



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE**

hic sunt futura

**REGOLAMENTO DIDATTICO
DEL CORSO DI LAUREA MAGISTRALE
INTERATENEO IN FISICA**

**Classe delle lauree magistrali in Fisica
LM-17**

DM 270/2004, art. 12 - R.D.A. art. 4

Approvato dal Consiglio di Corso di Laurea Magistrale Interateneo il 01/02/2024

Art 1

Norme generali e finalità

1. Il regolamento didattico del Corso di Laurea Magistrale Interateneo in Fisica, ai sensi dell'art. 12, comma primo, del D.M. 270/2004 e della convenzione istitutiva del Corso di Laurea Magistrale Interateneo in Fisica firmata dai Rettori delle Università degli Studi di Trieste e di Udine in data 28/01/2010, specifica gli aspetti organizzativi del corso di studi.
2. Il Regolamento è approvato dagli organi deliberanti degli Atenei convenzionati nel rispetto di quanto previsto dai rispettivi regolamenti didattici di Ateneo, previo parere della Commissione Paritetica Docenti Studenti del Dipartimento, in conformità con l'ordinamento didattico e nel rispetto della libertà d'insegnamento, nonché dei diritti e doveri dei docenti e degli studenti.
3. Ai fini del presente documento si intende:
 - a) per "Regolamento" il regolamento didattico del Corso di Laurea Magistrale Interateneo in Fisica;
 - b) per "Convenzione" la convenzione istitutiva del Corso di Laurea Magistrale Interateneo in Fisica firmata dai Rettori delle Università degli Studi di Trieste e di Udine in data 28/01/2010;
 - c) per "Atenei convenzionati" le Università degli Studi di Trieste e Udine;
 - d) per "Ordinamento didattico" l'ordinamento didattico del corso di studi per il conseguimento della Laurea Magistrale Interateneo in Fisica allegato ai regolamenti didattici degli Atenei convenzionati;
 - e) per "Dipartimenti" il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Trieste e il Dipartimento di Riferimento, a i fini della Convenzione, dell'Università degli Studi di Udine;
 - f) per "Corso di Studi" il Corso di Laurea Magistrale Interateneo in Fisica;
 - g) per "Consiglio di Corso di Studi" il Consiglio di Corso di Laurea Magistrale Interateneo in Fisica;
 - h) per "Commissione didattica" la Commissione didattica del Corso di Laurea Magistrale Interateneo in Fisica;
 - i) per "Commissione Tesi" la Commissione Tesi del Corso di Laurea Magistrale Interateneo in Fisica;
 - j) per CFU il Credito Formativo Universitario;
 - k) per SSD il Settore Scientifico Disciplinare;
 - l) per TAF la Tipologia delle Attività Formative;
 - m) per Comitato Didattico e di Gestione, il Comitato temporaneo nominato ai sensi dell'art. 5.1 della Convenzione, sostituito a regime dal Consiglio di Corso di Studi;
 - n) per RDA il Regolamento Didattico di Ateneo della sede amministrativa.

Art. 2

Contenuti del Regolamento

1. Il Regolamento definisce le modalità di applicazione dell'Ordinamento didattico; definisce in particolare:

- a) l'elenco degli insegnamenti, con l'indicazione degli SSD di riferimento, nonché delle altre attività formative;
- b) l'eventuale articolazione in moduli degli insegnamenti;
- c) gli obiettivi formativi specifici e i crediti di ogni insegnamento e di ogni altra attività formativa;
- d) le eventuali propedeuticità di ogni insegnamento;
- e) gli specifici curricula e percorsi formativi offerti agli studenti;
- f) le regole di presentazione dei piani di studio individuali ove necessario;
- g) le tipologie delle forme didattiche, anche a distanza;
- h) le sedi di svolgimento delle attività didattiche;
- i) le tipologie degli esami e delle altre verifiche del profitto degli studenti;
- j) le disposizioni sugli eventuali obblighi di frequenza;
- k) le modalità di accesso al Corso di Studi.

Art. 3

Organi del Corso di Studi

1. Sono organi del Corso di Studi:

- a) il Consiglio di Corso di Studi;
- b) il Coordinatore del Consiglio di Corso di Studi;
- c) la Commissione Didattica;
- d) la Commissione Tesi;
- e) la Commissione per l'Ammissione;
- f) il Comitato di Coordinamento e di Indirizzo.

2. Il Consiglio di Corso di Studi è composto da:

- a) i docenti degli Atenei convenzionati affidatari di insegnamenti attivati nell'ambito del Corso di Studi;
- b) i docenti di insegnamenti del Corso di Studi ricoperti per contratto o mutuati da altro Corso di Studi;
- c) una rappresentanza eletta degli studenti iscritti al Corso di Studi pari al 15% dei componenti del consiglio, arrotondato all'intero superiore.

I componenti di cui alla lettera c) concorrono alla formazione del numero legale e delle maggioranze del Consiglio di Corso di Laurea solo se presenti alla seduta.

La rappresentanza degli studenti dura in carica un anno ed è eletta tra il primo ottobre e il 30 novembre dagli studenti iscritti al Corso di Studi, col principio del voto limitato (ogni elettore esprime una preferenza). La mancata designazione dei rappresentanti degli studenti non pregiudica il funzionamento del Consiglio di Corso di Studi. Il rappresentante che cessa anticipatamente è sostituito dal primo dei non eletti.

Le sedute del Consiglio di Corso di Studi sono valide anche quando svolte per via telematica.

3. Il Consiglio di Corso di Studi:

- a) programma e coordina le attività didattiche per il conseguimento del titolo di studio e ne propone l'approvazione al Dipartimento della sede amministrativa, acquisendo in sede di programmazione annuale il parere dell'altro Dipartimento;
- b) delibera in merito alle pratiche relative alla carriera degli studenti (trasferimenti, passaggi, iscrizioni con abbreviazione degli studi, ecc.);
- c) approva o respinge i piani di studio individuali degli studenti;
- d) organizza e disciplina le attività di supporto alla didattica;
- e) assegna le tesi nonché i relativi relatori e controrelatori;
- f) predispone e propone al Direttore di Dipartimento della sede amministrativa le commissioni per la prova finale;
- g) propone ai Consigli dei Dipartimenti l'attribuzione dei carichi didattici ai professori di ruolo e ai ricercatori, sentiti gli interessati, nel rispetto della loro libertà di insegnamento e delle loro specifiche competenze scientifiche;
- h) esprime pareri sull'attività didattica integrativa dei ricercatori impegnati nel Corso di Studi;
- i) propone al Dipartimento della sede amministrativa l'approvazione del Regolamento, o sue modifiche, acquisito il parere vincolante dell'altro Dipartimento;
- j) nomina le Commissioni di cui all'art. 3.1.c, d, e, ed il Responsabile dei Tirocini e di altre attività di tipo F, su proposta del Coordinatore.

Il Coordinatore del Consiglio di Corso di Studi è eletto tra i professori di prima e seconda fascia e i ricercatori di ruolo, a tempo pieno, membri dei Consigli di Corso di Laurea o di Laurea Magistrale in Fisica, dura in carica un triennio accademico e non può essere rieletto più di una volta consecutiva. L'elezione si svolge come previsto dall'articolo 45 del Regolamento Generale di Ateneo.

Il Coordinatore designa un suo vice, scelto all'interno della componente 3.2.a del Consiglio di Corso di Studi, che lo sostituisce in caso d'impedimento.

4. Il Coordinatore del Consiglio di Corso di Studi:

- a) rappresenta il Corso di Studi;
- b) convoca, con almeno una settimana di anticipo, le riunioni del Consiglio e lo presiede;
- c) dà esecuzione alle delibere del Consiglio, della Commissione didattica e della Commissione Tesi.

5. La Commissione Didattica è composta dal Coordinatore del Corso di Studi, che la presiede, e da un gruppo di docenti, uno per ogni percorso formativo attivato, designato dal Consiglio di Corso di Studi, su proposta del Coordinatore; alle riunioni della Commissione Didattica partecipano in veste consultiva i rappresentanti degli studenti di cui al comma 2 lettera c) del presente articolo.

6. La Commissione Didattica:

- a) istruisce le procedure per la predisposizione degli ordinamenti didattici del Corso di Studi;
- b) formula proposte e pareri in merito alla valutazione dell'attività didattica;
- c) istruisce le pratiche relative alla carriera degli studenti (trasferimenti, passaggi, iscrizioni con abbreviazione degli studi, piani di studio individuali, ecc.);
- d) propone la distribuzione temporale delle attività didattiche;

- e) propone l'eventuale propedeuticità degli insegnamenti;
 - f) coordina la programmazione annuale delle prove scritte e/o pratiche di esame.
7. La Commissione Tesi è composta da un gruppo di docenti, uno per ogni percorso formativo attivato, ed è designata dal Consiglio di Corso di Studi, su proposta del Coordinatore. Un docente può essere al contempo membro della Commissione Tesi e della Commissione Didattica.
8. La Commissione Tesi:
- a) coadiuva gli studenti nella scelta degli argomenti di Tesi, richiedendo periodicamente a docenti e ricercatori una lista di argomenti disponibili per le Tesi, per renderli noti agli studenti;
 - b) esamina le richieste degli studenti per l'assegnazione di un relatore di Tesi, scelto tra i docenti del Corso di Studi o tra i docenti/ricercatori di area fisica degli Atenei Convenzionati, e propone un controrelatore per l'approvazione da parte del Consiglio di Corso di Studi;
 - c) esamina l'eventuale richiesta di studenti a svolgere Tesi con un relatore esterno, presentata come indicato nell'Art. 13.3, e qualora la giudichi ammissibile, ritenga il progetto di Tesi di interesse per il Dipartimento e inoltre identifichi un docente o ricercatore disponibile a svolgere il ruolo di referente interno, propone al Consiglio di Corso di Studi la sua approvazione, insieme a quella del referente interno e di un controrelatore;
 - d) esamina, laddove non esistano già indicazioni specifiche in merito legate alle forme di mobilità internazionale, l'eventuale richiesta, contestuale alla domanda di assegnazione di un relatore di Tesi e controfirmata dal relatore proposto, di riconoscimento di crediti acquisibili all'estero nell'ambito dell'attività di studio, ricerca e redazione finalizzata alla Tesi, e ne propone al Consiglio l'approvazione;
 - e) propone il numero e le date delle sedute di laurea.
9. La Commissione per l'Ammissione, designata dal Consiglio di Corso di Studi, su proposta del Coordinatore, accerta il possesso dei requisiti minimi per l'iscrizione ed è composta da tre fra docenti e ricercatori di ruolo del Corso di Studi, dura in carica due anni ed è rinnovabile una sola volta.
10. Il Comitato di Coordinamento e di Indirizzo è composto dai due Direttori di Dipartimento e dal Coordinatore del Consiglio di Corso di Studi ed è presieduto dal Direttore del Dipartimento a cui non appartiene il Coordinatore del Corso di Studio.
11. Il Comitato di Coordinamento e di Indirizzo:
- a) coordina la gestione degli aspetti relativi ai rapporti tra gli Atenei convenzionati;
 - b) contribuisce a proporre gli indirizzi strategici del Corso di Studi;
 - c) individua i docenti necessari da condividere per l'attivazione del Corso di Studi ai sensi delle normative vigenti;
 - d) predispone il piano di impiego delle risorse finanziarie disponibili e ne propone l'approvazione al Dipartimento della sede amministrativa, acquisito il parere vincolante dell'altro Dipartimento;
 - e) delibera in via definitiva in caso di disaccordo su questioni che richiedono l'approvazione di entrambi i Dipartimenti.

Art. 4

Struttura e organizzazione

1. Il Corso di Studi è organizzato e gestito sulla base dei seguenti atti:
 - a) ordinamento didattico;
 - b) quadro degli insegnamenti e delle attività formative;
 - c) piano degli studi annuale.

2. L'Ordinamento didattico definisce la struttura e l'organizzazione del Corso di Studi, individuando le modalità di applicazione dei vincoli definiti dalla classe di appartenenza del corso di Laurea Magistrale stesso. È contenuto nell'Allegato A del Regolamento.

3. Il quadro degli insegnamenti e delle attività formative definisce, per ogni curriculum/percorso:
 - a) l'elenco degli insegnamenti impartiti, con l'indicazione dei relativi settori scientifico-disciplinari, e delle altre attività formative;
 - b) i moduli didattici in cui sono eventualmente articolati gli insegnamenti;
 - c) i crediti assegnati a ciascun insegnamento o attività formativa;
 - d) gli obiettivi formativi specifici di ogni insegnamento;
 - e) le eventuali propedeuticità.

Il quadro degli insegnamenti e delle attività formative è definito negli Allegati B1 e B2 del Regolamento.

4. Il Piano degli studi annuale determina le modalità organizzative di svolgimento del Corso di Studi, con particolare riguardo alla distribuzione degli insegnamenti nel biennio e in ciascun anno. Il Piano degli studi viene proposto dal Consiglio di Corso di Studi, definito annualmente dal Consiglio di Dipartimento della sede amministrativa, acquisito il parere vincolante dell'altro Dipartimento, nel rispetto dell'ordinamento didattico e del quadro degli insegnamenti e delle attività formative, e approvato dagli organi deliberanti degli Atenei convenzionati nel rispetto di quanto previsto dai rispettivi Statuti.

Il piano degli studi annuale è pubblicato nel Manifesto degli Studi, oltre che sul sito della didattica del Dipartimento di Fisica.

Art. 5

Accesso al Corso di Studi e accertamento dei requisiti di ammissione

1. Per essere ammessi al Corso di Studi occorre essere in possesso della Laurea o del Diploma Universitario di durata triennale, ovvero di altro titolo di studio conseguito all'estero, riconosciuto idoneo. È inoltre obbligatoria la conoscenza della lingua inglese al livello B2 della classificazione CEFR. Le modalità di verifica di tale conoscenza sono regolate dall'Art. 11. Sono infine richieste

adeguate conoscenze di matematica e fisica; in particolare si richiedono conoscenze di base e capacità di comprensione in:

- Analisi matematica, Geometria e Algebra lineare, Informatica, equivalenti a un totale di non meno di 15 CFU;
 - Fisica classica (Meccanica, Termodinamica, Elettromagnetismo, Acustica, Ottica), Meccanica quantistica, Relatività ristretta, Fisica statistica, Fisica della materia, Fisica nucleare e subnucleare, Laboratorio di Fisica (esecuzione di esperienze ed analisi statistica dei dati), equivalenti a un totale di non meno di 30 CFU.
2. L'accertamento del possesso dei requisiti di ammissione viene effettuato dalla Commissione di cui all'art. 3.9. I candidati all'iscrizione, in possesso dei titoli richiesti al Comma 1 del presente articolo, dovranno inviare ai membri della Commissione, preferibilmente per via elettronica, il loro curriculum vitae comprensivo dell'elenco di tutte le attività formative seguite con relativi CFU, date, votazioni e programmi, del titolo di Tesi triennale e della votazione finale. L'invio della documentazione dovrà essere effettuato con le modalità ed entro la scadenza che verranno pubblicate sul sito web dell'Università sede amministrativa, in accordo con il calendario di cui al Comma 4.
 3. L'accertamento di un'adeguata preparazione si baserà sul curriculum degli studi personale ed eventualmente su un colloquio. I candidati in possesso di una laurea della Classe 25 (ex DM 509/99) o della Classe L-30 (ex DM 270/04) con votazione di laurea superiore o uguale a punti 90 su 110 potranno essere ammessi senza ulteriori accertamenti. Gli altri candidati, in possesso dei requisiti minimi di cui al Comma 1, potranno essere chiamati a sostenere un colloquio di accertamento del possesso delle necessarie conoscenze di base e capacità di comprensione.
 4. I termini per l'immatricolazione e l'iscrizione sono determinati dal *Calendario Didattico* della sede amministrativa.

Art. 6

Conseguimento del titolo di studio

1. Per conseguire la Laurea Magistrale lo studente deve acquisire 120 crediti, secondo le tipologie previste dall'ordinamento vigente nell'anno accademico di immatricolazione.
2. La durata normale del corso di Laurea Magistrale è di due anni (art. 8, ex DM 270/04).
3. Il titolo di studio può essere conseguito anche prima della conclusione del biennio, purché lo studente abbia acquisito i 120 crediti previsti dal piano di studi.

Art. 7
Tipologia delle attività formative

1. Il Corso di Studi comprende attività formative raggruppate nelle tipologie (art. 10, ex DM 270/04) che seguono.

B: attività formative caratterizzanti;

C: attività formative affini o integrative;

D: attività a scelta dello studente;

E: attività formative relative alla preparazione della prova finale;

F: attività formative per ulteriori conoscenze linguistiche, per eventuali tirocini formativi, per le abilità informatiche, telematiche e relazionali o comunque utili per l'inserimento nel mondo del lavoro.
2. I crediti assegnati ad ognuna delle tipologie di cui sopra e alle singole attività formative sono definiti negli Allegati B1 e B2 del Regolamento, insieme agli obiettivi formativi, alla ripartizione per anno e per semestre e all'indicazione degli SSD.

Art. 8
Curricula e percorsi formativi, piani di studio

1. Gli insegnamenti e le attività formative del Corso di Studi sono organizzati in modo da offrire, all'interno dei curricula previsti dall'offerta formativa, percorsi differenziati che offrano una specializzazione in diverse aree della Fisica. I curricula, i percorsi e i relativi obiettivi e attività formative, e le eventuali propedeuticità, sono descritti negli Allegati B1 e B2.
2. È prevista la possibilità per gli studenti di presentare piani di studio individuali. Un piano di studi individuale deve rispettare l'ordinamento e seguire le seguenti regole:
 - contenere 40 CFU caratterizzanti, di cui minimo sei e massimo ventiquattro in ciascuno degli ambiti disciplinari i) sperimentale applicativo (FIS/01 e FIS/07), ii) teorico e dei fondamenti della fisica (FIS/02), iii) microfisico e della struttura della materia (FIS/03 e FIS/04), iv) astrofisico, geofisico e spaziale (FIS/05, FIS/06, GEO/10 e GEO/12);
 - contenere minimo 15 e massimo 21 CFU di insegnamenti affini;
 - contenere minimo 9 e massimo 12 CFU di attività formative a scelta dello studente;
 - contenere tra un minimo di 5 e un massimo di 8 CFU per attività di TAF F;
 - riservare 40 CFU per la prova finale;
 - contenere non più di undici insegnamenti, escludendo quelli a scelta dello studente e i soprannumerari.

La stesura di un piano di studi individuale è indispensabile nel caso di studenti non in possesso

di una laurea della Classe 25 (ex DM 509/99) o della Classe L-30 (ex DM 270/04) (vedi art. 3, Comma 3). I termini per la presentazione e la modifica dei piani di studi sono determinati dalla Sede amministrativa. I piani di studio devono essere approvati dal Consiglio di Corso di Studi. Per gli studenti in possesso di una laurea della Classe 25 (ex DM 509/99) o della Classe L-30 (ex DM 270/04), sono previsti piani di studio approvati d'ufficio (elencati nell'Allegato B1).

3. Gli studenti possono presentare piani di studio contenenti un numero di CFU superiore a 120 secondo i limiti e le regole del Regolamento Carriera Studenti. Il certificato di Laurea Magistrale riporterà l'indicazione di tutti i crediti acquisiti, compresi quelli soprannumerari.

4. Lo studente che intenda usufruire dei programmi di mobilità internazionale deve concordare le attività formative che seguirà nell'Istituzione ospitante con il referente Erasmus del Corso di Laurea; tali attività dovranno essere approvate dal Consiglio di Corso di Studi antecedentemente al periodo di mobilità. Il Dipartimento di Fisica ha approvato una tabella di conversione dei voti in trentesimi, utile per le attività che prevedono un voto. La registrazione dei crediti è a cura dell'Ufficio Carriere e avviene al termine del periodo di mobilità e in base al documento finale (Transcript of records) inviato dall'Ateneo partner per attestare le attività svolte.

Art. 9

Tipologia delle forme didattiche, anche a distanza, degli esami e delle altre verifiche del profitto degli studenti

1. Ogni credito di formazione universitaria (CFU) prevede un impegno medio di 25 ore da parte dello studente, suddivise fra didattica frontale e studio autonomo, di norma nella proporzione 1/3 e 2/3 rispettivamente. Per le attività di laboratorio la suddivisione è in parti uguali.

2. La didattica potrà essere svolta nelle seguenti forme:
 - lezioni frontali in aula, eventualmente coadiuvate da strumenti audio-visivi multimediali;
 - esercitazioni, numeriche e di altro tipo, in aula o in aula informatica;
 - sperimentazioni in laboratorio, individuali o di gruppo;
 - lezioni e/o sperimentazioni presso strutture di ricerca esterne all'Università o soggiorni presso altre Università italiane o straniere nel quadro di accordi internazionali;
 - specifici insegnamenti potranno essere impartiti anche in teleconferenza, in base a quanto stabilito nel Manifesto degli Studi.

