

## REGOLAMENTO DIDATTICO DEL CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN FISICA (CLASSE LM 17 - FISICA)

Il presente Regolamento disciplina gli aspetti organizzativi del Corso di laurea magistrale in Fisica (LM-17) ed è pubblicato sul sito *web* del Dipartimento di Matematica e Fisica.

Anno accademico da cui il Regolamento ha decorrenza: **a.a. 2021/2022.**

Data di approvazione del Regolamento: 13 luglio 2021

Struttura didattica responsabile: Dipartimento di Matematica e Fisica

Organo didattico cui è affidata la gestione del corso: Commissione Didattica per i Corsi di Studio in Fisica.

### Indice

Art. 1 - Obiettivi formativi specifici del corso e descrizione del percorso formativo.....	1
Art. 2 - Profilo professionale e sbocchi occupazionali e professionali previsti per i laureati.....	2
Art. 3 - Conoscenze richieste per l'accesso e requisiti curriculari.....	4
Art. 4 - Modalità di ammissione.....	4
Art. 5 - Abbreviazioni di corso per trasferimento, passaggio, reintegro, riconoscimento di attività formative, conseguimento di un secondo titolo di studio.....	5
Art. 6 - Organizzazione della didattica.....	5
Art.7 - Articolazione del percorso formativo.....	7
Art. 8 - Piano di studio.....	13
Art. 9 - Mobilità internazionale.....	14
Art. 10 - Caratteristiche della prova finale.....	15
Art. 11- Modalità di svolgimento della prova finale.....	15
Art. 12 - Valutazione della qualità delle attività formative.....	16
Art.13 - Servizi didattici propedeutici o integrativi.....	17
Art. 14 - Altre fonti normative.....	17
Art. 15 - Validità.....	18

### **Art. 1 - Obiettivi formativi specifici del corso e descrizione del percorso formativo**

Il Corso di Laurea Magistrale in Fisica è volto a fornire una preparazione avanzata in Fisica che include gli aspetti più recenti della ricerca fondamentale e/o applicata nella fisica moderna, sperimentale e teorica.

Gli obiettivi formativi del corso intendono far acquisire al/la laureato/a magistrale avanzate conoscenze specifiche in uno o più settori della fisica moderna, un'approfondita comprensione del metodo di indagine scientifico, la capacità di analizzare dati e di elaborare modelli interpretativi

fisico-matematici, una dettagliata conoscenza degli strumenti di indagine di laboratorio, matematici e informatici.

Il Corso è articolato in differenti curricula, con l'obiettivo formativo dell'approfondimento degli argomenti appartenenti all'ambito di specializzazione prescelto; questo avviene con la scelta di esami fondamentali per ciascun curriculum ed esami complementari. La presenza di questi due livelli, uno più generale e uno più specialistico, permette di mantenere una dimensione culturale allargata e, allo stesso tempo, di permettere un'esperienza di tesi e di tirocinio efficace, con la partecipazione attiva e consapevole dello/a studente/ssa a temi avanzati della ricerca. In questo quadro la specializzazione è la declinazione di una necessità formativa comune del Corso di Laurea. Il corso di laurea magistrale è diviso in tre parti.

La prima è comune a tutti i curricula e risponde agli obiettivi formativi dell'approfondire e consolidare le nozioni di base relative alla fisica sperimentale, alla fisica teorica, alla microfisica e struttura della materia ed ai metodi matematici della fisica.

Nella seconda parte il corso di studi si divide in sei curricula che completano la preparazione dello/a studente/ssa.

Cinque curricula sono legati alle principali linee di ricerca in Fisica presenti nel nostro Ateneo

- Astrofisica e Cosmologia;
- Fisica della Materia;
- Fisica Nucleare e Subnucleare;
- Fisica Teorica (Percorso di Fisica delle Particelle Elementari, oppure Percorso di Fisica della Materia);
- Fisica Terrestre e dell'Ambiente.

A questi si unisce un Curriculum Didattico, anch'esso articolato in un doppio percorso meglio specificato in seguito, pensato anche per gli aspiranti docenti delle scuole secondarie, che consente l'acquisizione di 24 crediti formativi universitari nelle discipline antropo-psico-pedagogiche e nelle metodologie e tecnologie didattiche, così permettendo di accedere (secondo la normativa vigente) ai concorsi per l'insegnamento nella scuola.

Obiettivo formativo specifico dei singoli curricula è l'approfondimento di argomenti del settore di specializzazione prescelto, tramite esami fondamentali per ciascun curriculum ed esami complementari da scegliere.

Gli intervalli di crediti previsti per i differenti possibili percorsi formativi sono determinati perché vi sia il giusto equilibrio tra il numero di crediti dedicati agli insegnamenti comuni e quelli per insegnamenti specialistici.

I percorsi si arricchiscono di contenuti attraverso la scelta di insegnamenti affini divisi in tre gruppi: uno generale fisico-matematico, uno geofisico ed uno dedicato alla preparazione scientifico-pedagogica degli aspiranti docenti della scuola secondaria.

Nella terza parte il percorso formativo si conclude con l'attività di tirocinio, che può svolgersi in laboratori dell'Università o di enti di ricerca o in aziende, e con la preparazione della prova finale.

## **Art. 2 - Profilo professionale e sbocchi occupazionali e professionali previsti per i laureati**

**Funzione in un contesto di lavoro:** i/le laureati/e magistrali in Fisica trovano occupazione nei più svariati settori della ricerca pura e applicata o svolgono funzioni di elevata responsabilità nelle attività professionali che implicano l'impiego di metodologie avanzate e innovative.

Gli ambiti professionali tipici dei/delle laureati/e magistrali in Fisica sono la promozione e lo sviluppo dell'innovazione scientifica e tecnologica; la gestione e progettazione di nuove tecnologie in ambiti correlati con le discipline fisiche, 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 teorici, sperimentali e applicativi della fisica classica e moderna.

Con le competenze di base e specialistiche acquisite, i/le laureati/e si caratterizzano per la loro capacità di affrontare problemi nuovi e complessi in molteplici ambiti.

La funzione tipica di un/a laureato/a magistrale in fisica nel contesto lavorativo è quella di svolgere ricerca in modo professionale, utilizzando moderne strumentazioni di misura, tecniche avanzate di analisi, sofisticati strumenti matematici e informatici di supporto e sviluppando modelli fisico-matematici volti ad una comprensione approfondita e quantitativa dei processi oggetto di studio. I/le laureati/e magistrali in Fisica possono assumere funzioni di tipo organizzativo, gestionale o progettuale nelle aziende pubbliche o private in molteplici ambiti, con prospettive di livello dirigenziale.

Possono altresì optare per continuare la propria formazione scientifica proseguendo gli studi in un corso di Dottorato di Ricerca in Fisica.

**Competenze associate alla funzione:** tra le principali competenze associate alla funzione ed acquisite nel corso di studi vi è una conoscenza approfondita e critica dei campi principali della fisica sperimentale e teorica, una familiarità con l'utilizzo degli strumenti matematici e informatici, una capacità di sintetizzare ed analizzare criticamente dati anche di grandi dimensioni, una dettagliata conoscenza delle tecniche di laboratorio e/o delle tecniche numeriche, una buona conoscenza della lingua inglese, l'abitudine a lavorare in gruppo e ad operare in un contesto internazionale.

**Sbocchi occupazionali:** i/le laureati/e Magistrali in Fisica trovano occupazione:

- presso centri di ricerca e sviluppo e laboratori, sia pubblici che privati;
- in industrie con caratteristiche di spiccata innovazione, principalmente elettroniche, informatiche, meccaniche, ottiche;
- in attività legate allo sviluppo e alla gestione di sistemi operativi e manageriali, di software, di sistemi finanziari, di sistemi di acquisizione e trattamento dati;
- in ambito sanitario e di prevenzione dei rischi (umano, ambientale e delle cose), nella radioprotezione e nell'applicazione alla medicina di tecnologie sviluppate per la ricerca fondamentale;
- in attività negli ambiti della fisica terrestre, delle previsioni meteorologiche, del controllo ambientale, della conservazione dei beni culturali, delle tecniche di datazione;
- in attività di divulgazione ad alto livello della cultura scientifica.

I/le laureati/e in possesso dei crediti previsti dalla normativa vigente potranno partecipare alle prove d'accesso ai percorsi di formazione del personale docente per le scuole secondarie di primo e secondo grado.

Un numero significativo di laureati/e magistrali in Fisica prosegue il percorso formativo a livello del Dottorato di Ricerca, sia in Italia che all'estero

Il corso prepara alla professione di Fisici - (codice ISTAT 2.1.1.1.1)

### **Art. 3 - Conoscenze richieste per l'accesso e requisiti curriculari**

Le conoscenze richieste per l'accesso alla Laurea Magistrale in Fisica sono quelle acquisibili con una laurea di primo livello nella classe di laurea Scienze e Tecnologie Fisiche.

Coloro che provengono da corsi di laurea di classi differenti potranno essere ammessi se dimostreranno di avere acquisito adeguate conoscenze e competenze nei settori scientifico disciplinari che caratterizzano la Laurea Magistrale in Fisica.

Specificatamente, per accedere alla Laurea Magistrale in Fisica è necessario che i/le laureati/e siano in possesso dei seguenti requisiti curriculari:

- 25 CFU nelle discipline matematiche e informatiche (SSD: MAT/xx, INF/01 e ING-INF/05);
- 45 CFU nelle discipline fisiche (SSD FIS/xx).

È inoltre richiesta una conoscenza della lingua Inglese di livello almeno B1.

L'adeguata preparazione personale dei/delle laureati/e in possesso dei requisiti di titolo di accesso e curriculari di cui sopra viene accertata sulla base di una valutazione del curriculum pregresso e di un eventuale colloquio orale.

### **Art. 4 - Modalità di ammissione**

L'ammissione al corso di Laurea Magistrale in Fisica prevede il possesso di requisiti specifici. La mancanza di uno o più requisiti può in alcuni casi essere superata con la frequenza di corsi singoli e il superamento del relativo esame di profitto da sostenersi prima della data ultima di scadenza per l'immatricolazione.

I requisiti curriculari minimi sono i seguenti:

- Laurea in Fisica (classe 25 o classe L-30) o, ai sensi del punto 3 lettera e) dell'allegato 1 al D.M. 26 Luglio 2007, altre Lauree triennali che consentano l'acquisizione di almeno:
  - 25 C.F.U. nelle discipline matematiche e informatiche (SSD: MAT/01, MAT/02, MAT/03, MAT/04, MAT/05, MAT/06, MAT/07, MAT/08, MAT/09, INF/01 e ING-INF/05);
  - 45 C.F.U. nelle discipline fisiche (SSD FIS/01, FIS/02, FIS/03, FIS/04, FIS/05, FIS/06, FIS/07 FIS/08).

Le conoscenze di Matematica devono includere la geometria e l'algebra lineare, il calcolo differenziale e integrale ed elementi di analisi complessa. Quelle di Fisica devono includere la Fisica classica (meccanica, termodinamica ed elettromagnetismo), la meccanica quantistica non relativistica, la fisica della materia e la fisica nucleare e subnucleare. Sono inoltre richieste competenze di laboratorio di fisica comprensive anche di capacità di trattamento di dati mediante strumenti informatici. È inoltre richiesta una conoscenza della lingua Inglese di livello almeno B1.

Chi intende immatricolarsi al corso di Laurea Magistrale in Fisica acclude alla domanda i dettagli sulla Laurea conseguita con l'elenco di tutte le attività formative, dei voti e C.F.U. conseguiti. Nel caso di laurea conseguita diversa da quella in Fisica occorre indicare i programmi dettagliati degli argomenti trattati negli esami sostenuti.

L'adeguata preparazione dei/delle laureati/e in possesso dei requisiti di titolo di accesso e curriculari di cui sopra, viene verificata dall'apposita Commissione, nominata dalla Commissione Didattica di Fisica, primariamente sulla base del curriculum di studi presentato con la domanda di valutazione. In caso di possesso di Laurea triennale diversa da Fisica, la commissione può richiedere di sostenere un colloquio per verificare la congruità del percorso precedente con i requisiti curriculari.

Il bando rettorale di ammissione al corso di studio contiene i posti riservati a cittadini/e extracomunitari/e o Marco Polo, le disposizioni relative l'ammissione al corso di laurea magistrale, con riferimento in particolare alle procedure di iscrizione e alle scadenze, la valutazione e le modalità di pubblicazione degli esiti.

**Art. 5 - Abbreviazioni di corso per trasferimento, passaggio, reintegro, riconoscimento di attività formative, conseguimento di un secondo titolo di studio**

Il curriculum didattico dello/a studente/ssa sarà valutato da una Commissione appositamente incaricata per l'ammissione al Corso di laurea Magistrale.

Sulla base della valutazione, si può essere ammessi direttamente oppure sotto condizione, ossia con richiesta di acquisire specifici requisiti curriculari attraverso la frequenza di uno o più corsi singoli e il superamento dei relativi esami prima di poter perfezionare l'immatricolazione.

Nel caso di superamento dei requisiti minimi previsti e di cui all'art. 3 e 4, la Commissione Didattica di Fisica, sulla base della documentazione presentata, riconosce i CFU acquisiti precedentemente. Tali CFU devono risultare compatibili con l'Offerta Formativa del Corso di Laurea Magistrale in Fisica per l'anno in corso in base all'affinità metodologica/culturale e ai contenuti degli insegnamenti ad essi corrispondenti e si viene quindi ammessi all'anno di corso corrispondente.

**Art. 6 - Organizzazione della didattica**

Per il conseguimento del titolo di Laurea Magistrale in Fisica occorre acquisire un totale di 120 Crediti Formativi Universitari (CFU).

Per il conseguimento del titolo di laurea Magistrale in Fisica occorre sostenere:

- 11 o 12 esami di profitto per un totale di 80 CFU (in base al curriculum scelto);
- idoneità di lingua inglese livello B2 (4 CFU);
- tirocinio/stage (6 CFU)
- prova finale (30 CFU).

Il Corso di laurea Magistrale in Fisica prevede le seguenti tipologie di attività formative:

- lezioni frontali in aula;
- esercitazioni in aula;
- esercitazioni in laboratorio;
- esercitazioni in laboratorio con attività di elaborazione dati;
- corsi di lettura;
- seminari;
- tirocini;
- stage formativi.

La Commissione didattica per i corsi di studio in Fisica può individuare forme di apprendimento da svolgersi in modalità a distanza in luogo:

- delle attività formative previste in presenza nell'ambito dei singoli insegnamenti;
- delle attività di cui all'art. 10, comma 5, lettere d) ed e) del DM n. 270/2004.

Ad ogni attività formativa corrisponde un numero di Crediti Formativi Universitari (CFU). La quantità media di lavoro di apprendimento svolto in un anno dallo/a studente/ssa, impegnato a tempo pieno negli studi universitari e in possesso di adeguata preparazione iniziale, è convenzionalmente fissata in 60 crediti.

Almeno il 50% dell'impegno orario complessivo viene riservato allo studio personale o ad altre attività formative di tipo individuale. La coerenza tra crediti assegnati alle varie attività formative ed ai relativi insegnamenti e gli specifici obiettivi formativi programmati viene deliberata dal Consiglio di Dipartimento, previo lavoro istruttorio della Commissione Didattica del Corso di Laurea in Fisica. Il valore in crediti associato ad ogni attività didattica (lezioni, esercitazioni, esercitazioni di laboratorio, lavoro sperimentale e pratico, seminari, tirocini, elaborati, prove idoneative, attività di studio guidata ed individuale, altre attività di formazione) viene riportato nel seguente Regolamento. Ogni credito corrisponde a 8-12,5 ore complessive di attività didattica, a seconda dell'insegnamento.

L'attività di tirocinio/stage è un lavoro che lo/la studente/essa svolge sotto la guida di un/a docente sia in ambito universitario, sia presso Enti Esterni convenzionati con l'Ateneo.

L'attività di tirocinio/Stage ha la validità di un esame di profitto a cui viene attribuito un voto in trentesimi e 6 CFU e viene pertanto conteggiata nella media finale.

Tutti gli insegnamenti prevedono un ciclo di lezioni frontali svolte dal/la docente titolare, a cui si può aggiungere un numero variabile di ore di esercitazioni (didattica integrativa), svolte in parte dal docente stesso e in parte, eventualmente, da un diverso docente (esercitatore). Il numero di ore delle esercitazioni varia a seconda dell'insegnamento. Per il conseguimento dei crediti relativi a ciascuna attività didattica è prevista una prova di valutazione del profitto (esame). Tutte le prove di valutazione del profitto delle attività formative comportano un voto, tranne quelle finalizzate alle conoscenze linguistiche (attività formative relative all'art.10, comma 5c del DM 270/2004).

Per ogni anno accademico, gli esami si svolgono in tre periodi coincidenti con periodi di interruzione delle attività di insegnamento. I calendari delle prove di valutazione del profitto vengono resi noti con un congruo anticipo rispetto all'inizio degli appelli, nel rispetto delle disposizioni del Regolamento Didattico d'Ateneo. Di norma, per ogni anno accademico, gli appelli sono distribuiti in tre sessioni: una prima sessione (periodo gennaio-febbraio), una seconda sessione (periodo giugno-luglio) e una terza sessione (settembre). Per ciascuna attività didattica sono previsti annualmente cinque appelli distribuiti nelle suddette sessioni di esame. Per alcune attività didattiche la Commissione Didattica può fissare un appello aggiuntivo straordinario (appelli laureandi), riservati a coloro che non si siano iscritti all'anno accademico in corso e che intendano laurearsi entro l'ultima sessione di laurea utile per il loro a.a. di ultima iscrizione; e devono presentare esplicitamente una domanda di attivazione dell'appello e di ammissione allo stesso.

I requisiti di ammissione e agli esami di profitto sono disciplinati dal Regolamento Carriera.

Di norma, la valutazione del profitto avviene attraverso un esame finale che si articola in due parti, una scritta e una orale. Per alcuni insegnamenti possono essere previste altre forme di valutazione del profitto (ad esempio, prove di laboratorio, seminari, prove parziali in itinere, esercitazioni scritte

in itinere, etc.), secondo modalità che sono fissate dal/la docente in accordo con la struttura didattica e, qualora non siano già descritte nella scheda online dell'insegnamento e negli Allegati 1 e 2, sono comunque pubblicizzate dal/la docente nella pagina web dell'insegnamento all'inizio delle lezioni. Nel caso di prove parziali in itinere, nell'esame finale potrà essere formalizzata la valutazione del profitto avvenuta attraverso tali prove.

Le prove di esame si svolgono secondo le modalità indicate dalla Commissione competente. Le commissioni di esame esprimono il voto in trentesimi, a parte gli insegnamenti per i quali il regolamento del corso di studio prevede la sola idoneità. La Commissione può attribuire la lode solo all'unanimità. Nel caso di insegnamenti costituiti da più moduli, i docenti titolari dei singoli moduli sono tutti membri della commissione.

Il Regolamento Didattico d'Ateneo disciplina le modalità di svolgimento e di verbalizzazione dell'esame di profitto e la normativa riguardante la composizione delle commissioni per gli esami di profitto.

La nomina a cultore della materia, quale eventuale membro della commissione d'esame di profitto, è deliberata dalla Commissione Didattica per i corsi di studio in Fisica (su delega del Dipartimento) ed è disciplinata nel rispetto del Regolamento didattico d'Ateneo. Inoltre, la Commissione didattica per i corsi di studio in Fisica definisce che il cultore della materia proposto deve aver conseguito la Laurea Magistrale o Magistrale a Ciclo Unico da almeno tre anni accademici, con votazione minima di 100/110 e aver prodotto almeno due pubblicazioni a carattere scientifico, attinenti al settore scientifico disciplinare dell'insegnamento per il quale viene richiesta la qualifica negli ultimi 3 anni. La nomina a cultore della materia non è compatibile con la frequenza di un dottorato di ricerca.

Le modalità organizzative per studenti/studentesse con disabilità, caregiver, part-time, lavoratori/trici, persone sottoposte a misure restrittive della libertà personale e altre specifiche categorie sono regolamentate dal Regolamento carriera, relativo alla tutela per specifiche categorie di studenti e studentesse.

#### **Art.7 - Articolazione del percorso formativo**

Al fine di fornire una elevata formazione specialistica sia culturale sia professionale in campi specifici della fisica, la Laurea Magistrale prevede un approfondimento delle conoscenze generali della fisica di base ed una successiva articolazione in sei differenti curricula che forniscono al laureato una preparazione atta ad acquisire competenze negli argomenti di ricerca fondamentale ed applicata della Fisica nei quali il Dipartimento di Matematica e Fisica ha linee di ricerca attive:

**1. Astrofisica e Cosmologia**

**2. Fisica della Materia**

**3. Fisica Nucleare e Subnucleare**

**4. Fisica Teorica**

- indirizzo Fisica delle particelle Elementari
- indirizzo Fisica della Materia

**5. Fisica Terrestre e dell'Ambiente**

**6. Didattico**

- indirizzo per la scuola secondaria di secondo grado, classi A-20 Fisica e A-27 Matematica e Fisica

- indirizzo per la scuola secondaria di primo o secondo grado, classi A-20 Fisica, A-27 Matematica e Fisica e A-28 Matematica e Scienze).

Gli insegnamenti della laurea magistrale forniscono il completamento della cultura di base in Fisica Classica e in Fisica Moderna e consentono al/la laureato/a sia di perfezionare le sue capacità scientifiche e professionali sia di inserirsi in attività lavorative che richiedono familiarità con il metodo scientifico, mentalità aperta e flessibile, predisposta al rapido apprendimento di metodi di indagine e di tecnologie innovative, e capacità di utilizzare attrezzature complesse.

Il Corso di Laurea Magistrale in Fisica, per quanto riguarda le conoscenze linguistiche (“altre attività formative” relative all’art.10, comma 5c del DM 270/2004), prescrive la conoscenza della lingua inglese. Per tale finalità, si avvale del supporto del Centro Linguistico di Ateneo (CLA), il quale pianifica corsi di supporto al superamento di una prova di idoneità. In particolare, per quanto riguarda la lingua inglese viene richiesta una conoscenza di livello europeo B2. L’idoneità linguistica comporta **4 CFU**.

I crediti relativi alla conoscenza della lingua inglese possono essere riconosciuti dalla Commissione Didattica di Fisica anche sulla base di certificazioni rilasciate da strutture interne o esterne all’Ateneo, definite specificatamente competenti dall’Ateneo stesso.

L’attività di tirocinio/stage è un lavoro che lo studente svolge sotto la guida di un docente sia in ambito universitario, sia presso Enti Esterni convenzionati con l’Ateneo.

L’attività di tirocinio/Stage ha la validità di un esame di profitto a cui viene attribuito un voto in trentesimi e 6 CFU e pertanto conteggiato nella media finale.

L’offerta didattica, per ogni curriculum, è così articolata:

<b><u>ASTROFISICA E COSMOLOGIA</u></b>					
<b>Anno e semestre</b>	<b>Insegnamento</b>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>	<b>Caratterizzante</b>	<b>Affine &amp; integrativo</b>
I-1sem	Fisica sperimentale delle interazioni fondamentali	FIS/01	8	8	
I-1sem	Fisica della Materia Condensata	FIS/03	8	8	
I-1sem	Fisica Teorica I	FIS/02	8	8	
I-2sem	Complementi di Metodi Matematici della Fisica	FIS/02	6	6	
I-2sem	Elementi di relatività generale, astrofisica e cosmologia	FIS/05	6	6	
I-2sem	Astrofisica Generale	FIS/05	6	6	
I-2sem	Astrofisica Stellare	FIS/05	6	6	
I-2sem	Astrofisica Extragalattica	FIS/05	6	6	
II-1sem	Cosmologia	FIS/05	8		8
II-1sem	Astrofisica delle Alte Energie	FIS/05	6		6

2 <sup>a</sup> libera scelta			12		
------------------------------------	--	--	----	--	--

<b><u>FISICA DELLA MATERIA</u></b>					
Anno e semestre	Insegnamento	SSD	CFU	Caratterizzante	Affine & integrativo
I-1sem	Fisica sperimentale delle interazioni fondamentali	FIS/01	8	8	
I-1sem	Fisica della Materia Condensata	FIS/03	8	8	
I-1sem	Fisica Teorica I	FIS/02	8	8	
I-2sem	Complementi di Metodi Matematici della Fisica	FIS/02	6	6	
I-2sem	Fondamenti di Microscopia con Laboratorio	FIS/03	6	6	
I-2sem	Complementi di Fisica della Materia Condensata	FIS/03	9	9	
I-2sem	Teoria Quantistica della Materia	FIS/03	8	8	
II-1sem	Metodi Sperimentali di Struttura della Materia	FIS/03	9		9
II-1sem	Scelta fra due: Fisica delle Nanostrutture <b>oppure</b> Fisica delle Superfici e Interfacce	FIS/03	6		6
2 <sup>a</sup> libera scelta			12		

<b><u>FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE</u></b>					
Anno e semestre	Insegnamento	SSD	CFU	Caratterizzante	Affine & integrativo
I-1sem	Fisica sperimentale delle interazioni fondamentali	FIS/01	8	8	
I-1sem	Fisica della Materia Condensata	FIS/03	8	8	
I-1sem	Fisica Teorica I	FIS/02	8	8	
I-2sem	Complementi di Metodi Matematici della Fisica	FIS/02	6	6	
I-2sem	Scelta fra due: Elementi di relatività generale, astrofisica e cosmologia <b>oppure</b> Elementi di Fisica Terrestre e dell'Ambiente	FIS/05	6		6

I-2sem	Fisica delle particelle elementari, Mod.A+B	FIS/04	12	12	
I-2sem	Fisica Teorica 2	FIS/02	6		6
II-1sem	Laboratorio di Fisica Subnucleare	FIS/04+ FIS/01	8	8	
3 <sup>a</sup> libera scelta			18		

**FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE**

Anno e semestre	Insegnamento	SSD	CFU	Caratterizzante	Affine & integrativo
I-1sem	Fisica sperimentale delle interazioni fondamentali	FIS/01	8	8	
I-1sem	Fisica della Materia Condensata	FIS/03	8	8	
I-1sem	Fisica Teorica I	FIS/02	8	8	
I-2sem	Complementi di Metodi Matematici della Fisica	FIS/02	6	6	
I-2sem	Elementi di Fisica Terrestre e dell'Ambiente	FIS/06 FIS/07	6	6	
I-2sem	Meccanica dei Mezzi Continui in Fisica Terrestre e dell'Ambiente	FIS/06	6		6
I-2sem	Fisica Terrestre	FIS/06	6	6	
I-2sem	Fisica dell'Ambiente	FIS/07	6		6
II-1sem	Metodi Sperimentali della Geofisica	FIS/06	8	8	
3 <sup>a</sup> libera scelta			18		

**FISICA TEORICA**

indirizzo Fisica delle Particelle Elementari

Anno e semestre	Insegnamento	SSD	CFU	Caratterizzante	Affine & integrativo
I-1sem	Fisica sperimentale delle interazioni fondamentali	FIS/01	8	8	
I-1sem	Fisica della Materia Condensata	FIS/03	8	8	
I-1sem	Fisica Teorica I	FIS/02	8	8	

I-2sem	Complementi di Metodi Matematici della Fisica	FIS/02	6	6	
I-2sem	Elementi di Relatività Generale, Astrofisica e Cosmologia	FIS/05	6	6	
I-2sem	Fisica Teorica II	FIS/02	6	6	
I-2sem	Fisica delle Particelle Elementari, Mod.A	FIS/04	6	6	
I-2sem	Elementi di Fisica Terrestre e dell'Ambiente <b>oppure</b> uno qualsiasi degli insegnamenti "affini" (curricolari) del 1° anno, 2° semestre degli altri curricula	FIS/XX	6		6
II-1sem	Fisica delle Interazioni Fondamentali	FIS/02	8	8	
II-1sem	Teoria della Relatività	FIS/02	6		6
2 a libera scelta			12		

<b>FISICA TEORICA</b> indirizzo Fisica della Materia					
Anno e semestre	Insegnamento	SSD	CFU	Caratterizzante	Affine & integrativo
I-1sem	Fisica sperimentale delle interazioni fondamentali	FIS/01	8	8	
I-1sem	Fisica della Materia Condensata	FIS/03	8	8	
I-1sem	Fisica Teorica I	FIS/02	8	8	
I-2sem	Complementi di Metodi Matematici della Fisica	FIS/02	6	6	
I-2sem	Reti Complesse	FIS/03	6	6	
I-2sem	Complementi di Fisica della Materia Condensata	FIS/03	6		6
I-2sem	Teoria Quantistica della Materia	FIS/03	6	6	
I-2sem	Scelta fra tre: Fisica Teorica II <b>oppure</b> Elementi di Fisica Terrestre e dell'Ambiente <b>oppure</b> Elementi di Relatività Generale, Astrofisica e Cosmologia	FIS/XX	6		6
II-1sem	Meccanica Statistica	FIS/02	8	8	
II-1sem	Fisica dei Liquidi e della Materia Soffice	FIS/03	6	6	

2 <sup>a</sup> libera scelta			12		
------------------------------------	--	--	----	--	--

<b>DIDATTICO</b> indirizzo per la scuola secondaria di secondo grado (classi A-20 Fisica, A-27 Matematica e Fisica)					
Anno e semestre	Insegnamento	SSD	CFU	Caratterizzante	Affine & integrativo
I-1sem	Fisica sperimentale delle interazioni fondamentali	FIS/01	8	8	
I-1sem	Fisica della Materia Condensata	FIS/03	8	8	
I-1sem	Fisica Teorica I	FIS/02	8	8	
I-2sem	Complementi di Metodi Matematici della Fisica	FIS/02	6	6	
I-2sem	Elementi di Relatività Generale, Astrofisica e Cosmologia	FIS/05	6	6	
I-2sem	Elementi di Fisica Terrestre e dell'Ambiente	FIS/06+FIS/07	6	6	
I-2sem	Didattica della Fisica	FIS/08	8	8	
I-2sem	Didattica della Matematica (MC420)	MAT/04	6		6
I-2sem	Libera scelta 1 corso da 6CFU (M-PED/M-PSI/M-DEA/01)		6		
II-1sem	Libera scelta 2 corsi da 6CFU (M-PED/M-PSI/M-DEA/01)		12		
II-1sem	Libera scelta 1 corso da 6CFU del I sem della LM Fisica	FIS/XX	6		6

<b>DIDATTICO</b> indirizzo per la scuola secondaria di primo o secondo grado (classi A-20 Fisica, A-27 Matematica e Fisica + A-28 Matematica e Scienze)					
Anno e semestre	Insegnamento	SSD	CFU	Caratterizzante	Affine & integrativo
I-1sem	Fisica sperimentale delle interazioni fondamentali	FIS/01	8	8	
I-1sem	Fisica della Materia Condensata	FIS/03	8	8	
I-1sem	Fisica Teorica I	FIS/02	8	8	

I-2sem	Complementi di Metodi Matematici della Fisica	FIS/02	6	6	
I-2sem	Elementi di Relatività Generale, Astrofisica e Cosmologia	FIS/05	6	6	
I-2sem	Elementi di Fisica Terrestre e dell'Ambiente	FIS/06+FIS/07	6	6	
I-2sem	Didattica della Fisica	FIS/08	8	8	
I-2sem	Libera scelta 1 corso da 6CFU (M-PED/M-PSI/M-DEA/01)		6		
I-2sem	Elementi di Geologia II	GEO/03	6		6
II-1sem	Libera scelta 2 corsi da 6CFU (M-PED/M-PSI/M-DEA/01)		12		
II-1sem	Introduzione alla Biologia	BIO/13	6		6

Per una descrizione esaustiva dell'offerta didattica, inclusi gli obiettivi formativi, il numero di crediti e la tipologia, si rimanda agli elenchi delle attività formative attivate (Allegati 1 e 2) del presente Regolamento corrispondenti rispettivamente all'offerta didattica programmata e all'offerta didattica erogata.

### **Art. 8 - Piano di studio**

Il piano di studio è l'insieme delle attività didattiche che è necessario sostenere per raggiungere il numero di crediti previsti per il conseguimento del titolo finale.

La mancata presentazione e approvazione del piano di studio comportano l'impossibilità di prenotarsi agli esami, ad esclusione delle attività didattiche obbligatorie.

Il piano di studi deve essere presentato **entro il 30 gennaio** mediante compilazione on-line sul Portale dello studente.

Gli/le studenti/sse possono compilare un piano di studi standard proposto dal Corso di Laurea e non necessitano della successiva approvazione della Commissione Didattica di Fisica. I piani di studio diversi da quelli proposti necessitano invece dell'approvazione da parte della Commissione Didattica di Fisica nel rispetto dell'ordinamento didattico.

Nel caso di iscritti/e a seguito di trasferimento o che abbiano fatto richiesta di abbreviazione di carriera per conseguimento secondo titolo, e che abbiano avuto riconosciuti esami a libera scelta, la compilazione si effettua on line ma con il supporto della segreteria didattica.

La frequenza di attività didattiche in sovrannumero e l'ammissione ai relativi appelli di esame è consentita fino a un massimo di 9 CFU complessivi; oltre tale soglia è consentita esclusivamente tramite l'iscrizione a singoli insegnamenti, disciplinata dal Regolamento Carriera. Tali attività didattiche non sono comprese nel piano di studio e non concorrono al calcolo dei crediti e della media per il conseguimento del titolo. Lo/a studente/ssa può richiedere di sostituirle ad attività

formative già presenti nel proprio piano di studio secondo le modalità e le regole di modifica dei piani di studio previste nel presente articolo di Regolamento e con l'approvazione della Commissione Didattica di Fisica. Eventuali esami già sostenuti e sostituiti saranno collocati in sovrannumero al di fuori del piano di studio.

È possibile includere nel proprio piano di studio attività didattiche presenti nell'offerta di corsi di studio diversi da quello presso cui si è iscritti purché coerenti con il percorso formativo del Corso di Laurea Magistrale in Fisica. La verifica di tale coerenza verrà effettuata dalla Commissione Didattica di Fisica in sede di valutazione e approvazione del Piano di Studio.

Per chi è iscritto a tempo parziale (iscrizione part-time) la quantità massima di lavoro di apprendimento richiesta è disciplinata dal Regolamento Didattico di Ateneo, il Consiglio di Amministrazione può prevedere un ordinamento differenziato delle tasse universitarie per gli iscritti a tempo parziale.

Una volta scelto il regime di tempo parziale, occorre presentare ogni anno l'elenco degli insegnamenti prescelti per il relativo anno accademico e sottoporlo per l'approvazione alla Commissione Didattica di Fisica tra il 1 ottobre e il 31 marzo.

#### **Art. 9 - Mobilità internazionale**

Per studenti/sse iscritti al Corso di laurea Magistrale in Fisica è prevista la possibilità di effettuare un periodo di studio all'estero (programma Erasmus ed altri programmi di scambio), le cui informazioni sono consultabili sul sito web del Dipartimento di Matematica e Fisica nella sezione "Internazionale" – "Programmi di scambio e mobilità internazionale" e sul Portale dello Studente sezione "Mobilità internazionale".

Ogni anno accademico vengono emanati dei bandi che regolano la mobilità. Per tutto quanto concerne la mobilità internazionale, gli/le studenti/sse sono invitati a fare riferimento al coordinatore disciplinare Erasmus e per la mobilità internazionale.

Gli/le assegnatari/e di borsa di mobilità internazionale devono predisporre un *Learning Agreement* da sottoporre all'approvazione del docente coordinatore disciplinare obbligatoriamente prima della partenza. Il riconoscimento degli studi compiuti all'estero e dei relativi crediti avverrà in conformità con quanto stabilito dal Regolamento Carriera e dal Regolamento di Ateneo per gli accordi di cooperazione e la mobilità internazionale nell'ambito dei quali le borse di studio vengono assegnate.

All'arrivo a Roma Tre, gli /le studenti/sse in mobilità in ingresso presso il corso di studio devono sottoporre all'approvazione del docente coordinatore disciplinare il Learning Agreement firmato dal referente accademico presso l'università di appartenenza.

### **Art. 10 - Caratteristiche della prova finale**

La prova finale del Corso di Laurea Magistrale in Fisica consiste nella stesura di una tesi (in italiano o in inglese) elaborata in modo originale dallo/a studente/ssa con l'assistenza di almeno un/a docente (relatore/trice), eventualmente esterno al corso di studi. Nel caso in cui il relatore non faccia parte del personale del Dipartimento di Matematica e Fisica o degli Enti di ricerca che vi collaborano, può essere nominato anche un/a relatore/trice interno, scelto tra i docenti del Dipartimento.

La prova finale, a cui sono assegnati 30 CFU, consiste nell'esposizione di fronte alla commissione di laurea dei risultati conseguiti dal candidato nel lavoro di tesi.

Il lavoro di tesi è preceduto da un tirocinio/stage, a cui sono assegnati 6 CFU, finalizzato all'acquisizione delle competenze specifiche sulle più recenti tecniche sia sperimentali sia di calcolo elettronico e sia di analisi teorica utilizzate nei laboratori di ricerca, interni oppure esterni all'università, nei quali gli studenti svolgono la tesi.

Il Presidente della Commissione di Laurea nomina un contro-relatore/trice con il compito di verificare con congruo anticipo i dettagli del lavoro di tesi.

La discussione della tesi avviene in seduta pubblica davanti ad una commissione di docenti nominata dalla Commissione Didattica. Al termine della seduta si giunge alla valutazione complessiva, il voto di Laurea, che tiene conto dello svolgimento e originalità del lavoro di tesi, della discussione della tesi e della carriera scolastica del candidato nel biennio.

### **Art. 11- Modalità di svolgimento della prova finale**

Lo/a studente/ssa, ad almeno 60 CFU maturati negli esami di profitto, presenta una proposta di tesi alla Commissione Didattica indicando l'argomento e il relatore. Il lavoro di tesi può essere svolto anche presso un'istituzione universitaria o di ricerca esterna all'Ateneo. Nel caso in cui il/la relatore/trice non faccia parte del personale del Dipartimento di Matematica e Fisica e degli Enti di ricerca che vi collaborano, può essere nominato anche un/a relatore/trice interno scelto tra i docenti dello stesso Dipartimento.

Il/la docente interno/a svolge un ruolo attivo nella supervisione del lavoro svolto dal candidato, pertanto affianca il/la relatore/trice esterno/a nella correzione, nel chiarimento di dubbi e/o nella risoluzione di problematiche varie che dovessero insorgere durante lo svolgimento dello stesso.

Il/la relatore/trice interno/a si impegna a segnalare alla Commissione Didattica di Fisica ogni eventuale problematica rilevata.

La scelta di una lingua diversa da quella italiana e da quella inglese dovrà essere preliminarmente approvata dalla Commissione Didattica in Fisica.

La tesi di laurea deve essere redatta in formato pdf e su supporto magnetico almeno 15 giorni prima di sostenere l'esame di laurea, con un breve abstract (sunto di una pagina) che ne sintetizzi l'argomento e le conclusioni.

Il calendario degli esami di laurea è definito dalla Commissione Didattica di Fisica su proposta del Presidente della Commissione di laurea rispettando il calendario generale di Ateneo.

Il/la controrelatore/trice della tesi è nominato/a dal Presidente della commissione di laurea su tre docenti di materie di fisica indicati dal relatore della tesi. Il/la controrelatore/trice è nominato/a almeno 15 giorni prima della seduta.

La commissione di laurea è composta dal Presidente e da almeno sei membri, di cui almeno quattro del Dipartimento di Matematica e Fisica e, per quanto possibile, da un numero di componenti proporzionato al numero dei candidati.

La Commissione è integrata dai membri supplenti definiti ad ogni esame di laurea, in un numero massimo di tre. Il Presidente potrà invitare a partecipare alla seduta di laurea, uno o più esperti della materia, a solo titolo consultivo. La commissione è integrata, di volta in volta, dal relatore che ha seguito il lavoro del candidato e che non ne sia già membro, oppure, in caso di sua impossibilità, da un altro docente da questi formalmente delegato.

La Commissione di Laurea è proposta dal Presidente della stessa ed è nominata dal Presidente della Commissione Didattica.

Il Presidente della Commissione di Laurea resta in carica per tre anni accademici, eventualmente rinnovabili per ulteriori due anni accademici, ed è nominato dalla Commissione Didattica. La stessa Commissione nomina anche un presidente supplente. Il Presidente della Commissione definisce le date degli esami di laurea, presiede la riunione della Commissione, firma i verbali e le comunicazioni per la segreteria studenti e nomina il controrelatore per ogni tesi presentata.

In caso di indisponibilità del Presidente e del supplente, il ruolo di Presidente di Commissione di Laurea viene assunto dal Presidente della Commissione Didattica di Fisica o da altro docente della Sezione di Fisica da questi individuato.

La commissione valuterà tra 0 e 11 il lavoro di tesi svolto dallo/a studente/ssa sulla base dell'elaborato presentato, sulla base delle relazioni del relatore interno e del controrelatore e della presentazione fatta dallo/a studente/ssa in un seminario di 25 minuti circa. Alla valutazione del lavoro di tesi e del voto complessivo di laurea partecipano anche il/la relatore/trice ed il/la controrelatore/trice.

Il voto di laurea sarà deliberato dalla Commissione ed è dato dalla somma di:

- media pesata con i crediti delle votazioni riportate negli esami sostenuti;
- voto dell'esame di laurea.

La media pesata con i crediti degli esami sostenuti verrà calcolata in 110-mi dopo aver eliminato i 6 CFU in cui si è avuta la votazione minore. Gli esami superati con 30 e lode verranno considerati per una votazione pari a 31.

La lode sarà assegnata, a discrezione della Commissione, per lavori di tesi di livello considerato all'unanimità ottimo, a coloro che avranno raggiunto una votazione superiore o uguale a 114, e su espressa richiesta scritta da parte del relatore.

Le scadenze e gli adempimenti per la presentazione della domanda per il conseguimento del titolo sono disponibili [sul sito del Dipartimento](#) e sul [Portale dello Studente](#).

### **Art. 12 - Valutazione della qualità delle attività formative**

La Commissione didattica di Fisica, come coordinatrice delle attività didattiche, garantisce il monitoraggio periodico del Corso di Laurea e di Laurea Magistrale. Si riunisce con cadenza mensile, esaminando, oltre le questioni ordinarie conferitele con delega dal Consiglio di Dipartimento, l'andamento dell'attività didattica in corso d'anno attraverso l'analisi dei dati raccolti dal sistema di gestione della carriera degli studenti (CFU conseguiti, abbandoni, laureati) e suggerimenti presentati

dagli studenti e dai docenti. Infatti, in ragione proprio del costante lavoro di monitoraggio che svolgono, i componenti della Commissione Didattica fanno parte dei Gruppi di Riesame per la redazione della Scheda di Monitoraggio Annuale e del Rapporto di Riesame Ciclico. È data inoltre la possibilità ai rappresentanti degli studenti, su richiesta degli stessi, di far parte della Commissione Didattica in qualità di membri effettivi.

Data la vastità delle azioni da programmare, attuare e monitorare, i lavori sono suddivisi tra i vari componenti della stessa e da sottocommissioni a carattere più operativo, che aggiornano periodicamente gli altri membri della commissione sugli sviluppi delle azioni intraprese o che si deve intraprendere e deliberare, in particolare per quanto attiene:

- il regolamento didattico, il calendario didattico e l'orario delle lezioni;
- valutazione dei piani di studio presentati dagli studenti;
- l'orientamento, interagendo con il Gruppo di Orientamento del Dipartimento;
- le azioni comuni tra i corsi di studi del Dipartimento di Matematica e Fisica: mutuaioni, allineamento del calendario didattico ed in generale tutte le azioni che possano armonizzare ed ottimizzare i corsi di studio;
- le iniziative rivolte alle scuole superiori e il Piano Lauree Scientifiche.

L'analisi del buon funzionamento della didattica è svolta con cadenza annuale (a volte anche semestrale) ogni qual volta si rendono disponibili i dati del

- percorso di studi degli studenti riportato nel Registro delle Coorti degli Studenti
- le rilevazioni annuale degli studenti (OPIS);
- la relazione annuale della Commissione Paritetica Docenti Studenti (CPDS);
- la rilevazione della Scheda di Monitoraggio Annuale (SMA).

Il percorso degli studenti viene analizzato semestralmente dalla Commissione Didattica, mentre le OPIS e la relazione della CPDS vengono analizzate i primi mesi dell'anno, ne viene redatta una relazione di commento che viene discussa in Consiglio di Dipartimento, e ne viene tenuto conto parlandone con i docenti interessati e nella definizione dell'offerta formativa e dei carichi didattici dell'A.A. seguente. Ogni anno viene anche organizzata una riunione docenti/studenti nella quale, oltre a descrivere e motivare le variazioni nella didattica in via di progettazione, si raccolgono e si discutono le opinioni degli studenti su eventuali problematiche del corso di studio.

#### **Art.13 - Servizi didattici propedeutici o integrativi**

Non sono previsti servizi propedeutici o integrativi.

#### **Art. 14 - Altre fonti normative**

Per quanto non espressamente qui disciplinato si rinvia al Regolamento Didattico d'Ateneo e al Regolamento Carriera.

### **Art. 15 - Validità**

Le disposizioni del presente Regolamento si applicano a decorrere dall'anno accademico 2021/2022 e rimangono in vigore per l'intero ciclo formativo (e per la relativa coorte studentesca) avviato a partire dal suddetto anno accademico. Si applicano inoltre ai successivi anni accademici e relativi cicli formativi (e coorti) fino all'entrata in vigore di eventuali modifiche regolamentari.

Gli allegati 1 e 2 richiamati nel presente Regolamento possono essere modificati da parte della struttura didattica competente, nell'ambito del processo annuale di programmazione didattica. Le modifiche agli allegati 1 e 2 non sono considerate modifiche regolamentari. I contenuti dei suddetti allegati sono in larga parte resi pubblici anche mediante il sito [www.university.it](http://www.university.it).

### **Allegato 1**

Elenco delle attività formative previste per il corso di studio.

### **Allegato 2**

Elenco delle attività formative erogate per il presente anno accademico.

