

Università degli studi di Milano-Bicocca



Scuola di Scienze  
MM. FF. NN.

Corso di laurea in

**FISICA**

**2018-2019**

## **PRESENTAZIONE**

La Fisica è la Scienza che mediante la misurazione di quantità osservabili studia i fenomeni naturali al fine di interpretare le relazioni tra loro esistenti. La ricerca di strumenti e metodi sempre più avanzati nell'ambito della fisica, danno origine ad importanti sviluppi tecnologici e teorici ed a preziose sinergie tra la Fisica e i campi scientifici affini.

La Fisica rappresenta una disciplina autonoma e fornisce elementi fondamentali di riferimento per le altre discipline scientifiche quali, ad esempio, la Matematica, la Chimica, la Biologia, la Scienza dei Materiali, la Geologia, l'Informatica, l'Economia, le Scienze Ambientali e la Medicina.

## **IL CORSO DI LAUREA IN FISICA**

Il Corso di Laurea di primo livello (triennale) in Fisica è un percorso formativo che sviluppa conoscenze dalla Fisica classica alla Fisica moderna.

Il corso di Laurea in Fisica si pone come obiettivo quello di stimolare la curiosità verso i fenomeni naturali, educare all'utilizzo di strumenti di misura, affinare il senso critico per l'interpretazione delle osservazioni. La solida cultura scientifica di base, acquisita nel Corso di Laurea in Fisica, risulta vincente per affrontare un'analisi interdisciplinare di sistemi complessi, con la versatilità necessaria ad utilizzare al meglio le tecnologie e le conoscenze in rapida evoluzione.

Vengono affrontate le metodologie tipiche dell'indagine scientifica sulla natura, sia con lezioni teoriche sia con laboratori di misura e di calcolo.

Il terzo anno prevede il completamento della formazione di base nell'ambito della Fisica moderna e insegnamenti caratterizzanti a scelta in diversi settori della Fisica, tra cui la Fisica Teorica, la Fisica delle Particelle elementari, l'Astrofisica, la Biofisica e Fisica Medica, la Fisica dei Plasmi, la Fisica dello Stato Solido, l'Elettronica e la Fisica Ambientale.

Nell'ambito di questi settori lo studente può scegliere di svolgere un tirocinio formativo, da effettuarsi presso uno dei gruppi di ricerca presenti nel Dipartimento di Fisica o in altri Dipartimenti dell'Ateneo, spesso in collaborazione con Centri di Ricerca nazionali ed internazionali ed industrie ad alta tecnologia.

È inoltre possibile, nell'ambito del Programma Settoriale Erasmus/LLP (LifeLong Learning Programme), concorrere a borse di studio, di durata compresa tra tre e dodici mesi, presso Università Europee, al fine di approfondire particolari temi di studio con il pieno riconoscimento delle conoscenze acquisite (per informazioni: [international.office@unimib.it](mailto:international.office@unimib.it)).

La Laurea in Fisica consente di accedere alla Laurea Magistrale in Fisica ed alla Laurea Magistrale in Astrofisica e Fisica dello Spazio attivate presso questo Ateneo.

## **I CORSI DI LAUREA MAGISTRALE**

I corsi di Laurea Magistrale in Fisica e Laurea Magistrale in Astrofisica e Fisica dello Spazio completano la formazione del fisico, iniziata con la Laurea in Fisica, sviluppando i metodi e approfondendo i contenuti scientifici generali. Forniscono inoltre solide competenze professionali specifiche al Percorso scelto dallo studente. In particolare nel corso del biennio attraverso i corsi, la frequenza dei Laboratori e soprattutto nell'anno di preparazione della Tesi di Laurea, lo studente acquisirà sia padronanza di metodi e contenuti scientifici avanzati sia capacità indispensabili per assumere ruoli di responsabilità nella ricerca, nello sviluppo di tecnologie innovative, nella progettazione e gestione di strumentazione complessa.

## PRE-CORSI E ATTIVITÀ DI SUPPORTO ALLA DIDATTICA PER STUDENTI IN INGRESSO 2018

La Scuola di Scienze organizza ogni anno numerose attività di supporto alla didattica specificatamente dedicate alla matematica di base e alla metodologia dell'apprendimento rivolte agli studenti in ingresso ai Corsi di Laurea di area scientifica. Tutte le informazioni utili (calendari, modalità di iscrizione ai corsi se previste, materiale didattico) sono disponibili sul sito della Scuola di Scienze [www.scienze.unimib.it](http://www.scienze.unimib.it)

A) Attività di supporto alla didattica in modalità e-learning

### Richiami di Matematica 2018 – EDIZIONE ESTIVA

Il corso, gestito dal Dipartimento di Matematica e Applicazioni, viene erogato nella sola modalità e-learning durante il periodo estivo e si propone di richiamare alcuni degli argomenti principali del programma di matematica delle scuole superiori, anche in previsione delle prove di accesso. L'assistenza on-line sarà disponibile a partire dalla seconda metà del mese di luglio 2018 fino a tutto il mese di settembre 2018. Gli studenti interessati si possono registrare e utilizzare il materiale didattico per esercitarsi collegandosi al **SITO** <https://open.elearning.unimib.it/course/view.php?id=2>

### Strumenti didattici di supporto ON-LINE:

Al seguente indirizzo

<https://wims.matapp.unimib.it/precorsi.php>

è reperibile ulteriore materiale didattico on-line creato nell'ambito del Piano Nazionale Lauree Scientifiche

L'accesso al sito è libero per tutti gli utenti ma necessita di una registrazione.

B) Attività di supporto alla didattica in aula

### Pre- Corsi di Matematica

I Pre-Corsi di Matematica si svolgeranno dal **18 settembre al 28 settembre 2018**.

**Si tratta di corsi intensivi di Matematica di base fortemente consigliati a tutti gli studenti di area scientifica in ingresso:**

- come preparazione agli insegnamenti di Matematica del I anno
- come utile ripasso della Matematica di base
- per colmare eventuali lacune evidenziate dal mancato superamento della prova di valutazione della preparazione iniziale o della sezione di matematica di base nelle prove di ammissione ai Corsi di Laurea a numero programmato.

Il corso è ad accesso libero e gratuito. Non è necessaria l'iscrizione, ma per motivi organizzativi e didattici occorre attenersi ai calendari e alle suddivisioni per gruppi di studio che verranno pubblicati prima dell'inizio delle lezioni nella pagina web del sito della Scuola di Scienze [www.scienze.unimib.it](http://www.scienze.unimib.it).

### Metodologia dell'apprendimento

La Scuola di Scienze, in collaborazione con la Fondazione RUI, organizza prima dell'inizio delle lezioni istituzionali, un **Corso di Metodologia dell'apprendimento**. Il corso, della durata di una settimana circa, si svolgerà da **lunedì 24 a giovedì 28 settembre 2018** ed è finalizzato a rafforzare capacità e tecniche di studio, di

programmazione e di preparazione agli esami. A questi argomenti si affiancano lezioni dedicate alla gestione della “paura da esame”, a come affrontare le prove scritte, a dove ottenere informazioni didattiche o amministrative, a come ottimizzare i tempi tra studio personale e frequenza delle lezioni in aula e laboratorio.

Sono previsti due turni che si svolgeranno uno al mattino dalle 9.30 alle 12.30 e uno nel pomeriggio dalle 13.30 alle 17.30 al fine di consentire a tutti gli studenti di frequentare tutte le attività di supporto alla didattica per gli studenti in ingresso.

La partecipazione è gratuita e non necessita di iscrizione, occorre tuttavia attenersi ai calendari e alla suddivisione per gruppi di studenti che verranno pubblicati prima dell’inizio delle lezioni nella pagina web del sito della Scuola di Scienze [www.scienze.unimib.it](http://www.scienze.unimib.it).

### **Richiami di Matematica 2018/19 – EDIZIONE AUTUNNALE**

La Scuola offrirà, nel primo semestre, con **inizio a metà ottobre 2018 e termine a gennaio 2019**, un corso di “Richiami di Matematica” consigliato sia a coloro che non hanno superato la prova di Valutazione della Preparazione Iniziale (VPI), sia a coloro che non hanno superato la sezione di Matematica di base nelle prove di ammissione ai Corsi di Laurea a numero programmato, secondo le modalità definite nei bandi specifici, sia a coloro che sentissero la necessità di consolidare le basi matematiche acquisite nella scuola superiore. Tale corso ha la duplice finalità di fornire un aiuto nel campo specifico della Matematica e di servire come cerniera di raccordo tra la metodologia di apprendimento liceale e quella a livello universitario.

Il Corso prevede sia attività in aula, in presenza di un tutor, sia attività individuali in modalità e-learning e si concluderà a gennaio 2019 con una prova finale.

Il superamento di tale esame permette di compensare il mancato superamento della prova di Valutazione della Preparazione Iniziale (VPI) per i corsi di studio ad accesso libero, oppure della sezione di Matematica di base nelle prove di accesso per i Corsi di studio a numero programmato. **Per eventuali ulteriori regole di propedeuticità si deve far riferimento al Regolamento Didattico di ciascun corso di studio.**

**Attenzione:** La partecipazione al corso è gratuita, ma per poter svolgere i quiz on-line è necessario **iscriversi al corso, tramite registrazione obbligatoria sul sito**

<http://elearning.unimib.it>

## Prova di Verifica della Preparazione Iniziale (VPI) e modalità di immatricolazione

Gli studenti che intendono immatricolarsi al Corso di laurea in Fisica, ad accesso libero, devono sostenere una prova di Verifica della Preparazione Iniziale (VPI). Tale prova è adottata a livello nazionale e ha la funzione di verificare se la preparazione acquisita durante il percorso scolastico sia adeguata al corso di laurea prescelto, fornendo anche uno strumento di auto-valutazione per permettere agli studenti di migliorare la propria preparazione di base e di inserirsi nel percorso universitario. La prova è basata su test online (TOLC-S) erogati da CISIA (Consorzio Interuniversitario Sistemi Integrati per l'Accesso) in accordo con la Conferenza di Scienze (Con.Scienze).

**Il test TOLC-S deve essere sostenuto obbligatoriamente PRIMA dell'immatricolazione al corso di laurea, pena l'annullamento d'ufficio dell'immatricolazione stessa.** È comunque possibile immatricolarsi anche in caso di non superamento del test.

## Date e luoghi di svolgimento della prova (TOLC-S) e termini di iscrizione

Il test TOLC-S può essere sostenuto in una qualsiasi delle sedi universitarie aderenti al TOLC. Il calendario con le date previste è accessibile dal portale CISIA – [www.cisiaonline.it/](http://www.cisiaonline.it/). Di seguito sono riportate le date di svolgimento del Test presso l'Università degli Studi di Milano-Bicocca e i periodi di iscrizione:

Date della prova	Inizio iscrizioni	Scadenza iscrizioni
3 settembre 2018 (pomeriggio)	23 luglio 2018	Alle ore 14.00 del 28 agosto 2018
17 settembre 2018 (mattino e, se necessario, di pomeriggio)	Una volta esauriti i posti disponibili per il 3 settembre 2018	Alle ore 14.00 del 11 settembre 2018

In base al regolamento CISIA gli studenti possono iscriversi ad una sola sessione nello stesso mese.

Sulla ricevuta di avvenuto pagamento e iscrizione al test TOLC-S di CISIA sono indicati l'orario e il luogo presso cui il test si svolgerà.

## Norme per lo svolgimento della prova

L'iscrizione alla prova (TOLC-S) si effettua dal **portale CISIA** (<http://www.cisiaonline.it/>). Attraverso le credenziali rilasciate dopo la registrazione è possibile accedere alla propria area personale e iscriversi alla prova selezionando la tipologia di TOLC (TOLC-S per il Corso di laurea in Fisica dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca) e la sede presso la quale si intende sostenere la prova. Le sedi e le date sono pubblicate sul portale CISIA.

Per l'iscrizione al test è richiesto un contributo spese di 30,00 euro, non rimborsabile, da corrispondere al CISIA tramite carta di credito o MAV bancario. Il MAV deve essere pagato entro la data di scadenza riportata sul MAV stesso.

L'avvenuto pagamento del contributo di iscrizione dà diritto ad effettuare il TOLC-S nella sede e nella data prescelta. Lo studente riceverà una e-mail, all'indirizzo fornito al momento della registrazione, dell'avvenuto pagamento e della corretta iscrizione. Entrando nella propria area personale, potrà stampare il certificato di

iscrizione e la ricevuta di avvenuto pagamento. Tale ricevuta consentirà l'ingresso in aula per sostenere la prova. **Non è in alcun modo possibile sostenere la prova in un giorno diverso da quello prescelto in fase di iscrizione.**

Il giorno previsto per lo svolgimento del test, i candidati devono presentarsi almeno 30 minuti prima dell'inizio della prova presso la sede e l'aula attribuiti dal CISIA e riportati nella ricevuta di iscrizione e avvenuto pagamento. I candidati devono presentarsi con:

- un documento di identità in corso di validità, preferibilmente quello indicato in fase di iscrizione alla prova;
- la ricevuta di iscrizione al TOLC-S.

Per informazioni dettagliate sui TOLC, sulle modalità di iscrizione e di partecipazione alle prove si veda il Regolamento di utilizzo del TOLC da parte degli studenti pubblicato sul sito del CISIA alla seguente pagina: <http://www.cisiaonline.it/area-tematica-tolc-cisia/regolamenti/>

**Si raccomanda** di prestare particolare attenzione all'inserimento dei dati anagrafici sul portale CISIA. I dati devono coincidere con quelli che saranno inseriti all'atto dell'immatricolazione al corso di laurea in Fisica sul sito internet dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca: <http://www.unimib.it/segreterieonline>

### Test TOLC-S e criteri di valutazione

Il TOLC-S, generato dal sistema informativo CISIA, è articolato in 5 sezioni tematiche: Matematica di base, Ragionamento e Problemi, Comprensione del testo, Scienze di base e Inglese per un totale di 80 quesiti. La durata complessiva del test, che si svolge su personal computer, è di 125 minuti. Di seguito vengono indicati il numero di quesiti previsto per ciascuna sezione e il tempo di svolgimento:

Sezioni tematiche	N. quesiti	Minuti
Matematica di base	20	50
Ragionamento e Problemi	10	20
Comprensione del testo	10	20
Scienze di base	10	20
Inglese	30	15

Per ogni quesito sono proposte cinque possibili risposte delle quali una sola è corretta.

Per la valutazione della prova si tiene conto dei seguenti criteri:

- 1 punto per ogni risposta esatta
- 0 punti per ogni risposta non data
- -0,25 per ogni risposta errata

La sezione relativa alla conoscenza della lingua inglese non prevede penalizzazioni per le risposte sbagliate. Al termine della prova lo studente ha la possibilità immediata di visualizzare il punteggio per ogni sezione. La visualizzazione a video dei risultati conferma l'avvenuto salvataggio con successo dei dati e delle risposte scelte dallo studente. Lo studente all'interno della propria area personale sul portale CISIA può stampare l'attestato di partecipazione al TOLC-S contenente i risultati della prova.

Per il corso di laurea in Fisica dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca **la prova s'intende superata se la somma dei punteggi ottenuti nelle sezioni "Matematica di base" e "Ragionamenti e problemi" è almeno pari a 12.**

**Gli studenti che NON superassero la prova, possono comunque immatricolarsi** al Corso di laurea in Fisica, ma devono dimostrare di aver colmato le lacune superando l'esame finale del corso di "*Richiami di Matematica*" che si terrà nel periodo ottobre 2018-gennaio 2019 (Vedi "Pre-corsi e attività di supporto alla didattica per gli studenti in ingresso 2018/19" alla pagina [http://www.scienze.unimib.it/?page\\_id=243](http://www.scienze.unimib.it/?page_id=243)).

A chi non supererà l'esame del corso di "Richiami di Matematica" sarà fatto obbligo di superare l'esame di "Analisi matematica I – E3001Q033 – 12 CFU, previsto al primo anno del Regolamento didattico del Corso di laurea, A.A. 2018/2019, per poter sostenere gli esami degli anni successivi.

### **Esonero dalla prova**

Sono esonerati dal sostenimento della prova gli studenti che:

- hanno già sostenuto il test VPI (test online CISIA o Con.Sienze) presso questo o altro Ateneo, anche in anni precedenti;
- hanno sostenuto il test di ammissione del Politecnico di Milano;
- hanno già conseguito una laurea;
- si trasferiscono da altro Ateneo o da altro Corso di laurea dell'Università di Milano-Bicocca.

Ai fini dell'esonero, lo studente all'atto dell'immatricolazione dovrà dichiarare di trovarsi in una delle condizioni di cui sopra.

L'esonero sarà subordinato alle opportune verifiche da parte dell'Ufficio gestione carriere del Settore Scienze MM.FF.NN.

**N.B.:** Tutti coloro che hanno sostenuto il test di con.Sienze (negli anni 2012 e seguenti) devono premunirsi del Codice Identificativo Attestato che verrà loro chiesto di inserire al momento dell'immatricolazione presso l'Università degli Studi di Milano-Bicocca. Tale codice è recuperabile accedendo al sito del Cineca "Lauree Scientifiche" (<https://laureescientifiche.cineca.it/>).

### **Studenti con disabilità (DIS) o con Disturbi Specifici dell'Apprendimento (DSA)**

Gli studenti, all'atto della registrazione all'area TOLC del portale CISIA, possono dichiarare di essere portatori di disabilità (*invalidità civile o certificato di handicap*) o con disturbi specifici dell'apprendimento (DSA). Lo studente indicherà la sede o le sedi presso le quali andrà a svolgere la prova e provvede a trasmettere alla stessa, attraverso un apposito form di caricamento documentale fornito dal CISIA, le attestazioni e le certificazioni necessarie.

La procedura è descritta all'art. 8 del "Regolamento di utilizzo del TOLC da parte degli studenti" del CISIA accessibile dal portale CISIA – [www.cisiaonline.it/](http://www.cisiaonline.it/).

All'atto vero e proprio di iscrizione al test TOLC-S, ovvero al momento della prenotazione, la sede universitaria interessata gestirà i contatti con i candidati per le esigenze specifiche.

#### **La certificazione di disabilità deve essere:**

- o rilasciata dall'INPS, ai sensi della legge n. 118 del 30 marzo 1971 (invalidità civile);
- o rilasciata dalla struttura sanitaria pubblica competente per il territorio, ai sensi della legge n. 104/92 e successive modificazioni (certificato di handicap).

#### **La diagnosi di DSA deve:**

- rispondere ai criteri della Consensus Conference (2011);
- riportare i codici nosografici, la dicitura esplicita del DSA in oggetto, contenere le informazioni necessarie per comprendere le caratteristiche individuali con le indicazioni delle aree di forza e debolezza.

