



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**SCUOLA DI SCIENZE**

**Bollettino Notiziario**

Anno Accademico 2017/2018

**Laurea in Fisica (Ord. 2014)**

---

# Curriculum: Corsi comuni

---

## ANALISI MATEMATICA 1

(Titolare: Prof. DAVIDE VITTONÈ)

**Periodo:** I anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 40A+24E; 8,00 CFU

### Prerequisiti :

Funzioni elementari reali (potenze, modulo, esponenziale, logaritmo, trigonometriche): principali proprietà, risoluzione di equazioni e disequazioni. Geometria analitica nel piano: rette, coniche in forma canonica, luoghi geometrici.

### Conoscenze e abilità da acquisire :

Conoscenza e padronanza delle principali proprietà topologiche della retta reale; dei numeri complessi; delle nozioni di limite e di continuità, del calcolo differenziale e integrale per funzioni di una variabile reale; delle tecniche di risoluzione delle equazioni differenziali ordinarie di base.

### Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali

### Contenuti :

INSIEMI NUMERICI. Teoria elementare degli insiemi. Gli interi: assiomi di Peano e principio di induzione. Numeri razionali. La retta reale, assioma di completezza, max e min, sup e inf. Densità dei razionali. Numeri complessi e radici complesse. Elementi di topologia della retta reale.

FUNZIONI DI UNA VARIABILE REALE E LIMITI. Generalità sulle funzioni di variabile reale. Limiti di funzioni e loro proprietà.

SUCCESSIONI DI NUMERI REALI. Successioni e insiemi numerabili. Limiti di successioni. Topologia della retta reale vs. successioni. Successioni monotone e ricorsive.

CONTINUITÀ. Continuità di funzioni reali. Teorema degli zeri e di Weierstrass. Funzioni uniformemente continue.

DERIVATE E STUDIO DI FUNZIONE. Derivazione. Crescenza, teoremi classici. Regola di de l'Hopital. Derivate successive e convessità. Formula di Taylor. Studio di funzione: schema generale ed esercizi.

INTEGRALI. Integrale di Riemann. Calcolo delle primitive e tecniche di integrazione. Area di zone limitate di piano.

EQUAZIONI DIFFERENZIALI ORDINARIE DI BASE. Generalità. Problema di Cauchy e analisi a priori. Equazioni differenziali del primo ordine a variabili separabili e lineari. Equazioni differenziali lineari: generalità, caso del secondo ordine a coefficienti costanti.

### Modalità di esame :

Prova scritta con esame orale facoltativo.

### Criteri di valutazione :

Lo studente dovrà dimostrare un sufficiente livello di conoscenza delle nozioni teoriche e di padronanza delle tecniche di calcolo apprese durante il corso.

### Testi di riferimento :

Giusti, Enrico, Analisi matematica 1. Torino: Bollati-Boringhieri, 2002

---

## ANALISI MATEMATICA 1 - SDOPPIAMENTO

(Titolare: Prof. DAVIDE VITTONÈ)

**Periodo:** I anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 40A+24E 0,00 CFU

### Prerequisiti :

Funzioni elementari reali (potenze, modulo, esponenziale, logaritmo, trigonometriche): principali proprietà, risoluzione di equazioni e disequazioni. Geometria analitica nel piano: rette, coniche in forma canonica, luoghi geometrici.

### Conoscenze e abilità da acquisire :

Conoscenza e padronanza delle principali proprietà topologiche della retta reale; dei numeri complessi; delle nozioni di limite e di continuità, del calcolo differenziale e integrale per funzioni di una variabile reale; delle tecniche di risoluzione delle equazioni differenziali ordinarie di base.

### Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali

### Contenuti :

INSIEMI NUMERICI. Teoria elementare degli insiemi. Gli interi: assiomi di Peano e principio di induzione. Numeri razionali. La retta reale, assioma di completezza, max e min, sup e inf. Densità dei razionali. Numeri complessi e radici complesse. Elementi di topologia della retta reale.

FUNZIONI DI UNA VARIABILE REALE E LIMITI. Generalità sulle funzioni di variabile reale. Limiti di funzioni e loro proprietà.

SUCCESSIONI DI NUMERI REALI. Successioni e insiemi numerabili. Limiti di successioni. Topologia della retta reale vs. successioni. Successioni monotone e ricorsive.

CONTINUITÀ. Continuità di funzioni reali. Teorema degli zeri e di Weierstrass. Funzioni uniformemente continue.

DERIVATE E STUDIO DI FUNZIONE. Derivazione. Crescenza, teoremi classici. Regola di de l'Hopital. Derivate successive e convessità. Formula di Taylor. Studio di funzione: schema generale ed esercizi.