# DIDATTICA PROGRAMMATA 2021/2022

## Fisica (LM-17)

**Dipartimento:** MATEMATICA E FISICA

**Codice CdS:** 104655

**Codice SUA:** 1571713

**Area disciplinare:** ScientificoTecnologica

**Curricula previsti:**

- Astrofisica e cosmologia
- Fisica della materia
- Fisica nucleare e subnucleare
- Fisica teorica
- Fisica Terrestre e dell'ambiente
- Didattico

### CURRICULUM: Astrofisica e cosmologia

#### Primo anno

##### Primo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA</b> <i>TAF B - Microfisica e della struttura della materia</i>	FIS/03	8	80	ITA
<b>20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI</b> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/01	8	80	ITA
<b>20401904 - FISICA TEORICA I</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	8	68	ITA

##### Secondo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i>	FIS/05	6	60	ITA
<b>20410041 - ASTROFISICA GENERALE</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i>	FIS/05	6	60	ITA
<b>20402214 - ASTROFISICA STELLARE</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i>	FIS/05	6	48	ITA
<b>20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	6	52	ITA
<b>20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i>	FIS/05	6	48	ITA

#### Secondo anno

##### Primo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/05	6	60	ITA
<b>20402143 - COSMOLOGIA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/05	8	72	ITA

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 12 CFU</b>				

## Secondo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20410392 - Lingua inglese</b> <i>TAF F - Ulteriori conoscenze linguistiche</i>		4	40	ITA
<b>20401594 - PROVA FINALE</b> <i>TAF E - Per la prova finale</i>		30	300	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 12 CFU</b>				
<b>20402228 - TIROCINIO</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>		6	60	ITA

**CURRICULUM: Fisica della materia**
**Primo anno**
**Primo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	8	80	ITA
<b>20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI</b> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/01	8	80	ITA
<b>20401904 - FISICA TEORICA I</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	8	68	ITA

**Secondo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20410020 - COMPLEMENTI DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	9	72	ITA
<b>20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	6	52	ITA
<b>20410583 - FONDAMENTI DI MICROSCOPIA CON LABORATORIO</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	6	60	ITA
<b>20410022 - TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA MOD. A</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	8	80	ITA

**Secondo anno**
**Primo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402215 - METODI SPERIMENTALI DI STRUTTURA DELLA MATERIA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	9	84	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 12 CFU</b>				
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA OBBLIGATORIA DI 6CFU del gruppo di 2-TAF C (Fisica Nanostrutture o Fisica Superfici e Interfacce)</b>				

**Secondo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20410392 - Lingua inglese</b> <i>TAF F - Ulteriori conoscenze linguistiche</i>		4	40	ITA
<b>20401594 - PROVA FINALE</b> <i>TAF E - Per la prova finale</i>		30	300	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 12 CFU</b>				
<b>20402228 - TIROCINIO</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>		6	60	ITA

**CURRICULUM: Fisica nucleare e subnucleare**
**Primo anno**
**Primo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	8	80	ITA
<b>20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI</b> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/01	8	80	ITA
<b>20401904 - FISICA TEORICA I</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	8	68	ITA

**Secondo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	6	52	ITA
<b>20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)</b>				
MODULO - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI - MOD. B <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/04	6	48	ITA
MODULO - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI MOD. A <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/04	6	48	ITA
<b>20402218 - FISICA TEORICA II</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/02	6	52	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA OBBLIGATORIA DI 6CFU del gruppo di 2-TAF C (Elem Relatività Gen Astro e Cosmol. o Elem FTA)</b>				

**Secondo anno**
**Primo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/04 FIS/01	4 4	41 41	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 18 CFU</b>				

**Secondo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20410392 - Lingua inglese</b> <i>TAF F - Ulteriori conoscenze linguistiche</i>		4	40	ITA
<b>20401594 - PROVA FINALE</b> <i>TAF E - Per la prova finale</i>		30	300	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 18 CFU</b>				
<b>20402228 - TIROCINIO</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>		6	60	ITA

## CURRICULUM: Fisica teorica

### Primo anno

#### Primo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	8	80	ITA
<b>20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI</b> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/01	8	80	ITA
<b>20401904 - FISICA TEORICA I</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	8	68	ITA

#### Secondo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	6	52	ITA
<b>20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i>	FIS/05	6	48	ITA
<b>20402219 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A)</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/04	6	48	ITA
<b>20402218 - FISICA TEORICA II</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	6	52	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA di 6CFU tra gli Affini TAF C I° anno II° semestre (C. Teorico-Particelle)</b>				

### Secondo anno

#### Primo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	8	64	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 12 CFU</b>				
<b>20402258 - TEORIA DELLA RELATIVITA'</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/02	6	48	ITA

#### Secondo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20410392 - Lingua inglese</b> <i>TAF F - Ulteriori conoscenze linguistiche</i>		4	40	ITA
<b>20401594 - PROVA FINALE</b> <i>TAF E - Per la prova finale</i>		30	300	ITA
<b>20402228 - TIROCINIO</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>		6	60	ITA

### Primo anno

#### Primo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	8	80	ITA
<b>20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI</b> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/01	8	80	ITA
<b>20401904 - FISICA TEORICA I</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	8	68	ITA

## Secondo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402221 - COMPLEMENTI DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	6	52	ITA
<b>20410584 - RETI COMPLESSE</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	6	60	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA OBBLIGATORIA DI 6CFU del gruppo di 3-TAF C (F. Teorica II o Elem Relatività Gen Astro o Cosmol. o Elem FTA)</b>				
<b>20402232 - TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	6	60	ITA

## Secondo anno

### Primo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	6	60	ITA
<b>20401425 - MECCANICA STATISTICA</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	8	80	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 12 CFU</b>				

### Secondo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20410392 - Lingua inglese</b> <i>TAF F - Ulteriori conoscenze linguistiche</i>		4	40	ITA
<b>20401594 - PROVA FINALE</b> <i>TAF E - Per la prova finale</i>		30	300	ITA
<b>20402228 - TIROCINIO</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>		6	60	ITA

**CURRICULUM: Fisica Terrestre e dell'ambiente**
**Primo anno**
**Primo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	8	80	ITA
<b>20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI</b> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/01	8	80	ITA
<b>20401904 - FISICA TEORICA I</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	8	68	ITA

**Secondo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	6	52	ITA
<b>20402213 - ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/06 FIS/07	3 3	24 24	ITA
<b>20410054 - FISICA DELL'AMBIENTE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/07	6	48	ITA
<b>20410042 - FISICA TERRESTRE</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i>	FIS/06	6	48	ITA
<b>20410047 - MECCANICA DEI MEZZI CONTINUI IN FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/06	6	48	ITA

**Secondo anno**
**Primo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20410048 - METODI SPERIMENTALI DI GEOFISICA</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i>	FIS/06	8	82	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 18 CFU</b>				

**Secondo semestre**

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20410392 - Lingua inglese</b> <i>TAF F - Ulteriori conoscenze linguistiche</i>		4	40	ITA
<b>20401594 - PROVA FINALE</b> <i>TAF E - Per la prova finale</i>		30	300	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 18 CFU</b>				
<b>20402228 - TIROCINIO</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>		6	60	ITA

## CURRICULUM: Didattico

### Primo anno

#### Primo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	8	80	ITA
<b>20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI</b> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/01	8	80	ITA
<b>20401904 - FISICA TEORICA I</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	8	68	ITA

#### Secondo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	6	52	ITA
<b>20410502 - DIDATTICA DELLA FISICA</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/08	8	64	ITA
<b>20410503 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	MAT/04	6	60	ITA
<b>20402213 - ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/06 FIS/07	3 3	24 24	ITA
<b>20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i>	FIS/05	6	48	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE gruppo PeF24</b>				

### Secondo anno

#### Primo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>GRUPPO OPZIONALE gruppo PeF 24 12 CFU</b>				
<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 6CFU (C.Didattico II° grado)</b>				

#### Secondo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20410392 - Lingua inglese</b> <i>TAF F - Ulteriori conoscenze linguistiche</i>		4	40	ITA
<b>20401594 - PROVA FINALE</b> <i>TAF E - Per la prova finale</i>		30	300	ITA
<b>20402228 - TIROCINIO</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>		6	150	ITA

### Primo anno

#### Primo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA</b> <i>TAF B - Microfisico e della struttura della materia</i>	FIS/03	8	80	ITA
<b>20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI</b> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/01	8	80	ITA
<b>20401904 - FISICA TEORICA I</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	8	68	ITA

## Secondo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/02	6	52	ITA
<b>20410502 - DIDATTICA DELLA FISICA</b> <i>TAF B - Teorico e dei fondamenti della fisica</i>	FIS/08	8	64	ITA
<b>20402213 - ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i> <i>TAF B - Sperimentale applicativo</i>	FIS/06 FIS/07	3 3	24 24	ITA
<b>20410328 - ELEMENTI DI GEOLOGIA II</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	GEO/03	6	48	ITA
<b>20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA</b> <i>TAF B - Astrofisico, geofisico e spaziale</i>	FIS/05	6	48	ITA
<b>GRUPPO OPZIONALE gruppo PeF24</b>				

## Secondo anno

### Primo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>GRUPPO OPZIONALE gruppo PeF 24 12 CFU</b>				
<b>20410504 - INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	BIO/13	6	48	ITA

### Secondo semestre

Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20410392 - Lingua inglese</b> <i>TAF F - Ulteriori conoscenze linguistiche</i>		4	40	ITA
<b>20401594 - PROVA FINALE</b> <i>TAF E - Per la prova finale</i>		30	300	ITA
<b>20402228 - TIROCINIO</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>		6	150	ITA

## GRUPPI OPZIONALI

GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 12 CFU				
Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/04	6	60	ITA
<b>20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/05	6	60	ITA
<b>20410506 - COSMOLOGIA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/05	6	54	ITA
<b>20410580 - Education &amp; Outreach, la comunicazione della scienza</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/08	6	52	ITA
<b>20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/03	6	60	ITA
<b>20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/05	6	48	ITA
<b>20402259 - FISICA DEL CLIMA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/06	6	48	ITA
<b>20402026 - FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/06	6	48	ITA
<b>20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/04	6	48	ITA
<b>20410050 - FISICA DELLE NANOSTRUTTURE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20410097 - FOTONICA QUANTISTICA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20401858 - ISTITUZIONI DI FISICA MEDICA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/07	6	48	ITA
<b>20402354 - MECCANICA STATISTICA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/02	6	60	ITA
<b>20410173 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	MAT/08	6	48	ITA
<b>20402155 - MISURE ASTROFISICHE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/05	6	60	ITA
<b>20402380 - RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/07	6	48	ITA
<b>20410584 - RETI COMPLESSE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/03	6	60	ITA
<b>20410517 - Reti Neurali</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/02	6	48	ITA
<b>20401000 - STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/04	6	48	ITA
<b>20402258 - TEORIA DELLA RELATIVITA'</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/02	6	48	ITA

GRUPPO OPZIONALE Nuovo gruppo OPZIONALE				
Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>23000003 - Antropologia</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>	M-FIL/03 M-DEA/01	2 4	0 0	ITA
<b>23000004 - Metodologie e tecnologie didattiche generali</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>	M-PED/03 M-PED/04	4 2	0 0	ITA

GRUPPO OPZIONALE Nuovo gruppo OPZIONALE				
Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>23000001 - Pedagogia, pedagogia speciale e didattica dell'inclusione</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>	M-PED/01	2	0	ITA
	M-PED/02	2	0	
	M-PED/03	2	0	
<b>23000002 - Psicologia</b> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i> <i>TAF F - Tirocini formativi e di orientamento</i>	M-PSI/04	3	0	ITA
	M-PSI/05	2	0	
	M-PSI/01	1	0	

GRUPPO OPZIONALE gruppo PeF24				
Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>23000003 - Antropologia</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	M-DEA/01	4	24	ITA
	M-FIL/03	2	12	
<b>23000004 - Metodologie e tecnologie didattiche generali</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	M-PED/03	4	24	ITA
	M-PED/04	2	12	
<b>23000001 - Pedagogia, pedagogia speciale e didattica dell'inclusione</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	M-PED/01	2	12	ITA
	M-PED/02	2	12	
	M-PED/03	2	12	
<b>23000002 - Psicologia</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	M-PSI/01	1	6	ITA
	M-PSI/04	3	18	
	M-PSI/05	2	12	

GRUPPO OPZIONALE gruppo PeF 24 12 CFU				
Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>23000003 - Antropologia</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	M-DEA/01	4	24	ITA
	M-FIL/03	2	12	
<b>23000004 - Metodologie e tecnologie didattiche generali</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	M-PED/03	4	24	ITA
	M-PED/04	2	12	
<b>23000001 - Pedagogia, pedagogia speciale e didattica dell'inclusione</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	M-PED/01	2	12	ITA
	M-PED/02	2	12	
	M-PED/03	2	12	
<b>23000002 - Psicologia</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	M-PSI/01	1	6	ITA
	M-PSI/04	3	18	
	M-PSI/05	2	12	

GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 6CFU (C.Didattico II° grado)				
Denominazione (Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)	SSD	CFU	Ore	Lingua
<b>20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/04	6	60	ITA
<b>20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/05	6	60	ITA
<b>20410506 - COSMOLOGIA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/05	6	60	ITA
<b>20410580 - Education &amp; Outreach, la comunicazione della scienza</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/08	6	52	ITA
<b>20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	6	60	ITA

<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 6CFU (C.Didattico II° grado)</b>				
<b>Denominazione</b> <i>(Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)</i>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>	<b>Ore</b>	<b>Lingua</b>
<b>20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/05	6	48	ITA
<b>20402259 - FISICA DEL CLIMA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/06	6	48	ITA
<b>20402026 - FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/06	6	48	ITA
<b>20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/04	6	48	ITA
<b>20410050 - FISICA DELLE NANOSTRUTTURE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCIE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20410097 - FOTONICA QUANTISTICA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20401858 - ISTITUZIONI DI FISICA MEDICA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/07	6	48	ITA
<b>20402354 - MECCANICA STATISTICA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/02	6	60	ITA
<b>20402155 - MISURE ASTROFISICHE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/05	6	60	ITA
<b>20402380 - RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/07	6	48	ITA
<b>20410584 - RETI COMPLESSE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	6	60	ITA
<b>20410517 - Reti Neurali</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/02	6	48	ITA
<b>20401000 - STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/04	6	0	ITA

<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA OBBLIGATORIA DI 6CFU del gruppo di 2-TAF C (Elem Relatività Gen Astro e Cosmol. o Elem FTA)</b>				
<b>Denominazione</b> <i>(Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)</i>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>	<b>Ore</b>	<b>Lingua</b>
<b>20402213 - ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/06	3	24	ITA
	FIS/07	3	24	
<b>20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/05	6	48	ITA

<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA OBBLIGATORIA DI 6CFU del gruppo di 3-TAF C (F. Teorica II o Elem Relatività Gen Astro o Cosmol. o Elem FTA)</b>				
<b>Denominazione</b> <i>(Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)</i>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>	<b>Ore</b>	<b>Lingua</b>
<b>20402213 - ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/06	3	24	ITA
	FIS/07	3	24	
<b>20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/05	6	48	ITA
<b>20402218 - FISICA TEORICA II</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/02	6	52	ITA

<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 18 CFU</b>				
<b>Denominazione</b> <i>(Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)</i>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>	<b>Ore</b>	<b>Lingua</b>
<b>20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI</b>		6	60	ITA

<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA DA 18 CFU</b>				
<b>Denominazione</b> <i>(Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)</i>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>	<b>Ore</b>	<b>Lingua</b>
<i>TAF D - A scelta dello studente</i>				
<b>20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>		6	60	ITA
<b>20410506 - COSMOLOGIA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/05	6	54	ITA
<b>20410580 - Education &amp; Outreach, la comunicazione della scienza</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/08	6	52	ITA
<b>20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/03	6	60	ITA
<b>20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/05	6	48	ITA
<b>20402259 - FISICA DEL CLIMA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/06	6	48	ITA
<b>20402026 - FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/06	6	48	ITA
<b>20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/04	6	48	ITA
<b>20410050 - FISICA DELLE NANOSTRUTTURE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20410097 - FOTONICA QUANTISTICA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20401858 - ISTITUZIONI DI FISICA MEDICA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/07	6	48	ITA
<b>20402354 - MECCANICA STATISTICA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/02	6	60	ITA
<b>20410173 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	MAT/08	6	48	ITA
<b>20402155 - MISURE ASTROFISICHE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/05	6	60	ITA
<b>20402380 - RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/07	6	48	ITA
<b>20410584 - RETI COMPLESSE</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/03	6	60	ITA
<b>20410517 - Reti Neurali</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/02	6	48	ITA
<b>20401000 - STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/04	6	48	ITA
<b>20402258 - TEORIA DELLA RELATIVITA'</b> <i>TAF D - A scelta dello studente</i>	FIS/02	6	48	ITA

<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA OBBLIGATORIA DI 6CFU del gruppo di 2-TAF C (Fisica Nanostrutture o Fisica Superfici e Interfacce)</b>				
<b>Denominazione</b> <i>(Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)</i>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>	<b>Ore</b>	<b>Lingua</b>
<b>20410050 - FISICA DELLE NANOSTRUTTURE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	6	48	ITA

<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA di 6CFU tra gli Affini TAF C I° anno II° semestre (C. Teorico-Particelle)</b>				
<b>Denominazione</b> <i>(Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)</i>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>	<b>Ore</b>	<b>Lingua</b>
<b>20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/05	6	60	ITA

<b>GRUPPO OPZIONALE SCELTA di 6CFU tra gli Affini TAF C I° anno II° semestre (C. Teorico-Particelle)</b>				
<b>Denominazione</b> <i>(Tipologia attività formativa (TAF) / Ambito disciplinare)</i>	<b>SSD</b>	<b>CFU</b>	<b>Ore</b>	<b>Lingua</b>
<b>20410041 - ASTROFISICA GENERALE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/05	6	60	ITA
<b>20402214 - ASTROFISICA STELLARE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/05	6	48	ITA
<b>20402221 - COMPLEMENTI DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	6	48	ITA
<b>20410503 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	MAT/04	6	60	ITA
<b>20402213 - ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/06 FIS/07	3 3	24 24	ITA
<b>20410054 - FISICA DELL'AMBIENTE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/07	6	48	ITA
<b>20410042 - FISICA TERRESTRE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/06	6	48	ITA
<b>20410047 - MECCANICA DEI MEZZI CONTINUI IN FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/06	6	48	ITA
<b>20410584 - RETI COMPLESSE</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	6	60	ITA
<b>20402232 - TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA</b> <i>TAF C - Attività formative affini o integrative</i>	FIS/03	6	60	ITA

**TIPOLOGIE ATTIVITA' FORMATIVE (TAF)**

<b>Sigla</b>	<b>Descrizione</b>
A	Base
B	Caratterizzanti
C	Attività formative affini o integrative
D	A scelta studente
E	Prova Finale o Per la conoscenza di almeno una lingua straniera
F	Ulteriori attività formative (art.10, comma 5, lettera d)
R	Attività formative in ambiti disciplinari affini o integrativi a quelli di base e caratterizzanti, anche con riguardo alle culture di contesto e alla formazione interdisciplinare
S	Per stages e tirocini presso imprese, enti pubblici o privati, ordini professionali

## OBIETTIVI FORMATIVI

### 20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI

#### Italiano

Far acquisire allo studente le conoscenze di base su come è articolata la costruzione di un esperimento di fisica nucleare in funzione della raccolta dei dati dal rivelatore, del controllo delle apparecchiature e dell'esperimento, del monitoraggio del buon funzionamento dell'apparato e della qualità dei dati acquisiti

#### Inglese

To provide the student with the basic knowledge on how the construction of a nuclear physics experiment is structured in relation to the collection of data from the detector, the control of the equipment and the experiment, the monitoring of the good functioning of the apparatus and the quality of data acquired

### 23000003 - Antropologia

#### Italiano

Il corso intende stabilire le condizioni di base per l'esercizio dello sguardo etnoantropologico nel mondo globalizzato

#### Inglese

The course aims to establish the basic conditions for the exercise of the ethno-anthropological gaze in the globalized world

### 20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE

#### Italiano

Fornire allo studente una panoramica dei principali fenomeni nel campo dell'Astrofisica delle Alte Energie, con particolare attenzione ai fenomeni di accrescimento su oggetti compatti (nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri) e ai fenomeni di accelerazione di particelle

#### Inglese

Provide the student with an overview of the main phenomena in the field of High Energy Astrophysics, with particular attention to growth phenomena on compact objects (white dwarfs, neutron stars and black holes) and to particle acceleration phenomena

### 20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA

#### Italiano

Il corso si propone di fornire allo studente i concetti di base della astrofisica della nostra Galassia e delle Galassie esterne

#### Inglese

The course aims to provide the student with the basic concepts of astrophysics of our Galaxy and external galaxies

### 20410041 - ASTROFISICA GENERALE

#### Italiano

Fornire allo studente una panoramica completa dei processi fisici fondamentali alla base dell'Astrofisica

#### Inglese

Provide the student with a complete overview of the fundamental physical processes underlying Astrophysics

### 20402214 - ASTROFISICA STELLARE

#### Italiano

Fornire allo studente una buona conoscenza della struttura ed evoluzione stellare, con applicazioni rilevanti per problemi astrofisici generali, come la datazione delle stelle e l'età dell'Universo, il ruolo delle abbondanze degli elementi leggeri nell'evoluzione e la connessione con le abbondanze cosmologiche, le stelle variabili e le supernovae, ed il loro ruolo per la determinazione della scala di distanza, gli oggetti compatti (nane bianche, stelle di neutroni e la loro importanza nell'evoluzione delle binarie interattive. Lo scopo è quindi quello di fornire le basi di conoscenza sulle stelle per applicazioni astrofisiche anche non stellari

## Inglese

Provide the student with a good knowledge of stellar structure and evolution, with applications relevant to general astrophysical problems, such as star dating and the age of the Universe, the role of the abundance of light elements of evolution and the connection with cosmological abundances, the variable stars and the supernovae, and their role for the determination of the distance scale, the compact objects (white dwarfs, neutron stars and their importance in the evolution of interactive binary. The aim is therefore to provide the basis knowledge about the stars for astrophysical applications, even not stellar

### 20402221 - COMPLEMENTI DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

## Italiano

Dare allo studente una comprensione approfondita delle proprietà di trasporto dei sistemi solidi e della loro risposta ai campi elettromagnetici

## Inglese

Give the student an in-depth understanding of the transport properties of solid systems and their response to electromagnetic fields

### 20410020 - COMPLEMENTI DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

## Italiano

Dare allo studente una comprensione approfondita delle proprietà strutturali ed elettroniche dei solidi, delle loro proprietà di trasporto, della risposta ai campi elettromagnetici

## Inglese

Give the student a thorough understanding of the structural and electronic properties of solids, their transport properties, the response to electromagnetic fields

### 20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA

## Italiano

Lo scopo del corso è rendere lo studente familiare con gli strumenti di base per trattare le algebre di Lie e le loro rappresentazioni. Inoltre lo studente dovrà apprendere a svolgere calcoli al computer, sia di natura simbolica sia di natura numerica, rilevanti per gli argomenti del programma del corso. Per tali calcoli è previsto l'utilizzo dei linguaggi Wolfram e Python o linguaggi alternativi preferiti dallo studente.

## Inglese

The aim of the course is to learn the basic tools to deal with Lie algebras and their representations and to acquire computer calculation techniques, both for symbolic and for numerical calculations. Topics of the course will be dealt with using either Wolfram Language and Python or alternative computer languages preferred by the student.

### 20402143 - COSMOLOGIA

## Italiano

Il corso si propone di esplorare in dettaglio alcuni aspetti della Cosmologia Moderna che costituiscono altrettanti argomenti di elevato interesse sia dal punto di vista dei fenomeni fisici interessati, sia dal punto di vista delle metodologie impiegate. Particolare attenzione è rivolta al confronto osservazioni-teoria, ovvero alla relazione Cosmologia-Astrofisica Extragalattica.

## Inglese

The course aims to explore in detail some aspects of Modern Cosmology which are just as many topics of high interest both from the point of view of the physical phenomena involved and from the point of view of the methodologies used. Particular attention is paid to the comparison between observations and theory, that is to the relation between the Cosmology and the Astrophysical Astrophysics.

### 20410506 - COSMOLOGIA

## Italiano

Il corso si propone di esplorare in dettaglio alcuni aspetti della Cosmologia Moderna che costituiscono altrettanti argomenti di elevato interesse sia dal punto di vista dei fenomeni fisici interessati, sia dal punto di vista delle metodologie impiegate. Particolare attenzione è rivolta al confronto osservazioni-teoria, ovvero alla relazione Cosmologia-Astrofisica Extragalattica.

## Inglese

The course aims to explore in detail some aspects of Modern Cosmology which are just as many topics of high interest both from the point of view of the physical phenomena involved and from the point of view of the methodologies used. Particular attention is paid to the comparison between observations and theory, that is to the relation between the Cosmology and the Astrophysical Astrophysics.

### 20410590 - DIDATTICA DELLA FISICA

## Italiano

Il corso intende far acquisire allo studente le competenze necessarie per esercitare un insegnamento efficace della Fisica nella Scuola Secondaria Superiore con particolare attenzione: a) alla conoscenza della letteratura di ricerca sulla didattica in Fisica, al sistema educativo italiano e alla normativa scolastica; b) alla progettazione di percorsi didattici culturalmente significativi per l'insegnamento della fisica; c) alla produzione di materiali per la misura e la verifica degli apprendimenti attraverso l'esercizio della valutazione formativa; d) al ruolo del "laboratorio" da intendersi come una modalità di lavoro che coinvolge gli studenti in modo attivo e partecipato, che incoraggia alla sperimentazione e alla progettualità.

## Inglese

The course aims to provide the student with the necessary skills to practice effective teaching of Physics in Upper Secondary School with particular attention to: a) knowledge of research literature on teaching in Physics, the Italian educational system and school regulations; b) to the design of culturally significant educational paths for the teaching of physics; c) the production of materials for the measurement and verification of learning through the exercise of formative assessment; d) the role of the "laboratory" to be understood as a working method that involves students in an active and participatory way, which encourages experimentation and planning.

### 20410502 - DIDATTICA DELLA FISICA

## Italiano

Il corso intende far acquisire allo studente le competenze necessarie per esercitare un insegnamento efficace della Fisica nella Scuola Secondaria Superiore con particolare attenzione: a) alla conoscenza della letteratura di ricerca sulla didattica in Fisica, al sistema educativo italiano e alla normativa scolastica; b) alla progettazione di percorsi didattici culturalmente significativi per l'insegnamento della fisica; c) alla produzione di materiali per la misura e la verifica degli apprendimenti attraverso l'esercizio della valutazione formativa; d) al ruolo del "laboratorio" da intendersi come una modalità di lavoro che coinvolge gli studenti in modo attivo e partecipato, che incoraggia alla sperimentazione e alla progettualità.

## Inglese

The course aims to provide the student with the necessary skills to practice effective teaching of Physics in Upper Secondary School with particular attention to: a) knowledge of research literature on teaching in Physics, the Italian educational system and school regulations; b) to the design of culturally significant educational paths for the teaching of physics; c) the production of materials for the measurement and verification of learning through the exercise of formative assessment; d) the role of the "laboratory" to be understood as a working method that involves students in an active and participatory way, which encourages experimentation and planning.

### 20410503 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA

## Italiano

1. Analisi critica dell'evoluzione delle idee e delle metodologie della didattica della matematica, con particolare riguardo al ruolo dell'insegnante. 2. Il Curriculum di matematica nella scuola dell'obbligo e nei vari indirizzi delle scuole secondarie (licei, istituti tecnici e istituti professionali) in un quadro internazionale. 3. Progettazione didattica e metodologie di insegnamento della matematica: programmazione e ritmo, principi e metodi per la costruzione di attività, conduzione della classe. 4. La risoluzione dei problemi. Logica, intuizione e storia nella didattica della matematica.

## Inglese

1. Critical analysis of the evolution of ideas and methods of mathematics teaching, with particular regard to the role of the teacher. 2. The mathematics curriculum in compulsory education and in the various addresses of secondary schools (high schools, technical institutes and professional institutes) in an international framework. 3. Teaching design and teaching methods of mathematics: programming and rhythm, principles and methods for activity building, class management. 4. Troubleshooting. Logic, intuition and history in the teaching of mathematics.

### 20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza

## Italiano

Fornire allo studente i concetti di base della comunicazione, come le tecniche per parlare in pubblico e per la preparazione di materiali di presentazione e di testi di comunicazione scientifica. Far acquisire competenze sulla progettazione e realizzazione di prodotti di comunicazione (immagini, audio, video) e sul Communication Plan (piano per organizzare la comunicazione di un evento o progetto scientifico).

### Inglese

To provide the student with the basic concepts of communication, such as techniques for public speaking and for the preparation of presentation materials and scientific communication texts. To acquire skills on the design and implementation of communication products (images, audio, video) and on the Communication Plan (plan to organize the communication of an event or scientific project).

## 20402213 - ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE

### Italiano

Il corso è strutturato sui concetti di base della Fisica della Terra Solida e Fluida al fine di fornire allo studente un quadro coerente ed aggiornato di questa disciplina, sia dal punto di vista teorico sia da quello sperimentale

### Inglese

The course is structured on the basic concepts of Solid and Fluid Earth Physics in order to provide the student with a coherent and updated picture of this discipline, both from a theoretical and an experimental point of view

## 20410328 - ELEMENTI DI GEOLOGIA II

### Italiano

Attraverso una visione complessiva del Pianeta Terra, il corso si prefigge di fornire un'adeguata padronanza dei contenuti scientifici propri delle Scienze della Terra. Il corso affronta gli aspetti moderni delle Scienze della Terra, inquadrando i fenomeni geologici nel quadro delle più moderne teorie e illustrando la pericolosità e i rischi associati a fenomeni naturali quali, per esempio, i fenomeni sismici e vulcanici, anche con riferimento alla geologia del territorio italiano. Il corso, inoltre, si propone di fornire le basi per la comprensione del ciclo delle rocce, dei loro processi genetici e degli ambienti di formazione attraverso esperienze di laboratorio e di terreno. Durante le esercitazioni e le escursioni didattiche gli studenti saranno stimolati a comprendere i diversi aspetti del territorio italiano, con particolare riguardo al suo valore ambientale.

### Inglese

Through a comprehensive view of Planet Earth, the course aims to provide an adequate mastery of the scientific contents of the Earth Sciences. The course talks about the modern aspects of Earth Sciences, framing geological phenomena within the framework of the most modern theories and illustrating the danger and risks associated with natural phenomena such as, for example, seismic and volcanic phenomena, also with reference to the geology of the Italian territory. The course also aims to provide the basis for understanding the cycle of rocks, their genetic processes and training environments through laboratory and soil experiences. During the exercises and the educational excursions the students will be stimulated to understand the different aspects of the Italian territory, with particular regard to its environmental value

## 20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA

### Italiano

Il corso si propone di fornire allo studente i concetti di base della Relativita' generale ed alle sue applicazioni a sistemi fisici, con particolare riferimento agli oggetti compatti (buchi neri), alle onde gravitazionali e all'universo

### Inglese

The course aims to provide students with the basic concepts of general relativity and its applications to physical systems, with particular reference to compact objects (black holes), gravitational waves and the universe

## 20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE

### Italiano

Il corso intende offrire un'introduzione alla moderna fisica dei liquidi e alla fisica della materia soffice, intesa come studio della fenomenologia a partire da leggi di forza interatomiche. Dopo un'introduzione alla materia liquida e ai materiali soffici verranno illustrati metodi di simulazione numerica al computer applicati alla fisica dei liquidi e della materia soffice. Si studieranno quindi le funzioni di correlazione e la teoria della risposta lineare con applicazioni allo studio della dinamica nel limite idrodinamico e in quello visco-elastico. Saranno introdotte le funzioni memoria. Verranno trattati la fisica dei liquidi sottoraffreddati e lo studio della transizione vetrosa per materiali soffici e liquidi.

### Inglese

The course intends to offer an introduction to the modern physics of liquids and to the physics of soft matter, understood as the study of phenomenology starting from interatomic force laws. After an introduction to liquid matter and soft materials, computer numerical simulation methods applied to the physics of liquids and soft matter will be illustrated. Correlation functions and linear response theory will then be studied with applications to the study of dynamics in the hydrodynamic and visco-elastic limits. Memory functions will be introduced. The physics of subcooled liquids and the study of the glass transition for soft and liquid materials will be treated.

## 20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI

### Italiano

Fornire adeguate conoscenze riguardo la fisica dei pianeti del sistema solare e degli esopianeti, le tecniche di indagine delle atmosfere, delle superfici e delle sottosuperfici dei pianeti ed introdurre il problema astrofisico della ricerca della vita.

### Inglese

Provide adequate knowledge about the physics of the planets of the solar system and the exoplanets, the techniques of investigation of atmospheres, surfaces and sub-surfaces of planets and introduce the astrophysical problem of the search for life.

## 20402259 - FISICA DEL CLIMA

### Italiano

Il corso è indirizzato a fornire le conoscenze fondamentali, teoriche e sperimentali, nell'ambito della Fisica del Clima e dei Cambiamenti Climatici

### Inglese

To provide the fundamental theoretical and experimental knowledge in the field of Climate Physics and Climate Change

## 20402026 - FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA

### Italiano

La radiazione elettromagnetica e corpuscolare di origine solare dà luogo a complesse interazioni che interessano la magnetosfera e la ionosfera terrestre. In queste interazioni giocano un ruolo fondamentale i campi magnetici promananti dal Sole e dalla Terra, in uno spazio caratterizzato dalla presenza di plasma minoritario: qui la fisica della propagazione delle onde radio è molto interessante. Obiettivo del corso è presentare una selezione dei fenomeni fisici più rilevanti che si esplicano in questo ambiente complesso, ove l'uomo dispiega sistemi tecnologici sofisticati, dal cui funzionamento le strutture della società contemporanea sono sempre più dipendenti. Lo Space Weather tratta dei problemi conseguenti alle perturbazioni dell'ambiente circumterrestre, in particolare conseguenti al deterioramento delle condizioni radiopropagative della ionosfera. Lo scopo finale è avvicinare lo studente alla fisica dei fenomeni, stimolandone l'interesse alla ricerca nel settore e proiettandolo verso le sfide contemporanee da raccogliere.

### Inglese

Electromagnetic and corpuscular radiation of solar origin gives rise to complex interactions affecting the magnetosphere and the Earth's ionosphere. The magnetic fields of the Sun and the Earth play a fundamental role in these interactions, in a space characterized by the presence of partially ionized plasma (weakly ionized gas): here the physics of the propagation of radio waves is very interesting. The aim of the course is to present a selection of the most relevant physical phenomena that unfold in this complex environment, where man deploys sophisticated technological systems, on whose functioning the structures of contemporary society are increasingly dependent. Space Weather deals with problems resulting from disturbances in the circumterrestrial environment, in particular consequent to the deterioration of the radiopropagative conditions of the ionosphere. The ultimate goal is to bring the student closer to the physics of phenomena, stimulating his interest in research in the sector and projecting him towards contemporary challenges to be met.

## 20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

### Italiano

Il corso si pone l'obiettivo di applicare i metodi della meccanica quantistica alla descrizione delle proprietà fondamentali della materia solida.

### Inglese

The course aims to apply the methods of mechanics quantum to the description of the fundamental properties of solid matter

## 20410054 - FISICA DELL'AMBIENTE

### Italiano

Il corso è finalizzato a fornire agli studenti le informazioni fondamentali per la comprensione delle interazioni tra atmosfera, oceano, e superficie terrestre; dei principali processi fisico-chimici connessi, soprattutto in relazioni alle interazioni radiazione elettromagnetica-materia. Il corso intende affrontare gli aspetti di interconnessione ed inter/multidisciplinarietà dei fenomeni coinvolti e fornire informazioni sui principi di misura di varie proprietà dell'atmosfera, dell'oceano e della superficie terrestre, con particolare riferimento ai metodi di telerilevamento.

### Inglese

The course aims at providing students with fundamental notions for understanding the interactions between the atmosphere, the ocean, and the earth's surface, and the main physical-chemical connected processes, with particular respect to electromagnetic radiation - matter interactions. The course intends to deal with the interconnection and inter / multidisciplinary aspects of the involved phenomena, and to provide information on the measurement principles of various properties of the atmosphere, the ocean, and the Earth's surface, and in particular on remote sensing observations.

## 20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE

### Italiano

Il corso intende introdurre lo studente alle attività di ricerca su problemi in comune tra Fisica delle Particelle Elementari ed Astrofisica. I diversi temi di ricerca che costituiscono oggetto di studio da parte della comunità scientifica internazionale verranno discussi all'interno di uno schema unitario, con particolare attenzione all'interpretazione fenomenologica e alle proposte di realizzazione di nuovi apparati sperimentali

### Inglese

To introduce the student to research activities on problems in common between Elementary Particle Physics and Astrophysics. The different research themes that are the object of study by the international scientific community will be discussed within a single framework, with particular attention to the phenomenological interpretation and to the proposals for the realization of new experimental apparatus

## 20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

### Italiano

Far conoscere la fisica delle interazioni fondamentali nel Modello Standard ed il formalismo della Teoria dei Campi che ne è alla base.

### Inglese

To introduce the physics of fundamental interactions in the Standard Model and the formalism of the Field Theory that underlies it.

## 20410050 - FISICA DELLE NANOSTRUTTURE

### Italiano

Dare allo studente una comprensione approfondita delle proprietà fisiche dei sistemi a bassa dimensionalità, con dimensioni caratteristiche nanometriche. Illustrare i principi delle metodologie realizzative e delle nanotecnologie

### Inglese

Give the student an in-depth understanding of the physical properties of low-dimensional systems, with nanometric characteristic dimensions. Illustrate the principles of implementation methodologies and nanotechnologies

## 20402219 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A)

### Italiano

Acquisire le conoscenze fondamentali sulle basi fenomenologiche del Modello Standard delle Particelle Elementari e sui principi di rivelazione delle particelle

### Inglese

To acquire the fundamental knowledge on the phenomenological bases of the Standard Model of Elementary Particles and on the principles of particle detection

## 20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

## Italiano

modulo A: acquisire le conoscenze fondamentali sulle basi fenomenologiche del Modello Standard delle Particelle Elementari e sui principi di rivelazione delle particelle modulo B: 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 con e senza acceleratori

## Inglese

module A: acquiring the fundamental knowledge on the phenomenological bases of the Standard Model of Elementary Particles and on the principles of particle detection module B: acquiring in-depth knowledge of modern data detection and analysis techniques and the current phenomenological framework in the various sectors of Elementary Particle Physics with and without accelerators

### **20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)**

( *FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI - MOD. B* )

## Italiano

modulo B: 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 con e senza acceleratori

## Inglese

module B: acquiring in-depth knowledge of modern techniques for revealing and analyzing data and the current phenomenological framework in the different sectors of Physics of Elementary Particles with and without accelerators

### **20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)**

( *FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI MOD. A* )

## Italiano

modulo A: acquisire le conoscenze fondamentali sulle basi fenomenologiche del Modello Standard delle Particelle Elementari e sui principi di rivelazione delle particelle

## Inglese

module A: acquiring the fundamental knowledge on the phenomenological bases of the Standard Model of Elementary Particles and on the principles of particle detection

### **20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE**

## Italiano

Introdurre lo studente alle conoscenze fondamentali su proprietà, preparazione e caratterizzazione di superfici ed interfacce

## Inglese

Introduce the student to the fundamental knowledge on properties, preparation and characterization of surfaces and interfaces

### **20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI**

## Italiano

Il corso fornisce le basi nozionistiche della fisica sperimentale delle particelle elementari. Nel corso sono trattati sia argomenti sperimentali che teorici il cui obiettivo è consentire agli studenti di comprendere il percorso sperimentale e teorico che ha portato alla formulazione del Modello Standard delle interazioni fondamentali così come lo conosciamo oggi. Gli esperimenti e le scoperte fondamentali a partire dalla scoperta delle particelle elementari nei raggi cosmici fino alla produzione dei bosoni vettoriali W e Z e del bosone di Higgs sono illustrati in dettaglio. Alla fine del corso lo studente avrà una visione ampia della fisica delle particelle dal punto di vista sperimentale, e una conoscenza sufficiente degli strumenti teorici necessari per comprenderne i meccanismi. Il corso è coadiuvato da una sezione di esercitazione il cui obiettivo è rinforzare il livello di comprensione degli argomenti trattati e dei metodi di calcolo dei processi elementari, nonché consentire agli studenti di applicare le tecniche apprese per il calcolo di alcuni processi e le relazioni che tra essi intercorrono. Il corso è sia rivolto a tutti gli studenti, sia coloro che intraprendono un percorso di fisica delle particelle elementari che non, fornendo le basi della fisica delle particelle elementari

## Inglese

The course provides the notions of experimental physics of elementary particles. The course deals with both experimental and theoretical topics whose aim is to allow students to understand the experimental and theoretical path

that led to the formulation of the Standard Model of fundamental interactions as we know it today. The fundamental experiments and discoveries starting from the discovery of elementary particles in cosmic rays up to the production of the vector bosons W and Z and of the Higgs boson are illustrated in detail. At the end of the course the student will have a broad view of particle physics from an experimental point of view, and sufficient knowledge of the theoretical tools necessary to understand its mechanisms. The course is supported by an exercise section whose aim is to reinforce the level of understanding of the topics covered and the calculation methods of the elementary processes, as well as allow students to apply the techniques learned for the calculation of some processes and the relationships between they exist. The course is aimed at all students and those who undertake a path of elementary particle physics that not, providing the basics of physics of elementary particles

### 20401904 - FISICA TEORICA I

#### Italiano

Approfondire l'elettrodinamica classica fornire gli elementi della meccanica quantistica relativistica. Fornire le basi della teoria dei campi e della QED

#### Inglese

To study classical electrodynamics in detail, to provide the elements of relativistic quantum mechanics. Provide the basics of field theory and QED

### 20402218 - FISICA TEORICA II

#### Italiano

Fornire le nozioni fondamentali sulle correzioni radiative in QED ovvero per i processi non ad albero, sulla ri normalizzazione e sul Modello Standard elettrodebole. Far acquisire competenze sulla fenomenologia della fisica subnucleare alle energie dei collisionatori attuali (LHC).

#### Inglese

Provide the fundamental notions about radiative corrections in QED or non-tree processes, about normalization and about the electroweak Standard Model. To acquire skills on the phenomenology of subnuclear physics at the energies of current collectors (LHC).

### 20410042 - FISICA TERRESTRE

#### Italiano

Gli obiettivi principali del Corso sono tre:1. Far maturare nello studente la convinzione della necessità di una profonda conoscenza della Fisica per le diverse applicazioni necessarie alla comprensione del Sistema Terra.2. Dare allo studente una specifica conoscenza dei meccanismi fisici dell'interno del Pianeta. 3. Sensibilizzare lo studente ad un approccio interdisciplinare e multidisciplinare e alle diverse metodiche utili allo studio del Sistema Terra

#### Inglese

The main objectives of the course are three: 1. To develop in the student the conviction of the need for a deep knowledge of Physics for the different applications necessary for understanding the Earth System.2. Give the student a specific knowledge of the physical mechanisms of the interior of the planet. 3. To make the student aware of an interdisciplinary and multidisciplinary approach and the different methods useful for the study of the Earth System

### 20410583 - FONDAMENTI DI MICROSCOPIA CON LABORATORIO

#### Italiano

Fornire i fondamenti teorici e la pratica sperimentale delle tecniche microscopiche con particolare riferimento alla microscopia ottica, elettronica e a sonda.

#### Inglese

Provide the theoretical foundations and the experimental practice of microscopic techniques with particular reference to optical, electronic and probe microscopy.

### 20410097 - FOTONICA QUANTISTICA

#### Italiano

Acquisire conoscenza della fisica dei sistemi laser e della descrizione del campo elettromagnetico in seconda quantizzazione, con particolare enfasi agli aspetti fenomenologici.

#### Inglese

Acquire knowledge of the physics of laser systems and the description of the electromagnetic field in second quantization, with particular emphasis on phenomenological aspects.

#### **20410504 - INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA**

##### **Italiano**

Introduzione ai metodi (esecuzione, validazione) della ricerca biologica, intesa come studio sistematico, controllato, empirico e critico della fenomenologia naturale, che si sviluppa a partire dalla formulazione di una ipotesi fino alla costruzione della spiegazione. Impostazione delle competenze di base relative alla elaborazione di risultati sperimentali ed alla comunicazione in forma scritta. Orientamento degli studenti mediante illustrazione degli interessi scientifici dei diversi gruppi di ricerca che operano nel nostro dipartimento.

##### **Inglese**

Introduction to methods (execution, validation) of biological research, understood as a systematic, controlled, empirical and critical study of natural phenomenology, which develops starting from the formulation of a hypothesis up to the construction of the explanation. Setting of basic competences related to the elaboration of experimental results and communication in written form. Student orientation by illustrating the scientific interests of the different research groups working in our department

#### **20401858 - ISTITUZIONI DI FISICA MEDICA**

##### **Italiano**

Introdurre lo studente allo studio degli effetti delle radiazioni ionizzanti e non ionizzanti sulla materia vivente. Porre le basi dei principi della radioprotezione e dell'uso terapeutico delle radiazioni ionizzanti e non ionizzanti

##### **Inglese**

Introduce the student to the study of the effects of ionizing and non-ionizing radiation on living matter. Lay the foundations of the principles of radiation protection and the therapeutic use of ionizing and non-ionizing radiation

#### **20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE**

##### **Italiano**

Si forniscono le competenze per la realizzazione di un esperimento di fisica nucleare o subnucleare, acquisendo esperienza nel lavoro di gruppo, con progettazione, misura, acquisizione e gestione informatica dei dati, analisi dei dati, risultati e relazione scientifica finale

##### **Inglese**

We provide the skills for the realization of a nuclear or subnuclear physics experiment, gaining experience in group work, with planning, measurement, acquisition and computerized management of data, data analysis, results and final scientific report

#### **20410392 - Lingua inglese**

##### **Italiano**

Il livello B2 fornisce allo studente una più approfondita capacità di comunicare le conclusioni, nonché le conoscenze ad esse sottese, di quanto appreso, in modo chiaro e critico, anche mediante l'utilizzo in forma scritta e orale della lingua inglese e dei lessici disciplinari, utilizzando all'occorrenza gli strumenti informatici necessari per la presentazione, l'acquisizione e lo scambio di dati scientifici anche attraverso elaborati scritti, diagrammi e schemi. Capacità di sostenere una discussione scientifica utilizzando gli argomenti appresi.

##### **Inglese**

Level B2 provides the student with a more in-depth ability to communicate the conclusions, as well as the knowledge underlying them, of what has been learned, clearly and critically, also through the use in written and oral form of the English language and disciplinary lexicons, if necessary using the IT tools necessary for the presentation, acquisition and exchange of scientific data also through written documents, diagrams and diagrams. Ability to support a scientific discussion using the topics learned.

#### **20410047 - MECCANICA DEI MEZZI CONTINUI IN FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE**

##### **Italiano**

Fornire allo studente gli strumenti fisici e matematici fondamentali per la descrizione dei sistemi meccanici continui con particolare attenzione alle applicazioni in fisica terrestre e dell'ambiente

## Inglese

Provide the student with the fundamental physical and mathematical tools for describing continuous mechanical systems with particular attention to applications in terrestrial and environmental physics

### 20402354 - MECCANICA STATISTICA

## Italiano

Il corso mira a dare una visione degli sviluppi moderni della meccanica statistica. In particolare, partendo dalla teoria delle transizioni di fase e dei fenomeni critici, si vuole mostrare come sono emersi i concetti alla base del metodo del gruppo di ri-normalizzazione. Questo metodo è ormai largamente utilizzato in diversi campi della meccanica statistica. I fenomeni critici costituiscono l'applicazione classica del metodo, che viene illustrata in dettaglio nei primi 6 crediti del corso. Questi primi 6 crediti possono quindi essere utilizzati da più indirizzi. I restanti 2 crediti si soffermano su applicazioni più recenti del metodo nel campo della fisica della materia.

## Inglese

The course aims to give an overview of modern developments in statistical mechanics. In particular, starting from the theory of phase transitions and critical phenomena, we want to show how the concepts underlying the method of the re-normalization group emerged. This method is now widely used in various fields of statistical mechanics. The critical phenomena constitute the classical application of the method, which is illustrated in detail in the first 6 credits of the course. These first 6 credits can therefore be used by multiple addresses. The remaining 2 credits focus on more recent applications of the method in the field of matter physics.

### 20401425 - MECCANICA STATISTICA

## Italiano

Il corso mira a dare una visione degli sviluppi moderni della meccanica statistica. In particolare, partendo dalla teoria delle transizioni di fase e dei fenomeni critici, si vuole mostrare come sono emersi i concetti alla base del metodo del gruppo di rinormalizzazione. Questo metodo è ormai largamente utilizzato in diversi campi della meccanica statistica. I fenomeni critici costituiscono l'applicazione classica del metodo, che viene illustrata in dettaglio nei primi 6 crediti del corso. Questi primi 6 crediti possono quindi essere utilizzati da più indirizzi. I restanti 2 crediti si soffermano su vetri di spin e studio di equilibri di fase ed eventi rari nella fisica della materia

## Inglese

The course aims to give an overview of modern developments in statistical mechanics. In particular, starting from the theory of phase transitions and critical phenomena, we want to show how the concepts underlying the renormalization group method emerged. This method is now widely used in various fields of statistical mechanics. Critical phenomena constitute the classic application of the method, which is illustrated in detail in the first 6 credits of the course. These first 6 credits can therefore be used from multiple addresses. The remaining 2 credits focus on spin glasses and the study of phase equilibria and rare events with applications in condensed matter phy

### 20410173 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI

## Italiano

Studiare ed implementare tecniche di approssimazione numerica più avanzate, in particolare relative ai problemi di ottimizzazione ed alla soluzione approssimata di Equazioni Differenziali Ordinarie

## Inglese

To study and implement more advanced numerical approximation techniques, in particular relating to optimization problems and the approximate solution of Ordinary Differential Equations

### 20410048 - METODI SPERIMENTALI DI GEOFISICA

## Italiano

Indagini dell'interno ed esterno della terra e dei pianeti. Metodi di prospezione e sondaggio della terra e dello spazio circumterrestre. Misure in laboratorio in situ e a bordo di satelliti.

## Inglese

Investigations of the interior and exterior of the earth and planets. Methods of prospecting and probing the earth and circumterrestrial space. Laboratory measurements in situ and on board satellites

### 20402215 - METODI SPERIMENTALI DI STRUTTURA DELLA MATERIA

## Italiano

Fornire allo studente le basi teoriche e metodologiche delle spettroscopie fondamentali alla caratterizzazione delle proprietà fisiche della materia nelle varie fasi di aggregazione

### Inglese

Provide the student with the theoretical and methodological bases of fundamental spectroscopies for the characterization of the physical properties of matter in the various aggregation phases

#### 23000004 - Metodologie e tecnologie didattiche generali

### Italiano

Il corso intende fornire allo studente conoscenze e competenze sui principali approcci metodologici e tecnologici per la progettazione didattica, sulla valutazione dei rendimenti scolastici e sulle metodologie della ricerca educativa empirica per il miglioramento della qualità dei processi educativi formali.

### Inglese

The course aims to provide the student with knowledge and skills on the main methodological and technological approaches for didactic planning, on the evaluation of school performance and on the methodologies of empirical educational research for improving the quality of formal educational processes.

#### 20402155 - MISURE ASTROFISICHE

### Italiano

Rendere lo studente capace di analizzare in maniera autonoma e critica varie tipologie di dati astrofisici

### Inglese

Make the student able to analyze, independently and critically, various types of astrophysical data

#### 23000001 - Pedagogia, pedagogia speciale e didattica dell'inclusione

### Italiano

Il corso intende fornire allo studente i fondamenti di pedagogia generale e di storia dei processi formativi delle istituzioni scolastiche, nonché gli strumenti per l'analisi dei modelli e delle strategie per una scuola inclusiva, con particolare attenzione: a) alla gestione pedagogica dei processi di insegnamento-apprendimento; b) ai dispositivi di monitoraggio, valutazione e autovalutazione dell'agire educativo delle/degli insegnanti di scuola secondaria; c) allo sviluppo inclusivo del sistema formativo italiano, con particolare attenzione alle sue diverse fasi e alla specifica normativa; d) alla epistemologia della pedagogia speciale; e) alle teorie e ai modelli di interpretazione della relazione educativa nei contesti scolastici inclusivi; f) alle principali prospettive di ricerca pedagogica e didattica su disabilità e bisogni educativi speciali, compresi i disturbi specifici di apprendimento; g) alle metodologie e alle strategie didattiche inclusive, ivi incluse quelle supportate dalle ICT.

### Inglese

The course aims to provide the student with the fundamentals of general pedagogy and history of the educational processes of educational institutions, as well as tools for the analysis of models and strategies for an inclusive school, with particular attention: a) to the pedagogical management of teaching and learning; b) devices for monitoring, evaluation and self-evaluation of the educational action of secondary school teachers; c) the inclusive development of the Italian training system, with particular attention to its various phases and specific legislation; d) the epistemology of special pedagogy; e) the theories and models of interpretation of the educational relationship in inclusive school contexts; f) the main perspectives of pedagogical and didactic research on disabilities and special educational needs, including specific learning disorders; g) inclusive teaching methodologies and strategies, including those supported by ICT.

#### 20401594 - PROVA FINALE

### Italiano

Dimostrazione da parte dello studente delle capacità di affrontare problematiche scientifiche specifiche, di ricerca e/o di applicazione delle nozioni apprese nelle varie discipline della Fisica.

### Inglese

Demonstration by the student of the ability to deal with specific scientific problems, research and / or application of the concepts learned in the various disciplines of Physics

#### 23000002 - Psicologia

## Italiano

Il corso intende fornire allo studente conoscenze introduttive di psicologia relativamente ai principali processi e fenomeni psicologici che coinvolgono l'individuo (studente e insegnante), il gruppo (classe e corpo docente) e l'organizzazione, implicati nell'apprendimento, nell'educazione, nella partecipazione e nel benessere scolastici, e nell'orientamento scolastico/professionale.

## Inglese

The course aims to provide the student with introductory knowledge of psychology relating to the main psychological processes and phenomena involving the individual (student and teacher), the group (class and teaching body) and the organization, involved in learning, education, in school participation and well-being, and in school / professional orientation.

### 20402380 - RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE

## Italiano

Il corso è finalizzato nel fornire le conoscenze fondamentali, teoriche e sperimentali, nell'ambito della Fisica delle Radiazioni Ionizzanti e dei Metodi Radiometrici nella Fisica Terrestre e dell'Ambiente

## Inglese

The course provides basic theoretical and experimental knowledge on Physics of Ionizing Radiations and radiometric methods in Earth and Environmental Physics

### 20410584 - RETI COMPLESSE

## Italiano

Comprendere gli algoritmi legati a sistemi complessi, scrivere, eseguire e ottimizzare programmi di simulazione di tali sistemi (programmi Montecarlo e di dinamica molecolare) e analizzare i dati prodotti dalle simulazioni.

## Inglese

To understand algorithms related to complex systems, writing, executing and optimising simulation programs of such systems (Montecarlo and molecular dynamics programs) and analysing the data produced by simulations.

### 20410517 - Reti Neurali

## Italiano

Conoscenza dei modelli principali di attività nervosa, dal singolo neurone a reti di neuroni, con particolare enfasi sul ruolo del rumore

## Inglese

Knowledge of the main models of nervous activity, from the single neuron to networks of neurons, with particular emphasis on the role of noise

### 20401000 - STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA

## Italiano

Fornire allo studente i fondamenti delle moderne tecniche di diagnostica per immagini integrate da alcune esercitazioni di laboratorio che gli permettano di approfondire in un secondo tempo gli argomenti trattati ed inserirsi in questo campo oggetto di ricerche avanzate nonché di fondamentali applicazioni cliniche

## Inglese

Provide the student with the fundamentals of modern diagnostic imaging techniques supplemented by some laboratory exercises that allow him to further deepen the topics covered and enter this field subject to advanced research as well as fundamental clinical applications

### 20402258 - TEORIA DELLA RELATIVITA'

## Italiano

Rendere lo studente familiare con i presupposti concettuali della Teoria della Relatività Generale, sia come teoria geometrica dello spazio-tempo sia sottolineando analogie e differenze con le teorie di campo basate su simmetrie locali che descrivono le interazioni tra particelle elementari. Illustrare gli elementi essenziali di geometria differenziale necessari a formalizzare i concetti proposti. Introdurre lo studente ad estensioni della teoria di interesse per la ricerca

teorica attuale.