Deve inoltre essere stata rilasciata da strutture del SSN o da enti o professionisti accreditati dalle Regioni e da non più di 3 anni se eseguita prima della maggiore età del candidato (art. 3 L. n. 170/2010 e successivo Accordo Stato-Regioni del 24/07/2012).

Entro massimo il giorno precedente la data della prova, i candidati ricevono una e-mail dal Servizio per gli studenti con disabilità e con DSA d'Ateneo all'indirizzo di posta elettronica comunicato, con la conferma dei servizi attivati e tutte le informazioni logistico-organizzative.

Nel caso di accompagnamento e/o affiancamento la comunicazione contiene anche l'indicazione del luogo nel quale incontrarsi con il personale preposto.

Gli utenti sono tenuti a comunicare l'eventuale annullamento del/i servizio/i di accompagnamento e/o affiancamento inviando comunicazione scritta all'indirizzo [servizi.disabili.dsa@unimib.it](mailto:servizi.disabili.dsa@unimib.it).

## Immatricolazione al Corso di laurea

Per l'immatricolazione al Corso di laurea in Fisica sono richiesti due requisiti:

- a) essere in possesso di un titolo di Diploma, di durata quinquennale, rilasciato da un istituto di istruzione secondaria superiore di ordinamento italiano.

I titoli di studio esteri, conseguiti al termine di un periodo scolastico pari ad almeno 12 anni, sono validi per l'accesso ai corsi di laurea ed ai corsi di laurea magistrale a ciclo unico presso le Università italiane, purché consentano l'accesso, presso le Università del Paese al cui ordinamento si riferiscono, ad un corso analogo a quello italiano.

- b) Aver sostenuto il TOLC-S, qualunque sia stato l'esito, o essere nelle condizioni di esonero (Vedi sopra).

**Il test TOLC-S deve essere sostenuto obbligatoriamente PRIMA dell'immatricolazione al corso, pena l'annullamento d'ufficio dell'immatricolazione stessa.**

L'immatricolazione al corso di laurea si effettua on line, tramite il servizio Segreteriaonline, disponibile sul sito internet dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca, all'indirizzo <http://www.unimib.it/segreteriaonline> dal **16 luglio 2018 al 1 ottobre 2018**.

Lo studente, se accede al sistema per la prima volta, deve effettuare la registrazione dei dati anagrafici, selezionando, nell'Area Riservata, la voce "Registrazione", seguendo la procedura indicata.

I dati richiesti per la registrazione sono: codice fiscale, dati anagrafici, indirizzi di residenza e di domicilio, recapiti telefonici ed e-mail (necessaria per ricevere eventuali comunicazioni).

La registrazione può essere effettuata una sola volta. Al termine della registrazione, il nome utente assegnato dal sistema e la password personale scelta consentono di eseguire l'operazione di login per l'immatricolazione.

Per recuperare la password consultare la pagina <http://www.unimib.it/recuperapassword>.

Effettuato il login, nell'area "Registrato" bisogna selezionare la voce "Immatricolazione web", e proseguire seguendo le indicazioni.

Nel corso dell'immatricolazione è richiesto:

- 1) l'inserimento della scansione di un documento di identità in corso di validità;
- 2) l'inserimento di una fototessera in formato elettronico, che sarà stampata sul badge universitario. È necessario inserire una foto per documenti, in formato bitmap o jpeg con una risoluzione di almeno 300x400 pixel. Perché la foto sia valida deve ritrarre esclusivamente il viso su sfondo chiaro.

Si consiglia pertanto di preparare tutta la documentazione necessaria prima di procedere.

Gli studenti devono selezionare la categoria amministrativa di appartenenza, scegliendo fra le seguenti opzioni: Cittadini Italiani, Europei o Extra-UE legalmente soggiornanti in Italia: categoria di riferimento per cittadini italiani, cittadini dell'UE, cittadini di Norvegia, Islanda, Liechtenstein, Svizzera, Repubblica di S. Marino e Santa Sede, nonché di tutti i cittadini Extra-UE legalmente soggiornanti in Italia (ai sensi dell'art. 26 L.189 del 30/7/2002).

Marco Polo: è la categoria degli studenti di cittadinanza cinese aderenti al programma Marco Polo che entrano in Italia con un visto d'ingresso per studio, a condizione che risultino iscritti a un corso preparatorio di lingua e cultura italiana, da svolgersi interamente in Italia, nonché pre-iscritti a un Ateneo italiano per la frequenza di un corso universitario.

Cittadini Extra-UE (richiedenti visto): è la categoria degli studenti extra UE che richiedono un visto d'ingresso in Italia per studio.

Gli studenti devono indicare il titolo di diploma come conseguito e inserire la votazione.

Gli studenti in possesso di titolo straniero di istruzione secondaria devono inoltre attenersi alle disposizioni indicate di seguito.

## **Studenti in possesso di titolo straniero di istruzione secondaria**

I candidati in possesso di titolo straniero di istruzione secondaria devono effettuare, all'atto dell'immatricolazione, l'upload (in un file unico) in Segreterieonline della seguente documentazione:

- 1) titolo finale degli studi secondari, conseguito con almeno 12 anni di scolarità, oppure il certificato sostitutivo a tutti gli effetti di legge;
- 2) certificato attestante il superamento della prova di idoneità accademica, eventualmente prevista per l'accesso all'Università del Paese di provenienza (es. Selectividad in Spagna, Matura Shtetërore in Albania; Prova de Aferição o Prova Geral de Acesso ao Ensino Superior in Portogallo; Veveossi Prosvassis in Grecia; Vestibular in Brasile; Gao Kao in Cina; YGS e LYS in Turchia, esame psicométrico in Israele);
- 3) certificato attestante gli studi accademici parziali già compiuti oppure il certificato di titolo di studi post-secondari conseguito in un Istituto superiore non universitario, qualora il titolo di studi secondari sia stato conseguito con meno di 12 anni di scolarità (es. il sistema scolastico peruviano, che prevede 11 anni di scolarità, deve essere integrato da 1 anno di iscrizione universitaria con il superamento di tutti gli esami previsti);
- 4) traduzione dei documenti ai punti 1-2-3 in italiano o inglese, nel caso in cui tali documenti siano emessi in una lingua diversa da italiano, inglese, francese, spagnolo;
- 5) Dichiarazione di Valore "in loco", rilasciata dalla Rappresentanza diplomatica italiana nel Paese al cui ordinamento didattico si riferisce il titolo stesso, o attestato CIMEA, se disponibili. Il documento è necessario ai fini della conversione del voto finale del titolo di studio secondario nel corrispondente voto del sistema di istruzione italiano. Qualora il documento non venga inserito in Segreterieonline o non sia possibile rilevare dallo stesso il voto e la scala di valori in cui è espresso, al candidato sarà attribuita d'ufficio la votazione minima di diploma. In caso di mancato upload il candidato è obbligato a consegnarlo presso l'Ufficio Stranieri "Welcome desk" entro il termine di 45 giorni dall'immatricolazione, pena l'apposizione di un blocco amministrativo della carriera fino al 31 gennaio 2019. Se entro tale data lo studente non ha ancora regolato la sua posizione si procede d'ufficio all'annullamento dell'immatricolazione.

**Gli studenti europei** possono inserire in Segreterieonline un'autocertificazione, in lingua italiana o inglese, in sostituzione dei documenti richiesti ai punti 1-2-3. I cittadini di Stati non appartenenti all'Unione Europea regolarmente soggiornanti in Italia possono autocertificare, in lingua italiana o inglese, solamente stati, fatti e qualità personali certificabili o attestabili da parte di soggetti pubblici italiani.

Ulteriori requisiti di accesso per i possessori di diplomi stranieri possono essere stabiliti dal MIUR e sono consultabili sul sito <http://www.studiare-in-italia.it/studentistranieri/> (a titolo di esempio, si consultino le norme relative ai titoli statunitensi di high school, ai titoli britannici e ai titoli greci).

## **Candidati cittadini extra-UE (richiedenti visto) e candidati del progetto Marco Polo**

- I candidati cittadini extra-UE residenti all'estero (richiedenti visto) devono superare la prova di conoscenza della lingua italiana. La prova si svolge **il 31 agosto 2018, alle ore 10.00**, presso la sala riunioni T010, Edificio U1, piano terra, Piazza della Scienza, 1. Per i dettagli sulla prova consultare il sito d'Ateneo, <https://www.unimib.it/internazionalizzazione/informazioni-studenti-stranieri>.

Tali candidati, all'atto dell'immatricolazione, devono effettuare l'upload della documentazione relativa al titolo di studio straniero, e consegnare la domanda di preiscrizione all'Università italiana, vidimata dall'Ambasciata, presso lo sportello "Welcome desk", Edificio U17, Piazzetta Difesa per le Donne, 20126 Milano, entro la data prevista per la prova di conoscenza della lingua italiana (31 agosto 2018).

**N.B.:** I candidati cittadini extra-UE devono obbligatoriamente svolgere il test TOLC-S, prima dell'immatricolazione al corso di laurea, pena l'annullamento d'ufficio dell'immatricolazione stessa.

- I candidati cittadini cinesi del Progetto Marco Polo, all'atto dell'immatricolazione, devono effettuare l'upload della documentazione relativa al titolo di studio conseguito all'estero, e consegnare la domanda di pre-iscrizione all'università italiana, vidimata dall'Ambasciata, e il certificato di conoscenza della lingua italiana di livello non inferiore al B1, entro **il 31 agosto 2018**, presso lo sportello "Welcome desk", Edificio U17, Piazzetta Difesa per le Donne, 20126 Milano.

**N.B.: I candidati cittadini cinesi del Progetto Marco Polo devono obbligatoriamente svolgere il test TOLC-S Prima dell'immatricolazione al corso di laurea, pena l'annullamento d'ufficio dell'immatricolazione stessa.**

## **Avvertenze**

La domanda di immatricolazione è da considerarsi a tutti gli effetti di legge come autocertificazione, ai sensi dell'art. 46 del D.P.R. 445/2000.

Gli studenti sono i soli responsabili del corretto inserimento dei dati richiesti dalla procedura di immatricolazione e sono pertanto tenuti a controllarne l'esattezza. L'Università degli Studi di Milano-Bicocca si riserva di effettuare le opportune verifiche sulle dichiarazioni rese.

Se a seguito del controllo emerge la non veridicità delle dichiarazioni effettuate, si procede all'annullamento d'ufficio dell'immatricolazione (art. 21-nonies L. 241/90), fermo restando le sanzioni previste dal codice penale e dalle leggi in materia (artt. 75 e 76 D.P.R. 445/2000).

## **Informativa sul trattamento dei dati personali**

I dati saranno trattati ai sensi del Decreto Legislativo n.196 del 2003 (Codice in materia di protezione dei dati personali) e sue successive modifiche e integrazioni, nonché del Regolamento UE 2016/679 (Regolamento Generale sulla Protezione dei dati o, più brevemente, GDPR). È possibile prendere visione della informativa al seguente link <https://www.unimib.it/servizi/segreteria/informativa-privacy>

## **Contatti**

**Ufficio gestione carriere**, Settore Scienze MM.FF.NN. (Edificio U17 - Piazzetta Difesa per le Donne, 20126 Milano):

lunedì: ore 13.45 - 15.45;

mercoledì e venerdì: ore 09.00 - 12.00.

E-mail:

[segr.studenti.scienze@unimib.it](mailto:segr.studenti.scienze@unimib.it).

**Ufficio Stranieri** (sportello "Welcome desk", Edificio U17, Piazzetta Difesa per le Donne, 20126 Milano)

Per l'orario di ricevimento si rimanda al sito:

<https://www.unimib.it/internazionalizzazione/informazioni-studenti-stranieri>

E-mail: [welcome.desk@unimib.it](mailto:welcome.desk@unimib.it)

**Servizio per gli studenti con disabilità e con DSA** (Edificio U6 – Piazza dell'Ateneo Nuovo 1, 20126 Milano):

dal lunedì al venerdì: ore 09.00-12.00 e 14.00-16.00

Tel.: 02/6448.6986 (attivo dal lunedì al venerdì dalle 09.00 alle 12.00 e dalle 14.00 alle

17.00) E-mail: [info.disabili.dsa@unimib.it](mailto:info.disabili.dsa@unimib.it)

## **ISCRIZIONE PART-TIME**

In alternativa all'iscrizione a tempo pieno, lo studente può effettuare un'iscrizione part-time secondo le modalità definite nell'art.9 Del Regolamento studenti disponibili alla pagina:

<https://www.unimib.it/sites/default/files/Statuto%20e%20Regolamenti/Regolamenti%20Studenti/Regolamento%20Studenti%202015.pdf>

## **Riconoscimento CFU e modalità di trasferimento**

Il riconoscimento dei CFU acquisiti in attività formative svolte presso altri corsi di Laurea di questo o di altro Ateneo (senza limiti di CFU coinvolti) è soggetto all'approvazione del CCD di Scienze e Tecnologie Fisiche e dello Spazio su proposta della Commissione Piani di Studi da esso nominata.

Secondo quanto previsto dall'articolo 5, comma 7 del decreto ministeriale del 22 ottobre 2004, n. 270, le conoscenze e le abilità professionali certificate individualmente, nonché le altre conoscenze e abilità maturate in attività pregresse possono essere riconosciute per un massimo di 40 CFU.

Informazioni di dettaglio sono reperibili sul sito della didattica del Corso in Fisica.

Iscrizione ad anni successivi al primo

Per quanto riguarda le iscrizioni ad anni successivi al primo si rimanda alla pagina web:

<https://www.unimib.it/servizi/segreterie/rinnova-liscrizione>

## **Orari delle lezioni**

### ***I e II anno***

*Le lezioni del primo semestre si svolgeranno nel periodo 01 ottobre 2018 – 25 gennaio 2019*

*Le lezioni del secondo semestre si svolgeranno nel periodo 04 marzo 2019 – 21 giugno 2019*

### ***III anno***

*Le lezioni del primo semestre si svolgeranno nel periodo 24 settembre 2018 – 18 gennaio 2019*

*Le lezioni del secondo semestre si svolgeranno nel periodo 18 febbraio 2019 – 07 giugno 2019*

*Gli orari delle lezioni verranno pubblicati entro i primi di settembre sul sito*

<http://orariolezioni.didattica.unimib.it/Orario/>

## **Programmi degli insegnamenti**

La guida dello studente contenente i programmi dei singoli insegnamenti ed altre informazioni utili sull'organizzazione dell'attività didattica verrà pubblicata entro il mese di settembre sul sito del Corso di Laurea.

## **Altre attività formative a scelta**

Sono riservati 12 CFU ad attività formative a scelta dello studente (art. 10 comma 5 lettera a) purché coerenti con il percorso formativo. Lo studente potrà scegliere tra tutte le attività formative offerte nei differenti Corsi di laurea triennale dell'Ateneo, o di altro ateneo con cui siano intercorsi particolari accordi o convenzioni. Lo studente potrà anche scegliere di integrare le attività di preparazione della prova finale.

## **Tirocini formativi e stage**

Tirocini e/o stage sono previsti, tra le attività a libera scelta dello studente.

I risultati del tirocinio/stage saranno valutati sulla base della presentazione e discussione di una breve relazione scritta sull'attività svolta.

## **Lingua straniera**

È richiesta l'acquisizione di crediti in una lingua dell'Unione Europea, diversa dall'Italiano, corrispondenti ad almeno 3 CFU. L'acquisizione dei crediti avviene in seguito ad una prova conoscenza della lingua. Si consiglia la scelta della lingua inglese che prevede una prova di conoscenza comune a tutti i Corsi di Laurea dell'Ateneo. La prova di verifica della conoscenza linguistica può essere sostituita dalla presentazione di certificati di riconosciuta validità internazionale.

In conformità con la delibera del Senato Accademico del 3 luglio 2006, i crediti previsti per la lingua straniera devono essere acquisiti prima di sostenere gli esami del secondo e del terzo anno.

## **Ulteriori abilità informatiche**

Il corso di studi prevede 3 CFU per “ulteriori abilità informatiche e telematiche”. La verifica dell’acquisizione di tali competenze è prevista nel corso del terzo anno contestualmente all’esame di profitto di Laboratorio del III anno.

## **Esami**

Gli esami di profitto possono essere scritti e/o orali. Gli insegnamenti di laboratorio possono comprendere anche verifiche pratiche.

I docenti possono prevedere, eventualmente, prove successive, anche scritte, da concludersi comunque con un controllo finale.

## **Presentazione piano degli studi**

Il piano di studio è l’insieme delle attività formative obbligatorie, delle attività previste come opzionali e delle attività formative scelte autonomamente dallo studente in coerenza con il regolamento didattico del corso di studio. Allo studente viene attribuito un piano di studi all’atto dell’iscrizione al primo anno, che costituisce il piano di studi statutario. Successivamente lo studente deve presentare un proprio piano di studi con l’indicazione delle attività opzionali e di quelle a scelta. Il piano di studi è approvato dal Consiglio di Coordinamento Didattico di Fisica e Astrofisica. Le modalità e le scadenze di presentazione del piano sono definite dall’ Ateneo. Il diritto dello studente di sostenere prove di verifica relative a un’attività formativa è subordinato alla presenza dell’attività stessa nell’ultimo piano di studi approvato.

Per quanto non previsto si rinvia al regolamento d’Ateneo per gli studenti.

## **Prova finale**

Per essere ammesso alla prova finale, lo studente deve aver acquisito almeno 174 CFU.

I crediti associati alla preparazione della prova finale, pari a 6 CFU, vengono riconosciuti al superamento di questa. La corrispondenza tra l’ultimo piano di studi approvato e i crediti effettivamente conseguiti è condizione per l’ammissione alla prova finale.

La prova finale per il conseguimento del titolo di studio prevede le seguenti alternative, con l’obiettivo di verificare il lavoro svolto e le capacità di comunicare del candidato:

- se lo studente ha effettuato un tirocinio formativo e/o di orientamento (stage), la prova finale consiste nella presentazione e discussione orale di una breve relazione scritta concernente l’esperienza del tirocinio;
- se lo studente non ha effettuato un tirocinio formativo e di orientamento, la prova finale consiste nella presentazione e discussione orale di una breve relazione scritta di approfondimento personale di un argomento affrontato nell’ambito di una disciplina studiata.

La prova finale è volta anche alla verifica del conseguimento degli obiettivi formativi.