3. Di norma le lezioni sono tenute in Italiano. Tuttavia, possono essere tenute in lingua inglese nei seguenti casi:

- lezioni tenute da docenti stranieri
 - lezioni frequentate da studenti dell'Ateneo, iscritti ad altri Corsi di Studio in lingua inglese e a cui il Dipartimento di Fisica partecipa, che abbiano inserito insegnamenti della Laurea Magistrale in Fisica nel piano di studi.
4. Il Tirocinio è finalizzato all'apprendimento di tecniche di lavoro formativo ai fini della Tesi, e di norma viene svolto sotto la guida del Relatore della Tesi o di altro responsabile concordato con il Consiglio di Corso di Studi. Alla fine del periodo di tirocinio lo studente espone il lavoro svolto in un seminario pubblico di fronte a una commissione composta dal Responsabile dei Tirocini presso il Dipartimento di Fisica della sede amministrativa e dal tutore interno. Ulteriori attività formative su abilità informatiche e telematiche, conoscenze linguistiche e altre conoscenze utili per l'inserimento nel mondo del lavoro possono essere svolte sotto la guida di responsabili indicati dalla Commissione Didattica. Il proficuo svolgimento viene verificato per mezzo della presentazione (in forma scritta, o di seminario pubblico, o di prodotto multimediale o di software informatico) dei risultati di un progetto individuale.
 5. Tutte le attività che consentono l'acquisizione di crediti sono valutate, in accordo con l'RDA, da commissioni che comprendono il responsabile dell'attività formativa. Le votazioni sono espresse in trentesimi ed eventuale lode, oppure con giudizio "approvato" o "non approvato" per le attività di Tirocinio e per ulteriori attività formative (TAF F).
 6. Gli esami possono prevedere una prova scritta/pratica, una prova orale o entrambe. Per gli esami di laboratorio può essere richiesta una relazione scritta sull'attività svolta. Sono previste tre sessioni d'esame in conformità con l'Art. 19 del RDA. La prova orale di norma deve essere sostenuta nella stessa sessione della prova scritta e nei periodi di esame previsti di anno in anno nel Manifesto degli Studi, e indicati sul sito della didattica del Dipartimento di Fisica, salvo diversa decisione del responsabile dell'attività formativa. Durante la prova orale dell'esame, lo studente ha la facoltà di ritirarsi, ma in tal caso la commissione d'esame può stabilire che sia ripetuta l'eventuale prova scritta di ammissione all'orale.

Art. 10 **Riconoscimento di crediti acquisiti**

Il riconoscimento di crediti acquisiti dallo studente nel caso questi presenti idonea certificazione che attesti l'acquisizione di competenze e abilità professionali, nonché di altre competenze e abilità maturate in attività formative di livello post-secondario alla cui progettazione e realizzazione l'Università abbia concorso, sono discusse e accettate o respinte dal Consiglio di Corso di Studi, previa verifica da parte della Commissione Didattica dei contenuti delle attività svolte e della loro equipollenza e compatibilità con gli obiettivi formativi del Corso di Laurea Magistrale Interateneo, sentito eventualmente l'interessato.

Art. 11

Modalità di verifica della conoscenza della lingua inglese e di riconoscimento di crediti relativi alla conoscenza di una o più lingue dell'Unione Europea e al possesso di abilità informatiche.

La verifica della conoscenza, in forma scritta e orale, della lingua Inglese, corrispondente almeno al livello B2 del quadro comune europeo di riferimento per la conoscenza delle lingue, fa parte della verifica della personale preparazione del candidato. Tale competenza potrà essere desumibile dal curriculum studiorum o da idonea certificazione rilasciata da struttura esterna riconosciuta valida dall'Ateneo. In tutti gli altri casi l'ammissione è subordinata ad una valutazione tramite un test predisposto dall'Ateneo.

Crediti relativi alle ulteriori conoscenze di lingue dell'Unione Europea possono essere riconosciuti sino al massimo dei CFU previsti dall'ordinamento sulla base di certificazioni internazionalmente riconosciute.

Crediti relativi ad abilità informatiche possono essere riconosciuti sino al massimo dei CFU previsti dall'ordinamento in base alla documentazione presentata.

Art. 12

Forme di verifica periodica dei crediti acquisiti al fine di valutare la non obsolescenza dei contenuti conoscitivi

Il Consiglio del corso di Laurea può richiedere a studenti integrazioni e colloqui di verifica delle conoscenze relative a CFU acquisiti per insegnamenti per i quali valuta possibile l'obsolescenza dei contenuti conoscitivi, se le date dei relativi esami precedono di almeno 10 anni quella prevista per l'esame di Laurea Magistrale.

Art. 13

Prova finale e conseguimento del Titolo di Laurea Magistrale

1. Il Diploma di Laurea Magistrale in Fisica si consegue con la discussione di una Tesi davanti ad una Commissione Giudicatrice composta da almeno cinque membri, nominata dalle competenti strutture didattiche.
2. La Tesi è un documento scritto che presenta i risultati di uno studio originale su un argomento di ricerca, inquadrandoli all'interno del campo specifico e corredandoli di una adeguata bibliografia. Lo studio può essere sperimentale, teorico, computazionale.
3. Il lavoro di ricerca per la Tesi viene effettuato sotto la guida di un Relatore, di norma un docente del Corso di Studi o un docente/ricercatore di area fisica degli Atenei Convenzionati, assegnato dalla Commissione Tesi secondo le modalità di cui all'art. 3.8 b) - c). La Tesi può essere redatta in lingua italiana o in lingua inglese. Nel caso di lingua inglese l'elaborato dovrà comunque contenere, redatti in Italiano: un frontespizio, con il titolo della Tesi e i nomi del Relatore e di eventuali Correlatori, un riassunto. Lo studente è tenuto a presentare alla Commissione Tesi il progetto di Tesi con la richiesta di assegnazione del Relatore almeno 6 mesi prima della prevista discussione della Tesi. Nel caso desideri svolgere una Tesi con relatore esterno, lo studente deve innanzitutto chiedere un colloquio

con la Commissione, e qualora dal colloquio emerga l'opportunità e la possibilità di una Tesi di questo tipo, lo studente è tenuto a presentare alla Commissione, almeno 8 mesi prima della prevista discussione, richiesta scritta contenente la motivazione e il progetto (da una a due pagine), con una breve descrizione di obiettivo, tecniche da impiegare e risultati attesi, firmata dal richiedente e dal relatore proposto. La Commissione procede poi come descritto all'art. 3.8.c.

4. Nel caso in cui si preveda che parte o tutta l'attività di studio, ricerca e redazione finalizzata alla Tesi si possa svolgere presso strutture universitarie e/o di ricerca estere, lo studente laureando può presentare richiesta di riconoscimento dei 5 crediti di tipo F per il "Tirocinio", e fino a 30 crediti di tipo E per la Prova finale, come "crediti conseguiti all'estero". Tale richiesta, formulata dal laureando, deve pervenire alla Commissione Tesi contestualmente alla documentazione di cui al precedente punto 3. Laddove non esistano già indicazioni specifiche in merito legate alle forme di mobilità internazionale, il controllo ex post della documentazione attestante le attività di cui sopra, necessaria al riconoscimento dei crediti nella forma indicata, sarà effettuato dal Coordinatore del Corso di Laurea Magistrale e da un membro della Commissione Tesi.
5. Il voto finale di Laurea Magistrale si basa sulla valutazione del curriculum degli studi, dei contenuti della Tesi, della sua presentazione e su ulteriori elementi rivolti ad incentivare il superamento degli esami nei tempi stabiliti dall'ordinamento didattico. Il voto complessivo si ottiene a partire dalla media pesata (dai relativi CFU) dei voti d'esame del biennio di Laurea Magistrale espresso in centodecimali. A questa si aggiungono: tre punti se tutti gli esami del biennio sono stati superati prima della sessione d'esami di settembre del secondo anno di corso; un quinto di punto per ogni lode con un massimo attribuibile di due punti; fino a sei punti per la Tesi, la sua presentazione e discussione. L'attribuzione della lode, nel caso il candidato abbia raggiunto il massimo dei voti, richiede l'unanimità della Commissione Giudicatrice.

Art. 14

Disposizioni sugli obblighi di frequenza

1. Vigè l'obbligo di frequenza per le attività di laboratorio.
2. La Commissione Didattica stabilisce caso per caso le attività sostitutive della eventuale frequenza obbligatoria per studenti lavoratori o diversamente abili, con eventuale sostegno di supporti formativi integrativi a distanza per studenti non frequentanti o non impegnati a tempo pieno.

Art. 15

Trasferimento di studenti provenienti da altri corsi di studio

1. Le richieste di trasferimento al Corso di Laurea Magistrale in Fisica sono discusse e accettate o respinte dal Consiglio di Corso di Studi, su proposta della Commissione Didattica, sentito

eventualmente l'interessato. I termini per la presentazione delle domande di trasferimento sono fissati dal Calendario Didattico della sede amministrativa.

2. Gli studenti che chiedono il trasferimento al Corso di Studi devono presentare contestualmente un piano di studi individuale indicando le attività di cui richiedono il riconoscimento.
3. Il riconoscimento dei crediti acquisiti presso altro Corso di Studio dell'Ateneo o in Corsi di altra Università, nonché di conoscenze e abilità professionali certificate, viene effettuato mediante delibera del Consiglio di Corso di Studi, previa verifica da parte della Commissione Didattica dei contenuti delle attività formative svolte e della loro equipollenza e compatibilità con gli obiettivi del Corso di Studi. La Commissione può anche ricorrere a colloqui per la verifica delle conoscenze effettivamente possedute. Tutte le possibilità di realizzare il trasferimento con il massimo riconoscimento di CFU verranno prese in considerazione. Il mancato riconoscimento di crediti verrà motivato.

Art. 16

Ripartizione delle attività didattiche tra le sedi convenzionate

Le attività formative finalizzate al conseguimento del titolo di studio e articolate secondo quanto previsto dall'Allegato B2 al Regolamento e dal Manifesto degli Studi verranno condotte nelle seguenti sedi:

- a) attività calendarizzate al primo anno di corso presso la sede di Trieste;
- b) attività calendarizzate al secondo anno di corso potranno svolgersi sia presso la sede di Trieste che presso quella di Udine per il percorso formativo in Fisica Nucleare e Subnucleare; presso la sede di Trieste per gli altri percorsi formativi.

Art. 17

Norme transitorie e finali

Le modifiche al Regolamento riconducibili all'Ordinamento, ai punti 4 e 5 dell'Art. 13 del presente regolamento o all'offerta formativa relativa alle tipologie A, B, C, valgono a partire dalla prima coorte immatricolata successivamente all'entrata in vigore del Regolamento. Tutte le altre norme, ove non espressamente indicato altrimenti, entrano in vigore dopo l'approvazione dei Consigli di Dipartimento degli atenei in convenzione per tutti gli studenti iscritti.

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 e caratterizzata in modo ben definito. 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.

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, FIS/08	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, FIS/08	6
	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03, FIS/04	21
	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

FISICA TEORICA

Tipologia	Ambito	SSD	CFU
B	Sperimentale applicativo	FIS/01, FIS/07	6
	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02, FIS/08	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		21
D	A scelta dello studente		12
E	Prova finale		40
F	Tirocinio		5

FISICA DEI SISTEMI COMPLESSI, CLIMA E FINANZA

Tipologia	Ambito	SSD	CFU
B	Sperimentale applicativo	FIS/01, FIS/07	6
	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02, FIS/08	18
	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03, FIS/04	6
	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, FIS/08	6
	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03, FIS/04	6
	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05, FIS/06, GEO/10, GEO/12	24
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, FIS/08	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 piani di studio standard, incentrati su tecniche sperimentali oppure metodi teorico-computazionali, che portano ad una preparazione scientifica nelle discipline che caratterizzano l'indirizzo.

Il piano di studio a carattere **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 piano di studio a carattere **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 piano di studio a carattere **misto** permette di avere una visione di insieme dei due approcci 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 piani di studio standard 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	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	FIS/03	B	6
Teoria dei Campi I <i>oppure</i> Meccanica Statistica	FIS/02	B	6	Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia	FIS/05	B	6
Transizioni di Fase e Fenomeni Critici <i>oppure</i> Interazione Radiazione-Materia e Luce di Sincrotrone <i>oppure</i> Atomi, Molecole e Fotoni	FIS/03	B	6	Affine 1		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 2		C	6	Tesi		E	30
Affine 3		C	6				
Insegnamento a Scelta 2		D	6				
Tirocinio		F	5				
Tesi		E	10				
Totale crediti del II anno							63

Insegnamenti Affini – Offerta interna al Curriculum

- Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi (FIS/03), II 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
- Nanostrutture (FIS/03), II semestre, I anno
- Fisica dei Sistemi Disordinati (FIS/03), I semestre, II anno
- Fotonica (FIS/03), I semestre, II anno
- Stati Elettronici non Convenzionali a Bassa Dimensionalità (FIS/03), I semestre, II anno

Insegnamenti Affini – Offerta da altri corsi di laurea

- Formazione ed Analisi di Immagini in Fisica (FIS/07), I semestre, II anno (da LM Scientific And Data-Intensive Computing)

Insegnamenti a Scelta ad approvazione automatica – Offerta interna al Curriculum

- 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
- Computazione Quantistica (FIS/02), I semestre, II anno
- Meccanica Statistica Quantistica (FIS/02), II semestre, I 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:

- **Interazione Radiazione-Materia e Luce di Sincrotrone oppure Atomi, Molecole e Fotoni**
- **Laboratorio di Fisica della Materia Condensata**
- **Laboratorio di Fisica dei Nanomateriali**
- **Teoria dei Campi I oppure Meccanica Statistica**
- **Affini:** Tre insegnamenti tra Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi, Fondamenti di Fisica delle Superfici, Nanostrutture, Fotonica, Formazione ed Analisi di Immagini in Fisica
- **A scelta:** Due insegnamenti tra quelli elencati in precedenza, offerti dal Curriculum (inclusi TAF B e C non già inseriti nel piano di studi) oppure offerti da altri curricula.

Esempio di piano di studio di carattere teorico-computazionale:

- **Transizioni di Fase e Fenomeni Critici oppure Atomi, Molecole e Fotoni**
- **Laboratorio di Fisica Computazionale**
- **Laboratorio di Simulazioni Atomistiche e Molecolari**
- **Teoria dei Campi I oppure Meccanica Statistica**
- **Affini:** Tre insegnamenti tra Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi, Metodi Numerici per la Struttura Elettronica, Nanostrutture, Fisica dei Sistemi Disordinati, Stati Elettronici non Convenzionali a Bassa Dimensionalità
- **A scelta:** Due insegnamenti tra quelli elencati in precedenza, offerti dal Curriculum (inclusi TAF B e C non già inseriti nel piano di studi) oppure offerti da altri curricula.

Un piano di studio di carattere misto teorico-sperimentale è anche possibile, con corsi selezionati tra quelli dei due esempi 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
Teoria dei Campi I	FIS/02	B	6	Cosmologia I <i>oppure</i> Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia	FIS/05	B	6
Simmetrie e interazioni fondamentali	FIS/04	B	6	Caratteristiche generali dei Rivelatori	FIS/01	B	6
Affine 1:		C	6	Laboratorio Acquisizione e controllo Dati	FIS/01	B	6
Affine 2:		C	6	Fisica Nucleare	FIS/04	B	6
				Affine 3:		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
Laboratorio di Fisica Nucleare e subnucleare	FIS/04	B	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 almeno uno tra Relatività Generale I o Onde Gravitazionali

Insegnamenti Affini – Offerta interna al Curriculum

- Fondamenti di fisica medica (FIS/07), 6 CFU, I semestre, I anno
- Laboratorio di fisica medica (FIS/07), 6 CFU, II semestre, I 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
- Fisica sperimentale delle particelle (FIS/04), 6 CFU, I semestre, II anno
- Elettronica avanzata per la fisica sperimentale (FIS/01), 6 CFU, I semestre, II anno

Insegnamenti a Scelta – Offerta interna al Curriculum

- Ottica Avanzata (FIS/01), 6 CFU, II semestre, I anno

Insegnamenti a Scelta - Offerta da altri Curricula:

- Dinamica delle interazioni elettrodeboli e forti (FIS/02), 6 CFU, I semestre, II anno
- Relatività Generale I (FIS/02), 6 CFU, I semestre
- Interazione Radiazione-Materia e Luce di Sincrotrone (FIS/03), 6 CFU, I semestre, I anno

Insegnamenti a Scelta - Offerta da altri Corsi di Laurea

- Formazione ed analisi delle immagini in Fisica (FIS/07), 6 CFU, I semestre (da LM Scientific And Data-Intensive Computing)

Piani di studio standard, approvati d'ufficio:

a – Percorso di Fisica delle Particelle

Affine 1: Statistica Avanzata per la Fisica

Affine 2: Programmazione avanzata e tecniche di simulazione per la fisica

Affine 3: Modello Standard delle Interazioni Fondamentali

A scelta: due insegnamenti tra:

- Fisica sperimentale delle particelle
- Rivelatori a semiconduttore e apparati per la Fisica nucleare e subnucleare*
- Elettronica avanzata per la fisica sperimentale*
- Ottica Avanzata*
- Teoria dei Campi II**
- Dinamica delle interazioni elettrodeboli e forti**

* = *orientamento sperimentale*

** = *orientamento fenomenologico*

b – Percorso di Fisica delle Astroparticelle

Affine 1: Statistica Avanzata per la Fisica

Affine 2: Onde gravitazionali

Affine 3: Astrofisica nucleare e subnucleare

A scelta: due insegnamenti tra:

- 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: Programmazione avanzata e tecniche di simulazione per la fisica

Affine 3: Laboratorio di Fisica Medica

A scelta: due insegnamenti tra:

- Statistica Avanzata per la Fisica
- Formazione ed analisi delle immagini in Fisica
- Rivelatori a semiconduttore e apparati per la Fisica nucleare e subnucleare
- Elettronica avanzata per la fisica sperimentale
- Interazione Radiazione-Materia e Luce di Sincrotrone
- Ottica Avanzata

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	FIS/02	B	6
Relatività Generale I (I semestre) E Cosmologia I (II semestre) <i>oppure</i>					FIS/02 e 05	B	12
Dinamica del Clima (I semestre) E Meccanica Statistica Quantistica (II semestre)					FIS/06 e 02	B	12
Simmetrie e Interazioni Fondamentali (I semestre) <i>oppure</i>					FIS/04	B	6
Introduzione ai sistemi Quantistici a Molti Corpi (II semestre)					FIS/03		
Meccanica Statistica	FIS/02	B	6				
Insegnamento Affine 1		C	6	Insegnamento Affine 2		C	6
Insegnamento Affine 3						C	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
Laboratorio di Fisica Computazionale <i>oppure</i> Programmazione Avanzata e Tecniche di Simulazione per la Fisica	FIS/01	B	6	Tesi		E	30
Insegnamento Affine 4		C	6				
Insegnamento a scelta 2		D	6				
Tirocinio		F	5				
Tesi		E	10				
Totale crediti del II anno							63

Insegnamenti affini (TAF C) – Offerta interna al Curriculum

- Liquidi quantistici (FIS/02), II semestre I anno (6CFU)
- Computazione Quantistica (FIS/02), I Semestre (6CFU)
- Teoria dei Campi III (FIS/02), I semestre II anno (6CFU)
- 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 Avanzata e Fisica Gravitazionale (FIS/02), I semestre II anno (6CFU)
- Fisica delle Particelle e Cosmologia (FIS/02), II semestre I anno (6CFU)
- Meccanica Quantistica e Relatività Speciale (FIS/02), I Semestre (3CFU)
- Complementi di Teoria dei Campi (FIS/02), II semestre I anno (3CFU)
- Teoria delle Stringhe (FIS/02), I semestre, II anno (6 CFU)
- Teoria dei Gruppi (FIS/02), I semestre, I anno (3CFU)

Insegnamenti affini (TAF C) - Da altri curricula

- Introduzione all'Informazione Quantistica (FIS/02), II semestre I anno (6CFU)
- Onde Gravitazionali (FIS/01), I semestre (6CFU)
- Statistica Avanzata per la Fisica (FIS/01), I semestre (6CFU)
- Dinamiche Stocastiche (FIS/02), II semestre I anno (6CFU)
- Teoria delle Grandi Deviazioni e Gruppo di Rinormalizzazione (FIS/02), I semestre II anno (6CFU)
- Transizioni di Fase e Fenomeni Critici (FIS/03), I semestre (6CFU)
- Atomi, Molecole e Fotoni (FIS/03), I semestre (6CFU)

**Insegnamenti affini (TAF C) - Da altri percorsi di laurea magistrale
(subordinata all'effettiva attivazione)**

- Advanced Mathematical Physics Mod A (MAT/07), I semestre (6CFU)
- Advanced Mathematical Physics Mod B (MAT/07), II semestre, I anno (6CFU)
- Advanced Geometry 1 (MAT/03), I semestre (6CFU)

Insegnamenti a scelta (TAF D) - Da altri curricula

- Caratteristiche Generali dei Rivelatori (FIS/01), II semestre I anno (6CFU)
- Metrologia Quantistica (FIS/02), II semestre I anno (6CFU)
- Fisica dei Sistemi Disordinati (FIS/03), I semestre (6CFU)
- Cosmologia II (FIS/05), I semestre II anno (6CFU)

**Insegnamenti a scelta (TAF D) - Da altri corsi di laurea magistrale
(subordinata all'effettiva attivazione)**

- Topics in Advanced Mathematical Physics (MAT/07), II semestre, I anno (6CFU)
- Functional Analysis (MAT/05), II semestre, I anno (6CFU)
- Advanced Geometry 2 (MAT/03), I semestre (6CFU)
- Advanced Geometry 3 (MAT/03), II semestre I anno (6CFU)
- Introduction to Machine Learning (ING-INF/05), I semestre (6CFU)

Gli insegnamenti affini indicati concorrono a costituire anche gli insegnamenti a scelta.