### Inglese

To make the student familiar with the conceptual assumptions of the Theory of General Relativity, both as a geometric theory of space-time and by emphasizing analogies and differences with field theories based on local symmetries that describe the interactions between elementary particles. Illustrate the essential elements of differential geometry necessary to formalize the proposed concepts. Introduce the student to extensions of the theory of interest for current theoretical research.

#### 20402232 - TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA

### Italiano

Il corso intende offrire un'introduzione ai metodi di teoria dei campi applicati allo studio dei sistemi a molti corpi della Fisica della Materia, in particolare viene sviluppato lo studio teorico dei fenomeni quantistici che caratterizzano la materia alle basse temperature come la superfluidità e la superconduttività

### Inglese

The course intends to offer an introduction to the methods of field theory applied to the study of many-body systems of Matter Physics, in particular the theoretical study of quantum phenomena that characterize matter at low temperatures such as superfluidity and superconductivity is developed

#### 20410022 - TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA MOD. A

### Italiano

Il corso intende offrire un'introduzione ai metodi di teoria dei campi applicati allo studio dei sistemi a molti corpi della Fisica della Materia. Il programma del corso comprende nella prima parte lo studio dei metodi perturbativi e della teoria della risposta lineare applicati al gas di elettroni con l'uso delle funzioni di Green e dei diagrammi di Feynman. Nella seconda parte viene sviluppato lo studio teorico dei fenomeni quantistici che caratterizzano la materia alle basse temperature come la superfluidità e la superconduttività

### Inglese

To offer an introduction to the methods of field theory applied to the study of many-body systems of Matter Physics. The course program includes in the first part the study of the perturbative methods and the theory of linear response applied to the electron gas with the use of Green functions and Feynman diagrams. In the second part the theoretical study of the quantum phenomena that characterize matter at low temperatures such as superfluidity and superconductivity is developed

#### 20402228 - TIROCINIO

### Italiano

L'attività di tirocinio/stage è un lavoro che lo studente svolge sotto la guida di un docente sia in ambito universitario, sia presso Enti Esterni convenzionati con l'Ateneo; fornisce allo studente la capacità di sintetizzare le conoscenze globali acquisite, applicandole alla stesura ed elaborazione del lavoro di tesi

### Inglese

The internship / stage activity is a work that the student carries out under the guidance of a lecturer both in the university field, and in external sites affiliated with the University; provides the student with the ability to synthesize the acquired global knowledge, applying it to the drafting and elaboration of the thesis work

## DIDATTICA EROGATA 2021/2022

### Fisica (LM-17)

Dipartimento: MATEMATICA E FISICA  
Codice CdS: 104655

#### INSEGNAMENTI

#### Primo anno

#### Primo semestre

#### 20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA ( - FIS/03 - 8 CFU - 80 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GALLO PAOLA	60	Carico didattico	N0
LUPI LAURA	20	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 N0 GALLO PAOLA	60	
Mutuato da: 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 N0 LUPI LAURA	20	
Mutuato da: 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 N0 GALLO PAOLA	60	N0
Mutuato da: 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 N0 LUPI LAURA	20	N0
Mutuato da: 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 N0 GALLO PAOLA	60	N0
Mutuato da: 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 N0 LUPI LAURA	20	N0
Mutuato da: 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 N0 GALLO PAOLA	60	N0
Mutuato da: 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 N0 LUPI LAURA	20	N0
Mutuato da: 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 N0 GALLO PAOLA	60	N0
Mutuato da: 20402210 FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 N0 LUPI LAURA	20	N0

#### 20401904 - FISICA TEORICA I ( - FIS/02 - 8 CFU - 68 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
SANFILIPPO FRANCESCO	38	Carico didattico	N0
DEGRASSI GIUSEPPE	30	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 N0 Sanfilippo Francesco	38	
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 N0 DEGRASSI GIUSEPPE	30	
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 N0 Sanfilippo Francesco	38	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 N0 DEGRASSI GIUSEPPE	30	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 N0 Sanfilippo Francesco	38	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 N0 DEGRASSI GIUSEPPE	30	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 N0 Sanfilippo Francesco	38	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 N0 DEGRASSI GIUSEPPE	30	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 N0 Sanfilippo Francesco	38	N0
Mutuato da: 20401904 FISICA TEORICA I in Fisica LM-17 N0 DEGRASSI GIUSEPPE	30	N0

#### 20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI ( - FIS/01 - 8 CFU - 80 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI MICCO BIAGIO	64	Carico didattico	
ORESTANO DOMIZIA	16	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 DI MICCO BIAGIO	64	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 ORESTANO DOMIZIA	16	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 DI MICCO BIAGIO	64	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 ORESTANO DOMIZIA	16	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 DI MICCO BIAGIO	64	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 ORESTANO DOMIZIA	16	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 DI MICCO BIAGIO	64	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 ORESTANO DOMIZIA	16	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 DI MICCO BIAGIO	64	
<b>Mutuato da:</b> 20410581 FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI in Fisica LM-17 ORESTANO DOMIZIA	16	

## Secondo semestre

### 20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA ( - FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Fisica teorica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LA FRANCA FABIO	60	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20401878 ASTROFISICA EXTRAGALATTICA in Fisica LM-17 N0 LA FRANCA FABIO	60	

### 20410041 - ASTROFISICA GENERALE ( - FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Fisica teorica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BIANCHI STEFANO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410041 ASTROFISICA GENERALE in Fisica LM-17 BIANCHI STEFANO	60	

### 20402214 - ASTROFISICA STELLARE ( - FIS/05 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Fisica teorica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
VENTURA PAOLO	48	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20402214 ASTROFISICA STELLARE in Fisica LM-17 N0 VENTURA PAOLO	48	

**20402221 - COMPLEMENTI DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA ( - FIS/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica teorica*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20410020 COMPLEMENTI DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA in Fisica LM-17 DE SETA MONICA	48	

**20410020 - COMPLEMENTI DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA ( - FIS/03 - 9 CFU - 72 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica della materia*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DE SETA MONICA	72	Carico didattico	

**20410502 - DIDATTICA DELLA FISICA ( - FIS/08 - 8 CFU - 64 ore - ITA )**

*Curricula: Didattico*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
Da assegnare	32	Bando	
Da assegnare	32	Bando	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410502 DIDATTICA DELLA FISICA in Fisica LM-17		

**20410503 - DIDATTICA DELLA MATEMATICA ( - MAT/04 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

*Curricula: Didattico - Fisica teorica*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20410456 MC420-DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 MILLAN GASCA ANA MARIA	60	
Fruito da: 20410456 MC420-DIDATTICA DELLA MATEMATICA in Matematica LM-40 MILLAN GASCA ANA MARIA	60	

**20410328 - ELEMENTI DI GEOLOGIA II ( - GEO/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

*Curricula: Didattico*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410328 ELEMENTI DI GEOLOGIA II in Geologia del Territorio e delle Risorse LM-74 CIFELLI FRANCESCA		

**20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA ( - FIS/02 - 6 CFU - 52 ore - ITA )**

*Curricula: Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FRANCESCHINI ROBERTO	52	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 N0 FRANCESCHINI ROBERTO	52	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 N0 FRANCESCHINI ROBERTO	52	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 N0 FRANCESCHINI ROBERTO	52	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 N0 FRANCESCHINI ROBERTO	52	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402211 COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA in Fisica LM-17 N0 FRANCESCHINI ROBERTO	52	N0

### 20402213 - ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE ( - FIS/06,FIS/07 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Didattico - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PLASTINO WOLFANGO	48	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402213 ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE in Fisica LM-17 N0 PLASTINO WOLFANGO	96	
<b>Mutuato da:</b> 20402213 ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE in Fisica LM-17 N0 PLASTINO WOLFANGO	96	
<b>Mutuato da:</b> 20402213 ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE in Fisica LM-17 N0 PLASTINO WOLFANGO	96	

### 20410054 - FISICA DELL'AMBIENTE ( - FIS/07 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI SARRA ALCIDE	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410054 FISICA DELL'AMBIENTE in Fisica LM-17 DI SARRA ALCIDE	48	

### 20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI - MOD. B ( - FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica nucleare e subnucleare

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
SALAMANNA GIUSEPPE	26	Carico didattico	N0
PETRUCCI FABRIZIO	16	Carico didattico	N0

### 20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI MOD. A ( - FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica nucleare e subnucleare

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
SALAMANNA GIUSEPPE	26	Carico didattico	N0
PETRUCCI FABRIZIO	16	Carico didattico	N0

### 20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA ( - FIS/05 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BRANCHINI ENZO FRANCO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 BRANCHINI ENZO FRANCO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 BRANCHINI ENZO FRANCO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20410086 ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA in Fisica LM-17 BRANCHINI ENZO FRANCO	48	

**20402218 - FISICA TEORICA II ( - FIS/02 - 6 CFU - 52 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MELONI DAVIDE	52	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402218 FISICA TEORICA II in Fisica LM-17 N0 MELONI DAVIDE	104	
<b>Mutuato da:</b> 20402218 FISICA TEORICA II in Fisica LM-17 N0 MELONI DAVIDE	104	N0

**20410042 - FISICA TERRESTRE ( - FIS/06 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTINELLI ELENA	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410042 FISICA TERRESTRE in Fisica LM-17 PETTINELLI ELENA	48	

**20410583 - FONDAMENTI DI MICROSCOPIA CON LABORATORIO ( - FIS/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica della materia*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PERSICHETTI LUCA	36	Carico didattico	
CAPELLINI GIOVANNI	24	Carico didattico	

**20410047 - MECCANICA DEI MEZZI CONTINUI IN FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE ( - FIS/06 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MATTEI ELISABETTA	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410047 MECCANICA DEI MEZZI CONTINUI IN FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE in Fisica LM-17 MATTEI ELISABETTA	48	

**20410584 - RETI COMPLESSE ( - FIS/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

*Curricula: Fisica teorica*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410571 FS520 – RETI COMPLESSE in Scienze Computazionali LM-40 CAMISASCA GAIA	60	

### 20402232 - TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA ( - FIS/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica teorica

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410022 TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA MOD. A in Fisica LM-17 RAIMONDI ROBERTO	60	

### 20410022 - TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA MOD. A ( - FIS/03 - 8 CFU - 80 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica della materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
RAIMONDI ROBERTO	80	Carico didattico	

## Secondo anno

### Primo semestre

### 20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI ( - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
RUGGIERI FEDERICO	60	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 N0 RUGGIERI FEDERICO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 N0 RUGGIERI FEDERICO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 N0 RUGGIERI FEDERICO	60	

### 20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI ( - FIS/04 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
RUGGIERI FEDERICO	60	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 N0 RUGGIERI FEDERICO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 N0 RUGGIERI FEDERICO	60	
<b>Mutuato da:</b> 20401070 ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI in Fisica LM-17 N0 RUGGIERI FEDERICO	60	

### 20402143 - COSMOLOGIA ( - FIS/05 - 8 CFU - 72 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BRANCHINI ENZO FRANCO	72	Carico didattico	N0

### 20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI ( - FIS/02 - 8 CFU - 64 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica teorica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
TARANTINO CECILIA	64	Carico didattico	N0

### 20410504 - INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA ( - BIO/13 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Didattico

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Frutto da:</b> 20410003 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 NESSUNA CANALIZZAZIONE	48	
<b>Frutto da:</b> 20410003 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 NESSUNA CANALIZZAZIONE ABELI THOMAS	48	
<b>Frutto da:</b> 20410003 Introduzione alla Biologia in Scienze biologiche L-13 NESSUNA CANALIZZAZIONE TAVLADORAKI PARASKEVI	48	

### 20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE ( - - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BIANCHI STEFANO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	N0

### 20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE ( - FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BIANCHI STEFANO	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	N0
<b>Mutuato da:</b> 20402146 ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE in Fisica LM-17 N0 BIANCHI STEFANO	120	N0

### 20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE ( - FIS/04,FIS/01 - 8 CFU - 82 ore - ITA )

**Curricula:** Fisica nucleare e subnucleare

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
MARI STEFANO MARIA	43	Carico didattico	
DI MICCO BIAGIO	30	Carico didattico	

**20401425 - MECCANICA STATISTICA ( - FIS/02 - 8 CFU - 80 ore - ITA )**

**Curricula:** Fisica teorica

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
LUPI LAURA	70	Affidamento di incarico retribuito	N0
LUPI LAURA	10	Carico didattico	N0

**20410506 - COSMOLOGIA ( - FIS/05 - 6 CFU - 54 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	54	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	60	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	54	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	54	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	54	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	54	

**20410506 - COSMOLOGIA ( - FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	54	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	60	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	54	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	54	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	54	
<b>Fruito da:</b> 20402143 COSMOLOGIA in Fisica LM-17 N0 BRANCHINI ENZO FRANCO	54	

**20410048 - METODI SPERIMENTALI DI GEOFISICA ( - FIS/06 - 8 CFU - 82 ore - ITA )**

**Curricula:** Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PETTINELLI ELENA	82	Carico didattico	

**20402215 - METODI SPERIMENTALI DI STRUTTURA DELLA MATERIA ( - FIS/03 - 9 CFU - 84 ore - ITA )**

**Curricula:** Fisica della materia

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
RUOCCO ALESSANDRO	84	Carico didattico	N0

**20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza ( - FIS/08 - 6 CFU - 52 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GIACOMINI LIVIA	24	Carico didattico	
BERNIERI ENRICO	18	Carico didattico	
DE ANGELIS ILARIA	10	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 GIACOMINI Livia	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 BERNIERI ENRICO	18	
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 DE ANGELIS ILARIA	10	
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 GIACOMINI Livia	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 BERNIERI ENRICO	18	
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 DE ANGELIS ILARIA	10	
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 GIACOMINI Livia	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 BERNIERI ENRICO	18	
<b>Mutuato da:</b> 20410580 Education & Outreach, la comunicazione della scienza in Fisica LM-17 DE ANGELIS ILARIA	10	

**20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE ( - FIS/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
GALLO PAOLA	60	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 GALLO PAOLA	180	
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 GALLO PAOLA	180	
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 GALLO PAOLA	180	
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 GALLO PAOLA	180	
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 GALLO PAOLA	180	
<b>Mutuato da:</b> 20410585 FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE in Fisica LM-17 GALLO PAOLA	180	

**20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI ( - FIS/05 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
CLAUDI RICCARDO	24	Carico didattico	1
TOSI FEDERICO	24	Carico didattico	1

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 1 CLAUDI Riccardo	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 1 TOSI Federico	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 1 CLAUDI Riccardo	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 1 TOSI Federico	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 1 CLAUDI Riccardo	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410098 FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI in Fisica LM-17 1 TOSI Federico	24	

**20402259 - FISICA DEL CLIMA ( - FIS/06 - 6 CFU - 48 ore - ITA )**

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PASINI ANTONELLO	48	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 N0 Pasini Antonello	48	
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 N0 Pasini Antonello	48	
<b>Mutuato da:</b> 20402259 FISICA DEL CLIMA in Fisica LM-17 N0 Pasini Antonello	48	

### 20402026 - FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA ( - FIS/06 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
SCOTTO CARLO	48	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402026 FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA in Fisica LM-17 N0 SCOTTO Carlo	48	
<b>Mutuato da:</b> 20402026 FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA in Fisica LM-17 N0 SCOTTO Carlo	48	
<b>Mutuato da:</b> 20402026 FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA in Fisica LM-17 N0 SCOTTO Carlo	48	

### 20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE ( - FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	24	Carico didattico	
MARI STEFANO MARIA	24	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 MARI STEFANO MARIA	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 MARI STEFANO MARIA	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	24	
<b>Mutuato da:</b> 20410505 FISICA DELLE ASTROPARTICELLE in Fisica LM-17 MARI STEFANO MARIA	24	

### 20410050 - FISICA DELLE NANOSTRUTTURE ( - FIS/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DI GASPARE LUCIANA	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20410050 FISICA DELLE NANOSTRUTTURE in Fisica LM-17 DI GASPARE LUCIANA	96	
<b>Mutuato da:</b> 20410050 FISICA DELLE NANOSTRUTTURE in Fisica LM-17 DI GASPARE LUCIANA	96	

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410050 FISICA DELLE NANOSTRUTTURE in Fisica LM-17 DI GASPARE LUCIANA	96	
Mutuato da: 20410050 FISICA DELLE NANOSTRUTTURE in Fisica LM-17 DI GASPARE LUCIANA	96	
Mutuato da: 20410050 FISICA DELLE NANOSTRUTTURE in Fisica LM-17 DI GASPARE LUCIANA	96	
Mutuato da: 20410050 FISICA DELLE NANOSTRUTTURE in Fisica LM-17 DI GASPARE LUCIANA	96	

### 20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE ( - FIS/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
OFFI FRANCESCO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 OFFI FRANCESCO	96	
Mutuato da: 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 OFFI FRANCESCO	96	
Mutuato da: 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 OFFI FRANCESCO	96	
Mutuato da: 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 OFFI FRANCESCO	96	
Mutuato da: 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 OFFI FRANCESCO	96	
Mutuato da: 20410051 FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE in Fisica LM-17 OFFI FRANCESCO	96	

### 20410097 - FOTONICA QUANTISTICA ( - FIS/03 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
BARBIERI MARCO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20410097 FOTONICA QUANTISTICA in Fisica LM-17 BARBIERI MARCO	48	
Mutuato da: 20410097 FOTONICA QUANTISTICA in Fisica LM-17 BARBIERI MARCO	48	
Mutuato da: 20410097 FOTONICA QUANTISTICA in Fisica LM-17 BARBIERI MARCO	48	

### 20401858 - ISTITUZIONI DI FISICA MEDICA ( - FIS/07 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
ARAGNO DANILO	48	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Mutuato da: 20401858 ISTITUZIONI DI FISICA MEDICA in Fisica LM-17 N0 ARAGNO DANILO	48	
Mutuato da: 20401858 ISTITUZIONI DI FISICA MEDICA in Fisica LM-17 N0 ARAGNO DANILO	48	
Mutuato da: 20401858 ISTITUZIONI DI FISICA MEDICA in Fisica LM-17 N0 ARAGNO DANILO	48	

### 20402354 - MECCANICA STATISTICA ( - FIS/02 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
Fruito da: 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 N0 LUPI LAURA	60	
Fruito da: 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 N0 LUPI LAURA	60	
Fruito da: 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 N0 LUPI LAURA	60	

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 N0 LUPI LAURA	60	
<b>Fruito da:</b> 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 N0 LUPI LAURA	60	
<b>Fruito da:</b> 20401425 MECCANICA STATISTICA in Fisica LM-17 N0 LUPI LAURA	60	

### 20410173 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI ( - MAT/08 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410420 AN420 - ANALISI NUMERICA 2 in Scienze Computazionali LM-40 FERRETTI ROBERTO	48	
<b>Fruito da:</b> 20410420 AN420 - ANALISI NUMERICA 2 in Scienze Computazionali LM-40 FERRETTI ROBERTO	48	
<b>Fruito da:</b> 20410420 AN420 - ANALISI NUMERICA 2 in Scienze Computazionali LM-40 FERRETTI ROBERTO	48	
<b>Fruito da:</b> 20410420 AN420 - ANALISI NUMERICA 2 in Scienze Computazionali LM-40 FERRETTI ROBERTO	48	
<b>Fruito da:</b> 20410420 AN420 - ANALISI NUMERICA 2 in Scienze Computazionali LM-40 FERRETTI ROBERTO	48	

### 20402155 - MISURE ASTROFISICHE ( - FIS/05 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
DE ROSA ALESSANDRA	40	Carico didattico	N0
LA FRANCA FABIO	20	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 N0 DE ROSA Alessandra	40	
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 N0 LA FRANCA FABIO	20	
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 N0 DE ROSA Alessandra	40	
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 N0 LA FRANCA FABIO	20	
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 N0 DE ROSA Alessandra	40	
<b>Mutuato da:</b> 20402155 MISURE ASTROFISICHE in Fisica LM-17 N0 LA FRANCA FABIO	20	

### 20402380 - RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE ( - FIS/07 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
PLASTINO WOLFANGO	48	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402380 RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE in Fisica LM-17 N0 PLASTINO WOLFANGO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20402380 RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE in Fisica LM-17 N0 PLASTINO WOLFANGO	48	
<b>Mutuato da:</b> 20402380 RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE in Fisica LM-17 N0 PLASTINO WOLFANGO	48	

### 20401000 - STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA ( - FIS/04 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** Astrofisica e cosmologia - Didattico - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
FABBRI ANDREA	48	Carico didattico	N0

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20401000 STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA in Fisica LM-17 N0 FABBRI ANDREA	48	
<b>Mutuato da:</b> 20401000 STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA in Fisica LM-17 N0 FABBRI ANDREA	48	
<b>Mutuato da:</b> 20401000 STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA in Fisica LM-17 N0 FABBRI ANDREA	48	

### 20402258 - TEORIA DELLA RELATIVITA' ( - FIS/02 - 6 CFU - 48 ore - ITA )

**Curricula:** *Astrofisica e cosmologia - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica teorica - Fisica Terrestre e dell'ambiente*

**Docenti:**

Nominativo	Ore	Tipo incarico	Canale
ARCADI GIORGIO	48	Carico didattico	

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Mutuato da:</b> 20402258 TEORIA DELLA RELATIVITA' in Fisica LM-17 ARCADI GIORGIO	144	
<b>Mutuato da:</b> 20402258 TEORIA DELLA RELATIVITA' in Fisica LM-17 ARCADI GIORGIO	144	
<b>Mutuato da:</b> 20402258 TEORIA DELLA RELATIVITA' in Fisica LM-17 ARCADI GIORGIO	144	
<b>Mutuato da:</b> 20402258 TEORIA DELLA RELATIVITA' in Fisica LM-17 ARCADI GIORGIO	144	
<b>Mutuato da:</b> 20402258 TEORIA DELLA RELATIVITA' in Fisica LM-17 ARCADI GIORGIO	144	

## Secondo semestre

### 20410584 - RETI COMPLESSE ( - FIS/03 - 6 CFU - 60 ore - ITA )

**Curricula:** *Astrofisica e cosmologia - Fisica della materia - Fisica nucleare e subnucleare - Fisica Terrestre e dell'ambiente*

**Mutuazioni:**

Dettaglio	Ore	Canale
<b>Fruito da:</b> 20410571 FS520 – RETI COMPLESSE in Scienze Computazionali LM-40 CAMISASCA GAIA	60	
<b>Fruito da:</b> 20410571 FS520 – RETI COMPLESSE in Scienze Computazionali LM-40 CAMISASCA GAIA	60	
<b>Fruito da:</b> 20410571 FS520 – RETI COMPLESSE in Scienze Computazionali LM-40 CAMISASCA GAIA	60	
<b>Fruito da:</b> 20410571 FS520 – RETI COMPLESSE in Scienze Computazionali LM-40 CAMISASCA GAIA	60	

**INCARICHI DIDATTICI DEL CORSO DI LAUREA**

Nominativo	Tot.Ore	Tipo incarico	Ore	Attività didattica
ARAGNO DANILO	48	Carico didattico	48	20401858 - ISTITUZIONI DI FISICA MEDICA
ARCADI GIORGIO	48	Carico didattico	48	20402258 - TEORIA DELLA RELATIVITA'
BARBIERI MARCO	48	Carico didattico	48	20410097 - FOTONICA QUANTISTICA
BERNIERI ENRICO	18	Carico didattico	18	20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza
BIANCHI STEFANO	120	Carico didattico	60	20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE
		Carico didattico	60	20410041 - ASTROFISICA GENERALE
BRANCHINI ENZO FRANCO	120	Carico didattico	72	20402143 - COSMOLOGIA
		Carico didattico	48	20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA
BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA	24	Carico didattico	24	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
CAPELLINI GIOVANNI	24	Carico didattico	24	20410583 - FONDAMENTI DI MICROSCOPIA CON LABORATORIO
CLAUDI RICCARDO	24	Carico didattico	24	20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI
DE ANGELIS ILARIA	10	Carico didattico	10	20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza
DE ROSA ALESSANDRA	40	Carico didattico	40	20402155 - MISURE ASTROFISICHE
DE SETA MONICA	72	Carico didattico	72	20410020 - COMPLEMENTI DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA
DEGRASSI GIUSEPPE	30	Carico didattico	30	20401904 - FISICA TEORICA I
DI GASPARE LUCIANA	48	Carico didattico	48	20410050 - FISICA DELLE NANOSTRUTTURE
DI MICCO BIAGIO	94	Carico didattico	64	20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI
		Carico didattico	30	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
DI SARRA ALCIDE	48	Carico didattico	48	20410054 - FISICA DELL'AMBIENTE
FABBRI ANDREA	48	Carico didattico	48	20401000 - STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA
FRANCESCHINI ROBERTO	52	Carico didattico	52	20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA
GALLO PAOLA	120	Carico didattico	60	20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE
		Carico didattico	60	20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA
GIACOMINI LIVIA	24	Carico didattico	24	20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza
LA FRANCA FABIO	80	Carico didattico	60	20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA
		Carico didattico	20	20402155 - MISURE ASTROFISICHE
LUPI LAURA	100	Carico didattico	20	20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA
		Carico didattico	10	20401425 - MECCANICA STATISTICA
		Affidamento di incarico retribuito	70	20401425 - MECCANICA STATISTICA
MARI STEFANO MARIA	67	Carico didattico	24	20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE
		Carico didattico	43	20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE
MATTEI ELISABETTA	48	Carico didattico	48	20410047 - MECCANICA DEI MEZZI CONTINUI IN FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE
MELONI DAVIDE	52	Carico didattico	52	20402218 - FISICA TEORICA II
OFFI FRANCESCO	48	Carico didattico	48	20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCE
ORESTANO DOMIZIA	16	Carico didattico	16	20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI
PASINI ANTONELLO	48	Carico didattico	48	20402259 - FISICA DEL CLIMA
PERSICHETTI LUCA	36	Carico didattico	36	20410583 - FONDAMENTI DI MICROSCOPIA CON LABORATORIO
PETRUCCI FABRIZIO	32	Carico didattico	16	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
		Carico didattico	16	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
PETTINELLI ELENA	130	Carico didattico	48	20410042 - FISICA TERRESTRE
		Carico didattico	82	20410048 - METODI SPERIMENTALI DI GEOFISICA
PLASTINO WOLFANGO	96	Carico didattico	48	20402213 - ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE
		Carico didattico	48	20402380 - RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE
RAIMONDI ROBERTO	80	Carico didattico	80	20410022 - TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA MOD. A
RUGGIERI FEDERICO	60	Carico didattico	60	20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI
RUOCCO ALESSANDRO	84	Carico didattico	84	20402215 - METODI SPERIMENTALI DI STRUTTURA DELLA MATERIA
SALAMANNA GIUSEPPE	52	Carico didattico	26	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
		Carico didattico	26	20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)
SANFILIPPO FRANCESCO	38	Carico didattico	38	20401904 - FISICA TEORICA I

Nominativo	Tot.Ore	Tipo incarico	Ore	Attività didattica
SCOTTO CARLO	48	Carico didattico	48	20402026 - FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA
TARANTINO CECILIA	64	Carico didattico	64	20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI
TOSI FEDERICO	24	Carico didattico	24	20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI
VENTURA PAOLO	48	Carico didattico	48	20402214 - ASTROFISICA STELLARE
DOCENTE NON DEFINITO	128	Bando	32	20410502 - DIDATTICA DELLA FISICA
		Bando	32	20410502 - DIDATTICA DELLA FISICA
<b>Totale ore</b>	<b>2439</b>			

## CONTENUTI DIDATTICI

### 20401070 - ACQUISIZIONE DATI E CONTROLLO DI ESPERIMENTI

**Canale:**N0

**Docente:** RUGGIERI FEDERICO

**Italiano**

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Lo scopo del corso è fornire allo studente gli elementi cognitivi generali che sottendono alla realizzazione di sistemi di acquisizione, controllo e monitoraggio degli esperimenti di Fisica Nucleare e Subnucleare. Il corso è articolato sui seguenti argomenti: -Introduzione ai sistemi di DAQ-Parallelismo e Pipelining-Derandomizzazione-DAQ e Trigger-Trasmissione Dati -Front End Electronics-Trigger-Architettura Sistemi di Calcolo-Sistemi Real Time-Real Time Operating Systems-Linguaggio C-Protocolli di Rete TCP/IP-Architettura DAQ-Event Building -VME Bus-Run Control-Farming-Archiviazione DatiDurante il corso si svolgeranno delle esercitazioni in Laboratorio con la esecuzione di semplici esempi di: -sistemi di lettura e trasferimento dati tramite meccanismi di pipe con processi concorrenti; -programmi di simulazione di trigger basati su segnali; -programma di Run Control per attivazione e terminazione di processi;-configurazione e lettura di dati da scheda su bus VME.

#### Testi

Dispense preparate dal docente sulla base delle slide presentate a lezione, disponibili sul sito Moodle predisposto dall'Ateneo: <https://matematicafisica.el.uniroma3.it>

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Le lezioni si svolgono in modalità tradizionale, in aula, spesso con l'ausilio di proiezioni di slides per la gestione dei dati. A seguito dell'emergenza COVID19 le lezioni saranno svolte in modalità remota attraverso sistemi di videoconferenza e di attività collaborativa. Il Materiale Didattico è disponibile sul server Moodle predisposto dall'Ateneo per Matematica e Fisica: <https://matematicafisica.el.uniroma3.it>

#### Modalità di valutazione

L'esame prevede unicamente una prova orale in cui si chiede allo studente un primo argomento a piacere e poi si verifica la conoscenza generale dei vari argomenti affrontati a lezione.

**English**

#### Prerequisites

none

#### Programme

The aim of the course is to provide the student with the general cognitive elements underlying the acquisition, control and monitoring systems of Nuclear and Subnuclear Physics experiments. The course is divided into the following topics: -Introduction to DAQ-Parallelism and Pipelining systems -Derandomization-DAQ and Trigger-Data Transmission -Front End Electronics-Trigger-Architecture Computing Systems-Real Time Systems-Real Time Operating Systems -C Language-TCP / IP Network Protocols-DAQ-Architecture Building -VME Bus-Run Control-Farming-Data Archiving During the course, laboratory exercises will take place with the execution of simple examples of: - reading and data transfer systems through pipe mechanisms with concurrent processes; - signal-based trigger simulation programs; - Run Control program for activation and termination of processes; - configuration and reading of data from board on VME bus.

#### Reference books

Lecture notes prepared by the teacher on the basis of the slides presented and available on the Moodle server: <https://matematicafisica.el.uniroma3.it>

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

### 20402146 - ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE

**Docente:** BIANCHI STEFANO

**Italiano**

#### Prerequisiti

Non sono richieste specifiche conoscenze pregresse.

### Programma

OGGETTI COMPATTI: NANE BIANCHE, STELLE DI NEUTRONI. LIMITE DI CHANDRASEKHAR, PULSAR, BUCHI NERI  
ACCRESCIMENTO: TEORIA, LIMITE DI EDDINGTON, DISCHI DI ACCRESCIMENTO BINARIE X: FENOMENOLOGIA E  
CLASSIFICAZIONE, VARIABILI CATACLISMICHE, BINARIE X DI PICCOLA E GRANDE MASSA, CANDIDATI BUCHI NERI NUCLEI  
GALATTICI ATTIVI: FENOMENOLOGIA E CLASSIFICAZIONE, EMISSIONE IN BANDA X E GAMMA, GETTI, MOTI SUPERLUMINALI  
GAMMA RAY BURST: FENOMENOLOGIA, ORIGINE E MECCANISMI DI EMISSIONE AMMASSI DI GALASSIE: EMISSIONE X DAL  
MEZZO INTERGALATTICO, COOLING FLOW RAGGI COSMICI: COMPOSIZIONE, SPETTRO ED ORIGINE, RESTI DI SUPERNOVA,  
RAGGI COSMICI DI ALTISSIMA ENERGIA.

### Testi

(LONGAIR MALCOM S. ) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (KIPPENHAHN R., WEIGERT A.) STELLAR  
STRUCTURE AND EVOLUTION [SPRINGER 1994] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS  
[WILEY] (VIETRI M.) ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE [BORINGHIERI] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES,  
WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY]

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali con proiezione di slide e approfondimenti, seguite da domande e risposte.

### Modalità di valutazione

Prova orale sugli argomenti del corso, con discussione approfondita e corredata da formule e grafici in caso di necessita'.

### English

### Prerequisites

No prior knowledge is required.

### Programme

COMPACT OBJECTS: WHITE DWARFS, NEUTRON STARS, THE CHANDRASEKHAR LIMIT, PULSARS, BLACK HOLES  
ACCRETION: THEORY, EDDINGTON LIMIT, ACCRETION DISKS X-RAY BINARIES: CLASSIFICATION AND PHENOMENOLOGY,  
CATACLYSMIC VARIABLES, LOW-MASS AND HIGH-MASS X-RAY BINARIES, BLACK HOLE CANDIDATES ACTIVE GALACTIC  
NUCLEI: CLASSIFICATION AND PHENOMENOLOGY, X-RAY AND GAMMA-RAY EMISSION, JETS, SUPERLUMINAL MOTIONS  
GAMMA RAY BURSTS: PHENOMENOLOGY, ORIGIN, EMISSION MECHANISMS CLUSTER OF GALAXIES: EMISSION FROM THE  
INTERGALACTIC MEDIUM, COOLING FLOWS COSMIC RAYS: COMPOSITION, SPECTRUM AND ORIGIN, SUPERNOVA  
REMNANTS, ULTRA HIGH ENERGY COSMIC RAYS

### Reference books

(LONGAIR MALCOM S. ) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (KIPPENHAHN R., WEIGERT A.) STELLAR  
STRUCTURE AND EVOLUTION [SPRINGER 1994] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS  
[WILEY] (VIETRI M.) ASTROFISICA DELLE ALTE ENERGIE [BORINGHIERI] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES,  
WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY]

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401878 - ASTROFISICA EXTRAGALATTICA

Canale:N0

Docente: LA FRANCA FABIO

### Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Programma 1. Cenni di evoluzione stellare 2. Cenni sulla strumentazione 3. La Via Lattea 4. Il buco nero centrale 5. Classificazione  
delle galassie 6. Potenziali delle galassie, distribuzione di massa e andamento delle isofote 7. Le curve di rotazione 8. Relazioni di scala  
nelle galassie 9. Spettroscopia: gas freddo, gas caldo e gas molecolare 10. Misure spettroscopiche di velocità, temperatura e densità  
11. Gli AGN: motore e struttura centrale 12. La misura della massa dei black holes 13. Gli AGN: evoluzione 14. Coevoluzione  
AGN/galassie 15. Misura e storia delle Star Formation and Accretion Rates 16. Misura e riproduzione di: fondi cosmici, funzioni di  
luminosità e di massa 17. La metallicità 18. Gli ammassi di galassie

### Testi

Testo: L.S. Sparke and J.S. Gallagher Galaxies in the Universe - An Introduction. Cambridge University Press

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni alla lavagna con l'ausilio di proiezioni di immagini, grafici e filmati. Svolgimento di alcuni esercizi.

### Modalità di valutazione

Il candidato deve esporre un argomento a sua scelta inquadrandolo scientificamente, mettendo in evidenza gli aspetti fisici più rilevanti e possibilmente dimostrando come si giunge alle relazioni fisiche che lo descrivono. In seguito la commissione sceglie altri due argomenti da far esporre sempre nella stessa maniera al candidato. Verranno valutati la correttezza, la completezza, e lo spirito critico delle esposizioni.

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

1. Principles of Stellar Evolution 2. Principles of Observational Astronomy 3. The Milky Way 4. The central Black Hole of the Milky Way 5. Galaxy classification 6. Mass distribution, potentials, and isophotes 7. Rotation curves 8. Scaling relations in galaxies 9. Astrophysical Spectroscopy: cold gas, hot gas and molecular gas 10. Velocity, temperature and density measures 11. Active Galactic Nuclei: the structure and the central engine 12. The measure of the supermassive black hole masses 13. The evolution of the Active Galactic Nuclei 14. AGN/galaxy coevolution 15. Measure and history of the Star Formation Rate of galaxies 16. Luminosity and mass functions evolution of AGN and galaxies. Synthesis of the cosmic backgrounds. 17. Metallicity 18. Clusters of galaxies

#### Reference books

Testo: L.S. Sparke and J.S. Gallagher Galaxies in the Universe - An Introduction. Cambridge University Press

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410041 - ASTROFISICA GENERALE

**Docente:** BIANCHI STEFANO

### Italiano

#### Prerequisiti

Non e' necessaria una specifica conoscenza pregressa.

#### Programma

Processi Radiativi in Astrofisica: Equazione del Trasporto, Bremsstrahlung, Sincrotrone, Effetto Compton Inverso, Produzione di Coppie, Effetto Cherenkov Interazioni Nucleari, Righe Nucleari Spettroscopia: Notazione, Livelli di Energia, Regole di Selezione, Bilancio di Ionizzazione, Righe di Emissione e Assorbimento, Misure di Densità e Temperatura, Polvere ed Estinzione Spettroscopia Molecolare Altri Messaggeri in Astrofisica: Onde Gravitazionali, Neutrini Accelerazione di Particelle: Meccanismi di Fermi, Onde d'urto

#### Testi

(LONGAIR MALCOM S. ) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS [WILEY] (SHAPIRO S.L, TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES, WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY] G. Ghisellini "Radiative Processes in High Energy Astrophysics", 2013

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali con proiezione di slide e approfondimenti, seguite da domande e risposte.

#### Modalità di valutazione

Prova orale sugli argomenti del corso, con discussione approfondita e corredata da formule e grafici in caso di necessita'.

### English

#### Prerequisites

No prior knowledge is required.

#### Programme

Radiative processes in Astrophysics: Transfer Equation, Bremsstrahlung, Synchrotron Emission, Inverse Compton Effect, Pairs Production, Cherenkov Effect Nuclear Interactions, Nuclear Lines Spectroscopy: Spectroscopic Notation, Energy Levels, Selection Rules, Ionization Balance, Emission and Absorption Lines, Density and Temperature Measures, Dust and Extinction Molecular Spectroscopy Other Messengers in Astrophysics: Gravitational Waves, Neutrinos Particle Acceleration: Fermi Mechanisms, Shocks

### Reference books

(LONGAIR MALCOM S. ) HIGH ENERGY ASTROPHYSICS 3RD ED. [CAMBRIDGE 2011] (G.B. RYBICKI, A.P. LIGHTMAN) RADIATIVE PROCESSES IN ASTROPHYSICS [WILEY] (SHAPIRO S.L., TEUKOLSKY S.A.) BLACK HOLES, WHITE DWARFS AND NEUTRON STARS [WILEY] G. Ghisellini "Radiative Processes in High Energy Astrophysics", 2013

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402214 - ASTROFISICA STELLARE

Canale:N0

Docente: VENTURA PAOLO

Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Osservazioni stellari Magnitudine di una stella. Intensità luminosa. Magnitudine apparente e relativa. Spettro di corpo nero. Leggi di Wien e Stefan-Boltzmann. I colori delle stelle. Profondità ottica. Equazione del trasporto radiativo. Oscuramento al bordo. Approssimazione di Eddington-Barbier. Atmosfera grigia. Definizione di fotosfera e di temperatura effettiva. I diagrammi di Hertzsprung-Russell e Colore-Magnitudine. Spettri stellari. Equazioni di Saha e di Boltzman. Righe dell'idrogeno. Discontinuità di Balmer. Tipi spettrali. Trasporto radiativo e opacità. La radiazione elettromagnetica. Rapporto tra flusso radiativo e gradiente di temperatura. Opacità e libero cammino medio fotonico. Coefficiente di opacità medio di Rosseland. Meccanismi di assorbimento di fotoni: transizioni legato-legato, legato libero, e libero-libero. Opacità di Kramer. Scattering Thomson. Conduzione elettronica. Importanza relativa dei vari tipi di opacità nel piano densità-temperatura. La convezione nelle stelle L'instabilità convettiva. Criteri di Schwarzschild e Ledoux per l'instabilità convettiva. Cause principali per l'instaurarsi dell'instabilità convettiva. Efficienza della convezione. La "Mixing Length Theory" e il parametro libero  $\beta$ . Incertezze legate alla convezione. Calibrazione del parametro libero. Problematiche legate alla turbolenza e alla non località della convezione. Equazione di stato Equazione di stato per gli interni stellari. Pressioni di gas perfetto e di radiazione. Degenerazione elettronica. Il ruolo del Principio di Pauli. Il momento di Fermi. Degenerazione parziale e completa. Equazione di stato per gas degenerare in regime relativistico e non relativistico. Cristallizzazione. Neutronizzazione. Importanza relativa dei vari tipi di pressione nel piano densità –temperatura. Generazione di energia nucleare Le reazioni nucleari. Difetto di massa. Effetto tunnel. Risonanze. Sezioni d'urto. Rate di reazioni nucleari. Coefficiente di generazione di energia nucleare. Picco di Gamow. Dipendenza funzionale del rate delle reazioni nucleari dalla temperatura. Screening elettronico. La catena protone-protone. Il ciclo CNO. Abbondanze di equilibrio CNO. Le reazioni 3 $\alpha$ . Le equazioni dell'equilibrio stellare Equazioni dell'equilibrio stellare. Conservazione della massa. Espressione e significato fisico del coefficiente di generazione di energia gravitazionale. Conservazione dell'energia. Equilibrio idrostatico. Trasporto energetico. Energetica dei neutrini. Trattamento degli strati atmosferici. Equazioni dell'equilibrio stellare in forma adimensionale. Nascita delle stelle e prime fasi evolutive Il teorema del Viriale. Il criterio di Jeans per il collasso. La massa di Jeans. Frammentazione gerarchica. Cooling radiativo. Collasso isoterma. Collasso adiabatico. Dischi di accrescimento e struttura del disco. Bilancio energetico durante la fase di accrescimento. Struttura di protostella. La teoria di Hayashi della pre-sequenza. linee di Hayashi e loro significato fisico. Stratificazione di entropia in stelle radiative e convettive. Tracce evolutive classiche di pre-sequenza nel diagramma HR. Il tempo-scala di Kelvin-Helmoltz. Il modello di Palla & Stahler. Accrescimento. Evoluzione del core in equilibrio idrostatico. La relazione Massa-Raggio. La "birthline". La fusione del Litio in pre-sequenza. Il Litio nelle stelle di associazioni stellari giovani. Il limite di massa per la fusione dell'idrogeno. Brown dwarfse pianeti giganti. Ruolo della degenerazione elettronica. Il "Disk-locking" e il frenamento magnetico. La combustione di idrogeno Sequenze principali (MS) di ammassi aperti e globulari. Relazione Massa - Luminosità per stelle di MS. Forma della ZAMS. Limite inferiore e superiore per le masse di stelle di MS. Struttura delle stelle di MS al variare della massa: estensione delle zone convettive e radiative. Limite in massa per la combustione pp e CNO. Ruolo dell'idrogeno molecolare nella morfologia della ZAMS. Sequenze principali osservate in ammassi globulari e aperti : interpretazione. Tracce evolutive di stelle di sequenza principale. Incertezze teoriche sull'evoluzione delle stelle di MS: overshooting dal core, gradiente di temperatura in involucri convettivi. La fase di gigante rossa (KW – caps.30.5 e 32; articolo-review di M.Salaris) Evoluzione post-MS. Espansione in gigante. Il limite di Schonberg -Chandrasekhar. Degenerazione del core di elio nei modelli di piccola massa. Primo dredge-up: cause e effetti. Estensione dell'involucro convettivo delle stelle al variare della temperatura effettiva. Bump delle giganti. Funzioni di luminosità di ammassi stellari. Evoluzione di stelle di piccola massa fino al tip delle giganti. Il ruolo della shell CNO. Relazione Luminosità – Massa di core per le stelle di piccola massa. Il ruolo dei neutrini per la determinazione del picco di temperatura. Flash dell'elio. Termodinamica del flash. Il ruolo della degenerazione elettronica. Mini-flash. Confronto tra strutture termodinamiche pre- e post- flash. Evoluzione di ramo orizzontale: escursione delle tracce evolutive verso il blu e il rosso. Il ruolo dell'elio. Interpretazione dei rami orizzontali degli ammassi globulari: ruolo di età e perdita di massa . Combustione di elio in stelle non degeneri. "Blue loop" nel diagramma HR. Evoluzione di ramo asintotico (KW –cap.33) Secondo dredge-up. Degenerazione del core CO. Doppia shell di combustione nucleare. Instabilità del pulso termico. Evoluzione in ramo asintotico. Relazione Luminosità –Massa di core per stelle AGB. "Hot Bottom Burning" e Terzo dredge-up. Stelle ricche di litio. Stelle al Carbonio. Variazione della chimica superficiale di stelle AGB al variare della massa. Evoluzione super-AGB: flame convettivo e formazione di un core di Ossigeno e Neon. Polvere da stelle di ramo asintotico. Interpretazione dei diagrammi osservativi di popolazioni stellari evolute nelle Nubi di Magellano. Le Nane bianche (KW –cap.35) Ultime fasi di evoluzione di stelle di piccola massa o di massa intermedia. Lo stadio di nebulosa planetaria. Teoria di Chandrasekhar per le stelle nane bianche. Proprietà strutturali delle nane: relazione Massa-Raggio. Bilancio energetico di nane

bianche. Luminosità delle Nane bianche. Teoria del raffreddamento (cooling). Stelle variabili (KW –cap.39; BV3 –cap.18) Variabilità stellare: introduzione storica. Oscillazioni radiali. Periodo di propagazione di una perturbazione acustica. Il confronto tra stelle variabili e macchine termiche. Meccanismi  $\kappa$  e  $k$  per la produzione del "driving". Il ruolo della dipendenza dell'opacità dalla temperatura. Zone di ionizzazione parziale di idrogeno ed elio come motori della variabilità stellare. Distribuzione delle stelle variabili nel diagramma HR, e relativa interpretazione. Strisce di instabilità. Variabili Cefeidi e RR Lyrae: stadio evolutivo, e relazioni Periodo -Luminosità. Gli Ammassi stellari Distribuzione spaziale e proprietà degli ammassi globulari della Via Lattea. Distribuzione di stelle di ammassi stellari nel piano colore-magnitudine. Differenze tra ammassi aperti e globulari. Metodo del fitting delle isocrone: la magnitudine del Turn-off come indicatore di distanza e di età. Reddening ed estinzione. Impatto della metallicità sul colore della sequenza principale degli ammassi di stelle. Interpretazione dei rami orizzontali degli Ammassi Globulari. Anomalie chimiche delle stelle di ammassi globulari. Anticorrelazioni ossigeno-sodio e magnesio-alluminio. Evidenze fotometriche della presenza di una o più componenti arricchite in elio. Lo scenario AGB per la formazione di popolazioni multiple negli ammassi globulari. Evoluzione di stelle massicce(KW –cap.34) Stadi evolutivi terminali di stelle massicce: stelle LBV e Wolf-Rayet. Supernovae: osservazioni. Supernovae di tipo Ia, Ib, Ic e II. Fasi evolutive post combustione di carbonio: formazione di un "iron core". Collasso del core. Fotodisintegrazione del core. Meccanismi esplosivi.

## Testi

Titolo: Stellar structure and evolution Autori: Kippenhahn, Weigert Springer-Verlag 1990 Titolo: Introduction to stellar Astrophysics (vol. 2) Autrice: E. Böhm-Vitense Cambridge University Press 1992 Titolo: Introduction to stellar Astrophysics (vol. 3) Autrice: E. Böhm-Vitense Cambridge University Press 1992

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Lezioni frontali di due ore. In ciascuna lezione si affronta un argomento inerente la struttura delle stelle, le proprietà dei plasmi stellari e i campi di applicazione allo studio delle popolazioni stellari. Gli studenti vengono sollecitate con domande che si agganciano ad argomenti trattati nelle lezioni precedenti, in modo da stimolare una visione globale dell'astrofisica stellare.

## Modalità di valutazione

La valutazione avviene tramite una prova orale. Durante la prova, che tipicamente dura 40 minuti, lo studente è invitato a trattare tre argomenti diversi, relativi alle proprietà delle stelle e delle popolazioni stellari.

## English

## Prerequisites

none

## Programme

Stellar Observations Magnitude of a star. Brightness intensity. Apparent and relative magnitude. Black body spectrum. Wien and Stefan-Boltzmann laws. The colors of stars. Optical Depth. Radiation transport equation. Eddington-Barbier approximation. Gray atmosphere. Definition of photosphere and effective temperature. Hertzsprung-Russell and Color-Magnitude diagrams. Stellar spectra. Saha and Boltzmann equations. Hydrogen lines. Balmer's discontinuity. Spectral Types. Radiation and opacity transport. Electromagnetic radiation. Relation between energy radial flux and temperature gradient. Opacity and free path of photons. Rosseland's average opacity coefficient. Photon absorption mechanisms: bound-bound, bound-free, and free-free. Kramer's opacity. Thomson scattering. Electronic conduction. Relative importance of the various types of opacity in the density-temperature plane. Convection in the stars. Convective instability. Schwarzschild and Ledoux criteria for convective instability. Main causes for establishing convective instability. Convection efficiency. The "Mixing Length Theory" and the free parameter  $\alpha$ . Convection-related uncertainties. Free parameter calibration. Problems related to turbulence and non-local nature of convection. State equation Equation of state for stellar interiors. Ideal gas and radiation pressures. Electron degeneracy. The role of the Pauli Principle. The Fermi momentum. Partial and complete degeneracy. Equation of state for degenerate gas in the relativistic and non-relativistic case. Crystallization. Neutronization. Relative importance of the various types of pressure in the density-temperature plane. Generation of nuclear energy Nuclear reactions. Mass defect. Tunnel effect. Resonances. Cross sections. Rate of nuclear reactions. Nuclear energy generation coefficient. Gamow Peak. Functional dependence of the rate of nuclear reactions on the temperature. Electrons screening. The proton-proton chain. The CNO cycle and the relative equilibrium. The  $3\alpha$  reactions. The equations of stellar structure Equilibrium equations of the star. Mass Conservation. Expression and physical significance of the gravitational energy generation coefficient. Energy conservation. Hydrostatic balance. Energy transport. Neutrinos energy. Treatment of atmospheric layers. Stellar structure equations in dimensional form. The birth of the stars and early evolutionary phases The Virial theorem. Jeans criterion for collapse. The Jeans mass. Hierarchical fragmentation. Radiative cooling. Isothermal and adiabatic collapse. Accretion disks and disk structure. Energy balance during the accretion phase. Protostars. Hayashi theory for pre-main sequence stars. Hayashi lines and their physical meaning. Stratification of entropy into radiative and convective stars. Pre-main sequence evolutionary tracks in the HR diagram. The Kelvin-Helmoltz time scale. The Palla & Stahler model. Evolution of the core in hydrostatic equilibrium. The "birthline". Pre main sequence lithium burning. Lithium in stars belonging to young associations. The mass limit for the ignition of hydrogen burning. Brown dwarfs and giant planets. The role of electronic degeneracy. "Disk-locking" and magnetic braking. Core hydrogen burning Main sequences (MS) of open and globular clusters. Mass-Luminosity relation for MS stars. The shape of the Zero Age Main Sequence (ZAMS). Lower and upper limit for the mass of MS stars. Structure of MS stars of different mass: the extension of convective and radiative zones. Mass limit for proton - proton and CNO burning. The role of the formation of molecular hydrogen in the external regions of the stars on the ZAMS Morphology. Main sequences observed in globular and open clusters: interpretation. Evolutionary tracks of main sequence stars. Theoretical uncertainties about the evolution of MS stars: overshooting from the core, temperature gradient in convective envelopes. The red giant stage Post-MS evolution. Giant expansion. The Schonberg-Chandrasekhar instability. Degeneracy of the helium core in low mass models. First dredge-up: causes and effects. Extension of the convective envelope of the stars according to the effective temperature. Luminosity functions. Bump of the luminosity function during the giant phase. Evolution of low-mass stars up to the red giant tip. The role of the CNO shell. Core mass - luminosity relationship for low-mass stars. The role of neutrinos for the determination of the temperature peak. Helium Flash. Flash thermodynamics. The role of electron degeneracy. Mini-flash episodes. Comparison of pre- and post-flash thermodynamic structures. Horizontal branch evolution: evolutionary tracks towards the blue and the red side of the HR diagram. The role of helium. Interpretation of the horizontal branches of globular clusters: the role of age and mass loss. Helium burning in non degenerate stars. "Blue loop" in the HR diagram. Asymptotic branch evolution Second dredge-up. Degeneracy of carbon and oxygen core. Double shell nuclear burning. Thermal instability of the thermal pulse. Asymptotic Giant branch evolution. Luminosity - core mass relationship for AGB Stars. "Hot Bottom Burning" and Third Dredge-up. Lithium-rich stars. Carbon stars. Changes in the surface

chemistry of AGB stars of different mass. Super-AGB evolution: Convective flame and the formation of a core of Oxygen and Neon. Dust production during the asymptotic giant branch phase. Interpretation of the observational diagrams of evolved stellar populations in the Magellanic Clouds. White dwarf Late stages of evolution of stars of small or intermediate mass. The Planetary Nebula evolution. Chandrasekhar's theory for white dwarf stars. Structural properties of white dwarfs: mass-radius relationship. Energy balance of white dwarfs. Luminosity of White Dwarfs. Cooling theory. Variable stars Stellar variability: historical introduction. Radial oscillations. Period of propagation of an acoustic perturbation. The comparison between variable stars and thermal machines. Mechanisms # and k for the production of the 'driving' mechanism of pulsations. Hydrogen and helium partial ionization zones as drivers of star variability. Distribution of variable stars in the HR diagram, and its interpretation. Strips of instability. Cepheid and RR Lyrae Variables: Evolutionary Stage, and Period-Luminosity relationships. Stellar clusters The spatial distribution of stellar clusters across the Milky Way. Distribution of stars in clusters in the color-magnitude plane. Differences between open and globular clusters. The isochrone fitting method: turn-off magnitude as distance and age indicator. Reddening and extinction. Impact of metallicity on the color of the main sequence of star clusters. Interpretation of the horizontal branches of globular clusters. Chemical anomalies in globular clusters stars. Oxygen-sodium and magnesium-aluminum anti-correlations. Photometric evidence of the presence of one or more stellar components enriched in helium. The AGB scenario for the formation of multiple populations in globular clusters. Massive stars evolution The final stages of the evolution of massive stars: LBV and Wolf-Rayet stars. Supernovae: Supernovae observations of types Ia, Ib, Ic and II. Post-carbon evolutionary phases: formation of a degenerate core. Collapse of the core. Core photo-disintegration .Explosive Mechanisms.