INTEGRALI. Integrale di Riemann. Calcolo delle primitive e tecniche di integrazione. Area di zone limitate di piano.

EQUAZIONI DIFFERENZIALI ORDINARIE DI BASE. Generalità. Problema di Cauchy e analisi a priori. Equazioni differenziali del primo ordine a variabili separabili e lineari. Equazioni differenziali lineari: generalità, caso del secondo ordine a coefficienti costanti.

### Modalità di esame :

Prova scritta con esame orale facoltativo.

**Criteri di valutazione :**

Lo studente dovrà dimostrare un sufficiente livello di conoscenza delle nozioni teoriche e di padronanza delle tecniche di calcolo apprese durante il corso.

**Testi di riferimento :**

Giusti, Enrico, *Analisi matematica 1*. Torino: Bollati-Boringhieri, 2002

---

**ANALISI MATEMATICA 2**

(Titolare: Prof. ROBERTO MONTI)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 40A+24E; 8,00 CFU

**Prerequisiti :**

Proramma del corso di Analisi 1

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Apprendimento dei fondamenti di calcolo differenziale in più variabili

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni di teoria ed esercizi in classe.

Lezioni con tablet.

Pubblicazione on line delle lezioni.

**Contenuti :**

1) Integrali generalizzati. Integrali impropri su intervallo illimitato: Teorema sulla convergenza assoluta. Teorema sulla convergenza di integrali di tipo oscillatorio. Integrali impropri di funzioni non limitate: criterio del confronto asintotico.

2) Serie. Serie numeriche: Vari criteri di convergenza.

Successioni e serie di funzioni: convergenza uniforme.

3) Curve parametriche in  $\mathbb{R}^n$ . Curve in  $\mathbb{R}^n$  e curve regolari. Vettore tangente. Lunghezza di curve e curve rettificabili. Formula della lunghezza. Riparametrizzazione di curve e orientazione. Definizione e proprietà dell'integrale curvilineo.

4) Spazi metrici e normati. Spazio metrico e spazio normato. Disuguaglianza di Cauchy-Schwarz. Lo spazio  $C([0, 1]; \mathbb{R}^n)$ . Successioni in uno spazio metrico. Funzioni continue fra spazi metrici. Limiti in più variabili: esempi ed esercizi. Spazi metrici completi e spazi di Banach.  $\mathbb{R}^n$  ed  $\mathbb{R}^n$  sono completi con la distanza Euclidea.  $C([0, 1]; \mathbb{R}^n)$  è uno spazio di Banach con la norma uniforme.

Convergenza puntuale e convergenza uniforme di successioni di funzioni. Cenno al teorema sullo scambio dei limiti. Teorema delle contrazioni. Insiemi aperti e chiusi in uno spazio metrico. Interno, chiusura e frontiera di un insieme. Caratterizzazione sequenziale della chiusura. Caratterizzazione topologia della continuità. Spazi metrici e insiemi compatti. Teorema di Heine-Borel. L'immagine continua di un compatto è compatta. Teorema di Weierstrass. Spazi e insiemi connessi. L'intervallo  $[0, 1]$  è connesso. L'immagine continua di un connesso è connessa. Spazi connessi per archi.

5) Calcolo differenziale in  $\mathbb{R}^n$ . Derivate parziali e derivate direzionali. Matrice Jacobiana e gradiente. Richiami sulle trasformazioni lineari. Funzioni differenziabili e differenziale. Spazio tangente al grafico di funzione. Matrice Jacobiana. Le funzioni di classe  $C^1$  sono differenziabili. Teorema sul differenziale della funzione composta. Teorema del valor medio. Derivate successive. Funzioni di classe  $C^\infty$ . Teorema di Schwarz. Formula di Taylor in più variabili. Matrice Hessiana. Richiami sulle forme quadratiche: matrici definite e semidefinite. Punti critici e punti di estremo locale. Condizione necessaria al primo ordine per i punti di estremo locale.

Condizione necessaria al secondo ordine per i punti di estremo locale. Condizione sufficiente al secondo ordine per i punti di estremo locale stretto. Matrici simmetriche  $2 \times 2$  definite positive e negative. Punti di sella.

6) Invertibilità locale e funzione implicita. Diffeomorfismi e diffeomorfismi locali. Teorema di invertibilità locale. Teorema della funzione implicita. Massimi e minimi vincolati.

Teorema dei moltiplicatori di Lagrange.