## **Altre informazioni:**

Sede del Corso: Dipartimento di Fisica, piazza della Scienza 3, 20126 Milano, Italia

Presidente del Consiglio di Coordinamento Didattico di Fisica e Astrofisica:

Prof.ssa Maddalena Collini

Referente didattico del corso: Prof Francesco Terranova

Altri docenti di riferimento:

- Presidente della commissione didattica: Prof. Alberto Zaffaroni

Segreteria didattica: [ccl.fisica@unimib.it](mailto:ccl.fisica@unimib.it)

URL del corso di laurea: <https://www.fisica.unimib.it/it/didattica/corsi-studio/corso-laurea-triennale-fisica>

**Biblioteca:**

Indirizzo: Piazza della Scienza , 3 – 20126 Milano; Edificio U2 1° piano

Sito: [www.biblio.unimib.it](http://www.biblio.unimib.it)

E-mail: [biblioteca@unimib.it](mailto:biblioteca@unimib.it)

Apertura: dal lunedì al venerdì dalle 9.00 alle 18.30

## Schema degli insegnamenti

### I Anno - 2018/2019

Insegnamento	moduli	CFU	SSD	ambito	sem.
Analisi matematica I	Analisi matematica I	12	MAT/05	base	I
Algebra lineare e geometria	Algebra lineare e geometria	8	MAT/03	affini	I
Fisica I	Fisica I Fisica I - I modulo Fisica I - II modulo	16 8 8	FIS/01	base	annuale
Laboratorio I	Laboratorio I	8	FIS/01	base	II
Chimica	Chimica	6	CHIM/03	base	II
Laboratorio di Informatica	Laboratorio di Informatica	4	INF/01	affini	II
Lingua straniera		3		altre	
I anno CFU per ambito					
base		42			
caratterizzanti		0			
affini		12			
altre attività		3			
<b>TOTALE</b>		<b>57</b>			

**II Anno - 2019/2020**

Insegnamento	moduli	CFU	SSD	ambito	sem.
Analisi Matematica II	Analisi matematica II	12	MAT/05	base	I
Meccanica Classica	Meccanica classica	8	MAT/07	base	I
Fisica II	Fisica II I modulo	8	FIS/01	caratt.	I
	Fisica II II modulo	6	FIS/01	caratt.	II
Fisica III	Fisica III	6	FIS/01	base	II
Laboratorio II	Laboratorio II I modulo	6	FIS/01	caratt.	I
	Laboratorio II II modulo	6	FIS/01	caratt.	II
Matematica per la Fisica	Matematica per la fisica	8	FIS/02	caratt.	II
II anno CFU per ambito					
base		26			
caratterizzanti		34			
affini		0			
altre attività		0			
<b>TOTALE</b>		<b>60</b>			

### III Anno - 2020/2021

Insegnamento	moduli	CFU	SSD	ambito	sem.
Meccanica Quantistica		12	FIS/02	caratt.	I
Struttura della Materia		8	FIS/03	caratt.	I
Fisica Nucleare e Subnucleare		8	FIS/04	caratt.	II
A scelta tra Esperimentazioni di Astrofisica Esperimentazioni di Plasmi Esperimentazioni di Biofisica Esperimentazioni di Fisica dei Solidi Esperimentazioni di Fisica Nucleare e Subnucleare Esperimentazioni di Fisica Computazionale		8	FIS/05 FIS/03 FIS/07 FIS/03 FIS/04  FIS/02	affine	II
Insegnamento a scelta tra Elementi di Elettronica Laboratorio di Elettronica Elementi di Astrofisica Relatività Elementi di Fisica Medica e Ambientale Elementi di Biofotonica		6	ING-INF/01  ING-INF/01  FIS/05 FIS/02  FIS/04 FIS/07	affini	I-II
Abilità Informatiche e Telematiche		3		altre	
A libera scelta dello studente		12		altre	
Preparazione prova finale		6		altre	
III anno CFU per ambito					
base		0			
caratterizzanti		28			
affini		14			
altre attività		21			
<b>TOTALE</b>		<b>63</b>			

Indice dei programmi dei corsi offerti:	Pag.
<b>Algebra Lineare e Geometria</b>	<b>18</b>
<b>Analisi Matematica I</b>	<b>20</b>
<b>Analisi Matematica II</b>	<b>24</b>
<b>Chimica</b>	<b>26</b>
<b>Elementi di Astrofisica</b>	<b>28</b>
<b>Elementi di Biofotonica</b>	<b>29</b>
<b>Elementi di Elettronica</b>	<b>31</b>
<b>Elementi di Fisica Medica ed Ambientale</b>	<b>32</b>
<b>Relatività</b>	<b>34</b>
<b>Esperimentazioni di Astrofisica</b>	<b>36</b>
<b>Esperimentazioni di Biofisica</b>	<b>37</b>
<b>Esperimentazioni di Fisica Computazionale</b>	<b>38</b>
<b>Esperimentazioni di Fisica dei Solidi</b>	<b>39</b>
<b>Esperimentazioni di Fisica Nucleare e Subnucleare</b>	<b>40</b>
<b>Esperimentazioni di Plasmi</b>	<b>41</b>
<b>Fisica I</b>	<b>43</b>
<b>Fisica II</b>	<b>44</b>
<b>Fisica III</b>	<b>46</b>
<b>Fisica Nucleare e Subnucleare</b>	<b>49</b>
<b>Laboratorio I</b>	<b>50</b>
<b>Laboratorio II</b>	<b>51</b>
<b>Laboratorio di Elettronica</b>	<b>53</b>
<b>Laboratorio di Informatica</b>	<b>55</b>
<b>Matematica per la Fisica</b>	<b>56</b>
<b>Meccanica Classica</b>	<b>58</b>
<b>Meccanica Quantistica</b>	<b>60</b>
<b>Struttura della Materia</b>	<b>62</b>

## **ALGEBRA LINEARE E GEOMETRIA**

**8 CFU**

**Docente:** Francesca Dalla Volta - Brivio Sonia - Diego Conti

**Anno di corso:** I°, 1° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontale (6 cfu), esercitazione (2 cfu)

**Tipo esame:** Esame scritto e orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** Il corso intende fornire le nozioni di base di algebra lineare e geometria, fondamentali per una prosecuzione degli studi in Matematica e Fisica.

**Contenuti:** Spazi vettoriali; applicazioni lineari e sistemi di equazioni lineari.  
Geometria Affine: sottospazi affini e loro rappresentazioni cartesiane e parametriche.  
Matrici e determinanti. Autovalori, autovettori e diagonalizzazione di endomorfismi  
Prodotti scalari. Teorema spettrale. Teorema di Sylvester

**Prerequisiti:** Una buona conoscenza della matematica della scuola superiore.

**Programma:**

Calcolo matriciale.

Sistemi di equazioni lineari.

Sottospazi affini di  $R^n$  e loro rappresentazioni cartesiane e parametriche. Distanza e perpendicolarità in  $R^n$ .

Spazi vettoriali.

Applicazioni lineari e matrice associata.

Determinante.

Autovalori, autovettori, polinomio caratteristico, diagonalizzabilità, Teorema di Hamilton-Cayley

Prodotti scalari e hermitiani; teorema di Sylvester.

Operatori autoaggiunti, ortogonali, unitari.

Teorema spettrale.

**Testo di riferimento del corso:**

S. Lang, Algebra Lineare, ed. italiana, “ III Edizione, Bollati Boringhieri, anno 2014”.

Ulteriori testi consigliati:

M. Abate, Geometria, McGraw Hill, 2002.

F. Dalla Volta, M. Rigoli, Elementi di Matematica discreta e di Algebra lineare, Pearson Education, 2007.

## **LINEAR ALGEBRA AND GEOMETRY**

**8 CFU**

**Lecturer:** Francesca Dalla Volta – Brivio Sonia – Diego Conti

**Teaching procedure:** Lectures (6 CFU), Exercise classes (2 CFU)

**Examination:** Written and oral examination.

**Mark range:** 18-30/30

**Aims:** This is a first course in linear algebra and geometry, which gives the basis for deeper arguments fundamental in Mathematics and Physics.

**Contents:** Vector spaces and homomorphisms. Linear systems.

Affine geometry.

Matrices and determinants. Eigenvalues and eigenvectors.

Scalar products; Sylvester Theorem

**Prerequisites:** a good knowledge of the mathematics studied in higher school

**Program details:**

Matrix calculus.

Systems of linear equations.

Affine Geometry: subspaces and their equations.

Vector spaces.

Linear maps and matrices.

The determinant.

Eigenvalues, eigenvectors, characteristic polynomial, diagonalization, Hamilton-Cayley Theorem.

Scalar and hermitian products; Sylvester Theorem.

Self-adjoint, orthogonal, unitary operators.

Spectral theorem.

**Textbook:**

S. Lang, Algebra Lineare, ed. italiana, "III Edizione, Bollati Boringhieri, anno 2014".

Further readings:

M. Abate, Geometria, McGraw Hill, 2002.

F. Dalla Volta, M. Rigoli, Elementi di Matematica discreta e di Algebra lineare, Pearson Education, 2007.

## ANALISI MATEMATICA I

12 CFU

**Docente:** Graziano Guerra (turno I) - Simone Secchi (turno II) - Veronica Felli (turno III)

**Contenuti:** Numeri reali e complessi. Funzioni reali di variabile reale: limiti, continuità, calcolo differenziale, calcolo integrale. Successioni e serie numeriche.

**Testi di riferimento:**

E. Giusti. Analisi Matematica I. Bollati Boringhieri.

**Altri testi consigliati:** G. De Marco: Analisi Uno, Zanichelli Decibel.

C. D. Pagani, S. Salsa: Analisi matematica 1, Zanichelli.

**Eserciziari consigliati:**

E. Giusti: Esercizi e complementi di analisi matematica, volume 1, Bollati Boringhieri.

G. De Marco, C. Mariconda: Esercizi di calcolo in una variabile, Zanichelli Decibel.

S. Salsa, A. Squellati: Esercizi di analisi matematica 1, Zanichelli.

E. Acerbi, L. Modica, S. Spagnolo: Problemi scelti di analisi matematica. Vol. 1, Liguori.

**Obiettivi:** L'insegnamento si prefigge come obiettivi l'introduzione dei concetti di base dell'Analisi Matematica moderna per funzioni di una variabile reale e lo sviluppo rigoroso della relativa teoria. Lo scopo del corso è quello di condurre lo studente all'acquisizione e alla padronanza dei contenuti, alla capacità di elaborarne i concetti fondamentali in maniera critica, di risolvere problemi e di applicare i metodi appresi a contesti diversi.

**Prerequisiti:** Algebra, geometria e trigonometria elementari.

**Modalità didattica:** Lezioni (8 cfu), Esercitazioni (4 cfu).

**Periodo semestre:** Primo anno, primo semestre.

**Modalità dell'esame:** Prova scritta e prova teorica/orale.

**Valutazione dell'esame:** Valutazione con voto in trentesimi 18-30/30.

**Programma:**

I numeri naturali. Assiomi di Peano e il principio di induzione matematica. Simboli di sommatoria, produttoria e fattoriale, coefficienti binomiali, sviluppo della potenza  $n$ -esima del binomio (formula del binomio di Newton).

I numeri reali. Campi, campi ordinati e i numeri razionali. Completezza e assioma di continuità. Incompletezza dei numeri razionali. Definizione assiomatica dei numeri reali. Cenni alle sezioni di Dedekind. I numeri naturali come sottoinsieme dei numeri reali. Proprietà archimedeo. Estremo superiore/inferiore e loro proprietà. Esistenza dell'estremo superiore/inferiore. Esistenza e unicità delle radici  $n$ -esime. Rappresentazione binaria e rappresentazione decimale. Parte intera e modulo di un numero reale. Definizione di potenza con esponente naturale, intero, razionale e reale.

I numeri complessi. Definizione, forma algebrica, modulo, complesso coniugato, parte reale e parte immaginaria, disuguaglianza triangolare. Forma trigonometrica ed esponenziale di un numero complesso, prodotto e potenza in forma trigonometrica/esponenziale. Funzione esponenziale ed esponenziale complesso. Radici di un numero complesso. Teorema fondamentale dell'algebra (solo enunciato).

Topologia della retta reale. Definizione di distanza sulla retta reale, intorno, punti interni, esterni e di frontiera. Insiemi aperti e chiusi. Punti di accumulazione e isolati. Densità dei numeri razionali nei numeri reali. Teorema di Bolzano-Weierstrass.

Funzioni. Definizione, dominio, codominio, immagine e controimmagine. Funzioni iniettive, suriettive e biunivoche. Funzione composta, funzione inversa, restrizione. Insiemi numerabili. Numerabilità dei numeri razionali e non numerabilità dei numeri reali. Funzioni reali di variabile reale e loro grafico. Funzioni monotone, estremo superiore e inferiore, massimo e minimo, punti di massimo e di minimo. Funzioni elementari e loro grafici (richiami sulle potenze, esponenziali, logaritmi, funzioni trigonometriche e le loro inverse, valore assoluto, parte intera, parte frazionaria, segno).

Limiti. Definizione di limite, esempi e proprietà: unicità del limite, teorema della permanenza del segno, teorema del confronto (dei due carabinieri). Limite della somma, del prodotto, del rapporto e della funzione composta. Forme indeterminate. Limiti notevoli. Limiti destri e sinistri. Teorema di esistenza del limite per funzioni monotone. Asintotico, simboli di  $o$  piccolo e  $O$  grande. Infiniti, infinitesimi e loro confronto.

Successioni in campo reale. Successioni e limiti di successioni. Limitatezza delle successioni convergenti. Sottosuccessioni. Ogni successione limitata ha una sottosuccessione convergente. Insiemi compatti. Compattezza degli insiemi chiusi e limitati (Heine-Borel). Successioni monotone e definizione del numero  $e$  (costante di Nepero). Criterio di Cauchy, limite inferiore, limite superiore e loro proprietà.

Continuità. Definizione di funzione continua. Continuità della funzione composta. Teorema della permanenza del segno. Teorema degli zeri. Teorema dei valori intermedi. Continuità della funzione inversa. Continuità delle funzioni elementari: potenze, esponenziali, logaritmi, funzioni trigonometriche e funzioni trigonometriche inverse. Teorema ponte. Teorema di Weierstrass. Continuità uniforme. Continuità uniforme di funzioni continue su compatti (Heine-Cantor). Punti di discontinuità. Funzioni Lipschitziane.

Serie. Definizione. Serie convergenti, divergenti e indeterminate. Serie geometrica e serie telescopiche. Condizione necessaria per la convergenza. Serie assolutamente convergenti e criterio della convergenza assoluta. Serie a termini positivi: criterio del confronto e del confronto asintotico, criterio della radice e criterio del rapporto. Serie a termini di segno alterno: criterio di Leibniz.

Calcolo differenziale. Retta tangente al grafico di una funzione. Derivabilità. Derivata destra e sinistra. Punti angolosi, punti a tangente verticale e cuspidi. Continuità delle funzioni derivabili. Regole di derivazione: somma, prodotto, quoziente e derivata della funzione composta. Derivata della funzione inversa. Derivata delle funzioni elementari. Punti di massimo e di minimo, relativi e assoluti. Teoremi di Fermat e di Rolle. Teorema di Lagrange e suoi corollari: le funzioni a derivata nulla su intervalli sono costanti, lipschitzianità delle funzioni a derivata limitata, relazioni tra monotonia di una funzione e segno della sua derivata. Teorema di Cauchy. Teorema di De l'Hôpital. Teorema del limite della derivata. Convessità/concavità di una funzione. Relazione tra il segno della derivata seconda e concavità/convessità di una funzione. Posizione del grafico rispetto alle sue rette tangenti. Punti di flesso. Formule di Taylor e di Maclaurin con resto in forma di Peano ed esempi. Formula di Taylor con resto in forma di Lagrange.

Calcolo integrale. Funzioni a scala (o costanti a tratti o semplici) e integrale di funzioni a scala. Proprietà dell'integrale delle funzioni a scala. Integrale inferiore e integrale superiore su un intervallo limitato. Definizione di integrabilità secondo Riemann. Condizione necessaria e sufficiente per l'integrabilità. Linearità e monotonia (confronto) dell'integrale di Riemann. Integrabilità della parte positiva/negativa e del modulo di una funzione integrabile. Integrabilità della restrizione di una funzione integrabile, integrale su intervalli orientati e additività rispetto al dominio. Integrabilità delle funzioni con un numero finito di punti di discontinuità e delle funzioni monotone. Teorema della media integrale. La funzione integrale. Teorema fondamentale del calcolo. Primitive, integrale indefinito. Integrazione per parti e per sostituzione. Integrazione di funzioni razionali fratte. Integrali impropri.

## MATHEMATICAL ANALYSIS I

12 CFU

**Lecturers:** Graziano Guerra - Simone Secchi - Veronica Felli

**Contents:** Real and complex numbers. One-variable calculus: limits, continuity, differential calculus, integration. Sequences and series.

**References:** Textbook: E. Giusti, *Analisi Matematica I*, Bollati Boringhieri.

**Suggested readings:**

G. De Marco: *Analisi Uno*, Zanichelli Decibel.

C. D. Pagani, S. Salsa: *Analisi matematica 1*, Zanichelli.

**Exercise books:**

E. Giusti: *Esercizi e complementi di analisi matematica*, volume 1, Bollati Boringhieri.

G. De Marco, C. Mariconda: *Esercizi di calcolo in una variabile*, Zanichelli Decibel.

S. Salsa, A. Squellati: *Esercizi di analisi matematica 1*, Zanichelli.

E. Acerbi, L. Modica, S. Spagnolo: *Problemi scelti di analisi matematica*. Vol. 1, Liguori.

**Aims:** After completing this course, students should have developed a theoretical understanding of the fundamental concepts of single variable calculus, critical thinking about the learned basic concepts, ability to solve problems and to apply the learned methods in different contexts.

**Prerequisites:** Elementary algebra, elementary trigonometry, elementary analytic geometry.

**Teaching form:** Lessons (8 CFU), exercise classes (4 CFU).

**Semester:** First semester.

**Examination type:** Written and oral examination

**Mark range:** 18-30/30

**Syllabus:**

Natural numbers. Peano Axioms, Induction Principle, recursive definitions.

Real numbers. Field axioms, order axioms, rational numbers, the completeness axiom, Dedekind cuts.

The Archimedean property of the real-number system. Supremum and infimum of a set, properties of the supremum and the infimum. Existence of roots of nonnegative real numbers. Rational and real powers. Binary and decimal representation of real numbers.

Complex numbers. Definition, algebraic form, modulus, conjugate of a complex number, real part and imaginary part, triangle inequality. Trigonometric and exponential form of a complex number, products and power of complex numbers in trigonometric/exponential form. Complex exponentials. Roots of complex numbers. Fundamental theorem of algebra.

Topology of the Real Numbers. Distance, neighborhoods, interior points, boundary points. Open sets, closed sets. Accumulations points, isolated points. Density of rational numbers in the real numbers. Bolzano–Weierstrass Theorem.