### Reference books

Title: Stellar structure and evolution Authors: Kippenhahn, Weigert Springer-Verlag 1990 Title: Introduction to stellar Astrophysics (vol. 2) Author: E. Bohm-Vitense Cambridge University Press 1992 Title: Introduction to stellar Astrophysics (vol. 3) Author: E. Bohm-Vitense Cambridge University Press 1992

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402221 - COMPLEMENTI DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

**Docente:** DE SETA MONICA

### Italiano

#### Prerequisiti

Gli studenti dovranno conoscere le proprietà quantistiche e statistiche di base della materia solida cristallina quali: Teorema di Bloch, bande di energia elettroniche, vibrazioni reticolari e modi fononici. Funzioni di distribuzioni di Fermi Dirac e di Bose Einstein

#### Programma

Struttura elettronica di alcuni sistemi solidi. Richiami di calcolo a bande nei solidi. Solidi molecolari e ionici. Bande di sistemi II-VI, III-V, e nei solidi covalenti con struttura del diamante. Livelli di impurezza nei semiconduttori drogati. Energia interna, pressione e compressibilità di un gas di elettroni. Bande e superficie di Fermi dei metalli alcalini, metalli nobili, metalli semplici bivalenti e trivalenti; metalli di transizione. Proprietà di trasporto: Richiami del modello di Drude. Equazioni semiclassiche del moto. Equazione del trasporto di Boltzmann. Approssimazione del tempo di rilassamento. Conduttività elettrica nell'approssimazione del tempo di rilassamento: campo costante e campo alternato. Conduttività nei semiconduttori mediante l'equazione di Boltzmann. Potere termoelettrico e conduttività termica degli elettroni. Corrente di diffusione e di drift. Equazione di continuità e termini di generazione e ricombinazione. Tempo di ricombinazione e lunghezza di diffusione. Applicazione alla giunzione p-n in condizioni di non equilibrio. Cenni sulla giunzione metallo-semiconduttore. Interazione elettrone - fonone. Elementi di matrice e regole di selezione. Proprietà ottiche dei solidi Equazioni di Maxwell nei solidi. Costante dielettrica complessa e suo significato. Coefficiente di assorbimento e riflessione. Relazioni di Kramers Kronig. Oscillatore di Lorentz. Teoria di Drude delle proprietà ottiche di cariche libere. Oscillazioni di Plasma. Modello classico per la costante dielettrica. Transizioni interbanda: transizioni dirette. Contributo al coefficiente di assorbimento e alla costante dielettrica. Densità congiunta degli stati, punti critici. Funzione dielettrica del Ge e della grafite. Transizioni interbanda indirette. Cenni sull'assorbimento a due fotoni e sullo scattering Raman. Assorbimento da livelli di impurezza. Effetti eccitonici. Assorbimento da fononi ottici. Effetti eccitonici. Effetti di campo magnetico. Moto di elettroni liberi e di elettroni di Bloch in campo magnetico. Trattazione quantistica per l'elettrone libero. Degenerazione e riempimento dei livelli di Landau. Suscettività magnetica di portatori liberi ed effetto de Haas-van Alphen. Magnetoresistenza e Effetto Hall classico. Fenomenologia dell'effetto Hall quantistico. Proprietà magnetiche della materia. Paramagnetismo di Pauli. Correzioni all'energia per gli elettroni legati. Diamagnetismo di Larmor. Origine del momento magnetico atomico, regole di Hund. Legge di Curie del paramagnetismo. Paramagnetismo di Van Vleck. Teoria di campo medio del ferromagnetismo: modello di Weiss. Magnetizzazione e suscettività magnetica nell'intorno del punto critico. Legge di Curie-Weiss. Valori di temperatura critica nelle sostanze ferromagnetiche e confronto con l'interazione dipolo-dipolo. Ferromagnetismo, interazione di scambio e modello di Heisenberg. Interpretazione microscopica del campo di Weiss. Interazione dipolare e domini magnetici.

#### Testi

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics"

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali con calcoli alla lavagna. In qualche occasione alcuni approfondimenti su argomenti di ricerca più recenti potranno essere esposti in forma seminariale con uso di diapositive.

#### Modalità di valutazione

esame finale in forma orale. Tipicamente verranno poste due o tre domande su diversi argomenti del programma. Nella valutazione si terrà conto della capacità di: a) inquadrare il fenomeno analizzato in un contesto ampio b) di individuare i punti salienti che originano la fenomenologia che si sta descrivendo c) di arrivare al risultato mediante conti analitici.

## English

### Prerequisites

Students will need to know the basic quantum and statistical properties of crystalline solid matter such as Bloch theorem and electronic energy bands; lattice vibrations and phononic modes; Fermi Dirac and Bose-Einstein distribution functions.

### Programme

Electronic properties of selected crystals Reminds on band structure calculation methods. Electronic structure of molecular and ionic solids. Band structure of II-VI, III-V systems and of covalent crystals with diamond structure. Impurity levels in doped semiconductors. Internal energy, pressure and compressibility of an electron gas. Band structures and Fermi surfaces of selected metals. Transport properties: The Drude Model. Semiclassical Equations of transport. Boltzmann equation. Relaxation time approximation. Static and dynamic electrical conductivity in metals. Thermoelectric power and thermal conductivity. Transport in homogeneous and doped semiconductors. Drift and diffusion currents. Generation and recombination of electron-hole pairs in semiconductors. Continuity equation. Recombination times and diffusion length. Current voltage characteristics of the p-n junction. Metal-semiconductor junction. Electron phonon interaction. Matrix elements and selection rules. Optical properties of solids Maxwell Equations in solids. Complex Dielectric Constant. Absorption and reflection coefficients. Kramers Kronig Relations. The Drude theory of the optical properties of metals. Optical properties of semiconductors and insulators. Direct interband transitions and critical points. Optical constants of Ge and Graphite. Absorption from impurity levels. Exciton effects. Indirect phonon-assisted transitions. Two-photon absorption. Raman Scattering. Optical phonon absorption. Electron gas in magnetic fields Energy levels and density of states of a free electron gas in a magnetic fields. Orbital magnetic susceptibility and Haas-van Alphen effect. Magneto-resistivity and classical Hall effect. Phenomenology of the quantum Hall effect. Magnetic properties of matter. Quantum mechanical treatment of magnetic susceptibility. Pauli paramagnetism. Magnetic susceptibility of closed-shell systems. Permanent magnetic dipoles in atoms and ions with partially filled shells. Paramagnetism of localized magnetic moments. Curie and Van Vleck paramagnetism. Magnetic ordering in crystals. Mean field theory of ferromagnetism: Weiss model. Curie-Weiss law. Critical temperature. Ferromagnetism, exchange interaction and Heisenberg model. Microscopic origin of the coupling between localized magnetic moments. Dipolar interaction and magnetic domains.

### Reference books

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics"

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410020 - COMPLEMENTI DI FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

**Docente:** DE SETA MONICA

## Italiano

### Prerequisiti

Gli studenti dovranno conoscere le proprietà quantistiche e statistiche di base della materia solida cristallina quali: Teorema di Bloch, bande di energia elettroniche, vibrazioni reticolari e modi fononici. Funzioni di distribuzioni di Fermi Dirac e di Bose Einstein

### Programma

Struttura elettronica di alcuni sistemi solidi. Richiami di calcolo a bande nei solidi. Solidi molecolari e ionici. Bande di sistemi II-VI, III-V, e nei solidi covalenti con struttura del diamante. Livelli di impurezza nei semiconduttori drogati. Energia interna, pressione e compressibilità di un gas di elettroni. Bande e superficie di Fermi dei metalli alcalini, metalli nobili, metalli semplici bivalenti e trivalenti; metalli di transizione. Proprietà di trasporto: Richiami del modello di Drude. Equazioni semiclassiche del moto. Equazione del trasporto di Boltzmann. Interazione elettrone - fonone. Approssimazione del tempo di rilassamento. Conduttività elettrica nell'approssimazione del tempo di rilassamento: campo costante e campo alternato. Conduttività nei semiconduttori mediante l'equazione di Boltzmann. Potere termoelettrico e conduttività termica degli elettroni. Corrente di diffusione e di drift. Equazione di continuità e termini di generazione e ricombinazione. Tempo di ricombinazione e lunghezza di diffusione. Applicazione alla giunzione p-n in condizioni di non equilibrio. Giunzione metallo-semiconduttore. Diodo Schottky. Transistor a effetto campo. Proprietà ottiche dei solidi Equazioni di Maxwell nei solidi. Costante dielettrica complessa e suo significato. Coefficiente di assorbimento e riflessione. Relazioni di Kramers Kronig. Oscillatore di Lorentz. Teoria di Drude delle proprietà ottiche di cariche libere. Oscillazioni di Plasma. Modello classico per la costante dielettrica. Transizioni interbanda: transizioni dirette. Contributo al coefficiente di assorbimento e alla costante dielettrica. Densità congiunta degli stati, punti critici. Funzione dielettrica del Ge e della grafite. Transizioni interbanda indirette. Cenni sull'assorbimento a due fotoni e sullo scattering Raman. Assorbimento da livelli di impurezza. Effetti eccitonici. Assorbimento da fononi ottici. Effetti eccitonici. Emissione spontanea e stimolata. Fotoluminescenza. Elettroluminescenza. Fenomenologia di funzionamento dei LED e dei laser a stato solido. Effetti di campo magnetico. Moto di elettroni liberi e di elettroni di Bloch in campo magnetico. Trattazione quantistica per l'elettrone libero. Degenerazione e riempimento dei livelli di Landau. Suscettività magnetica di portatori liberi ed effetto de Haas-van Alphen. Magnetoresistenza e Effetto Hall classico. Fenomenologia dell'effetto Hall quantistico. Proprietà magnetiche della materia. Paramagnetismo di Pauli. Correzioni all'energia per gli elettroni legati. Diamagnetismo di Larmor. Origine del momento magnetico atomico, regole di Hund. Legge di Curie del paramagnetismo. Paramagnetismo di Van Vleck. Teoria di campo medio del ferromagnetismo: modello di Weiss. Magnetizzazione e suscettività magnetica nell'intorno del punto critico. Legge di Curie-Weiss. Valori di temperatura critica nelle sostanze ferromagnetiche e confronto con l'interazione dipolo-dipolo. Ferromagnetismo, interazione di scambio e modello di Heisenberg. Interpretazione microscopica del campo di Weiss. Interazione dipolare e domini magnetici.

## Testi

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Sze- Physics of Semiconductor Devices

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Lezioni frontali con calcoli alla lavagna. In qualche occasione alcuni approfondimenti su argomenti di ricerca più recenti potranno essere esposti in forma seminariale con uso di diapositive.

## Modalità di valutazione

esame finale in forma orale. Tipicamente verranno poste due o tre domande su diversi argomenti del programma. Nella valutazione si terrà conto della capacità di: a) inquadrare il fenomeno analizzato in un contesto ampio b) di individuare i punti salienti che originano la fenomenologia che si sta descrivendo c) di arrivare al risultato mediante conti analitici.

## English

### Prerequisites

Students will need to know the basic quantum and statistical properties of crystalline solid matter such as Bloch theorem and electronic energy bands; lattice vibrations and phononic modes; Fermi Dirac and Bose-Einstein distribution functions.

### Programme

Electronic properties of selected crystals Reminds on band structure calculation methods. Electronic structure of molecular and ionic solids. Band structure of II-VI, III-V systems and of covalent crystals with diamond structure. Impurity levels in doped semiconductors. Internal energy, pressure and compressibility of an electron gas. Band structures and Fermi surfaces of selected metals. Transport properties: The Drude Model. Semiclassical Equations of transport. Boltzmann equation. Electron phonon interaction. Relaxation time approximation. Static and dynamic electrical conductivity in metals. Thermoelectric power and thermal conductivity. Transport in homogeneous and doped semiconductors. Drift and diffusion currents. Generation and recombination of electron-hole pairs in semiconductors. Continuity equation. Recombination times and diffusion length. Current voltage characteristics of the p-n junction. Metal-semiconductor junction. Schottky Diode, Field Effect Transistors. Optical properties of solids Maxwell Equations in solids. Complex Dielectric Constant. Kramers Kronig Relations. Lorentz Oscillator. Absorption and reflection coefficients. The Drude theory of the optical properties of metals. Optical properties of semiconductors and insulators. Direct interband transitions and critical points. Optical constants of Ge and Graphite. Absorption from impurity levels. Exciton effects. Indirect phonon-assisted transitions. Two-photon absorption. Raman Scattering. Optical phonon absorption. Emission, Photoluminescence, Electroluminescence, solid state LEDs and Lasers. Electron gas in magnetic fields Energy levels and density of states of a free electron gas in a magnetic fields. Orbital magnetic susceptibility and Haas-van Alphen effect. Magneto-resistivity and classical Hall effect. Phenomenology of the quantum Hall effect. Magnetic properties of matter. Quantum mechanical treatment of magnetic susceptibility. Pauli paramagnetism. Magnetic susceptibility of closed-shell systems. Permanent magnetic dipoles in atoms and ions with partially filled shells. Paramagnetism of localized magnetic moments. Curie and Van Vleck paramagnetism. Magnetic ordering in crystals. Mean field theory of ferromagnetism: Weiss model. Curie-Weiss law. Critical temperature in ferromagnetic materials. Ferromagnetism, exchange interaction and Heisenberg model. Microscopic origin of the coupling between localized magnetic moments. Dipolar interaction and magnetic domains.

### Reference books

Ashcroft-Mermin: "Solid State Physics" Grosso-Pastori-Parravicini: "Solid State Physics" Sze- Physics of Semiconductor Devices

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402211 - COMPLEMENTI DI METODI MATEMATICI DELLA FISICA

Canale:N0

Docente: FRANCESCHINI ROBERTO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza dell'algebra lineare. Conoscenza ed esperienza pratica con un linguaggio di programmazione per computer.

### Programma

Teoria dei Gruppi (CA)  $SU(2)$  e  $SU(3)$  La forma di Killing Algebre di Lie semplici Rappresentazioni Radici semplici e la matrice di Cartan Le algebre "classiche" Le algebre "eccezionali" Operatore di Casimir e la formula di Freudenthal Il gruppo di Weyl La formula della dimensione di Weyl Riduzione del prodotto di rappresentazioni Sub-algebre Regole di decomposizione Metodi Numerici Probabilità e variabili random Richiami su Misure, incertezze e loro propagazione Richiami su Fit di una curva, minimi quadrati, ottimizzazione Integrazione numerica classica, velocità di convergenza Integrazione MC, media e varianza Strategie di campionamento Applicazioni Propagazione delle incertezze Note Generazione di dati secondo una distribuzione Corrispondenza tra argomenti e sezioni dei libri su <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

### Testi

Robert Cahn - Semi-Simple Lie Algebras and Their Representations - Dover Publications 2014 (disponibile presso Roma TRE BAST Sede Centrale e presso la pagina dell'autore ) Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - An introduction to error analysis - University Science Books Sausalito, California Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre materiale fornito a lezione ed elencato sul web <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Lezioni frontali in aula e in laboratorio di calcolo. Esercitazioni in aula, in laboratorio di calcolo e a casa.

## Modalità di valutazione

L'esame prevede una prova scritta e una prova orale. Durante la prova scritta si richiede di scrivere un programma per computer per risolvere un problema di teoria dei gruppi o di metodi numerici tra quelli in programma. L'orale verte su tutto il programma svolto a lezione e su una tesina. Nell'esame orale si richiede di enunciare e dimostrare proprietà delle algebre di Lie e loro rappresentazioni, come illustrate a lezione, o di esporre un metodo numerico tra quelli in programma descrivendone finalità e proprietà. La tesina sarà su un argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte su argomenti inerenti la prima parte del corso (teoria dei gruppi) o la seconda parte del corso (metodi numerici). Gli argomenti possibili per la tesina sono pubblicati ogni anno su <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

## English

### Prerequisites

Linear algebra. Knowledge and some experience with any computer programming language.

### Programme

Group Theory (CA) SU(2) and SU(3) The Killing Form Simple Lie Algebras Representations Simple Roots and the Cartan Matrix The Classical Lie Algebras The Exceptional Lie Algebras Casimir Operators and Freudenthal's Formula The Weyl Group Weyl's Dimension Formula Reducing Product Representations Subalgebras Branching Rules Numerical Methods Refresh on Probability and Random variables Refresh on Measurement, uncertainty and its propagation Refresh on Curve-fitting, least-squares, optimization Classical numerical integration, speed of convergence Integration MC (Mean, variance) Sampling Strategies Applications Propagation of uncertainties Generation according to a distribution Sections of the textbooks for each topic are listed on <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

### Reference books

Robert Cahn - Semi-Simple Lie Algebras and Their Representations - Dover Publications 2014 (available at Roma TRE BAST Sede Centrale and from the author's web page ) Weinzierl, S. - Introduction to Monte Carlo methods arXiv:hep-ph/0006269 Taylor, J. - An introduction to error analysis - University Science Books Sausalito, California Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre Dubi, A. - Monte Carlo applications in systems engineering - Wiley Disponibile nella biblioteca Scientifica di Roma Tre readings supplied during class and listed on the web <http://webusers.fis.uniroma3.it/franceschini/cmm.html>

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410506 - COSMOLOGIA

**Docente:** BRANCHINI ENZO FRANCO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza dei concetti fondamentali alla base del Modello Cosmologico Standard: evoluzione di un universo omogeneo ed isotropo, espansione di Hubble, redshift cosmologico, distanze, orizzonti, fondo cosmico di microonde, storia termica, componenti luminose ed oscure (materia ed energia oscura) e loro equazioni di stato, inflazione cosmologica, nucleosintesi cosmologica. Conoscenza dei concetti fondamentali della Relatività Generale: geodetiche, metrica, tensore energia-momento, equazioni di Einstein. Familiarità con oggetti, concetti e grandezze astrofisiche: stelle, galassie, ammassi di galassie, nuclei galattici attivi, mezzo intergalattico.

### Programma

Il corso si propone di discutere criticamente i problemi più rilevanti, alcuni dei quali tuttora aperti, della Cosmologia Moderna. Lo scopo è quello di illustrare lo stato dell'arte di questa disciplina e delle tecniche, teoriche e sperimentali, comunemente utilizzate. Gli argomenti del corso sono: - Perturbazioni Cosmologiche: limite Newtoniano e lunghezza di Jeans, funzione di trasferimento. Evoluzione lineare. - Il Fondo Cosmico di Microonde: anisotropie primordiali; i picchi acustici; L'effetto Sachs-Wolfe. - Altri Fondi Cosmici: fondo radio, fondo X, fondo gamma. - Anisotropie secondarie nei fondi cosmici: foresta Ly-alpha; effetto Gunn-Peterson; la reionizzazione e il fondo a 21 cm; l'effetto Sunayev-Zel'dovich. - Il mezzo intergalattico: evoluzione a basso redshift; il problema dei barioni mancanti; la fase calda e diffusa. - Struttura a grande scala: analisi statistiche della distribuzione di galassie; distribuzioni di probabilità; funzioni di correlazione; spettri di potenza. - Materia luminosa e materia oscura: il problema del bias. - Evoluzione non-lineare delle perturbazioni: approssimazione di Zel'dovich, collasso sferico, principio di minima azione cosmologica, collasso sferico, N-body. - Strutture virializzate. la teoria di Press-Schechter (e sua estensione); funzione di massa delle strutture cosmiche. - Le velocità peculiari: moti disordinati su piccola scala, moti coerenti su grande scala, distorsioni nello spazio dei redshift; stime di parametri cosmologici. - Lenti gravitazionali:

teoria; approssimazione di campo forte; approssimazione di campo debole; microlensing.

## Testi

Peacock J. Physical Cosmology. Cambridge Univ.Press Longair M. Galaxy Formation [A&A Library ] Coles P., Lucchin F. Cosmology [Wiley 2000] Vari articoli di rivista forniti dal docente durante il corso.

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Il corso si compone di una serie lezioni a didattica frontale, intervallate da esercizi, con possibili approfondimenti di carattere monografico.

## Modalità di valutazione

L'esame si svolge in forma orale. Lo studente può scegliere tra due modalità'. 1) Vengono rivolte domande su tutti gli argomenti trattati nel corso. 2) Lo studente approfondisce due tra gli argomenti del corso utilizzando materiale specifico fornito dal docente. Le domande durante il colloquio verteranno sul materiale extra e sugli argomenti ad esso correlati.

## English

### Prerequisites

Basic knowledge of the Standard Cosmological Model: Isotropic and homogeneous Universe and its evolution, Hubble law, cosmological redshift, distances, horizons, cosmic microwave background, thermal history, luminous and dark components (dark energy and dark matter) and their equation of state, inflation, cosmological nucleosynthesis. Basic knowledge of General Relativity: geodesics, metric tensor, energy-momentum tensor, Einstein field equations. Basic knowledge of astrophysical quantities and objects such as stars, galaxies, clusters, active galactic nuclei, intergalactic medium.

### Programme

This course discusses in detail the key issues in Modern Cosmology, including outstanding problems. The goal is to provide an overview of the subject and to illustrate the main techniques, theoretical and observational alike, commonly used in this field. The main topics are: - Density fluctuation in a cosmological scenario: generation and growth. Gravitational Instability. Newtonian limit and the Jeans Theory. Linear theory. - Cosmic Microwave Background temperature fluctuation. Acoustic peaks. The Sachs-Wolfe effect. Secondary effects. - Cosmic backgrounds in different energy bands: Radio, X-ray and gamma-ray - Secondary anisotropies. The Gunn-Peterson effect, cosmic reionization, Ly-alpha forest and Sunayev-Zel'dovich effect. - The intergalactic medium at low redshift and the missing baryons problem. - Large scale structures. Statistical analysis of the galaxy distribution in space. Correlation functions and power spectra. - Luminous vs. dark matter. Galaxy bias. - Nonlinear growth of density fluctuations. The Zel'dovich approximation. The spherical collapse model. The halo model. Press-Schechter theory and its extension. - Peculiar velocities, distance indicators and their calibrations. - Gravitational lensing: Theory and observations. Micro-lensing. Strong lensing. Weak lensing.

### Reference books

Peacock J. Physical Cosmology. Cambridge Univ.Press Longair M. Galaxy Formation [A&A Library ] Coles P., Lucchin F. Cosmology [Wiley 2000] Vari articoli di rivista forniti dal docente durante il corso.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402143 - COSMOLOGIA

Canale:N0

Docente: BRANCHINI ENZO FRANCO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza dei concetti fondamentali alla base del Modello Cosmologico Standard: evoluzione di un universo omogeneo ed isotropo, espansione di Hubble, redshift cosmologico, distanze, orizzonti, fondo cosmico di microonde, storia termica, componenti luminose ed oscure (materia ed energia oscura) e loro equazioni di stato, inflazione cosmologica, nucleosintesi cosmologica. Conoscenza dei concetti fondamentali della Relatività Generale: geodetiche, metrica, tensore energia-momento, equazioni di Einstein. Familiarità con oggetti, concetti e grandezze astrofisiche: stelle, galassie, ammassi di galassie, nuclei galattici attivi, mezzo intergalattico.

### Programma

Il corso si propone di discutere criticamente i problemi più rilevanti, alcuni dei quali tuttora aperti, della Cosmologia Moderna. Lo scopo è quello di illustrare lo stato dell'arte di questa disciplina e delle tecniche, teoriche e sperimentali, comunemente utilizzate. Gli argomenti del corso sono: - Perturbazioni Cosmologiche: limite Newtoniano e lunghezza di Jeans, funzione di trasferimento. Evoluzione lineare. - Il Fondo Cosmico di Microonde: anisotropie primordiali; i picchi acustici; L'effetto Sachs-Wolfe. - Altri Fondi Cosmici: fondo radio, fondo X, fondo gamma. - Anisotropie secondarie nei fondi cosmici: foresta Ly-alpha; effetto Gunn-Peterson; la reionizzazione e il fondo a 21 cm; l'effetto Sunayev-Zel'dovich. - Il mezzo intergalattico: evoluzione a basso redshift; il problema dei barioni mancanti; la fase calda e diffusa. - Struttura a grande scala: analisi statistiche della distribuzione di galassie; distribuzioni di probabilità; funzioni di correlazione; spettri di potenza. - Materia luminosa e materia oscura: il problema del bias. - Evoluzione non-lineare delle perturbazioni:

approssimazione di Zel'dovich, collasso sferico, principio di minima azione cosmologica, collasso sferico, N-body. - Strutture virializzate. la teoria di Press-Schechter (e sua estensione); funzione di massa delle strutture cosmiche. - Le velocità peculiari: moti disordinati su piccola scala, moti coerenti su grande scala, distorsioni nello spazio dei redshift; stime di parametri cosmologici. - Lenti gravitazionali: teoria; approssimazione di campo forte; approssimazione di campo debole; microlensing.

### Testi

Peacock J. Physical Cosmology. Cambridge Univ.Press Longair M. Galaxy Formation [A&A Library ] Coles P., Lucchin F. Cosmology [Wiley 2000] Vari articoli di rivista forniti dal docente durante il corso.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso si compone di una serie lezioni a didattica frontale, intervallate da esercizi, con possibili approfondimenti di carattere monografico.

### Modalità di valutazione

L'esame si svolge in forma orale. Lo studente può scegliere tra due modalità. 1) Vengono rivolte domande su tutti gli argomenti trattati nel corso. 2) Lo studente approfondisce due tra gli argomenti del corso utilizzando materiale extra fornito dal docente. Le domande durante il colloquio verteranno quindi sul materiale fornito e sugli argomenti ad esso correlati.

### English

### Prerequisites

Basic knowledge of the Standard Cosmological Model: Isotropic and homogeneous Universe and its evolution, Hubble law, cosmological redshift, distances, horizons, cosmic microwave background, thermal history, luminous and dark components (dark energy and dark matter) and their equation of state, inflation, cosmological nucleosynthesis. Basic knowledge of General Relativity: geodesics, metric tensor, energy-momentum tensor, Einstein field equations. Basic knowledge of astrophysical quantities and objects such as stars, galaxies, clusters, active galactic nuclei, intergalactic medium.

### Programme

This course discusses in detail the key issues in Modern Cosmology, including outstanding problems. The goal is to provide an overview of the subject and to illustrate the main techniques, theoretical and observational alike, commonly used in this field. The main topics are: - Density fluctuation in a cosmological scenario: generation and growth. Gravitational Instability. Newtonian limit and the Jeans Theory. Linear theory. - Cosmic Microwave Background temperature fluctuation. Acoustic peaks. The Sachs-Wolfe effect. Secondary effects. - Cosmic backgrounds in different energy bands: Radio, X-ray and gamma-ray - Secondary anisotropies. The Gunn-Peterson effect, cosmic reionization, Ly-alpha forest and Sunayev-Zel'dovich effect. - The intergalactic medium at low redshift and the missing baryons problem. - Large scale structures. Statistical analysis of the galaxy distribution in space. Correlation functions and power spectra. - Luminous vs. dark matter. Galaxy bias. - Nonlinear growth of density fluctuations. The Zel'dovich approximation. The spherical collapse model. The halo model. Press-Schechter theory and its extension. - Peculiar velocities, distance indicators and their calibrations. - Gravitational lensing: Theory and observations. Micro-lensing. Strong lensing. Weak lensing.

### Reference books

Peacock J. Physical Cosmology. Cambridge Univ.Press Longair M. Galaxy Formation [A&A Library ] Coles P., Lucchin F. Cosmology [Wiley 2000] Various reviews provided during the course.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza

**Docente:** BERNIERI ENRICO

### Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Il percorso formativo proposto si basa sul concetto di case study: verranno presentati esempi specifici e argomenti selezionati per il loro interesse scientifico e mediatico. Intorno ai case study, il corso sarà organizzato con didattica laboratoriale: verranno realizzati dei veri e propri laboratori di comunicazione in cui gli studenti, lavorando in squadra e guidati da ricercatori e professionisti della comunicazione scientifica, analizzeranno l'esempio specifico e progetteranno e realizzeranno una serie di strumenti di comunicazione specifici (articoli di divulgazione scientifica, siti web, blog, interviste e audio/video ecc). Il percorso formativo avrà inoltre una impronta tecnologica, prendendo in considerazione le nuove tecnologie multimediali applicate alla comunicazione, presentando, utilizzando e integrando software e soluzioni open source disponibili al momento. Il programma Il programma proposto prevede un percorso di 52 ore che include 40 ore di lezioni di insegnamento frontale e 12 ore di laboratorio pratico. 12 ore sono in comune con il corso di comunicazione per il Dottorato in Fisica. Introduzione alla comunicazione scientifica • Gli assiomi della comunicazione, dal linguaggio corporeo alla progettazione di un Communication Plan. • La comunicazione scientifica: Perché comunicare la scienza? • I diversi tipi di

comunicazione nel mondo della ricerca e dell'Università. • Progettare un evento per il pubblico: la comunicazione in 5 mosse. • L'immagine e la comunicazione della scienza. Parlare in pubblico di scienza • Come si parla in pubblico: differenze tra conferenza stampa, dibattito e conferenza divulgativa • Le regole base per parlare in pubblico • Materiali multimediali per parlare di scienza al pubblico: slide, audio, video. Scrivere di scienza • Le basi del giornalismo scientifico: riflessioni sul linguaggio della carta stampata all'audio/video. • Le differenze tra un articolo divulgativo, un articolo scientifico e un comunicato stampa. • La scrittura per l'audio/video: lo storyboard. La comunicazione visiva della scienza • L'immagine e la comunicazione della scienza • Progettare e realizzare un'immagine La scienza sul web • Come è comunicata la scienza sul web • Il web 2.0 e la scienza • Realizzare un sito web Organizzare un evento per il pubblico • Il Communication Plan di una osservazione astronomica per una classe • Realizzare una serata osservativa

## Testi

"Comunicare la scienza" di Giovanni Carrada <https://www.mestierediscrivere.com/uploads/files/comunicarelascienza.pdf>

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Il percorso formativo proposto si basa sul concetto di case study: verranno presentati esempi specifici e argomenti selezionati per il loro interesse scientifico e mediatico. Intorno ai case study, il corso sarà organizzato con didattica laboratoriale: verranno realizzati dei veri e propri laboratori di comunicazione in cui gli studenti, lavorando in squadra e guidati da ricercatori e professionisti della comunicazione scientifica, analizzeranno l'esempio specifico e progetteranno e realizzeranno una serie di strumenti di comunicazione specifici (articoli di divulgazione scientifica, siti web, blog, interviste e audio/video ecc). Il percorso formativo avrà inoltre una impronta tecnologica, prendendo in considerazione le nuove tecnologie multimediali applicate alla comunicazione, presentando, utilizzando e integrando software e soluzioni open source disponibili al momento.

## Modalità di valutazione

L'esame consiste nella discussione dei prodotti realizzati durante i laboratori del corso e un colloquio orale.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

This course is based on the use of case studies, interesting examples of science communication that will be presented and analysed during the lessons. On the examples of these case studies, communication laboratories and practical activities will be organized. Students will work in team, guided by researchers and professional communicators, to plan and produce specific communication tools (articles, websites, blogs, audio/video etc). The course will also take in account the technological aspects related to communication, introducing and examining selected open source software. The program The course is 52 hours long, including 40 ore of lessons and 12 hours of lab activities. 12 hours are in common with the "Communicating Science" PhD course. Introduction to science communication • The postulates of communication: from body language to the communication plan • About science communication: why should we communicate science? • Different types of communication, including in the academic & research world • Planning an event for the public: the 5 steps strategy • Visual communication and science Speaking to the public about science • Introduction to verbal communication: from public talks to press conferences • The basics of public speaking in science • Slides, audio/video and multimedia tools Writing about science • Introducing science journalism • Differences between a scientific article, a press release and outreach articles • Writing for video: the storyboard Visual communication of science • How to communicate science with images • How to plan and produce an image Communicating science on web • How is science communicated on the web • Science and web 2.0 • How to plan and produce a website Organization of a public event • The communication plan of a public event • Organizing an astronomical observation event

### Reference books

"The hands-on guide for science communicators: a step-by-step approach to public outreach" di Lars Lindberg Christensen [https://play.google.com/store/books/details?id=G1\\_fpb4xFX4C&rdid=book-G1\\_fpb4xFX4C&rdot=1&source=gbs\\_vpt\\_read&pcampaignid=books\\_booksea](https://play.google.com/store/books/details?id=G1_fpb4xFX4C&rdid=book-G1_fpb4xFX4C&rdot=1&source=gbs_vpt_read&pcampaignid=books_booksea)

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza

**Docente:** DE ANGELIS ILARIA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Il percorso formativo proposto si basa sul concetto di case study: verranno presentati esempi specifici e argomenti selezionati per il loro interesse scientifico e mediatico. Intorno ai case study, il corso sarà organizzato con didattica laboratoriale: verranno realizzati dei veri e propri laboratori di comunicazione in cui gli studenti, lavorando in squadra e guidati da ricercatori e professionisti della comunicazione

scientifico, analizzeranno l'esempio specifico e progetteranno e realizzeranno una serie di strumenti di comunicazione specifici (articoli di divulgazione scientifica, siti web, blog, interviste e audio/video ecc). Il percorso formativo avrà inoltre una impronta tecnologica, prendendo in considerazione le nuove tecnologie multimediali applicate alla comunicazione, presentando, utilizzando e integrando software e soluzioni open source disponibili al momento. Il programma Il programma proposto prevede un percorso di 52 ore che include 40 ore di lezioni di insegnamento frontale e 12 ore di laboratorio pratico. 12 ore sono in comune con il corso di comunicazione per il Dottorato in Fisica. Introduzione alla comunicazione scientifica • Gli assiomi della comunicazione, dal linguaggio corporeo alla progettazione di un Communication Plan. • La comunicazione scientifica: Perché comunicare la scienza? • I diversi tipi di comunicazione nel mondo della ricerca e dell'Università. • Progettare un evento per il pubblico: la comunicazione in 5 mosse. • L'immagine e la comunicazione della scienza. Parlare in pubblico di scienza • Come si parla in pubblico: differenze tra conferenza stampa, dibattito e conferenza divulgativa • Le regole base per parlare in pubblico • Materiali multimediali per parlare di scienza al pubblico: slide, audio, video. Scrivere di scienza • Le basi del giornalismo scientifico: riflessioni sul linguaggio della carta stampata all'audio/video. • Le differenze tra un articolo divulgativo, un articolo scientifico e un comunicato stampa. • La scrittura per l'audio/video: lo storyboard. La comunicazione visiva della scienza • L'immagine e la comunicazione della scienza • Progettare e realizzare un'immagine La scienza sul web • Come è comunicata la scienza sul web • Il web 2.0 e la scienza • Realizzare un sito web Organizzare un evento per il pubblico • Il Communication Plan di una osservazione astronomica per una classe • Realizzare una serata osservativa

## Testi

"Comunicare la scienza" di Giovanni Carrada <https://www.mestierediscrivere.com/uploads/files/comunicarelascienza.pdf>

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Il percorso formativo proposto si basa sul concetto di case study: verranno presentati esempi specifici e argomenti selezionati per il loro interesse scientifico e mediatico. Intorno ai case study, il corso sarà organizzato con didattica laboratoriale: verranno realizzati dei veri e propri laboratori di comunicazione in cui gli studenti, lavorando in squadra e guidati da ricercatori e professionisti della comunicazione scientifica, analizzeranno l'esempio specifico e progetteranno e realizzeranno una serie di strumenti di comunicazione specifici (articoli di divulgazione scientifica, siti web, blog, interviste e audio/video ecc). Il percorso formativo avrà inoltre una impronta tecnologica, prendendo in considerazione le nuove tecnologie multimediali applicate alla comunicazione, presentando, utilizzando e integrando software e soluzioni open source disponibili al momento.

## Modalità di valutazione

L'esame consiste nella discussione dei prodotti realizzati durante i laboratori del corso e un colloquio orale.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

This course is based on the use of case studies, interesting examples of science communication that will be presented and analysed during the lessons. On the examples of these case studies, communication laboratories and practical activities will be organized. Students will work in team, guided by researchers and professional communicators, to plan and produce specific communication tools (articles, websites, blogs, audio/video etc). The course will also take in account the technological aspects related to communication, introducing and examining selected open source software. The program The course is 52 hours long, including 40 ore of lessons and 12 hours of lab activities. 12 hours are in common with the "Communicating Science" PhD course. Introduction to science communication • The postulates of communication: from body language to the communication plan • About science communication: why should we communicate science? • Different types of communication, including in the academic & research world • Planning an event for the public: the 5 steps strategy • Visual communication and science Speaking to the public about science • Introduction to verbal communication: from public talks to press conferences • The basics of public speaking in science • Slides, audio/video and multimedia tools Writing about science • Introducing science journalism • Differences between a scientific article, a press release and outreach articles • Writing for video: the storyboard Visual communication of science • How to communicate science with images • How to plan and produce an image Communicating science on web • How is science communicated on the web • Science and web 2.0 • How to plan and produce a website Organization of a public event • The communication plan of a public event • Organizing an astronomical observation event

### Reference books

The hands-on guide for science communicators: a step-by-step approach to public outreach" di Lars Lindberg Christensen [https://play.google.com/store/books/details?id=GI\\_fpb4xFX4C&rdid=book-GI\\_fpb4xFX4C&rdot=1&source=gbps\\_vpt\\_read&pcampaignid=books\\_booksea](https://play.google.com/store/books/details?id=GI_fpb4xFX4C&rdid=book-GI_fpb4xFX4C&rdot=1&source=gbps_vpt_read&pcampaignid=books_booksea)

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410580 - Education & Outreach, la comunicazione della scienza

**Docente:** GIACOMINI Livia

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

## Programma

Il percorso formativo proposto si basa sul concetto di case study: verranno presentati esempi specifici e argomenti selezionati per il loro interesse scientifico e mediatico. Intorno ai case study, il corso sarà organizzato con didattica laboratoriale: verranno realizzati dei veri e propri laboratori di comunicazione in cui gli studenti, lavorando in squadra e guidati da ricercatori e professionisti della comunicazione scientifica, analizzeranno l'esempio specifico e progetteranno e realizzeranno una serie di strumenti di comunicazione specifici (articoli di divulgazione scientifica, siti web, blog, interviste e audio/video ecc). Il percorso formativo avrà inoltre una impronta tecnologica, prendendo in considerazione le nuove tecnologie multimediali applicate alla comunicazione, presentando, utilizzando e integrando software e soluzioni open source disponibili al momento. Il programma Il programma proposto prevede un percorso di 52 ore che include 40 ore di lezioni di insegnamento frontale e 12 ore di laboratorio pratico. 12 ore sono in comune con il corso di comunicazione per il Dottorato in Fisica. Introduzione alla comunicazione scientifica • Gli assiomi della comunicazione, dal linguaggio corporeo alla progettazione di un Communication Plan. • La comunicazione scientifica: Perché comunicare la scienza? • I diversi tipi di comunicazione nel mondo della ricerca e dell'Università. • Progettare un evento per il pubblico: la comunicazione in 5 mosse. • L'immagine e la comunicazione della scienza. Parlare in pubblico di scienza • Come si parla in pubblico: differenze tra conferenza stampa, dibattito e conferenza divulgativa • Le regole base per parlare in pubblico • Materiali multimediali per parlare di scienza al pubblico: slide, audio, video. Scrivere di scienza • Le basi del giornalismo scientifico: riflessioni sul linguaggio della carta stampata all'audio/video. • Le differenze tra un articolo divulgativo, un articolo scientifico e un comunicato stampa. • La scrittura per l'audio/video: lo storyboard. La comunicazione visiva della scienza • L'immagine e la comunicazione della scienza • Progettare e realizzare un'immagine La scienza sul web • Come è comunicata la scienza sul web • Il web 2.0 e la scienza • Realizzare un sito web Organizzare un evento per il pubblico • Il Communication Plan di una osservazione astronomica per una classe • Realizzare una serata osservativa

## Testi

Dispense del corso

## Bibliografia di riferimento

"Comunicare la scienza" di Giovanni Carrada

<https://www.ibs.it/comunicare-scienza-kit-di-sopravvivenza-libro-giovanni-carrada/e/9788851800536> "The hands-on guide for science communicators: a step-by-step approach to public outreach" di Lars Lindberg Christensen

[https://play.google.com/store/books/details?id=GI\\_fpb4xFX4C&rdid=book-GI\\_fpb4xFX4C&rdot=1&source=gbv\\_vpt\\_read&pcampaignid=books\\_booksea](https://play.google.com/store/books/details?id=GI_fpb4xFX4C&rdid=book-GI_fpb4xFX4C&rdot=1&source=gbv_vpt_read&pcampaignid=books_booksea)

## Modalità erogazione

Il percorso formativo proposto si basa sul concetto di case study: verranno presentati esempi specifici e argomenti selezionati per il loro interesse scientifico e mediatico. Intorno ai case study, il corso sarà organizzato con didattica laboratoriale: verranno realizzati dei veri e propri laboratori di comunicazione in cui gli studenti, lavorando in squadra e guidati da ricercatori e professionisti della comunicazione scientifica, analizzeranno l'esempio specifico e progetteranno e realizzeranno una serie di strumenti di comunicazione specifici (articoli di divulgazione scientifica, siti web, blog, interviste e audio/video ecc). Il percorso formativo avrà inoltre una impronta tecnologica, prendendo in considerazione le nuove tecnologie multimediali applicate alla comunicazione, presentando, utilizzando e integrando software e soluzioni open source disponibili al momento.

## Modalità di valutazione

L'esame consiste nella discussione dei prodotti realizzati durante i laboratori del corso e un colloquio orale.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

This course is based on the use of case studies, interesting examples of science communication that will be presented and analysed during the lessons. On the examples of these case studies, communication laboratories and practical activities will be organized. Students will work in team, guided by researchers and professional communicators, to plan and produce specific communication tools (articles, websites, blogs, audio/video etc). The course will also take in account the technological aspects related to communication, introducing and examining selected open source software. The program The course is 52 hours long, including 40 ore of lessons and 12 hours of lab activities. 12 hours are in common with the "Communicating Science" PhD course. Introduction to science communication • The postulates of communication: from body language to the communication plan • About science communication: why should we communicate science? • Different types of communication, including in the academic & research world • Planning an event for the public: the 5 steps strategy • Visual communication and science Speaking to the public about science • Introduction to verbal communication: from public talks to press conferences • The basics of public speaking in science • Slides, audio/video and multimedia tools Writing about science • Introducing science journalism • Differences between a scientific article, a press release and outreach articles • Writing for video: the storyboard Visual communication of science • How to communicate science with images • How to plan and produce an image Communicating science on web • How is science communicated on the web • Science and web 2.0 • How to plan and produce a website Organization of a public event • The communication plan of a public event • Organizing an astronomical observation event

### Reference books

Dispense del corso

### Reference bibliography

"Comunicare la scienza" di Giovanni Carrada

<https://www.ibs.it/comunicare-scienza-kit-di-sopravvivenza-libro-giovanni-carrada/e/9788851800536> "The hands-on guide for science communicators: a step-by-step approach to public outreach" di Lars Lindberg Christensen

[https://play.google.com/store/books/details?id=GI\\_fpb4xFX4C&rdid=book-GI\\_fpb4xFX4C&rdot=1&source=gbv\\_vpt\\_read&pcampaignid=books\\_booksea](https://play.google.com/store/books/details?id=GI_fpb4xFX4C&rdid=book-GI_fpb4xFX4C&rdot=1&source=gbv_vpt_read&pcampaignid=books_booksea)

### Study modes

-

## Exam modes

-

## 20402213 - ELEMENTI DI FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE

Canale:N0

Docente: PLASTINO WOLFANGO

Italiano

### Prerequisiti

Analisi Matematica Fisica

### Programma

Gravità La dimensione e la forma della Terra. Gravitazione. La rotazione della Terra. La gravità della Terra. Anomalie della gravità. Interpretazione delle anomalie di gravità. Isostasia. Reologia. Sismologia Teoria dell'elasticità. Onde sismiche. Propagazione delle onde sismiche. Terremoti. Struttura interna della Terra. Età della Terra e proprietà termiche Geocronologia. Il calore della Terra. Geomagnetismo e Paleomagnetismo La Fisica del magnetismo. Rocce. Geomagnetismo. Paleomagnetismo. Fondamenti di fluidodinamica geofisica Derivate temporali. L'equazione di continuità. L'equazione del moto. L'equazione di stato. Relazioni termodinamiche. Equazione termodinamica per fluidi. Flusso comprimibile e incomprimibile. Il bilancio energetico. Fisica dell'Atmosfera Sistemi eterogenei. Trasformazioni di aria umida. Equilibrio idrostatico. Stabilità. Trasferimento radiativo. Movimento su larga scala. Propagazione delle onde. La circolazione generale. Stabilità dinamica. Fisica dell'Oceano Oceani e mari. Influenza atmosferica. Il bilancio del calore oceanico. Circolazione oceanica indotta dal vento. Circolazione profonda nell'oceano. Processi equatoriali. Onde oceaniche. Maree.

### Testi

Stacey F.D. and Davis P.M. - Physics of the Earth. Cambridge University Press, 2008 - ISBN:9780521873628 Vallis G.K. - Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics. Cambridge University Press, 2006 - ISBN:9780521849692

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il metodo di insegnamento principale è costituito da lezioni frontali finalizzate all'acquisizione delle conoscenze fondamentali per il conseguimento degli obiettivi formativi. La partecipazione degli studenti alle attività didattiche è facoltativa. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni relative alle modalità di svolgimento delle attività didattiche.

### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale della durata di circa 1 ora, finalizzata a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità degli studenti di applicarli in contesti reali. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni relative modalità di valutazione degli studenti.

English

### Prerequisites

Integral Calculus Differential calculus Mechanics Thermodynamics Electromagnetism

### Programme

Gravity The Earth's size and shape. Gravitation. The Earth's rotation. The Earth's figure and gravity. Gravity anomalies. Interpretation of gravity anomalies. Isostasy. Rheology. Seismology Elasticity theory. Seismic waves. Earthquake seismology. Seismic wave propagation. Internal structure of the Earth. Earth's age and thermal properties Geochronology. The Earth's heat. Geomagnetism and paleomagnetism The Physics of magnetism. Rock magnetism. Geomagnetism. Paleomagnetism. Fundamentals of Geophysical Fluid Dynamics Time derivatives for fluids. The mass continuity equation. The momentum equation. The equation of state. Thermodynamic relations. Thermodynamic equation for fluids. Compressible and incompressible flow. The energy budget. Physics of the Atmosphere Heterogeneous systems. Transformations of moist air. Hydrostatic equilibrium. Static stability. Radiative transfer. Large-scale motion. Wave propagation. The general circulation. Dynamic stability. Physics of the Ocean Oceans and Seas. Atmospheric influences. The oceanic heat budget. Wind driven ocean circulation. Deep circulation in the ocean. Equatorial processes. Ocean waves. Coastal processes and tides.

### Reference books

Stacey F.D. and Davis P.M. - Physics of the Earth. Cambridge University Press, 2008 - ISBN:9780521873628 Vallis G.K. - Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics. Cambridge University Press, 2006 - ISBN:9780521849692

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410086 - ELEMENTI DI RELATIVITA' GENERALE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA

**Docente:** BRANCHINI ENZO FRANCO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenze di Fisica Generale, con particolare accento sulla teoria della gravitazione universale. Conoscenza dei concetti fondamentali della relatività ristretta.