Piani di studio standard, approvati d'ufficio.

a – Teoria dei Campi

Caratterizzanti: Teoria dei Campi 1, Relatività Generale 1, Meccanica Statistica, Teoria dei Campi 2, Cosmologia 1, Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi, Laboratorio di Fisica Computazionale oppure Programmazione Avanzata e Tecniche di Simulazione per la Fisica.

Affine 1: Advanced Mathematical Physics Mod A, Advanced Geometry 1, Transizioni di Fase e Fenomeni Critici.

Affine 2: Modello Standard delle Interazioni Fondamentali.

Affine 3: Teoria dei Gruppi.

Affine 4: Teoria dei Campi 3.

A scelta 1: Meccanica Quantistica e Relatività Speciale + Complementi di Teoria dei Campi.

A scelta 2: Teoria delle Stringhe, Dinamica delle Interazioni elettrodeboli e forti, Advanced Geometry 1, Relatività Generale Avanzata e Fisica Gravitazionale.

b – Fisica delle Particelle Elementari

Caratterizzanti: Teoria dei Campi 1, Relatività Generale 1, Meccanica Statistica, Teoria dei Campi 2, Cosmologia 1, Simmetrie e Interazioni Fondamentali, Laboratorio di Fisica Computazionale oppure Programmazione Avanzata e Tecniche di Simulazione per la Fisica.

Affine 1: Onde Gravitazionali, Statistica Avanzata per la Fisica, Transizioni di Fase e Fenomeni Critici.

Affine 2: Modello Standard delle Interazioni Fondamentali, Fisica delle Particelle e Cosmologia.

Affine 3: Complementi di Teoria dei Campi.

Affine 4: Dinamica delle Interazioni Elettrodeboli e Forti.

A scelta 1: Modello Standard delle Interazioni Fondamentali, Fisica delle Particelle e Cosmologia., Caratteristiche Generali dei Rivelatori, Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi.

A scelta 2: Teoria dei Campi 3, Cosmologia 2, Onde Gravitazionali, Statistica Avanzata per la Fisica.

c – Meccanica Quantistica

Caratterizzanti: Teoria dei Campi 1, Relatività Generale 1, Meccanica Statistica, Teoria dei Campi 2, Cosmologia 1, Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi, Laboratorio di Fisica Computazionale oppure Programmazione Avanzata e Tecniche di Simulazione per la Fisica.

Affine 1: Computazione Quantistica.

Affine 2: Introduzione all'Informazione Quantistica, Meccanica Statistica Quantistica.

Affine 3: Meccanica Quantistica e Relatività Speciale.

Affine 4: Atomi, Molecole e Fotoni.

A scelta 1: Metrologia Quantistica, Meccanica Statistica Quantistica.

A scelta 2: Transizione di Fase e Fenomeni Critici, Introduction to Machine Learning.

d – Fisica Statistica

Caratterizzanti: Teoria dei Campi 1, Dinamica del Clima, Meccanica Statistica, Teoria dei Campi 2, Meccanica Statistica Quantistica, Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi, Laboratorio di Fisica Computazionale oppure Programmazione Avanzata e Tecniche di Simulazione per la Fisica.

Affine 1: Transizione di Fase e Fenomeni Critici.

Affine 2: Dinamiche Stocastiche.

Affine 3: Teoria dei Gruppi.

Affine 4: Teoria delle Fluttuazioni e della Rinormalizzazione.

A scelta 1: Introduzione all'Informazione Quantistica, Metrologia Quantistica.

A scelta 2: Fisica dei Sistemi Disordinati, Introduction to Machine Learning.

e – Fisica Matematica

Caratterizzanti: Teoria dei Campi 1, Dinamica del Clima, Meccanica Statistica, Teoria dei Campi 2, Meccanica Statistica Quantistica, Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi, Laboratorio di Fisica Computazionale oppure Programmazione Avanzata e Tecniche di Simulazione per la Fisica.

Affine 1: Advanced Mathematical Physics mod A, Advanced Geometry 1.

Affine 2: Advanced Mathematical Physics mod B.

Affine 3: Teoria dei Gruppi.

Affine 4: Teoria dei Campi 3, Teoria delle Stringhe, Advanced Geometry 1.

A scelta 1: Topics in Advanced Mathematical Physics, Advanced Geometry 3, Functional Analysis.

A scelta 2: Advanced Geometry 2, Relatività Generale 1.

2.4 Curriculum “Fisica dei Sistemi Complessi, clima e finanza”

Obiettivi Formativi

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

- una solida preparazione culturale nella fisica statistica e dei sistemi complessi;
- conoscenza di moderne metodologie della fisica statistica e computazionale e di strumenti matematici e informatici di supporto;
- conoscenza delle moderne tecniche di analisi dei dati, anche con tecniche di intelligenza artificiale;
- conoscenze specifiche per la modellizzazione di sistemi fisici complessi e nei campi delle scienze applicate, con particolare attenzione alla fisica del clima o alla fisica dei sistemi finanziari;
- conoscenza di tecniche innovative per studiare fenomeni caratterizzati da un alto grado di imprevedibilità e complessità, in particolare quelli relativi alle crisi climatico-ambientali ed economico-finanziarie
- 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;
- capacità di affrontare problemi di natura nuova e di proporre soluzioni;
- capacità di lavorare con ampia autonomia, anche assumendo responsabilità di progetti e strutture, e di partecipare a collaborazioni scientifiche allargate all’ambito nazionale e internazionale.

I laureati magistrali in Fisica dei Sistemi Complessi vanteranno una formazione funzionale a contesti lavorativi che richiedano la valutazione dei livelli di confidenza delle previsioni, dei modelli e delle simulazioni numeriche. Sapranno rispondere alla pressante necessità di studiare con tecniche innovative fenomeni caratterizzati da un alto grado di imprevedibilità e complessità, in campi di assoluta rilevanza, anche sociale, quali ad esempio quelli relativi alle crisi climatico-ambientali ed economico-finanziarie. Saranno preparati a svolgere attività di alto livello quali ricerca e sviluppo nel settore pubblico e privato. Potranno occuparsi di divulgazione ad alto livello della cultura scientifica con particolare riferimento agli aspetti sperimentali e applicativi della fisica dell’atmosfera, dell’oceano e del clima (e.g. la gestione dei rischi naturali) e dei mercati finanziari. Avranno inoltre un’ottima preparazione per affrontare un dottorato di ricerca sia in Italia che all’estero.

Fisica dei Sistemi Complessi, Clima e Finanza – Insegnamenti							
I ANNO							
I Semestre	SSD	TAF	CFU	II Semestre	SSD	TAF	CFU
Meccanica Statistica	FIS/02	B	6	Fisica dell'Atmosfera	FIS/06	B	6
Transizioni di fase e fenomeni critici <i>oppure</i> Atomi, Molecole e Fotoni	FIS/03	B	6	Dinamiche stocastiche	FIS/02	B	6
Laboratorio di Fisica Computazionale	FIS/01	B	6	Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia	FIS/05	B	6
Affine 1: Metodi di potenziale (condiviso da DMG)	GEO/10	C	6	Affine 2: Fluidodinamica Geofisica <i>oppure</i> Metodi quantitativi per la finanza	FIS/06	C	6
Abilità Informatiche e telematiche <i>oppure</i> Strumenti informatici per la fisica		F	3		FIS/07		
Insegnamento a scelta 1						D	6
Insegnamento a scelta 2						D	6
Totale crediti del I anno							63
II ANNO							
I Semestre	SSD	TAF	CFU	II Semestre	SSD	TAF	CFU
Teoria delle grandi deviazioni e gruppo di rinormalizzazione	FIS/02	B	6	Tesi		E	30
Affine 3: Dinamica del Clima	FIS/06	C	6				
Tirocinio		F	5				
Tesi		E	10				
Totale crediti del II anno							57

Insegnamenti a scelta ad approvazione automatica:

Offerta da altri curricula

- Meteorologia e Climatologia dello Spazio (FIS/05), II semestre (6CFU)
- Biofisica sperimentale (FIS/07), I semestre (6CFU)
- Laboratorio di Astrofisica Spaziale (FIS/01), I semestre (6 CFU)
- Atomi, molecole, fotoni (FIS/03), I semestre (6 CFU)
- Fisica della Materia Condensata I (FIS/03), I semestre (6 CFU)
- Fisica Nucleare (FIS/04), II semestre (6 CFU)
- Programmazione Avanzata e tecniche di simulazione per la fisica (FIS/01) – I semestre (6 CFU)
- Laboratorio di Simulazioni Atomistiche e Molecolari (FIS/03) – II semestre (6 CFU)
- Simulazioni Classiche di Sistemi a Molti Corpi (FIS/03) – I semestre (6 CFU)
- Statistica avanzata per la Fisica (FIS/01) - I semestre (6 CFU)

Offerta da altri corsi di laurea (subordinata all'effettiva attivazione)

- Radioprotezione nel Campo Ambientale e Lavorativo (FIS/07), II semestre (6CFU)
- Seismology (GEO/10), II semestre I anno (6CFU) (da LM Geophysics and Geodata)
- Introduction to Machine Learning (ING-INF/05) (da LM Ingegneria Elettronica ed Informatica), I semestre (6CFU)
- Stochastic Modelling and Simulation (INF/01) (da LM Scientific And Data-Intensive Computing)
- Statistical machine learning (INF/01) (da LM Scientific And Data-Intensive Computing)

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 progetti 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
Relatività Generale I <i>oppure</i> Teoria dei Campi I	FIS/02	B	6	Processi Radiativi	FIS/05	B	6
Atomi, Molecole e Fotoni	FIS/03	B	6	Insegnamento Affine 1	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 2	FIS/05	C	6				
Insegnamento Affine 3		C	6				
Tirocinio		F	5				
Tesi		E	10				
Totale crediti del II anno							63

Nota: Cosmologia I richiede come propedeuticità Relatività Generale I oppure Onde Gravitazionali.

Piano di studi approvato d'ufficio:

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

- Insegnamento affine 1 scelto nel paniere dell'offerta interna al curriculum, relativa al secondo semestre del primo anno.
- Insegnamenti affini 2 e 3 scelti 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
- Cosmologia Osservativa
- Radioastronomia
- Meteorologia e Climatologia dello Spazio
- Astrofisica degli Oggetti Compatti

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

- Cosmologia II (FIS/05)
- Pianeti e Astrobiologia (FIS/05)
- Onde gravitazionali (FIS/01)
- Simmetrie ed interazioni fondamentali (FIS/04)

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
- Fisica delle particelle e cosmologia (FIS/02), II semestre

Esempi di piani di studio

Gli esempi di piano di studi forniti qui sotto includono tutti i seguenti caratterizzanti: Astrofisica delle Galassie, Relatività Generale I, Atomi Molecole e Fotoni, Astrofisica Stellare, Cosmologia I, Processi Radiativi; inoltre contengono tutti Abilità Informatiche e Telematiche.

A seconda di come vengono completati, essi assumono un carattere:

Verso l'astrofisica stellare:

- Laboratorio di Astrofisica Spaziale, Laboratorio di Tecnologie Astronomiche,
- Pianeti e Astrobiologia, Astrofisica degli oggetti compatti, Astrofisica nucleare e subnucleare, un insegnamento a scelta tra Cosmologia II e Onde Gravitazionali

Verso l'astrofisica extragalattica:

- Laboratorio di Astrofisica Spaziale, Laboratorio di Tecnologie Astronomiche,
- Cosmologia II, Radioastronomia, Cosmologia Osservativa, Onde Gravitazionali

Verso la cosmologia teorica:

- Laboratorio di Programmazione Avanzata per l'Astrofisica, Laboratorio di Tecnologie Astronomiche,
- Cosmologia II, due insegnamenti a scelta tra: Fisica delle Particelle e Cosmologia, Relatività Generale Avanzata e Fisica Gravitazionale, Teoria dei Campi I, Cosmologia Osservativa
- un insegnamento a scelta tra Onde Gravitazionali o Simmetrie e Interazioni Fondamentali

Verso l'astronomia multi-messaggero:

- Laboratorio di Tecnologie Astronomiche, un laboratorio a scelta tra: Laboratorio di Astrofisica Spaziale, Laboratorio di Programmazione Avanzata per l'Astrofisica
- Astrofisica degli Oggetti Compatti, Astrofisica Nucleare e Subnucleare, Onde gravitazionali, Cosmologia II

Verso l'astrofisica computazionale:

- Laboratorio di Programmazione Avanzata per l'Astrofisica
- due insegnamenti a scelta tra: Cosmologia II, Pianeti e Astrobiologia, Onde Gravitazionali
- un insegnamento a scelta tra: Astrofisica degli Oggetti Compatti, Radioastronomia, Cosmologia Osservativa
- due insegnamenti a scelta tra quelli offerti dall'ateneo, di contenuto computazionale

Verso la fisica spaziale:

- Laboratorio di Astrofisica Spaziale, Laboratorio di Tecnologie Astronomiche,
- Pianeti e Astrobiologia, Meteorologia e Climatologia dello Spazio, un insegnamento a scelta tra Radioastronomia, Astrofisica Nucleare e Subnucleare
- un insegnamento a scelta tra: Cosmologia II, Onde Gravitazionali

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
Computazione Quantistica	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 <i>oppure</i> Reti Logiche (mutuato da LM Ingegneria Elettronica ed Informatica)	FIS/02 ING-INF/01	C	6
Abilità informatiche e telematiche <i>oppure</i> Strumenti Informatici per la Fisica		F	3	Insegnamento Affine 3: Codici Correttori d'Errore (mutuato da LM Ingegneria Elettronica ed Informatica) <i>oppure</i> Stochastic Modeling and Simulation (mutuato da LM Scientific and data-intensive computing)	ING-INF/05 INF/01	C	6
Insegnamento Affine 1: Introduction to Machine Learning (mutuato da LM Ingegneria Elettronica ed Informatica)	ING-INF/05	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

Scienze e Tecnologie Quantistiche – Insegnamenti							
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: Algorithmic Design (mutuato da LM matematica) <i>oppure</i> Quantum Machine Learning (mutuato da LM Scientific and Data-Intensive Computing)	INF/01	D	6				
Tirocinio		F	5				
Tesi		E	10				
Totale crediti del II anno							63

Insegnamenti Affini – Offerta da altri curricula

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

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
- Elettronica avanzata per la fisica sperimentale (FIS/01), 6 CFU, I semestre, II anno

Insegnamenti a Scelta - Offerta da altri Corsi di Laurea (subordinata all'effettiva attivazione)

- High Performance and Cloud Computing (ING-INF/05), 9 CFU, I semestre, I anno
- Algorithmic Design (INF/01), 6 CFU, I semestre, II 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
- Deep Learning (INF/01), 6 CFU, I semestre, II anno
- Codice Correttori d'Errore (ING-INF/05), II semestre, I anno

Piani di studi standard, approvati d'ufficio:

a –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 –Teoria dell'Informazione Quantistica

- 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 Machine Learning

c –Teoria della Computazione Quantistica

- Affine 1: Introduction to Machine Learning
- Affine 2: Reti Logiche
- Affine 3: Algorithmic Design
- A scelta 1: Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi
- A scelta 2: Quantum Machine Learning

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

Approvato nel CdLMI del 30 novembre 2023

ALLEGATO B2 al Regolamento - a.a. 2024/2025

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

Le tipologie di attività didattica sono:

- (A) lezioni d'aula
- (E) esercitazioni d'aula
- (L) esercitazioni di laboratorio.

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

<i>Attività Formativa</i>	Abilità Informatiche e telematiche
<i>SSD</i>	
<i>CFU</i>	3
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	24 h (L)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>L'attività formativa presenterà alcuni strumenti informatici di utilità generale in fisica. Si affronteranno in particolare: l'utilizzo efficiente del terminale e del linguaggio bash per script, elementi di programmazione in Python, principali librerie scientifiche in Python, utilizzo di git per la gestione delle versioni del software.</p> <p>Sono previste sessioni di esercitazioni con i docenti, oltre all'esercizio d'esame che lo studente svolgerà autonomamente. I crediti si considereranno acquisiti (con idoneità, senza voto) previa consegna di un esercizio in forma di repository git.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Algoritmi di Calcolo Quantistico
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Lo scopo dell'insegnamento è di introdurre algoritmi avanzati di computazione quantistica e metodi di trattamento dei rumori nella computazione quantistica.</p> <p>L'insegnamento si compone di quattro parti:</p> <p>Parte 1: Introduzione a sistemi quantistici aperti, con focus su sistemi a due livelli e fenomeni di decoerenza;</p>

	<p>Parte 2: Descrizione di alcuni algoritmi di computazione quantistica, come ad esempio algoritmi di ottimizzazione quantistica;</p> <p>Parte 3: Studio dei rumori e degli effetti di decoerenza in circuiti quantistici;</p> <p>Parte 4: Studio delle tecniche di correzione degli errori quantistici per mitigare gli effetti di decoerenza.</p> <p>Obiettivi formativi:</p> <p>D1 - Conoscenza e capacità di comprensione: conoscenza dei meccanismi alla base dei sistemi quantistici aperti, di algoritmi quantistici e delle tecniche di mitigazione di errori.</p> <p>D2 - Conoscenza e capacità di comprensione applicate: essere in grado di derivare la dinamica aperta di sistemi a due livelli nel limite Markoviano. Applicazione e costruzione base di algoritmi quantistici. Implementazione di tecniche di correzione degli errori quantistici.</p> <p>D3 - Autonomia di giudizio: essere in grado di applicare efficacemente le conoscenze acquisite in maniera critica a diversi problemi scegliendo di volta in volta le soluzioni più adeguate.</p> <p>D4 - Abilità comunicative: capacità di esprimere le conoscenze acquisite con una breve presentazione di un problema dato e della sua possibile risoluzione con le tecniche viste durante il corso</p> <p>D5 - Capacità di apprendere: capacità di esplorare la documentazione e letteratura esistente per trovare l'approccio migliore e più efficiente per risolvere un problema di rumori in un algoritmo quantistico sotto dinamica quantistica aperta</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza di base della computazione quantistica
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Astrofisica degli Oggetti Compatti
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	989DF
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Il corso coprirà le basi della fisica e dell'astrofisica delle sorgenti di onde gravitazionali, e in particolare:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) la propagazione delle onde gravitazionali in spazi piatti e curvi; 2) la generazione di onde gravitazionali da sistemi binari; 3) modi quasinormali dei buchi neri; 4) il tensore di energia-impulso delle onde gravitazionali; 5) teoria delle misure in relatività generale (coordinate di Riemann e di Fermi-Walker); 6) la rilevazione delle onde gravitazionali: risposta del detector, funzioni di pattern, funzioni di trasferimento, analisi dati; 7) l'astrofisica delle sorgenti di onde gravitazionali (buchi neri e stelle di