**Modalità di esame :**

L'esame prevede una prova scritta in cui lo studente deve risolvere problemi ed esercizi ed una prova orale in cui lo studente deve dimostrare di aver compreso gli argomenti (definizioni, teoremi e dimostrazioni) spiegati nel corso. Per accedere alla prova orale è necessario superare quella scritta. Non sono previsti compitini.

**Criteri di valutazione :**

1 - Capacità di risolvere problemi ed esercizi sugli argomenti trattati nel corso.

2 - Capacità di esporre in modo consapevole i contenuti teorici spiegati nel corso.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

- Dispense del docente disponibili in rete,

aggiornate settimanalmente.

- Fogli di esercizi settimanali messi in rete.

---

**ANALISI MATEMATICA 2 - SDOPPIAMENTO**

(Titolare: Dott. FABIO PARONETTO)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 40A+24E 0,00 CFU

**Prerequisiti :**

Matematica di base, contenuti del primo corso di analisi matematica e di algebra lineare e geometria.

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Le conoscenze da acquisire sono i contenuti del corso.

Oltre alla conoscenza dei contenuti del corso ci si aspetta molta autonomia per quanto riguarda le cose piu` semplici, come, ad esempio, saper trattare e disegnare semplici insiemi in due o tre dimensioni o grafici di semplici funzioni di una e piu` variabili o di curve.

**Attivita' di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni in aula.

**Contenuti :**

Serie numeriche, successioni e serie di funzioni. Differenti tipi di convergenza per successioni di funzioni (convergenza puntuale, uniforme, totale).

Integrali generalizzati.

Un po' di topologia di  $R^n$ : imparare a disegnare semplici insiemi in due o tre dimensioni, semplici grafici di funzioni di piu` variabili, in particolare curve e funzioni a valori reali. Calcolo differenziale per funzioni di piu` variabili a valori reali. Massimi e minimi di una funzione di piu` variabili in un compatto ed eventualmente su insiemi illimitati. Teorema del Dini in dimensione 2 e qualche sua applicazione.

Alcuni risultati riguardanti campi di vettori e forme differenziali.

**Modalita' di esame :**

Accertamento delle conoscenze acquisite tramite una prova scritta e una orale.

**Criteri di valutazione :**

Il singolo studente sara` valutato in base alle risposte che dara` all'esame.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Per tutti i dettagli si veda la pagina web del docente

<http://www.math.unipd.it/~fabio/>

la quale verra` aggiornata prima dell'inizio e durante il corso.

---

**ANALISI MATEMATICA 3**

(Titolare: Dott. CORRADO MARASTONI)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 40A+24E; 8,00 CFU

**Prerequisiti :**

Analisi Matematica 1, Analisi Matematica 2, Geometria

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Scopo principale del corso (diretta continuazione di Analisi Matematica 1 e 2) e` lo studio del calcolo integrale in piu` variabili reali e della teoria generale delle equazioni differenziali ordinarie.

**Attivita' di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali; pubblicazione di dispense di teoria ed esercizi nella pagina web. Per stimolare gli studenti alla pratica autonoma del materiale appreso, durante il corso vengono pubblicati vari test di autoverifica con esercizi, seguiti dopo qualche giorno dalla descrizione dettagliata dello svolgimento.

**Contenuti :**

Varieta` differenziali, strutture tangenti, massimi e minimi vincolati. Forme differenziali lineari, campi vettoriali e loro integrazione. Integrazione alla Lebesgue negli spazi affini e sulle varieta`. Teoremi classici sull'integrazione dei campi vettoriali (Green, rotore, divergenza). Teoria generale delle equazioni differenziali ordinarie; equazioni e sistemi differenziali lineari.

**Modalita' di esame :**

Prova scritta, eventualmente seguita da prova orale facoltativa.

**Criteri di valutazione :**

Sara` valutata la capacita` di affrontare e risolvere in modo autonomo, rapido e preciso i problemi proposti, applicando appropriatamente i concetti e le metodologie apprese durante il corso.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Il testo di riferimento sono le note del docente, progressivamente pubblicate nella pagina web del corso. Si raccomanda tuttavia la frequenza assidua delle lezioni e la pratica costante delle esercitazioni sia nel corso delle lezioni che nel lavoro personale.