### Programma

- RICHIAMI DI RELATIVITÀ SPECIALE. VETTORI E TENSORI. TENSORE METRICO. TENSORE ENERGIA MOMENTO. - RELATIVITÀ GENERALE. CONCETTI FONDAMENTALI CONNESSIONE AFFINE. TRASPORTO PARALLELO. EQUAZIONE DELLE GEODETICHE. - SIMMETRIE E VETTORI DI KILLING. TENSORE DI RIEMANN. SINGOLARITÀ. - EQUAZIONI DI EINSTEIN. - METRICA DI SCHWARZSCHILD. REDSHIFT GRAVITAZIONALE. - ORBITE IN UNA METRICA DI S. PRECESSIONE DEL PERIELIO DI MERCURIO. - BUCHI NERI NON RUOTANTI. ORIZZONTE DEGLI EVENTI E SCELTA DELLE COORDINATE. - METRICA DI KERR. BUCHI NERI ROTANTI E FRAME-DRAGGING. - INTRODUZIONE ALLE ONDE GRAVITAZIONALI. - PRINCIPIO COSMOLOGICO E METRICA DI ROBERTSON-WALKER. - EQUAZIONI DI FRIEDMANN E LORO INTERPRETAZIONE CLASSICA. - IL MODELLO COSMOLOGICO STANDARD E LE SUE CARATTERISTICHE. - REDSHIFT, DISTANZE E ORIZZONTI COSMOLOGICI. - PARAMETRI COSMOLOGICI FONDAMENTALI E LORO DETERMINAZIONI SPERIMENTALI. - TESTS COSMOLOGICI CLASSICI: TEST DI HUBBLE. TEST DEL DIAMETRO ANGOLARE. TEST DEI CONTEGGI. - COSTANTE COSMOLOGICA. - FLUIDI COSMICI E LORO EQUAZIONE DI STATO. - IL CONCETTO DI EQUIVALENZA. - STORIA TERMICA DELL'UNIVERSO. DISACCOPIAMENTO. RICOMBINAZIONE. - ASIMMETRIA MATERIA-ANTIMATERIA. - OLTRE IL MODELLO STANDARD: PARADOSSO DEGLI ORIZZONTI E DELLA PIATTEZZA. SOLUZIONE INFLAZIONARIA. CENNI ALLA TEORIA DELL'INFLAZIONE COSMOLOGICA. - ERA DI PLANCK E GRAVITÀ QUANTISTICA. - MATERIA OSCURA. - BREVE STORIA DELL'UNIVERSO: ERA ADRONICA. ERA LEPTONICA. ERA RADIATIVA. - IL FONDO COSMICO DI NEUTRINI. - NUCLEOSINTESI COSMOLOGICA. - ERA DELLA MATERIA. REIONIZZAZIONE. - INSTABILITÀ GRAVITAZIONALE ALLA JEANS. CENNI SULL'EVOLUZIONE DELLE STRUTTURE COSMICHE

### Testi

Carroll S. Spacetime Geometry [Pearson 2003] Coles P., Lucchin F. Cosmology [Wiley 2000] Kolb E., Turner M. The early Universe [Addison Wesley 1990]

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso si compone di una serie lezioni a didattica frontale, intervallate da esercizi.

### Modalità di valutazione

L'esame si svolge in forma scritta. Le domande riguardano tutti gli argomenti del corso. E' prevista la possibilità di dividere l'esame in due prove d'esonero da tenersi durante ed immediatamente dopo la fine del corso.

## English

### Prerequisites

Knowledge of general physics, with particular emphasis on the Newton's theory of gravity. Basic knowledge of special relativity.

### Programme

- SPECIAL RELATIVITY. VECTORS AND TENSORS. METRIC TENSOR. ENERGY-MOMENTUM TENSOR. - GENERAL RELATIVITY. UNDERLYING CONCEPTS. AFFINE CONNECTION. PARALLEL TRANSPORT. GEODESICS EQUATION. - SYMMETRY AND KILLING VECTORS. RIEMANN TENSOR. SINGULARITY. - EINSTEIN EQUATIONS. - SCHWARZSCHILD METRIC. - ORBITS IN THE SCHWARZSCHILD METRIC. MERCURY'S ORBIT. - NON ROTATING BLACK HOLES. EVENT HORIZON AND THE CHOICE OF COORDINATES. - KERR METRIC. ROTATING BLACK HOLES AND FRAME DRAGGING. - INTRODUCTION TO GRAVITATIONAL WAVES. - THE COSMOLOGICAL PRINCIPLE AND ROBERTSON-WALKER METRIC. - FRIEDMAN EQUATIONS. NEWTONIAN LIMIT. - COSMOLOGICAL REDSHIFT. COSMOLOGICAL HORIZONS. CO-MOVING COORDINATES AND PROPER DISTANCE. - LUMINOSITY DISTANCE. ANGULAR DIAMETER DISTANCE. - OBSERVATIONAL TESTS: HUBBLE TEST, ANGULAR DIAMETER TEST, NUMBER COUNTS. - FLUIDS RELEVANT IN COSMOLOGY: EQUATION OF STATE AND DENSITY EVOLUTION. Cosmological constant. - THE EQUIVALENCE EPOCH. - THERMAL HISTORY OF THE UNIVERSE: DECOUPLING. RECOMBINATION. - MATTER/ANTIMATTER AND THE BARYON ASYMMETRY. - PLANCK EPOCH AND QUANTUM GRAVITY. - HORIZON PARADOX. FLATNESS PARADOX. INFLATIONARY SOLUTION. COSMIC INFLATION. - DARK MATTER. - A BRIEF HISTORY OF THE UNIVERSE. HADRONIC EPOCH. LEPTONIC EPOCH. RADIATIVE EPOCH. - NEUTRINO DECOUPLING. - COSMOLOGICAL NUCLEOSYNTHESIS. MATTER EPOCH. FIRST OBJECTS. RE-IONIZATION. - INHOMOGENEITY AND ANISOTROPY. JEANS GRAVITATIONAL INSTABILITY AND THE GROWTH OF COSMIC STRUCTURES

### Reference books

Carroll S. Spacetime Geometry [Pearson 2003] Coles P., Lucchin F. Cosmology [Wiley 2000] Kolb E., Turner M. The early Universe [Addison Wesley 1990]

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410585 - FISICA DEI LIQUIDI E DELLA MATERIA SOFFICE

**Docente:** GALLO PAOLA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

1 - Richiami di Termodinamica e Meccanica Statistica. Funzioni termodinamiche estensive ed intensive. Condizioni di equilibrio. Trasformate di Legendre e potenziali termodinamici. Condizioni di stabilità delle fasi. Transizioni di fase e loro classificazione. Equazione di Van der Waals. Richiami della teoria degli ensembles statistici. Fluttuazioni. 2 - Forze fra atomi e ordine a corto raggio. Caratterizzazione dello stato liquido della materia. Caratterizzazione dei materiali soffici. Forze fra atomi e potenziali efficaci. Funzioni di distribuzione nel canonico e nel gran canonico. Funzione di distribuzione radiale e relazione con la termodinamica. Il fattore di struttura statico. Misura della struttura di un liquido con tecniche di scattering di raggi X e di neutroni. Fattori di struttura e funzioni di distribuzione radiale di miscele liquide e liquidi molecolari. Teoria del funzionale densità classico. Equazione di Ornstein-Zernike. Relazioni di chiusura per il funzionale di densità. 3 - Simulazione numerica di material liquida e sofficie Metodi di simulazione stocastici e deterministici. Metodo della Dinamica Molecolare. Algoritmi alla Verlet. Dinamica molecolare a temperatura e a pressione costante. Il metodo di simulazione Monte Carlo. Simulazione Monte Carlo in diversi ensemble. Metodi di simulazione di equilibrio delle fasi. Applicazione dei metodi Monte Carlo e Dinamica Molecolare ai liquidi complessi e ai materiali soffici. 4 - Dinamica dei liquidi e della materia sofficie Funzioni di correlazione dipendenti dal tempo. Diffusione anelastica dei neutroni e misura del fattore di struttura dinamico. Funzioni di correlazione di Van Hove. Principio del bilancio dettagliato. Teoria della risposta lineare. Funzione risposta. Teorema di fluttuazione-dissipazione. Diffusione delle particelle. Coefficiente di diffusione. Funzione di correlazione delle velocità. Idrodinamica e modi collettivi. Scattering Brillouin. Funzioni memoria. 5 - Stati metastabili, liquidi sottoraffreddati e transizione vetrosa per liquidi e materiali soffici. Stabilità e metastabilità. Curva spinodale dall'equazione di Van der Waals. Fluttuazioni e andamenti delle funzioni di correlazione vicino al punto critico. Liquidi sottoraffreddati e transizione vetrosa. Diagramma di Angell. Entropia configurazionale e temperatura di Kauzmann. La dinamica lenta dei liquidi sottoraffreddati e della materia sofficie e la teoria di Mode Coupling.

#### Testi

J.P. Hansen and I.R. McDonald, Theory of Simple Liquids, seconda edizione, Academic Press. N. H. March and M. P. Tosi, Introduction to Liquid State Physics, World Scientific. P. G. Debenedetti, Metastable Liquids, Princeton University Press.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

La parte di esposizione delle teorie viene svolta alla lavagna per consentire agli studenti di comprendere gli sviluppi analitici necessari. In particolare viene mostrato come da modelli microscopici si possano ricavare risultati da confrontare con esperimenti. Vengono introdotti poi i metodi sperimentali che consentono di osservare le proprietà dei vati sistemi di interesse Per tale motivo in alcune fasi del corso le lezioni alla lavagna vengono integrate da presentazioni con proiezione di risultati sperimentali e/o ottenuti con simulazione al computer.

#### Modalità di valutazione

L'esame finale è in forma orale. Esso consiste di due parti. La prima è l' esposizione di un argomento a scelta dello studente fra quelli in programma. Questa parte consente di evidenziare quanto lo studente sappia approfondire un tema ed entrare nei dettagli sia della derivazione teorica sia della fenomenologia. Lo studente che si trova all'ultimo anno della laurea magistrale apprende in questo modo ad esporre l'argomento come si trattasse di un seminario, questo è utile per il suo futuro di laureando. La seconda parte dell'esame orale consiste in una domanda su altro argomento in programma. In questo caso lo studente può rispondere senza entrare in tutti i dettagli della derivazione dei risultati. Sapere esporre un argomento a grandi linee in modo comprensibile è anche importante nei diversi rami della Fisica.

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

1 - Review of Thermodynamics and Statistical Mechanics. Extensive and intensive thermodynamic functions. Conditions of equilibrium. Legendre transforms and thermodynamic potentials. Phase stability conditions. Phase transitions and their classification. Van der Waals equation. Review of the theory of statistical ensembles. Fluctuations. 2 - Forces between atoms and short-range order. Characterization of the liquid state of matter. Characterization of soft materials. Forces between atoms and effective potentials. Distribution functions in the canon and the grand canon. Radial distribution function and relationship with thermodynamics. The static structure factor. Measurement of the structure of a liquid with X-ray and neutron scattering techniques. Structure factors and radial distribution functions of liquid and liquid molecular mixtures. Classic density functional theory. Ornstein-Zernike equation. Closing relations for the density functional. 3 - Numerical simulation of liquid and soft material Stochastic and deterministic simulation methods. Molecular Dynamics Method. Verlet-style algorithms. Molecular dynamics at constant temperature and pressure. The Monte Carlo simulation method. Monte Carlo simulation in different ensembles. Phase equilibrium simulation methods. Application of Monte Carlo and Molecular Dynamics methods to complex liquids and soft materials. 4 - Dynamics of liquids and soft matter Time-dependent correlation functions. Inelastic diffusion of neutrons and measurement of the dynamic structure factor. Van Hove correlation functions. Principle of the detailed budget. Linear response theory. Answer function. Fluctuation-dissipation theorem. Diffusion of particles. Diffusion coefficient. Speed correlation function. Hydrodynamics and collective modes. Scattering Brillouin. Memory functions. 5 - Metastable states, subcooled liquids and glass transition for liquids and soft materials. Stability and metastability. Spinodal curve from the Van der Waals equation. Fluctuations and trends of correlation functions near the critical point. Subcooled liquids and glass transition. Angell diagram. Configurational entropy and Kauzmann temperature. The slow dynamics of subcooled liquids and soft matter and the theory of Mode Coupling.

## Reference books

J.P. Hansen and I.R. McDonald, Theory of Simple Liquids, seconda edizione, Academic Press. N. H. March and M. P. Tosi, Introduction to Liquid State Physics, World Scientific. P. G. Debenedetti, Metastable Liquids, Princeton University Press.

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI

**Canale:**1

**Docente:** TOSI Federico

**Italiano**

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

1 Sistema Solare - Descrizione del Sistema Solare nel suo insieme, distribuzione di massa e di momento angolare, osservabili astrofisiche. - Descrizione delle osservabili planetologiche: caratteristiche dei pianeti, dei sistemi di satelliti, dei corpi minori del Sistema Solare - I pianeti terrestri: caratteristiche generali e processi evolutivi delle superfici planetarie. - I pianeti terrestri: storia termica, craterizzazione, vulcanismo, tettonica. Planetologia comparata. - Meteoriti e corpi minori: indizi per la formazione del Sistema Solare, cenni sulla datazione - I pianeti giganti - Satelliti planetari - Struttura interna dei pianeti, differenze tra pianeti terrestri e giganti, evoluzione - Atmosfere planetarie 2 Pianeti Extrasolari - Introduzione storica - Metodi indiretti per la scoperta dei pianeti Extrasolari - Metodi diretti per la scoperta dei pianeti Extrasolari - Caratteristiche dei pianeti Extrasolari - Fisica dei Pianeti Extrasolari - Caratterizzazione e risultati - Quale vita? - Abitabilità e zona abitabile - La ricerca della vita 3 Parte Comune - Cenni sulla Teoria della formazione planetaria

### Testi

- non esiste un testo unico che tratti in modo completo gli argomenti del corso. Un testo consigliato è: Imke de Pater and Jack J. Lissauer, Planetary Sciences, Cambridge University Press. Durante il corso verranno suggeriti di volta in volta articoli scientifici di review. Materiali: - Slides del corso - Articoli scientifici

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Le lezioni avvengono in aula in modo frontale utilizzando sia supporti digitali (proiezione di slide, corti filmati) sia supporti tradizionali (uso della lavagna) soprattutto nella spiegazione e svolgimento delle dimostrazioni. Durante lo svolgimento delle lezioni è incoraggiata la discussione su articoli scientifici inerenti agli argomenti di frontiera che vengono trattati nel corso.

### Modalità di valutazione

L'esame si svolge in forma orale sulla base di tre domande aperte volte a comprendere la padronanza e la preparazione degli argomenti del corso. Inoltre, allo studente vengono forniti due articoli di revisione scientifica che lo studente deve studiare. Durante l'esame, lo studente dovrà esporre quello che viene estratto a sorte. La valutazione si basa sulla comprensione e padronanza dell'argomento e sulla proprietà del linguaggio con cui è esposto.

**English**

### Prerequisites

none

### Programme

1 Solar System Part - Overall description of the Solar System, mass and angular momentum distribution, astrophysical variables. - Overall description of planets, their main characteristics ; description of planetary satellites systems and of minor bodies of the Solar System. - Terrestrial planets: main characteristics and evolutive processes of planetary surfaces. - Terrestrial planets: thermal history, impact cratering processes, volcanism, tectonics. Comparative planetology. - Meteorites and minor bodies; radiometric dating and clues for the formation of the Solar System. - Giant planets - Planetary satellites - Internal structure of planets, different evolution of terrestrial and giant planets. - Planetary atmospheres 2 Extrasolar Planets Part - Historical Introduction - Exo planets Indirect discovery methods - Exo planets Direct discovery methods - Exo Planets Characteristics - Physics of extrasolar Planets - Characterization and results - Which Life? - Habitability and Habitable Zone - The search for life 3 Common Part - Introduction to the Planetary formation Theory

### Reference books

- There is no official text of the course. A suggested text is the following: Imke de Pater and Jack J. Lissauer, Planetary Sciences, Cambridge University Press. During the course several scientific review papers will be suggested by the lecturers. Material - Course slides - Scientific papers

### Reference bibliography

-  
**Study modes**

-  
**Exam modes**

**20410098 - FISICA DEI PIANETI DEL SISTEMA SOLARE ED ESOPIANETI**

**Canale:**1

**Docente:** CLAUDI Riccardo

**Italiano**

**Prerequisiti**

nessuno

**Programma**

1 Sistema Solare - Descrizione del Sistema Solare nel suo insieme, distribuzione di massa e di momento angolare, osservabili astrofisiche. - Descrizione delle osservabili planetologiche: caratteristiche dei pianeti, dei sistemi di satelliti, dei corpi minori del Sistema Solare - I pianeti terrestri: caratteristiche generali e processi evolutivi delle superfici planetarie. - I pianeti terrestri: storia termica, craterizzazione, vulcanismo, tettonica. Planetologia comparata. - Meteoriti e corpi minori: indizi per la formazione del Sistema Solare, cenni sulla datazione - I pianeti giganti - Satelliti planetari - Struttura interna dei pianeti, differenze tra pianeti terrestri e giganti, evoluzione - Atmosfere planetarie 2 Pianeti Extrasolari - Introduzione storica - Metodi indiretti per la scoperta dei pianeti Extrasolari - Metodi diretti per la scoperta dei pianeti Extrasolari - Caratteristiche dei pianeti Extrasolari - Fisica dei Pianeti Extrasolari - Caratterizzazione e risultati - Quale vita? - Abitabilità e zona abitabile - La ricerca della vita 3 Parte Comune - Cenni sulla Teoria della formazione planetaria

**Testi**

- non esiste un testo unico che tratti in modo completo gli argomenti del corso. Un testo consigliato è: Imke de Pater and Jack J. Lissauer, Planetary Sciences, Cambridge University Press. Durante il corso verranno suggeriti di volta in volta articoli scientifici di review. Materiali: - Slides del corso - Articoli scientifici

**Bibliografia di riferimento**

Testi da definire

**Modalità erogazione**

Le lezioni avvengono in aula in modo frontale utilizzando sia supporti digitali (proiezione di slide, corti filmati) sia supporti tradizionali (uso della lavagna) soprattutto nella spiegazione e svolgimento delle dimostrazioni. Durante lo svolgimento delle lezioni è incoraggiata la discussione su articoli scientifici inerenti agli argomenti di frontiera che vengono trattati nel corso.

**Modalità di valutazione**

L'esame si svolge in forma orale sulla base di tre domande aperte volte a comprendere la padronanza e la preparazione degli argomenti del corso. Inoltre, allo studente vengono forniti due articoli di revisione scientifica che lo studente deve studiare. Durante l'esame, lo studente dovrà esporre quello che viene estratto a sorte. La valutazione si basa sulla comprensione e padronanza dell'argomento e sulla proprietà del linguaggio con cui è esposto.

**English**

**Prerequisites**

none

**Programme**

1 Solar System Part - Overall description of the Solar System, mass and angular momentum distribution, astrophysical variables. - Overall description of planets, their main characteristics ; description of planetary satellites systems and of minor bodies of the Solar System. - Terrestrial planets: main characteristics and evolutive processes of planetary surfaces. - Terrestrial planets: thermal history, impact cratering processes, volcanism, tectonics. Comparative planetology. - Meteorites and minor bodies; radiometric dating and clues for the formation of the Solar System. - Giant planets - Planetary satellites - Internal structure of planets, different evolution of terrestrial and giant planets. - Planetary atmospheres 2 Extrasolar Planets Part - Historical Introduction - Exo planets Indirect discovery methods - Exo planets Direct discovery methods - Exo Planets Characteristics - Physics of extrasolar Planets - Characterization and results - Which Life? - Habitability and Habitable Zone - The search for life 3 Common Part - Introduction to the Planetary formation Theory

**Reference books**

- There is no official text of the course. A suggested text is the following: Imke de Pater and Jack J. Lissauer, Planetary Sciences, Cambridge University Press. During the course several scientific review papers will be suggested by the lecturers. Material - Course slides - Scientific papers

**Reference bibliography**

**Study modes**

**Exam modes**

## 20402259 - FISICA DEL CLIMA

**Canale:**N0

**Docente:** Pasini Antonello

**Italiano**

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Prima parte Definizione di clima (climatologia e meteorologia). Il sistema climatico (atmosfera, biosfera, criosfera, geosfera, idrosfera, Sole). La radiazione solare e il bilancio energetico della Terra (richiami di fisica solare, leggi della radiazione, assorbimento della radiazione solare nell'atmosfera). Atmosfera e clima (richiami di composizione, struttura e circolazione dell'atmosfera). Nubi e aerosol (richiami di processi di condensazione e formazione delle nubi). Oceano e clima (richiami di composizione, struttura e circolazione dell'oceano). Trasferimento radiativo (richiami di assorbimento, emissioni e trasferimento radiativo dell'atmosfera). L'effetto serra (l'atmosfera come serra, i gas serra, calcolo del bilancio energetico, modelli di effetto serra). Lo strato di ozono (radiazione ultravioletta in atmosfera, fotochimica della produzione di ozono, misure di ozono, "buco" dell'ozono). Osservazioni climatiche con telerilevamento (misure da terra, misure satellitari, strumenti infrarossi, strumenti "limb viewing", applicazioni del telerilevamento agli studi climatici). Sensitività climatica e cambiamento climatico (cambiamenti astronomici, solari, atmosferici, oceanici e fluttuazioni di temperatura). Clima di altri pianeti. Clima e società. Variabilità multidecadale della temperatura superficiale del mare (seminario del Dr. Salvatore Marullo). Misura lidar di gas serra (visita al Centro Ricerche ENEA di Frascati). Seconda parte Introduzione ai modelli climatici. Il percorso concettuale dalle osservazioni alle simulazioni. Approcci dinamico e statistico. Gerarchia dei modelli climatici e loro componenti, tipologie di modelli, il concetto di parametrizzazione. Modelli a Bilancio di Energia (EBM). Struttura generale di un EBM, EBM 0-dimensionali, EBM 1-dimensionali, parametrizzazioni negli EBM, applicazioni. Modelli Radiativo-Convettivi (RC) e Modelli a Complessità Intermedia (EMIC). Equilibrio radiativo e radiativo-convettivo e implementazione nei modelli climatici a complessità intermedia. Modelli Climatici Globali (GCM). Struttura di un GCM, componenti e interazioni, equazioni fondamentali e loro modellazione. Attività di attribution e risultati. Validazione dei modelli di clima. Cenni di modellistica climatica regionale e tecniche di downscaling. Scenari e proiezioni climatiche per il XXI secolo. Analizzare il clima e i suoi cambiamenti da un altro punto di vista: modelli a rete neurale e analisi di causalità di Granger. Dettagli sulle tecniche e risultati di attribution. Downscaling con modelli a rete neurale.

### Testi

F. W. Taylor (2005), Elementary Climate Physics, Oxford. K. McGuffie & A. Henderson-Sellers (2014), The Climate Modelling Primer, 4th Edition, Wiley.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni. Proiezione di slide. Elaborazione di semplici modelli climatici. Domande e risposte.

### Modalità di valutazione

Esame finale orale: lo studente risponderà a un paio di domande, una relativa alla prima parte del corso, l'altra alla seconda, dimostrando una buona conoscenza dei temi

**English**

### Prerequisites

none

### Programme

first part Definition of climate (climatology and meteorology). The climate system (atmosphere, biosphere, cryosphere, geosphere, hydrosphere, Sun). The solar radiation and the energy balance of the Earth (solar physics calls, laws of radiation, absorption of solar radiation in the atmosphere). Atmosphere and Climate (recalls of composition, structure and circulation of the atmosphere). Clouds and aerosols (calls processes of condensation and cloud formation). Ocean and climate (recalls composition, structure and ocean circulation). Radiative transfer (calls of absorption, emission and radiative transfer of the atmosphere). The greenhouse effect (the atmosphere as greenhouse gas emissions, the calculation of the energy balance, greenhouse models). The ozone layer (ultraviolet radiation in the atmosphere, photochemical production of ozone, ozone measurements, "hole" ozone). Climate observation with remote sensing (measurements from land, satellite measurements, infrared instruments, tools "limb viewing", applications of remote sensing to studies climate). Climate sensitivity and climate change (changes astronomical, solar, atmospheric, oceanic and temperature fluctuations). Atmosphere of other planets. Climate and society. Multidecadal variability of sea surface temperature (seminar Dr. Salvatore Marullo). Lidar measurement of greenhouse gases (visit to the ENEA Frascati Research Center). second part Introduction to climate models. The conceptual path from observations to simulations. Dynamic and statistical approaches. Hierarchy of climate models and their components, types of models, the concept of parameter. Models Power Budget (EBM). General structure of an EBM, EBM 0-dimensional, one-dimensional EBM, parameter in EBM, applications. Radiative-convective models (RC) and models Intermediate Complexity (EMIC). Radiative-convective and radiative balance in climate models and implementation at intermediate complexity. Global Climate Models (GCMs). Structure of a GCM, components and interactions, fundamental equations and their modeling. Activities and results of attribution. Validation of climate models. Elements of regional climate modeling and downscaling techniques. Scenarios and climate projections for the XXI century. Analyze the climate and its changes from another point of view: neural network models and analysis of Granger causality. Details on techniques and results of attribution. Downscaling with neural network models.

### Reference books

F. W. Taylor (2005), Elementary Climate Physics, Oxford. K. McGuffie & A. Henderson-Sellers (2014), The Climate Modelling Primer,

4th Edition, Wiley.

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20402026 - FISICA DELLA IONOSFERA E DELLA MAGNETOSFERA

Canale:N0

Docente: SCOTTO Carlo

## Italiano

### Prerequisiti

Nozioni di meccanica, termodinamica, campo magnetico, campo elettrico, onde elettromagnetiche a livello dei corsi di laurea triennale in fisica. Elementi di analisi matematica a livello dei corsi di laurea triennale in fisica.

### Programma

Programma del Corso di fisica della ionosfera e della magnetosfera Docente: Carlo Scotto La maggior parte degli argomenti è trattato sul libro di G.W. Pröls ("Physics of the Earth's Space Environment", ed. Springer).Viene fatto riferimento ai paragrafi di detto libro. I restanti argomenti sono riportati nelle note di lezione distribuite. In esse è riportata la relativa bibliografia dettagliata. Introduzione: scopo del corso e presentazione degli argomenti trattati 1. Nozioni di fisica del plasma magneto-ionosferico Frequenza di plasma, distanza di Debye e potenziale di Debye-Hückel, condizioni di plasma, libero cammino medio, indice di rifrazione di fase per le onde radio in un plasma senza collisioni e in assenza di campo magnetico, plasma non caldo (Note di lezione). (pag. 232, § 7.3.1, § 7.3.2, § 7.3.3) . Energia del campo elettromagnetico (Note di lezione) . Moto delle cariche elettriche in un campo magnetico: moto di girazione, il momento magnetico come invariante adiabatico, moto ove  $\text{grad}(B)$  è parallelo a B, bounce motion (§ 5.3.1, § 5.3.2, pp. 220-228), gradient drift motion (§ 5.3.2, pp. 228-229), neutral shift drift, drift E x B e conduttività del plasma in assenza di collisioni, drift sotto l'azione di forze esterne (§ 5.3.1, § 5.3.2, § 5.3.3 pp. 219-233). 2. Il mezzo interplanetario. La corona solare e il vento solare (§ 6.1 e 6.1.1, pp. 278-282, compresi tutti i richiami). Struttura del vento solare a grande scala e sul piano dell'eclittica (§ 6.1.6). Il campo magnetico interplanetario: osservazioni e caratteristiche fisiche (§ 6.2.1, pp. 300-304). Il current sheet eliosferico (§ 6.2.4). Struttura a settori della componente polare di B (§ 6.2.5). Teorema di Alfvén (Appendice A.14, pp.484-487). 3. Magnetosfera Il campo geomagnetico in prossimità della Terra (§ 5.2). Drift di curvatura (p. 233). Drift totale (p. 234-235). Moto composto dei portatori di cariche (§ 5.3.4). Popolazioni di particelle nella magnetosfera interna: fasce di radiazione, ring current, plasmasfera (§ 5.4). Il campo geomagnetico distante: configurazione e classificazione, correnti sul lato diurno della magnetopausa, riflessione delle particelle e formazione della corrente, sistema di correnti nella coda geomagnetica (§ 5.5). Popolazione di particelle nella magnetosfera esterna: magnetotail plasma sheet, magnetotail lobe plasma, magnetospheric boundary layer (§ 5.6). Formazione del bow shock e cenno al magnetosheat (§ 6.4 introduzione e § 6.4.1, pp. 325-328). 4. Ionosfera Processi di assorbimento, attenuazione della radiazione nei gas, deposizione di energia nell'alta atmosfera: funzione di Chapman. Ionosfera terrestre: cenni storici, profilo verticale di densità elettronica, temperatura ionosferica, produzione e scomparsa di ionizzazioni, regioni ionosferiche, equilibrio elettronico, profilo verticale di densità elettronica nella regione E e nella regione F2. (§ 3.2; introduzione del cap 4, § 4.1, § 4.2, § 4.3). Morfologia della ionosfera: le cuspidi sulla traccia degli ionogrammi e le regioni ionosferiche (Note di lezione). Variazioni regolari della ionosfera: strati E ed F1 (Note di lezione). Variazioni irregolari della ionosfera: strato F2 (Note di lezione) . Strato E sporadico (Note di lezione) . Modello fotochimico semplificato per le regioni E ed F: strato F1 (Note di lezione). Modello fotochimico semplificato per la regione D (Note di lezione). Indice di rifrazione per le onde radio con collisioni ed in assenza di campo magnetico; interpretazione della parte immaginaria dell'indice di rifrazione: l'assorbimento (Note di lezione). Solar flares e short waves fadeout (Note di lezione). Ulteriori note sullo strato F1 (Note di lezione). Ulteriori note sullo strato E (Note di lezione). 5. Teoria Magnetoionica Introduzione. Equazioni costitutive per un plasma freddo con collisioni ed in presenza di un campo magnetico (Note di lezione). Indice di rifrazione per le onde radio nella ionosfera, trascurando le collisioni e considerando il campo magnetico terrestre: equazione di Appleton-Hartree (Note di lezione). Continuità di  $n_f$  in  $X=1$ . Gli zeri dell'equazione di Appleton-Hartree senza collisioni: caso di propagazione longitudinale, trasversale e generale (Note di lezione). Polarizzazione: continuità in  $X=1$  nel caso generale e nel caso di propagazione longitudinale. Polarizzazione in propagazione longitudinale: dipendenza dal segno di YL. Polarizzazione in condizioni generali, per  $X=1$  (Note di lezione). Indice di rifrazione per le onde radio nella ionosfera, considerando le collisioni e il campo magnetico terrestre. Cenno alla polarizzazione nel caso collisionale. Curve di  $\#(X)$  con collisioni: importanza della regola di Booker (Note di lezione). Condizioni di riflessione e ionogrammi, traccia ordinaria, straordinaria. Raggio Z (Note di lezione). Esempi di ionogrammi (Note di lezione) Così come indicato nelle note di lezione, il materiale di questa unità didattica si trova su: Ratcliffe, J. A. (1959), The magneto-ionic Theory and its Applications to the Ionosphere, Cambridge University Press. 6. Assorbimento e dissipazione dell'energia del vento solare Topologia dell'alta atmosfera polare (§ 7.1). Campi elettrici, e convezione del plasma (§ 7.2). Conduttività e correnti nella ionosfera polare (§ 7.3). Aurore polari: dissipazione dell'energia delle particelle aurorali, origine delle particelle aurorali, aurora diffusa e discreta (§ 7.4). Solar Wind Dynamo (§ 7.6.1), magnetosfera aperta (§ 7.6.2), convezione del plasma nella magnetosfera aperta (§ 7.6.3), magnetosfera aperta con coda (§ 7.6.4), cenno alla riconnessione (parte del § 7.6.5), correnti di Birkeland nelle regioni 1 e 2 (§ 7.6.6). 7. Tempeste geosferiche Tempeste magnetiche: variazioni regolari, elettrogetto equatoriale, attività magnetica alle basse, alte e medie latitudini, indici geomagnetici (§ 8.1). Sottotempeste magnetiche: fase di crescita e espansione, onde di Alfvén e loro ruolo (§ 8.3). Tempeste ionosferiche: tempeste negative e positive (§ 8.5).

### Testi

1) G.W. Pröls "Physics of the Earth's Space Environment" 2) Appunti di lezione.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

La materia trattata nel corso di "Fisica della ionosfera e della magnetosfera", richiede l'illustrazione di figure e schemi complessi. Essi non possono essere riprodotti, in tutti i casi, manualmente sulla lavagna in modo efficace per cui si deve ricorrere alla proiezione di diapositive (slides). Le diapositive hanno anche un'altra funzione: con esse si mostrano spesso degli schemi logici, attraverso i quali si cerca di focalizzare l'attenzione dello studente sui punti salienti delle trattazioni, sulle ipotesi dei ragionamenti, sui dati sperimentali che vengono assunti e su quanto, di volta in volta, si intende dimostrare. Una volta che la diapositiva di riferimento è stata proiettata, la trattazione prosegue in modo tradizionale alla lavagna, anche con lo svoglimento dei necessari passaggi matematici. Alcuni argomenti che sul testo di riferimento sono presentati in forma teorica, vengono invece proposti in forma di esercizio o di problema. Si crea così l'occasione per valutare se i risultati ottenuti siano plausibili e per focalizzare sull'ordine di grandezza dei diversi parametri fisici coinvolti. Una uscita di istruzione viene poi solitamente effettuata alla fine del corso, per visitare i laboratori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Vengono presentati agli studenti, in modo diretto, i sistemi di acquisizione ed elaborazione di dati magnetici ed ionosferici, nonché i servizi in ambito Space Weather dell'INGV. Con l'occasione si mostrano attraverso l'internet anche i servizi di altre istituzioni nazionali ed internazionali. Si intende così richiamare l'attenzione degli studenti sul valore applicativo delle nozioni apprese durante il corso, sull'interesse verso lo Space Weather, sui notevoli investimenti che esso richiama e sul fatto che molteplici collaborazioni internazionali sono attive in detto settore.

### Modalità di valutazione

L'esame viene svolto in forma orale tradizionale. Vengono solitamente rivolte allo studente tre domande su argomenti piuttosto ampi, trattati a lezione, ed esplicitamente indicati nel programma. Le domande sono poste in maniera tale da consentire una risposta con diversi gradi di approfondimento, permettendo allo studente di mostrare il livello di competenza raggiunto sull'argomento richiesto. Per ciascuna domanda principale, possono essere poste domande successive per richiedere precisazioni. Le domande successive, sono utili soprattutto per capire se una possibile esposizione troppo superficiale, è da porsi in relazione all'acquisizione approssimativa delle competenze oppure ad un eccessivo desiderio di sintesi. Allo studente non viene richiesto di svolgere esercizi o problemi durante l'esame orale, oltre a quelli discussi a lezione con, al più, qualche minima variante.

### English

#### Prerequisites

Notions of mechanics, thermodynamics, magnetic field, electric field, electromagnetic waves at the level of three-year degree courses in physics. Elements of mathematical analysis at the level of three-year degree courses in physics.

#### Programme

Program of the course of "Physics of the Ionosphere and Magnetosphere" prof. Carlo Scotto Most of the topics are dealt in the book by G.W. Pröls ("Physics of the Earth's Space Environment", ed. Springer). Reference is made to the paragraphs of this book. The remaining topics are reported in the distributed Lesson Notes. The relevant detailed bibliography is shown in them. Introduction: purpose of the course and presentation of the topics covered. 1. Notions of magneto-ionospheric plasma physics Plasma frequency, Debye distance and Debye-Hückel potential, plasma conditions, free mean path, phase refraction index for radio waves in a plasma without collisions and in the absence of magnetic field, cold plasma (Lesson notes). (P. 232, § 7.3.1, § 7.3.2, § 7.3.3). Energy of the electromagnetic field (Lesson notes). Motion of electric charges in a magnetic field: gyration motion, the magnetic moment as an adiabatic invariant, motion where  $\text{grad}(B)$  is parallel to  $B$ , bounce motion (§ 5.3.1, § 5.3.2, pp. 220-228), gradient drift motion (§ 5.3.2, pp. 228-229), neutral shift drift, drift  $E \times B$  and plasma conductivity in the absence of collisions, drift under the action of external forces (§ 5.3.1, § 5.3.2, § 5.3.3 pp. 219-233). 2. The interplanetary medium. The solar corona and the solar wind (§ 6.1 and 6.1.1, pp. 278-282, including all the references). Large-scale solar wind structure and on the ecliptic plane (§ 6.1.6). The interplanetary magnetic field: observations and physical characteristics (§ 6.2.1, pp. 300-304). The heliospheric current sheet (§ 6.2.4). Segment structure of the polar component of  $B$  (§ 6.2.5). Alfvén's theorem (Appendix A.14, pp.484-487). 3. Magnetosphere The geomagnetic field near the Earth (§ 5.2). Curvature drift (p. 233). Total drift (p. 234-235). Composed motion of charge carriers (§ 5.3.4). Particle populations in the internal magnetosphere: radiation belts, ring current, plasmashere (§ 5.4). The distant geomagnetic field: configuration and classification, currents on the diurnal side of the magnetopause, reflection of the particles and formation of the current, system of currents in the geomagnetic tail (§ 5.5). Particle population in the external magnetosphere: magnetotail plasma sheet, magnetotail lobe plasma, magnetospheric boundary layer (§ 5.6). Formation of bow shock and the magnetosheat (§ 6.4 introduction and § 6.4.1, pp. 325-328). 4. Ionosphere Absorption processes, gas radiation attenuation, energy deposition in the upper atmosphere: Chapman function. Earth ionosphere: historical outline, vertical profile of electron density, ionospheric temperature, production and disappearance of ionization, ionospheric regions, electronic equilibrium, vertical profile of electron density in E region and in region F2 region (§ 3.2; introduction of chap 4, § 4.1, § 4.2, § 4.3). Ionosphere morphology: the cusps on the ionogram trace and the ionospheric regions (Lesson notes). Regular variations of the ionosphere: layers E and F1 (Lesson notes). Irregular variations of the ionosphere: F2 layer (Lesson notes). Sporadic E layer(Lesson notes). Simplified photochemical model for regions E and F: F1 layer (Lesson notes). Simplified photochemical model for region D (Lesson notes). Refraction index for radio waves with collisions and in the absence of a magnetic field; interpretation of the imaginary part of the refractive index: absorption (Lesson notes). Solar flares and short waves fadeout (Lesson notes). Additional notes on the F1 layer (Lesson notes). Additional notes on layer E (Lesson notes). 5. Magnetoionic theory Introduction. Constitutive equations for a cold plasma with collisions and in the presence of a magnetic field (Lesson notes). Refractive index for radio waves in the ionosphere, neglecting collisions and considering the Earth's magnetic field: Appleton-Hartree equation (Lesson notes). Continuity of  $n$  in  $X = 1$ . The zeros of the collisionless Appleton-Hartree equation: longitudinal, transverse and general propagation case (Lesson notes). Polarization: continuity in  $X = 1$  in the general case and in the case of longitudinal propagation. Polarization in case of longitudinal propagation: dependence on the sign of  $Y_L$ . Polarization in general conditions, for  $X = 1$  (Lesson Notes). Refractive index for radio waves in the ionosphere, considering collisions and the earth's magnetic field. Mention upon the polarization in the collisional case. Curves of  $m_i(X)$  with collisions: importance of the Booker rule (Lesson notes). Conditions of reflection and ionograms, ordinary, extraordinary trace. Ray Z (Lesson Notes). Examples of ionograms (Lesson notes). As indicated in the lesson notes, the material of this teaching unit can be found at: Ratcliffe, J. A. (1959), The magneto-Ionic Theory and its Applications to the Ionosphere, Cambridge University Press. 6. Absorption and dissipation of solar wind energy Topology of the high polar atmosphere (§ 7.1). Electric fields, and plasma convection (§ 7.2). Conductivity and currents in the polar ionosphere (§ 7.3). Polar auroras: energy dissipation of the auroral particles, origin of the auroral particles, diffuse and discrete aurora (§ 7.4). Solar Wind Dynamo (§ 7.6.1), open magnetosphere (§ 7.6.2), plasma convection in the open magnetosphere (§ 7.6.3), open magnetosphere with tail (§ 7.6.4), mention upon the reconnection (part of § 7.6.5) Birkeland currents in regions 1 and 2 (§ 7.6.6). 7. Geospheric storms Magnetic storms: regular variation, equatorial electrojet, magnetic activity at low, high and medium latitudes, geomagnetic indexes (§ 8.1). Magnetic substorms: growth and expansion phase, Alfvén waves and their role (§ 8.3). Ionospheric storms: negative and positive storms (§ 8.5).

#### Reference books

1) G.W. Pröls "Physics of the Earth's Space Environment" 2) Lecture Notes

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

**Canale:**N0

**Docente:** GALLO PAOLA

### Italiano

#### Prerequisiti

Nessun prerequisito richiesto

#### Programma

Panoramica sulla materia condensata. Descrizione geometrica dei cristalli: reticoli diretti, reticoli reciproci e zona di Brillouin. Scattering di particelle da cristalli: raggi x, elettroni e neutroni. Quasicristalli. Classificazione dei solidi cristallini e legami. Approssimazione adiabatica di Born-Oppenheimer. Dinamica vibrazionale del reticolo cristallino, fononi. Calori specifici vibrazionali di Einstein e Debye e calore specifico elettronico. Elettroni in potenziali periodici: il teorema di Bloch. Teoria dell'elettrone libero nei metalli. L'Hamiltoniano a moltelettroni e approssimazioni ad elettrone singolo: equazioni di Hartree e Hartree-Fock. Teoria a bande dei cristalli: metodo del Tight Binding, approssimazione dell'elettrone quasi libero. Proprietà elettroniche di cristalli rilevanti. Trasporto nei metalli. Semiconduttori intrinseci e drogati e trasporto. Giunzione p-n. Superconduttività.

#### Testi

TESTO PRINCIPALE: Giuseppe Grosso and Giuseppe Pastori Parravicini Solid State Physics Academic Press ALTRI TESTI UTILIZZATI: Neil W. Ashcroft N. David Mermin Solid State Physics Saunders College Charles Kittel Introduzione alla Fisica Dello Stato Solido Casa Editrice Ambrosiana APPUNTI, PRESENTAZIONI E ESERCIZI sono pubblicati sul sito del corso <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallop/>

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali ed esercitazioni Le lezioni frontali si svolgono alla lavagna. Il docente alterna teoria ad esempi ed esercizi esplicativi dei concetti. Vengono proiettate delle presentazioni che contengono soprattutto figure che aiutano la comprensione dei fenomeni. Il docente segue il libro di testo tranne per alcune parti per le quali si forniscono appunti del docente pubblicati sulla pagina web del corso. Anche le presentazioni vengono pubblicate sulla pagina web del corso. Le esercitazioni vengono svolte con cadenza settimanale. Gli esercizi vengono proposti e risolti alla lavagna. Gli stessi esercizi vengono poi pubblicati con le soluzioni sulla pagina web del corso. <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallop/> Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche e della valutazione degli studenti. In particolare per le lezioni e per le esercitazioni si applicheranno le seguenti modalità: lezioni online in diretta su teams come descritto sopra.

#### Modalità di valutazione

Prova scritta e prova orale separate. La prova scritta si può superare sostenendo i due esoneri. Il primo esonero proposto a metà corso riguarda esercizi relativi agli argomenti della prima metà del corso. Nel primo esonero vengono proposti due esercizi da svolgere in due ore. Il secondo esonero avviene durante la prima o la seconda prova scritta, riguarda la seconda metà del corso e consiste anch'esso di due esercizi da svolgere in due ore. La prova scritta si può superare sostenendo altrimenti lo scritto nelle date degli appelli. Per i primi due appelli verranno proposti quattro esercizi da svolgere in quattro ore. Lo studente potrà svolgere due esercizi in due ore e passare un esonero (tipicamente il secondo, ma anche il primo se vuole) o tutti e quattro gli esercizi. Negli appelli successivi al secondo si chiederà di risolvere tre esercizi in tre ore che spazieranno su tutto il programma. E' consentito l'uso della calcolatrice e di un formulario. Prove relative agli anni precedenti (esoneri e scritti) sono pubblicate sul sito del corso. Durante la prova orale verranno chiesti due o tre argomenti. La candidata o il candidato deve esporre ciascun argomento in maniera chiara e deve ricavare le formule che lo descrivono su un foglio. Verranno valutate il livello di comprensione del fenomeno e la chiarezza espositiva. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche e della valutazione degli studenti. In particolare gli esami si applicheranno le seguenti modalità: esami online in diretta su teams come descritto sopra, compresa una prova scritta.

### English

#### Prerequisites

None required

#### Programme

Overview on condensed matter. Geometric description of crystals: direct and reciprocal lattices and Brillouin zone. Scattering of particles by crystals: x-rays, electrons and neutrons. Quasicrystals. Classification of crystalline solids and bonds. Adiabatic approximation (Born-Openheimer). Lattice vibrational dynamics, phonons. Specific heats of Einstein, Debye and electronic. Electrons in periodic potentials: the Bloch theorem. Theory of the free electron in metals. The many electrons Hamiltonian and one electron approximations: Hartree and Hartree Fock equation. Band theory in crystals: Tight Binding method and the nearly free electron approximation. Electronic properties of relevant crystals. Transport in metals. Intrinsic and doped semiconductors and transport. p-n

junction. Superconductivity.

### Reference books

Giuseppe Grosso and Giuseppe Pastori Parravicini Solid State Physics Academic Press others: Neil W. Ashcroft N. David Mermin Solid State Physics Saunders College Charles Kittel Introduzione alla Fisica Dello Stato Solido Casa Editrice Ambrosiana WRITTEN NOTES, PRESENTATIONS AND EXERCISES will be published on the course web site <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallop/>

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402210 - FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA

Canale:N0

Docente: LUPI LAURA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

SI SVOLGONO GLI ESERCIZI RELATIVI ALLE SEGUENTI PARTI DEL PROGRAMMA DEL CORSO DELLA PROFESSORESSA PAOLA GALLO: Descrizione geometrica dei cristalli: reticoli diretti, reticoli reciproci e zona di Brillouin. Scattering di particelle da cristalli: raggi x. Dinamica vibrazionale del reticolo cristallino, fononi. Calori specifici vibrazionali di Einstein e Debye e calore specifico elettronico. Teoria a bande degli elettroni nei cristalli: metodo del Tight Binding, approssimazione dell'elettrone quasi libero. Trasporto semiconduttori intrinseci e drogati.

#### Testi

ESERCIZI divisi in "testi" e "testi e soluzioni" pubblicati sul sito del corso. Sullo stesso sito saranno pubblicate prove di esonero e esame di anni precedenti.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Le esercitazioni vengono svolte con cadenza settimanale. Gli esercizi vengono proposti e risolti alla lavagna. Gli stessi esercizi vengono poi pubblicati con le soluzioni sulla pagina web del corso. <http://webusers.fis.uniroma3.it/~gallop/>

#### Modalità di valutazione

SI VEDA LA PAGINA DEL TITOLARE DEL CORSO : PAOLA GALLO

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

Exercises on the following topics: Geometric description of crystals: direct and reciprocal lattices and Brillouin zone. Scattering of particles by crystals: x-rays. Quasicrystals. Lattice vibrational dynamics, phonons. Specific heats of Einstein, Debye and electronic. Band theory of electrons in crystals: Tight Binding method and the nearly free electron approximation. Intrinsic and doped semiconductors and transport.

#### Reference books

EXERCISES published on the webpage of the class. Exams of previous years available on the same webpage.

#### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410054 - FISICA DELL'AMBIENTE

Docente: DI SARRA ALCIDE

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza della fisica del triennio; fondamenti di chimica.

### Programma

Il corso è finalizzato a fornire agli studenti le informazioni fondamentali per la comprensione delle interazioni tra atmosfera, oceano, e superficie terrestre, dei principali processi fisico-chimici connessi, e degli impatti su qualità dell'aria e del mare. Il corso intende affrontare gli aspetti di interconnessione ed inter/multidisciplinarietà dei fenomeni coinvolti e fornire informazioni sui principi di misura di varie proprietà dell'atmosfera e dell'oceano. Programma del corso Struttura e composizione dell'atmosfera. Processi dinamici atmosferici. Gas principali e gas in traccia. Particolato e nubi. Emissioni e reazioni chimiche in atmosfera. Reazioni chimiche rilevanti per la qualità dell'aria. Strato limite planetario e sua evoluzione. Struttura e composizione dell'oceano. Salinità, temperatura, densità. Processi dinamici oceanici. Strato rimescolato, termoclino. Composizione chimica ed inquinanti marini. Scambi di energia e di materia tra atmosfera, oceano, terra. Elementi sul ciclo idrologico e sul ciclo del carbonio. Tecniche e metodi di misura di alcuni parametri atmosferici ed oceanografici.

### Testi

Hartmann, D.L., Global Physical Climatology. Elsevier, 2016. Stewart, R. H., Introduction to physical oceanography, 2008. <http://hdl.handle.net/1969.1/160216>. Wallace, J.M., e P. V. Hobbs, Atmospheric Science: An Introductory Survey. Academic Press, 2006.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni in aula. Le lezioni saranno strutturate attraverso presentazioni formali (sia alla lavagna che con proiezioni) e piccoli esperimenti in aula.

### Modalità di valutazione

E' previsto un esame orale finale strutturato su tre domande principali. Le domande principali saranno relative rispettivamente a: - processi atmosferici - processi oceanografici - interazione aria-superficie.

## English

### Prerequisites

Fundamentals of Physics and basic chemistry.

### Programme

The course is designed to provide students with the fundamental information for understanding the interactions between the atmosphere, the ocean, and the earth's surface, the main physical-chemical processes connected, and the impacts on air and sea quality. The course intends to deal with the interconnection and inter / multidisciplinary aspects of the phenomena involved and to provide information on the measurement principles of various properties of the atmosphere and the ocean. Course program Structure and composition of the atmosphere. Atmospheric dynamic processes. Main gases and trace gases. Particulate matter and clouds. Emissions and chemical reactions in the atmosphere. Chemical reactions relevant to air quality. Planetary limit layer and its evolution. Structure and composition of the ocean. Salinity, temperature, density. Oceanic dynamic processes. Scrambled layer, thermocline. Chemical composition and marine pollutants. Exchanges of energy and matter between atmosphere, ocean, earth. Elements on the hydrological cycle and the carbon cycle. Techniques and methods of measurement of some atmospheric and oceanographic parameters.

### Reference books

Hartmann, D.L., Global Physical Climatology. Elsevier, 2016. Stewart, R. H., Introduction to physical oceanography, 2008. <http://hdl.handle.net/1969.1/160216>. Wallace, J.M., e P. V. Hobbs, Atmospheric Science: An Introductory Survey. Academic Press, 2006.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE

**Docente:** BUSSINO SEVERINO ANGELO MARIA

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

ASPETTI FENOMENOLOGICI E SPERIMENTALI DELLA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE: CORRELAZIONI TRA FISICA DELLE PARTICELLE, ASTROFISICA E COSMOLOGIA; IL PROBLEMA DELLA MATERIA OSCURA; RAGGI COSMICI E MECCANISMI DI ACCELERAZIONE DEI RAGGI COSMICI; MASSA DI NEUTRINI ED OSCILLAZIONE DEI NEUTRINI LA CONSERVAZIONE DEL

NUMERO LEPTONICO ED IL DECADIMENTO DOPPIO BETA; LA CONSERVAZIONE DEL NUMERO BARIONICO ED IL PROBLEMA DEL DECADIMENTO DEL PROTONE; VIOLAZIONE DI CP E ASIMMETRIA MATERIA-ANTIMATERIA.

### Testi

K. Thomas Gaisser Cosmic rays and particle physics Cambridge 1990 Malcom S. Longair High energy astrophysics Cambridge 1992 H. V. Klapdor - Kleingrothaus and A. Staudt Non - Accelerator particle physics Bristol 1995 Donald H. Perkins Particle Astrophysics, second edition Oxford 2009

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali. Per ogni argomento principale, una lezione (o piu' di una nel caso di argomenti di piu' ampio respiro) verra' dedicata alla presentazione della tematica e al suo inquadramento all'interno del panorama scientifico. Una successiva lezione sara' poi dedicata alla presentazione della ricerca attuale sul tema oggetto della discussione. Le ultime lezioni verranno dedicate ad accompagnare gli studenti nella preparazione del seminario oggetto dell'esame finale.