	<p>neutroni);</p> <p>8) la Laser Interferometer Space Antenna (LISA) le Pulsar Timing Arrays.</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: lo studente/la studentessa acquisirà conoscenze di calcolo tensoriale in Relatività Generale, idrodinamica relativistica, fisica delle onde gravitazionali, modelli astrofisici, analisi dei dati e statistica Bayesiana, ad un livello che dovrebbe permettere di applicare questa conoscenza ad un contesto di ricerca in modo creativo.</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione applicate: lo studente/la studentessa acquisirà confidenza nella fisica delle onde gravitazionali e degli oggetti compatti, e imparerà ad utilizzare questa conoscenza per affrontare problemi quantitativi e complessi su questi argomenti.</p> <p>Autonomia di giudizio: lo studente/la studentessa sarà guidato nell'interpretazione della teoria e dei dati sulle onde gravitazionali ed oggetti compatti, in modo da imparare a risolvere problemi in modo competente e creativo. La stessa natura multidisciplinare di questi argomenti forzerà lo studente a mettere insieme conoscenza da vari campi della fisica per acquisire una visione ampia dell'astrofisica degli oggetti compatti</p> <p>Abilità comunicative: allo studente/studentessa sarà richiesto di descrivere in modo accurato e con linguaggio adeguato, con prove orali, temi inerenti alla fisica degli oggetti compatti e delle onde gravitazionali.</p> <p>Capacità di apprendere: lo studente/la studentessa imparerà a combinare informazioni provenienti dai libri di testo, dalle lezioni e dalle note del docente, ed a sintetizzare la conoscenza proveniente da diversi campi della fisica.</p>
<i>Propedeuticità</i>	Almeno uno tra Relatività Generale I e Onde Gravitazionali
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Astrofisica delle galassie
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	516SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	Lo scopo di questo insegnamento è duplice: fornire un quadro d'insieme, nell'ambito della astronomia moderna, delle galassie e degli ammassi di galassie e una conoscenza approfondita delle problematiche legate allo studio dell'equilibrio e della stabilità dei sistemi astrofisici autogravitanti. Ciò permetterà agli studenti di capire i meccanismi di dinamica interna delle galassie e dei sistemi di galassie. In particolare, al termine dell'insegnamento, lo studente dovrà aver acquisito: D1: conoscenze su galassie e sistemi di galassie e sulla loro dinamica interna tali da poter discutere anche nuove idee

	in un contesto di ricerca; D2: capacita' di applicare tali conoscenze a problemi inerenti; D3: capacita' di interpretare dati osservativi astronomici inerenti, anche grafici complessi e dati multibanda; D4: capacita' di comunicare le proprie conoscenze e/o conclusioni su eventuali interpretazioni, anche con specialisti del campo; D5: capacita' di intraprendere lo studio di insegnamenti piu' avanzati di cosmologia teorica e osservativa, e anche capacita' di ulteriori approfondimenti in modo autonomo, usando anche la letteratura scientifica specifica.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Nessuna conoscenza specifica in astrofisica. Sono richieste conoscenze di argomenti trattati in corsi di fisica di base come acquisiti per esempio nella Laurea Triennale in Fisica. Gli studenti trarranno vantaggio dallo seguire il corso di Astrofisica Stellare.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Astrofisica Nucleare e Subnucleare
<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>	<p>Introduzione dello stato dell'arte nel campo della fisica astroparticellare. Metodologie e Strumenti di analisi.</p> <p>D1 - Conoscenza e capacità di comprensione Lo studente, al termine del corso, dovrà conoscere gli aspetti di base dell'attuale astrofisica multimessenger alle alte energie e saper conosce le principali problematiche dell'astrofisica nucleare.</p> <p>D2 - Capacità di applicare conoscenza e comprensione Lo studente dovrà essere in grado di rielaborare un argomento del corso in maniera autonoma espandendo le nozioni apprese durante il corso.</p> <p>D3 - Autonomia di giudizio Lo studente dovrà saper scegliere la vasta bibliografia sul settore scelte e dovrà saper collegare opportunamente all'argomento scelto le altre tematiche del corso.</p> <p>D4 - Abilità comunicative Lo studente dovrà esporre un argomento da lui scelto in modo da espandere quanto appreso a lezione e cercando di esporne correttamente lo stato dell'arte.</p> <p>D5 - Capacità di apprendimento Lo studente dovrà saper cogliere le linee di sviluppo attuali dell'argomento scelto.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Interazione radiazione materia.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Astrofisica stellare
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>D1 Conoscenza e capacità di comprensione della struttura stellare, delle reazioni basi della nucleosintesi stellare, dell'evoluzione delle stelle e delle popolazioni stellari nelle galassie.</p> <p>D2 Conoscenza e capacità di comprensione di alcuni esercizi base sulla struttura stellare e e risoluzione di alcuni modelli semplici di evoluzione chimica.</p> <p>D3 Autonomia di giudizio nel comprendere quando le approssimazioni introdotte e i modelli usati possono essere usati.</p> <p>D4 Abilità di descrivere i fenomeni descritti nel corso in modo chiaro e preciso, preferibilmente con un appropriato linguaggio scientifico.</p> <p>D5 Lo studio del corso sviluppa anche quelle capacità di apprendimento che consentiranno agli studenti di continuare a studiare per lo più in modo autonomo mediante libri di fisica stellare o mediante articoli scientifici sul medesimo argomento.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Atomi Molecole e Fotoni
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>L'insegnamento intende fornire gli strumenti fondamentali per la comprensione dei fenomeni e delle tecniche sperimentali nel vasto campo della fisica atomica, molecolare e ottica (AMO physics). Una parte consistente del corso è dedicata all'interazione coerente tra radiazione e materia nei regimi semi-classico e quantistico, facendo uso del paradigma di sistema quantistico a due livelli per introdurre applicazioni come la cavity QED e la generazione di stati entangled tra atomi e fotoni. Affrontando la struttura di atomi e molecole con complessità gradualmente crescente, vengono trattati gli aspetti essenziali delle tecniche di spettroscopia atomica, di raffreddamento e intrappolamento laser. La parte finale del corso è dedicata ad applicazioni moderne quali i reticoli ottici, gli orologi atomici e le piattaforme sperimentali per il calcolo e la simulazione quantistica (digitale e analogica), affinché gli studenti acquisiscano le conoscenze</p>

	<p>necessarie a comprendere i recenti sviluppi di ricerca nel campo.</p> <p>D1. Gli studenti dovranno acquisire familiarità con le basi teoriche e fenomenologiche della fisica atomica e molecolare, e delle relative applicazioni pratiche.</p> <p>D2. Gli studenti dovranno essere in grado di applicare i concetti appresi durante il corso ai moderni problemi con atomi, molecole e radiazione in regime semi-classico e quantistico.</p> <p>D3. Gli studenti dovranno essere in grado di identificare e valutare le approssimazioni utilizzate nella descrizione degli effetti quantistici con atomi molecole e fotoni, e le condizioni richieste per la loro verifica sperimentale.</p> <p>D4. Gli studenti dovranno essere in grado di illustrare le basi teoriche e sperimentali della fisica atomica verbalmente e/o con illustrazioni.</p> <p>D5. Al termine del corso, gli studenti dovranno aver sviluppato il know-how necessario per approfondire gli argomenti del corso tramite recenti articoli di ricerca in fisica atomica (calcolo e simulazione quantistica con atomi o ioni intrappolati, orologi atomici, cavity QED).</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza di meccanica quantistica (laurea triennale). Nozioni di base in ottica/fotonica e struttura della materia sono utili.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Biofisica Sperimentale
<i>SSD</i>	FIS/07
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	588SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	Acquisizione delle conoscenze di base delle tecniche di biofisica sperimentale e alcune applicazioni nei campi della biofisica molecolare e della mecano-biologia.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Non è richiesto agli studenti alcun corso propedeutico. La conoscenza di concetti di base di meccanica dei solidi e di meccanica statistica potrebbe essere altresì un vantaggio.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Caratteristiche generali dei Rivelatori
<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>	<p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione.</p> <p>L'obiettivo del corso e' la conoscenza delle leggi fisiche che regolano l'interazione della radiazione carica e neutra con la materia. Successivamente si sviluppano ed applicano tali conoscenze per comprendere le proprieta' generali dei rivelatori ed in particolare dei principali rivelatori di energia e posizione e tempo.</p> <p>D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione.</p> <p>Al termine del corso si deve essere in grado di applicare le conoscenze acquisite per progettare e definire le caratteristiche generali di un apparato sperimentale per la rivelazione di specifiche particelle ed energie.</p> <p>D3. Autonomia di giudizio</p> <p>Durante il corso si lavora a sviluppare senso critico ed autonomia nel valutare le problematiche inerenti la fisica sperimentale, in particolare nucleare e subnucleare.</p> <p>D4. Abilità comunicative.</p> <p>Al termine del corso lo studente deve saper esporre chiaramente i concetti acquisiti.</p> <p>D5. Capacità di apprendimento.</p> <p>Le conoscenze accumulate dovranno permettere allo studente di apprendere con facilità i principi di funzionamento di qualsiasi altro sistema di rivelazione non precedentemente discusso.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Complementi di Teoria dei Campi
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	3
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	24 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Obiettivo principale del corso è lo studio delle implicazioni fenomenologiche della teoria quantistica dei campi nell'ambito dell'elettrodinamica e delle altre interazioni fondamentali. Gli argomenti del corso includono: introduzione alla teoria dei diagrammi di Feynman, sezioni d'urto dei principali processi di diffusione (scattering) in elettrodinamica quantistica, momento magnetico</p>

	<p>anomalo dell'elettrone ($g-2$), polarizzazione del vuoto e suo contributo ai livelli energetici dell'atomo di idrogeno, decadimenti di particelle instabili.</p> <p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione: Lo scopo principale di questo corso è di sviluppare negli studenti la conoscenza, capacità di comprensione ed abilità nell'utilizzo dei diagrammi di Feynman come tecniche di calcolo per la predizione delle principali osservabili in elettrodinamica quantistica relativistica ed in altre interazioni fondamentali.</p> <p>D2. Conoscenza e capacità di comprensione applicate: sviluppare l'abilità nell'uso e applicazioni fenomenologiche dei diagrammi di Feynman a livello albero e ad 1-loop, per il calcolo delle principali osservabili in elettrodinamica quantistica ed in altre interazioni fondamentali. In particolare: sezioni d'urto di scattering, rapporti di decadimento di particelle instabili, momento magnetico anomalo dei leptoni, correzioni quantistiche relativistiche al momento magnetico anomalo dei leptoni ed ai livelli energetici dell'atomo di idrogeno.</p> <p>D3. Autonomia di giudizio: essere in grado di applicare efficacemente le conoscenze acquisite in maniera critica nell'affrontare la soluzione ai vari problemi che si pongono in teoria quantistica dei campi.</p> <p>D4. Abilità comunicative: capacità di spiegare e discutere argomenti trattati nell'ambito della teoria quantistica dei campi e sue applicazioni all'elettrodinamica quantistica.</p> <p>D5. Capacità di apprendere: capacità di impiegare le conoscenze acquisite per la risoluzione di nuovi problemi in teoria quantistica dei campi.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenze di base della teoria dei campi quantistica relativistica, meccanica quantistica, elettromagnetismo.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Computazione Quantistica
<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>	<p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione: Gli studenti dovranno acquisire familiarità con i principi base della computazione quantistica, e delle piattaforme su cui è implementata.</p> <p>D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Gli studenti dovranno essere in grado di applicare i concetti appresi durante il corso alle applicazioni della computazione quantistica (es: risoluzione di problemi con specifici algoritmi quantistici).</p> <p>D3. Autonomia di giudizio: Gli studenti dovranno essere in grado di identificare le soluzioni di quantum computing più adatte per risolvere specifici problemi.</p> <p>D4. Abilità comunicative: Gli studenti dovranno essere in grado di illustrare le basi teoriche e i principali algoritmi di quantum computing.</p>

	D5. Capacità di apprendimento: Al termine del corso, gli studenti dovranno aver sviluppato il know-how necessario per saper scrivere un programma di quantum computing (in gate logiche).
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza di base della meccanica quantistica.
<i>Articolazione in moduli</i>	Sì

<i>Attività Formativa</i>	Cosmologia I
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	966SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Lo scopo di questo insegnamento è di introdurre lo studente allo studio dell'universo come un sistema fisico. Partendo dalla relatività generale, le equazioni di Einstein verranno risolte in condizioni di simmetria sferica, ottenendo così le soluzioni di Schwarzschild, che descrivono i buchi neri, e quelle di Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker, che descrivono l'evoluzione dell'universo. Verranno illustrate le principali soluzioni delle equazioni di Friedmann, la definizione delle distanze, il ruolo della costante cosmologica, il problema degli orizzonti. Infine si tratterà la storia termica dell'universo, a partire dall'era di Planck, passando dall'inflazione cosmica per arrivare poi alla nucleosintesi del Big Bang e alla ricombinazione.</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: lo studente/la studentessa acquisirà conoscenze di calcolo tensoriale in Relatività Generale, modelli cosmologici, orizzonti cosmologici, fisica e termodinamica del primo Universo, ad un livello che dovrebbe permettere di applicare questa conoscenza ad un contesto di ricerca in modo creativo.</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione applicate: lo studente/la studentessa acquisirà confidenza nella fisica del primo e del tardo Universo, e imparerà ad utilizzare questa conoscenza per affrontare problemi quantitativi e complessi su questi argomenti.</p> <p>Autonomia di giudizio: lo studente sarà guidato nell'interpretazione della teoria e dell'evidenza cosmologica, in modo da imparare a risolvere problemi in modo competente e creativo. La stessa natura della cosmologia forzerà lo studente a mettere insieme conoscenza da vari campi della fisica per acquisire una visione ampia della storia dell'Universo.</p> <p>Abilità comunicative: allo studente/studentessa sarà richiesto di descrivere in modo accurato e con linguaggio adeguato, con prove sia scritte che orali, le teorie e le soluzioni dei problemi di cosmologia.</p> <p>Capacità di apprendere: lo studente/la studentessa imparerà a combinare informazioni provenienti dai libri di testo, dalle lezioni e dalle note del docente, ed a sintetizzare la conoscenza proveniente da diversi campi della fisica.</p>
<i>Propedeuticità</i>	Almeno uno tra Relatività Generale I e Onde Gravitazionali

<i>Prerequisiti</i>	Buona conoscenza di relatività speciale, relatività generale, termodinamica, statistiche quantistiche.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Cosmologia II
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	814SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 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 previsioni teoriche di tali modelli ed i dati osservativi correnti e, di conseguenza, alla derivazione dei vincoli sui modelli cosmologici: geometria dell'Universo, natura di materia ed energia oscure, fisica dell'universo primordiale. Tale apprendimento sarà anche finalizzato alla comprensione dei progressi in ambito cosmologico che saranno resi possibili dalla presente e dalla prossima generazione di telescopi sia collocati a terra che nello spazio.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Sono richieste conoscenze di argomenti trattati in corsi precedenti di Fisica (termodinamica, meccanica statistica, relatività, meccanica quantistica) e di Astrofisica (cosmologia I, sistemi autogravitanti, processi radiativi, astrofisica osservativa).
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Cosmologia Osservativa
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	988DF
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	Lo scopo di questo corso è fornire una conoscenza di base della cosmologia osservativa moderna. La prima parte verterà sulle proprietà osservative, a diverse lunghezze d'onda, delle diverse sonde cosmologiche per lo studio della

	<p>formazioni di strutture e la misura dei parametri cosmologici. In particolare verranno trattate in dettaglio le caratteristiche osservative dei nuclei galattici attivi, delle galassie, degli ammassi di galassie, del mezzo intergalattico e del fondo cosmico delle microonde. Nella seconda parte del corso verranno discussi i risultati e le problematiche legati alle più recenti campagne osservative cosmologiche, con particolare riferimento a quelle che vedono un forte coinvolgimento dell'area scientifica triestina come la Dark Energy Survey, la Legacy Survey of Space and Time, Euclid, la Planck survey, le survey provenienti dal South Pole Telescope, ed il Square Kilometer Array. Nell'ultima parte del corso verranno infine introdotti, tramite esempi pratici ed esercitazioni al computer, i principali algoritmi e le metodologie di statistica inferenziale utilizzati per vincolare i parametri cosmologici da dati osservativi.</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: Gli studenti acquisiranno conoscenze osservative relative ai sistemi astrofisici, come i nuclei galattici attivi, le galassie, gli ammassi di galassie e il mezzo intergalattico. Inoltre, studieranno i test cosmologici che sfruttano queste fonti astrofisiche, affrontando anche le problematiche osservative associate.</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione applicate: Gli studenti si familiarizzeranno con l'emissione multibanda (Spectral Energy Distribution, SED) dei sistemi astrofisici e impareranno a interpretare le SED per estrarre informazioni sulle principali proprietà fisiche degli oggetti. Inoltre, acquisiranno competenze nella manipolazione di cataloghi multifrequenza al fine di ottenere informazioni cosmologiche.</p> <p>Autonomia di giudizio: Gli studenti saranno guidati nell'interpretazione della complessità dei dati astrofisici, sviluppando la capacità di applicare in modo originale e creativo le conoscenze acquisite per risolvere problemi.</p> <p>Abilità comunicative: Gli studenti saranno chiamati a descrivere con precisione e utilizzando un linguaggio appropriato le problematiche legate all'utilizzo cosmologico dei cataloghi astrofisici.</p> <p>Capacità di apprendere: Gli studenti dovranno imparare a combinare le informazioni provenienti dal libro di testo, dai materiali online, dalle lezioni e dalle dispense dei docenti al fine di ottenere una comprensione completa e approfondita del tema.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Si considera come prerequisito una solida base di astrofisica.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Dinamica del clima
<i>SSD</i>	FIS/06
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	

<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Titolo esteso: Climate dynamics: natural variability and climate change</p> <p>Il corso ha l'obiettivo di introdurre gli studenti alle nozioni fondamentali sul funzionamento del clima come sistema dinamico e complesso, sviluppando le teorie e discutendo i principali meccanismi fisici che descrivono la dinamica oceanica e atmosferica. Inoltre si descriveranno i processi che determinano la variabilità climatica alle diverse scale e distinguendo tra variabilità interna e cambiamenti forzati da fattori antropogenici.</p> <p>Si intende inoltre fornire agli studenti una panoramica degli strumenti modellistici oggi in uso per comprendere e descrivere il clima e la sua complessità, e come si formulano proiezioni climatiche future.</p> <p>Al termine dell'insegnamento, lo studente dovrà aver acquisito:</p> <p>D1 Conoscenza e capacità di comprensione: conoscenze sulla fisica dell'oceano, atmosfera e la dinamica del clima sia interna che forzata;</p> <p>D2 Capacità di applicare conoscenza e comprensione: capacità di applicare tali conoscenze allo studio della variabilità naturale del clima e ai cambiamenti climatici di origine antropogenica;</p> <p>D3 Autonomia di giudizio: capacità di interpretare dati osservativi e modellistici; comprendere quando le approssimazioni introdotte e le teorie o modelli sviluppati siano giustificati;</p> <p>D4 Abilità comunicative: capacità di comunicare le proprie conoscenze, abilità nel descrivere e giustificare i fenomeni e le teorie descritte nel corso;</p> <p>D5 Capacità di apprendimento: capacità di intraprendere lo studio di insegnamenti più avanzati di dinamica del clima e le interazioni fra i vari componenti del sistema terra, capacità di approfondire in modo autonomo le tematiche del corso usando anche la letteratura scientifica specifica.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Sono richieste conoscenze di di Fisica dell'Atmosfera, Fluidodinamica Geofisica, calcolo differenziale ed integrale, rudimenti di equazioni differenziali ordinarie e alle derivate parziali.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Dinamica delle interazioni elettrodeboli e forti
<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 le conoscenze di base e strumenti matematici utili per affrontare problemi di ricerca alla frontiera del settore della fisica teorica delle particelle elementari. In particolare, offrire agli studenti una conoscenza avanzata della teoria del modello standard per le interazioni elettrodeboli e forti, inclusi i suoi aspetti quantistici e principali implicazioni fenomenologiche.

	<p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione: conoscenza avanzata degli aspetti quantistici e fenomenologia del modello standard delle interazioni fondamentali; capacità di comprendere lavori scientifici avanzati sull'argomento.</p> <p>D2. Conoscenza e capacità di comprensione applicate: conoscenza avanzata dell'uso dei diagrammi di Feynman a livello albero e ad 1-loop, per il calcolo delle principali osservabili (sezioni d'urto, rapporti di decadimento, momento magnetico anomalo dei leptoni, parametri delle violazioni della simmetria di CP, etc.) nell'ambito del modello standard.</p> <p>D3. Autonomia di giudizio: capacità di comprendere in maniera critica un lavoro scientifico nel settore della fisica delle alte energie.</p> <p>D4. Abilità comunicative: capacità di spiegare e discutere argomenti di rilievo nell'ambito della fenomenologia del modello standard.</p> <p>D5. Capacità di apprendere: capacità di impiegare le conoscenze acquisite per la risoluzione di nuovi problemi e per la comprensione di nuovi fenomeni fisici nel settore della fisica delle alte energie.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenze di base di: teorie di campo quantistiche relativistiche, teoria delle perturbazioni, teoria della matrice di diffusione S, diagrammi di Feynman, teoria dei gruppi e loro applicazioni in fisica delle particelle, e delle teorie di gauge.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Dinamiche stocastiche
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Il corso è finalizzato allo studio dei sistemi stocastici e delle equazioni che ne descrivono la dinamica e la termodinamica.</p> <p>La parte iniziale del corso sarà dedicata a richiami di teoria della probabilità. Gli studenti apprenderanno successivamente a derivare le equazioni stocastiche per sistemi classici in contatto con un ambiente esterno con proprietà fissate e ad utilizzare tali equazioni per studiare le proprietà dinamiche e termodinamiche dei sistemi microscopici e stocastici.</p> <p>Nel corso verranno considerati sia i processi stocastici markoviani che quelli non markoviani.</p> <p>Si considererà poi il problema della prima uscita per processi diffusivi. Verrà inoltre discusso il ruolo del rumore nell'evoluzione di un sistema fisico non lineare.</p> <p>Infine si prenderanno in esame alcuni esempi in cui il formalismo sopra descritto viene applicato allo studio teorico e numerico di specifici modelli di sistemi complessi, quali motori microscopici, modelli di mercati finanziari e modelli climatici</p>
<i>Propedeuticità</i>	-
<i>Prerequisiti</i>	Sono richieste conoscenze di argomenti trattati in corsi precedenti di Fisica in particolare termodinamica e fisica statistica.

