS/05 | C | 6 |
| Atomi, Molecole e Fotoni | FIS/03 | B | 6 | Insegnamento Affine 2 | FIS/05 | C | 6 |
| Astrofisica Stellare | FIS/05 | B | 6 | Insegnamento a scelta 1 | | D | 6 |
| Abilità Informatiche e Telematiche | | F | 3 | | | | |
| Insegnamento a scelta 2 | | | | | | D | 6 |
| Totale crediti del I anno | | | | | | | 57 |
| II ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Laboratorio di Astrofisica Spaziale <i>oppure</i> Laboratorio di Programmazione Avanzata per l'Astrofisica | FIS/01 | B | 6 | Tesi | | E | 30 |
| Insegnamento Affine 3 | FIS/05 | C | 6 | | | | |
| Simmetrie e interazioni fondamentali | FIS/04 | B | 6 | | | | |
| Tirocinio | | F | 5 | | | | |
| Tesi | | E | 10 | | | | |
| Totale crediti del II anno | | | | | | | 63 |

Nota: Cosmologia I richiede come propedeuticità Relatività Generale I.

Piano di studi approvato d'ufficio:

Il piano di studi standard deve presentare almeno due laboratori. Inoltre, deve soddisfare i seguenti vincoli:

- Insegnamenti affini 1, 2 scelti nel paniere dell'offerta interna al curriculum, relativa al secondo semestre del primo anno.
- Insegnamento affine 3 scelto nel paniere dell'offerta interna al curriculum, relativa al primo semestre del secondo anno.
- Insegnamenti a scelta 1 e 2 scelti nel paniere dell'offerta interna, oppure tra i corsi offerti da altri curricula o da altri corsi di laurea (vedi il paragrafo "Insegnamenti a scelta" qui sotto per i dettagli).

Insegnamenti Affini – Offerta interna al Curriculum (tutti FIS/05 da 6 CFU), secondo semestre del primo anno

- Laboratorio di Tecnologie Astronomiche
- Processi Radiativi
- Cosmologia Osservativa
- Radioastronomia
- Meteorologia e Climatologia dello Spazio
- Astrofisica degli Oggetti Compatti

Insegnamenti Affini – Offerta interna al Curriculum (tutti FIS/05 da 6 CFU), primo semestre del secondo anno

- Cosmologia II
- Pianeti e Astrobiologia

Insegnamenti a Scelta:

Come "insegnamenti a scelta" è possibile selezionare insegnamenti Caratterizzanti o Affini di questo o altri curricula, non già inseriti nel piano di studi come tali, oppure insegnamenti offerti da altri corsi di studio dell'Ateneo. Nel caso si scelgano insegnamenti Caratterizzanti o Affini offerti dal curriculum, oppure uno dei corsi offerti da altri curricula e presenti nella lista qui sotto, il piano di studi è approvato d'ufficio. Nel caso di altre scelte il piano di studi dovrà essere approvato dalla commissione didattica, relativamente alla fattibilità e alla coerenza con il progetto formativo.

Offerta esterna al Curriculum (tutti da 6 CFU):

- Astrofisica nucleare e subnucleare (FIS/04), II semestre
- Onde gravitazionali (FIS/01), I semestre
- Fisica delle particelle e cosmologia (FIS/02), II semestre I anno

2.6 Curriculum Scienze e Tecnologie Quantistiche

Obiettivi Formativi

Il Curriculum Scienze e Tecnologie Quantistiche ha il fine di formare laureati in possesso di:

- una visione d'insieme delle attuali problematiche di frontiera relative alla manipolazione di informazione basata su sistemi quantistici, alla metrologia e alla simulazione di sistemi classici e quantistici;
- un'elevata capacità di comprensione e descrizione dell'utilizzo di piattaforme quantistiche in campi quali la computazione, il machine learning, la comunicazione e la teoria dell'informazione;
- una solida conoscenza della fisica dei sistemi quantistici utilizzati nella manipolazione di informazione, in metrologia e simulazione e della modellistica teorica relativa all' utilizzo concreto di tali sistemi;
- un'approfondita conoscenza degli strumenti matematici e informatici di supporto;
- un'elevata preparazione scientifica e operativa nelle discipline che caratterizzano l'indirizzo;
- un'adeguata conoscenza delle moderne strumentazioni di misura e delle tecniche di analisi dati;
- capacità di utilizzare fluentemente, in forma scritta e orale, la lingua inglese, oltre all'Italiano, ed eventualmente un'altra lingua dell'Unione Europea, con riferimento anche ai lessici disciplinari;
- una buona capacità di affrontare problemi di natura nuova e di proporre soluzioni;
- un'elevata capacità di lavorare in autonomia e di partecipare a collaborazioni scientifiche allargate all'ambito nazionale e internazionale.