### Modalità di valutazione

Esame orale: discussione di una tesina su argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte.

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

Phenomenological and Experimental topics in Astroparticle Physics. Common problems in particle physics, astrophysics and cosmology. Dark Matter. Cosmic Rays. Cosmic Rays Acceleration. Neutrino Masses and Neutrino Oscillation. Lepton Number non-conservation and double beta decay. Baryon Number non-conservation and proton decay. CP violation and the matter-antimatter asymmetry.

#### Reference books

K. Thomas Gaisser Cosmic rays and particle physics Cambridge 1990 Malcom S. Longair High energy astrophysics Cambridge 1992 H. V. Klapdor - Kleingrothaus and A. Staudt Non - Accelerator particle physics Bristol 1995 Donald H. Perkins Particle Astrophysics, second edition Oxford 2009

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410505 - FISICA DELLE ASTROPARTICELLE

**Docente:** MARI STEFANO MARIA

### Italiano

#### Prerequisiti

non richiesti

#### Programma

ASPETTI SPERIMENTALI DELLA FISICA DELLE ASTROPARTICELLE. VENGONO DISCUSSI GLI APPARATI, LE TECNICHE SPERIMENTALI E I RISULTATI NEI SEGUENTI SETTORI: RIVELAZIONE DEI RAGGI COSMICI; RICERCA DI MATERIA OSCURA; RIVELAZIONE DEI NEUTRINI; RICERCA DI ANTIMATERIA; RIVELAZIONE DI ONDE GRAVITAZIONALI.

### Testi

K. THOMAS GAISSER COSMIC RAYS AND PARTICLE PHYSICS CAMBRIDGE 1990 MALCOM S. LONGAIR HIGH ENERGY ASTROPHYSICS CAMBRIDGE 1992 H. V. KLAPDOR - KLEINGROTHAUS AND A. STAUDT NON - ACCELERATOR PARTICLE PHYSICS BRISTOL 1995 DONALD H. PERKINS PARTICLE ASTROPHYSICS, SECOND EDITION OXFORD 2009

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali. Per ogni argomento principale, una lezione (o piu' di una nel caso di argomenti di piu' ampio respiro) verra' dedicata alla presentazione della tematica e al suo inquadramento all'interno del panorama scientifico. Una successiva lezione sara' poi dedicata alla presentazione della ricerca attuale sul tema oggetto della discussione. Le ultime lezioni verranno dedicate ad accompagnare gli studenti nella preparazione del seminario oggetto dell'esame finale.

### Modalità di valutazione

Esame orale: discussione di una tesina su argomento a scelta dello studente tra una rosa di proposte.

## English

### Prerequisites

not required

### Programme

Experimental Astroparticle Physics: detectors for Cosmic Ray measurement, Dark Matter search by direct approach, neutrino oscillation parameter measurement, Gravitational Wave measurement.

### Reference books

K. THOMAS GAISSER COSMIC RAYS AND PARTICLE PHYSICS CAMBRIDGE 1990 MALCOM S. LONGAIR HIGH ENERGY ASTROPHYSICS CAMBRIDGE 1992 H. V. KLAPDOR - KLEINGROTHAUS AND A. STAUDT NON - ACCELERATOR PARTICLE PHYSICS BRISTOL 1995 DONALD H. PERKINS PARTICLE ASTROPHYSICS, SECOND EDITION OXFORD 2009

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401139 - FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

Canale:N0

Docente: TARANTINO CECILIA

## Italiano

### Prerequisiti

Argomenti svolti nei corsi di Fisica Teorica I e II

### Programma

Lezioni Introdottrive: Funzioni di Green, Diagrammi di Feynman, Esponenziazione dei diagrammi disconnessi, Stati IN e OUT, Matrice S, Matrice S in termini dei diagrammi di Feynman, Rappresentazione spettrale di Kaellen-Lehmann, Formula di riduzione LSZ. Rinormalizzabilità: Grado di Divergenza Superficiale dei Diagrammi, Teoria delle Perturbazioni Rinormalizzata, Equazione di Callan-Symanzik, Funzioni beta e gamma, Running coupling, Risommazione dei logaritmi leading. Metodo degli Integrali Funzionali: Introduzione al Formalismo degli Integrali Funzionali, Integrale Funzionale per una teoria di campo (Int. funz. per una teoria di campo scalare), Funzioni di correlazione in termini di integrali funzionali, Funzionale generatore, Regole di Feynman dall'Integrale Funzionale, Quantizzazione del Campo Elettromagnetico (Procedura di Faddeev-Popov), Quantizzazione di Teorie di Gauge Non-Abeliane, Ghosts.

### Testi

Michael E. Peskin, Daniel V. Schroeder "An Introduction to Quantum Field Theory"; Franz Mandl, Graham Shaw "Quantum Field Theory".

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Lezioni frontali alla lavagna/ipad in cui sono spiegati fondamenti ed approfondimenti della Teorica dei Campi. Esercitazioni alla lavagna/ipad per insegnare a prendere dimestichezza con il formalismo della Teoria dei Campi sia in Seconda Quantizzazione che nell'ambito del metodo degli Integrali Funzionali. Le ore dedicate alla parte più concettuale e quelle dedicate alle esercitazioni sono numericamente confrontabili.

### Modalità di valutazione

Prova orale sul programma svolto durante il corso. L'esame orale prevede due/tre domande su più parti del programma, volte ad esplorare la comprensione degli argomenti più concettuali e la familiarità con il formalismo della Teoria dei Campi. La durata dell'esame orale è compresa tra mezz'ora ed un'ora.

## English

### Prerequisites

Subjects that are explained in Fisica Teorica I and II

### Programme

Introductory Lectures: Green Functions, Feynman Diagrams, Exponentiation of disconnected diagrams, IN and OUT states, S-Matrix, S-Matrix in terms of Feynman diagrams, Kaellen-Lehmann Spectral Representation, LSZ Reduction Formula, Optical Theorem. Renormalization: Superficial Divergence Degree of Diagrams, Renormalized Perturbation Theory, Callan-Symanzik Equation, Beta and Gamma Functions, Running coupling, Leading Logarithm Resummation. Path Integral Method: Introduction to Path Integral Formalism, Path Integral for a Field Theory (Path Int. for a scalar field theory), Green functions in terms of Path Int., Feynman rules from Path Int., Generating Functional, QED Quantization (Faddeev-Popov Method), Dirac Field Quantization, Quantization of Non-abelian Gauge Theories, Ghosts.

## Reference books

Michael E. Peskin, Daniel V. Schroeder "An Introduction to Quantum Field Theory"; Franz Mandl, Graham Shaw "Quantum Field Theory".

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410050 - FISICA DELLE NANOSTRUTTURE

**Docente:** DI GASPARE LUCIANA

### Italiano

#### Prerequisiti

Fisica della Materia Condensata e Complementi di Fisica della Materia Condensata

#### Programma

ETEROGIUNZIONI E ETEROSTRUTTURE. SISTEMI 2-, 1-, 0-DIMENSIONALI. STATI ELETTRONICI E DENSITÀ DEGLI STATI. GAS DI ELETTRONI 2D. LUNGHEZZE CARATTERISTICHE PER IL TRASPORTO IN SISTEMI A BASSA DIMENSIONALITÀ. MATRICI T E TUNNEL RISONANTE. INTERFERENZA DELLE FUNZIONI D' ONDA ED EFFETTO AHARONOV-BOHM. TRASPORTO BALISTICO E QUANTIZZAZIONE DELLA CONDUTTANZA NEI SISTEMI 1-DIMENSIONALI. CONDUCIBILITÀ IN PRESENZA DI UN CAMPO MAGNETICO. OSCILLAZIONI SHUBNIKOV-DE HAAS. EFFETTO HALL QUANTISTICO. TUNNELLING DI SINGOLO ELETTRONE E BLOCCAGGIO COULOMBIANO. TRANSISTOR A SINGOLO ELETTRONE. GRAFENE: PROPRIETÀ STRUTTURALI ED ELETTRONICHE. PROPRIETÀ OTTICHE DELLE NANOSTRUTTURE: TRANSIZIONI INTERBANDA NELLE BUCHE QUANTICHE E REGOLE DI SELEZIONE; ECCITONI IN SISTEMI 2D; TRANSIZIONI INTERSOTTOBANDA E REGOLE DI SELEZIONE. EMETTITORI DI LUCE, COEFFICIENTE DI GUADAGNO. LASER A DIODO, A ETEROSTRUTTURA, A CASCATA QUANTICA (CENNI)

#### Testi

DATTA S.: ELECTRONIC TRANSPORT IN MESOSCOPIC SYSTEMS [CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS] FERRY D.K. AND GOODNICK S.M.: TRANSPORT IN NANOSTRUCTURES [CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS] DAVIES J. H. : THE PHYSICS OF LOW DIMENSIONAL SEMICONDUCTORS [CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS]

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali. I dettagli dei calcoli matematici saranno eseguiti alla lavagna. Alcuni argomenti verranno illustrati proiettando delle diapositive e riportando come esempio casi presi dalla letteratura scientifica recente. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche e della valutazione degli studenti. In particolare si applicheranno le seguenti modalità: lezioni a distanza in video conferenza tramite piattaforma Teams"

#### Modalità di valutazione

esame finale in forma orale. L'esame consiste in 2 domande, una riguardante tipicamente il magnetotrasporto quantico, la seconda le proprietà ottiche dei sistemi confinate. Si richiede allo studente di mostrare una autonoma capacità di inquadrare gli argomenti richiesti in un quadro generale, nonché di saper eseguire i calcoli matematici

### English

#### Prerequisites

Condensed Matter Physics and Solid State Physics

#### Programme

HETEROJUNCTIONS AND HETEROSTRUCTURES. 2, 1, 0 DIMENSIONAL SYSTEMS: ELECTRONIC STATES AND DENSITY OF STATES. 2D DIMENSIONAL ELECTRON GASES. CHARACTERISTIC LENGTHS FOR THE ELECTRICAL TRANSPORT IN LOW DIMENSIONAL SYSTEMS. T-MATRICES AND RESONANT TUNNELLING. INTERFERENCE OF WAVE FUNCTIONS. AHARONOV-BOHM EFFECT. BALISTIC TRANSPORT AND CONDUCTANCE QUANTIZATION IN 1D SYSTEMS. MAGNETOTRANSPORT: SHUBNIKOV-DE HAAS OSCILLATIONS AND QUANTUM HALL EFFECT. SINGLE ELECTRON TUNNELING AND COULOMB BLOCKADE EFFECTS. SINGLE ELECTRON TRANSISTOR. GRAPHENE: STRUCTURAL AND ELECTRONIC PROPERTIES. OPTICAL PROPERTIES OF NANOSTRUCTURES: INTERBAND TRANSITIONS IN QUANTUM WELLS; EXCITONS IN 2D SYSTEMS; INTERSUBBAND TRANSITIONS. LIGHT-EMITTERS: GAIN COEFFICIENT; DIODE LASERS, HETEROSTRUCTURE LASERS, QUANTUM CASCADE LASERS (BRIEF).

#### Reference books

DATTA S.: ELECTRONIC TRANSPORT IN MESOSCOPIC SYSTEMS [CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS] FERRY D.K. AND GOODNICK S.M.: TRANSPORT IN NANOSTRUCTURES [CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS] DAVIES J. H. : THE PHYSICS OF LOW DIMENSIONAL SEMICONDUCTORS [CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS]

#### Reference bibliography

## Study modes

## Exam modes

## 20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

( FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI MOD. A )

Canale:N0

Docente: PETRUCCI FABRIZIO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relatività ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantità invariante, operazioni su quadri-vettori. È consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

### Programma

MODULO A a) parte generale/strumenti formali: - Equazioni quantistiche relativistiche, regole di selezione, sezioni d'urto e risonanze. - Principi di invarianza e leggi di conservazione, trasformazioni continue e discrete, parità, coniugazione di carica, inversione temporale. b) prima fenomenologia, adroni: - Isospin forte, stranezza. Isospin del pione e misure correlate. - Plot di Dalitz e loro interpretazione. Puzzle Theta-tau - Richiami sul modello a quark. - Modello a partoni, densità di quark e antiquark. c) interazioni elettro-deboli, decadimenti, mescolamento dei sapori: - Hamiltoniana e fenomenologia delle interazioni deboli. Vincoli sperimentali da esp. di Wu (violazione P) e di Goldhaber (elicita' neutrino) - Angolo di Cabibbo, meccanismo GIM e scoperta del charm. Scoperta del leptone tau. "November revolution" del 1974 - Modello standard delle interazioni elettrodeboli e sue verifiche: scoperta delle correnti neutre, esp. Gargamelle. UA1/UA2 e scoperta dei bosoni W e dello Z. - Violazione della simmetria CP, mescolamento di sapori pesanti. Cenni a B-factories e misure degli angoli CKM da mesoni B. - Fisica dei neutrini dalla teoria di Fermi ad oggi con particolare riguardo per le oscillazioni di neutrino. d) QCD: anatomia e all'opera ai moderni collisionatori: - Cromo-dinamica quantistica, colore, gluoni, confinamento, urti profondamente anelastici. - Evoluzioni di eventi a collisionatori adronici, cascata partonica, algoritmi e misure dei jet a Tevatron. e) Cenni alle strumentazioni sperimentali, anche per teorici - Interazioni della radiazione con la materia. Tecniche di base della rivelazione delle particelle.

### Testi

TESTI: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verrà spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunità scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle più rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sarà prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sarà interattivo al computer.

### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di più articoli, una parte sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidità delle conoscenze; e per vagliare la capacità dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

## English

### Prerequisites

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

### Programme

SECTION A a) intro and formal tools: - Relativistic equations, selection rules, cross sections and resonances - Invariance principles and conservation rules, continuous and discrete transformations, Parity, Charge conjugation, Time inversion b) early phenomenology, hadrons: - Strong isospin, Strangeness. Pion isospin and its expt. determination - Dalitz plots and their interpretation. Theta-tau puzzle. - Quark model, mentions - Parton model, quark and anti-quark density c) Electro-weak interactions, decays, flavour mixing - Hamiltonian and phenomenology of weak interactions. Experimental constraints from Wu (P violation) and Goldhaber (neutrino helicity) - Cabibbo angle, GIM mechanism. Discovery of the charm quark and tau lepton. The 1974 "November revolution" - Standard model of

electro-weak interactions and their experimental confirmations: discovery of neutral currents, Gargamelle expt. W and Z bosons discovery and UA1,2 - CP violation, meson mixing. Mentions to B-factories and measurement of CKM angles from B mesons - Evolution of events at hadronic colliders, parton shower, jet algorithms and related measurements - Neutrino physics from the Fermi theory to the current day: particularly neutrino oscillations d) QCD: anatomy and at work at modern colliders: - QCD, colour, gluons, confinement, DIS - Evolution of events at hadron colliders, parton showers, algorithms, measurements with jets at Tevatron. e) Intro to experimental tools, also useful for theorists - Radiation - matter interactions. Basics of particle detection techniques

### Reference books

TEXTS: (Leo W.R.)Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.)Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.)The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

( FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI - MOD. B )

Canale:N0

Docente: SALAMANNA GIUSEPPE

Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relativita' ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantita' invarianti, operazioni su quadri-vettori. E' consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

### Programma

MODULO B - Elementi di statistica applicata agli esperimenti di fisica subnucleare. - Esperimenti e misure a LEP. - Ricerche del bosone di Higgs e cenni a ricerche di fisica oltre il modello standard agli acceleratori - Esempi di esperimenti di fisica del neutrino e ricerche di Materia Oscura. - Identificazione di jet da quark b (btagging) e fisica dei quark top. - Strumentazione complessa: gli spettrometri magnetici, i sistemi di identificazione di particella, grandi apparati sperimentali. - Rivelatori a scintillazione e rivelatori ottici (PMT, APD, SiPM). Rivelatori a stato solido. Camere proporzionali a multi-fili. - Calorimetria e.m. ed adronica. - Sistemi e menu di trigger agli esperimenti moderni. - Elementi di utilizzo del codice di analisi ROOT.

### Testi

TESTI: (Leo W.R.)Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.)Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.)The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verra' spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunita' scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle piu' rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sara' prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sara' interattivo al computer.

### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di piu' articoli, una parte sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidita' delle conoscenze; e per vagliare la capacita' dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

### English

### Prerequisites

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

## Programme

SECTION B - Elements of statistical analysis applied to particle physics experiments - Experiments and results at LEP - Higgs boson searches and mentions of BSM searches at colliders - Examples of experimental neutrino physics and Dark Matter searches - b-jet identification and top quark measurements - Complex detectors: magnetic spectrometers, particle identification, large detectors - Scintillators and optical devices (PMT, APD, SiPM). Solid state detectors. Multi-wire proportional chambers. - E.m. and hadronic calorimetry - Trigger systems and menus at modern experiments - ROOT analysis software tutorial

## Reference books

TEXTS: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

( FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI - MOD. B )

Canale: N0

Docente: PETRUCCI FABRIZIO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relatività ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantità invarianti, operazioni su quadri-vettori. È consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

### Programma

MODULO B - Elementi di statistica applicata agli esperimenti di fisica subnucleare. - Esperimenti e misure a LEP. - Ricerche del bosone di Higgs e cenni a ricerche di fisica oltre il modello standard agli acceleratori - Esempi di esperimenti di fisica del neutrino e ricerche di Materia Oscura. - Identificazione di jet da quark b (btagging) e fisica dei quark top. - Strumentazione complessa: gli spettrometri magnetici, i sistemi di identificazione di particella, grandi apparati sperimentali. - Rivelatori a scintillazione e rivelatori ottici (PMT, APD, SiPM). Rivelatori a stato solido. Camere proporzionali a multi-fili. - Calorimetria e.m. ed adronica. - Sistemi e menu di trigger agli esperimenti moderni. - Elementi di utilizzo del codice di analisi ROOT.

### Testi

TESTI: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verrà spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunità scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle più rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sarà prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sarà interattivo al computer.

### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di più articoli, una parte sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidità delle conoscenze; e per vagliare la capacità dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

## English

### Prerequisites

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

## Programme

SECTION B - Elements of statistical analysis applied to particle physics experiments - Experiments and results at LEP - Higgs boson searches and mentions of BSM searches at colliders - Examples of experimental neutrino physics and Dark Matter searches - b-jet identification and top quark measurements - Complex detectors: magnetic spectrometers, particle identification, large detectors - Scintillators and optical devices (PMT, APD, SiPM). Solid state detectors. Multi-wire proportional chambers. - E.m. and hadronic calorimetry - Trigger systems and menus at modern experiments - ROOT analysis software tutorial

## Reference books

TEXTS: (Leo W.R.)Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.)Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.)The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20402217 - FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI (MOD. A+B)

( FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI MOD. A )

Canale:N0

Docente: SALAMANNA GIUSEPPE

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza della meccanica quantistica e della teoria della relativita' ristretta, con particolare riferimento alle trasformazioni di Lorentz, quantita' invarianti, operazioni su quadri-vettori. E' consigliabile aver assimilato gli argomenti del corso di Fisica Teorica 1.

### Programma

MODULO A a) parte generale/strumenti formali: - Equazioni quantistiche relativistiche, regole di selezione, sezioni d'urto e risonanze. - Principi di invarianza e leggi di conservazione, trasformazioni continue e discrete, parità, coniugazione di carica, inversione temporale. b) prima fenomenologia, adroni: - Isospin forte, stranezza. Isospin del pione e misure correlate. - Plot di Dalitz e loro interpretazione. Puzzle Theta-tau - Richiami sul modello a quark. - Modello a partoni, densità di quark e antiquark. c) interazioni elettro-deboli, decadimenti, mescolamento dei sapori: - Hamiltoniana e fenomenologia delle interazioni deboli. Vincoli sperimentali da esp. di Wu (violazione P) e di Goldhaber (elicita' neutrino) - Angolo di Cabibbo, meccanismo GIM e scoperta del charm. Scoperta del leptone tau. "November revolution" del 1974 - Modello standard delle interazioni elettrodeboli e sue verifiche: scoperta delle correnti neutre, esp. Gargamelle. UA1/UA2 e scoperta dei bosoni W e dello Z. - Violazione della simmetria CP, mescolamento di sapori pesanti. Cenni a B-factories e misure degli angoli CKM da mesoni B. - Fisica dei neutrini dalla teoria di Fermi ad oggi con particolare riguardo per le oscillazioni di neutrino. d) QCD: anatomia e all'opera ai moderni collisionatori: - Cromo-dinamica quantistica, colore, gluoni, confinamento, urti profondamente anelastici. - Evoluzioni di eventi a collisionatori adronici, cascata partonica, algoritmi e misure dei jet a Tevatron. e) Cenni alle strumentazioni sperimentali, anche per teorici - Interazioni della radiazione con la materia. Tecniche di base della rivelazione delle particelle.

### Testi

TESTI: (Leo W.R.)Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.)Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.)The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Lucidi e articoli verranno forniti e caricati sulla pagina del corso.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso viene tenuto principalmente con lezioni frontali, al fine di garantire l'apprendimento dei contenuti, come delineato nella sezione "Obiettivi formativi". Verra' spesso seguito un approccio "storico", in base al quale si introdurranno le conoscenze per come la comunita' scientifica le ha acquisite sperimentalmente ed integrate in una teoria comprensiva, il Modello Standard. Alle lezioni frontali alla lavagna si alterneranno alcune lezioni con lucidi, laddove sia importante mostrare grafici e/o apparati sperimentali. Al fine di abituare gli studenti alla lettura critica della letteratura scientifica di settore ed alla descrizione dei set-up sperimentali, durante le lezioni saranno anche forniti e discussi articoli scientifici sulle piu' rilevanti misure dagli anni '50 ad oggi. Il modulo B sara' prevalentemente effettuato per mezzo di lucidi ed articoli di sviluppo di strumentazione. Il tutorial su ROOT sara' interattivo al computer.

### Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale. Si parte da una presentazione da parte dello studente, in cui si illustra, discute criticamente una misura di fisica delle particelle; oppure si illustra un aspetto della fenomenologia mostrando le principali misure che lo studiano. Gli studenti possono prendere a spunto un articolo o svolgere una loro sintesi coerente di piu' articoli, una parte sperimentale e' sempre richiesta anche per i teorici. L'esame prosegue poi con domande sulla presentazione e, successivamente, integrando con domande su altre parti del corso per sondare la solidita' delle conoscenze; e per vagliare la capacita' dello studente di ricollegare tra di loro i vari aspetti della fisica delle particelle elementari

## English

### Prerequisites

The student will master quantum mechanics and the rules of special relativity, with particular reference to Lorentz transformations, invariant kinematic quantities and operations on four-vectors. It is recommended that the student is familiar with the topics covered in the course "Fisica Teorica 1"

### Programme

SECTION A a) intro and formal tools: - Relativistic equations, selection rules, cross sections and resonances - Invariance principles and conservation rules, continuous and discrete transformations, Parity, Charge conjugation, Time inversion b) early phenomenology, hadrons: - Strong isospin, Strangeness. Pion isospin and its expt. determination - Dalitz plots and their interpretation. Theta-tau puzzle. - Quark model, mentions - Parton model, quark and anti-quark density c) Electro-weak interactions, decays, flavour mixing - Hamiltonian and phenomenology of weak interactions. Experimental constraints from Wu (P violation) and Goldhaber (neutrino helicity) - Cabibbo angle, GIM mechanism. Discovery of the charm quark and tau lepton. The 1974 "November revolution" - Standard model of electro-weak interactions and their experimental confirmations: discovery of neutral currents, Gargamelle expt. W and Z bosons discovery and UA1,2 - CP violation, meson mixing. Mentions to B-factories and measurement of CKM angles from B mesons - Evolution of events at hadronic colliders, parton shower, jet algorithms and related measurements - Neutrino physics from the Fermi theory to the current day: particularly neutrino oscillations d) QCD: anatomy and at work at modern colliders: - QCD, colour, gluons, confinement, DIS - Evolution of events at hadron colliders, parton showers, algorithms, measurements with jets at Tevatron. e) Intro to experimental tools, also useful for theorists - Radiation - matter interactions. Basics of particle detection techniques

### Reference books

TEXTS: (Leo W.R.) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments [Springer-Verlag 1994] (Perkins D.H.) Introduction to High Energy Physics, 4th edition, [Cambridge University Press, 2000] (Cahn R.N. and Goldhaber G.) The experimental Foundations of Particle Physics [Cambridge University Press, 1989] (Halzen F., Martin A.D.) Quarks and leptons [Wiley] Additional slides and papers will be uploaded on the Course web page

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410051 - FISICA DELLE SUPERFICI E INTERFACCIE

**Docente:** OFFI FRANCESCO

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza dei principi di fisica della materia condensata

### Programma

- Superficie di un solido e interfaccia solido/solido: nozioni generali, sviluppo storico e applicazioni - Termodinamica, cristallografia e struttura: reticoli bi-dimensionali e superstrutture; reticolo reciproco e zone di Brillouin; tensione superficiale e forma dei cristalli; difetti strutturali; rilassamento e ricostruzione; interfacce solido/solido; nucleazione e crescita di film sottili - Proprietà elettroniche: stati elettronici di superficie; bande tridimensionali; mappatura delle bande con la tecnica di fotoemissione; stati immagine e core level shift; stati elettronici nei semiconduttori; funzione lavoro; vibrazioni di superficie e adsorbati; metodi di osservazione di fononi di superficie; plasmoni di superficie e polaritoni - Adsorbimento e desorbimento: fisisorbimento e chemisorbimento; adsorbimento dissociativo; adsorbimento e funzione lavoro; interazioni tra specie adsorbate; transizioni di fase bi-dimensionali; cinetica di adsorbimento; desorbimento - Tecniche sperimentali: nozioni generali di ultra alto vuoto; sistemi di pompaggio; componenti da vuoto; preparazione di una superficie pulita; tecniche di deposizione in vuoto - Magnetismo di superficie: struttura elettronica e anisotropia nei materiali ferromagnetici; magnetizzazione e anisotropia magnetica di superficie; fotoemissione polarizzata in spin; dicroismo magnetico; microscopio a fotoemissione di elettroni per rivelare domini magnetici - Microscopia: microscopio elettronico a scansione e in trasmissione; microscopia a scansione di sonda: scanning tunneling microscope e atomic force microscope

### Testi

- Philip Hofmann, Surface Physics - Hans Lüth, Solid Surfaces, Interfaces and Thin Films (Springer-Verlag, 2010) - K. Oura, et al., Surface Science, An Introduction (Springer-Verlag, 2003) - Andrew Zangwill, Physics at Surfaces (Cambridge University press, 1992) - Gabor A. Somorjai, Introduction to surface chemistry and catalysis (Wiley, 2010)

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il docente illustra gli argomenti del corso attraverso la proiezione su schermo delle lezioni che vengono successivamente fornite agli studenti. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche e della valutazione degli studenti. In particolare si applicheranno le seguenti modalità: le lezioni saranno effettuate a distanza utilizzando le piattaforme informatiche messe a disposizione dall'ateneo.

### Modalità di valutazione

Gli studenti vengono valutati attraverso una prova finale orale, in cui viene richiesto di illustrare uno o più argomenti descritti durante il

corso. E' prevista anche una valutazione in itinere, in cui viene richiesto agli studenti di descrivere specifici argomenti del corso concordati con gli studenti stessi.

## English

### Prerequisites

Knowledge of the fundamentals of condensed matter physics

### Programme

- Surface of a solid and solid/solid interface: general notions, historical development and applications - Thermodynamics, crystallography and structure: two-dimensional lattices and superstructures; reciprocal lattice and Brillouin zone - surface tension and crystals shape; structural defects; relaxation and reconstruction; solid/solid interfaces; nucleation and thin film growth - Electronic properties: surface electronic states; three-dimensional bands; band mapping with the photoemission technique; image states and core level shift; electronic states in semiconductors; the work function; surface and adsorbed vibrations; surface phonon observation methods; surface plasmons and polaritons - Adsorption and desorption: physisorption and chemisorption; dissociative adsorption; adsorption and work function; interactions between adsorbed species; bi-dimensional phase transitions; adsorption kinetics; desorption - Experimental techniques: general concepts of ultra high vacuum; pumping systems; vacuum components; preparation of a clean surface; vacuum deposition techniques - Surface magnetism: electronic structure and anisotropy in ferromagnetic materials; magnetization and magnetic surface anisotropy; spin-polarized photoemission; magnetic dichroism; photoemission electron microscope for detecting magnetic domains - Microscopy: scanning and transmission electron microscope; probe scanning microscopy: scanning tunneling microscope and atomic force microscope

### Reference books

- Philip Hofmann, Surface Physics - Hans Lüth, Solid Surfaces, Interfaces and Thin Films (Springer-Verlag, 2010) - K. Oura, et al., Surface Science, An Introduction (Springer-Verlag, 2003) - Andrew Zangwill, Physics at Surfaces (Cambridge University press, 1992) - Gabor A. Somorjai, Introduction to surface chemistry and catalysis (Wiley, 2010)

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

**Docente:** DI MICCO BIAGIO

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Programma: 1. Principi di invarianza e leggi di conservazione. 2. simmetrie discrete e continue; 3. equazioni relativistiche: Klein-Gordon, Dirac 4. soluzioni ad energia negativa, elicità, spin, soluzioni per massa nulla, i neutrini 5. teoria delle perturbazioni relativistica, hamiltoniana di interazione, grafici di Feynman, propagatore come funzione di Green; 6. trasformazioni di Lorentz, sistema di laboratorio e del centro di massa, massa invariante, cinematica delle reazioni, soglia di reazione; 7. campi di interazione, modello di Yukawa; 8. raggi cosmici primari e secondari, il muone: decadimento, massa e vita media; 9. cinematica dei decadimenti, combinazione dei momenti angolari, coefficienti di Clebsch-Gordan, simmetria dell'isospin; 10. larghezze di decadimento e confronto tra elementi di matrice, leggi di conservazione; 11. densità dello spazio della fasi, sezione d'urto di Scattering, fattori di flusso, fattore dello spazio delle fasi invariante, elementi di matrice di scattering; 12. il pione: carica, spin, parità, coniugazione di carica, isospin; 13. particelle strane, iperoni, interazione dei mesoni K; 14. barioni strani, ottetti mesonici e barionici, simmetria SU(3), ipercarica, diagrammi di Young; 15. scoperta dell'anti-protone, gli anti-barioni, la risonanza Delta; 16. risonanze adroniche e mesoniche, modello a Quarks; 17: rappresentazione dei mesoni nel modello a quarks 18: scattering da potenziale, soluzione dell'equazione di Schrodinger per onde sferiche; 19: sezione d'urto di diffusione e assorbimento, limite di unitarietà, teorema ottico; 20: sezione d'urto risonante, formula di Breit-Wigner, masse dei barioni con formula di Gell-Mann Okubo; 21: il numero quantico di colore, rappresentazioni SU(3) di colore, relazioni tra spin e multipletti di SU(3); 22: l'interazione debole, violazione della parità, esperimento di madame Wu; 23: oscillazione dei mesoni K, l'angolo di Cabibbo, il meccanismo GIM; 23: scoperta dei quark charm e beauty; 24: decadimento dei mesoni D e B, diagrammi di Feynman, relazioni di isospin; 25: fasci di neutrini, sapore dei neutrini, scoperta del neutrino tau; 25: le macchine acceleratrici e+ e-, sezione d'urto di produzione adronica, il rapporto R e il numero di quarks e colori; 26: misura dell'elicità del neutrino, scoperta dell'anti-neutrino; 27: deep inelastic scattering, funzioni di distribuzione partoniche; 27: collisori adronici, protone-anti-protone e protone-protone: scoperta dei bosoni W e Z; 28: il bosone di Higgs

### Testi

1. dispense del corso, reperibili sul sito del corso; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Le lezioni si svolgeranno in modo frontale con l'ausilio della lavagna a gesso per l'illustrazione dei concetti di base, lo svolgimento dei passaggi algebrici necessari e di un video proiettore per la visualizzazione degli schemi apparati sperimentali, grafici e tabelle. Le

esercitazioni sono effettuate altresì alla lavagna per la proposizione degli esercizi e la loro soluzione.

### Modalità di valutazione

L'esame comprende una prova per iscritto in cui gli studenti dovranno effettuare il calcolo della sezione d'urto di alcuni processi elementari, risolvere esercizi di cinematica relativistica, rispondere a domande a risposta aperta e chiusa sulle nozioni fondamentali illustrate durante lo svolgimento delle lezioni. Gli studenti che superano con successo la prova scritta sono ammessi all'esame orale dove dovranno illustrare i concetti appresi, mostrando padronanza degli argomenti trattati e capacità di elaborazione dei concetti e delle metodologie acquisite applicandole a configurazioni sperimentali ideali o agli esperimenti trattati durante il corso.

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

Program: 1. Principles of invariance and conservation laws. 2. discrete and continuous symmetries; 3. relativistic equations: Klein-Gordon, Dirac 4. negative energy solutions, helicity, spin, solutions for zero mass, neutrinos 5. relativistic perturbation theory, interaction Hamiltonian, Feynman graphs, propagator as a Green function; 6. Lorentz transformations, laboratory and center of mass system, invariant mass, reaction kinematics, reaction threshold; 7. fields of interaction, Yukawa model; 8. primary and secondary cosmic rays, the muon: decay, mass and average life; 9. kinematics of decays, combination of angular moments, Clebsch-Gordan coefficients, symmetry of the isospin; 10. decay widths and comparison between matrix elements, laws of storage; 11. phase space density, Scattering cross section, flux, factor of the space and of the invariant phases, scattering matrix elements; 12. the pion: charge, spin, parity, charge conjugation, isospin; 13. strange particles, hyperons, interaction of the K mesons; 14. strange baryons, mesonic and baryonic octets, SU (3) symmetry, hypercharge, Young's diagrams; 15. discovery of the anti-proton, the anti-baryons, the Delta resonance; 16: hadronic and mesonic resonances, model at Quarks; 17: representation of the mesons in the quarks model 18: potential scattering, solution of the Schroedinger equation for waves spherical; 19: diffusion and absorption cross section, unitarity limit, optical theorem; 20: resonant cross section, Breit-Wigner formula, baryon masses with Gell-Man Okubo formula; 21: the color quantum number, SU (3) representations of color, relationships between spin and SU (3) multiplets; 22: weak interaction, parity violation, madame Wu experiment; 23: oscillation of the K mesons, the Cabibbo angle, the GIM mechanism; 23: discovery of the charm and beauty quarks; 24: decay of D and B mesons, Feynman diagrams, isospin relations; 25: neutrino beams, neutrino flavor, discovery of the neutrino tau; 25: the accelerating machines  $e^+ e^-$ , hadronic impact section, the ratio R and the number of quarks and colors; 26: measurement of the helicity of the neutrino, discovery of the anti-neutrino; 27: deep inelastic scattering, parton distribution functions; 27: hadronic colliders, proton-anti-proton and proton-proton: discovery of the W and Z bosons; 28: the Higgs boson

#### Reference books

1. course notes, available on the course website; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410581 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

**Docente:** ORESTANO DOMIZIA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Programma: 1. Principi di invarianza e leggi di conservazione. 2. simmetrie discrete e continue; 3. equazioni relativistiche: Klein-Gordon, Dirac 4. soluzioni ad energia negativa, elicità, spin, soluzioni per massa nulla, i neutrini 5. teoria delle perturbazioni relativistica, hamiltoniana di interazione, grafici di Feynman, propagatore come funzione di Green; 6. trasformazioni di Lorentz, sistema di laboratorio e del centro di massa, massa invariante, cinematica delle reazioni, soglia di reazione; 7. campi di interazione, modello di Yukawa; 8. raggi cosmici primari e secondari, il muone: decadimento, massa e vita media; 9. cinematica dei decadimenti, combinazione dei momenti angolari, coefficienti di Clebsch-Gordan, simmetria dell'isospin; 10. larghezze di decadimento e confronto tra elementi di matrice, leggi di conservazione; 11. densità dello spazio delle fasi, sezione d'urto di Scattering, fattori di flusso, fattore dello spazio delle fasi invariante, elementi di matrice di scattering; 12. il pione: carica, spin, parità, coniugazione di carica, isospin; 13. particelle strane, iperoni, interazione dei mesoni K; 14: barioni strani, ottetti mesonici e barionici, simmetria SU(3), ipercarica, diagrammi di Young; 15: scoperta dell'anti-protone, gli anti-barioni, la risonanza Delta; 16: risonanze adroniche e mesoniche, modello a Quarks; 17: rappresentazione dei mesoni nel modello a quarks 18: scattering da potenziale, soluzione dell'equazione di Schroedinger per onde sferiche; 19: sezione d'urto di diffusione e assorbimento, limite di unitarietà, teorema ottico; 20: sezione d'urto risonante, formula di Breit-Wigner, masse dei barioni con formula di Gell-Man Okubo; 21: il numero quantico di colore, rappresentazioni SU(3) di colore, relazioni tra spin e multipletti di SU(3); 22: l'interazione debole, violazione della parità, esperimento di madame Wu; 23: oscillazione dei mesoni K, l'angolo di Cabibbo, il meccanismo GIM; 23: scoperta dei quark charm e beauty; 24: decadimento dei mesoni D e B, diagrammi di Feynman, relazioni di isospin; 25: fasci di neutrini, sapore dei neutrini, scoperta del neutrino tau; 25: le macchine acceleratrici  $e^+ e^-$ , sezione d'urto di produzione adronica, il rapporto R e il numero di quarks e colori; 26: misura dell'elicità del neutrino, scoperta dell'anti-neutrino; 27: deep inelastic scattering, funzioni di distribuzione partoniche; 27: collisori adronici, protone-anti-protone e protone-protone: scoperta dei bosoni W e Z; 28: il bosone di Higgs

## Testi

1. dispense del corso, reperibili sul sito del corso; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Le lezioni si svolgeranno in modo frontale con l'ausilio della lavagna a gesso per l'illustrazione dei concetti di base, lo svolgimento dei passaggi atematici necessari e di un video proiettore per la visualizzazione degli schemi apparati sperimentali, grafici e tabelle. Le esercitazioni sono effettuate altresì alla lavagna per la proposizione degli esercizi e la loro soluzione.

## Modalità di valutazione

L'esame comprende una prova per iscritto in cui gli studenti dovranno effettuare il calcolo della sezione d'urto di alcuni processi elementari, risolvere esercizi di cinematica relativistica, rispondere a domande a risposta aperta e chiusa sulle nozioni fondamentali illustrate durante lo svolgimento delle lezioni. Gli studenti che superano con successo la prova scritta sono ammessi all'esame orale dove dovranno illustrare i concetti appresi, mostrando padronanza degli argomenti trattati e capacità di elaborazione dei concetti e delle metodologie acquisite applicandole a configurazioni sperimentali ideali o agli esperimenti trattati durante il corso.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Program: 1. Principles of invariance and conservation laws. 2. discrete and continuous symmetries; 3. relativistic equations: Klein-Gordon, Dirac 4. negative energy solutions, helicity, spin, solutions for zero mass, neutrinos 5. relativistic perturbation theory, interaction Hamiltonian, Feynman graphs, propagator as a Green function; 6. Lorentz transformations, laboratory and center of mass system, invariant mass, reaction kinematics, reaction threshold; 7. fields of interaction, Yukawa model; 8. primary and secondary cosmic rays, the muon: decay, mass and average life; 9. kinematics of decays, combination of angular moments, Clebsch-Gordan coefficients, symmetry of the isospin; 10. decay widths and comparison between matrix elements, laws of storage; 11. phase space density, Scattering cross section, flux, factor of the space and of the invariant phases, scattering matrix elements; 12. the pion: charge, spin, parity, charge conjugation, isospin; 13. strange particles, hyperons, interaction of the K mesons; 14. strange baryons, mesonic and baryonic octets, SU (3) symmetry, hypercharge, Young's diagrams; 15. discovery of the anti-proton, the anti-baryons, the Delta resonance; 16. hadronic and mesonic resonances, model at Quarks; 17. representation of the mesons in the quarks model 18. potential scattering, solution of the Schroedinger equation for waves spherical; 19. diffusion and absorption cross section, unitarity limit, optical theorem; 20. resonant cross section, Breit-Wigner formula, baryon masses with Gell-Man Okubo formula; 21. the color quantum number, SU (3) representations of color, relationships between spin and SU (3) multiplets; 22. weak interaction, parity violation, madame Wu experiment; 23. oscillation of the K mesons, the Cabibbo angle, the GIM mechanism; 23. discovery of the charm and beauty quarks; 24. decay of D and B mesons, Feynman diagrams, isospin relations; 25. neutrino beams, neutrino flavor, discovery of the neutrino tau; 25. the accelerating machines e + e-, hadronic impact section, the ratio R and the number of quarks and colors; 26. measurement of the helicity of the neutrino, discovery of the anti-neutrino; 27. deep inelastic scattering, parton distribution functions; 27. hadronic colliders, proton-anti-proton and proton-proton: discovery of the W and Z bosons; 28. the Higgs boson

### Reference books

1. course notes, available on the course website; 2. F. Halzen, A. D. Martin, "An Introductory Course in Modern Particle Physics" 3. D. Schroeder, M. Peskin, "An Introduction to Quantum Field Theory" 4. S. Weinberg, "The Quantum Theory of Fields"

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401904 - FISICA TEORICA I

Canale:N0

Docente: Sanfilippo Francesco

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenza delle equazioni di Maxwell e delle onde elettromagnetiche. Conoscenza della meccanica quantistica non relativistica.

### Programma

Relatività ristretta ed elettromagnetismo Richiami di relatività ristretta: trasformazioni di Lorentz, addizione delle velocità, aberrazione della luce. Rappresentazione grafica di Minkowski: classificazione degli intervalli, dilatazione dei tempi, contrazione delle lunghezze, causalità. Caratterizzazione completa delle trasformazioni delle coordinate che lasciano invariato l'intervallo spazio-temporale pseudoeuclideo: gruppo di Poincaré, gruppo di Lorentz e loro struttura. Elementi di calcolo quadritensoriale: scalari, vettori controvarianti, vettori covarianti, tensori, pseudotensori, prodotto scalare, contrazioni tensoriali. Legge di trasformazione dei campi, quadrigradiente. Elementi di meccanica relativistica: quadrirelatività, quadriaccelerazione, quadripulso, quadrivettore forza e legge

della potenza. Formulazione covariante dell'equazione di Lorentz e tensore del campo elettromagnetico. Proprietà di trasformazione dei campi elettrico e magnetico. Formulazione covariante delle equazioni di Maxwell. Potenziale vettore, potenziale scalare, quadripotenziale. Equazioni di Maxwell in termini del quadripotenziale. Invarianza di gauge. Invarianti del campo elettromagnetico. Campo creato da una carica in moto uniforme: derivazione dal campo elettrostatico mediante una trasformazione di Lorentz. Bilancio energetico nel formalismo trivettoriale: densità di energia, vettore di Poynting. Bilancio energetico nel formalismo covariante: tensore energia ed impulso. Leggi di conservazione: conservazione del quadripulso totale e tensore degli sforzi di Maxwell. Conservazione del momento angolare totale. Equazioni di Maxwell nel vuoto per il quadripotenziale nella gauge di Lorentz e loro soluzione generale. Soluzioni di tipo onda piana delle equazioni di Maxwell nel vuoto e loro proprietà. Densità e flusso di energia di un'onda piana. Pressione della radiazione. Formulazione covariante della polarizzazione. Equazione per il quadripotenziale in presenza di sorgenti. Funzione di Green. Potenziali e campi di Lienard e Wiechert. Potenza irradiata in approssimazione non relativistica e relativistica. Sezione d'urto Thomson. Effetto Compton. Effetto Cerenkov. Meccanica quantistica relativistica. Equazione di Dirac. Covarianza dell'equazione. Limite non relativistico. Covarianti bilineari. Soluzioni dell'equazione di Dirac. Proiettori per le soluzioni ad energia positiva e negativa. Elicità e chiralità. Teoria dei campi quantizzati Il campo elettromagnetico libero come insieme di oscillatori armonici. Quantizzazione del campo in gauge di radiazione. Operatori di creazione ed annichilazione. Richiami di meccanica quantistica: oscillatore armonico, rappresentazione di Heisenberg, operatore di evoluzione temporale, prodotto cronologico. Formalismo lagrangiano dal discreto al continuo. Quantizzazione del campo. Commutatori canonici. Simmetrie e teorema della Noether. Invarianza per traslazioni spazio-temporali. Tensore energia-impulso. Simmetrie interne. Lagrangiano del campo scalare reale e complesso, sua quantizzazione. Prodotti ordinati. Invarianza globale e locale. Lagrangiano del campo di Dirac. Quantizzazione. Anticommutatori canonici. Quantizzazione del campo elettromagnetico. La rappresentazione di interazione. Matrice S. Sviluppo perturbativo della matrice S. Teorema di Wick. Commutatori dei campi bosonici e fermionici a tempi arbitrari. Propagatori per il campo scalare e di Dirac. Propagatore del fotone. Introduzione alle regole di Feynman. Regole di Feynman in QED. Sezione d'urto. Processi ad ordine albero:  $e^+e^-$ ,  $\mu^+\mu^-$ , diffusione in campo esterno.

## Testi

V. Barone: Relatività, Bollati Boringhieri. F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, John Wiley & Sons.

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Lezioni ed esercitazioni frontali alla lavagna. Svolgimento di esempi illustrativi della teoria presentata. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche degli studenti.

## Modalità di valutazione

L'esame consisterà in una prova orale su entrambe le parti del corso. È possibile portare all'esame orale solo la parte di meccanica quantistica relativistica e teoria dei campi se lo studente supera l'esonero sulla parte di Relatività ed elettromagnetismo che viene svolto alla fine della prima parte. Nel caso lo studente non abbia superato l'esonero di Relatività nella prova orale verrà chiesto di risolvere un esercizio di Relatività o elettromagnetismo. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di valutazione degli studenti.

## English

### Prerequisites

Knowledge of Maxwell equations and of the electromagnetic waves. Knowledge of non-relativistic quantum mechanics.

### Programme

Special Relativity and Electromagnetism. Lorentz transformations, Minkowski plane, Poincaré and Lorentz groups. Covariant and contravariant vectors, tensors, transformation law of the fields. Relativistic Dynamics: four-velocity, four-momentum, Minkowski force. Covariant formulation of Electromagnetism: transformation properties of the electric and magnetic fields, electromagnetic field tensor, covariant formulation of the Maxwell equations, four-potential, gauge invariance. Conservation laws: Maxwell stress tensor, energy-momentum tensor, conservation of energy, momentum and angular momentum. Solution of the Maxwell equations for the four-potential in the vacuum in the Lorentz gauge. Plane waves, radiation pressure. Lienard e Wiechert potentials. Radiated power. Thomson cross section. Compton effect. Cerenkov effect. Relativistic Quantum Mechanics Klein-Gordon equation. Dirac equation, non-relativistic limit. Covariance of the Dirac equation. Solutions of Dirac equation. Projectors for positive and negative energy solutions. Helicity. Chirality. Quantum Field Theory Quantization of the electromagnetic field in the radiation gauge. Creation and annihilation operators. Heisenberg representation. Lagrangian field theory, symmetry and conservation laws, Noether theorem. Field quantization. Lagrangian for a real and complex scalar field, quantization. Lagrangian for a Dirac field, quantization. Electromagnetic field, covariant quantization. Global and local invariance. Interaction picture. S-matrix and its expansion. Wick theorem. Commutators and propagators for bosonic and fermionic fields. Quantization of the electromagnetic field. Feynman diagrams and rules in QED. Tree-level processes:  $e^+e^-$ ,  $\mu^+\mu^-$ , scattering by an external field.

### Reference books

V. Barone: Relatività, Bollati Boringhieri. F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, John Wiley & Sons.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401904 - FISICA TEORICA I

**Canale:** N0

**Docente:** DEGRASSI GIUSEPPE

**Italiano**

**Prerequisiti**

Conoscenza delle equazioni di Maxwell e delle onde elettromagnetiche. Conoscenza della meccanica quantistica non relativistica.

**Programma**

Relatività ristretta ed elettromagnetismo Richiami di relatività ristretta: trasformazioni di Lorentz, addizione delle velocità, aberrazione della luce. Rappresentazione grafica di Minkowski: classificazione degli intervalli, dilatazione dei tempi, contrazione delle lunghezze, causalità. Caratterizzazione completa delle trasformazioni delle coordinate che lasciano invariato l'intervallo spazio-temporale pseudoeuclideo: gruppo di Poincarè, gruppo di Lorentz e loro struttura. Elementi di calcolo quadritensoriale: scalari, vettori controvarianti, vettori covarianti, tensori, pseudotensori, prodotto scalare, contrazioni tensoriali. Legge di trasformazione dei campi, quadrigradiente. Elementi di meccanica relativistica: quadrivelocità, quadriaccelerazione, quadrimpulso, quadrivettore forza e legge della potenza. Formulazione covariante dell'equazione di Lorentz e tensore del campo elettromagnetico. Proprietà di trasformazione dei campi elettrico e magnetico. Formulazione covariante delle equazioni di Maxwell. Potenziale vettore, potenziale scalare, quadripotenziale. Equazioni di Maxwell in termini del quadripotenziale. Invarianza di gauge. Invarianti del campo elettromagnetico. Campo creato da una carica in moto uniforme: derivazione dal campo elettrostatico mediante una trasformazione di Lorentz. Bilancio energetico nel formalismo trivettoriale: densità di energia, vettore di Poynting. Bilancio energetico nel formalismo covariante: tensore energia ed impulso. Leggi di conservazione: conservazione del quadripulso totale e tensore degli sforzi di Maxwell. Conservazione del momento angolare totale. Equazioni di Maxwell nel vuoto per il quadripotenziale nella gauge di Lorentz e loro soluzione generale. Soluzioni di tipo onda piana delle equazioni di Maxwell nel vuoto e loro proprietà. Densità e flusso di energia di un'onda piana. Pressione della radiazione. Formulazione covariante della polarizzazione. Equazione per il quadripotenziale in presenza di sorgenti. Funzione di Green. Potenziali e campi di Lienard e Wiechert. Potenza irradiata in approssimazione non relativistica e relativistica. Sezione d'urto Thomson. Effetto Compton. Effetto Cerenkov. Meccanica quantistica relativistica. Equazione di Dirac. Covarianza dell'equazione. Limite non relativistico. Covarianti bilineari. Soluzioni dell'equazione di Dirac. Proiettori per le soluzioni ad energia positiva e negativa. Elicità e chiralità. Teoria dei campi quantizzati Il campo elettromagnetico libero come insieme di oscillatori armonici. Quantizzazione del campo in gauge di radiazione. Operatori di creazione ed annichilazione. Richiami di meccanica quantistica: oscillatore armonico, rappresentazione di Heisenberg, operatore di evoluzione temporale, prodotto cronologico. Formalismo lagrangiano dal discreto al continuo. Quantizzazione del campo. Commutatori canonici. Simmetrie e teorema della Noether. Invarianza per traslazioni spazio-temporali. Tensore energia-impulso. Simmetrie interne. Lagrangiano del campo scalare reale e complesso, sua quantizzazione. Prodotti ordinati. Invarianza globale e locale. Lagrangiano del campo di Dirac. Quantizzazione. Anticommutatori canonici. Quantizzazione del campo elettromagnetico. La rappresentazione di interazione. Matrice S. Sviluppo perturbativo della matrice S. Teorema di Wick. Commutatori dei campi bosonici e fermionici a tempi arbitrari. Propagatori per il campo scalare e di Dirac. Propagatore del fotone. Introduzione alle regole di Feynman. Regole di Feynman in QED. Sezione d'urto. Processi ad ordine albero:  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ , diffusione in campo esterno.