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

<i>Attività Formativa</i>	Elettronica Avanzata per la Fisica Sperimentale
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	Il corso di Elettronica Avanzata per la Fisica Sperimentale è attivato come corso affine (TAF C) al secondo anno, primo semestre, della Laurea Magistrale e inserito nel Curriculum Fisica Nucleare e Subnucleare. Il corso sarà quindi reso disponibile a partire dall'anno accademico 2025-2026.
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione. Conoscere i fondamenti dell'elettronica analogica e digitale ad alto livello di integrazione, e i metodi moderni per il disegno e l'analisi di circuiti integrati.</p> <p>D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione. Applicare la conoscenza dell'elettronica moderna alla comprensione del ruolo, della progettazione e delle caratteristiche dei circuiti elettronici per la fisica nucleare e subnucleare e la fisica applicata.</p> <p>D3. Autonomia di giudizio. Saper scegliere e progettare soluzioni circuitali in grado di soddisfare le specifiche di sistema. Dato un circuito elettronico, saperlo analizzare per capirne la funzionalità e il ruolo.</p> <p>D4. Abilità comunicative. Saper presentare le caratteristiche e il funzionamento di un circuito elettronico, e discuterne le prestazioni e i limiti in applicazioni specifiche per la fisica sperimentale.</p> <p>D5. Capacità di apprendimento. Essere in grado di utilizzare le nozioni apprese nel corso per la progettazione e l'analisi di circuiti elettronici diversi in tipologia e applicazione da quelli discussi nel corso.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Concetti base di elettromagnetismo
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Fisica dei Sistemi Disordinati
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h
<i>Obiettivi specifici</i>	L'obiettivo del corso è di presentare la fenomenologia e la descrizione teorica dei sistemi disordinati in regime classico, con particolare attenzione alle proprietà

	<p>fisiche di liquidi, liquidi sottoraffreddati e vetri. . L'insegnamento fornirà i concetti e gli strumenti analitici necessari alla modellizzazione di questi sistemi e introdurrà alcuni dei problemi aperti della fisica dei sistemi vetrosi. Alcuni aspetti del corso verranno approfonditi con metodi computazionali.</p> <p>D1 - Conoscenza e capacità di comprensione Conoscere la fenomenologia di liquidi, liquidi sottoraffreddati e vetri, e i principali concetti e modelli teorici necessari alla loro modellizzazione.</p> <p>D2 - Capacità di applicare conoscenza e comprensione Identificare i modelli teorici adatti alla descrizione di un sistema fisico disordinato, riprodurre le predizioni analitiche di modelli teorici semplici confrontandole criticamente con la fenomenologia del sistema d'interesse, descrivere e analizzare le predizioni di teorie complesse.</p> <p>D3 - Autonomia di giudizio Identificare i limiti e le approssimazioni dei modelli teorici descritti nel corso.</p> <p>D4 - Abilità comunicative Descrivere le tematiche affrontate nel corso con proprietà di linguaggio.</p> <p>D5 - Capacità di apprendimento Approfondire in modo autonomo gli argomenti trattati nel corso tramite la consultazione di articoli di ricerca e/o l'esecuzione di notebooks computazionali, anche con riferimento a problemi aperti riguardanti la fisica dei sistemi vetrosi.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Termodinamica, fisica statistica
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Fisica dell'Atmosfera
<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>	Conoscenza delle proprietà fondamentali, della dinamica e della termodinamica dell'atmosfera. Formulazione e realizzazione di alcuni semplici modelli analitici di sistemi dinamici atmosferici.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Meccanica e termodinamica classica, elettromagnetismo, interazione radiazione-materia, calcolo differenziale ed integrale, rudimenti di equazioni differenziali ordinarie e alle derivate parziali.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Fisica della Materia Condensata I
<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>	<p>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 risolubili 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. Vibrazioni reticolari. Semiconduttori. Magnetismo.</p> <p>Obiettivi formativi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPRESIONE: fornire allo studente gli elementi concettuali fondamentali per comprendere le proprietà della materia, in particolare il comportamento degli elettroni nei cristalli. - CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRESIONE: fornire allo studente gli strumenti di base per trattare problemi relativi al comportamento degli elettroni nei cristalli, principalmente utilizzando la meccanica quantistica ma anche eventualmente modelli classici (dove applicabili), e per interpretare correttamente grafici e tabelle. - AUTONOMIA DI GIUDIZIO: rendere lo studente in grado di applicare concetti e strumenti appresi in modo critico, individuando anche eventuali soluzioni non affidabili (ad esempio, nello svolgimento di un problema, sapere riconoscere se una quantità fisica calcolata ha un'ordine di grandezza ragionevole o meno); al raggiungimento di questo obiettivo contribuisce principalmente il training nella soluzione di problemi, e la prova scritta ne costituisce una chiara verifica. - ABILITÀ COMUNICATIVE: rendere lo studente in grado di spiegare le conoscenze apprese e di trasmetterle ad altri, e di saper inquadrare un problema specifico in un contesto più ampio; al raggiungimento di questo obiettivo contribuiscono significativamente i momenti di interazione con il docente e di discussione con i compagni di corso, e una verifica finale si svolge durante la prova orale. - CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: rendere lo studente capace di apprendere in modo critico concetti e strumenti risolutivi, puntando non sulla memorizzazione ma sulla capacità di sviluppo di un ragionamento (coerentemente con questo obiettivo, sia durante le esercitazioni che durante la prova scritta finale lo studente ha a disposizione tutti i testi e le note che desidera, e che può liberamente consultare se necessita di un aiuto per recuperare una formula o una costante). Per facilitare questa capacità, lo studente è stimolato ad interagire durante le lezioni frontali e soprattutto durante le esercitazioni. <p>Tali obiettivi specifici sono coerenti con quelli generali del Corso di studi di formare laureati con solida preparazione scientifica di base (a cui questo specifico insegnamento contribuisce per quanto riguarda l'area di apprendimento "microfisica"), capacità di "problem solving" e capacità operative specifiche in campi di frontiera delle Scienze Fisiche.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Concetti base in Teoria Quantistica e Meccanica Statistica

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

<i>Attività Formativa</i>	Fisica della Materia Condensata II
<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>	<p>L'insegnamento intende fornire i concetti alla base di importanti fenomeni di Fisica della Materia Condensata, dovuti all'interazione coulombiana tra gli elettroni e con campi elettromagnetici esterni. In particolare, la teoria della risposta lineare e la descrizione dei campi elettromagnetici nella materia vengono descritti in dettaglio. Viene data una introduzione alla teoria dei liquidi fermionici (incluso la teoria di Landau per i liquidi di Fermi), al magnetismo e alla superconduttività.</p> <p>D1 - Conoscenza e capacità di comprensione Nel corso viene fornita un'introduzione teorica a strumenti e fenomeni della moderna fisica della materia condensata. Vengono inoltre forniti esempi di applicazione dei metodi teorici di fisica della materia condensata a problemi reali di ricerca.</p> <p>D2 – Capacità di applicare conoscenza e comprensione Le lezioni di introduzione teorica saranno corredate da esercizi che trattano argomenti di interesse attuale per la ricerca in fisica della materia condensata.</p> <p>D3 - Autonomia di giudizio Durante il corso gli studenti svilupperanno doti di ragionamento quantitativo ed abilità di “problem-solving” relative al campo della fisica della materia condensata, con l'obiettivo di essere in grado di comprendere e modellizzare fenomeni di interesse fondamentale e applicativo.</p> <p>D4 – Abilità comunicative Avere le abilità per poter descrivere concetti avanzati di fisica della materia condensata, anche in connessione alla possibilità di presentare gli argomenti in forma di seminario.</p> <p>D5 - Capacità di apprendimento Avere la capacità di consultare autonomamente testi e articoli scientifici al fine di approfondire in modo autonomo alcuni argomenti introdotti durante il corso.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Meccanica quantistica e statistica. I concetti trattati nel corso di Fisica della Materia Condensata I.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Fisica delle Particelle e Cosmologia
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6

<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'obiettivo di questo corso è di introdurre gli studenti allo studio dei primi istanti di vita dell'Universo, e alla profonda relazione con la fisica delle particelle. Verranno trattati temi di ricerca attuale, in cui la fisica oltre il modello standard governa l'evoluzione cosmologica. Gli argomenti del corso includono un'introduzione all'universo primordiale, l'inflazione, la materia oscura, le transizioni di fase nell'universo primordiale, la bariogenesi, e le onde gravitazionali di origine cosmologica.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Verranno usate (e se necessario brevemente integrate) alcune conoscenze di base di termodinamica, teoria dei campi, fisica delle particelle, e relatività generale.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Fisica Nucleare
<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. Acquisire conoscenze relative alle applicazioni energetiche e mediche della fisica nucleare.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Le conoscenze acquisite nella laurea triennale in Fisica
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Fisica sperimentale delle particelle
<i>SSD</i>	FIS/04
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Acquisire le conoscenze fondamentali sulle basi fenomenologiche del Modello Standard delle Particelle Elementari e sui principi di rivelazione delle particelle. Acquisire una conoscenza approfondita delle moderne tecniche di rivelazione ed analisi dei dati e del quadro fenomenologico attuale nei diversi settori della Fisica delle Particelle Elementari. Verrà presentato un excursus storico delle osservazioni sperimentali che hanno confermato le idee alla base della Cromodinamica Quantistica (QCD), e verranno

	trattate le caratteristiche delle interazioni QCD sia da un punto di vista sperimentale, studiando in dettaglio gli esperimenti, che fenomenologico (attraverso l'analisi dei processi di produzione e decadimento e con i diagrammi di Feynman). Verrà inoltre data una panoramica di tutti i più recenti e rilevanti risultati di fisica agli acceleratori, e si presenteranno i progetti futuri in questo campo di ricerca. Il corso è pensato per tutti quegli studenti che intendano intraprendere un percorso di fisica delle particelle nel loro curriculum.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Fondamenti di: Quantomeccanica; Fisica Nucleare; Special Relativity; Interazione Radiazione-Materia
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Fluidodinamica Geofisica
<i>SSD</i>	FIS/06
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	979SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>L'obiettivo formativo del corso consiste nel fornire agli studenti una conoscenza dei principi fondamentali della meccanica dei fluidi e un'introduzione ai modelli analitici della fluido-dinamica geofisica, con applicazioni in oceano e atmosfera.</p> <p>D1 - Conoscenza e capacità di comprensione Gli studenti, al termine del corso, dovranno conoscere i principi di base della dinamica dei fluidi e i modelli teorici principali della fluido-dinamica geofisica.</p> <p>D2 - Capacità di applicare conoscenza e comprensione Gli studenti dovranno essere in grado di descrivere le basi teoriche della dinamica dei fluidi e di dimostrare matematicamente i modelli fondamentali che rappresentano i processi principali della fluido-dinamica geofisica.</p> <p>D3 - Autonomia di giudizio Gli studenti dovranno essere in grado di riconoscere il modello teorico del problema che più si avvicina al caso reale.</p> <p>D4 - Abilità comunicative Alla fine del corso gli studenti dovranno essere in grado di descrivere i problemi affrontati con proprietà di linguaggio.</p> <p>D5 - Capacità di apprendimento Gli studenti dovranno essere in grado di affrontare i problemi più complessi che verranno presentati nei successivi insegnamenti.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza della fisica matematica necessaria allo studio della meccanica del continuo, inclusa l'analisi tensoriale.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Fondamenti di Fisica delle Superfici
<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 intende abilitare gli studenti alla comprensione dei principali fenomeni fisico-chimici che avvengono alla superficie dei solidi e delle proprietà che da essi derivano; intende altresì consentire l'apprendimento dei principi di funzionamento e delle applicazioni delle principali tecniche di indagine per lo studio e la comprensione dei fenomeni di superficie.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Adeguate conoscenze di fisica classica, meccanica quantistica e meccanica statistica. Concetti di base della fisica della materia condensata.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Fondamenti di Fisica Medica
<i>SSD</i>	FIS/07
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	350SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>CONOSCENZA E COMPrensIONE</p> <p>Al termine del corso, gli studenti dovranno dimostrare conoscenze e capacità di comprensione dei concetti chiave e dei principi fondamentali della dosimetria, della radioterapia oncologica, della medicina nucleare e della radiologia. Dovranno inoltre essere in grado applicare i concetti di base imparati nei corsi della laurea triennale ai metodi e alla tecniche della fisica medica.</p> <p>CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE</p> <p>Al termine del corso, lo studente dovrà essere in grado di:</p> <ul style="list-style-type: none"> - discutere punti di forza e di debolezza delle tecniche di imaging medico discusse ed di indicare i parametri da bilanciare nei processi di ottimizzazione. - discutere le caratteristiche dei diversi fasci di radiazione utilizzati in radioterapia oncologica e indicare i criteri con cui vanno scelti in base al problema clinico. <p>AUTONOMIA DI GIUDIZIO</p> <p>Al termine del corso, lo studente dovrà dimostrare di non avere solo acquisito delle conoscenze e dei concetti, ma di essere in grado di applicarli nell'analisi di esempi concreti.</p> <p>ABILITÀ COMUNICATIVE</p> <p>L'esame orale ha lo scopo di verificare la capacità dello studente di utilizzare, in modo efficace, appropriato e con linguaggio specifico, i concetti appresi durante il corso, anche per argomentare risposte a problemi nuovi proposti durante l'esame stesso.</p>

	CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO Al termine del corso lo studente sarà in grado di leggere articoli scientifici di fisica medica in modo autonomo.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Concetti di base della Fisica Nucleare
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Formazione ed analisi delle immagini in Fisica
<i>SSD</i>	FIS/07
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Alla fine del corso gli studenti saranno in grado di spiegare i processi di formazione dell'immagine per un ampio spettro di metodi, includendo la microscopia con luce visibile, con raggi X e con elettroni, imaging medico, e vari metodi che usano una sonda in modalità scanning. Gli studenti saranno capaci di descrivere i meccanismi fisici fondamentali coinvolti in questi metodi. Questo corso coprirà anche i concetti più comuni di elaborazione dell'immagine e di volumi 3D ottenuti con metodi tomografici. I concetti saranno consolidati con esercizi pratici su vari dati grezzi acquisiti con queste tecniche.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza generale di ottica, fisica atomica e quantistica
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Fotonica
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	518SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h
<i>Obiettivi specifici</i>	Il corso fornisce le nozioni fondamentali della Fotonica, disciplina che descrive la generazione, la propagazione e la manipolazione dei fotoni che compongono fasci di luce. Verrà trattata l'ottica geometrica ed introdotto il fascio Gaussiano, la descrizione più vicina ad un fascio di luce reale. Ne verranno descritte le proprietà fondamentali e la sua interazione con elementi ottici quali specchi e lenti. Si discuteranno le condizioni di stabilità per la propagazione di un fascio in un sistema ottico, per ottenere una cavità ottica risonante. Questa costituisce il prerequisito per la costruzione di un laser. Verranno descritte le condizioni per ottenere inversione di popolazione in mezzi laser, e lo studio dei criteri di soglia per ottenere amplificazione di radiazione. Verranno descritti i principali

	<p>tipi di laser.</p> <p>Verranno quindi trattate le proprietà ottiche dei materiali anisotropi, e spiegato come questi si prestino per modulare e polarizzare la luce. Ampio spazio sarà dedicato agli effetti non-lineari dell'interazione radiazione-materia. Dopo aver introdotto le suscettività non-lineari e le simmetrie dei mezzi che le supportano, verranno trattate la generazione di seconda armonica e di frequenza somma, la rettificazione ottica, la generazione di terza armonica, il self-focusing e la generazione di supercontinuo, l'amplificazione parametrica. Tutti questi processi permettono di variare il colore della luce prodotta da sorgenti laser monocromatiche o quasi-monocromatiche.</p> <p>Di volta in volta, verranno discussi gli effetti che si ottengono con impulsi di luce ultrabrevi, e come questi si propagano nella materia.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Elettrodinamica e Ottica;
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Interazione Radiazione-Materia e Luce di Sincrotrone
<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>	<p>1) Conoscenza e capacità di comprensione (knowledge and understanding): Conoscenza dei meccanismi di interazione dei raggi X e dei raggi ultravioletti con la materia;</p> <p>2) Conoscenza e capacità di comprensione applicate (applying knowledge and understanding): 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 indagine sperimentale con luce di sincrotrone (microscopie, spettroscopie, tecniche di immagine e litografiche)</p> <p>3) Autonomia di giudizio (making judgements): capacità di comprendere ed interpretare un lavoro scientifico basato sull'applicazione della luce di sincrotrone</p> <p>4) Abilità comunicative (communication skills): saper spiegare e discutere un fenomeno legato all'interazione della radiazione di sincrotrone con la materia</p> <p>5) Capacità di apprendere (learning skills): capacità di impiegare le conoscenze acquisite per la comprensione di nuovi fenomeni fisici legati all'interazione radiazione di sincrotrone - materia</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Padronanza dell'elettromagnetismo e dell'elettrodinamica, conoscenza delle basi della teoria della relatività ristretta, conoscenza della fisica dello stato solido.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Introduzione ai Sistemi Quantistici a Molti Corpi
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	458SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>L'insegnamento intende fornire i paradigmi dei sistemi quantistici a molti corpi per applicazioni a problemi della materia condensata. Vengono introdotti sia i concetti teorici fondamentali che emergono dalla forte interazione tra le particelle che i principali metodi, sia analitici che numerici, per la loro trattazione. Partendo dalla definizione di stati ed operatori in seconda quantizzazione, particolare enfasi viene data a modelli su reticolo, discutendo le loro proprietà fisiche e la loro rilevanza per la fisica dello stato solido.</p> <p>D1 - Conoscenza e capacità di comprensione Nel corso viene fornita un'introduzione teorica a strumenti e fenomeni della moderna fisica della materia condensata. Vengono inoltre forniti esempi di applicazione dei metodi teorici di fisica della materia condensata a problemi reali di ricerca.</p> <p>D2 – Capacità di applicare conoscenza e comprensione Le lezioni di introduzione teorica saranno corredate da esercizi che trattano argomenti di interesse attuale per la ricerca in fisica della materia condensata.</p> <p>D3 - Autonomia di giudizio Durante il corso gli studenti svilupperanno doti di ragionamento quantitativo ed abilità di “problem-solving” relative al campo della fisica della materia condensata, con l’obiettivo di essere in grado di comprendere e modellizzare fenomeni di interesse fondamentale e applicativo.</p> <p>D4 – Abilità comunicative Avere le abilità per poter descrivere concetti avanzati di fisica della materia condensata, anche in connessione alla possibilità di presentare gli argomenti in forma di seminario.</p> <p>D5 - Capacità di apprendimento Avere la capacità di consultare autonomamente testi e articoli scientifici al fine di approfondire in modo autonomo alcuni argomenti introdotti durante il corso.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Meccanica quantistica e statistica di base. Il concetto di bande elettroniche nei solidi.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Introduzione all'Informazione Quantistica
<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 dei sistemi

	<p>quantistici, e il conseguente cambio di paradigma dai bits ai qubits, nella manipolazione e trasmissione d'informazione. La prima parte del corso si concentra sulla generalizzazione quantistica dei teoremi di Shannon dell'informazione classica riguardanti la compressione dell'informazione e la capacità dei canali con rumore di trasmetterla. In particolare il corso tratta della entropia e delle sue proprietà come strumento tecnico fondamentale e concetto unificante, con anche un accenno al concetto di complessità algoritmica. La seconda parte del corso è invece introduttiva al machine learning classico e alle problematiche inerenti alla sua quantizzazione.</p> <p>D1. Conoscenza degli strumenti fisici e matematici alla base della codifica, trasmissione e manipolazione di informazione usando sistemi quantistici;</p> <p>D2. Conoscenza dei vantaggi e degli svantaggi rispetto all'uso di codificatori classici d'informazione che provengono dall'uso dei q(quantum)ubits;</p> <p>D3. Capacità di comprendere ed interpretare un lavoro scientifico relativo alla teoria quantistica dell'informazione;</p> <p>D4. Saper presentare, spiegare e discutere i vantaggi legati alle sovrapposizioni lineari dei sistemi quantistici e alle problematiche derivanti dalla presenza di fenomeni di decoerenza;</p> <p>D5. Capacità di impiegare le conoscenze acquisite per la definizione di nuovi protocolli per la codifica quantistica dell'informazione e per la sua manipolazione e protezione dalla decoerenza.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Nozioni di base di Meccanica Quantistica.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Lo studente acquisirà conoscenze di base di Relatività Generale (geometria non euclidea, tensori, principi ed eq. di Einstein, onde gravitazionali e lensing gravitazionale, buchi neri), dei diversi modelli cosmologici (metrica di Robertson-Walker, legge di Hubble ed orizzonti, equazioni di Friedman, test cosmologici e cosmologia di precisione)).</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: lo studente/la studentessa acquisirà conoscenze di calcolo tensoriale, Relatività Generale, modelli cosmologici, orizzonti cosmologici ad un livello che dovrebbe permettere di applicare questa conoscenza ad un contesto di ricerca in modo creativo.</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione applicate: lo studente/la studentessa acquisirà confidenza nel calcolo tensoriale e nella fisica dell'Universo, e imparerà ad utilizzare questa conoscenza per affrontare problemi quantitativi e complessi su questi argomenti.</p> <p>Autonomia di giudizio: lo studente sarà guidato nell'interpretazione della teoria e dell'evidenza cosmologica e della fisica dell'Universo, in modo da imparare a risolvere problemi in modo competente e creativo.</p>