---

**CAMPI ELETTROMAGNETICI**

(Titolare: Prof. STEFANO GIUSTO)

**Periodo:** III anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Fisica Generale II, Fisica Moderna, Istituzioni di Metodi Matematici, Istituzioni di Fisica Matematica

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Il corso si propone di esporre l'elettromagnetismo classico come prototipo di una teoria relativistica, evidenziando le caratteristiche che la teoria ha in comune con le teorie di campo che descrivono le altre interazioni fondamentali. Dopo una sezione introduttiva (1), che

richiama in particolare il formalismo covariante, la sezione (2) presenta una riformulazione delle leggi dell'elettromagnetismo attraverso il principio di minima azione. L'importanza di questo principio, che costituisce in particolare il punto di partenza per la quantizzazione di un sistema classico, deriva dalla sua validità generale: esso risulta applicabile a qualsiasi teoria fisica. Nella parte centrale del corso (3 - 8), a carattere più fenomenologico, si derivano le soluzioni esatte più significative delle equazioni dell'elettromagnetismo, descriventi la generazione e la propagazione delle onde, e se ne analizza l'energia irradiata in molte situazioni fisicamente rilevanti. La parte finale è rivolta ad un'analisi delle inconsistenze interne dell'elettromagnetismo classico (9), risolubili solo nell'ambito della Meccanica Quantistica, e a una possibile generalizzazione della teoria, riguardante i monopoli magnetici (10).

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni Frontali

**Contenuti :**

- 1) **RICHIAMI DI RELATIVITÀ RISTRETTA.** I postulati della relatività. Il gruppo di Lorentz e il calcolo tensoriale. Cinematica e dinamica relativistiche. Le equazioni del moto dell'elettromagnetismo classico in forma covariante e la loro natura distribuzionale. Leggi di conservazione e covarianza delle costanti del moto. I tensori energia-impulso e densità di momento angolare relativistico.
- 2) **IL FORMALISMO DELLA TEORIA CLASSICA DEI CAMPI.** Richiami ai metodi variazionali per un sistema a N gradi di libertà e per un sistema di campi relativistici. Località e invarianza di Lorentz. Teorema di Noether per una simmetria generale ed in particolare per il gruppo di Poincaré. Principio di minima azione per un sistema di particelle interagenti con il campo elettromagnetico. Il tensore energia-impulso dell'Elettrodinamica. L'invarianza di gauge.
- 3) **ONDE ELETTROMAGNETICHE.** L'equazione delle onde e il problema alle condizioni iniziali. I gradi di libertà. Soluzione generale delle equazioni di Maxwell nel vuoto. Onde piane, polarizzazione, elicità. Effetto Doppler relativistico. Guide d'onda. Cenni alle onde gravitazionali.
- 4) **GENERAZIONE DI CAMPI ELETTROMAGNETICI.** Il metodo della funzione di Green. La soluzione generale delle equazioni di Maxwell. I campi di Lienard-Wiechert. Campi di velocità e campi di accelerazione. Il campo di una carica in moto uniforme.
- 5) **IRRAGGIAMENTO.** Il campo elettromagnetico nella zona delle onde e sue proprietà. Radiazione ed emissione di quadrupolo. Distribuzione angolare. Sviluppo in multipoli. Potenza emessa in approssimazione di dipolo e limite non relativistico: formula di Larmor, radiazione dovuta all'interazione coulombiana, scattering Thomson e sezione d'urto di radiazione. Radiazione di quadrupolo e di dipolo magnetico.
- 6) **IRRAGGIAMENTO RELATIVISTICO.** Formula di Larmor relativistica. Perdita di energia per irraggiamento negli acceleratori circolari e lineari ad alte energie. Distribuzione angolare della radiazione nel limite ultrarelativistico.
- 7) **ANALISI SPETTRALE.** Analisi di Fourier della radiazione. Spettro discreto e spettro continuo. Frequenze dominanti a velocità piccole e a velocità ultrarelativistiche.
- 8) **EFFETTO CERENKOV.** Aspetti fenomenologici principali dell'effetto Cerenkov. Spiegazione teorica. Determinazione del campo di una particella con velocità superiore alla velocità della luce in un mezzo. Derivazione della formula di Frank e Tamm per la potenza emessa.
- 9) **REAZIONE DI RADIAZIONE.** Forze di frenamento e forza di autointerazione infinita. L'equazione di Dirac-Lorentz e la violazione della causalità. Limiti intrinseci di validità dell'Elettrodinamica classica.
- 10) **MONOPOLI MAGNETICI.** La dualità elettromagnetica. L'Elettrodinamica in presenza di particelle con cariche elettriche e magnetiche. La condizione di quantizzazione di Dirac.

**Modalità di esame :**

Orale

**Criteri di valutazione :**

Comprensione degli argomenti svolti a lezione, capacità di riprodurre le derivazioni dei risultati principali e di applicare i concetti appresi alla soluzione di problemi in modo autonomo.