**Testi**

V. Barone: Relatività, Bollati Boringhieri. F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, John Wiley & Sons.

**Bibliografia di riferimento**

Testi da definire

**Modalità erogazione**

Lezioni ed esercitazioni frontali alla lavagna. Svolgimento di esempi illustrativi della teoria presentata. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche degli studenti.

**Modalità di valutazione**

L'esame consisterà in una prova orale su entrambe le parti del corso. È possibile portare all'esame orale solo la parte di meccanica quantistica relativistica e teoria dei campi se lo studente supera l'esonero sulla parte di Relatività ed elettromagnetismo che viene svolto alla fine della prima parte. Nel caso lo studente non abbia superato l'esonero di Relatività nella prova orale verrà chiesto di risolvere un esercizio di Relatività o elettromagnetismo. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di valutazione degli studenti.

**English**

**Prerequisites**

Knowledge of Maxwell equations and of the electromagnetic waves. Knowledge of non-relativistic quantum mechanics.

**Programme**

Special Relativity and Electromagnetism. Lorentz transformations, Minkowski plane, Poincarè and Lorentz groups. Covariant and contravariant vectors, tensors, transformation law of the fields. Relativistic Dynamics: four-velocity, four-momentum, Minkowski force. Covariant formulation of Electromagnetism: transformation properties of the electric and magnetic fields, electromagnetic field tensor, covariant formulation of the Maxwell equations, four-potential, gauge invariance. Conservation laws: Maxwell stress tensor, energy-momentum tensor, conservation of energy, momentum and angular momentum. Solution of the Maxwell equations for the four-potential in the vacuum in the Lorentz gauge. Plane waves, radiation pressure. Lienard e Wiechert potentials. Radiated power. Thomson cross section. Compton effect. Cerenkov effect. Relativistic Quantum Mechanics Klein-Gordon equation. Dirac equation, non-relativistic limit. Covariance of the Dirac equation. Solutions of Dirac equation. Projectors for positive and negative energy solutions. Helicity. Chirality. Quantum Field Theory Quantization of the electromagnetic field in the radiation gauge. Creation and annihilation operators. Heisenberg representation. Lagrangian field theory, symmetry and conservation laws, Noether theorem. Field quantization. Lagrangian for a real and complex scalar field, quantization. Lagrangian for a Dirac field, quantization. Electromagnetic field, covariant quantization. Global and local invariance. Interaction picture. S-matrix and its expansion. Wick theorem. Commutators and propagators for bosonic and fermionic fields. Quantization of the electromagnetic field. Feynman diagrams and rules in QED. Tree-level processes:

$e^+e^- - \mu^+\mu^-$ , scattering by an external field.

### Reference books

V. Barone: Relatività, Bollati Boringhieri. F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, John Wiley & Sons.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402218 - FISICA TEORICA II

Canale:N0

Docente: MELONI DAVIDE

### Italiano

#### Prerequisiti

Fisica Teorica I

#### Programma

1. I Diagrammi di Feynman, processi ad ordine albero, simmetrie discrete Richiami sui diagrammi di Feynman ed il calcolo delle sezioni d'urto. Processi ad ordine albero: diffusione Bhabha, effetto Compton. Invarianza di gauge per la somma di diagrammi in QED. Rappresentazione chirale e di Majorana per le matrici di Dirac. Parità, coniugazione di carica, teorema di Furry, inversione temporale. 2. Correzioni Radiative Comportamento divergente di un integrale. Grado di divergenza di un diagramma. Teorie rinormalizzabili. Regolarizzazione alla Pauli-Villars. Calcolo dell'autoenergia di una particella scalare ad una loop e divergenze quadratiche. Rinormalizzazione di massa, funzione d'onda, vertice. Autoenergia dell'elettrone. QED Identità di Ward. Identità di Gordon. Regolarizzazione dimensionale. Calcolo ad una loop della polarizzazione del vuoto, Lamb shift, discussione qualitativa sul running delle costante di accoppiamento. Vertice in QED, momento magnetico anomalo dell'elettrone. Bremsstrahlung, divergenze infrarosse e loro cancellazione tra diagrammi reali e virtuali. 3. Teorie di Gauge Non Abelian Lagrangiano di Yang-Mills. Cromodinamica quantistica. Vertici a 3 e 4 gluoni. Propagatore di un bosone di gauge in una gauge arbitraria. Invarianza di gauge in teorie non abeliane. Running delle costante di accoppiamento forte, libertà asintotica. Interazioni deboli. Teoria di Fermi e bosone vettoriale intermedio. Propagatore del W. Decadimento del muone. Lagrangiano del Modello Standard. Angolo di mescolamento elettrodebole. Rottura spontanea della simmetria. Meccanismo di Higgs. Masse dei bosoni intermedi e dei fermioni. Matrice di mescolamento di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa

#### Testi

F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, ed. John Wiley & Sons; M. Peskin, D. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, ed. Frontiers in Physics

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni ed esercitazioni frontali alla lavagna. Svolgimento di esempi illustrativi della teoria presentata. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19 saranno recepite tutte le disposizioni che regolino le modalità di svolgimento delle attività didattiche e della valutazione degli studenti. In particolare, le lezioni verranno tenute in remoto tramite applicativo Microsoft Teams, e l'eventuale materiale didattico caricato sulla piattaforma Moodle.

#### Modalità di valutazione

Esame orale. Lo studente potrà sostenere l'esame orale solo dopo aver passato una prova scritta da svolgersi a casa.

### English

#### Prerequisites

Theoretical Physics I

#### Programme

Feynman diagrams. Tree-level processes. Discrete symmetry Feynman diagrams and cross-sections. Bhabha and Compton scattering. Gauge invariance. Chiral and Majorana representations for the matrices. Parity, charge conjugation and time-reversal. Radiative Corrections Divergent behavior of an integral. Primitively divergent diagrams. Pauli-Villars regularization. Coupling, mass and wave-function renormalization in a scalar theory. QED. Ward identity. Dimensional regularization. Vacuum polarization and Lamb shift. Running of the coupling constant. Bremsstrahlung, infrared divergencies and their cancellation between real and virtual contributions. Non Abelian Gauge Theories Yang-Mills Lagrangian. QCD. Non Abelian gauge invariance. Running of the strong coupling. Asymptotic freedom. Weak Interactions. Fermi and IVB theories. W propagator. mu decay. Standard Model Lagrangian. Weak angle. Spontaneous symmetry breaking and Higgs mechanism. Mass of the intermediate vector bosons. CKM matrix

#### Reference books

F. Mandl, G. Shaw: Quantum Field Theory, ed. John Wiley & Sons; M. Peskin, D. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, ed. Frontiers in Physics

#### Reference bibliography

**Study modes**

**Exam modes**

**20410042 - FISICA TERRESTRE**

**Docente:** PETTINELLI ELENA

**Italiano**

**Prerequisiti**

Competenze acquisite in corsi di fisica e matematica avanzati

**Programma**

La Terra nel Sistema Solare Titus-Bode Law. Pianeti terrestri e gassosi. Cenni sulla formazione del sistema solare. Cenni di chimica del sistema solare. Classificazione geochimica degli elementi. Formazione e differenziazione dei pianeti La Terra come Pianeta Definizione di pianeta. Leggi di Keplero. Caratteristiche generali: acqua liquida, atmosfera, dicotomia crostale, campo magnetico, dinamica interna. Massa, densità e momento d'inerzia della Terra Il problema della stima della densità media della Terra: cenni storici (da Newton a Poynting). L'esperimento di Cavendish in chiave moderna. Stima della massa della Terra e dei pianeti – Densità media della Terra. Richiami sul momento d'inerzia. Tensore dei momenti d'inerzia. Ellissoide e sferoide. Momento d'inerzia di una sfera solida a densità costante. Momenti d'inerzia e modelli di strutture planetarie. La forma e la gravità terrestre La forma (figure) della Terra..Ellissoide oblato e schiacciamento polare. Forma della Terra e topografia. Forma della Terra e variazioni di g. Accelerazione e potenziale gravitazionale. Potenziale gravitazionale: equazione di Laplace. Potenziale gravitazionale in coordinate sferiche. Potenziale gravitazionale di una sfera solida a densità costante. Soluzione generale dell'equazione di Laplace in coordinate sferiche. Polinomi di Legendre. Armoniche sferiche e coefficienti di Stokes. Equazione di MacCullagh e momenti d'inerzia. Ellitticità della forma (figure) della Terra. Il rapporto di accelerazione m (acceleration ratio). Il geopotenziale. Relazione fra  $J_2$ ,  $J_4$ , m ed f. Calcolo del rapporto d'inerzia per la Terra. La gravità sullo sferoide di riferimento. Latitudine geocentrica e geografica. Formula di Clairaut. La gravità normale. Il geoide. Misure di g. Misure assolute e relative. Correzioni nella misura di g. Anomalie in aria libera e di Bouguer. Non univocità delle anomalie di g. Isostasia. Anomalie isostatiche. Movimenti verticali della crosta. Compensazione isostatica. Aggiustamenti isostatici e viscosità del mantello. Misure del geoide da satellite. Ondulazioni del geoide. Maree e rotazione terrestre Origine delle maree. Potenziali mareali. Componenti dell'accelerazione mareale lunare. Combinazione delle maree lunari e solari. Maree Terrestri. Attrito mareale e decelerazione della rotazione terrestre e lunare. Nutazione di Eulero ed oscillazione di Chandler. Precessione luni-solare. Cenni sulle proprietà dei minerali e delle rocce Struttura cristallina dei minerali. Le rocce. Classificazione delle rocce. Rocce sedimentarie, ignee e metamorfiche. Eutettici e soluzioni solide. Magnetismo terrestre: Cenni storici - da Petrus Peregrinus a Gauss. Il magnetismo delle rocce Fisica del magnetismo. Principio di equivalenza di Ampere. Richiami sui momenti magnetici atomici. Suscettività magnetica. Proprietà magnetiche della materia. Diamagnetismo (teoria classica). Paramagnetismo (teoria classica). Ferromagnetismo. Ferrimagnetismo. Antiferromagnetismo. Ferromagnetismo parassita. Minerali magnetici. Magnetismo delle rocce. Titanomagnetiti e serie magnetiche. Magnetizzazione delle rocce. Tipi di magnetizzazione. Magnetizzazione termo-rimanente (TRM). Magnetizzazione chimica rimanente (CRM). Magnetizzazione detritica rimanente (DRM). Cenni sul Paleomagnetismo. Campo magnetico terrestre Le osservabili del CMT. Caratteristiche generali del CMT. Equazione di Laplace e potenziale del CMT. Coefficienti di Gauss. CMT modellizzato con dipoli. Il campo dipolare terrestre. Best fit del CMT – dipolo eccentrico inclinato. Spettro di potenza del CMT. Stima della profondità della sorgente del campo principale. Variazione secolare. Sorgenti esterne del CMT. Composizione del nucleo terrestre. Modelli del CMT. Dinamo di Bullard. Modello a dinamo autoeccitata. L'approccio magnetoidrodinamico. Equazioni della magnetoidrodinamica. Modelli magneto idrodinamici. Misure magnetiche. Magnetometro a precessione. Anomalie magnetiche e correzioni. Calore terrestre Il budget energetico della Terra. Trasmissione del calore all'interno della Terra: conduzione, convezione, irraggiamento e avvezione. Sorgenti interne di calore. Calore originario; calore radiogenico; altre sorgenti di calore. Equazione della conduzione (Equazione di Fourier). Equazione della conduzione del calore in tre dimensioni. Diffusione termica. Termine avvertivo. Geoterma di equilibrio. Cenni sul trasporto di calore nella litosfera oceanica e continentale. Scala temporale del flusso conduttivo di calore. Gradiente termico adiabatico. Gradiente del punto di fusione. Diagrammi delle geoterme all'interno della Terra. Struttura interna della Terra Equazione di Adams- Williamson. Andamento della densità con la profondità. Densità decompressa. La fasi mineralogiche del mantello. Modello compositivo della Terra. Struttura ed asimmetrie del nucleo terrestre. Profili di  $v$ ,  $\rho$ ,  $g$  e  $P$  all'interno della Terra. Modello di Bullen e Preliminary Reference Earth Model (PREM).

**Testi**

Stacey, F. D., and Davis, P. M. (2008) Physics of the Earth, Cambridge University Press. Fowler, C. M. R. (2005). The Solid Earth, Cambridge University Press.

**Bibliografia di riferimento**

Testi da definire

**Modalità erogazione**

Metodo di insegnamento tradizionale in modalità mista. In parte vengono impartite lezioni frontali alla lavagna, fundamentalmente dedicate alla parte numerica e alle dimostrazioni matematiche, ed in parte vengono utilizzate le slides per gli argomenti più descrittivi. Le lezioni teoriche vengono alternate con lezioni dedicate alla parte di esercitazione numerica che sono finalizzate alla verifica dell'apprendimento e del problem-solving da parte degli studenti.

**Modalità di valutazione**

L'esame si svolge in modalità orale finalizzata a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità di descrivere sia gli aspetti formali che le implicazioni fisiche degli argomenti trattati. La durata dell'esame è di circa 45 minuti. Nella prima parte dell'esame la commissione chiede allo studente di trattare un argomento di suo interesse tra quelli descritti nel programma. Nella seconda parte dell'esame la commissione verifica la completezza ed il rigore metodologico utilizzato dallo studente nel descrivere la fenomenologia ed i principi di base della fisica del Sistema Terra.

## English

### Prerequisites

Advances courses in physics and mathematics

### Programme

Earth in the Solar System Titus-Bode Law. Terrestrial and gaseous planets. Notes on the formation of the solar system. Elements of chemistry of the solar system. Geochemical classification of the elements. Formation and differentiation of planets The Earth as a Planet Definition of planet. Kepler's laws. General features: liquid water, atmosphere, crustal dichotomy, magnetic field, internal dynamics. Earth's mass, density and moment of inertia The problem of estimating the average density of the Earth: historical notes (from Newton to Poynting). Cavendish's experiment in a modern way. Estimate of the mass of the Earth and planets - Average density of the Earth. Recalling the moment of inertia. Tensor of moments of inertia. Ellipsoid and spheroid. Moment of inertia of a solid sphere with constant density. Moments of inertia and models of planetary structures. Earth's shape and gravity The shape (figures) of the Earth .. Oblate ellipsoid and polar crushing. Earth shape and topography. Earth shape and variations of g. Acceleration and gravitational potential. Gravitational potential: Laplace equation. Gravitational potential in spherical coordinates. Gravitational potential of a solid sphere with constant density. General solution of the Laplace equation in spherical coordinates. Legendre polynomials. Spherical harmonics and Stokes coefficients. MacCullagh equation and moments of inertia. Ellipticity of the shape (figures) of the Earth. The acceleration ratio  $m$  (acceleration ratio). The geopotential. Relationship between  $J_2$ ,  $J_4$ ,  $m$  and  $f$ . Calculation of the inertia ratio for the Earth. Gravity on the reference spheroid. Geocentric and geographical latitude. Clairaut formula. Normal gravity. The geoid. Measurements of  $g$ . Absolute and relative measures. Corrections to the extent of  $g$ . Anomalies in open air and Bouguer. Non-uniqueness of the anomalies of  $g$ . Isostasy. Isostatic anomalies. Vertical movements of the crust. Isostatic compensation. Isostatic adjustments and coat viscosity. Satellite geoid measurements. Geoid ripples. Tides and land rotation Origin of the tides. Tidal potential. Components of the lunar tidal acceleration. Combination of lunar and solar tides. Terrestrial tides. Tidal friction and deceleration of terrestrial and lunar rotation. Euler nutation and Chandler swing. Solar-solar precession. Notes on the properties of minerals and rocks Crystalline structure of minerals. The rocks. Classification of rocks. Sedimentary, igneous and metamorphic rocks. Eutectics and solid solutions. Terrestrial magnetism: History - from Petrus Peregrinus to Gauss. The magnetism of the rocks Physics of magnetism. Ampere equivalence principle. Review of atomic magnetic moments. Magnetic susceptibility. Magnetic properties of matter. Diamagnetism (classical theory). Paramagnetism (classical theory). Ferromagnetism. Ferrimagnetismo. Antiferromagnetism. Parasitic ferromagnetism. Magnetic minerals. Magnetism of the rocks. Titanomagnetites and magnetic series. Magnetization of rocks. Types of magnetization. Thermo-remaining magnetization (TRM). Remaining chemical magnetization (CRM). Remaining Debris Magnetization (DRM). Notes on Paleomagnetism. Earth's magnetic field The observables of the CMT. General characteristics of the CMT. Laplace equation and CMT potential. Gauss coefficients. CMT modeled with dipoles. The terrestrial dipolar field. CMT best fit - inclined eccentric dipole. Power spectrum of the CMT. Estimated depth of the source of the main field. Secular variation. External sources of the CMT. Earth core composition. CMT models. Bullard dynamo. Self-excited dynamo model. The magnetohydrodynamic approach. Magnetohydrodynamics equations. Hydrodynamic magneto models. Magnetic measurements. Precession magnetometer. Magnetic anomalies and corrections. Terrestrial heat Earth's energy budget. Heat transmission within the Earth: conduction, convection, radiation and advection. Internal heat sources. Original heat; radiogenic heat; other heat sources. Conduction equation (Fourier equation). Heat conduction equation in three dimensions. Thermal diffusion. Adjective term. Balance geotherm. Notes on the transport of heat in the oceanic and continental lithosphere. Time scale of the conductive heat flow. Adiabatic thermal gradient. Melting point gradient. Geothermal diagrams inside the Earth. Internal structure of the Earth Adams-Williamson equation. Density trend with depth. Unzipped density. The mineralogical phases of the coat. Compositional model of the Earth. Structure and asymmetries of the Earth's core. Profiles of  $v$ ,  $\rho$ ,  $g$  and  $P$  within the Earth. Bullen model and Preliminary Reference Earth Model (PREM).

### Reference books

Stacey, F. D., and Davis, P. M. (2008) Physics of the Earth, Cambridge University Press. Fowler, C. M. R. (2005). The Solid Earth, Cambridge University Press.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410583 - FONDAMENTI DI MICROSCOPIA CON LABORATORIO

**Docente:** CAPELLINI GIOVANNI

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Occhio e percezione. Cenni storici di microscopia. Richiami di ottica. Fondamenti di microscopia ottica. Risoluzione, contrasto ed ingrandimento. Le componenti di un microscopio ottico. La formazione dell'immagine Microscopia in riflessione. Contrasto di fase. Campo chiaro e campo scuro. Polarizzazione. Principi di funzionamento della microscopia a scansione di elettroni (SEM). Componenti di un SEM. Interazione sonda campione. Rilevazione di elettroni secondari e retrodiffusi. Utilizzo del SEM. Principi di funzionamento e componenti di un microscopio a scansione di sonda (SPM). La microscopia a effetto tunnel (STM). La microscopia a forza atomica (AFM). AFM in contatto. AFM in non-contatto. Tecniche a scansione secondarie. Risoluzione ed artefatti. Introduzione all' analisi di immagine 2D e 3D, miglioramento della qualità delle immagini con e senza l'utilizzo di kernel, segmentazione, binarizzazione e analisi quantitativa di immagine con software open-access.

### Testi

Dispense realizzate dal docente sulla base delle slide presentate durante il corso. Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging. D. B. Murphy , M. W. Davidson. J. Wiley & Sons Scanning Microscopy for Nanotechnology, W. Zhou and Z. L. Wang. Springer

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

lezioni frontali in aula con ausilio di video proiezione e esercitazioni in laboratorio. Le lezioni in laboratorio prevedono la pratica diretta dello studente su microscopi didattici.

### Modalità di valutazione

esame finale in forma orale

### English

### Prerequisites

none

### Programme

Eye and perception. History of microscopy. Light optics. Fundamentals of optical microscopy. Resolution, contrast and magnification. The components of an optical microscope. Image formation. Reflection microscopy. Phase contrast. Bright field and dark field. Polarization. Principles of operation of scanning electron microscopy (SEM). Components of a SEM. Sample-probe interaction. Detection of secondary and backscattered electrons. Use of the SEM. Principles of operation and components of a scanning probe microscope (SPM). Tunnel effect microscopy (STM). Atomic force microscopy (AFM). AFM in contact. AFM in no contact. Secondary scanning techniques. Resolution and artifacts. Introduction to 2D and 3D image analysis, improvement of image quality with and without the use of kernel, segmentation, binarization and quantitative image analysis with open-access software.

### Reference books

Notes based on the slides used during the lectures. Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging. D. B. Murphy , M. W. Davidson. J. Wiley & Sons Scanning Microscopy for Nanotechnology, W. Zhou and Z. L. Wang. Springer

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410583 - FONDAMENTI DI MICROSCOPIA CON LABORATORIO

**Docente:** PERSICHETTI LUCA

### Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Cenni storici di microscopia, concetto di risoluzione ed il limite di Rayleigh, panoramica sulle tecniche di microscopia ed utilizzo nei diversi ambiti di ricerca. Fondamenti di microscopia ottica, microscopia in riflessione, metallografia, microscopia in trasmissione, l'uso della luce polarizzata. Principi di funzionamento della microscopia elettronica, SEM, TEM, EDX. Utilizzo del SEM: rilevazione di elettroni secondari e retrodiffusi, cattura e analisi morfometriche delle immagini. Principi di funzionamento e componenti di un microscopio a scansione di sonda, la microscopia a forza atomica in contatto, la microscopia a forza atomica in non-contatto. Tecniche a scansione secondarie. Risoluzione ed artefatti. Introduzione all'analisi di immagine 2D e 3D, miglioramento della qualità delle immagini con e senza l'utilizzo di kernel, segmentazione, binarizzazione e analisi quantitativa di immagine con software open-access.

### Testi

dispense fornite a lezione realizzate dal docente sulla base delle slide presentate durante il corso

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

lezioni frontali in aula con ausilio di video proiezione e esercitazioni in laboratorio. Le lezioni in laboratorio prevedono la pratica diretta dello studente su microscopi didattici.

### Modalità di valutazione

esame finale in forma orale

### English

### Prerequisites

none

### Programme

Historical background of microscopy, concept of resolution and Rayleigh limit, overview of microscopy techniques and use in different research fields. Fundamentals of optical microscopy, reflection microscopy, metallography, transmission microscopy, use of polarized light. Operating principles of electron microscopy, SEM, TEM, EDX. Use of SEM: detection of secondary and backscattered electrons, capture and morphometric analysis of images.

### Reference books

notes provided by the professor based on the slides used during the lectures

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410097 - FOTONICA QUANTISTICA

**Docente:** BARBIERI MARCO

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Fisica del laser: richiami alla radiazione di corpo nero, equazioni di Einstein, eccitazione di atomi a due livelli, attenuazione e guadagno. Livelli d'energia e transizioni in semiconduttori. Comportamento del laser cw. Cenni ai laser ultrabrevi. Coerenza e quantizzazione del campo e.m.: teoria classica delle fluttuazioni e della coerenza al primo e secondo ordine. Campo e.m. come oscillatore armonico, quantizzazione e teoria quantistica della coerenza. Stati numero, coerenti e termici. Rappresentazione di interazione: il beam splitter e gli stati squeezed. Rivelazione omodina e fotoconteggio. Funzioni di quasi-probabilità. Ottica nonlineare: introduzione e trattamento classico. Cenni al trattamento quantistico. Effetti nonlineari del secondo ordine: generazione di seconda armonica, frequenza somma e frazionamento parametrico. Effetti del terzo ordine: effetto Kerr ottico. Cenni alla filamentazione. Equazione di Schroedinger nonlineare e solitoni temporali. Correlazioni quantistiche: problema del realismo locale in meccanica quantistica e paradosso EPR-Bohm. Diseguaglianza di Bell e test sperimentali con fotoni polarizzati.

#### Testi

R. Loudon, The quantum theory of light. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6 O. Svelto, Principles of lasers. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 R. Boyd, Nonlinear optics. Capp. 1, 2, 7 J.S. Bell, Speakable and unspeakable in quantum mechanics. Cap 2

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Il corso prevede una serie di lezioni frontali, in cui il docente espone gli argomenti del corso.

#### Modalità di valutazione

Esame finale in forma orale: verrà valutata la conoscenza degli argomenti, la chiarezza espositiva e la capacità di trovare connessioni tra i differenti argomenti del corso. La prova orale comincerà con una domanda a discrezione della commissione, e da lì si procederà con domande di ragionamento.

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

The physics of laser: blackbody radiation, Einstein equation, interaction of light with a two-level atom, gain and attenuation. Optical transitions in semiconductors. CW and pulsed operation of a laser. Optical coherence and quantisation of the e.m. field: classical theory of fluctuations, first- and second-order coherence. E.m. field as a harmonic oscillator, quantisation and quantum theory of optical coherence. Number states, coherent states, and thermal states. Interaction picture: beam splitter and squeezing hamiltonians. Homodyne detection and photon counting. Quasi-probability distributions.

#### Reference books

R. Loudon, The quantum theory of light. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6 O. Svelto, Principles of lasers. Capp. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 R. Boyd, Nonlinear optics. Capp. 1, 2, 7 J.S. Bell, Speakable and unspeakable in quantum mechanics. Cap 2

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-  
**Exam modes**  
-

## 20410504 - INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA

**Docente:** TAVLADORAKI PARASKEVI

### Italiano

#### Prerequisiti

Conoscenze di base in ambito delle scienze chimiche, fisiche e biologiche.

#### Programma

Il programma verte su grandi temi di Evoluzione Biologica degli organismi animali e vegetali. Luce e Vita, Evoluzione della fotomorfogenesi, Metaboliti secondari delle piante, La conquista delle terre emerse, co-evoluzione piante-insetti.

#### Testi

Non vi è un libro di testo - Lo studente può richiedere al docente i files pdf delle presentazioni Power Point delle lezioni. Letture consigliate: FISIOLOGIA VEGETALE, Lincoln Taiz e Eduardo Zeiger, ed. PICCIN, quarta edizione italiana (dalla Quinta edizione in lingua Inglese)

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni in aula

#### Modalità di valutazione

Prova scritta a quesiti con risposte aperte e/o a scelta multipla

### English

#### Prerequisites

Basic knowledge in the field of physical, biological and chemical sciences.

#### Programme

The program focuses on major themes of Biological Evolution of animal and plant organisms. Light and Life, Evolution of photomorphogenesis, Secondary metabolites of plants, The conquest of emerged lands, plants-insect co-evolution.

#### Reference books

PLANT PHYSIOLOGY, Lincoln Taiz and Eduardo Zeiger, editor SINAUER ASSOCIATES (Sixth EDITION; in english language)

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410504 - INTRODUZIONE ALLA BIOLOGIA

**Docente:** ABELI THOMAS

### Italiano

#### Prerequisiti

conoscenze di base in ambito delle scienze chimiche fisiche e biologiche

#### Programma

Il programma verte su grandi temi di Evoluzione Biologica degli organismi animali e vegetali. Probabilità e il suo ruolo nell'evoluzione (selezione naturale vs. deriva genetica) Modelli logistici e loro applicazione nella biologia della conservazione Come leggere e scrivere un articolo scientifico

#### Testi

Non vi è un libro di testo - Lo studente può richiedere al docente i PDF delle presentazioni Power Point delle lezioni

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni in aula

### Modalità di valutazione

Prova scritta in forma di test a scelta multipla

### English

#### Prerequisites

basic knowledge in the field of physical, biological and chemical sciences

#### Programme

The program focuses on major themes of Biological Evolution of animal and plant organisms. Probability and its role in the evolution (natural selection vs genetic drift) Logistic models and their application in conservation biology How to read and write a scientific article

#### Reference books

No textbook indicated -The student can ask the teacher for PDFs of the Power Point presentations

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20401858 - ISTITUZIONI DI FISICA MEDICA

Canale:N0

Docente: ARAGNO DANILO

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Lo sviluppo del programma avverrà principalmente utilizzando la metodologia dello studio sul campo con stage guidato presso una Unità Operativa di Fisica Sanitaria di una Azienda Ospedaliera. Argomenti di base. Grandezze fisiche e unità di misura; Rivelatori tipici per diagnostica e terapia con radiazioni ionizzanti; Apparecchiature per diagnosi e terapia; Principi di dosimetria dei fasci di radiazione, calcolo e misura della dose; cenni sulla pianificazione dei piani di trattamento terapeutici; Decadimenti radioattivi e principali radionuclidi di impiego medico e; Principi generali della radioprotezione, Ruolo delle immagini e dei sistemi informativi in ambito diagnostico e terapeutico; Effetti sanitari e rischi fisici in Risonanza Magnetica Programma di STAGE SETTORE: Fisica in Radioterapia 1) Dosimetria: Concetto di dose e sua misura. 2) Strumentazione per la dosimetria relativa: rivelatori puntuali e rivelatori bidimensionali. 3) Esempi di misure di dose in fasci di fotoni con diversi dispositivi. 4) Visione delle installazioni degli Acceleratori Lineari della UO Radioterapia. Descrizione e cenni dei principi di funzionamento di un acceleratore lineare. Visione dell'installazione TC dedicata al centraggio dei pazienti di RT. 5) Visione dei Sistemi per Piani di Trattamento (TPS) in dotazione. Illustrazione dei principi generali di un TPS: struttura e funzioni. 6) Realizzazione di un semplice piano di trattamento con illustrazione dei criteri fondamentali necessari per la sua impostazione. SETTORE: Fisica in Diagnostica per Immagini 7) Visione Apparecchiature di radiodiagnostica, esempi e illustrazioni. Descrizione e cenni dei principi di funzionamento. 8) Visione e illustrazione della strumentazione e dei fantocci utilizzati per Controlli di Qualità. 9) Esempi di analisi di immagini al fine dei Controlli di Qualità in RM e Radiodiagnostica. SETTORE: Fisica in Medicina Nucleare 10) Visione delle apparecchiature di Medicina Nucleare. Descrizione e cenni dei principi di funzionamento. 11) Visione e illustrazione della strumentazione e di fantocci utilizzati per Controlli di Qualità in MN. 12) Esempi di analisi di immagini al fine dei Controlli di Qualità in Medicina Nucleare. SETTORE: Radioprotezione e Sicurezza 13) Visione di un SITO RM: descrizione e cenni dei principi di funzionamento di un impianto RM. Problematiche di sicurezza dei pazienti e degli operatori. 14) Strumentazione e dosimetria del personale esposto alle radiazioni ionizzanti

#### Testi

- FONDAMENTI DI DOSIMETRIA DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI ( IV Edizione) Raffaele Fedele Laitano ENEA <http://www.enea.it/it/seguici/publicazioni/pdf-volumi/FondamentidosimetriaradiazioniionizzantiIV.pdf> - Altro materiale didattico fornito dal docente

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni con didattica frontale affiancate da didattica sul campo in uno stage formativo svolto presso una unità di fisica medica di un ospedale.

#### Modalità di valutazione

esame finale in forma orale Redazione di una relazione sulle attività svolte durante lo stage formativo Valutazione basata su un esame orale e discussione dell'elaborato.

### English

## Prerequisites

none

## Programme

The development of the program will mainly take place using the field study methodology with a guided internship in a Health Physics Unit of a Hospital Company. Basic topics. Physical quantities and units of measurement; Typical detectors for diagnostics and therapy with ionizing radiation; Diagnostic and therapy equipment; Principles of dosimetry of radiation beams, calculation and measurement of the dose; notes on the planning of therapeutic treatment plans; Radioactive decays and main radionuclides of medical use and; General principles of radioprotection, the role of images and information systems in the diagnostic and therapeutic fields; Health effects and physical risks in Magnetic Resonance STAGE program SECTOR: Physics in Radiotherapy 1) Dosimetry: Dose concept and its measurement. 2) Instrumentation for relative dosimetry: point detectors and bidimensional detectors. 3) Examples of dose measurements in photon beams with different devices. 4) Vision of the Linear Accelerator installations of the Radiotherapy Unit. Description and outline of the principles of operation of a linear accelerator. Vision of the TC installation dedicated to the centering of RT patients. 5) Vision of the systems for treatment plans (TPS) supplied. Illustration of the general principles of a TPS: structure and functions. 6) Realization of a simple treatment plan with an illustration of the fundamental criteria necessary for its setting. SECTOR: Physics in Diagnostic Imaging 7) Vision Radiagnostics equipment, examples and illustrations. Description and overview of operating principles. 8) Vision and illustration of the instrumentation and the phantoms used for Quality Controls. 9) Examples of image analysis for the purpose of Quality Controls in MRI and Radiodiagnostics. SECTOR: Physics in Nuclear Medicine 10) Vision of Nuclear Medicine equipment. Description and overview of operating principles. 11) Mink and illustration of the instrumentation and puppets used for Quality Controls in MN. 12) Examples of image analysis for Quality Control in Nuclear Medicine. SECTOR: Radiation Protection and Security 13) Vision of an RM SITE: description and outline of the operating principles of an RM system. Safety issues of patients and operators. 14) Instrumentation and dosimetry of personnel exposed to ionizing radiation

## Reference books

- FONDAMENTI DI DOSIMETRIA DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI ( IV Edizione) Raffaele Fedele Laitano ENEA  
<http://www.enea.it/it/seguici/publicazioni/pdf-volumi/FondamentidosimetriaradiazioniionizzantiIV.pdf> - Altro materiale didattico fornito dal docente

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE

**Docente:** MARI STEFANO MARIA

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

PROGRAMMA DELLE LEZIONI IN AULA (EQUIVALENTE A CIRCA 3 CFU) CENNI INTRODUTTIVI SUI RIVELATORI DI PARTICELLE – FISICA DEI RIVELATORI UTILIZZATI NELL'ATTIVITA' DI LABORATORIO (SCINTILLATORI PLASTICI, SCINTILLATORI LIQUIDI, RIVELATORI A GAS,...) – CENNI SUI DISPOSITIVI ELETTRONICI NECESSARI PER LA LETTURA DEI RIVELATORI, PER IL SISTEMA DI TRIGGER E IL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI – RICHIAMI DI PROGRAMMAZIONE – RICHIAMI DI STATISTICA PER L'ANALISI DEI DATI. PROGRAMMA DELL'ATTIVITA' IN LABORATORIO (EQUIVALENTE A CIRCA 5 CFU) • STIMA DELLA RISPOSTA DEI RIVELATORI UTILIZZATI – VERIFICA DEL SEGNALE MISURATO – MESSA IN OPERA DEI RIVELATORI • SET UP DELL'APPARATO – FORMAZIONE DEL TRIGGER • SET UP DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI E SVILUPPO DEL SOFTWARE DI ANALISI • MISURA DELLA GRANDEZZA PROPOSTA (VITA MEDIA DEL MESONE MU E GRANDEZZE CORRELATE, SPETTRO DELL'ELETTRONE DEL DECADIMENTO DEL MU, SPETTRO DEI RAGGI COSMICI DURI, ...) LO STUDENTE E' CHIAMATO A SVOLGERE DA SOLO UNA PARTE DELL'ATTIVITA' SPERIMENTALE PROPOSTA IN MODO CHE POSSA CONFRONTARSI DIRETTAMENTE CON LE PROBLEMATICHE DI LABORATORIO. LA MISURA FINALE VERRA' SVOLTA IN GRUPPO

### Testi

TESTI CONSIGLIATI: W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers I. Lombardo - Problemi di fisica nucleare e subnucleare - Zanichelli

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso e' formato da una serie di lezioni preliminari in aula dedicate alla spiegazione dei concetti necessari per arrivare alla misura finale svolta in laboratorio. Le lezioni sono accompagnate da esercizi numerici corretti di volta in volta. Il corso si articola poi con l'attività di laboratorio per la misura della vita media del mesone mu

### Modalità di valutazione

Lo studente prepara la relazione finale di laboratorio nella quale discute le scelte sperimentali adottate, le misure e le loro incertezze, e il valore finale ottenuto per la vita media del mesone mu.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

PROGRAM OF LESSONS IN THE CLASSROOM (EQUIVALENT TO APPROXIMATELY 3 CFU) INTRODUCTORY NOTES ON PARTICLE DETECTORS - PHYSICS OF THE DETECTORS USED IN THE LABORATORY ACTIVITY (PLASTIC SPARKLERS, LIQUID SPARKLERS, DETECTORS A GAS, ...) - NOTES ON ELECTRONIC DEVICES REQUIRED FOR READING THE DETECTORS, FOR THE TRIGGER AND IL SYSTEM DATA ACQUISITION SYSTEM - CALLS TO PROGRAMMING - STATISTICAL CALLS FOR THE ANALYSIS DATA. PROGRAM OF THE ACTIVITY IN THE LABORATORY (EQUIVALENT A ABOUT 5 CFU) • ESTIMATE OF THE RESPONSE OF THE DETECTORS USED - VERIFICATION OF THE MEASURED SIGNAL - SETTING OF THE DETECTORS • SET UP OF THE APPARATUS - TRIGGER TRAINING • SET UP OF THE DATA ACQUISITION AND DEVELOPMENT SYSTEM OF ANALYSIS SOFTWARE • MEASUREMENT OF THE PROPOSED GREATNESS (VITA MEDIA DEL MESONE MU AND RELATED QUANTITIES, SPECTRUM OF THE ELECTRON OF THE DECAY OF THE MU, SPECTRUM OF HARD COSMIC RAYS, ...) THE STUDENT IS CALLED TO PERFORM A PART ONLY OF THE EXPERIMENTAL ACTIVITY PROPOSED SO THAT IT MAY COMPARE DIRECTLY WITH THE ISSUES OF LABORATORY. THE FINAL MEASURE WILL BE CARRIED OUT IN THE GROUP

### Reference books

TESTI CONSIGLIATI: W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers I. Lombardo - Problemi di fisica nucleare e subnucleare - Zanichelli

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401859 - LABORATORIO DI FISICA SUBNUCLEARE

**Docente:** DI MICCO BIAGIO

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

PROGRAMMA DELLE LEZIONI IN AULA CENNI INTRODUTTIVI SUI RIVELATORI DI PARTICELLE – FISICA DEI RIVELATORI UTILIZZATI NELL'ATTIVITA' DI LABORATORIO (SCINTILLATORI PLASTICI, SCINTILLATORI LIQUIDI, RIVELATORI A GAS,...) – CENNI SUI DISPOSITIVI ELETTRONICI NECESSARI PER LA LETTURA DEI RIVELATORI, PER IL SISTEMA DI TRIGGER E IL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI – RICHIAMI DI PROGRAMMAZIONE – RICHIAMI DI STATISTICA PER L'ANALISI DEI DATI. PROGRAMMA DELL'ATTIVITA' IN LABORATORIO (EQUIVALENTE A CIRCA 5 CFU) • STIMA DELLA RISPOSTA DEI RIVELATORI UTILIZZATI – VERIFICA DEL SEGNALE MISURATO – MESSA IN OPERA DEI RIVELATORI • SET UP DELL'APPARATO – FORMAZIONE DEL TRIGGER • SET UP DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI E SVILUPPO DEL SOFTWARE DI ANALISI • MISURA DELLA GRANDEZZA PROPOSTA (VITA MEDIA DEL MESONE MU E GRANDEZZE CORRELATE, SPETTRO DELL'ELETTRONE DEL DECADIMENTO DEL MU, SPETTRO DEI RAGGI COSMICI DURI, ...) LO STUDENTE E' CHIAMATO A SVOLGERE DA SOLO UNA PARTE DELL'ATTIVITA' SPERIMENTALE PROPOSTA IN MODO CHE POSSA CONFRONTARSI DIRETTAMENTE CON LE PROBLEMATICHE DI LABORATORIO. LA MISURA FINALE VERRA' SVOLTA IN GRUPPO

### Testi

TESTI CONSIGLIATI: W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso e' formato da una serie di lezioni preliminari in aula dedicate alla spiegazione dei concetti necessari per arrivare alla misura finale svolta in laboratorio. Le lezioni sono accompagnate da esercizi numerici corretti di volta in volta. Il corso si articola poi con l'attività di laboratorio per la misura della vita media del mesone mu

### Modalità di valutazione

Lo studente prepara la relazione finale di laboratorio nella quale discute le scelte sperimentali adottate, le misure e le loro incertezze, e il valore finale ottenuto per la vita media del mesone mu.

## English

## Prerequisites

none

## Programme

PROGRAM OF LESSONS IN THE CLASSROOM INTRODUCTORY NOTES ON PARTICLE DETECTORS - PHYSICS OF THE DETECTORS USED IN THE LABORATORY ACTIVITY (PLASTIC SPARKLERS, LIQUID SPARKLERS, DETECTORS A GAS, ...) - NOTES ON ELECTRONIC DEVICES REQUIRED FOR READING THE DETECTORS, FOR THE TRIGGER AND IL SYSTEM DATA ACQUISITION SYSTEM - CALLS TO PROGRAMMING - STATISTICAL CALLS FOR THE ANALYSIS DATA. PROGRAM OF THE ACTIVITY IN THE LABORATORY (EQUIVALENT A ABOUT 5 CFU) • ESTIMATE OF THE RESPONSE OF THE DETECTORS USED - VERIFICATION OF THE MEASURED SIGNAL - SETTING OF THE DETECTORS • SET UP OF THE APPARATUS - TRIGGER TRAINING • SET UP OF THE DATA ACQUISITION AND DEVELOPMENT SYSTEM OF ANALYSIS SOFTWARE • MEASUREMENT OF THE PROPOSED GREATNESS (VITA MEDIA DEL MESONE MU AND RELATED QUANTITIES, SPECTRUM OF THE ELECTRON OF THE DECAY OF THE MU, SPECTRUM OF HARD COSMIC RAYS, ...) THE STUDENT IS CALLED TO PERFORM A PART ONLY OF THE EXPERIMENTAL ACTIVITY PROPOSED SO THAT IT MAY COMPARE DIRECTLY WITH THE ISSUES OF LABORATORY. THE FINAL MEASURE WILL BE CARRIED OUT IN THE GROUP

## Reference books

TESTI CONSIGLIATI: W.R. Leo - Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment - Springer-Verlag W. Blum, L. Roland - Particle Detection with Drift Chambers - Springer-Verlag T. Ferbel - Experimental Techniques in High-Energy Nuclear and Particle Physics F. Sauli - Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410047 - MECCANICA DEI MEZZI CONTINUI IN FISICA TERRESTRE E DELL'AMBIENTE

**Docente:** MATTEI ELISABETTA

## Italiano

### Prerequisiti

Conoscenze approfondite della fisica generale e dell'analisi matematica.

### Programma

Forze di superficie e forze di volume. Vettore trazione o vettore sforzo. Trazione applicata ad un corpo libero. Relazione e tetraedro di Cauchy. Proprietà del tensore sforzo. Diagonalizzazione della matrice delle componenti dello sforzo rispetto ad set di autovettori ortonormali. Equazione caratteristica. Assi e piani principali dello sforzo. Sforzi principali. Invarianti dello sforzo. Massimo sforzo di taglio. Sforzo sferico, deviatorico, idrostatico, litostatico. Il tensore deformazione. Il tensore antisimmetrico delle rotazioni rigide. Deformazioni principali. Invarianti della deformazione. Deformazione in condizioni principali. Dilatazione cubica. Relazioni tra sforzo e deformazione. Equazioni costitutive. Funzione di stato reologico dipendente dallo sforzo e dalla deformazione. Elasticità lineare. Legge di Hooke generalizzata. Legge di Hooke per un mezzo omogeneo ed isotropo. Forma generale di Duhamel-Neumann della legge di Hooke. Funzione di stato reologico dipendente dallo sforzo, dalla deformazione e dal tempo. Viscoelasticità lineare. Deformazione dipendente dal tempo. Solidi lineari di Boltzmann con meccanismo di memoria. Equazioni costitutive. Equazione integro-differenziale di Boltzmann. Funzioni caratteristiche del materiale. Funzioni di creep e di rilassamento, modulo complesso e fattore di qualità. Creep primario, secondario e terziario (o accelerato). Determinazione delle funzioni caratteristiche di un solido con meccanismo di memoria mediante l'uso della trasformata di Laplace applicata ai modelli viscoelastici lineari di Maxwell, Kelvin-Voigt, SLS. Teoria dinamica dell'elasticità. Le onde elastiche. Teorema e potenziali elastici di Helmholtz-Lamé. Onde piane ed onde sferiche. Lentezza orizzontale e lentezza verticale. Onde di volume. Onde P, S, SH, SV. Velocità di fase e velocità di gruppo. Teoria del raggio sismico. Partizione e conversione dell'energia sismica ad una superficie di discontinuità. Coefficienti di riflessione e di trasmissione. Geometric spreading. Attenuazione e scattering di un'onda sismiche. Onde superficiali. Onde di Rayleigh e di Love. Dispersione delle onde superficiali. Equazione e curva di dispersione. Modo fondamentale e sovratoni. Oscillazioni libere della Terra. Modi sferoidali e toroidali (o torsionali). Sismologia e struttura della terra. Sismica a rifrazione. Sismica a riflessione. Tempi di tragitto (travel times) - Tempi di tragitto in una Terra stratificata ed in una Terra con distribuzione continua del campo di velocità. Onde dirette, di testa, riflesse, difratte. Zona d'Ombra. Onde terze. Dromocrone. Onde sismiche in una terra sferica. Sismometri a corto e a lungo periodo. Sismometri a larga banda. Sismogrammi e loro interpretazione. Determinazione dell'epicentro, dell'ipocentro e del tempo origine del terremoto. Epicentro. Distanze epicentrali locali, regionali, del mantello superiore, telesismiche. Nomenclatura delle onde di volume. Onde di Rayleigh R ed LR. Onde di Love L ed LQ. Determinazione dei parametri ipocentrali. Il problema inverso. Caso di una stazione sismica (registrazione di tutte e tre le componenti del moto) e di tre stazioni sismiche. Tempo origine. Diagramma di Wadati. Metodo dei cerchi. Caso generale con un numero di stazioni sismiche maggiore di tre. Metodo inverso generalizzato. La sorgente sismica: Diagramma di irraggiamento e Meccanismo focale. Elementi basilari di cinematica e dinamica del terremoto. Modello di rottura sismica: diagramma di irraggiamento. Modello di irraggiamento per le onde P ed S da modello a singola coppia e a doppia coppia. Modello di rottura sismica: sfera focale e meccanismo focale. Momento sismico e Magnitudo. Determinazione del momento sismico. Magnitudo del terremoto. Magnitudo locale, per le onde di volume, per le onde superficiali, per la durata. Energia sismica e magnitudo momento.

### Testi

- An introduction to seismology: earthquakes and earth structure. Stein and Wysession. Blakwell publishing. - Terremoti e onde. Metodi e pratica della sismologia moderna. Zollo e Emolo. Liguori. - Modern global seismology. Lay Thorne AND Terry C. Wallace. Vol. 58. Elsevier, 1995.

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Il corso è tenuto principalmente con lezioni alla lavagna in modo che lo studente possa seguire pedissequamente il ragionamento fatto dal docente. Durante il corso il docente esegue le dimostrazioni alla lavagna cercando di trasmettere allo studente quali siano gli strumenti matematici da utilizzare e il significato fisico di quello che si ottiene. Durante il corso sono incoraggiati il dialogo docente-studente e le domande da parte degli studenti. Per alcune argomenti più descrittivi (come la propagazione delle diverse fasi sismiche all'interno della Terra, i modi normali...) sono previste anche presentazioni in power point e simulazioni al calcolatore che completano le lezioni frontali alla lavagna sugli stessi argomenti.

### Modalità di valutazione

L'esame si svolge in modalità orale finalizzata a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità di descrivere sia gli aspetti formali che le implicazioni fisiche degli argomenti trattati. Durante la prova la commissione verifica la completezza ed il rigore metodologico utilizzato dallo studente nel descrivere la fenomenologia ed i principi di base della fisica dei mezzi continui in Fisica Terrestre e dell'Ambiente e in sismologia.

## English

### Prerequisites

knowledge of general physics and mathematics.

### Programme

Surface forces and volume forces. Traction vector or strain vector. Traction applied to a free body. Cauchy's relation and Cauchy's tetrahedron. Stress tensor property. Diagonalization of stress matrix Principal axes and planes. Principal stresses. Invariants. Maximum shear stresses. Spherical, deviatoric, hydrostatic, lithostatic stress. The tensor deformation. The antisymmetric tensor of rigid rotations. Principal deformations. Dilatation. Relationships between stress and deformation. Constitutive equations. Rheological function. Linear elasticity. Hooke's Law Generalized. Hooke's law for homogeneous and isotropic media. Duhamel-Neumann equations. Stress-dependent rheological function, deformation and time. Linear viscoelasticity. Time-deformation. Boltzmann Linear Solids with Memory Mechanism. Constitutive equations. Boltzmann's Integral-Differential Equation. Creep and relaxation functions, complex module and quality factor. Linear viscoelastic models of Maxwell, Kelvin-Voigt, SLS. Dynamic theory of elasticity. Elastic waves. Helmholtz-Lamé's elastic potential and theorem. Plane and Spherical waves. Horizontal and vertical slowness. Volume waves. Waves P, S, SH, SV. Phase velocity and Group velocity. Partition and conversion of seismic energy to a surface of discontinuity. Reflection and transmission coefficients. Geometric spreading. Attenuation and scattering of a seismic wave. Surface Waves. Rayleigh and Love Waves. Dispersion of surface waves. Equation and dispersion curve. Fundamental and overtones mode. Free oscillations of the Earth. Spheroidal and toroidal (or torsional) modes. Seismology and earth structure. Refraction seismology. Reflection seismology. Travel times. Travel times in a layered Earth. Direct waves, head wave, Reflected wave, diffracted wave. Shadow zones. Dromocron. Seismic waves in a spherical earth. Short and long-term seismometers. Seismograms and their interpretation. Determination of the epicenter. Volume waves nomenclature. Determination of Hypocentric parameters. The inverse problem. Origin Time. The Seismic Source: radiation pattern and Focal Mechanism. Seismic: focal point and focal mechanism. Seismic Moment and Magnitude. Determination of the seismic moment. Earthquake magnitude. Local magnitude, for volume waves, for the Superficial waves. Saturation of magnitude scales. Seismic energy and magnitude momentum.

### Reference books

- An introduction to seismology: earthquakes and earth structure. Stein and Wysession. Blakwell publishing. - Terremoti e onde. Metodi e pratica della sismologia moderna. Zollo e Emolo. Liguori. - Modern global seismology. Lay Thorne AND Terry C. Wallace. Vol. 58. Elsevier, 1995.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402354 - MECCANICA STATISTICA

**Docente:** LUPI LAURA

## Italiano

### Prerequisiti

### Programma

Programma I modulo (6 CFU) Richiami di termodinamica. Potenziali termodinamici. Transizioni di fase ed equazione di Van der Waals. Fluttuazioni e stabilità. Transizioni di fase e limite termodinamico. Derivazione microscopica dell'equazione di Van der Waals. Comportamento al punto critico dell'equazione di Van der Waals. Teoria di Curie-Weiss del ferromagnetismo. Teoria di Landau delle transizioni di seconda specie. Criterio di Ginzburg per la validità della teoria di campo medio. Il ruolo della simmetria e della dimensionalità: il teorema di Mermin-Wagner. Gruppo di rinormalizzazione. Trasformazione di Kadanoff-Wilson. Calcolo dei punti fissi per il modello di Landau-Wilson e sviluppo in epsilon.