	<p>Abilità comunicative: allo studente/studentessa sarà richiesto di descrivere in modo accurato e con linguaggio adeguato, con prove sia scritte che orali, le teorie e le soluzioni dei problemi che riguardano Relatività Generale, cosmologia e fisica dei sistemi autogravitanti.</p> <p>Capacità di apprendere: lo studente/la studentessa imparerà a combinare informazioni provenienti dai libri di testo, dalle lezioni e dalle note del docente, ed a sintetizzare la conoscenza proveniente da diversi campi della fisica.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Buona conoscenza della Relatività Speciale
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Laboratorio Acquisizione e controllo Dati
<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>	<p>Nel corso, dopo una breve introduzione sulla logica booleana, sui segnali logici e sull'uso dell'oscilloscopio, ci si concentra sull'uso di elettronica modulare NIM e VME per il trattamento di segnali analogici e logici (ad esempio discriminatori, contatori, coincidenze, ritardi, ecc), l'acquisizione ed il controllo dei dati, sui software Labview per l'acquisizione e Root per l'analisi dati. Per mettere in pratica le conoscenze così acquisite, gli studenti costruiscono un setup sperimentale per misurare i tempi di volo e di carica depositata con TDC ed ADC. Con questo setup sperimentale si acquisiscono campioni di dati con tempi di acquisizione significativi per le misure e per le calibrazioni degli strumenti usati. In una fase successiva gli studenti analizzano i dati acquisiti e infine preparano una relazione scritta da discutere all'esame. Questa esperienza pratica di laboratorio è svolta in autonomia da piccoli gruppi di 2-3 studenti con l'assistenza dei docenti, a disposizione, ma su richiesta, in tutti i passaggi.</p> <p>D1 - Conoscenza e capacità di comprensione. Lo studente, al termine del corso, dovrà conoscere i principi base della logica nell'elettronica digitale, uso di oscilloscopio come strumento per la diagnostica base nei setup di laboratorio, essere in grado di progettare un circuito con trigger un certo grado di complessità, per acquisire i dati di segnali fisici. Essere in grado di analizzare i dati acquisiti.</p> <p>D2 - Capacità di applicare conoscenza e comprensione. Lo studente dovrà essere in grado di implementare quanto sopra con elettronica modulare NIM e VME, software Labview per l'acquisizione e Root per l'analisi dati. L'uso dell'oscilloscopio e il debugging approfondito dei codici software saranno continuamente richiesti per comprendere tutti i passaggi critici.</p> <p>D3 - Autonomia di giudizio. Lo studente dovrà sviluppare la capacità di impostare e risolvere in autonomia e</p>

	<p>con discussioni all'interno del suo gruppo di lavoro, sia le sessioni di laboratorio della prima parte del corso, sia il progetto finale.</p> <p>D4 - Abilità comunicative.</p> <p>Lo studente alla fine del corso dovrà essere in grado di saper esporre in modo proprio, chiaro e rigoroso, sia in forma scritta che in forma orale, i contenuti principali del corso, descrivere la costruzione del setup sperimentale, lo scopo delle misure di laboratorio, l'analisi dati delle misure.</p> <p>D5 - Capacità di apprendimento.</p> <p>Lo studente dovrà essere in grado di saper raccogliere in modo autonomo, critico e sintetico le informazioni del materiale illustrato a lezione e raccolto nel sito moodle del corso, compresi libri di testo consigliati, articoli, manuali dei moduli elettronici usati, manuali dei software usati.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenze di base della fisica nucleare e subnucleare. Conoscenze di tecniche di rivelazione e di linguaggio di programmazione di base.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Laboratorio di Astrofisica Spaziale
<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>	<p>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.</p> <p>Questo insegnamento intende essere di stimolo nei riguardi dei seguenti aspetti.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conoscenza e comprensione di una missione spaziale, dei sistemi che la compongono e delle problematiche legate al suo sviluppo. • Capacità di applicare algoritmi numerici per la soluzione di problemi fisici, software per la progettazione di missioni, e tecniche di analisi dei sistemi spaziali. • Autonomia di giudizio nella valutazione di diverse soluzioni all'interno della complessa progettazione di una missione spaziale. • Abilità comunicative nell'organizzazione di una presentazione/proposta di una missione spaziale. • Capacità di collaborazione in gruppo e di rielaborazione di quanto appreso in condizioni nuove.
<i>Propedeuticità</i>	

<i>Prerequisiti</i>	Nozioni di Matematica di base. Nozioni di Fisica fondamentale, in particolare: cinematica e dinamica dei sistemi. Entrambi i requisiti sono tipicamente acquisiti durante la laurea in fisica (triennale).
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Laboratorio di Fisica Computazionale
<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>	<p>Il corso intende far conoscere allo studente alcuni algoritmi numerici fondamentali sia nell'ambito di metodi deterministici che stocastici e fornire gli strumenti di base per applicarli in codici numerici per risolvere semplici problemi di fisica classica e meccanica quantistica. L'obiettivo principale dell'insegnamento è far acquisire la capacità di utilizzo e controllo di algoritmi indipendentemente dal linguaggio di programmazione utilizzato.</p> <p>Obiettivi formativi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE: fornire allo studente gli elementi concettuali fondamentali del calcolo scientifico e delle simulazioni numeriche sia di tipo deterministico che stocastico, e alcuni algoritmi per la risoluzione di problemi. - CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: fornire allo studente gli strumenti di base per saper identificare un algoritmo risolutivo, implementarlo in un linguaggio di programmazione, eseguire la simulazione numerica ed analizzare e visualizzare i risultati ottenuti. - AUTONOMIA DI GIUDIZIO: rendere lo studente in grado di applicare concetti e strumenti appresi in modo critico, individuando anche eventuali soluzioni non affidabili (ad esempio, sapere riconoscere se un algoritmo è stato implementato in modo corretto utilizzando il codice in situazioni facilmente controllabili anche analiticamente (casi limite, "benchmark")); al raggiungimento di questo obiettivo contribuisce il training continuo nella soluzione numerica dei problemi; il modo in cui sono risolti gli homework e il progetto finale costituisce una chiara verifica. - ABILITÀ COMUNICATIVE: rendere lo studente in grado di spiegare le conoscenze apprese e di trasmetterle ad altri, e di saper inquadrare un problema specifico in un contesto più ampio; al raggiungimento di questo obiettivo contribuiscono significativamente i momenti di interazione con il docente e di discussione con i compagni di corso. Il report scritto sul progetto individuale e la prova orale permettono di verificare chiaramente il raggiungimento di tali abilità. - CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: rendere lo studente capace di apprendere in modo critico concetti e strumenti risolutivi. Per facilitare questa capacità, lo studente è stimolato ad interagire durante le lezioni frontali e soprattutto durante le esercitazioni, e a proporre anche nuovi algoritmi risolutivi o a migliorare quelli proposti. Gli homework proposti durante il corso aiutano a sviluppare questa capacità di apprendimento in modo graduale e progressivo, a partire da concetti e problemi semplici per arrivare a quelli più complessi. <p>Tali obiettivi specifici sono coerenti con quelli generali del Corso di studi di formare laureati con solida preparazione scientifica di base, capacità di "problem</p>

	solving” e capacità operative specifiche (a cui questo specifico insegnamento contribuisce per quanto riguarda competenze di tipo computazionali) nel campo delle Scienze Fisiche ma anche in applicazioni in diversi campi.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Abilità informatiche di base (uso di bash e text editor; conoscenza di base di un linguaggio di programmazione); nozioni di fisica classica e di meccanica quantistica.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Laboratorio di Fisica dei Nanomateriali
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	994SM
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A+L)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Il corso si prefigge l'obiettivo di rendere gli studenti capaci di utilizzare alcune delle moderne strumentazioni per l'indagine delle proprietà della materia sulla scala nanometrica. A tale scopo gli studenti sfrutteranno strumentazione avanzata messa a disposizione dal Nanoscale Materials Laboratory di presso Elettra-Sincrotrone Trieste, centro d'eccellenza a livello mondiale per lo studio delle proprietà della materia sulla nanoscala.</p> <p>Il corso di propone di sviluppare in generale capacità di osservazione e di analisi critica attraverso l'utilizzo di procedure sperimentali mirate alla determinazione di grandezze fisiche rilevanti nel campo della fisica della materia condensata e dei materiali a bassa dimensionalità e di migliorare le competenze per l'analisi dei dati raccolti.</p> <p>Nello specifico gli obiettivi riguardano</p> <p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione. Capacità di utilizzare strumentazione allo stato dell'arte, inclusa la stessa radiazione di sincrotrone, per l'indagine di sistemi fisici (nanomateriali, materiali due-dimensionali, materiali zero-dimensionali) che si rinnovano di anno in anno, con l'obiettivo di rispondere a domande specifiche che non sono state ancora affrontate dalla comunità scientifica.</p> <p>D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione. Capacità di interpretare i risultati delle misure sperimentali sulla base delle conoscenze teoriche acquisite nei corsi introduttivi dedicati alla fisica della materia. Applicazione delle conoscenze teoriche per lo svolgimento dell'analisi dei dati sperimentali raccolti, in particolare attraverso l'utilizzo del software IGOR Pro-Wavemetrics</p> <p>D3. Autonomia di giudizio. Capacità di valutazione critica dei risultati raggiunti, in particolare nella comprensione degli effetti nelle misure causati dalla strumentazione. Analisi critica dei risultati quantitativi ottenuti. Aspetti chiave di questo processo riguardano: comprensione approfondita del funzionamento della strumentazione, calibrazione strumentale, analisi incertezze, verifica della riproducibilità. Per raggiungere tali obiettivi verranno svolte sessioni di simulazione al computer riguardanti il funzionamento della strumentazione utilizzata negli esperimenti di diffrazione e fotoemissione ad alta risoluzione.</p>

	<p>D4. Abilità comunicative. Capacità di discutere con massimo rigore scientifico e ottima chiarezza i risultati sperimentali ottenuti durante le misure sperimentali. Importanza delle relazioni inter-personali tra compagni di classe di laboratorio per affrontare il lavoro di gruppo con spirito costruttivo, condivisione di strategie ed obiettivi, così come avviene in gruppo di ricerca.</p> <p>D5. Capacità di apprendimento. Capacità di integrare in modo autonomo i concetti illustrati a lezione durante le ore di didattica frontale, i risultati ottenuti in laboratorio e lo studio di pubblicazioni recenti dedicate al sistema investigato. Per raggiungere tale obiettivo gli studenti saranno coinvolti, in sessioni specifiche, nell'apprendimento delle tecniche più moderne di ricerca dati e di confronto con la letteratura. Capacità di operare in un moderno laboratorio e sviluppo dell'attitudine a risolvere problemi di svariata natura (elettronica, meccanica, interfacciamento strumentazione al computer, etc).</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza di argomenti di base della materia condensata, in modo particolare: reticoli e strutture cristalline; reticolo reciproco dei solidi; struttura a bande elettronica dei solidi.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Laboratorio di Fisica della Materia Condensata
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A+L)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>L'insegnamento intende fornire conoscenze essenziali su metodi sperimentali e strumenti usati nell'indagine spettroscopica della materia. Si sviluppano inoltre competenze sulla caratterizzazione, configurazione, ottimizzazione e uso di un apparato sperimentale attraverso la pratica di laboratorio, sull'identificazione di possibili fonti di errori, sull'elaborazione dei dati ottenuti e sulla comprensione del loro significato. Possibili esperimenti riguardano misure della risposta spettrale e temporale in fotoluminescenza di campioni cristallini bulk o nanostrutturati, misure in assorbimento laser di vapori atomici e/o acquisizione di spettri di perdita di energia di elettroni in film molecolari.</p> <p>D1. Conoscenza e comprensione di alcune importanti tecniche e strumenti usati in fisica della materia e dei solidi, in nanotecnologie e nelle scienze dei materiali.</p> <p>D2. Capacità di applicare le conoscenze nell'uso di strumentazione avanzata nel laboratorio, caratterizzazione e taratura degli strumenti, scelta delle tecniche, analisi dei dati acquisiti, eventuale progettazione e montaggio di strumenti.</p> <p>D3. Capacità di giudizio sull'affidabilità e sui limiti dei dati ottenuti e delle tecniche e metodi usati.</p> <p>D4. Abilità di comunicazione ottenute tramite discussione con i docenti e gli altri studenti durante l'attività di laboratorio, la relazione scritta sull'attività svolta in laboratorio, sui risultati ottenuti e sul loro significato, e la discussione finale orale sugli stessi argomenti.</p>

	D5. Capacità di apprendimento sviluppata nello studio autonomo di metodi di calcolo e di analisi dei risultati anche usando nuovi programmi informatici.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza di semplici tecniche di misura, analisi di dati e di meccanica quantistica, come fornite dal percorso di fisica triennale.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Laboratorio di Fisica Medica
<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>	<p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione: Alla fine del corso, lo studente avrà acquisito le competenze di base nell'utilizzo di un tubo radiologico e dei comuni sistemi di dosimetria per la radiologia. Inoltre, avrà competenze nelle tecniche di caratterizzazione dei sistemi radiologici basati su i raggi X e conoscerà i principi alla base dei controlli di qualità dei sistemi stessi. Infine, avrà esperienza di esempi di applicazioni delle simulazioni di MonteCarlo in fisica medica.</p> <p>D.2 Capacità di applicare conoscenza e comprensione Lo studente saprà svolgere ed analizzare misure di caratterizzazione di sistemi radiologici semplici. Lo studente saprà adattare alle sue esigenze simulazioni di MonteCarlo sviluppate per applicazioni mediche.</p> <p>D3 - Autonomia di giudizio Lo studente saprà valutare i sistemi radiologici e formulare le proprie opinioni in merito sulla base di misure quantitative.</p> <p>D4 - Abilità comunicative Lo studente alla fine del corso dovrà essere in grado di descrivere gli argomenti del corso con proprietà di linguaggio ad interlocutori esperti e anche in ambito interdisciplinare.</p> <p>D5 - Capacità di apprendimento Alla fine del corso lo studente riuscirà a comprendere articoli scientifici ed utilizzare libri di testo specialistici in modo autonomo.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	È consigliabile aver frequentato il corso di Fondamenti di Fisica Medica
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Laboratorio di Fisica Nucleare e Subnucleare
<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>	<p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione.</p> <p>La finalita' del corso e' la conoscenza e capacità di utilizzazione di moderne tecniche sperimentali per la rivelazione della radiazione carica e neutra e la comprensione dei dati acquisiti.</p> <p>D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione.</p> <p>In particolare si svilupperanno la conoscenza e capacità di comprensione atta alla conduzione di esperimenti di rivelazione di particelle, dalla fase di progettazione a quelle di realizzazione, acquisizione dati e analisi degli stessi.</p> <p>D3-D4 . Autonomia di giudizio e Abilità comunicative.</p> <p>L'acquisizione di senso critico e autonomia di giudizio vengono stimolati attraverso un approccio orientato alla proposizione di problemi e la ricerca di soluzioni che vengono discussi in modo corale stimolando contemporaneamente la capacità di apprendere e le capacità comunicative.</p> <p>D5. Capacità di apprendimento.</p> <p>Le conoscenze e capacità accumulate permetteranno allo studente di apprendere con facilità l'uso e la comprensione del funzionamento di apparati sperimentali nell'ambito della fisica nucleare e sub-nucleare.</p> <p>Al termine del corso lo studente deve saper esporre chiaramente i concetti acquisiti.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza dell'interazione tra radiazione e materia. Argomenti trattati nel corso di Laboratorio Acquisizione e Controllo Dati
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Laboratorio di Programmazione Avanzata per la Astrofisica
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A + L)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>L'insegnamento è articolato in due parti. La prima ha come scopo di insegnare tecniche di programmazione scientifica avanzata nel linguaggio C, a partire dall'analisi strutturale del problema e dalla formulazione dell'algoritmo adatto a risolverlo, imparando a gestire progetti complessi (per esempio utilizzando la compilazione tramite Makefile) e acquisendo una competenza di base in alcune tecniche di programmazione parallela come OpenMP ed MPI. Questo insegnamento mira a dare la preparazione necessaria per affrontare e risolvere problemi classici di fisica computazionale.</p>

	Nella seconda parte si applicheranno le tecniche di programmazione avanzata imparate durante il primo modulo per sviluppare un codice per la soluzione di un classico problema di astrofisica numerica.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Abilità informatiche di base (uso di bash e di text editor)
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Laboratorio di Simulazioni Atomistiche e Molecolari
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A+L)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Il corso presenterà un approccio computazionale allo studio di fenomeni fisici emergenti nella materia condensata dura e soffice. Verrà approfondita in particolare la simulazione delle proprietà fisiche di sistemi a molti corpi all'equilibrio, sia sulla base di modelli semplici che su una descrizione da principi primi delle interazioni intermolecolari, anche su scala mesoscopica (sistemi colloidali e polimerici). Verranno quindi studiate le transizioni di fase in tali sistemi, implementando metodi Monte Carlo per il campionamento efficiente dello spazio delle configurazioni. Si illustrerà inoltre l'utilizzo di metodi di machine learning nell'ambito della fisica della materia condensata.</p> <p>D1 - Conoscenza e capacità di comprensione Comprendere i concetti fisici e matematici necessari alla modellizzazione su scala atomistica e mesoscopica della materia condensata. Acquisire una conoscenza di base delle caratteristiche generali dei diagrammi di fase della materia condensata in regime classico e dei metodi computazionali per la loro determinazione.</p> <p>D2 - Capacità di applicare conoscenza e comprensione Sviluppare e/o utilizzare algoritmi di simulazione e di analisi dati per la descrizione della materia condensata dura e soffice, principalmente in regime classico.</p> <p>D3 - Autonomia di giudizio Assicurarsi del corretto funzionamento di un algoritmo di simulazione. Fare "debugging" di un algoritmo di simulazione, anche di terza parte.</p> <p>D4 - Abilità comunicative Presentare chiaramente e con proprietà di linguaggio i risultati di un progetto computazionale.</p> <p>D5 - Capacità di apprendimento Approfondire in modo autonomo gli argomenti trattati nel corso, sviluppando un progetto computazionale concordato con il docente.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Strumenti informatici (utilizzo di bash, elementi di Python, conoscenza di un linguaggio di programmazione compilato), fisica statistica.

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

<i>Attività Formativa</i>	Laboratorio di Tecnologie Astronomiche
<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 la possibilità di osservazioni dalla stazione osservativa INAF, e iniziare a sviluppare la capacità di pianificare un programma osservativo. Si prevedono applicazioni di riduzione e analisi di dati astronomici (osservati e/o simulati), eventualmente anche con programmazione in python, con applicazioni particolari alla riduzione e analisi di dati astronomici (osservati e/o simulati).
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Concetti di base di Elettromagnetismo e Statistica. Conoscenze di base di astronomia (es., Astrofisica, I sem.) sono anche decisamente utili.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Liquidi quantistici
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>D1 - CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE: fornire allo studente gli elementi concettuali fondamentali per comprendere le proprietà fenomenologiche dei liquidi quantistici enfatizzandone gli elementi unificanti.</p> <p>D2 - CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: fornire agli studenti gli strumenti di base per ottenere e modellizzare le funzioni di risposta dei liquidi quantistici e le loro proprietà macroscopiche.</p> <p>D3 - AUTONOMIA DI GIUDIZIO: rendere lo studente capace di applicare i concetti e gli strumenti appresi in modo critico, sviluppando la capacità di applicare le tecniche metodologiche insegnate nel corso alle applicazioni specifiche dei liquidi quantistici.</p> <p>D4 - ABILITÀ COMUNICATIVE: rendere lo studente capace di spiegare le conoscenze apprese e capace di trasmetterle ad altri e di saperle inquadrare un</p>

	<p>problema specifico nel contesto più ampio della fisica dei sistemi quantistici a molti corpi e delle loro applicazioni al campo delle tecnologie quantistiche.</p> <p>D5 - CAPACITÀ DI APPRENDERE: rendere lo studente capace di apprendere in modo critico concetti e strumenti di risoluzione dei problemi che si incontrano nella teoria e nelle applicazioni dei liquidi quantistici</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Meccanica Quantistica e Relatività Speciale
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	3
<i>Codice</i>	461SM
<i>Tipologia Didattica</i>	24 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione: Gli studenti dovranno acquisire familiarità con i fondamenti della Relatività Speciale e della Meccanica Quantistica.</p> <p>D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Gli studenti dovranno essere in grado di analizzare criticamente alcuni dei principali problemi aperti in fisica teorica.</p> <p>D3. Autonomia di giudizio: Gli studenti dovranno essere in grado di identificare punti di forza e limiti di validità di modelli e teorie fisiche.</p> <p>D4. Abilità comunicative: Gli studenti dovranno essere in grado di esprimere in modo appropriato, alla conclusione del corso, sui temi dei fondamenti della fisica, con proprietà di linguaggio e sicurezza di esposizione.</p> <p>D5. Capacità di apprendimento: Al termine del corso, gli studenti dovranno essere in grado di comprendere la letteratura scientifica contemporanea sulle tematiche dei fondamenti della fisica.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza di base della meccanica quantistica.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Meccanica statistica
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	750SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	Nel corso verranno discussi i seguenti argomenti.