Functions. Definition, domain, codomain, and range. Injective and surjective functions, bijections. Composition of functions, inverse functions, restriction. Countable sets. Countability of rational numbers and uncountability of irrational numbers. Real-valued functions of one real variable, the graph of a function. Monotonic functions, supremum and infimum, maximum and minimum. Elementary functions and their graphs (powers, exponentials, logarithms, trigonometric functions and their inverses, absolute value function, integer part, fractional part, sign function).

Limits. Definitions, examples, properties: uniqueness of the limit, Sign Permanence Theorem, Squeeze Theorem. Limit of sum, product, quotient and composition of functions. Special limits. One-side limits. Limits of monotonic functions. Landau symbols. Comparison of infinitesimals.

Numerical sequences. Limits of sequences. Boundedness of converging sequences. Subsequences. Existence of a convergent subsequence for a bounded sequence. Heine-Borel theorem. Monotonic sequences. The number  $e$ . Cauchy sequences. Upper and lower limits.

Continuity. The definition of continuity of a function. Composite functions and continuity. Sign Permanence Theorem. Bolzano's theorem. The intermediate-value theorem. Continuity of the inverse function. Continuity of elementary functions: powers, exponentials, logarithms, trigonometric

functions and their inverses. Sequential criterion for the continuity of a function. Weierstrass theorem. Uniform continuity. Heine-Cantor theorem. Discontinuities. Lipschitz continuity.

Series. Definition. Convergent series, divergent series. Telescoping series, geometric series. Necessary condition for convergence of series. Absolute convergence. Series of nonnegative terms: comparison test, root test and ratio test. Alternating series: Leibniz's test.

Differential calculus. The derivative of a function. Geometric interpretation of the derivative as a slope. Left-hand and right-hand derivatives. Continuity of differentiable functions. The algebra of derivatives. The chain rule for differentiating composite functions. Derivatives of inverse functions. Derivatives of elementary functions. Extreme values of functions. Fermat's theorem. Rolle's theorem. The mean-value theorem for derivatives and applications. Relation between monotonicity and sign of the derivative. Cauchy's generalized mean value theorem. De l'Hôpital's rule. Convex and concave functions. The sign of the second derivative and the convexity/concavity of a function. Inflection points. Taylor's formula with Peano form of the remainder. Taylor's formula with mean-value form of the remainder.

Integral calculus. Step functions, definition of the integral for step functions. Properties of the integral of a step function. Upper and lower integrals on bounded intervals. Riemann integral. Properties of the Riemann integral (linearity, monotonicity). Integrability of the positive/negative part and of the modulus of an integrable function. Integrability of the restriction of an integrable function, integral over oriented intervals, additivity with respect to the interval of integration. Integrability of monotonic functions and continuous functions. Mean-value theorems for integrals. Fundamental theorem of calculus. Primitive functions, indefinite integral. Integration by parts, change of variable. Integration of rational functions. Improper integrals.

## ANALISI MATEMATICA II

12 CFU

**Docente:** Mauro Garavello – Davide Ferrario

**Anno di corso:** II°, 1° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontale (8 cfu), esercitazione (4 cfu)

**Tipo esame:** scritto e orale

**Contenuti:** Calcolo differenziale in più variabili. Calcolo integrale in più variabili. Curve, superfici, forme differenziali. Successioni e serie di funzioni. Equazioni differenziali ordinarie.

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** L'insegnamento si prefigge come obiettivi l'acquisizione e la padronanza dei contenuti del corso (calcolo differenziale in più variabili, calcolo integrale in più variabili, curve, superfici, forme differenziali, successioni e serie di funzioni, equazioni differenziali ordinarie), la capacità di elaborare i concetti fondamentali del corso in maniera critica, la capacità di risolvere problemi e di applicare i metodi appresi a contesti diversi.

**Prerequisiti:** I corsi di matematica del primo anno.

**Altre informazioni:** Sul sito web: [www.matapp.unimib.it](http://www.matapp.unimib.it) è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

**Programma:**

- Calcolo differenziale in più variabili: derivate direzionali, funzioni differenziabili, differenziabilità di funzioni composte, derivate successive, formula di Taylor, massimi e minimi di funzioni di più variabili.
- Calcolo integrale in più variabili: definizione di integrale, integrabilità di funzioni continue, riduzione di integrali multipli ad integrali semplici successivi, cambio di variabili, coordinate polari nel piano e nello spazio, calcolo di aree e volumi.
- Curve, superfici, forme differenziali: curve e superfici regolari, lunghezza di una curva e area di una superficie, funzioni implicite, massimi e minimi vincolati e moltiplicatori di Lagrange, forme differenziali, forme esatte e chiuse, formule di Gauss-Green e Stokes.
- Successioni e serie di funzioni: spazi metrici e normati, successioni di Cauchy, convergenza puntuale ed uniforme di successioni e serie di funzioni, completezza dello spazio delle funzioni continue con la norma uniforme, passaggio al limite nell'integrazione e derivazione di successioni di funzioni, serie di potenze, serie di Fourier.
- Equazioni differenziali: il problema di Cauchy, riduzione di un'equazione di ordine  $n$  ad un sistema di  $n$  equazioni del primo ordine, teorema delle contrazioni e teorema di esistenza ed unicità di soluzioni di equazioni differenziali, equazioni differenziali lineari, equazioni del primo ordine, a variabili separabili, lineari, esatte. Sistemi lineari. Sistemi lineari a coefficienti costanti, esponenziale di una trasformazione lineare, equazioni differenziali lineari di ordine superiore a coefficienti costanti. Prolungabilità delle soluzioni e loro studio qualitativo. Cenni alla stabilità.

**Testi di riferimento:**

N. Fusco, P. Marcellini, C. Sbordone: Analisi Matematica due, Liguori Editore

Altri testi consigliati:

P. Marcellini, C. Sbordone: Esercitazioni di Matematica, secondo volume, parte prima e seconda

E. Giusti: Analisi matematica 2, Bollati Boringhieri

E. Giusti: Esercizi e complementi di analisi matematica 2, Bollati Boringhieri

G. De Marco: Analisi Due, Zanichelli Decibel

G. De Marco, C. Mariconda: Esercizi di Analisi Due, Zanichelli Decibel

C. D. Pagani, S. Salsa: Analisi matematica 2, Zanichelli

## MATHEMATICAL ANALYSIS 2

12 CFU

**Lecturer:** Mauro Garavello - Davide Ferrario

**Teaching procedure:** lessons (8 credits), classes (4 credits)

**Examination:** written and oral

**Aims:** The course aims at accomplishment of the topics treated (differential calculus in several variables, integral calculus in several variables, curves, surfaces, differential forms, sequences and series of functions, ordinary differential equations), critical thinking of students about the learned basic concepts, ability to solve problems and to apply the learned methods in different contexts.

**Prerequisites:** the knowledge of the contents of the Mathematics courses of the first year will be required.

**Contents:** Differential calculus in several variables, integral calculus in several variables, sequences and series of functions, curves and surfaces, differential forms, ordinary differential equations.

**More information:** informations about the teacher's c.v., telephone number, university room or other workplaces, office hours and e-mail can be found on the website: [www.matapp.unimib.it](http://www.matapp.unimib.it).

### Program details:

- Differential calculus in several variables: partial derivatives, differentiable functions, chain rule, higher order derivatives, Taylor's formula, maxima and minima of functions of several variables.
- Integral calculus in several variables: Lebesgue integral, integrability of continuous functions, evaluation of multiple integrals by repeated lower-dimensional integration, change of variables, polar coordinates in 2 and 3 dimensions, application to area and volume.
- Curves, surfaces, differential forms: curves and surfaces, length of curves, area of surfaces, Implicit Function Theorem, constrained minimization, Lagrange multipliers, differential forms, closed and exact differential forms, Gauss-Green's Theorem, Stokes' Theorem.
- Sequences and series of functions: metric and normed spaces, Cauchy sequences, point-wise and uniform convergence of sequences and series of functions, completeness of the space of continuous functions with the uniform norm, power series, Fourier series.
- Ordinary differential equations: the Cauchy problem, reduction of an equation of order  $n$  to a system of  $n$  equations of the first order, the Banach Contraction Theorem and the existence/uniqueness of solutions to differential equations, linear differential equations, first order equations, separation of variables, linear and exact equations. Linear systems. Linear systems with constant coefficients, the exponential of a linear transformation, linear differential equations of higher order with constant coefficients. Maximal solutions. Qualitative study of solutions. Stability.

### Textbook:

N. Fusco, P. Marcellini, C. Sbordone: *Analisi Matematica due*, Liguori Editore

Further reading:

P. Marcellini, C. Sbordone: *Esercitazioni di Matematica, secondo volume, parte prima e seconda*

E. Giusti: *Analisi matematica 2*, Bollati Boringhieri

E. Giusti: *Esercizi e complementi di analisi matematica 2*, Bollati Boringhieri

G. De Marco: *Analisi Due*, Zanichelli Decibel

G. De Marco, C. Mariconda: *Esercizi di Analisi Due*, Zanichelli Decibel

C. D. Pagani, S. Salsa: *Analisi matematica 2*, Zanichelli

## **CHIMICA**

### **6 CFU**

**Docente:** Massimo Moret – Massimiliano D'Arienzo

**Anno di corso:** I°, 1° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontale (6 cfu)

**Tipo esame:** esame scritto e orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** Il corso si propone di introdurre i fondamenti della chimica e gli strumenti necessari per comprendere a livello introduttivo il legame chimico, la geometria molecolare e la reattività chimica.

**Prerequisiti:** elementi di algebra, calcolo differenziale ed integrale

**Programma:** Miscele, elementi e composti. Massa atomica e molecolare. Formula minima, bruta e molecolare. Nomenclatura dei composti binari. Stechiometria: relazioni ponderali nelle reazioni chimiche. Reagente limitante. Cenni sulla struttura elettronica dell'atomo. Orbitali atomici per l'atomo di idrogeno. Atomi multielettronici. Proprietà atomiche ad andamento periodico. La tavola periodica degli elementi. Legame ionico e covalente. Strutture di Lewis: regola dell'ottetto. Legami multipli e risonanza. Geometria molecolare (metodo VSEPR). Geometria e polarità delle molecole. Orbitali ibridi. Teoria dell'orbitale molecolare per le molecole biatomiche. Forze intermolecolari. Il legame a idrogeno. Solidi ionici, molecolari, covalenti. Liquidi e solvatazione. Le soluzioni.

Diagrammi P-T. Equilibrio chimico: la costante di equilibrio. Composizione di miscele di reazione all'equilibrio. Risposta dell'equilibrio chimico alle perturbazioni. Acidi e basi secondo Brønsted-Lowry. Definizione di pH. Forza di acidi e basi. Calcolo del pH di soluzioni di acidi e basi. Soluzioni tampone. Titolazione acido/base. Equilibri di solubilità. Prodotto di solubilità di sali poco solubili. Effetto dello ione comune. Reazioni di precipitazione.

**Testo di riferimento del corso:**

P. Atkins, L. Jones "Fondamenti di Chimica Generale"

## **CHEMISTRY**

**6 CFU**

**Lecturer:** Massimo Moret – Massimiliano D'Arienzo

**Teaching procedure:** lessons (6 credits)

**Examination:** written and oral examination

**Aims:** Introduction to fundamental concepts of chemistry and atomic nature of matter including stoichiometry, chemical bonding, molecular geometry and chemical reactions.

**Prerequisites:** basics of algebra and calculus.

**Program details:** Mixtures, elements and compounds. Chemical formulas and equations. Naming inorganic binary compounds. Stoichiometry: atomic weight, mol, molar weight. Yield of a chemical reaction. Electronic structure of atoms. Atomic orbitals for the hydrogen atom. Many-electron atoms. Atomic properties and periodicity. The periodic system of elements. The ionic and covalent bond. Lewis structures and octet rule. Multiple bonds and resonance. Hybrid orbitals. Molecular orbital theory. Molecular geometry (VSEPR model) and polarity of molecules. Intermolecular forces. The hydrogen bond. Ionic, molecular and covalent solids. Liquids and solvation. Exo- and endothermal processes. P-T phase diagrams. Chemical equilibria. The equilibrium constant of a chemical reaction: composition at equilibrium. Response to external perturbations. Brønsted-Lowry theory of acids and bases. Strengths of acids and bases. pH of acids and bases. Buffer solutions. Acid/base titrations. Solubility equilibria: the solubility product.

**Textbook:**

P. Atkins, L. Jones "Chemical principles - The quest for insight"

## **ELEMENTI DI ASTROFISICA**

**6 CFU**

**Docente:** Massimo Dotti – Mario Zannoni

**Anno di corso:** III°, 1° semestre

**Tipologia didattica:** Lezione frontale (6 cfu)

**Tipo esame:** Scritto

**Tipo di valutazione:** Voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** Introdurre gli studenti alle problematiche relative all'astrofisica moderna con particolare riferimento alla astrofisica stellare, extragalattica e alla cosmologia.

**Prerequisiti:** meccanica classica, elettromagnetismo

**Programma:**

Tecniche osservative. - Cenni di evoluzione stellare. - Oggetti collassati: nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri. - La Via Lattea, struttura. - Le galassie: morfologia e dinamica. - La scala delle distanze cosmiche e gli strumenti concettuali per la loro misura. - Evidenze osservative del modello di Big Bang. - Introduzione alla radiazione cosmica di fondo.

## **ELEMENTS OF ASTROPHYSICS**

**6 CFU**

**Lecturer:** Massimo Dotti – Mario Zannoni

**Teaching procedure:** Lessons (6cfu)

**Examination:** Written test

**Aims:** Introduction to modern astrophysics, focusing on stellar and extragalactic astrophysics and cosmology

**Prerequisites:** classical mechanics, electromagnetism

**Program details:**

Observational techniques. - Introduction to stellar evolution. - Compact objects: white dwarves, neutron stars and black holes. - The Milky Way, structure. - Galaxies: morphology and dynamics. – The cosmological distance ladder. - Observational evidences of the Big Bang model. - Introduction to the cosmic microwave background.

**Textbook:**

Dan Maoz: Astrophysics in a nutshell. Ed.Princeton university press.

## **ELEMENTI DI BIOFOTONICA**

**6 CFU**

**Docente:** Maddalena Collini – Giuseppe Chirico

**Anno di corso:** III° anno, 1° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontale

**Tipo esame:** Orale

**Tipo di valutazione:** Voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** Fornire elementi di base sulla fotonica nell'intervallo visibile-infrarosso e sulle sue applicazioni in campo medico e biofisico.

**Prerequisiti:** i corsi di Fisica dei primi due anni della Laurea Triennale in Fisica

**Programma:** I protagonisti: proteine, acidi nucleici, cellule, cromofori, farmaci. Strutture e interazioni. Le regole del gioco: Energia libera di Gibbs e Helmholtz. Potenziale chimico e legge di azione di massa. Energia di legame. Grafico di Scatchard. Effetti di cooperatività. Il processo di unfolding.

Episodi:

- Spettroscopia di assorbimento. Legge di Beer-Lambert. Coefficienti di assorbimento ed emissione.
- Spettroscopia di fluorescenza di emissione ed eccitazione.
- Dicroismo circolare.
- La diffusione dinamica di luce.
- Microscopia ottica confocale e con eccitazione a due fotoni.
- Nanoparticelle multifunzionali per applicazioni biomediche: interazione con la radiazione, meccanismi di targeting e internalizzazione cellulare, effetti termici in campo medico.

**Testo di riferimento del corso:**

1. Webb, Andrew; "Introduction to biomedical imaging"
2. Cantor, Charles R.; Schimmel, Paul R.; "Biophysical chemistry" [Compende: The conformation of biological macromolecules 1 Techniques for the study of biological structure and function 2 The behavior of biological macromolecules 3]

# INTRODUCTION TO BIOPHOTONICS

6 CFU

**Lecturer:** Maddalena Collini – Giuseppe Chirico

**Teaching procedure:** Lessons

**Examination:** Oral

**Aims:** The course provides the basic principles of photonics applied to biophysics and medical physics with examples in the field of optical microscopy.

**Prerequisites:** Physics courses of the first two years of the Laurea Triennale.

**Program details:**

The characters: proteins, nucleic acids, cells, chromophores, nanomaterials. Their structure and interactions.

Basic rules: Gibbs and Helmholtz free energy. Chemical potential and law of mass action. Binding energy and kinetics. Cooperative binding. The unfolding process.

Episodes:

- Absorption spectroscopy. Beer-Lambert's law. Absorption and emission coefficients.
- Fluorescence spectroscopy: steady state and time resolved.
- Circular dichroism .
- Quasi elastic light scattering.
- Confocal and two-photon excitation optical microscopy.
- Multifunctional nanoparticles for biomedical applications: interaction with light, mechanisms of cellular targeting and uptake, thermal effects in the medical field.

**Textbook:**

1. Webb, Andrew; "Introduction to biomedical imaging"

2. Cantor, Charles R.; Schimmel, Paul R.; "Biophysical chemistry" [Comprising: The conformation of biological macromolecules 1 Techniques for the study of biological structure and function 2 The behavior of biological macromolecules 3]

## **ELEMENTI DI ELETTRONICA**

**6 CFU**

**Docente:** Andrea Baschiroto

**Anno di corso:** III°, 1° semestre

**Tipologia didattica:** Lezione frontale (3cfu), Esercitazione (3 cfu)

**Tipo esame:** Prova scritta e/o orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** Far acquisire allo studente le nozioni di base di elettronica analogica concernenti il funzionamento di dispositivi elettronici, la loro polarizzazione e l'elaborazione del segnale.

**Prerequisiti:** Principali Nozioni di Fisica di base classica: Elettricità e Magnetismo

### **Programma:**

Teoria delle reti. Il diodo a semiconduttore: Polarizzazione del diodo. Uso del diodo per grandi segnali. Circuito equivalente per piccoli segnali. Il Transistor MOS: Funzionamento del transistor MOS. La polarizzazione del transistor MOS. Il circuito equivalente per piccolo segnale. Stadi di guadagno con un transistor. L'amplificatore operazionale. Circuiti con l'amplificatore operazionale. Semplici circuiti di elaborazione analogica del segnale (preamplificatore di carica, etc.....). Esercitazioni di simulazioni al calcolatore.

### **Testo di riferimento del corso:**

Sedra, Smith, "Microelectronics circuits"

Dispense del corso

## **ELEMENTS OF ELECTRONICS**

**6 CFU**

**Lecturer:** Andrea Baschiroto

**Teaching procedure:** Lessons (3 credits), Classes (3 credits)

**Examination:** oral

**Aims:** The course provides the basic principles of analog electronics, concerning electronics device operations, bias condition, and signal processing.