### Testi

Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter by Carlo Di Castro and Roberto Raimondi Cambridge University Press 2015 ISBN: 9781107039407

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

lezioni tradizionali alla lavagna

## Modalità di valutazione

esame finale in forma orale

## English

## Prerequisites

## Programme

1st module program (6 credits) Introduction to thermodynamics. Thermodynamic potentials. Phase transitions and Van der Waals equation. Fluctuations and stability. Phase transitions and thermodynamic limit. Microscopic derivation of the Van der Waals equation. Critical point behavior of the Van der Waals equation. Curie-Weiss theory of ferromagnetism. Landau theory of second species transitions. Ginzburg criterion for the validity of the middle field theory. The role of symmetry and dimensionality: the theorem of Mermin-Wagner. Renormalization team. Kadanoff-Wilson transformation. Calculation of fixed points for the Landau-Wilson model and development in epsilon.

## Reference books

Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter by Carlo Di Castro and Roberto Raimondi Cambridge University Press 2015 ISBN: 9781107039407

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20401425 - MECCANICA STATISTICA

Canale:N0

Docente: LUPI LAURA

## Italiano

## Prerequisiti

## Programma

Programma I modulo (6 CFU) Richiami di termodinamica. Potenziali termodinamici. Transizioni di fase ed equazione di Van der Waals. Fluttuazioni e stabilità. Transizioni di fase e limite termodinamico. Derivazione microscopica dell'equazione di Van der Waals. Comportamento al punto critico dell'equazione di Van der Waals. Teoria di Curie-Weiss del ferromagnetismo. Teoria di Landau delle transizioni di seconda specie. Criterio di Ginzburg per la validità della teoria di campo medio. Il ruolo della simmetria e della dimensionalità: il teorema di Mermin-Wagner. Gruppo di rinormalizzazione. Trasformazione di Kadanoff-Wilson. Calcolo dei punti fissi per il modello di Landau-Wilson e sviluppo in epsilon. Programma II modulo (2 CFU) Vetri di spin Metodi per il calcolo di energia libera. Tecniche avanzate per la simulazione di eventi rari.

## Testi

Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter by Carlo Di Castro and Roberto Raimondi Cambridge University Press 2015 ISBN: 9781107039407

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

lezioni frontali alla lavagna

## Modalità di valutazione

Esame finale in forma orale

## English

## Prerequisites

## Programme

1st module program (6 credits) Introduction to thermodynamics. Thermodynamic potentials. Phase transitions and Van der Waals equation. Fluctuations and stability. Phase transitions and thermodynamic limit. Microscopic derivation of the Van der Waals equation.

Critical point behavior of the Van der Waals equation. Curie-Weiss theory of ferromagnetism. Landau theory of second species transitions. Ginzburg criterion for the validity of the middle field theory. The role of symmetry and dimensionality: the Mermin-Wagner theorem. Renormalization team. Kadanoff-Wilson transformation. Calculation of fixed points for the Landau-Wilson model and development in epsilon. Il module program (2 credits) Spin glasses Methods for calculating free energy. Advanced techniques for simulating rare events.

### Reference books

Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter by Carlo Di Castro and Roberto Raimondi Cambridge University Press 2015 ISBN: 9781107039407

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20410173 - METODI NUMERICI PER EQUAZIONI DIFFERENZIALI

**Docente:** FERRETTI ROBERTO

### Italiano

#### Prerequisiti

Calcolo differenziale per funzioni di una o più variabili, algebra lineare di base

#### Programma

Equazioni Differenziali Ordinarie Approssimazioni alle differenze per Equazioni Differenziali Ordinarie: il metodo di Eulero. Consistenza, stabilità, stabilità assoluta. I metodi di Runge-Kutta del secondo ordine. Metodi ad un passo impliciti: i metodi di Eulero all'indietro e di Crank-Nicolson. La convergenza dei metodi ad un passo. Metodi a più passi: struttura generale, complessità, stabilità assoluta. Stabilità e consistenza dei metodi a più passi. Metodi di Adams. Metodi BDF. Metodi Predictor-Corrector. (Riferimento: Capitolo 7 della dispensa "Appunti del corso di Analisi Numerica") Schemi alle differenze per Equazioni a Derivate Parziali Generalità sulle approssimazioni alle differenze. Approssimazioni semidiscrete e loro convergenza. Teorema di Lax-Richtmeyer. L'equazione del trasporto: costruzione della soluzione con il metodo delle caratteristiche. Schema di approssimazione "upwind" semidiscreto e completamente discreto, consistenza e stabilità. L'equazione del calore: approssimazione di Fourier. Approssimazione per differenze centrate, sua consistenza e stabilità. L'equazione di Poisson: approssimazioni di Fourier e per differenze centrate, studio della convergenza. (Riferimento: Dispensa di R. LeVeque, "Finite Difference methods for differential equations", materiale selezionato dai capitoli 1, 2, 3, 12, 13) N.B.: I riferimenti sono dati sugli appunti del corso.

#### Testi

Roberto Ferretti, "Appunti del corso di Analisi Numerica", disponibile in forma elettronica all'indirizzo: <http://www.mat.uniroma3.it/users/ferretti/corso.pdf> Roberto Ferretti, "Esercizi d'esame di Analisi Numerica", disponibile in forma elettronica all'indirizzo: <http://www.mat.uniroma3.it/users/ferretti/Esercizi.pdf> Lucidi delle lezioni, disponibili in forma elettronica sotto la pagina del corso: <http://www.mat.uniroma3.it/users/ferretti/bacheca.html> Materiale supplementare distribuito dal docente

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

corso di insegnamento frontale

#### Modalità di valutazione

prova orale teorica e valutazione di un progetto matlab

### English

#### Prerequisites

Univariate and multivariate differential calculus, basic linear algebra

#### Programme

Ordinary Differential Equations Finite difference approximation for ordinary differential equations: Euler's method. Consistency, stability, absolute stability. Second order Runge-Kutta methods. Single step implicit methods: backward Euler and Crank-Nicolson methods. Convergence of single step methods. Multi-step methods: general structure, complexity, absolute stability. Stability and consistency of multi-step methods. Adams methods, BDF methods, Predictor-Corrector methods. (Reference: Chapter 7 of course notes "Appunti del corso di Analisi Numerica") Partial Differential Equations Finite difference approximation for partial differential equations. Semi-discrete approximations and convergence. The Lax-Richtmeyer theorem. Transport equation: the method of characteristics. The "Upwind" (semi-discrete and fully-discrete) scheme, consistency and stability. Heat equation: Fourier approximation. Finite difference scheme, consistency and stability. Poisson equation: Fourier approximation. Finite difference scheme, convergence. (Reference: notes by R. LeVeque, "Finite Difference methods for differential equations", selected chapters 1, 2, 3, 12, 13)

#### Reference books

Roberto Ferretti, "Appunti del corso di Analisi Numerica", in pdf at <http://www.mat.uniroma3.it/users/ferretti/corso.pdf> Roberto Ferretti, "Esercizi d'esame di Analisi Numerica", in pdf at <http://www.mat.uniroma3.it/users/ferretti/Esercizi.pdf> Lecture slides in pdf at

<http://www.mat.uniroma3.it/users/ferretti/bacheca.html> Additional notes given by the teacher

## Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

-

## 20410048 - METODI SPERIMENTALI DI GEOFISICA

**Docente:** PETTINELLI ELENA

### Italiano

#### Prerequisiti

nessuno

#### Programma

Metodi Sperimentali della geofisica Programma del corso # A nno Accademico 2016/2017 Richiami sulla trattazione dei dati sperimentali e sulla stima delle incertezze. Espressione delle incertezze di misura in accordo con il GUM (Guide of the expression of uncertainty in measurements – NIST, 2008). Richiami sull'analisi dati di interesse geofisico in ambiente Matlab. Tecniche di misura di laboratorio, in campo e da satellite. Proprietà elettriche e magnetiche dei geomateriali. Misure elettriche e magnetiche nel dominio del tempo e della frequenza. Attività di laboratorio: utilizzo del ponte LCR e del Vector Network Analyzer per misure di permittività dielettrica e di permeabilità magnetica. Propagazione elettromagnetica nei geomateriali. Radar sottosuperficiale: basi teoriche ed applicazioni in campo ambientale. Attività di laboratorio: Tecniche di analisi dati e stima dei parametri fisici; metodi di inversione. Proprietà meccaniche dei geomateriali. Misure di propagazione di onde P in campioni di roccia. Attività di laboratorio: Analisi dei segnali nel dominio del tempo e della frequenza. Stima della velocità delle onde meccaniche e dei parametri elastici.

#### Testi

Dispense del docente; Ground Penetrating Radar – H.M. Jol, 2009, Elsevier; Introduction to the Physics of Rocks Y. Guéguen and V. Palciauskas, 1994, Princeton University Press.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Lezioni frontali con prevalente utilizzo di slides che vengono contestualmente distribuite agli studenti. Vengono descritti in dettaglio tre esperimenti di geofisica che gli studenti devono condurre in proprio. Per ogni esperimento è richiesto agli studenti di: organizzare l'esperimento, acquisire i dati, analizzare i dati attraverso l'utilizzo di software dedicati (Matlab), interpretare i risultati. Per ogni esperimento viene richiesta una relazione di laboratorio dettagliata che verrà valutata al fine della verifica finale.

#### Modalità di valutazione

L'esame finale si svolge in forma mista; ne è parte integrante la valutazione dell'attività di laboratorio, attraverso la verifica delle relazioni di laboratorio che vengono singolarmente valutate, e la prova orale finale nella quale viene chiesto allo studente di descrivere i fondamenti teorici delle misure effettuate nei diversi esperimenti e di discutere i risultati ottenuti.

### English

#### Prerequisites

none

#### Programme

Experimental methods of geophysics Course program – A, Academic Year 2018/2019 Recalls on the treatment of experimental data and estimate of uncertainties. Expression of the uncertainties of measure in accordance with the GUM (Guide of the expression of uncertainty in measurements - NIST, 2008). Recalls on data analysis of geophysical interests in MATLAB. Laboratory measurement techniques, in the field and from satellite. Electrical and magnetic properties of geomaterials. Electrical and magnetic measurements in time and frequency domains. Activities of the laboratory: use of the LCR bridge and the Vector Network Analyzer for the measurement of dielectric permittivity and magnetic permeability. Electromagnetic propagation in geomaterials. Subsurface radar: theoretical bases and applications in environmental field. Activities of the laboratory: techniques of data analysis and estimate of physical parameters; methods of inversion. Mechanical properties of geomaterials. Propagation measurements of P waves in rock samples. Activity of laboratory: Analysis of signals in frequency and time domains. Estimation of the speed of mechanical waves and elastic parameters.

#### Reference books

Lecture notes; Ground Penetrating Radar – H.M. Jol, 2009, Elsevier; Introduction to the Physics of Rocks Y. Guéguen and V. Palciauskas, 1994, Princeton University Press.

#### Reference bibliography

-

## Study modes

-

## Exam modes

## 20402215 - METODI SPERIMENTALI DI STRUTTURA DELLA MATERIA

**Canale:**N0

**Docente:** RUOCCO ALESSANDRO

**Italiano**

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Note di ricapitolazione Probabilità di transizione. Approssimazione impulsiva. Approssimazione adiabatica. Regola d'oro di Fermi. Sezioni d'urto integrali e differenziali (BJ 4.1, 4.2, 4.3, Appendice I) Fenomenologia delle distribuzioni in energia ed angolo degli elettroni risultanti da eventi di fotoassorbimento e da impatto di particelle cariche in atomi, molecole, solidi. Spettroscopie collisionali La sezione d'urto di processi di collisione, sezioni d'urto integrali e differenziali (BJ appendice 2) Diffusione di particelle da un potenziale rigido, il metodo delle onde parziali, shift di fase (BJ da 11.2 a 11.3) Equazione integrale dello scattering, prima approssimazione di Born (BJ 11.4, 11.5, 12.2), approssimazione di Wentzel. LEED cinematico, lunghezza di coerenza (Lu da 4.1 a 4.2, 4.5) LEED dinamico (Lu 4.4, Panel VIII) Eccitazione e ionizzazione per impatto elettronico, limite dipolare, EELS (BJ 12.3 e 12.4) Forza dell'oscillatore generalizzata Spettroscopie di perdita di energia di elettroni nei solidi, teoria dielettrica. Scattering di volume, (EELS) (Lu 4.5, 4.6.1, 4.8, Panel IX) Canali risonanti. Interferenze fra canali del discreto e del continuo, profili di Fano (BJ 11.3) Spettroscopie di fotoemissione e fotoassorbimento Assorbimento della radiazione elettromagnetica nella materia. Funzione dielettrica di un sistema di oscillatori. Scattering elastico ed inelastico della radiazione elettromagnetica (SM) Operatore di interazione radiazione materia. Polarizzazione. Approssimazione di dipolo elettrico, dipolo magnetico, quadrupolo elettrico. Regole di selezione. (BJ 4.8, CM) Fotoemissione e fotoassorbimento: sezioni d'urto totali e differenziali, il punto di vista atomico (BJ 4.7, 4.8, ) Fenomenologia degli esperimenti di fotoassorbimento e fotoemissione (Hu 1, CL 1) EXAFS (Lu Panel VII) e NEXAFS Interpretazione degli spettri di fotoemissione. Teorema di Koopmans, picchi satelliti, limite dell'interpretazione a particelle indipendenti. Effetti a molti corpi. Chemical shift (Lu 6.3.5, Hu 1.4,1.5,2.1,2.2) Fotoemissione nei solidi, il modello a tre step. Esempi di applicazioni. La fotoemissione inversa (cenni) (Lu 6.3, per approfondimenti Hu 6) Fotoemissione risolta in angolo. Fotoemissione di valenza e struttura a bande. Fotoemissione di core, photoelectron diffraction. Esempi di applicazioni (Lu 6 e Panel XI, Hu 7.1, 7.2, 7.3.1) Cenni di microscopia a scansione a sonda (STM, AFM, SNOM) (Lu Panel VI e appunti)

### Testi

BJ B.H. Bransden, C.J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules", Longman Scientific and Technical, John Wiley and sons CM C.M. Bertoni, Radiation-matter interaction: absorption, photoemission, scattering , in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds.. SIF, Bologna (2003) Lu H. Luth, "Surface and interface of solid materials", Springer study edition, 1995 Hu S. Hufner, "Photoelectron spectroscopy", Solid State Sciences Vol. 82, Springer, 1995 SM S. Mobilio, Interaction between radiation and matter: an introduction, in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds.. SIF, Bologna (2003)

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

lezioni frontali in aula con ausilio di video proiezione e esercitazioni in laboratorio. Le lezioni in laboratorio prevedono la pratica diretta dello studente su microscopi didattici.

### Modalità di valutazione

esame finale in forma orale

**English**

### Prerequisites

none

### Programme

Basic concepts and potential scattering in atomic collision. Electron-atom collision. Scattering from surfaces. Energy loss spectroscopy. Dielectric theory. Resonant Channels, Fano profiles. Photoemission and photoabsorption spectroscopies. Phenomenology of photoemission and photoabsorption experiments. The Koopmans theorem, satellite peaks, Chemical shift. Photoemission from solids, the three-step model. Angle resolved photoemission, photoelectron diffraction. Exafs and Nexafs.

### Reference books

BJ B.H. Bransden, C.J. Joachain "Physics of Atoms and Molecules", Longman Scientific and Technical, John Wiley and sons CM C.M. Bertoni, Radiation-matter interaction: absorption, photoemission, scattering , in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds.. SIF, Bologna (2003) Lu H. Luth, "Surface and interface of solid materials", Springer study edition, 1995 Hu S. Hufner, "Photoelectron spectroscopy", Solid State Sciences Vol. 82, Springer, 1995 SM S. Mobilio, Interaction between radiation and matter: an introduction, in: "Synchrotron radiation: fundamentals, methodologies and applications", S. Mobilio and G. Vlaic Eds.. SIF, Bologna (2003)

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

## Exam modes

-

## 20402155 - MISURE ASTROFISICHE

**Canale:**N0

**Docente:** LA FRANCA FABIO

**Italiano**

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

PROGRAMMA: Parte I: Problematica Astrofisica: Nuclei Galattici Attivi e Galassie 1. Definizione e classificazione: Paradigma del BH, accrescimento, AGN Radio Loud/Radio quiet, Modello Unificato 2. Astrofisica degli AGN: Proprietà degli AGN-RQ in banda X, modelli di emissione: Comptonizzazione, proprietà di assorbimento e outflows 3. Astrofisica degli AGN: componenti di riflessione nello spettro in banda X, osservazione di effetti relativistici nello spettro in banda X 4. Spettri di AGN e Galassie nella banda ottica e NIR Parte II: Introduzione ai rivelatori e telescopi in banda X ed ottica 1. telescopi ottici. Principi base e tecniche di rivelazione 2. rivelatori in banda X: principi base e tecniche di rivelazione 3. rivelatori a stato solido, Charged Coupled Devices (CCD) 4. sistemi ottici collimati e focalizzati 5. caratteristiche dei telescopi X: efficienza, sensibilità, risoluzione di energia, risoluzione angolare, area efficace 6. I telescopi spaziali ESA/XMM-Newton, NASA/Chandra e NASA/NuStar Parte III: Analisi Dati 1. strumenti di indagine: studio della distribuzione di energia (spettro di emissione), studio del comportamento temporale (curva di luce), studio della variabilità (spettro di potenza e riverbero) 2. errori statistici ed errori sistematici 3. background 4. rapporto segnale rumore S/N 5. osservazione e massimizzazione del S/N Parte IV: Tutorial di analisi dati - sessione XMM-epic 1. ricerca dei dati in archivio 2. analisi dell'Image: DS9 3. analisi dello spettro: xspec 4. analisi Temporale: xronos Parte V - analisi dati in banda ottica e NIR

### Testi

dispense a cura del docente del corso

### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

### Modalità erogazione

Durante la prima parte del corso (Parte I e Parte II del Programma) verrà svolta una lezione tradizionale in aula mediante l'ausilio di proiettore e sessioni di domande e risposte. La seconda parte del corso (Parte III, Parte IV e Parte V del programma) verrà svolta in laboratorio informatico con l'ausilio di pc per la riduzione ed analisi dei dati astrofisici da satellite (telescopi in banda X) e da terra (telescopi Ottici).

### Modalità di valutazione

Esame finale in forma orale. Il/La candidato/a presenterà una problematica scientifica a sua scelta discussa durante il corso.

**English**

### Prerequisites

none

### Programme

Part I: Astrophysics Problem: Active Galactic Nuclei and Galaxies 1. Definition and classification: BH paradigm, growth, AGN Radio Loud / Radio quiet, Unified Model 2. AGN astrophysics: X-band AGN-RQ properties, emission models: Comptonization, absorption properties and outflows 3. AGN astrophysics: reflection components in the X-band spectrum, observation of relativistic effects in the X-band spectrum 4. Spectra of AGN and Galaxies in the optical and NIR band Part II: Introduction to X-band and optical detectors and telescopes 1. optical telescopes. Basic principles and techniques of detection 2. X-band detectors: basic principles and detection techniques 3. solid state detectors, Charged Coupled Devices (CCD) 4. collimated and focused optical systems 5. X telescope features: efficiency, sensitivity, energy resolution, angular resolution, effective area 6. The ESA / XMM-Newton, NASA / Chandra and NASA / NuStar space telescopes Part III: Data Analysis 1. investigation tools: study of energy distribution (emission spectrum), study of temporal behavior (light curve), study of variability (power spectrum and reverberation) 2. statistical errors and systematic errors 3. background 4. S / N signal to noise ratio 5. observation and maximization of the S / N Part IV: Data analysis tutorial - XMM-epic session 1. search for archived data 2. Image analysis: DS9 3. spectrum analysis: xspec 4. Temporal analysis: xronos Part V - data analysis in optical and NIR band

### Reference books

handouts by the course teacher

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402155 - MISURE ASTROFISICHE

**Canale:**N0

**Docente:** DE ROSA Alessandra

**Italiano**

**Prerequisiti**

nessuno

**Programma**

**PROGRAMMA:** Parte I: Problematica Astrofisica: Nuclei Galattici Attivi e Galassie 1. Definizione e classificazione: Paradigma del BH, accrescimento, AGN Radio Loud/Radio quiet, Modello Unificato 2. Astrofisica degli AGN: Proprietà degli AGN-RQ in banda X, modelli di emissione: Comptonizzazione, proprietà di assorbimento e outflows 3. Astrofisica degli AGN: componenti di riflessione nello spettro in banda X, osservazione di effetti relativistici nello spettro in banda X 4. Spettri di AGN e Galassie nella banda ottica e NIR Parte II: Introduzione ai rivelatori e telescopi in banda X ed ottica 1. telescopi ottici. Principi base e tecniche di rivelazione 2. rivelatori in banda X: principi base e tecniche di rivelazione 3. rivelatori a stato solido, Charged Coupled Devices (CCD) 4. sistemi ottici collimati e focalizzati 5. caratteristiche dei telescopi X: efficienza, sensibilità, risoluzione di energia, risoluzione angolare, area efficace 6. I telescopi spaziali ESA/XMM-Newton, NASA/Chandra e NASA/NuStar Parte III: Analisi Dati 1. strumenti di indagine: studio della distribuzione di energia (spettro di emissione), studio del comportamento temporale (curva di luce), studio della variabilità (spettro di potenza e riverbero) 2. errori statistici ed errori sistematici 3. background 4. rapporto segnale rumore S/N 5. osservazione e massimizzazione del S/N Parte IV: Tutorial di analisi dati - sessione XMM-epic 1. ricerca dei dati in archivio 2. analisi dell'Image: DS9 3. analisi dello spettro: xspec 4. analisi Temporale: xronos Parte V - analisi dati in banda ottica e NIR

**Testi**

dispense a cura del docente del corso

**Bibliografia di riferimento**

Testi da definire

**Modalità erogazione**

Durante la prima parte del corso (Parte I e Parte II del Programma) verrà svolta una lezione tradizionale in aula mediante l'ausilio di proiettore e sessioni di domande e risposte. La seconda parte del corso (Parte III, Parte IV e Parte V del programma) verrà svolta in laboratorio informatico con l'ausilio di pc per la riduzione ed analisi dei dati astrofisici da satellite (telescopi in banda X) e da terra (telescopi Ottici).

**Modalità di valutazione**

Esame finale in forma orale. Il/La candidato/a presenterà una problematica scientifica a sua scelta discussa durante il corso.

**English**

**Prerequisites**

none

**Programme**

Part I: Astrophysics Problem: Active Galactic Nuclei and Galaxies 1. Definition and classification: BH paradigm, growth, AGN Radio Loud / Radio quiet, Unified Model 2. AGN astrophysics: X-band AGN-RQ properties, emission models: Comptonization, absorption properties and outflows 3. AGN astrophysics: reflection components in the X-band spectrum, observation of relativistic effects in the X-band spectrum 4. Spectra of AGN and Galaxies in the optical and NIR band Part II: Introduction to X-band and optical detectors and telescopes 1. optical telescopes. Basic principles and techniques of detection 2. X-band detectors: basic principles and detection techniques 3. solid state detectors, Charged Coupled Devices (CCD) 4. collimated and focused optical systems 5. X telescope features: efficiency, sensitivity, energy resolution, angular resolution, effective area 6. The ESA / XMM-Newton, NASA / Chandra and NASA / NuStar space telescopes Part III: Data Analysis 1. investigation tools: study of energy distribution (emission spectrum), study of temporal behavior (light curve), study of variability (power spectrum and reverberation) 2. statistical errors and systematic errors 3. background 4. S / N signal to noise ratio 5. observation and maximization of the S / N Part IV: Data analysis tutorial - XMM-epic session 1. search for archived data 2. Image analysis: DS9 3. spectrum analysis: xspec 4. Temporal analysis: xronos Part V - data analysis in optical and NIR band

**Reference books**

handouts by the course teacher

**Reference bibliography**

-

**Study modes**

-

**Exam modes**

-

**20402380 - RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE**

**Canale:**N0

**Docente:** PLASTINO WOLFANGO

**Italiano**

## Prerequisiti

Analisi Matematica Fisica

## Programma

Atomi e Radionuclidi Sorgenti di radiazione. Interazioni radiazione - materia. Statistiche di conteggio. Geochimica degli isotopi radiogenici Tipologie di rocce. Acqua e sedimenti. Oceani. Radionuclidi Fissione negli elementi transuranici.  $^{90}\text{Sr}$  nell'ambiente.  $^{137}\text{C}$  nell'ambiente.  $^{90}\text{Sr}$  /  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  e  $^{241}\text{Am}$  nell'Oceano Artico. Proprietà generali dei rivelatori di radiazioni Camere a ionizzazione. Contatori proporzionali e Geiger-Mueller. Rilevatori a scintillazione. Rilevatori al Germanio per radiazione gamma. Geocronometria Il metodo Rb-Sr. Il metodo K-Ar. Il metodo  $^{40}\text{Ar}$  /  $^{39}\text{Ar}$ . Il metodo Sm-Nd. I metodi U-Pb, Th-Pb e Pb-Pb. Il metodo  $^{14}\text{C}$ . Il metodo  $^3\text{H}$  /  $^3\text{He}$ . Applicazioni Modelli di trasporto atmosferico. Dinamica delle acque sotterranee. Non proliferazione nucleare.

## Testi

Knoll G.F. - Radiation Detection and Measurement. John Wiley & Sons, 2010 - ISBN:9780470649725 Faure G. and Mensing T.M - Isotopes-Principles and Applications. John Wiley & Sons, 2004 - ISBN:9780471384373

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Il metodo di insegnamento principale è costituito da lezioni frontali finalizzate all'acquisizione delle conoscenze fondamentali per il conseguimento degli obiettivi formativi. La partecipazione degli studenti alle attività didattiche è facoltativa. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni relative alle modalità di svolgimento delle attività didattiche.

## Modalità di valutazione

La verifica dell'apprendimento avviene attraverso una prova orale della durata di circa 1 ora, finalizzata a verificare il livello di comprensione effettiva dei concetti e la capacità degli studenti di applicarli in contesti reali. Nel caso di un prolungamento dell'emergenza sanitaria da COVID-19, saranno recepite tutte le disposizioni relative alle modalità di valutazione degli studenti.

## English

### Prerequisites

Differential Calculus Integral Calculus Mechanics Thermodynamics Electromagnetism Atomic Nuclei

### Programme

Atoms, Nuclides, and Radionuclides Radiation sources. Radiation interactions. Counting Statistics. Geochemistry of Radiogenic Isotopes Mixing Theory. Origin of Igneous Rock. Water and Sediment. The Oceans. Thermonuclear Radionuclides Fission Products of Transuranium Elements.  $^{90}\text{Sr}$  in the Environment.  $^{137}\text{Cs}$  in the Environment. The  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ , and  $^{241}\text{Am}$  in the Arctic Ocean. General Properties of Radiation Detectors Ionizing chambers. Proportional and Geiger-Mueller counters. Scintillation Detectors. Germanium Gamma-Ray Detectors. Geochronometry The Rb-Sr Method. The K-Ar Method. The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Method. The Sm-Nd Method. The U-Pb, Th-Pb, and Pb-Pb Methods. The  $^{14}\text{C}$  Method. The  $^3\text{H}/^3\text{He}$  Method. Application of Tracer Technology to the Environment Atmospheric Transport Modeling. Groundwater dynamics. Nuclear non-proliferation.

### Reference books

Knoll G.F. - Radiation Detection and Measurement. John Wiley & Sons, 2010 - ISBN:9780470649725 Faure G. and Mensing T.M - Isotopes-Principles and Applications. John Wiley & Sons, 2004 - ISBN:9780471384373

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20401000 - STRUMENTAZIONE FISICA PER LA MEDICINA E LA BIOLOGIA

Canale:N0

Docente: FABBRIO ANDREA

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

1. Interazione particelle e fotoni con la materia. 2. Principi di Medicina Nucleare. 3. Tecniche SPECT e PET. 4. Principi di Radiologia e relativa strumentazione. 5. Tomografia assiale computerizzata. 6. Risonanza magnetica nucleare e relativa strumentazione. 8. Ecografia e strumentazione ecografica 9. Elementi di radioterapia e adroterapia. 10. Elementi di dosimetria.

### Testi

Dispense del corso

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Le prime lezioni del corso sono inerenti i principi delle varie tecniche. In seguito verrà descritta la strumentazione relativa. Dove possibile verranno mostrati a lezione le componenti della strumentazione descritta e i relativi software.

## Modalità di valutazione

L'esame verrà svolto per colloquio orale, su appuntamento, con domande inerenti le tematiche del corso. Il colloquio ha durata di circa 30-45 minuti.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

1. Interaction of photons and charged particles with matter. 2. Nuclear Medicine principles 3. SPECT and PET techniques. 4. Radiology Principles and Instrumentation. 5. Computed Tomography. 6. Nuclear Magnetic Resonance. 8. Ultrasound Principles and Instrumentation. 9. Radioterapy and Adroterapy Principles. 10. Dosimetry Principles.

### Reference books

lecture notes

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402258 - TEORIA DELLA RELATIVITA'

**Docente:** ARCADI GIORGIO

## Italiano

### Prerequisiti

nessuno

### Programma

Nozioni Introdotte Richiami di relatività speciale. Trasformazioni di Lorentz nello spazio di Minkowski. Definizione di vettore nello spazio di Minkowski. Base dello spazio tangente. Spazio cotangente e vettori duali nello spazio di Minkowski. Base dello spazio cotangente. Trasformazioni di Lorentz di vettori e vettori duali. Tensori nello spazio di Minkowski. Trasformazioni di Lorentz dei tensori. Proprietà di vettori, vettori duali e tensori nello spazio di Minkowski. Definizione di tensore simmetrico ed antisimmetrico. Operazioni di simmetrizzazione ed antisimmetrizzazione di un tensore generico. Metrica nello spazio di Minkowski: definizione e proprietà. Operazioni legate alla metrica: prodotto scalare, abbassamento ed innalzamento degli indici di un tensore, contrazione e traccia di un tensore. Equivalenza tra massa inerziale e gravitazionale, Principio di Equivalenza Debole (WEP), Principio di Equivalenza di Einstein (EEP). Elementi di geometria differenziale Introduzione al concetto di varietà. Definizione di mappa. Proprietà della mappes, mappes iniettive e suriettive (inclusi esempi), composizione di mappes, mappes invertibili. Definizione di diffeomorfismo. Definizione di carta (o sistema di coordinate). Definizione di atlante. Definizione di varietà (manifold). Prodotto di varietà. Definizione formale di vettore indipendente dalla scelta del sistema di coordinate. Dimostrazione che la dimensione dello spazio tangente coincide con quella della varietà corrispondente. Base (sistema di coordinate) dello spazio tangente. Trasformazioni di coordinate. Trasformazione di coordinate delle componenti di un vettore. Definizione di campo tangente relative proprietà. Definizione di gruppo ad un parametro di diffeomorfismi. Definizione di curve integrali. Commutatore di due vettori. Definizione di vettore duale (1-forma) indipendente dalle coordinate. Spazio cotangente e relativa base. Effetto delle trasformazioni di coordinate su componenti e base delle 1-forme. Definizione di tensore indipendente dalle coordinate. Dimostrazione che la derivata parziale di un tensore non è un tensore. Metrica: segnatura della metrica, forma canonica della metrica. Densità tensoriali. Forme differenziali. Wedge product. Derivata esterna. Forme chiuse ed esatte. Lemma di Poincarre (enunciato). Dualità di Hodge. Formulazione delle equazioni di Maxwell in termini di derivata esterna e dualità di Hodge (cenni). Integrazione sulle varietà: elemento di volume in termini del determinante della metrica. Mappes tra varietà: pullback e pushforward. Pullback e pushforward nel caso di diffeomorfismi. Equivalenza tra diffeomorfismi e cambi di coordinate. Campi vettoriali associati ai diffeomorfismi. Gruppi ad un parametro di diffeomorfismi e curve integrali associate. Derivata di Lie e sue proprietà generali. Azione della derivata di Lie su scalari, vettori, uno-forme e tensori. Relatività generale come teoria invariante per diffeomorfismi. Analogia tra trasformazioni di gauge e diffeomorfismi. Simmetrie. Definizione di sottovarietà. Sottovarietà immerse ed embedded. Definizione di ipersuperficie e di boundary di una varietà. Di nuovo sull'integrazione su una varietà: elemento di volume generico come forma differenziale. Definizione di orientazione e di varietà orientabile. Integrazione su una varietà: copertura di una varietà tramite partizione della varietà. Integrazione di p-forme su sottovarietà. Dimostrazione che l'elemento di volume può essere espresso in termini del determinante della metrica. Teorema di Stokes (solo enunciato). Connessione, Derivata Covariante, Curvatura Algebra di Lie e Gruppo di Lie. Azione da destra ed azione da sinistra. Vettori left- e right-invarianti. Costanti di struttura. Esempi di gruppi di Lie. Forme di Maurer-Cartan. Equazioni di Maurer-Cartan. Azione di un gruppo di Lie su una varietà. Definizioni di azione libera, effettiva e transitiva. Definizione di orbita e di stabilizzatore. Definizione algebrica di derivata covariante e di connessione. Enunciato delle proprietà generali della derivata covariante. Azione delle trasformazioni di coordinate sulla connessione. Dimostrazione che la differenza di due coefficienti associati a due connessioni distinte è un tensore; definizione del tensore torsione, nozione di connessione

torsion-free e di connessione metrica. Dimostrazione che data una metrica esiste una connessione per cui la derivata covariante della metrica è nulla (connessione metrica). Costruzione formale della derivata covariante dalla nozione di trasporto parallelo (introduzione qualitativa). Definizione di fibrato (fiber bundle). Definizione di fibrato triviale e localmente trivialisabile. Definizione di trivialisazione locale. Mappe fra fibrati (nozioni). Definizione di Atlante del bundle, G-Atlante, G-Struttura, Fibrato con gruppo di Struttura G. Definizione di bundle principale. Definizione di sezione di un bundle. Definizione di bundle vettoriale (vectorbundle) e bundle delle basi (bundle of frames) e loro proprietà generali. Relazione tra bundle principale, vectorbundles e bundle delle basi (definizione del vectorbundle associato ad un bundle principale). Costruzione delle derivata covariante su un vectorbundle (N.B: per l'esame e' richiesta la conoscenza dei passaggi logici fondamentali, i dettagli della dimostrazione non saranno oggetto di domande d'esame). Definizione generale del tensore curvatura come 2-forma su un fibrato. Interpretazione geometrica della curvatura. Identità di Bianchi. Tensore metrico su un fibrato. Definizione di base ortogonale. Connessioni e teorie di gauge: semplice esempio dell'elettromagnetismo. Forma di saldatura. Scelta di gauge. Gauge ortonormale e gauge metrica. Connessione di Levi-Civita; tensore di Riemann e proprietà, tensore di Ricci, scalare di Ricci, tensore di Weyl. Coordinate globalmente e localmente inerziali. Teoria della Gravitazione di Einstein Coupling minimale. Particella in campo gravitazionale: parametro affine, curve self-parallele. Equazione delle geodetiche. Deviazione geodetica. Derivazione delle equazioni di Einstein dal limite classico. Derivazione lagrangiana delle equazioni di Einstein. Considerazioni generali sulla strutture dell'equazione di Einstein, scelta di gauge. Condizioni di energia. Simmetrie e vettori di Killing: versione di relatività generale del teorema di Noether, numero massimo di vettori di Killing indipendenti in una varietà. Varietà omogenea ed isotropa. Spazi a curvatura costante. Metrica su spazi a curvatura costante. Soluzioni notevoli equazioni di Einstein Spazi tempo statici a simmetria sferica. Determinazione della metrica di Schwarzschild. Soluzione Cosmologica. Spazio tempo spazialmente omogeneo ed isotropo. Metrica di Friedman-Robertson Walker. Equazioni di Friedman. Singolarità nelle coordinate. Caso di studio: singolarità nel raggio di Schwarzschild. Metrica di Rindler. Coordinate di Kruskal. Definizione della soluzione di buco nero. Perturbazione intorno ad una metrica di background, caso di studio: perturbazione della metrica piatta. Gradi di libertà della perturbazione. Equazione di Einstein linearizzate, scelta di gauge. Soluzione delle equazioni di Einstein linearizzate nel vuoto: onde gravitazionali. Soluzione in presenza di sorgente (breve cenno). Concetti avanzati Trasformazioni conformi. Tensore di Cotton. Metrica conformemente piatta. Dimostrazione del teorema: una metrica è conformemente se e solo se il tensore di Weyl (Cotton) è nullo. Gruppo conforme: vettori di Killing conformi. Teorie alternative di gravità. Teorie scalar tensor. Frame di Jordan e frame di Einstein.

## Testi

Testi consigliati : 1. S. Carrol Space time and Geometry: An Introduction to General Relativity (Addison Wesley, 2004); 2. R. Wald General Relativity (The Chicago Press, 1984); 3. B. Schutz A First Course in General Relativity (Cambridge Press) 4. B. Schutz Geometrical Methods of Mathematical Physics (Cambridge Press) 5. S. Weinberg Gravitation and Cosmology-principles and application of the general theory of relativity (John Weiley & Sons, 1972); 6. [people.sissa.it/~percacci/lectures/general/index.html](http://people.sissa.it/~percacci/lectures/general/index.html)

## Bibliografia di riferimento

Testi da definire

## Modalità erogazione

Le lezioni consistono nell'esposizione alla lavagna dei concetti, intesi sia come definizione che come relazioni matematiche necessari alla soddisfazione delle finalità del corso e che saranno eventualmente oggetto della prova d'esame. Gli studenti sono invitati in ogni momento ad interrompere il docente sia per richiedere, se necessario, la ripetizione dei concetti spiegati sia per porre domande di carattere più generale. Gli studenti sono invitati, in modo da prendere maggiore confidenza con le tematiche trattate a lezioni, a svolgere nelle ore di studio semplici esercizi che consistono nel dimostrare relazioni matematiche di cui viene fornito a lezione il solo enunciato. Tali esercizi verranno eventualmente svolti dal docente nella lezione successiva qualora provenga richiesta da uno o più studenti in merito. All'inizio di ogni lezione gli studenti hanno l'opportunità di chiedere, ove necessario, ulteriori chiarimenti riguardo le lezioni precedenti. Periodicamente, il docente mette a disposizione degli studenti, attraverso la pagina web del corso, una sorta di "diario delle lezioni": per ogni lezione vengono elencati in dettaglio i temi trattati ed indicati quali, fra i testi consigliati, sono stati esplicitamente utilizzati come riferimento. Salvo indicazione esplicita del docente i suddetti argomenti saranno oggetto della prova d'esame e faranno parte del programma definitivo del corso fornito.

## Modalità di valutazione

La prova d'esame consiste in una prova orale. L'esame viene considerato superato se lo studente mostra sufficiente competenza su tre degli argomenti indicati sul programma definitivo del corso, messo online in prossimità del termine delle lezioni. Tale competenza viene verificata tramite una serie di domande, tipicamente 1-2 per argomento, in cui si viene richiesta l'esposizione di concetti o definizioni oppure la derivazione di equazioni/relazioni matematiche. In quest'ultimo caso le risposte vanno effettuate tramite supporto scritto, tipicamente foglio di carta e penna fornite dal docente oppure lavagna, qualora disponibile e preferita dallo studente. Il voto d'esame viene stabilito e proposto allo studente, di concerto con i membri della commissione d'esame, al termine dell'esame stesso.

## English

### Prerequisites

none

### Programme

Introductory notions Recap of Special Relativity. Lorentz transformations in Minkowski's space. Vectors in Minkowski's space. Basis of the tangent space. Cotangents space and dual vectors in Minkowski's space. Basis of cotangent space. Lorentz transformations of vectors and dual vectors. Tensors in Minkowski's space. Properties of vectors, dual vectors and tensors in Minkowski's space. Definition of symmetric and antisymmetric tensor. Symmetrization and antisymmetrization of a generic tensor. Metric in Minkowski's space: definition and properties. Operations related to the metric: scalar products, rising and lowering indices of a tensor, contractions and trace of a tensor. Equivalence between inertial and gravitational mass. Weak Equivalence Principle (WEP), Einstein's equivalence Principle (EEP). Basic notions of differential geometry Introduction to the notion of manifold. Definition and properties of maps. Injective and surjective maps (some examples included). Composition of charts. Invertible charts. Definition of diffeomorphism. Definition of chart (or coordinate system). Definition of atlas. Definition of manifold. Product of manifolds. Formal coordinate independent definition of vector. Demonstration that the dimension of the tangent space coincides with the one of the corresponding manifold. Basis (or coordinate system) of the tangent space. Coordinate transformations. Coordinate transformations of the components of a vector. Definition and properties of the tangent field. Definition of one parameter group of diffeomorphisms. Definition of integral curves. Commutator of two vectors. Coordinate independent definition of dual vector (one-form). Cotangent space and corresponding basis. Coordinate transformation of the components of a one-form. Coordinate independent definition of tensor. Demonstration that the partial derivative of a tensor is not a tensor. Metric: signature and canonical form. Tensor densities. Differential forms. Wedge product. Exterior

derivative. Closed and exact form. Poincarre Lemma (statement only). Hodge duality. Maxwell equations expressed in term of exterior derivative and hodge duality (only small reference). Integration over a manifold: volume element in terms of the determinant of the metric. Maps between manifold: pullback and pushforward. Pullback and pushforward associated to diffeomorphisms. Equivalence between diffeomorphisms and coordinate transformations. Vector field associated to diffeomorphisms. Lie Derivative: definition and general properties. Action of Lie's derivative on scalars, vectors, one-forms and tensors. General Relativity as diffeomorphism invariant theory. Analogy between gauge transformations and diffeomorphisms. Symmetries. Notion of submanifold. Immersed and embedded submanifolds. Notion of hypersurface and boundary of a manifold. Integration on manifolds again: differential form as generic volume element. Orientation and orientable manifold. Covering of the manifold through partition of unity. Integration of p-forms over submanifold. Demonstrations that the volume element can be expressed in terms of the determinant of the metric. Stokes theorem (no demonstration). Connection, Covariant Derivative, Curvature Lie's Algebra and Lie's group. Action from the right and from the left. Left- and right-invariant vectors. Structure constants. Examples of Lie groups. Maurer-Cartan forms. Maurer-Cartan's equations. Action of Lie Groups on manifolds. Definition of free, effective and transitive action. Orbit and stabilizer. Algebraic definition of connection and covariant derivative. General properties of covariant derivatives. Action of coordinate transformations on the connection. Demonstration that the difference of Christoffel coefficients associated to two different connections transforms as a tensor; torsion tensor, torsion-free and metric connection. Demonstrations that for any given metric exists a connection (metric connections) for which the covariant derivative of the metric is zero. Formal construction of the covariant derivative from the notion of parallel transport (qualitative introduction). Fiber bundle. Trivial and locally trivializable bundles. Local trivialisations. Maps between fiber bundles (notions). Definition of bundle atlas, G-atlas, G-structure. Fiber Bundle with structure group G. Definition of Principal Bundle. Definition of section of a bundle. Vector bundle and bundle of basis, definition and general properties. Relation between principle bundle, vectorbundle and bundle of frames (definition of associated vector bundle to a principal bundle. Construction of the covariante derivative on a vectorbundle (only the knowledge of the fundamental logical steps is required for the exam). Curvature tensor as 2-form on a fiber bundle. Geometrical interpretation of the curvature. Bianchi identity. Fiber metric. Orthogonal basis. Connections and gauge theories: electromagnetism as simple example. Soldering form. Choice of the gauge. Ortonormal and metric gauge. Levi-Civita connection; Riemann's tensor : definition and properties. Ricci's tensor and scalar, Weyl's tensor. Globally and locally inertial coordinates. Einstein's theory of gravity Minimal coupling. Particle in a gravitational field: affine parameter, self-parallel curves. Geodesic's equations. Geodesic deviation. Derivation of the Einstein's equations from Newton's limit. Lagrangian derivations of Einstein's equations. General considerations on the structure of Einstein's equations. Choice of the gauge. Energy conditions. Symmetries and Killing vectors: version of Noether's theorem from general relativity. Maximal number of linearly independent Killing vectors on a manifold. Homogenous and isotropic manifold. Spaces at constant curvature. Metric in spaces at constant curvature. Notable solutions of Einstein's equations Static spherically symmetric spacetimes. Determination of Schwarzschild's metric. Cosmological solution. Spatially homogeneous and isotropic spacetime. Frieman's Robertson-Walker metric. Friedman's equations. Coordinate singularities. Case of study: Schwarzschild radius. Rindler metric. Kruskal coordinates. Black hole solution. Perturbation around a background metric. Case of study: perturbation of flat metric. Degrees of freedom. Linearized Einstein's equations. Choice of the gauge. Linearized Einstein's equations in vacuum: gravitational waves. Solutions in presence of the source (only few words). Advanced concepts Conformal transformations. Cotton's tensor. Conformally flat metric. Demonstration of the theorem: a metric is conformally flat if and only if Weyl (Cotton) tensor is null. Conformal group. Conformal Killing vectors. Alternative theories of gravity. Scalar-tensor theories. Jordan and Einstein's frames.

### Reference books

Testi consigliati : 1. S. Carrol Space time and Geometry: An Introduction to General Relativity (Addison Wesley, 2004); 2. R. Wald General Relativity (The Chicago Press, 1984); 3. B. Schutz A First Course in General Relativity (Cambridge Press) 4. B. Schutz Geometrical Methods of Mathematical Physics (Cambridge Press) 5. S. Weinberg Gravitation and Cosmology-principles and application of the general theory of relativity (John Weiley & Sons, 1972); 6. [people.sissa.it/~percacci/lectures/general/index.html](http://people.sissa.it/~percacci/lectures/general/index.html)

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-

## 20402232 - TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA

**Docente:** RAIMONDI ROBERTO

### Italiano

#### Prerequisiti

Meccanica Quantistica e Meccanica Statistica

#### Programma

-Teorema di fluttuazione-dissipazione e teoria della risposta lineare. -Funzioni di Green a temperatura nulla. Decomposizione di Lehmann. Proprietà analitiche. -Sviluppo perturbativo e diagrammi di Feynman. Equazione di Dyson. -Funzioni di Green a temperatura finita: tecnica di Matsubara. -Teoria di Hartree-Fock e approssimazione RPA. Schermo di Thomas-Fermi. Funzione di Lindhard. -Teoria del liquido di Fermi. -Fenomenologia della superfluidità. Teoria di Landau. -Teoria microscopica della superfluidità. Teoria di Bogolubov. -Fenomenologia della superconduttività. -Teoria BCS microscopica della superconduttività. -Derivazione di Gorkov delle equazioni di Landau-Ginzburg. -Teoria del trasporto elettronico in sistemi disordinati.

#### Testi

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Le lezioni comportano l'esposizione dettagliata di sviluppi matematico-formali e quindi si utilizza la lavagna in modo sistematico (o altro strumento digitale di pari efficacia).

### Modalità di valutazione

L'esame finale tende a comprendere se lo studente ha raggiunto una ragionevole comprensione degli argomenti. Da un lato occorre controllare che abbia una comprensione generale delle varie parti del corso e sappia collegarle fra di loro. Per questo l'esame orale consiste in parte in domande tese ad accertare questi aspetti senza entrare nei dettagli del formalismo ed in parte in domande in cui si chiede di impostare il calcolo di un determinato effetto fisico. La valutazione è espressa in trentesimi.

### English

#### Prerequisites

Quantum Mechanics and Statistical Mechanics

#### Programme

- Fluctuation-dissipation theorem and linear response theory. -Green functions at zero temperature. Lehmann decomposition. Analytical properties. - Perturbative development and Feynman diagrams. Dyson equation. - Green functions at finite temperature: Matsubara technique. - Hartree-Fock theory and RPA approximation. Thomas-Fermi screen. Lindhard function. -Fermi liquid theory. - Phenomenology of superfluidity. Landau theory. -Microscopic theory of superfluidity. Bogolubov theory. - Phenomenology of superconductivity. - Microscopic BCS theory of superconductivity. -Gorkov's derivation of the Landau-Ginzburg equations. -Theory of electronic transport in disordered systems.

#### Reference books

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

#### Reference bibliography

-

#### Study modes

-

#### Exam modes

-

## 20410022 - TEORIA QUANTISTICA DELLA MATERIA MOD. A

**Docente:** RAIMONDI ROBERTO

### Italiano

#### Prerequisiti

Meccanica Quantistica e Meccanica Statistica

#### Programma

-Teorema di fluttuazione-dissipazione e teoria della risposta lineare. -Funzioni di Green a temperatura nulla. Decomposizione di Lehmann. Proprietà analitiche. -Sviluppo perturbativo e diagrammi di Feynman. Equazione di Dyson. -Funzioni di Green a temperatura finita: tecnica di Matsubara. -Teoria di Hartree-Fock e approssimazione RPA. Schermo di Thomas-Fermi. Funzione di Lindhard. -Teoria del liquido di Fermi. -Fenomenologia della superfluidità. Teoria di Landau. -Teoria microscopica della superfluidità. Teoria di Bogolubov. -Fenomenologia della superconduttività. -Teoria BCS microscopica della superconduttività. -Derivazione di Gorkov delle equazioni di Landau-Ginzburg. -Teoria del trasporto elettronico in sistemi disordinati.

#### Testi

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

#### Bibliografia di riferimento

Testi da definire

#### Modalità erogazione

Le lezioni comportano l'esposizione dettagliata di sviluppi matematico-formali e quindi si utilizza la lavagna in modo sistematico (o altro strumento digitale di pari efficacia).

#### Modalità di valutazione

L'esame finale tende a comprendere se lo studente ha raggiunto una ragionevole comprensione degli argomenti. Da un lato occorre controllare che abbia una comprensione generale delle varie parti del corso e sappia collegarle fra di loro. Per questo l'esame orale consiste in parte in domande tese ad accertare questi aspetti senza entrare nei dettagli del formalismo ed in parte in domande in cui si chiede di impostare il calcolo di un determinato effetto fisico. La valutazione è espressa in trentesimi.

### English

#### Prerequisites

Quantum Mechanics and Statistical Mechanics

#### Programme

- Fluctuation-dissipation theorem and linear response theory. -Green functions at zero temperature. Lehmann decomposition. Analytical properties. - Perturbative development and Feynman diagrams. Dyson equation. - Green functions at finite temperature: Matsubara technique. - Hartree-Fock theory and RPA approximation. Thomas-Fermi screen. Lindhard function. -Fermi liquid theory. - Phenomenology of superfluidity. Landau theory. -Microscopic theory of superfluidity. Bogolubov theory. - Phenomenology of superconductivity. - Microscopic BCS theory of superconductivity. -Gorkov's derivation of the Landau-Ginzburg equations. -Theory of electronic transport in disordered systems.

### Reference books

- 1- Carlo Di Castro, Roberto Raimondi, Statistical Mechanics and Applications in Condensed Matter, Cambridge University Press 2015.
- 2- Piers Coleman, Introduction to Many-Body Physics, Cambridge University Press 2015.

### Reference bibliography

-

### Study modes

-

### Exam modes

-