	<p>Richiami di termodinamica, meccanica statistica di equilibrio, potenziali termodinamici, ensemble statistici.</p> <p>Modelli classici della meccanica statistica di equilibrio e loro soluzione. Teoria di campo medio.</p> <p>Sistemi fuori dall'equilibrio in regime lineare: ipotesi di Onsager.</p> <p>Dinamica dei sistemi fuori equilibrio.</p> <p>Definizione del lavoro e del calore per sistemi microscopici e fuori equilibrio.</p> <p>Sistemi arbitrariamente lontani dall'equilibrio, relazioni di fluttuazione per il lavoro, il calore e l'entropia.</p> <p>Rivisitazione della seconda legge della termodinamica. Efficienza stocastica in macchine microscopiche. Relazioni di incertezza termodinamiche. Esempi ed applicazioni.</p> <p>Termodinamica dell'informazione, relazione di fluttuazione per l'informazione, serbatoi d'informazione.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Sono richieste conoscenze di argomenti trattati in corsi precedenti di Fisica in particolare termodinamica e fisica statistica.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Meccanica Statistica Quantistica
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Il corso tratterà la meccanica statistica di sistemi quantistici costituiti da fermioni o bosoni, tramite approcci analitici esatti ed approssimati. Verranno anche studiati alcuni esempi di transizioni di fase e loro generalità. Gli argomenti coperti sono: seconda quantizzazione, teoria quantistica della diffusione, sistemi di bosoni non interagenti, condensati di Bose-Einstein, approssimazione di Bogoliubov ed equazione di Gross-Pitaevskii per gas bosonici interagenti, sistemi di fermioni non interagenti, approssimazione di campo medio e quasiparticelle per gas fermionici interagenti.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conoscenza e capacità di comprensione: comprendere aspetti fondamentali della meccanica statistica dei sistemi quantistici e delle transizioni di fase. - Conoscenza e capacità di comprensione applicate: padroneggiare le soluzioni esatte ed approssimate ed i loro limiti. - Autonomia di giudizio: riconoscere le peculiarità dei sistemi quantistici e delle transizioni di fase che possono essere trovate in svariati sistemi fisici. - Capacità di apprendere: saper integrare le conoscenze acquisite con ulteriori strumenti teorici e modelli di sistemi fisici. - Abilità comunicative: esporre con chiarezza ed approfonditamente la logica alla base delle conoscenze acquisite e delle loro applicazioni.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza di base della meccanica quantistica e della fisica statistica

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

<i>Attività Formativa</i>	Meteorologia e Climatologia dello Spazio
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	754SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>L'insegnamento presenta un'introduzione alla Meteorologia e alla Climatologia dello Spazio.</p> <p>Lo studente apprende le nozioni di base relative a:</p> <ol style="list-style-type: none"> fenomenologia; modellistica; 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: <ol style="list-style-type: none"> su scala temporale breve (Meteorologia); su scala temporale lunga (Climatologia). <p>Questo insegnamento intende essere di stimolo nei riguardi dei seguenti aspetti.</p> <ul style="list-style-type: none"> Conoscenza e comprensione dei processi fisici che regolano la Meteorologia e Climatologia dello Spazio. Conoscenza e comprensione di una missione spaziale che analizza queste tematiche. Capacità di applicare algoritmi numerici per la soluzione di problemi fisici, e tecniche di analisi dei sistemi complessi legati alla meteorologia e climatologia dello Spazio. Autonomia di giudizio nella valutazione di diverse soluzioni all'interno della complessa modellistica del sistema. Abilità comunicative nell'organizzazione di una presentazione/proposta legata allo studio della meteorologia e climatologia dello Spazio. Capacità di collaborazione in gruppo e di rielaborazione di quanto appreso in condizioni nuove.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Nozioni di Matematica di base. Nozioni di Fisica fondamentale. Entrambi i requisiti sono tipicamente acquisiti durante la laurea in fisica (triennale).
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Metodi di Potenziale
<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>	<p>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.</p> <p>CONOSCENZA E COMPRESIONE: Saper definire le sorgenti fisiche che generano potenziali gravitazionali e magnetici; conoscenza dei metodi di calcolo dei campi e delle implementazioni numeriche per modellare i campi per una data sorgente statica e variabile nel tempo. Conoscenza della strumentazione classica e di tecnologia quantistica utilizzata per misurare i campi. Applicazioni nello studio della terra e dei parametri rilevanti ai cambiamenti climatici.</p> <p>CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRESIONE: capacità di applicare le conoscenze di basi su campi gravimetrici e magnetici per valutare le situazione fisiche nelle quali sono quantità rilevanti e rilevabili. Un tema di applicazione sono lo sviluppo di strumentazione innovativa. Altro tema e' lo studio delle variazioni climatiche, in termini di masse equivalenti di acqua. Diverse aree di applicazione come per lo studio della deglaciazione, nella geofisica, nella formulazione di indicatori climatici.</p> <p>AUTONOMIA DI GIUDIZIO: essere in grado di tradurre una situazione descrittiva di un problema nella catena di elaborazioni comprendenti acquisizione e analisi di dati magnetici e gravimetrici.</p> <p>ABILITÀ COMUNICATIVE: capacità di illustrare ad un pubblico del livello di studenti delle scuole superiori o più elevato, i risultati ottenibili dalle osservazioni gravimetriche e magnetometriche.</p> <p>CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Capacità di trovare in autonomia la soluzione per una puntuale descrizione scientifica di un problema di monitoraggio della terra attraverso l'elaborazione ottimizzata di dati osservativi. Integrare le necessità di risoluzione spaziale, temporale e di segnale con le prestazioni dei satelliti e dei dati terrestri esistenti.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenze di base del campo di gravità e magnetico.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Metodi Numerici per la struttura elettronica
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	827SM

<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Il corso fornisce un'introduzione ai metodi e alle tecniche numeriche usate per determinare la struttura elettronica in sistemi di materia condensata (molecole e solidi). Lo scopo del corso è eminentemente pratico: si vuole fornire allo studente la capacità di affrontare la simulazione di problemi complessi, anche usando tecniche moderne di simulazione basate sulla teoria del funzionale densità, tramite la soluzione pratica di problemi semplici. Lo/ studente</p> <ul style="list-style-type: none"> - imparerà a conoscere e ad usare metodi e tecniche numeriche di base per il calcolo della struttura elettronica in fisica della materia condensata; - avrà la possibilità di mettere in pratica quanto appreso in teoria durante le esercitazioni al computer che fanno parte integrante del corso, nonché nella prova pratica di esame; - acquisirà la capacità di scegliere la soluzione più adatta per affrontare problemi complessi che potrebbe incontrare nel futuro; - acquisirà una base di conoscenze fisiche ed informatiche sulla quale imparare o sviluppare nuovi concetti e metodi.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenze di base di meccanica quantistica e di struttura della materia
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Metodi quantitativi per la finanza
<i>SSD</i>	FIS/07
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	463SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Il corso mira a offrire un'introduzione ai metodi quantitativi utilizzati in un contesto finanziario. Il corso si articola in tre parti: la prima parte introduce i concetti principali relativi alla finanza e agli strumenti finanziari, offrendo nozioni relative al loro uso e alla loro valutazione; la seconda parte approfondisce la valutazione degli strumenti derivati tramite modelli matematici; la terza fornisce cenni ad alcuni argomenti di interesse in relazione alla gestione di portafogli di investimento.</p> <p>Il corso si propone di trasmettere i seguenti obiettivi formativi:</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione.</p> <p>Conoscere e comprendere i concetti fondamentali della struttura dei mercati, degli strumenti finanziari e dei modelli matematici utilizzati per stimarne il prezzo. Acquisire i principi di base della gestione del rischio e del rendimento in un portafoglio di investimento.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione.</p> <p>Saper applicare i concetti e i modelli teorici a dei casi pratici di valutazione di strumenti finanziari, di uso di strumenti finanziari e di decisioni in materia di scelte di investimento.</p> <p>Autonomia di giudizio.</p> <p>Comprendere e far propri i concetti presentati durante il corso, ed essere in grado di applicarli anche a situazioni diverse da quelle illustrate.</p> <p>Abilità comunicative.</p>

	Essere in grado di esprimersi in modo appropriato sugli argomenti del corso, con uso corretto della lingua e sicurezza nell'esposizione. Capacità di apprendere. Essere in grado di intraprendere con autonomia lo studio di modelli economici e di finanza quantitativa più avanzati.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Metrologia Quantistica
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Il corso tratterà aspetti teorici ed applicazioni della metrologia quantistica, con particolare attenzione alle correlazioni quantistiche e dei fenomeni fisici che permettono una maggiore precisione dei sensori quantistici rispetto a quelli classici. Gli argomenti del corso includono: teoria della stima classica, teoria della stima quantistica, interferometria, magnetometria, misure di grandezze termodinamiche.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conoscenza e capacità di comprensione: comprendere la teoria statistica alla base del funzionamento dei sensori quantistici. - Conoscenza e capacità di comprensione applicate: comprendere e riconoscere peculiarità dei sistemi quantistici e fenomeni fisici che permettono una precisione migliore dei sensori classici. - Autonomia di giudizio: rielaborare e combinare gli strumenti forniti per l'analisi e la progettazione di sensori quantistici. - Capacità di apprendere: saper integrare le conoscenze acquisite con ulteriori strumenti teorici e modelli di sistemi fisici. - Abilità comunicative: esporre con chiarezza ed approfonditamente la logica alla base delle conoscenze acquisite e delle loro applicazioni.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenze di base di meccanica quantistica e di fisica statistica.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Modello standard delle interazioni fondamentali
<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>	D1. Conoscere gli aspetti fondamentali del modello standard delle particelle elementari. D2. Applicare le conoscenze acquisite nello studio e nel calcolo di processi di interazione elettrodebole o forte a basse e alte energie. D3. Riconoscere e applicare le tecniche acquisite e sapere riconoscere le situazioni in cui tali tecniche possono essere vantaggiosamente utilizzate. D4. Sapersi esprimere in modo appropriato sui temi relativi al modello standard. D5. Essere in grado di studiare e capire libri e articoli sui temi della fisica delle alte energie.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Fondamenti della Teoria Quantistica dei Campi (Teoria dei Campi 1) e fondamenti della teoria dei gruppi applicata alle interazioni fondamentali (Simmetrie ed interazioni fondamentali)
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Nanostrutture
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	590SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	1) Conoscenza e capacità di comprensione (knowledge and understanding): Conoscenza delle proprietà strutturali ed elettroniche e delle tecniche di crescita e caratterizzazione di nanostrutture 2D, 1D e 0D; 2) Conoscenza e capacità di comprensione applicate (applying knowledge and understanding): conoscenza delle proprietà derivanti dal confinamento elettronico in nanostrutture; conoscenza della struttura elettronica di particolari nanostrutture 2D, 1D e 0D; conoscenza delle principali tecniche di indagine e caratterizzazione sperimentale delle nanostrutture; 3) Autonomia di giudizio (making judgements): capacità di comprendere ed interpretare un lavoro scientifico relativo allo studio ed alla caratterizzazione di nanostrutture; 4) Abilità comunicative (communication skills): saper spiegare e discutere le peculiari proprietà dei materiali nanostrutturati; 5) Capacità di apprendere (learning skills): capacità di impiegare le conoscenze acquisite per la comprensione di nuovi fenomeni fisici associati alle nanostrutture
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza della meccanica quantistica, rudimenti di fisica atomica e molecolare e di fisica dei solidi.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Onde Gravitazionali
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>In questo corso vengono forniti gli elementi fondamentali per la comprensione delle osservazioni delle onde gravitazionali.</p> <p>Principali argomenti: meccanismi di emissione delle onde gravitazionali; sorgenti astrofisiche di onde gravitazionali; funzionamento degli strumenti per la rivelazione delle onde gravitazionali; l'analisi dei segnali prodotti dagli interferometri gravitazionali; i risultati dell'astronomia gravitazionale e la loro collocazione in ambito astrofisico.</p> <p>1. Conoscenza e capacità di comprensione Alla fine del corso, gli studenti saranno capaci di capire il significato astrofisico delle osservazioni di onde gravitazionali.</p> <p>2. Conoscenza e capacità di comprensione applicate Alla fine del corso, gli studenti saranno capaci di intraprendere un percorso di tesi di Master in questo argomento.</p> <p>3. Autonomia di giudizio Alla fine del corso, gli studenti capiranno l'importanza delle nuove osservazioni di onde gravitazionali in un più vasto contesto astrofisico.</p> <p>4. Abilità comunicative Alla fine del corso, gli studenti conosceranno il formalismo e i termini base di questo campo in rapido sviluppo.</p> <p>5. Capacità di apprendere Alla fine del corso gli studenti potranno procedere in modo autonomo con l'acquisizione di nuove conoscenze nel campo delle onde gravitazionali.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Buona conoscenza della fisica classica e dell'ottica. Relatività speciale. Serie e trasformate di Fourier. Nozioni di base di astronomia.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Ottica Avanzata
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Conoscenza di base teorica e operativa dell'ottica classica, geometrica ed ondulatoria e comprensione di concetti avanzati quali interferometria, polarimetria, ottica di Fourier. Conoscenza delle applicazioni correnti delle tecniche ottiche avanzate, inclusi elementi di opto-meccanica, a problematiche</p>

	sperimentali di frontiera, specialmente nel campo delle misure di precisione in fisica delle particelle, esercitandosi all'interpretazione autonoma dei risultati. Capacità di comunicare in forma scritta ed orale le proprie idee e conclusioni. Capacità di utilizzare testi ed altro materiale per l'approfondimento e l'apprendimento autonomi.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Familiarità con i seguenti strumenti matematici: analisi vettoriale, numeri complessi, serie e integrali di Fourier. Conoscenza dei concetti fondamentali sulle caratteristiche e la propagazione delle onde elettromagnetiche.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Pianeti e astrobiologia
<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 del corso 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 bio-marcatore atmosferici. Il sistema solare viene utilizzato come riferimento per lo studio comparativo dei sistemi planetari extrasolari. Inoltre viene fornita una panoramica delle missioni spaziali dedicate allo studio del sistema solare e all'osservazione di esopianeti. 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>	Processi radiativi
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	971SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	L'insegnamento è finalizzato alla conoscenza approfondita dei processi radiativi responsabili dell'emissione e dell'assorbimento sia da un continuo che associato a righe in ambito astrofisico. Nella prima parte del corso, partendo da concetti di base di trasporto radiativo e di elettromagnetismo, si studierà l'emissione da cariche accelerate, sia non relativistiche che relativistiche. Si tratterà in particolare l'emissione di radiazione di sincrotrone,

	di frenamento e di Compton inverso. L'apprendimento di tali processi permetterà allo studente di comprendere in modo dettagliato la fenomenologia dell'emissione e dell'assorbimento di radiazione da parte di una varietà di strutture cosmiche e di oggetti astrofisici. Nella seconda parte del corso si studieranno inoltre le atmosfere stellari, trattando il trasporto energetico e la formazione ed allargamento di righe spettrali. Saranno descritte le assunzioni di questo regime (piani paralleli, LTE), introducendo anche la nozione di parametri stellari (temperatura, gravità superficiale e composizione chimica). Infine, il corso coprirà il concetto di analisi e misura di spettri stellari attraverso il paragone con modelli teorici, utilizzando anche esempi pratici in campi di ricerca attivi, e dati reali.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	È richiesta conoscenza dei concetti di base di termodinamica, di elettromagnetismo, di relatività speciale e di meccanica quantistica, nonché di astrofisica: galassie, ammassi di galassie, popolazioni stellari.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Programmazione avanzata e tecniche di simulazione per la fisica
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	72 h (A+L)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione: Al termine del corso lo studente deve dimostrare di avere le conoscenze di base di Python, programmazione ad oggetti e C++ applicati alla fisica, consolidare le conoscenze relative all'analisi dati e apprendere le tecniche base di simulazione Monte Carlo di processi fisici e apparati sperimentali.</p> <p>D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Al termine del corso lo studente deve saper applicare le conoscenze acquisite al punto D1 per svolgere esercitazioni con Python, C++ e simulazioni Monte Carlo.</p> <p>D3. Autonomia di giudizio: Al termine del corso lo studente saprà giudicare le metodiche computazionali trattate nel corso.</p> <p>D4. Abilità comunicative: Al termine del corso lo studente deve saper presentare chiaramente le metodologie acquisite al punto D1.</p> <p>D5. Capacità di apprendimento: Al termine del corso lo studente deve essere in grado di approfondire autonomamente gli argomenti trattati, inoltre, deve essere in grado di trasferire le nozioni imparate nei successivi insegnamenti.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza base del PC e linux
<i>Articolazione in moduli</i>	Il corso è strutturato in tre moduli: Python, C++ e simulazioni Monte Carlo.

<i>Attività Formativa</i>	Radioastronomia
<i>SSD</i>	FIS/05
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Conoscenza e capacità di comprensione: lo studente/la studentessa acquisirà conoscenza di radioastronomia e interferometria, dei moderni radio telescopi e radio interferometri, e delle principali osservabili astrofisiche in banda millimetrica-radio. Il livello di conoscenza raggiunto permetterà di affrontare un contesto di ricerca in modo critico e creativo. Conoscenza e capacità di comprensione applicate: lo studente/la studentessa imparerà ad applicare la conoscenza acquisita in diversi ambiti astrofisici, per lo studio di galassie e nuclei galattici attivi dall'Universo locale fino all'epoca delle prime galassie, ammassi di galassie e strutture a grande scala dell'universo. Autonomia di giudizio: lo studente/studentessa sarà guidato nell'interpretazione di osservazioni in banda mm-radio per risolvere problemi astrofisici e per strutturare proposte osservative in modo competente e creativo. Abilità comunicative: allo studente/studentessa sarà richiesto di descrivere in modo accurato e con linguaggio adeguato le tecniche di radioastronomia e la loro applicazione a diverse problematiche astrofisiche. Capacità di apprendere: lo studente/la studentessa combinerà informazioni provenienti dai libri di testo, dalle lezioni, dalle note del docente, e approfondirà uno o più argomenti tramite articoli scientifici di riferimento.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza di base dei principali processi astrofisici di emissione.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Relatività Generale Avanzata e Fisica Gravitazionale
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Il corso fornisce competenze specifiche avanzate, sia concettuali che tecniche, in fisica teorica, come dettagliato nel seguito.</p> <p>D1. Gli studenti acquisiranno padronanza di tecniche avanzate di uso comune nella formulazione di teorie covarianti generali ed impareranno come applicarle alla teoria del campo gravitazionale proposta da Einstein, ma, soprattutto, a sue generalizzazioni. Gli studenti svilupperanno una comprensione delle proprietà fisiche fondamentali del campo gravitazionale mirata alla loro applicazione a problemi avanzati ancora aperti, dove il contributo del campo gravitazionale non può essere trascurato.</p> <p>D2. Gli studenti acquisiranno la capacità di applicare teorie covarianti generali a problemi concreti in ambito astrofisico, cosmologico e teorico, tenendo sotto</p>

	<p>controllo le principali complicazioni tecniche e concettuali che inevitabilmente emergono in questi contesti.</p> <p>D3. Gli studenti svilupperanno la capacità di individuare autonomamente strumenti tecnici appropriati alla soluzione di problemi fisici concreti nel contesto delle teorie covarianti generali. Acquisiranno inoltre l'autonomia necessaria ad un'analisi comparata della qualità della letteratura esistente sull'argomento, grazie alla comprensione dei principi fondamentali che stanno alla base di queste problematiche.</p> <p>D4. Gli studenti impareranno il linguaggio e la modalità corretta di esprimere concetti fisici in modo matematicamente rigoroso nel contesto delle teorie covarianti generali, con particolare attenzione alle sottigliezze che compaiono in teorie che estendono la relatività generale. Gli studenti acquisiranno inoltre la capacità di comunicare in modo efficace nei campi di ricerca collegati agli argomenti presentati durante il corso, sia in ambito teorico che applicativo (in particolare, astrofisico e cosmologico).</p> <p>D5. Agli studenti verranno forniti gli strumenti e le competenze necessari per muoversi autonomamente nell'apprendimento di nuovi metodi e tecniche, soprattutto legati ad applicazioni dei concetti studiati durante il corso a problemi aperti, di natura sia teorica che applicativa (prevalentemente in ambito astrofisico, cosmologico). In particolare il corso promuoverà, anche con la modalità d'esame, l'iniziativa individuale degli studenti ad affrontare argomenti diversi e più avanzati rispetto a quelli presentati durante il corso, e legati a problematiche attive nel contesto della ricerca in fisica della gravità.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenze di base di relatività generale, degli strumenti matematici necessari alla sua formulazione e della loro interpretazione geometrica: in particolare, equazioni di Einstein, loro struttura e loro significato fisico.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Relatività Generale I
<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>In generale, il corso fornisce competenze fondamentali, sia concettuali che tecniche, per il raggiungimento di una formazione specifica avanzata in fisica teorica, come dettagliato nel seguito.</p> <p>D1. Gli studenti acquisiranno padronanza di tecniche di geometria differenziale di uso comune in fisica e impareranno come applicarle alla teoria del campo gravitazionale così come formulata da Einstein. Gli studenti svilupperanno inoltre una comprensione delle proprietà fondamentali del campo gravitazionale così come descritto dalla teoria della relatività generale.</p> <p>D2. Gli studenti acquisiranno la capacità di applicare concetti matematici astratti a specifiche teorie fisiche, in particolare a comprendere il significato fisico di strumenti astratti nel contesto della teoria del campo gravitazionale e nel contesto della relatività generale.</p>