**Prerequisites:** Notions of fundamental Physics: Electricity and Magnetism

### **Program details:**

Electrical network theory. Semiconductor diode, Bias. Use of the diode for large signals. Small signal equivalent circuit. MOS Transistor. Operations, bias point, small signal equivalent circuit, gain stage with a transistor. Operational amplifier: circuit with an operational amplifier. Simple circuits of analog signal processing (charge preamplifier, shaper, etc.....). Experiments with CAD software.

### **Textbook:**

Sedra, Smith, "Microelectronics circuits"

Material of the course

## **ELEMENTI DI FISICA MEDICA ED AMBIENTALE**

**6 CFU**

**Docente:** Angelo Nucciotti

**Anno di corso:** III°, 2° semestre

**Tipologia didattica:** lezioni frontali (6 cfu)

**Tipo esame:** orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** Impartire le conoscenze di base relative agli effetti biologici e sanitari degli agenti fisici presenti nell'ambiente esterno, nell'ambiente lavorativo e nelle pratiche mediche.

**Prerequisiti:** I contenuti dei corsi di fisica e di laboratorio dei primi due anni.

### **Programma:**

Introduzione alla radioattività: decadimento radioattivo, raggi cosmici, radioattività naturale e artificiale.

Introduzione alle interazioni della radiazione ionizzante con la materia: elettroni e particelle pesanti, fotoni, neutroni.

Protezionistica Ambientale: effetti biologici della radiazione ionizzante, grandezze radioprotezionistiche, radioprotezione lavoratori e popolazione, dosimetria, esempi di calcolo della dose, applicazioni radioattività, macchine radiogene e schermature, rivelatori per dosimetria.

Cenni di Medicina Nucleare (imaging con radionuclidi e radioterapia) e Diagnostica per Immagini (NMR e imaging con raggi X).

Altri agenti fisici (radiazioni non ionizzanti e rumore acustico): caratterizzazione, effetti biologici, legislazione e misura.

### **Testo di riferimento del corso:**

N J Carron, "An Introduction to the Passage of Energetic Particles through Matter", Taylor and Francis

J. E. Martin, "Physics for Radiation Protection", Wiley

J.R. Greening, "Fundamentals of Radiation Dosimetry", Adam Hilger

Johns Cunningham, "The Physics of Radiology", Charles Thomas Publisher

Frank Herbert Attix, "Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry", Wiley

Webb A. "Introduction to biomedical imaging". Wiley, 2003

**ELEMENTS OF ENVIRONMENTAL AND MEDICAL  
PHYSICS  
6 CFU**

**Lecturer:** Angelo Nucciotti

**Teaching procedure:** lessons, 6 credits

**Examination:** oral

**Aims:** Provide the basic knowledge about the physical agents present in the external environment, in the working places and in the medical practices.

**Prerequisites:** Physics and laboratory courses of the first two years

**Program details:**

Introduction to Radioactivity: radioactive decay, cosmic rays, natural and artificial radioactivity.

Introduction to the interactions of radiation with matter: electrons and heavy charged particles, photons, neutrons.

Environmental protection: biological effects of radiation, radiation protection quantities, radiation protection for workers and the population, dosimetry, dose calculation examples, applications of radioactivity, x-ray production and shielding, detectors for dosimetry.

Introduction to Nuclear Medicine (imaging with radionuclides and radiotherapy) and Medical Imaging (MRI e X-ray imaging).

Other physical agents (non-ionizing radiation and acoustical noise): characterization, biological effects, legislation, measurement.

**Textbook:**

Frank Herbert Attix, "Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry"

N J Carron, "An Introduction to the Passage of Energetic Particles through Matter", Taylor and Francis

J. E. Martin, "Physics for Radiation Protection", Wiley

J.R. Greening, "Fundamentals of Radiation Dosimetry", Adam Hilger

Johns Cunningham, "The Physics of Radiology", Charles Thomas Publisher

Frank Herbert Attix, "Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry", Wiley

Webb A. Introduction to biomedical imaging. Wiley, 2003

## ELEMENTI DI FISICA TEORICA

6 CFU

**Docente:** Oleari Carlo

**Anno di corso:** III°, 1° semestre

**Tipologia didattica:** Lezione frontale (6 cfu)

**Tipo esame:** Scritto

**Obiettivi:** Studi approfonditi della relatività ristretta, delle sue conseguenze, dei suoi apparenti paradossi. Formulazione covariante delle leggi della dinamica e dell'elettromagnetismo (equazioni di Maxwell). Formalismo Lagrangiano e introduzione alla teoria classica dei campi, prerequisito fondamentale per la teoria quantistica dei campi. Derivazione dell'equazione di Dirac, punto di non ritorno della fusione tra meccanica quantistica e relatività ristretta.

**Contenuti:** La relatività ristretta di Einstein. Formulazione covariante della dinamica relativistica e dell'elettrodinamica classica. Formalismo lagrangiano relativisticamente invariante. Teoria classica dei campi: campi scalari, vettoriali e spinoriali.

**Prerequisiti:** Meccanica classica, elettrodinamica classica, analisi matematica (integrali, equazioni differenziali, delta di Dirac).

**Altre informazioni:** La pagina web di riferimento del corso è la pagina personale del docente: <http://virgilio.mib.infn.it/~oleari>

### **Programma:**

-Richiami delle basi della relatività ristretta. Sistemi inerziali, conseguenze dell'invarianza della velocità della luce. Trasformazioni di Lorentz. Conseguenze delle trasformazioni di Lorentz e loro verifiche sperimentali. Discussione dei "paradossi" più famosi. Composizione relativistica delle velocità, aberrazione della luce, effetto Doppler relativistico

-Equazioni di Maxwell, potenziali vettore e scalare, invarianza di gauge. Notazione compatta per grandezze vettoriali e derivate in tre dimensioni.

-Il gruppo di Lorentz e i suoi generatori, algebra del gruppo di Lorentz. Classificazione delle trasformazioni di Lorentz e loro proprietà generali. Tetra-vettori e tensori covarianti e controvarianti. Invarianti relativistici. Il tensore metrico.

-La tetra-velocità, la tetra-accelerazione e il tetra-momento. La relazione di Einstein tra energia e massa. Conservazione dei tetra-momenti per arbitrari processi di urto.

-Composizione di boost di Lorentz in direzioni non parallele. La precessione di Thomas.

-Dinamica di una particella in moto relativistico.

-Equazioni di Maxwell in forma covariante, trasformazioni di gauge, correnti conservate. Il tensore  $F_{\mu\nu}$ . Leggi di trasformazione dei campi elettrici e magneti in arbitrari sistemi inerziali.

-Interazione di campi elettromagnetici con cariche, forza di Lorentz, studio di moti di particelle cariche in campi elettrici e magnetici costanti e uniformi.

-Moto di una particella carica con spin in un campo elettromagnetico. Equazione di Bargmann-Michel-Telegdi. Interazione spin-orbit di un elettrone in un campo centrale.

-Il principio di minima azione e formulazione lagrangiana delle equazioni del moto relativistiche.

-Teoria classica dei campi. Campi scalari ed equazione di Klein-Gordon per campi reali e complessi. Campi vettoriali: la Lagrangiana dell'elettrodinamica in interazione con correnti.

-Il tensore energia-impulso per campi elettromagnetici liberi ed in interazione. Teorema della Nöther.

-Rappresentazioni irriducibili, finito-dimensionali, non equivalenti, proiettive del gruppo proprio di Lorentz. Campi spinoriali di Weyl e Dirac. Lagrangiana per campi liberi ed in interazione. L'equazione di Dirac e la previsione del rapporto giromagnetico dell'elettrone.

### **Testo di riferimento del corso:**

Classical Electrodynamics, J.D. Jackson

Spacetime Physics, E.F. Taylor e J.A. Wheeler

The Classical Theory of Fields (Volume 2), L.D. Landau e E.M. Lifshits

Gravitation and Cosmology, S. Weinberg

## ELEMENTS OF THEORETICAL PHYSICS

6 CFU

**Lecturer:** Oleari Carlo

**Teaching procedure:** Lessons (6 cfu)

**Examination:** Written examination

**Aims:** Detailed studies of Einstein special relativity, of its consequences, of its apparent paradoxes. Covariant formulation of the laws of the dynamics and of the electromagnetism (Maxwell equations). Lagrangian formalism and introduction to the classical theory of fields, fundamental prerequisite for quantum-field-theory studies. Derivation of the Dirac equation, point of no return of the fusion between quantum mechanics and special relativity.

**Contents:** Einstein special relativity. Covariant formulation of relativistic dynamics and of the classical electromagnetism. Relativistically-invariant Lagrangian formalism. The classical theory of fields: scalar, vector and spinor fields.

**Prerequisites:** Classical mechanics, classical electrodynamics, mathematical analysis (integrals, differential equations, Dirac delta)

### Syllabus:

-Bases of special relativity. Inertial frames, consequences of the invariance of the speed of light, Lorentz transformations. Consequences of the Lorentz transformations and their experimental checks. Discussion of the most famous “paradoxes”.

Composition of speeds, aberration of light, the relativistic Doppler effect.

-Maxwell equations, scalar and vector potentials, gauge invariance. Compact notation for vectors and derivatives in three dimensions.

-The Lorentz group and its generators, the algebra of the Lorentz group. Classification of the Lorentz transformations and their general properties. Covariant and contravariant four-vectors and tensors. Relativistic invariants. The metric tensor.

-The four-velocity, four-acceleration and four-momentum. The Einstein relation between energy and mass. Four-momentum conservation law for arbitrary scattering processes.

-Compositions of boosts along non-parallel directions. Thomas precession.

-Relativistic dynamics of the motion of a particle

-Covariant form of the Maxwell equations, gauge transformations, conserved currents. The  $F_{\mu\nu}$  tensor. The transformation laws of electric and magnetic fields in arbitrary inertial frames.

-Interaction of electromagnetic fields with charges, the Lorentz force, motion of charged particles in constant and uniform electric and magnetic fields.

-Motion of a charged particle with spin in an electromagnetic field. The Bargmann-Michel-Telegdi equation. Spin-orbit interaction of an electron in a central field.

-The “least action” principle and Lagrangian formulation of the relativistic equations of motion.

-The classical theory of fields. Scalar fields and Klein-Gordon equation for real and complex fields. Vector fields: the Lagrangian for electrodynamics and charges.

-The energy-momentum tensor for free or interacting electromagnetic fields. The Nöther theorem.

-The irreducible, finite-dimensional, non-equivalent, projective representations of the proper Lorentz group. Weyl and Dirac spinor fields. The Lagrangian for free and interacting spinor fields. The Dirac equation and the gyromagnetic ratio of the electron.

### Textbook:

Classical Electrodynamics, J.D. Jackson

Spacetime Physics, E.F. Taylor e J.A. Wheeler

The Classical Theory of Fields (Volume 2), L.D. Landau e E.M. Lifshits

Gravitation and Cosmology, S. Weinberg

## ESPERIMENTAZIONI DI ASTROFISICA

8 CFU

**Docente:** Massimo Gervasi – Mario Zannoni

**Anno di corso:** III°, 2° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontale (2 cfu), laboratorio (6 cfu)

**Tipo esame:** relazione scritta, colloquio orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** introdurre gli elementi della progettazione di algoritmi e strutture dati e della programmazione, con esempi in C.

**Prerequisiti:** nessuno

### **Programma:**

Lezioni frontali:

vengono sinteticamente descritte le tecniche e la strumentazione utilizzate nelle osservazioni astrofisiche a diverse frequenze, con particolare attenzione a quanto verrà utilizzato nel laboratorio. Ovvero: antenne, telescopi e ottiche; rivelatori; tecniche fotometriche e spettroscopiche; tecniche di estrazione del segnale.

Laboratorio:

gli studenti effettueranno osservazioni di sorgenti celesti: Sole, Luna, Galassia, Radiazione Cosmica a Microonde, Raggi Cosmici.

Le misure comprenderanno: caratterizzazione di rivelatori; calibrazione del segnale osservato; misura di foregrounds.

### **Testo di riferimento del corso:**

M. Gervasi: Appunti delle lezioni.

## ASTROPHYSICS LABORATORY

8 CFU

**Lecturer:** Massimo Gervasi – Mario Zannoni

**Teaching procedure:** lessons (2 credits), laboratory (6 credits)

**Examination:** written report on measurements, oral examination.

**Aims:** introduce instrumentation and techniques for Astrophysics; allow students to have the first experience in sources observation and signal calibration.

**Prerequisites:** physics and laboratory courses of previous semesters.

### **Program details:**

Lessons:

techniques and instrumentation used in astrophysics are described for the several spectral bands, with particular attention to what will be used during the laboratory activity. The following items are studied: antennas, telescopes, optics; detectors; photometric and spectroscopic techniques; noise reduction techniques.

Laboratory measurements:

students are involved into observations of sky sources: Sun, Moon, Galaxy, Cosmic Microwave Background, Cosmic Rays. Measurements will include: detector characterisation; calibration of observed signals; foregrounds subtraction.

### **Textbook:**

M. Gervasi: slides of the lectures

## ESPERIMENTAZIONI DI BIOFISICA

8 CFU

**Docente:** Laura Sironi

**Anno di corso:** III°, 2° semestre

**Tipologia didattica:** laboratorio (6cfu), esercitazione (2cfu)

**Tipo esame:** orale con relazione scritta

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** lo studente apprenderà l'uso di tecniche spettroscopiche di base per la caratterizzazione di biomolecole.

**Prerequisiti:** nozioni di elettromagnetismo classico, ottica, elementi di biofisica

**Programma:**

Spettroscopia di assorbimento e di fluorescenza di biomolecole e fluorofori.

Determinazione della struttura secondaria di proteine e studio del processo di folding-unfolding mediante tecniche ottiche (dicroismo circolare, fluorescenza e spettroscopia infrarossa).

Studio dell'interazione fra biomolecole e piccoli ligandi mediante fluorescenza.

Misura della dimensione di proteine e dello stato di aggregazione di nanoparticelle d'oro mediante diffusione quasi elastica di luce.

Studio degli effetti di ipertermia di nanoparticelle metalliche prodotti da luce laser infrarossa e visualizzati mediante l'uso di una termocamera.

Uso di un microscopio confocale a fluorescenza per acquisire immagini di cellule e tessuti biologici: analisi delle immagini, misura della risoluzione ottica del sistema.

**Testo di riferimento del corso:**

Cantor and Schimmel "Biophysical Chemistry"

## BIOPHYSICS LABORATORY

8 CFU

**Lecturer:** Laura Sironi

**Teaching procedure:** laboratory (6 cfu), classes (2 cfu)

**Examination:** oral with written report

**Aims:** the laboratory will be focused on the characterization of biomolecules through spectroscopic techniques

**Prerequisites:** notions of classical electromagnetism, optics, elements of biophysics

**Program details:**

Absorbance and fluorescence spectroscopy of biomolecules and fluorophores.

Evaluation of the secondary structure of proteins and study of the folding-unfolding processes through optical techniques (circular dichroism, fluorescence and infrared spectroscopy).

Study of biomolecules-small ligands interactions through fluorescence techniques.

Estimate of the proteins dimension and the aggregation state of gold nanoparticles by means of quasi-elastic light scattering.

Hyperthermic effect induced on metallic nanoparticles by an infrared laser and its measurement through a thermal camera.

Fluorescence confocal microscopy applied to image acquisition of cells and biological tissues: image analysis, measurement of the optical resolution of the system.

**Textbook:**

Cantor and Schimmel "Biophysical Chemistry"

## ESPERIMENTAZIONI DI FISICA COMPUTAZIONALE

8 CFU

**Docente:** Claudio Destri

**Anno di corso:** III°, insegnamento annuale

**Tipologia didattica:** lezione frontale (16 ore), laboratorio (72 ore)

**Tipo esame:** relazione scritta ed esame orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** Imparare a studiare problemi di Fisica al computer con MATLAB.

**Prerequisiti:** Insegnamenti degli anni precedenti e nozioni base di Meccanica Classica e Meccanica Quantistica

**Programma:**

Prima parte: metodi computazionali di base con MATLAB:

introduzione, sistemi di equazioni lineari, interpolazione, zeri e radici, minimiquadrati, integrazione numerica, equazioni differenziali ordinarie, trasformazione discreta di Fourier (FFT), numeri pseudorandom, autovalori e autovettori, equazioni differenziali alle derivate parziali.

Seconda parte: approfondimenti:

Metodi Monte Carlo. catene di Markov, cammini aleatori su grafi e nel continuo, moto Browniano, campionamento di importanza.

Metodi simplettici di tipo operator splitting per la dinamica classica e l'equazione di Liouville.

Metodo spettrale operator splitting+FFT per l'equazione di Schroedinger.

**Testo di riferimento del corso:**

Numerical computing with MATLAB, Chris Moler, The Mathworks

Note da alcune lezioni frontali

## LABORATORY COMPUTATIONAL PHYSICS

8 CFU

**Lecturer:** Claudio Destri

**Teaching procedure:** lessons (2 credits), laboratory (6 credits)

**Examination:** written report and oral exam

**Mark range:** 18-30/30

**Aims:** Learning how to study physical problems on the computer with MATLAB

**Prerequisites:** Teachings of previous years and basic knowledge of Classical and Quantum Mechanics

**Syllabus:**

Part 1: basic computational methods with MATLAB:

introduction, systems of linear equations, interpolation, zeros and roots, leastsquares, numerical integration, ordinary differential equations, Fast Fourier Transform (FFT), pseudorandom numbers, eigenvalues and eigenvectors. Partial differential equations.

Part 2: further developments:

Monte Carlo methods, Markov chains, random walks on graphs and on the continuum, Brownian motion, importance sampling.

Operator splitting symplectic methods for classical dynamics and Liouville equation.

Operator splitting + FFT spectral method for the Schroedinger equation.

**Textbook:**

Numerical computing with MATLAB, Chris Moler, The Mathworks

Lecture notes

## ESPERIMENTAZIONI DI FISICA DEI SOLIDI

8 CFU

**Docente:** Maurizio Acciarri

**Anno di corso:** III°, 2° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontale (3 cfu), attività di laboratorio (5 cfu)

**Tipo esame:** valutazione della relazione scritta delle esperienze eseguita.

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** presentare alcune tecniche di caratterizzazione per la fisica dello stato solido.

**Prerequisiti:** contenuti dei corsi di fisica ed i laboratori di fisica dei precedenti semestri

### **Programma:**

il corso consiste in una serie di esperienze di laboratorio mirate alla caratterizzazione elettrica ed ottica di semiconduttori (conducibilità ed effetto Hall, caratteristiche della giunzione p-n, assorbimento e conversione fotovoltaica dell'energia luminosa, determinazione del tempo di vita dei portatori di carica minoritari).

L'attività di laboratorio sarà preceduta da un ciclo di lezioni (3cfu) in cui saranno introdotte le diverse esperienze.