Coloro che conseguiranno la laurea magistrale in Fisica nel curriculum di Scienze e Tecnologie Quantistiche saranno preparati a svolgere attività di alto livello quali ricerca e sviluppo nel settore pubblico e privato su temi che spaziano dalla computazione alla comunicazione e informazione quantistiche. Risponderanno quindi alla sempre maggiore richiesta di profili con competenze quantistiche che sappiano inserirsi in quella che si configura come una seconda rivoluzione industriale. Avranno inoltre una solida preparazione per affrontare un dottorato di ricerca sia in Italia che all'estero.

| Scienze e Tecnologie Quantistiche – Insegnamenti | | | | | | | |
|---|------------|-----|-----|--|----------------------|-----|-----|
| I ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Meccanica Quantistica Avanzata | FIS/02 | B | 6 | Introduzione all' Informazione Quantistica | FIS/02 | B | 6 |
| Atomi, Molecole e Fotoni | FIS/03 | B | 6 | Metrologia Quantistica | FIS/02 | B | 6 |
| Laboratorio di Fisica Computazionale <i>oppure</i> Laboratorio di Fisica della Materia Condensata | FIS/01 | B | 6 | Insegnamento Affine 2 Liquidi Quantistici | FIS/02 | C | 6 |
| Abilità informatiche e telematiche | | F | 3 | Insegnamento Affine 3 Algorithmic Design (mutuato da LM matematica) <i>oppure</i> Stochastic Modeling and Simulation (mutuato da LM Ingegneria Elettronica ed Informatica) | INF/01 INF/01 | C | 6 |
| Insegnamento Affine 1 Introduction to Machine Learning (mutuato da LM Ingegneria Elettronica ed Informatica) | ING-INF/03 | C | 6 | Insegnamento a Scelta 1 Nanostrutture <i>oppure</i> Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi | FIS/03 | D | 6 |
| Totale crediti del I anno | | | | | | | 57 |
| II ANNO | | | | | | | |
| I Semestre | SSD | TAF | CFU | II Semestre | SSD | TAF | CFU |
| Metodi di Potenziale (mutuato dalla LM Geophysics and Geodata) | GEO/10 | B | 6 | Tesi | | E | 30 |
| Algoritmi di Calcolo Quantistico | FIS/02 | B | 6 | | | | |
| Insegnamento a Scelta 2 Codici Correttori d'Errore (mutuato da LM Ingegneria Elettronica ed Informatica) <i>oppure</i> | ING-INF/05 | D | 6 | | | | |

| | | | | | | | | |
|--|--------|---|----|--|--|--|--|----|
| Quantum Informatics and Software (mutuato da LM Scientific and Data-Intensive Computing) | INF/01 | | | | | | | |
| Tirocinio | | F | 5 | | | | | |
| Tesi | | E | 10 | | | | | |
| Totale crediti del II anno | | | | | | | | 63 |

Insegnamenti a Scelta – Offerta da altri curricula

- Laboratorio di Simulazioni Atomistiche e Molecolari (FIS/03), 6 CFU, II semestre, I anno
- Meccanica Statistica (FIS/02), 6 CFU, I semestre, I anno
- Metodi Numerici per la Struttura Elettronica (FIS/03), II semestre, I anno
- Nanostrutture (FIS/03), 6 CFU, II semestre, I anno
- Dinamica del Clima (FIS/06), 6 CFU, I semestre, II anno
- Fisica dei Dispositivi Elettronici (FIS/01), 6 CFU, I semestre, I anno

Insegnamenti a Scelta - Offerta da altri Corsi di Laurea

- High Performance and Cloud Computing (ING-INF/05), 9 CFU, I semestre, I anno
- Algorithmic Design (INF/01), 6 CFU, II semestre, I anno
- Reti Logiche (ING-INF/01), II semestre, I anno
- Sistemi Dinamici (ING-INF/04), 9 CFU, I semestre, I anno
- Quantum Chemistry (CHIM/02), 6 CFU, II semestre, I anno
- Quantum Machine Learning (INF/01), 6 CFU, I semestre, II anno
- Quantum Informatics and Software (INF/01), 6 CFU, I semestre, II anno
- Deep Learning, (INF/01), 6 CFU, I semestre, II anno

Piani di studi approvati d'ufficio:

a – Percorso di Dispositivi e Tecnologie Quantistiche

- Affine 1: Introduction to Machine Learning
- Affine 2: Liquidi Quantistici
- Affine 3: Algorithmic Design
- A scelta 1: Nanostrutture
- A scelta 2: Codici Correttori d'Errore

b – Percorso di Teoria dell'Informazione e Computazione Quantistiche

- Affine 1: Introduction to Machine Learning
- Affine 2: Liquidi Quantistici
- Affine 3: Stochastic Modelling and Simulation
- A scelta 1: Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi
- A scelta 2: Quantum Informatics and Software

Nota: insegnamenti Affini, non già inseriti nel piano di studi come tali, possono essere selezionati come **"Insegnamenti a scelta"**.