	<p>D3. Gli studenti svilupperanno la capacità di individuare autonomamente strumenti tecnici appropriati alla formulazione chiara e rigorosa di problemi fisici (prevalentemente nel campo della relatività generale e delle teorie della gravità, ma possibilmente, anche in altri campi della fisica teorica).</p> <p>D4. Gli studenti impareranno il linguaggio e la modalità corretta di esprimere (e formulare) concetti fisici in modo matematicamente rigoroso nel contesto della fisica della gravità, in generale, e della teoria della relatività generale, in particolare.</p> <p>D5. Agli studenti verranno forniti gli strumenti e le competenze necessari ad affrontare autonomamente lo studio di teorie del campo gravitazionale più generali di quella discussa durante il corso, e ad applicare concetti analoghi in altri campi della fisica teorica.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Analisi multivariata ed algebra lineare; concetti elementari di geometria differenziale; relatività speciale; meccanica analitica e teoria dei campi (non gravitazionale) classica.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Rivelatori a semiconduttore e apparati per la fisica nucleare e subnucleare
<i>SSD</i>	FIS/01
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	462SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>L'insegnamento si propone di fornire conoscenze su alcuni specifici sistemi di rivelazione fra i più utilizzati nell'ambito della fisica nucleare e subnucleare. Saranno affrontate problematiche relative al tracciamento, all'identificazione di particelle cariche, a misure calorimetriche. Si tratteranno i criteri di progettazione di moderni sistemi di rivelazione discutendo alcune soluzioni per il controllo, l'acquisizione dati, l'alimentazione dei rivelatori e l'integrazione in apparati sperimentali.</p> <p>In particolare si analizzeranno le caratteristiche strutturali e funzionali e le prestazioni di rivelatori a semiconduttore. Saranno oggetto di trattazione specifica alcuni fra i più recenti sviluppi su rivelatori al silicio e sulle loro applicazioni. Il corso si articolerà in lezioni frontali includendo dimostrazioni pratiche per alcune tipologie di rivelatori.</p> <p>Gli studenti, avendo seguito l'insegnamento, saranno in grado di delineare le caratteristiche di un sistema di rivelazione quantificandone limiti e prestazioni.</p> <p>Il corso si propone di fornire agli studenti le seguenti competenze:</p> <p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione. Conoscere i principi di funzionamento, le caratteristiche principali e le prestazioni dei moderni sistemi di rivelazione a semiconduttore di particelle per la fisica nucleare e subnucleare.</p> <p>D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione. Utilizzare la conoscenza dei rivelatori a semiconduttore per comprendere come essi soddisfano i vari requisiti imposti dalle misure delle osservabili fisiche che si</p>

	<p>desiderano effettuare, e di come possono essere integrati nei moderni esperimenti di fisica nucleare e subnucleare.</p> <p>D3. Autonomia di giudizio. Saper valutare l'opportunità di utilizzare un rivelatore a semiconduttore per un determinata finalità sperimentale e saperne progettare le caratteristiche geometriche e funzionali in modo da ottimizzarne le prestazioni.</p> <p>D4. Abilità comunicative. Saper presentare e discutere le caratteristiche e i limiti di un sistema di rivelazione a semiconduttore di particelle e il suo impatto sulla misura di fisica che si vuole effettuare.</p> <p>D5. Capacità di apprendimento Essere in grado di utilizzare le nozioni apprese nel corso per l'interpretazione dei risultati sperimentali che saranno affrontati nel corso di studi e per l'utilizzo di nuove tecniche e metodi nell'attività sperimentale futura.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Simmetrie e interazioni fondamentali
<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>	<p>Obiettivi specifici: Questo insegnamento è indirizzato allo studio delle simmetrie continue e discrete nell'ambito delle leggi della fisica classica e quantistica facendo uso delle tecniche della teoria dei gruppi. Lo scopo del corso è di fornire gli strumenti matematici di base per la comprensione teorica delle interazioni fondamentali tra particelle elementari e loro implicazioni fenomenologiche, attraverso l'utilizzo delle proprietà di simmetria dei corrispondenti sistemi fisici.</p> <p>Obiettivi specifici: Questo insegnamento è indirizzato allo studio delle simmetrie continue e discrete nell'ambito delle leggi della fisica classica e quantistica facendo uso delle tecniche della teoria dei gruppi. Lo scopo del corso è di fornire gli strumenti matematici di base per la comprensione teorica delle interazioni fondamentali tra particelle elementari e loro implicazioni fenomenologiche, attraverso l'utilizzo delle proprietà di simmetria dei corrispondenti sistemi fisici.</p> <p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione: conoscenza di base della teoria dei gruppi continui e discreti utili alla comprensione degli aspetti di simmetria dei sistemi fisici rilevanti per lo studio delle interazioni fondamentali.</p> <p>D2. Conoscenza e capacità di comprensione applicate: conoscenza di base della teoria dei gruppi applicata alla fisica delle interazioni fondamentali. In particolare, applicazioni della teoria dei gruppi allo studio delle simmetrie discrete e continue di spazio-tempo, simmetrie interne, e loro rappresentazioni irriducibili, rilevanti ai fini della comprensione degli aspetti di simmetria nelle interazioni fondamentali.</p> <p>D3. Autonomia di giudizio: capacità di comprendere in maniera critica</p>

	<p>argomenti legati agli aspetti di simmetria nel settore delle interazioni fondamentali, e sue applicazioni in fisica atomica, nucleare e subnucleare.</p> <p>D4. Abilità comunicative: capacità di spiegare e discutere argomenti specifici legati alle proprietà di simmetria di sistemi fisici di interesse per lo studio delle interazioni fondamentali.</p> <p>D5. Capacità di apprendere: capacità di impiegare le conoscenze acquisite per la comprensione di fenomeni fisici nel settore della fisica atomica, nucleare e subnucleare, mediante l'uso delle tecniche di teoria dei gruppi apprese in questo corso.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenze di base di meccanica analitica classica, meccanica quantistica non-relativistica, e di relatività speciale.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Simulazioni classiche di sistemi a molti corpi
<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>	Fisica Generale e Analisi Matematica, basi di Meccanica Statistica e di teoria degli Stati Condensati
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Stati elettronici non convenzionali in bassa dimensionalità
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	Scopo del corso è di fornire una introduzione alla fenomenologia e ai metodi teorici per descrivere le proprietà dei sistemi di Hall quantistici e degli isolanti topologici. Partendo da una introduzione generale dei concetti di base, la prima

	<p>parte del corso si focalizza sull'effetto Hall intero. Nella seconda parte del corso, verranno trattati gli isolanti topologici per modelli su reticolo. Infine, si discuterà l'effetto Hall frazionario, come esempio di un caso in cui l'interazione elettronica gioca un ruolo fondamentale per la stabilizzazione delle fasi esotiche della materia.</p> <p>D1 - Conoscenza e capacità di comprensione Nel corso viene fornita un'introduzione teorica a strumenti e fenomeni della moderna fisica della materia condensata. Vengono inoltre forniti esempi di applicazione dei metodi teorici di fisica della materia condensata a problemi reali di ricerca.</p> <p>D2 – Capacità di applicare conoscenza e comprensione Le lezioni di introduzione teorica saranno corredate da esercizi che trattano argomenti di interesse attuale per la ricerca in fisica della materia condensata.</p> <p>D3 - Autonomia di giudizio Durante il corso gli studenti svilupperanno doti di ragionamento quantitativo ed abilità di “problem-solving” relative al campo della fisica della materia condensata, con l'obiettivo di essere in grado di comprendere e modellizzare fenomeni di interesse fondamentale e applicativo.</p> <p>D4 – Abilità comunicative Avere le abilità per poter descrivere concetti avanzati di fisica della materia condensata, anche in connessione alla possibilità di presentare gli argomenti in forma di seminario.</p> <p>D5 - Capacità di apprendimento Avere la capacità di consultare autonomamente testi e articoli scientifici al fine di approfondire in modo autonomo alcuni argomenti introdotti durante il corso.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Meccanica quantistica e statistica di base. Il concetto di bande elettroniche nei solidi.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Statistica avanzata per la Fisica
<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>	<p>Il corso è costruito in modo da essere utile a tutti gli studenti di fisica, non solo a quelli del curriculum in Fisica Nucleare e Subnucleare.</p> <p>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.</p> <p>1. Conoscenza e capacità di comprensione Alla fine del corso, gli studenti saranno capaci di leggere testi ed articoli avanzati nell'ambito delle applicazioni fisiche della statistica.</p> <p>2. Conoscenza e capacità di comprensione applicate</p>

	<p>Alla fine del corso, gli studenti saranno capaci di intraprendere un percorso di tesi di Master in questo argomento.</p> <p>3. Autonomia di giudizio Alla fine del corso, gli studenti raggiungeranno un livello che gli permetterà di comprendere gli utilizzi della statistica non solo in fisica, ma nel più ampio contesto dei Big Data e Machine Learning.</p> <p>4. Abilità comunicative Alla fine del corso, gli studenti conosceranno il formalismo e i termini base di questo campo in sempre più rapido sviluppo.</p> <p>5. Capacità di apprendere Alla fine del corso gli studenti potranno procedere in modo autonomo con l'acquisizione di nuove conoscenze in campo statistico.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza dei metodi matematici della Fisica. Fondamenti di probabilità e statistica.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Strumenti informatici per la Fisica
<i>SSD</i>	
<i>CFU</i>	3
<i>Codice</i>	998DF
<i>Tipologia Didattica</i>	24 h (L)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>L'attività formativa verrà svolta in forma di tutorial e presenterà alcuni strumenti informatici di utilità generale in fisica. Si affronteranno in particolare: l'utilizzo efficiente del terminale e del linguaggio bash, elementi di programmazione in Python e suo interfacciamento con linguaggi di programmazione compilati, l'utilizzo di git per il controllo di revisione e lo sviluppo collaborativo di codici e di documenti scientifici, metodi per un approccio riproducibile alla ricerca in ambito computazionale.</p> <p>I crediti si considereranno acquisiti (con idoneità, senza voto) dimostrando l'utilizzo di almeno uno degli strumenti presentati, ad esempio nel contesto del progetto finale del Laboratorio di fisica computazionale o del Laboratorio di fisica sperimentale della materia o di un altro progetto definito in accordo con il docente.</p> <p>Obiettivi formativi: D1 - Conoscenza e capacità di comprensione Acquisire tecniche e metodi informatici di base utili alla simulazione numerica e/o all'analisi dei dati in fisica. D2 - Capacità di applicare conoscenza e comprensione Saper applicare almeno uno degli strumenti presentati nei tutorials nel contesto di un progetto scientifico rilevante per la laurea magistrale in Fisica, ad esempio nel contesto del progetto finale del Laboratorio di fisica computazionale o del Laboratorio di fisica sperimentale della materia o di un altro progetto definito in accordo con il docente. D5 - Capacità di apprendimento</p>

	Approfondire in modo autonomo gli argomenti trattati nel corso tramite la consultazione di materiali forniti dal docente e/o l'esecuzione di notebooks computazionali.
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Teoria dei Campi I
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	760SM
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione: Gli studenti dovranno acquisire familiarità con i principi base della teoria quantistica dei campi.</p> <p>D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Gli studenti dovranno essere in grado di calcolare le principali grandezze fisiche (energia, carica, impulso...) in funzione dei creatori e distruttori delle particelle; dovranno inoltre essere in grado di calcolare le più semplici ampiezze di transizione a partire dalle regole di Feynman.</p> <p>D3. Autonomia di giudizio: Gli studenti dovranno essere in grado di discernere quali dei contenuti appresi siano rilevanti per diversi problemi fisici, dalla fisica dei sistemi a molti corpi alla fisica della particelle.</p> <p>D4. Abilità comunicative: Gli studenti dovranno essere in grado di comunicare i contenuti appresi con la terminologia appropriata, in particolare apprendere il linguaggio e i termini tecnici della teoria dei campi perturbativa.</p> <p>D5. Capacità di apprendimento: Al termine del corso, gli studenti dovranno aver sviluppato il know-how necessario per risolvere problemi base di teoria quantistica dei campi, e per affrontare argomenti più avanzati.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenza di Meccanica Quantistica (laurea triennale).
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Teoria dei Campi II
<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>	D1: conoscenze degli aspetti fondamentali di teoria dei campi, in particolare della trattazione perturbativa delle interazioni e delle basi della teoria della rinormalizzazione D2: capacità di applicare le conoscenze a esercizi e problemi di teoria dei campi, come il calcolo di ampiezze rilevanti in fisica delle particelle D3: capacità di discernere quali dei contenuti appresi siano rilevanti per diversi problemi fisici, dalla fisica dei sistemi a molti corpi alla fisica della particelle D4: capacità di comunicare i contenuti appresi con la terminologia appropriata, in particolare apprendere il linguaggio e i termini tecnici della teoria dei campi perturbativa D5: capacità di affrontare indipendentemente i libri di testo e gli articoli di teoria dei campi
<i>Propedeuticità</i>	Teoria dei Campi I
<i>Prerequisiti</i>	Simmetrie e interazioni fondamentali
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Teoria dei Campi III
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	D1. Conoscere e padroneggiare tecniche avanzate di teorie di campo quantistiche, tra cui le teorie di gauge non-abeliane. In particolare, gli argomenti trattati saranno: integrale sui cammini per teorie di gauge, quantizzazione di Faddeev-Popov, simmetria BRST e relative identità di Ward, correzioni quantistiche e rinormalizzazione, funzione beta e libertà asintotica, operatori di linea e simmetrie generalizzate, aspetti topologici e istantoni, anomalie. D2. Applicare le conoscenze acquisite nello studio di generiche teorie di campo QDC-like con numero arbitrario di colori e di sapori. D3. Riconoscere e applicare le tecniche avanzate di teoria di campo e sapere riconoscere le situazioni in cui tali tecniche possono essere vantaggiosamente utilizzate. D4. Sapersi esprimere in modo appropriato, alla conclusione del corso, sui temi di teoria dei campi quantistica, con proprietà di linguaggio e sicurezza di esposizione. D5. Saper consultare, alla conclusione del corso, i manuali anche avanzati di teoria di campo. Saper approcciare la letteratura contemporanea su tale campo di ricerca.
<i>Propedeuticità</i>	Teoria dei Campi II
<i>Prerequisiti</i>	Conoscenze di base della teoria quantistica dei campi.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Teoria dei Gruppi
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	3
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	24 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>D1. Conoscere e padroneggiare tecniche di base di teoria dei gruppi e delle loro rappresentazioni, sia per quanto riguarda i gruppi discreti e finiti (gruppi ciclici e permutazioni) che i gruppi di Lie (e relative algebre di Lie).</p> <p>D2. Applicare le conoscenze acquisite nello studio di teoria dei gruppi in esempi fisici. In particolare i gruppi da maneggiare con maggior competenza saranno il gruppo delle rotazioni e il gruppo delle trasformazioni di Lorentz, nonché i gruppi speciali unitari.</p> <p>D3. Riconoscere e applicare le tecniche acquisite e sapere riconoscere le situazioni in cui tali tecniche possono essere vantaggiosamente utilizzate.</p> <p>D4. Sapersi esprimere in modo appropriato, alla conclusione del corso, sui temi di teoria dei gruppi, con proprietà di linguaggio e sicurezza di esposizione.</p> <p>D5. Saper consultare, alla conclusione del corso, i manuali anche avanzati di teoria dei gruppi.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Algebra lineare, Analisi matematica, Meccanica Lagrangiana e Hamiltoniana, Meccanica Quantistica.
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Teoria delle grandi deviazioni e gruppo di rinormalizzazione
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>Il corso si compone di 2 parti in cui vengono discusse le proprietà statistiche e critiche di sistemi fisici complessi.</p> <p>Nella prima parte verrà introdotta la teoria delle grandi deviazioni, che studia l'occorrenza di eventi rari in sistemi stocastici, ma anche in modelli di trasporto, in economia e nella teoria delle reti.</p> <p>Gli studenti apprenderanno il principio delle grandi deviazioni e la funzione caratterizzante degli eventi rari, chiamata funzione di Cramer.</p> <p>Verrà discusso l'uso di algoritmi con bias per valutare la probabilità di eventi rari, con valore molto diverso dal valore medio atteso.</p> <p>Il formalismo verrà applicato a specifici modelli di sistemi complessi, quali sistemi diffusivi e modelli di trasporto, ottimizzazione di portafogli finanziari, e modelli di clima.</p>

	<p>Nella seconda parte, lo studio delle fluttuazioni nei sistemi d'interesse sarà inquadrato nell'ambito delle tecniche di gruppo di rinormalizzazione (RG). Dopo avere esaminato misura e dimensione in una prospettiva RG, si introdurranno i concetti di similarità e invarianza di scala, applicandoli a frattali random.</p> <p>Si passerà poi a studiare con tecniche RG la percolazione e semplici sistemi dinamici, e in seguito la somma di variabili random indipendenti identicamente distribuite, ricavando con il formalismo RG il teorema del limite centrale. Si passerà poi ad esaminare sistemi nonlineari sottoposti a rumore random e applicazioni alla trattazione della turbolenza.</p> <p>Nella parte finale il formalismo RG verrà applicato allo studio dei fenomeni critici di modelli di meccanica statistica quali il modello di Ising e sue varianti, dapprima usando tecniche di RG in spazio reale e dei momenti, e in conclusione presentando il cosiddetto formalismo funzionale del RG.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Teoria delle Stringhe
<i>SSD</i>	FIS/02
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	
<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>L'insegnamento è finalizzato all'introduzione alla teoria delle stringhe, dal suo sviluppo nell'ambito dei modelli duali in fisica nucleare sino all'attuale ruolo di teoria candidata a una descrizione unificata delle interazioni fondamentali. Il corso verterà sullo studio della dinamica di oggetti estesi relativistici, e della loro quantizzazione. Infine, ci saranno alcuni cenni alle Superstringhe, alle relazioni di dualità e altri argomenti attualmente oggetto di ricerca in fisica teorica fondamentale.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Teoria dei Campi I e II, Relatività Generale I
<i>Articolazione in moduli</i>	

<i>Attività Formativa</i>	Transizioni di Fase e Fenomeni Critici
<i>SSD</i>	FIS/03
<i>CFU</i>	6
<i>Codice</i>	374SM

<i>Tipologia Didattica</i>	48 h (A+E)
<i>Obiettivi specifici</i>	<p>D1. Conoscenza e capacità di comprensione. Il corso darà un quadro degli aspetti più importanti della fenomenologia delle transizioni di fase e dei fenomeni critici in sistemi termodinamici e della loro descrizione teorica attraverso l'approfondimento dei concetti rilevanti di termodinamica e meccanica statistica.</p> <p>D2. Capacità di applicare conoscenza e comprensione. Alla fine del corso gli studenti sapranno utilizzare con completa autonomia il formalismo termodinamico e le teorie di base per la descrizione di transizioni di fase e fenomeni critici. Saranno inoltre in grado di comprendere articoli recenti su tali argomenti..</p> <p>D3. Autonomia di giudizio. Al termine del Corso gli studenti avranno sviluppato la capacità di valutare l'adeguatezza di teorie di meccanica statistica per la descrizione di transizioni di fase, anche alla luce dei vincoli sperimentali.</p> <p>D4. Abilità comunicative. Gli studenti raggiungeranno sufficiente competenza nell' uso del linguaggio tecnico. Inoltre avranno sviluppato la capacità di descrivere gli aspetti rilevanti e i limiti delle teorie ed approssimazioni.</p> <p>D5. Capacità di apprendimento Alla fine del Corso gli studenti saranno in grado di accedere alla letteratura rilevante e estendere autonomamente le proprie conoscenze.</p>
<i>Propedeuticità</i>	
<i>Prerequisiti</i>	Contenuti dei corsi standard della laurea triennale in Fisica
<i>Articolazione in moduli</i>	

Approvato nel CdLMI del 01-02-2024

TABELLA DELLE PROPEDEUTICITÀ FORMALI

PROPEDEUTICITÀ	
Primo insegnamento	Secondo insegnamento
Relatività Generale I o Onde Gravitazionali	Astrofisica degli Oggetti Compatti
Relatività Generale I o Onde Gravitazionali	Cosmologia I
Teoria dei Campi I	Teoria dei Campi II
Teoria dei Campi II	Teoria dei Campi III

Approvato dal Consiglio di Corso di Laurea il 1/02/2024