### **Testo di riferimento del corso:**

C. Kittel: "Introduzione alla Fisica dello Stato Solido", Bollati Boringhieri

Mario Guzzi: "Principi di fisica dei semiconduttori", Editore Ulrico Hoepli (Milano, 2004)

## SOLID STATE LABORATORY

8 CFU

**Lecturer:** Maurizio Acciarri

**Teaching procedure:** lessons (3 credits), laboratory (5 credits)

**Examination:** written report

**Aims:** the aim of the course is to present different techniques for the study of the solid state physic.

**Prerequisites:** physics courses and physics laboratories of the previous semesters

### **Program details:**

the course is composed by laboratory experiences addressed to the electrical and optical characterization of semiconductor (conductivity and Hall effect, p-n junction characterization, absorption and photovoltaic conversion of the light).

Frontal lessons will precede the laboratory activity for an introduction of the experiments.

### **Textbook:**

C. Kittel: "Introduzione alla Fisica dello Stato Solido", Bollati Boringhieri

Mario Guzzi: "Principi di fisica dei semiconduttori", Editore Ulrico Hoepli (Milano, 2004)

## **ESPERIMENTAZIONI DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE**

**8 CFU**

**Docente:** Silvia Capelli

**Anno di corso:** III°, 2° semestre

**Tipologia didattica:** attività di laboratorio anticipate da alcune lezioni introduttive frontali (8 cfu)

**Tipo esame:** Relazione scritta sull'esperienza svolta in laboratorio e orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** strumenti, metodi e tecniche di laboratorio per le misure di nucleare e subnucleare con applicazioni di fisica delle particelle, analisi ambientali e diagnostica medica.

**Prerequisiti:** nessuno

### **Programma:**

Introduzione alla rivelazione di particelle: rivelatori di particelle, trattamento del segnale, acquisizione ed analisi dati.

Spettroscopia alfa, beta e gamma: ottimizzazione, taratura e caratterizzazione di rivelatori a stato solido; misure di attività; misure di relazioni energia/percorso e di ionizzazione specifica di particelle alfa; misure di assorbimento della radiazione gamma e misure di correlazioni in energia, angolo e tempo nei decadimenti nucleari.

Caratterizzazione della radiazione cosmica al suolo usando scintillatori plastici e tecniche di coincidenza/anticoincidenza/veto.

### **Testo di riferimento del corso:**

G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement"

## **LABORATORY OF NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS**

**8 CFU**

**Lecturer:** Silvia Capelli

**Teaching procedure:** laboratory activities with some introductory lessons (8 cfu)

**Examination:** Written report for the experiment done during the laboratory classes and oral

**Aims:** education to the use of nuclear instruments and methods with applications in particle physics, in environmental analysis and medical diagnostics.

**Prerequisites:** none

### **Program details:**

Introduction to particle detection: particle detectors and signal processing, data acquisition and data analysis. Alpha, beta and gamma spectroscopy: optimisation, calibration and characterization of solid state detectors; measurements of activities; measurements of the range-energy curve and of the specific ionisation of alpha particles; measurements of gamma rays absorption and measurements of energy, angle and time correlations in nuclear decays.

Characterization of cosmic rays at ground: time of flight, speed and lifetime of muons using plastic scintillators and coincidence/anticoincidence/veto techniques.

### **Textbook:**

G.F.Knoll, "Radiation Detection and Measurement"

## **ESPERIMENTAZIONI DI PLASMI**

**8 CFU**

**Docente:** Gustavo Granucci

Sul sito web: [www.ifp.cnr.it](http://www.ifp.cnr.it) è possibile trovare le informazioni sul docente, il numero di telefono dello studio, la sede di lavoro e l'indirizzo e-mail per concordare appuntamenti con gli studenti.

**Anno di corso:** III°, 2° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontale, attività sperimentale in laboratorio

**Tipo esame:** orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** progettazione e costruzione di una sonda elettrostatica (Langmuir), misure dei parametri fondamentali di plasma sulla macchina lineare GyM (IFP-CNR).

**Prerequisiti:** Fisica II

**Programma:**

Il corso è preceduto da una prima parte teorica in cui sono fornite le principali nozioni sui plasmi di laboratorio con riferimento specifico alla generazione del plasma nella macchina lineare GyM, sull'interazione onda-plasma alla ciclotronica elettronica, sull'utilizzo di microonde di potenza (generazione e trasmissione) e sulle sonde elettrostatiche usate come diagnostica dei plasmi. Nella seconda parte del corso, a carattere pratico e sperimentale, gli studenti progetteranno e realizzeranno il sistema diagnostico (sonde elettrostatiche) per misurare gli andamenti spaziali dei parametri principali del plasma di GyM (densità e temperatura elettronica, potenziale di plasma, pressione cinetica) in diverse condizioni sperimentali (pressione, tipo di gas, campo magnetico, potenza RF) scelte secondo l'interesse degli studenti e del programma sperimentale di GyM. La gestione dell'intera fase di progettazione, realizzazione, acquisizione dati ed elaborazione software delle misure è lo scopo del corso. Nella relazione finale gli studenti potranno elaborare, se necessario, modelli interpretativi da inquadrare nel più ampio obiettivo scientifico di GYM sullo studio delle fluttuazioni di plasma.

**Testo di riferimento del corso:**

F.F.Chen, "Introduction to plasma physics", Plenum, 1984

## **PLASMA LABORATORY**

**8 CFU**

**Lecturer:** Gustavo Granucci

On the website: [www.ifp.cnr.it](http://www.ifp.cnr.it) it is possible to find information about the lecturer, the phone number of the office, the working site and the e-mail to agree appointment with the students

**Teaching procedure:** lessons and experimental activities

**Examination:** oral

**Aims:** development of an electrostatic probe (Langmuir), measurements of fundamental plasma parameters in the linear device GyM (IFP-CNR).

**Prerequisites:** Physics II

**Program details:**

the course is preceded by a first introductory part on the theoretical basis where the main notions concerning laboratory plasmas are provided, with a specific attention to the plasma production in the GyM linear device, to the wave-plasmas interaction at electron cyclotron frequency, to microwave power use (generation and transmission) and to electrostatic probes used as plasma diagnostics.

In the second part, and experimental, students will design and build the diagnostic system aimed to the measure of the spatial profiles of the main plasma parameters in GyM (electron density and temperature, plasma potential, kinetic pressure) under different operating conditions (pressure, gas mixture, magnetic field, RF power) decided according to the student interest and the experimental program ongoing in GyM. Aim of the course is the of the complete phase of design, implementation, data acquisition and software analysis. In the final report the students could elaborate models for the interpretation of their data.

**Textbook:**

F.F.Chen, "Introduction to plasma physics", Plenum, 1984

## **FISICA I**

**16 CFU**

**Docente:** Marco Paganoni, - Laura D'Alfonso – Alessio Ghezzi

**Anno di corso:** I anno, semestre I+II

**Tipologia didattica:** Lezione frontale, Esercitazione

**Tipo esame:** Scritto e Orale

**Tipo di valutazione:** Voto in trentesimi 18-30/30

### **Obiettivi:**

Fornisce le basi della meccanica classica del punto e dei sistemi; introduce i concetti di simmetria, le Leggi di Conservazione e fornisce le basi della termodinamica. Introduce i concetti della meccanica dei fluidi e della relatività speciale.

**Prerequisiti:** nessuno

### **Programma:**

La Misura; Moto in una dimensione; Vettori; Moto in due e tre dimensioni; le Forze e la leggi di Newton; Dinamica delle particelle; Lavoro ed Energia; Conservazione dell'Energia; Sistemi di particelle; Urti; Cinematica Rotazionale; Dinamica Rotazionale; Momento Angolare; Equilibrio dei corpi rigidi; Oscillazioni; Gravitazione. Onde; Acustica; Temperatura; Teoria cinetica dei gas; il Calore ed il I principio della Termodinamica; l'Entropia ed il II principio della Termodinamica; Statica dei Fluidi; Dinamica dei Fluidi; Relatività speciale.

### **Testi di riferimento:**

Mazzoldi / Nigro / Voci: "Fisica - Vol. 1", Edises

## **PHYSICS 1**

**16 CFU**

**Lecturer:** Marco Paganoni, - Laura D'Alfonso – Alessio Ghezzi

**Teaching procedure:** Lessons, Classes

**Examination type:** Written and oral examination

**Aims:** Introduction to the classical Physics; symmetries, conservation rules and introduction to the thermodynamics. Introduction to special relativity.

**Prerequisites:** none

### **Program details:**

Measurement; Motion in one dimension; Vectors; Motion in two and three dimensions; Force and Newton's laws; particle Dynamics; Energy and Work; Energy Conservation; Systems of particles; Collisions; Rotational Kinematics; Rotational Dynamics; Angular Momentum; Equilibrium of rigid bodies; Oscillations; Gravitation. Fluid statics; Fluid dynamics; the special theory of Relativity; Temperature; Kinetic theory and ideal gas; Heat and the first law of thermodynamics; entropy and the second law of thermodynamics; Fluid statistics; Fluid dynamics; the special theory of Relativity.

### **Textbook:**

Mazzoldi / Nigro / Voci: "Fisica - Vol. 1", Edises

## FISICA II

14 CFU

**Docente:** Giuseppe Gorini – Tommaso Tabarelli de Fatis

**Contenuti:** Analisi vettoriale, Elettrostatica nel vuoto, La corrente elettrica stazionaria, Magnetostatica nel vuoto, Induzione elettromagnetica, Elettrostatica nei mezzi materiali, Magnetostatica nei mezzi materiali, Onde elettromagnetiche, Ottica.

**Testi di riferimento:**

Mazzoldi-Nigro-Voci, “Fisica Generale (vol.2)”, Edises

A. Bettini, “Elettromagnetismo”, Zanichelli

A. Bettini, “Le onde e la luce”, Zanichelli

Caldirola-Fontanesi-Sindoni, “Elettromagnetismo”, Masson (fuori commercio)

**Obiettivi:** Trattazione dei fondamenti dell'elettromagnetismo e dell'ottica fisica: fenomenologia e leggi fondamentali, soluzione di problemi.

**Prerequisiti:** I contenuti dei corsi di matematica e fisica del primo anno.

**Modalità didattica:** - Lezione frontale (10 cfu), esercitazione (4 cfu)

**Periodo semestre:** II anno, semestre I+II

**Modalità dell'esame:** Esame scritto e orale.

**Valutazione dell'esame:** voto in trentesimi 18-30/30

**Programma:**

Analisi vettoriale: Campi e Linee di forza, Operatori differenziali e integrali, Teorema della divergenza e del rotore.

Elettrostatica nel vuoto: Legge di Coulomb, Campo elettrico, Potenziale elettrico ed energia potenziale, Teorema di Gauss, Conduttori ed isolanti, Induzione elettrostatica, Problema generale dell'elettrostatica, Capacità, Condensatori in serie e parallelo, Energia elettrostatica.

La corrente elettrica stazionaria: Intensità e Densità di corrente, Conducibilità elettrica, Resistività e legge di Ohm, Tempo di rilassamento, Forze elettromotrici e generatori, Collegamenti tra resistori, Legge di Joule, Circuiti elettrici in CC, Reti resistive.

Magnetostatica nel vuoto: Induzione magnetica, Forza agente su una carica in moto, Forza agente su un circuito percorso da corrente, Seconda formula di Laplace, Legge di Biot e Savart, Prima formula di Laplace, Forza agente tra due circuiti percorsi da corrente, Legge della circuitazione di Ampère, Flusso magnetico. Potenziale vettore magnetico. Induzione elettromagnetica: Legge di Faraday-Neumann-Lenz, Auto- e mutua-induzione, Energia del campo elettromagnetico. Corrente elettrica alternata, Circuiti elettrici in CC e CA.

Elettrostatica nei mezzi materiali: Sviluppo in multipoli, Forza ed energia potenziale di un dipolo, Polarizzazione elettrica, Teorema di Gauss nei dielettrici, Suscettività e permittività dielettrica.

Magnetostatica nei mezzi materiali: Magnetizzazione, Legge di Ampère nei materiali magnetizzati, Suscettività e permittività magnetica, Materiali dia-, para- e ferromagnetici.

Onde elettromagnetiche: Equazioni di Maxwell, Equazione delle onde elettromagnetiche nel vuoto e in un mezzo debolmente conduttore, Teorema di Poynting, Quantità di moto, energia e intensità dei campi e delle onde elettromagnetiche, Onde piane e onde sferiche, Potenziale del campo elettromagnetico, Potenziale di Lienard-Wiechert, Radiazione di una carica accelerata e di dipolo, Condizioni al contorno per i campi.

Ottica: Riflessione e rifrazione, Legge dell'iconale, Principio di Fermat, Polarizzazione, Interferenza, Velocità di fase e di gruppo, Principio di Huygens-Fresnel, Diffrazione, Dispersione, Modello atomico dei mezzi dispersivi, Mezzi anisotropi.

## PHYSICS II

### 14 CFU

**Lecturer:** Giuseppe Gorini – Tommaso Tabarelli de Fatis

**Contents:** Vector analysis, Electrostatics in vacuum, Stationary electric current, Magnetostatics in vacuum, Electromagnetic induction, Electrostatics in materials, Magnetostatics in materials, Electromagnetic waves and fields, Optics.

**References:**

Mazzoldi-Nigro-Voci, “Fisica Generale (vol.2)”, Edises

A. Bettini, “Elettromagnetismo”, Zanichelli

A. Bettini, “Le onde e la luce”, Zanichelli

Caldirola-Fontanesi-Sindoni, “Elettromagnetismo”, Masson (fuori commercio)

**In English:** Hallyday-Resnick-Krane, “Physics (vol.2)”, J Wiley & Sons

**Aims:** Teaching of electromagnetism and physical optics: phenomenology, fundamental laws, problem solving.

**Prerequisites:** First year physics and maths courses.

**Teaching form:** lessons (10 credits), classes (4 credits)

**Semester:** I and II semester

**Examination type:** written and oral

**Mark range:** 18-30/30

**Syllabus:**

Vector analysis: field lines, differential and integral operators, divergence and curl theorems.

Electrostatics in vacuum: Coulomb’s law, electric field, electric potential and potential energy, Gauss’ theorem, conductors and insulators, electrostatic induction, electrostatic equations, capacitance, capacitor, electrostatic energy.

Stationary electric current: current intensity and current density, electric conductivity, resistivity and Ohm’s law, relaxation time, electromotive force, connections between resistors, Joule’s law, electric circuits in CC.

Magnetostatics in vacuum: magnetic induction, force on a moving charge, force on a current loop, magnetic dipole moment, Laplace’s second formula, Biot-Savart’s law, Laplace’s first formula, force between currents, Ampère’s law, magnetic flux.

Electromagnetic induction: Faraday-Neumann-Lenz’s law, Self- and mutual-inductance, energy of the electromagnetic field. Alternate currents, Circuits in CC and CA.

Electrostatics in materials: multipole expansion, force and potential energy of a dipole, electrical polarization, Gauss’ theorem in dielectrics, dielectric susceptibility and permittivity.

Magnetostatics in materials: magnetization, Ampère’s law with magnetized materials, magnetic susceptibility and permittivity, dia-, para- and ferro-magnetic materials.

Electromagnetic waves and fields: Maxwell’s equations, Poynting’s theorem, momentum, energy and intensity of electromagnetic waves, radiation from an accelerated charge, dipole radiation, boundary conditions for electromagnetic fields.

Optics: reflection and refraction, Eiconal law, Fermat’s principle, polarization, interference, phase and group velocity, Huygens-Fresnel’s principle, diffraction, dispersion, atomic model of dispersion, anisotropic media.

## FISICA III

6 CFU

**Docente:** Maddalena Collini

**Contenuti:** Corpuscolarità della materia (distribuzione di Maxwell-Boltzmann) e della carica ( $e/m$  secondo Thompson, Zeeman det. di e secondo Millikan).

Comportamento non classico della radiazione e.m. Corpo nero e ipotesi di Planck della quantizzazione dell'oscillatore e.m. Effetto fotoelettrico e l'ipotesi di Einstein sul fotone. Applicazione dell'oscillatore di Planck al calore specifico dei solidi – modelli di Einstein e Debye. Modelli atomici: scattering coulombiano di Rutherford, spettri atomici, modello di Bohr, modello di Sommerfeld.

Onde e.m. o fotoni? Raggi X, effetto Compton.

Particelle o onde? Relazione di De Broglie, Diffrazione con elettroni.

**Testi di riferimento:**

Capitoli selezionati su testi indicati (qui di seguito), appunti del docente.

TIPLER "Modern Physics" Cap.2 – Cap 4

BARROW "Chimica fisica" Cap. 2 -

ENGE-WEHR-RICHARDS "Introduction to Atomic Physics" Cap. 2 - Cap. 3

DEKKER – "Solid State Physics" Cap. 2

SERWAY-MOSES-MOYER "Modern Physics" Cap.5

RICHTMYER-KENNARD-COOPER "Modern Physics" Cap. 7

EISBERG-RESNICK "Quantum Physics" Cap. 4

ALONSO – FINN "III-Quantum and statistical physics" Cap. 10

**Obiettivi:** Presentazione di fenomenologie che mostrano l'inadeguatezza delle teorie della fisica classica alla loro descrizione, conseguente formulazione di nuovi modelli che introducono lo studente ai primi concetti che portano alla fisica quantistica.

**Prerequisiti:** I contenuti dei corsi di matematica e fisica dei primi tre semestri della laurea triennale in fisica e matematica

**Modalità didattica:** - Lezione frontale

**Periodo semestre:** II semestre

**Modalità dell'esame:** La verifica del profitto avviene attraverso un esame scritto della durata di tre ore con domande aperte (4/5) in cui si richiede la trattazione di un argomento visto a lezione con piccole dimostrazioni, grafici e, se richiesta, qualche stima numerica. Si richiede l'uso della calcolatrice. Non sono concessi materiali didattici durante lo scritto. Il voto dello scritto È espresso in 30-esimi.

**Valutazione dell'esame:** In seguito allo scritto positivo ( $\geq 18/30$ ) lo studente può sostenere in via facoltativa un esame orale, o mantenere il voto dello scritto.

Gli studenti con uno scritto valutato 16/30 e 17/30 possono fare l'orale per ottenere una votazione finale  $\geq 18/30$

**Programma:**

Teoria cinetica dei gas. Equipartizione dell'energia: successi e fallimenti.  $C_v$  dei solidi e dei gas biatomici. Distribuzione di Maxwell per il modulo delle velocità, Effusione del gas, Allargamento Doppler termico. Fattore di Boltzmann cenni sulla distribuzione statistica di Boltzmann - libero cammino medio in un gas, coefficienti di trasporto: Viscosità Conducibilità termica. Moto Browniano.

Carica elementare: elettrolisi (Faraday); stima di  $e/m$  (Thomson) effetto Zeeman classico. Stima della grandezza della carica elementare (Millikan). Parabole di Thomson per gli ioni positivi. Isotopi

Radiazione termica e Corpo nero. Legge di Kirchhoff, isotropia della radiazione termica. Legge di Stefan Boltzmann, Termodinamica del corpo nero, pressione di radiazione, derivazione termodin. Legge di Wien. Modello di Rayleigh-Jeans per il corpo nero, Modello di Planck, ipotesi di quantizzazione dell'oscillatore armonico.

Calore specifico dei solidi secondo Einstein e Debye

Effetto fotoelettrico: l'interpretazione di Einstein e il fotone  
 Modelli atomici: Thomson, Scattering di particelle alfa, modello di Rutherford x lo scattering coulombiano. Modello di Bohr: postulati, orbite, energie dei livelli, serie atomiche. Esperimento di Franck Hertz, effetto di rinculo. Regole di quantizzazione di Wilson Sommerfeld: (particella in una scatola 1D e 3D, degenerazione livelli energetici)  
 Raggi X: produzione, spettro continuo, legge di Moseley, legge di Bragg per la diffrazione Sezione d'urto di Thomson per l'elettrone, effetto Compton, produzione di coppie I  
 Ipotesi di De Broglie Diffrazione degli elettroni: esperimento di Davisson/Germer  
 Principio di indeterminazione di Heisenberg: esempi tipici ed esperimento della doppia fenditura.

### PHYSICS III

6 CFU

**Lecturer:** Maddalena Collini

**Contents:** Atomic nature of matter (Maxwell-Boltzmann distribution) and of charge (e/m by Thompson, Zeeman, e determination for Millikan).

Non classical behaviour of e.m. radiation. Black body and Planck hypothesis about e.m. oscillator quantization. Photoelectric effect and Einstein hypothesis about the photon. Application of Planck oscillator to the specific heat of solids: Einstein and Debye models.

Atomic models: Rutherford coulombian scattering, atomic spectra, Bohr model, Sommerfeld model. E.M. waves or photons? X rays, Compton effect.

Particles or waves? De Broglie relation, electron diffraction by a crystal.

**References:** Selected chapters in the following texts and lecturer's notes.

TIPLER "Modern Physics" Chap.2 – Chap 4

BARROW "Chimica fisica" Chap. 2 -

ENGE-WEHR-RICHARDS "Introduction to Atomic Physics" Chap. 2 - Chap. 3

DEKKER – "Solid State Physics" Chap. 2

SERWAY-MOSES-MOYER "Modern Physics" Chap.5

RICHTMYER-KENNARD-COOPER "Modern Physics" Chap. 7

EISBERG-RESNICK "Quantum Physics" Chap. 4

ALONSO – FINN "III-Quantum and statistical physics" Chap. 10

**Aims:** Illustrations of phenomena that show the inadequacy of classical physics theories for their description, formulation of new models that introduce the students to the first concept leading to quantum physics

**Prerequisites:** The contents of the maths and physics courses of the first three semesters of the Bachelor degree in Physics and Mathematics

**Teaching form:** Lectures

**Semester:** II semester

**Examination type:** The assessment is reached through a written exam that last three hours, with open questions (4/5) in which the student is requested to expose a topic of the program with small derivations, graphs and, if needed some numerical estimates. The use of a scientific calculator is requested. Access to textbooks during the exam is strictly forbidden. The exam score is expressed in 30 points units.

**Mark range:** The student who succeeded in a positive written exam ( $\geq 18/30$ ) can perform an optional oral exam or keep the rating obtained in the written one.

Those students that have been rated 16/30 and 17/30 in the written exam access the oral exam in order to obtain a final score  $\geq 18/30$ .

**Syllabus:**

Kinetic theory of gases, Equipartition of energy: success and faults. Cv solids and of diatomic gases. Maxwell distribution for the modulus of the molecular velocity. Molecular effusion, Thermal Doppler broadening, Boltzmann factor, notes on classical statistical distribution. Mean free path for gases, transport coefficients: viscosity and thermal conductivity. Brownian motion.

Elementary charge.: electrolysis (faraday),  $e/m$  estimate (Thomson) classical Zeeman effect. Estimate of the elementary charge (Milikan). Thomson Parabolas for positive ions, Isotopes.

Thermal radiation and Black body. Kirchoff law, Isotropy of thermal radiation, Law of Stefan-Boltzmann, BB thermodynamics, radiation pressure. Wien law, Rayleigh-Jeans model for BB, Planck model, harmonic oscillator energy quantum theory.

Specific heat of solids: Einstein model and Debye model.

Photoelectric effect: the theory of Einstein and the photon.

Atomic models: Thomson, scattering of alpha particles, Rutherford model for columbian scattering.

Bohr model: postulates, orbits, energy of levels, atomic series. Franck-Hertz experiment, recoil effects. Quantization rules of Wilson-Sommerfeld (particles in a box, 1D, 3D, levels degeneration)

X rays: production, continuum spectrum, Moseley law, Bragg law for diffraction. Thomson cross section for the electron, Compton effect, pair production.

De Broglie hypothesis. Electron diffraction: Davisson and Germer experiment.

Heisenberg Uncertainty principle: typical applications and double slit experiment.

## FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE

8 CFU

**Docente:** Luigi Ernesto Zanotti

**Anno di corso:** III °, 2° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontale (8cfu)

**Tipo esame:** orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** Fornire un'introduzione ai concetti teorici e alle tecniche sperimentali della Fisica Nucleare e Subnucleare

**Prerequisiti:** Conoscenza della meccanica quantistica non relativistica e della teoria della relatività ristretta.

**Programma:** Punti materiali e particelle elementari. Cinematica relativistica e formalismo covariante. Unità naturali. Decadimenti e scattering. Sezioni d'urto e ampiezze di decadimento. Interazioni particelle-materia. Rivelatori di particelle. Elettrodinamica classica e quantistica (QED). Simmetria di gauge, simmetrie discrete e continue della QED. Parità e C parità. I diagrammi di Feynman e lo scattering in QED. Interazioni forti. Quark e carica di colore. La simmetria di gauge della QCD. Libertà asintotica e confinamento. La simmetria di flavor e il modello a 3 quark. Mesoni e barioni. Interazioni deboli. Elicità e chiralità. Esperimenti di Wu e Goldhaber. La teoria elettrodebole e la sua simmetria di gauge. La scoperta delle correnti neutre. Bosoni massivi e meccanismo di Higgs. La scoperta della Z<sup>0</sup> e del bosone di Higgs. Proprietà generali dei nuclei. Le forze nucleari. I modelli nucleari: modello a gas di Fermi, modello a shell, modelli collettivi rotazionali e vibrazionali. Decadimenti radioattivi e loro proprietà generali. Decadimenti in cascata e equilibrio secolare. Radioattività naturale e sue applicazioni. Decadimenti alfa. Decadimenti gamma. Effetto Mossbauer. Decadimenti beta. Interazioni deboli in fisica nucleare. L'esperimento di Cowan-Reines. Doppio decadimento beta. Reazioni nucleari a bassa energia.

**Testo di riferimento del corso:**

A. Bettini, Introduction to Elementary Particle Physics, Cambridge University Press, 2014 (2nd edition) G. Krane, Introductory Nuclear Physics, Wiley, 1988 (3rd edition)

## NUCLEAR AND SUBNUCLEAR PHYSICS

8 CFU

**Lecturer:** Luigi Ernesto Zanotti

**Semester:** Second semester.

**Teaching procedure:** lectures (8cfu)

**Examination:** oral

**Mark range:** 18-30/30

**Aims:** Provide an introduction to basic concepts and experimental techniques of Nuclear and Particle physics

**Recommended knowledge:** Non relativistic quantum mechanics and special relativity

**Program details:** Point particles and elementary particles. Relativistic kinematics and covariant formalism. Natural units. Decays and scattering. Cross section and decay amplitudes. Particle interactions with matter. Particle detectors. Classical and quantum electrodynamics (QED). Gauge symmetry, discrete and continuous symmetries in QED. Parity and C-parity. Feynman diagrams and scattering in QED. Strong interactions. Quark and color charge. The gauge symmetry of QCD. Asymptotic freedom and confinement. Flavor symmetry and the 3 quark model. Mesons and baryons. Weak interactions. Elicity and chirality. The experiments of Wu and Goldhaber. The electroweak theory and its gauge symmetry. The discovery of weak neutral currents. Massive bosons and Higgs mechanism. The discovery of the Z<sup>0</sup> and of the Higgs boson. General properties of the nuclei. Nuclear forces. Nuclear models: Fermi gas model, shell model, collective models (rotation and vibration). General properties of radioactive decays. Decay chains and secular equilibrium. Natural radioactivity and applications. Alpha decays. Gamma decays. Mossbauer effect. Beta decays. Weak interactions in nuclear physics. The Cowan-Reines experiment. Double beta decay. Nuclear reactions at low energies.

**Texbook:**

A. Bettini, Introduction to Elementary Particle Physics, Cambridge University Press, 2014 (2nd edition) G. Krane, Introductory Nuclear Physics, Wiley, 1988 (3rd edition)

## LABORATORIO I

8 CFU

**Docente:** Marta Calvi – Claudia Riccardi

**Anno di corso:** I°, 2° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontale (2cfu), esperimenti in laboratorio (ogni studente deve svolgere una decina di esperimenti: 6cfu)

**Tipo esame:** scritto e orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** Sviluppare una miglior comprensione delle leggi fisiche nell'ambito della meccanica, termodinamica ed ottica geometrica dall'osservazione diretta dei fenomeni. Imparare ad effettuare misure fisiche, elaborare i dati raccolti e valutare criticamente i risultati.

**Prerequisiti:** Conoscenze di base degli argomenti trattati nel corso di Fisica I.

### **Programma:**

Lezioni di introduzione al laboratorio, elementi di statistica ed elaborazione dati:

elementi di teoria delle probabilità. Analisi statistica degli errori casuali, istogrammi e distribuzione di frequenza. Funzione densità di probabilità. Distribuzione di Gauss, Binomiale e di Poisson, proprietà e applicazioni. Propagazione degli errori. Principio di massima verosimiglianza. Adattamento di funzioni a coppie di dati con il metodo dei minimi quadrati. Test del  $\chi^2$ . Media pesata.

Esperimenti: studio di moti, urti centrali elastici e anelatici. Attrito. Elasticità. Torsione. Momenti di inerzia. Onde stazionarie su una corda tesa. Onde acustiche e velocità del suono nei gas. Oscillatore armonico smorzato e forzato, risonanza. Misura della costante di gravitazione universale, Legge di Coulomb. Misure di densità, viscosità, dinamica dei fluidi. Calorimetria. Legge di Joule. Trasformazioni isoterme e adiabatiche di gas. Caratterizzazione di una termocoppia. Ottica geometrica, prismi, lenti sottili.

### **Testo di riferimento del corso:**

testi del corso di Fisica I (es Halliday Resnyek "Fisica I")

John R. Taylor, "Introduzione all'analisi degli errori", ed. Zanichelli

M. Loreti, "Teoria degli errori e Fondamenti statistica", ed. Zanichelli

## LABORATORY I

8 CFU

**Lecturer:** Marta Calvi - Claudia Riccardi

**Teaching procedure:** lessons, laboratory (each student should perform about 10 experiments)

**Examination:** written and oral examination

**Aims:** Get a deeper understanding in the laws of mechanics and thermodynamics from the direct observation of phenomena. Learn how to perform physics measurements, elaborate data and critically evaluate the uncertainties on the results.

**Prerequisites:** Basic knowledge of the contents of the course of Physics (I)

### **Program details:**

Lectures: Introduction on statistical methods in experimental physics: laws of probability, statistical analysis of random errors, frequency distribution, probability density function. Gaussian, Binomial and Poisson distributions, properties and applications. Error propagation for one or more than one variables. Maximum likelihood. Fit to data with different functions.  $\chi^2$  test. Weighted mean.

Experiments: study of motion, elastic and inelastic collisions, friction. Pendulum, Springs. Elasticity. Torsion. Moments of inertia. Standing waves on a spring. Acoustic waves and speed of sound. Harmonic oscillator, damped and forced oscillations, resonance. Measurement of the gravitational constant. Coulomb law. Measurements of density, viscosity and dynamics of fluids. Calorimeter. Gas expansions and compressions. Characterization of a thermocouple. Geometric optics.

### **Textbook:**

Halliday Resnyek, "Physics"

John R. Taylor, "Introduction to data analysis", ed. Zanichelli

M. Loreti, "Teoria degli errori e Fondamenti statistica", ed. Zanichelli

## LABORATORIO II

12 CFU

**Docente:** Maura Pavan

**Anno di corso:** II°, I modulo nel primo semestre, II modulo nel secondo semestre.

**Tipologia didattica:** lezione frontale, esercitazione in laboratorio

**Tipo esame:** esame scritto e orale.

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

### **Obiettivi:**

Introdurre gli studenti ai metodi di indagine sperimentale in fisica, partendo dallo studio di fenomeni fondamentali dell'ottica e dell'elettromagnetismo.

Gli strumenti di calcolo e analisi statistica dei dati sono appresi nella prima parte del corso, mentre la seconda parte ha come obiettivo l'apprendimento del corretto uso della strumentazione di laboratorio e la progettazione e realizzazione di misure nel campo dell'ottica e dell'elettromagnetismo.

**Prerequisiti:** non specificati

### **Programma:**

#### I modulo

Lezioni introduttive: Complementi di probabilità e statistica. Tecniche Monte Carlo. Stima di parametri  
Sedute di laboratorio, svolte in un'aula attrezzata con postazioni individuali per gli studenti. Ogni seduta si articola in una lezione seguita da esercitazioni svolte individualmente dagli studenti. Gli argomenti trattati sono: - Linguaggio C++ e programmazione ad oggetti. - Costruzione di algoritmi: numeri random, distribuzioni, zeri di funzioni e integrazione numerica. - Il pacchetto ROOT (data analysis framework sviluppato appositamente per la fisica dal CERN). - Esempi di applicazione di ROOT per l'analisi dati: fit ed interpretazione dei dati.

#### II modulo

Lezioni introduttive: tecniche strumentazione di misura relative a esperienze di ottica ed elettromagnetismo.  
Sedute di laboratorio e esercitazioni dedicate al controllo del lavoro svolto e all'apprendimento dello studente. Durante le ore di laboratorio gli studenti, di norma in gruppi di tre, svolgono osservazioni quantitative su: fenomeni di ottica geometrica e ondulatoria (nel visibile e nel dominio delle microonde) e su semplici circuiti elettrici (costituiti da un generatore, in CC e in CA, e da una rete di elementi passivi: R, L, C in diverse configurazioni). I dati raccolti ed elaborati vengono presentati al termine del corso in relazioni scritte.

### **Testo di riferimento del corso:**

W. J. Metzger "Statistical Methods in Data Analysis"

## LABORATORY II

12 CFU

**Lecturer:** Maura Pavan

**Teaching procedure:** lessons, laboratory practice

**Examination:** oral and written examination.

**Aims:** Introduce students to the experimental-physics investigation techniques, starting from the study of basic phenomena in optics and electromagnetism.

Computing and analysis techniques are taught in the first part of the course, while the second part aims at teaching the correct use of laboratory instruments and the design and realization of measurements.

**Prerequisites:**

**Program details:**

### I module

Introductory lectures: Complements in Statistics and Probability. Monte Carlo techniques. Parameters evaluation.

Laboratory sessions: done in a computing room with individual workspace for the students. Each session comprises a lesson followed by exercises done individually by the students. Treated topics are: - C++ language and object programming. - Algorithms development: random numbers, distributions, function zeroes and numerical integration. - ROOT package (data analysis framework specially developed for physics at CERN). - Examples of ROOT application for the data-analysis: data fitting and interpolation.

### II module

Introductory lectures: measurement techniques and instruments for optics and electromagnetism measurements.

Laboratory sessions and exercises dedicated to a comprehensive check of the work done by the students and their learning degree. During laboratory sessions the students, usually in groups of three each, realize quantitative measurements regarding geometric and wave optics (in visible and microwave domain) and electromagnetism phenomena (on the basis of simple circuits including a generator and a net of passive components such as R, L and C in different configurations). Collected data are analysed and organized in written presentations.

**Textbook:**

W. J. Metzger "Statistical Methods in Data Analysis"

**Docente:** Pessina Gianluigi

**Contenuti:** Nozioni di base della struttura dei microcontrollori più usati a con parallelismo a 8 bit e 32 bit.

Introduzione alla programmazione dei microcontrollori con enfasi sui protocolli di comunicazione.

**Testi di riferimento:**

M.Predko, PROGRAMMING AND CUSTOMIZING THE 8051 MICROCONTROLLER, Mc Graw-Hill, 1999;

S. Furber, ARM, System-on-chip architecture, second edition, Addison-Wesley, 2000;

J. Yiu, The definitive guide to the ARM CORTEX-M3, second Edition, Elsevier 2010.

Dispense del corso sulla pagina web (<http://pessina.mib.infn.it>)

**Obiettivi:** Vengono fornite le nozioni per potere realizzare sistemi hardware a logica programmabile basati sull'uso di Microcontrollori a 8 bit (8051) e 32 bit (ARM, CORTEX).

**Prerequisiti:** Principali Nozioni di Fisica di base classica: Elettricità e Magnetismo.

**Modalità didattica:** - Ogni esperienza sarà introdotta da lezioni frontali di durata commisurata, 6 cfu

**Periodo semestre:** Primo semestre

**Riferimenti web:** <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona?user=pessina>

<https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/elettronica-e-fisica-applicata>

<http://pessina.mib.infn.it>

<http://elearning.unimib.it/course/info.php?id=19161>

**Modalità dell'esame:** Discussione della relazione scritta delle esperienze di laboratorio e delle lezioni frontali.

**Valutazione dell'esame:** Voto in trentesimi 18-30/30

**Programma:**

Architettura tipica di un microcontrollore. Strutture di microcontrollori. I microcontrollori basati sull'architettura 8051, ARM e CORTEX. I cicli macchina e l'ottimizzazione delle prestazioni: istruzioni a singolo ciclo, la pipeline, etc. I concetti di MAC, barrel shifter, etc. I principali protocolli di comunicazione: UART, SPI, I2C, CAN. Accenno ai metodi di conversione dei segnali ed ai transistori per applicazioni digitali. Ogni concetto illustrato è introduttivo all'esperienza di laboratorio basate tutte su IoT, Internet of Things.

## **LABORATORY OF ELECTRONICS**

### **6 CREDITS**

**Lecturer:** Pessina Gianluigi

**Contents:** Introductory concepts of the structures of most diffused 8-bit and 32-bit microcontrollers.

Introduction to microcontroller programming with emphasis on communication protocols.

**References:**

M.Predko, PROGRAMMING AND CUSTOMIZING THE 8051 MICROCONTROLLER, Mc Graw-Hill, 1999;

S. Furber, ARM, System-on-chip architecture, second edition, Addison-Wesley, 2000;

J. Yiu, The definitive guide to the ARM CORTEX-M3, second Edition, Elsevier 2010.

Slides available on the web page (<http://pessina.mib.infn.it>)

**Aims:** Knowhow is given to design hardware systems based on programmable logic devices and the ability to program both 8-bits (8051 based) and 32-bits (ARM, ARM Cortex based) Microcontrollers.

**Recommended a priori knowledge:** Notions on classical Physics: Electricity and Magnetism

**Teaching form:** Every experience is introduced by a lesson, 6 cfu

**Semester:** First semester

**On the WEB:** <https://www.fisica.unimib.it/it/dipartimento/persona?user=pessina>

<https://www.fisica.unimib.it/it/ricerca/elettronica-e-fisica-applicata>

<http://pessina.mib.infn.it>

<http://elearning.unimib.it/course/info.php?id=19161>

**Examination type:** Discussion of the report about the laboratory experiences.

**Mark range:** 18-30/30

**Syllabus:**

The typical functional structure of a Microcontroller. Some microcontroller architectures. The cores of the 8051 series and the ARM and Cortex series. The meaning of the machine cycle and its optimization: single cycle instructions, the pipeline, etc. The meaning of MAC, barrel shifter, etc. The main communication protocols: UART, SPI, I2C, CAN. Every given concept is an introduction to the laboratory experiences, all based on the IoT, Internet of Things.

## LABORATORIO DI INFORMATICA

4 CFU

**Docente:** Luca Bernardinello

**Anno di corso:** I°, 2° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontale, esercitazione in aula, esercitazione in laboratorio

**Tipo esame:** scritto e orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** lo studente alla fine del corso sarà in grado di risolvere per via algoritmica problemi semplici ma non banali, e sarà in grado di tradurre gli algoritmi risolutivi in C.

**Prerequisiti:** nessuno

### **Programma:**

La nozione di algoritmo e di programma.

I linguaggi di programmazione e la compilazione.

La struttura dei calcolatori elettronici

Le funzioni di un sistema operativo.

La programmazione imperativa: assegnamento, strutture di controllo, tipi di dati.

Il linguaggio di programmazione C.

Modelli e strutture di dati; strutture dinamiche (liste concatenate, alberi).

Esempi di algoritmi notevoli: ordinamento, ricerca, ricerca di cammini minimi.

### **Testo di riferimento del corso:**

J.G. Brookshear, "Informatica, una panoramica generale", Pearson.

S.G. Kochan, "Programmare in C", Pearson.

## LABORATORY OF COMPUTER SCIENCE

4 CFU

**Lecturer:** Luca Bernardinello

**Teaching procedure:** lessons (2 credits), laboratory activity (2 credits)

**Examination:** written and oral

**Aims:** by the end of the course, the student will be able to solve simple, but non trivial problems by designing algorithms, and by translating them in C.

**Prerequisites:** none

### **Program details:**

What is an algorithm, what is a program.

Programming languages and compilation.

The structure of digital electronic computers.

The functions of an operating system.

Imperative programming: assignment, control structures, data types.

The C programming language.

Data models and data structures; dynamic structures (linked lists, trees).

Examples of algorithms: ordering, search, minimal paths.

### **Textbook:**

J.G. Brookshear, "Informatica, una panoramica generale", Pearson.

S.G. Kochan, "Programmare in C", Pearson

Laplace transform.

## MATEMATICA PER LA FISICA

8 CFU

**Docente:** Silvia Penati - Mekareeya Noppadol

**Contenuti:**

- 1) Analisi complessa.
- 2) Operatori lineari negli spazi di Hilbert.
- 3) Trasformata di Fourier.
- 4) Trasformata di Laplace.

**Testi di riferimento:**

- 1) G. Cicogna, "Metodi matematici della fisica"
- 2) J. Bak and C.J. Newman, "Complex Analysis"
- 3) M.R. Spiegel, "Complex variables"
- 4) L. Debnath and P. Mikusinski, "Hilbert spaces with applications"
- 5) M.R. Spiegel, "Fourier Analysis"
- 6) G. Pradisi, "Lezioni di metodi matematici della fisica"
- 7) G. Cattaneo, "Metodi matematici per la meccanica quantistica"

Per ulteriore materiale didattico consultare la pagina e-learning dell'insegnamento

**Obiettivi:** Estendere le conoscenze di base dell'analisi al campo complesso. Introdurre spazi e operatori necessari per la formulazione della Meccanica Quantistica.

**Prerequisiti:** I contenuti dei corsi di Analisi I, II e "Algebra e Geometria".

**Modalità didattica:** - Lezione frontale, 5 cfu - Esercitazioni, 3 cfu

**Periodo semestre:** Secondo semestre.

**Altre informazioni:**

Sulla pagina web <https://www.unimib.it/silvia-penati> è possibile trovare le informazioni sul CV del docente e l'indirizzo e-mail.

**Modalità dell'esame:** Esame scritto e orale.

**Valutazione dell'esame:** - Voto in trentesimi 18-30/30.

**Programma:**

Analisi complessa. Funzioni olomorfe. Serie di potenze nel campo complesso. Teorema di Chauchy. Serie di Laurent. Teorema dei residui e applicazioni. Integrali sull'asse reale col metodo dei residui. Prolungamento analitico.

Richiami sugli spazi topologici, spazi metrici, spazi di Banach. Spazi di Hilbert. Sistemi ortonormali completi. Spazi  $L^p$ . Serie di Fourier. Polinomi di Hermite, Legendre, Laguerre, Bessel.

Operatori lineari negli spazi di Hilbert e loro proprietà. Operatori autoaggiunti e Teorema di decomposizione spettrale. Proiettori. Operatori isometrici. Operatori unitari.

Trasformata di Fourier.

Trasformata di Laplace.

## MATHEMATICS FOR PHYSICS

8 CFU

**Lecturer:** Silvia Penati - Mekareeya Noppadol

### Contents:

- 1) Complex analysis.
- 2) Linear operators in Hilbert spaces.
- 3) Fourier transform.
- 4) Laplace transform.

### References:

- 1) G. Cicogna, "Metodi matematici della fisica"
- 2) J. Bak and C.J. Newman, "Complex Analysis"
- 3) M.R. Spiegel, "Complex variables"
- 4) L. Debnath and P. Mikusinski, "Hilbert spaces with applications"
- 5) M.R. Spiegel, "Fourier Analysis"
- 6) G. Pradisi, "Lezioni di metodi matematici della fisica"
- 7) G. Cattaneo, "Metodi matematici per la meccanica quantistica"

Further references available on the e-learning page of the course

**Aims:** Generalize the basic notions of analysis to the complex field. Introduce spaces and operators required in the formulation of Quantum Mechanics.

**Prerequisites:** Contents of Analysis I, II and "Algebra and Geometry".

**Teaching form:** - Lectures, 5 credits - Tutorials, 3 credits

**Semester:** Second semester.

### More information:

Information about the teacher's c.v. and e-mail address can be found on the website:

<https://www.unimib.it/silvia-penati>

**Examination type:** Written and oral examination

**Mark range:** 18-30/30

### Syllabus:

Complex analysis. Holomorphic functions. Power series in the complex domain. Cauchy theorem. Laurent series. Residue theorem and its applications. Integrals on the real axis with the residue techniques. Analytic continuation.

Review of linear, topological and Banach spaces. Hilbert spaces.  $L^p$  spaces. Orthonormal basis. Fourier series. Hermite, Legendre, Laguerre, Bessel polynomials.

Linear operators in Hilbert spaces and their properties. Self-adjoint operators and the theorem of spectral decomposition. Projectors. Isometric operators. Unitary operators.

Fourier transform.

Laplace transform.

## MECCANICA CLASSICA 8 CFU

**Docente:** Gregorio Falqui – Giampaolo Cristadoro

**Anno di corso:** II°, 1° semestre

**Tipologia didattica:** Lezioni frontali (6 CFU) Esercitazioni (2 CFU)

**Tipo esame:** scritto e orale

**Tipo di valutazione:** voto 18-30/30

**Contenuti:** Richiami di meccanica newtoniana. Equazioni differenziali del secondo ordine e loro studio qualitativo. Meccanica Lagrange. Meccanica Hamiltoniana. Introduzione alla Relatività Ristretta

**Obiettivi:** Presentare sia le idee fondamentali della Meccanica Classica, dalla formulazione di Galileo e Newton a quella di Lagrange, Hamilton e Jacobi, che le tecniche matematiche necessarie alla loro comprensione. Discutere infine la struttura geometrica della Relatività ristretta.

**Prerequisiti:** Analisi I, Algebra Lineare e Geometria, Fisica I.

**Altre informazioni:** Sul sito web: <http://www.matapp.unimib.it/~falqui> nell'area didattica è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail

### **Programma:**

1. Spazio tempo ed eventi. Sistemi di riferimento e relatività galileiana. I principi di Newton e la meccanica dei corpi puntiformi.
2. I sistemi dinamici come modellizzazione dei fenomeni fisici. Introduzione alla teoria qualitativa delle equazioni differenziali ordinarie del secondo ordine.
3. Meccanica di sistemi di corpi puntiformi e sistemi rigidi: equazioni cardinali.
4. I moti centrali ed il problema di Keplero.
5. Vincoli, loro classificazione e coordinate libere. Il principio di D'Alembert e la meccanica di Lagrange.
6. La Lagrangiana e le equazioni di Eulero-Lagrange. Il metodo variazionale. Corpi rigidi. Piccole oscillazioni. Applicazioni.
7. La meccanica Hamiltoniana. Equazioni di Hamilton, Parentesi di Poisson e trasformazioni canoniche. Applicazioni.
8. I principi della relatività ristretta e la loro interpretazione geometrica. Il gruppo di Lorentz: scalari, vettori controvarianti e covarianti; tensori. Cinematica e dinamica relativistiche di particelle cariche.

### **Testi di riferimento:**

L.D. Landau, E. M. Lifshits, Corso di Fisica Teorica, vol. I, "Meccanica".

A.Fasano, S.Marmi, "Meccanica analitica".

H Goldstein, C. Poole, J. Safko, "Meccanica Classica".

## CLASSICAL MECHANICS

8 CFU

**Lecturer:** Gregorio Falqui – Giampaolo Cristadoro

**Semester:** first semester

**Teaching procedure:** - Lectures (6 CFU), tutorials (2 CFU)

**Examination:** written and oral.

**Contents:** Newtonian Mechanics (a reminder). Second order differential equations. Qualitative analysis. Lagrangian Mechanics. Hamiltonian mechanics. Introduction to Special Relativity.

**Aims:** The basic ideas of Classical mechanics, from the Galileo-Newton formulation to those of Lagrange, Hamilton (and Jacobi) will be presented. At the same time, the necessary mathematical tools will be introduced and discussed. Finally, the geometrical structure of special relativity will be discussed.

**Prerequisites:** Calculus I, Linear Algebra and Geometry, Physics I.

**More information:** Website: <http://www.matapp.unimib.it/~falqui> in teaching area you can find information about teachers c.v., telephone number, University room or other place of work, office hours and e-mail.

### Program details:

1. Space-time and events. Reference frames and Galilean relativity. Newton's principia and the dynamics of point masses.
2. Dynamical systems as mathematical models for physical phenomena. Basic aspects of qualitative analysis of second order ODEs.
3. Dynamics of systems of point masses.
4. Central motions and the Kepler problem.
5. Constraints, degrees of freedom, and free coordinates. The D'Alembert principle and Lagrangian Mechanics.
6. The Lagrangian and the Euler-Lagrange equations. Variational principles. Rigid bodies. Small oscillations. Further applications.
7. Hamiltonian Mechanics: Hamilton equations, Poisson brackets, and canonical transformations. Applications.
8. The principles and the geometry of special relativity. The Lorentz group: scalars, covariant and contravariant vectors, tensors. Kinematics and Dynamics of relativistic charged point particles.

### Textbook:

L.D. Landau, E.M. Lifshits, "Course of Theoretical Physics, Vol. I: Mechanics" (Pergamon)

A.Fasano, S.Marmi, "Analytical Mechanics".

H Goldstein, C. Poole, J. Safko, "Classical Mechanics".

## **MECCANICA QUANTISTICA**

**12 CFU**

**Docente:** Federico Rapuano – Simone Alioli

**Anno di corso:** III°, 1° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontale (12 cfu)

**Tipo esame:** scritto e orale

**Contenuti:** I principi della Meccanica Quantistica

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** Introduzione alla Meccanica Quantistica

**Prerequisiti:** Conoscenza approfondita della Fisica Classica

**Altre informazioni:** Pagina web del docente <https://www.unimib.it/federico-rapuano>

**Programma:**

L'equazione di Schrödinger e la sua interpretazione probabilistica

Il principio di indeterminazione

Proprietà generali dell'equazione di Schrödinger

I principi generali della Meccanica Quantistica

Particelle identiche

Quantizzazione del momento angolare e Spin

L'oscillatore armonico

Moto in un campo centrale; l'atomo di idrogeno

Interazione con un campo elettromagnetico classico

Teoria delle perturbazioni, dipendenti e indipendenti dal tempo

Quantizzazione del campo elettromagnetico.

**Testo di riferimento del corso:**

Gasiorowicz, Quantum Mechanics

Cohen-Tannoudji, Diu, Laloe, Quantum Mechanics Vol I e II

Sakurai, Modern Quantum Mechanics

Landau-Lifshitz, Quantum Mechanics

Feynman Lectures on Physics, vol III

Griffiths, Introduction to Quantum Mechanics.

## QUANTUM MECHANICS

### 12 CFU

**Lecturer:** Federico Rapuano – Simone Alioli

**Semester:** First semester

**Teaching procedure:** lessons (12 credits)

**Examination:** written and oral

**Contents:** The principles of Quantum Mechanics

**Aims:** Introduction to Quantum Mechanics

**Prerequisites:** Good knowledge of Classical Physics.

**More information:** Teacher's website: <https://www.unimib.it/federico-rapuano>

**Program details:** The Schrödinger equation and its probabilistic interpretation

Heisenberg uncertainty relations

General properties of the Schrödinger equation

The general principles of quantum mechanics

Identical particles

Quantization of angular momentum and Spin

Harmonic oscillator

Motion in a central potential; hydrogen atom

Interaction with a classic electromagnetic field

Perturbation theory

Quantization of the Electromagnetic field

**Textbook:**

Gasiorowicz, Quantum Mechanics

Cohen-Tannoudji, Diu, Laloe, Quantum Mechanics Vol I e II

Sakurai, Modern Quantum Mechanics

Landau-Lifshitz, Quantum Mechanics

Feynman Lectures on Physics, vol III

Griffiths, Introduction to Quantum Mechanics.

## STRUTTURA DELLA MATERIA

8 CFU

**Docente:** Marco Bernasconi – Francesco Montalenti

**Anno di corso:** III°, 1° e 2° semestre

**Tipologia didattica:** lezione frontali (8 cfu),

**Tipo esame:** scritto e orale

**Tipo di valutazione:** voto in trentesimi 18-30/30

**Obiettivi:** la comprensione delle proprietà di atomi, molecole e solidi cristallini mediante gli strumenti della meccanica quantistica e della meccanica statistica.

**Prerequisiti:** i contenuti dei corsi di matematica e fisica dei primi due anni. La prima parte del corso di Meccanica Quantistica fino ai sistemi di particelle identiche.

**Altre informazioni:**

Sulle pagine web <https://www.unimib.it/marco-bernasconi> e <https://www.unimib.it/francesco-cimbromattia-montalenti> è possibile trovare le informazioni sul c.v. del docente, il numero di telefono dello studio, la sede universitaria o di lavoro, l'orario di ricevimento studenti e l'indirizzo e-mail.

**Programma:** struttura fine dell'atomo d'idrogeno. Atomi a molti elettroni e il sistema periodico degli elementi. Metodi di Hartree e Hartree-Fock. Accoppiamenti LS e jj. Interazione di atomi con campi esterni, effetto Zeeman, transizioni ottiche e regole di selezione. Le molecole: stati elettronici e legame chimico, rotazioni e vibrazioni. Spettroscopia molecolare. Elementi di meccanica statistica classica e quantistica. I solidi cristallini: struttura, proprietà elettroniche, vibrazionali e termiche. Elementi di fisica dei semiconduttori, giunzioni, laser a semiconduttore. Fenomeni collettivi: magnetismo e superfluidità.

**Testo di riferimento del corso:**

B. H. Bransden & C. J. Joachain: "Physics of Atoms and Molecules" – 2nd ed. (Harlow – Prentice Hall, 2003);

C. Kittel e H. Kroemer, "Termodinamica Statistica", Boringhieri (Torino 1985) o l'equivalente edizione Inglese (W. Freeman, 1980);

N. Manini, "Introduction to the Structure of Matter", Springer (Heidelberg 2014), disponibile in formato e-book sul sito della biblioteca.

## STRUCTURE OF MATTER

8 CFU

**Lecturer:** Marco Bernasconi – Francesco Cimbrotta Montalenti

**Teaching procedure:** lessons (8 credits),

**Examination:** written and oral

**Aims:** understanding the properties of atoms, molecules and solids by means of quantum mechanics and statistical mechanics.

**Prerequisites:** Mathematics and Physics of the first two years. The first part of the course of Quantum Mechanics including systems of identical particles.

**More information:**

On the web site pages <https://www.unimib.it/marco-bernasconi> and <https://www.unimib.it/francesco-cimbrotta-montalenti> can find the information on the C.V. the teacher, the phone number of the Firm, the university or work, the ' student office hours and the ' E-mail address .

**Program details:**

Fine structure of the hydrogen atom. Many-electron atoms and the periodic system. Hartree and Hartree-Fock methods. LS and jj couplings. Atoms in external fields, the Zeeman effect, optical spectra and selection rules. Molecules: electronic states and the chemical bonding, rotations and vibrations. Molecular spectroscopy. Elements of classical and quantum statistical mechanics. Crystalline solids: structural, electronic, vibrational and thermal properties. Elements of semiconductor physics, junctions and lasers. Collective phenomena: magnetism and superfluidity.

**Textbook:**

B. H. Bransden & C. J. Joachain: "Physics of Atoms and Molecules" – 2nd ed. (Harlow – Prentice Hall, 2003);

C. Kittel e H. Kroemer, "Termodinamica Statistica", Boringhieri (Torino 1985) o l'equivalente edizione Inglese (W. Freeman, 1980);

N. Manini, "Introduction to the Structure of Matter", Springer (Heidelberg 2014), available in e-book format on the library website.