**Testi di riferimento :**

K. Lechner, Elettrodinamica Classica. Milano: Springer-Verlag, 2014

L. Landau e E.M. Lifshitz, Fisica Teorica vol. 2: Teoria dei Campi. Roma: Editori Riuniti, 1976

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

K. Lechner, Elettrodinamica Classica, Springer.

Testi di approfondimento:

L. Landau, E. Lifshitz, Fisica Teorica vol.2: Teoria dei Campi, Editori Riuniti.

D. Jackson, Classical Electrodynamics, 3a edizione, Wiley & Sons.

## CHIMICA

(Titolare: Dott. ANDREA VITTADINI)

**Periodo:** 1 anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Nozioni elementari di matematica.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Lo scopo del corso è di impartire le conoscenze di base necessarie a comprendere la natura dei legami chimici, prevedere le strutture molecolari, e a utilizzare le leggi che governano le reazioni chimiche.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Il corso consta di 48 ore di lezioni frontali.

**Contenuti :**

CONCETTI FONDAMENTALI. Fenomeni fisici e chimici. Stati di aggregazione della materia. Sistemi omogenei ed eterogenei. Elementi e composti chimici. ATOMI, MOLECOLE E IONI. Atomi. Molecole. Ioni. Masse relative degli atomi. Massa atomica. Massa assoluta degli atomi. Numero di Avogadro. Massa molecolare. STRUTTURA ATOMICA. I componenti degli atomi. La teoria quantistica. Distribuzione degli elettroni negli atomi. Numeri quantici. Principio di esclusione di Pauli. Regola

della massima molteplicità di spin di Hund. Configurazioni elettroniche degli atomi. GLI ELEMENTI. Carattere periodico delle proprietà degli elementi. Il sistema periodico. Struttura elettronica degli elementi e costruzione della tavola periodica. FORMULE ED EQUAZIONI CHIMICHE. Formule. Formule minime. Composti binari e ternari. Nomenclatura. Rappresentazione delle reazioni mediante equazioni. Bilanciamento delle equazioni. IL LEGAME CHIMICO. Potenziale di ionizzazione. Affinità elettronica. Legame ionico. Energia reticolare. Legame covalente. Polarità del legame. Elettronegatività. Teoria del legame di valenza. Regola dell'ottetto. Strutture di Lewis. Formule di risonanza. Geometria molecolare. Metodo VSEPR. Polarità delle molecole. Interazioni intermolecolari. Legami ad idrogeno. Cenni su teorie del legame di valenza e dell'orbitale molecolare. PASSAGGI DI STATO. Tensione di vapore. Evaporazione. Ebollizione. Sublimazione. Diagrammi di stato. Punto triplo. Diagramma di stato dell'acqua e dell'anidride carbonica. SOLUZIONI. Processo di dissoluzione. Dissociazione elettrolitica. Solvatazione. Soluzioni acquose. Concentrazione. %, M, m. PROPRIETÀ COLLEGATIVE. Soluzioni. Abbassamento della tensione di vapore. Legge di Raoult. Innalzamento ebullioscopico e abbassamento crioscopico. Membrane semipermeabili. Pressione osmotica. CINETICA CHIMICA. Velocità di reazione. Influenza della temperatura. Cenni a Teoria delle collisioni. Energia di attivazione. Catalisi e catalizzatori. Ordine di reazione. EQUILIBRIO CHIMICO. Cenni di termodinamica chimica. Reversibilità delle reazioni chimiche. Legge di azione di massa. Principio dell'equilibrio mobile. Costante di equilibrio e sue espressioni. Kc e Kp. ACIDI E BASI. Acidi secondo Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis. Coppie coniugate. Forza di acidi e basi. Costante di dissociazione. Equilibrio acido-base. Equilibri in soluzione acquosa. Prodotto ionico dell'acqua. La scala del pH. Neutralizzazione. Soluzioni tampone. Titolazioni. Acidi e basi mono e poliprotici. CONDUCIBILITÀ ELETTROLITICA. Conduttori metallici ed elettrolitici. Dissociazione elettrolitica. Dissociazione e conducibilità. Diluizione e dissociazione. REAZIONI DI OSSIDO-RIDUZIONE. Ossidazione e riduzione. Numero di ossidazione degli elementi nei composti. Regole per il calcolo del numero di ossidazione. Bilanciamento stechiometrico delle reazioni di ossido-riduzione. ELETTROCHIMICA. Decorso chimico ed elettrochimico dei processi di ossido-riduzione. Semi-elementi. Pile. Forza elettromotrice. Potenziali standard. Elettrodi standard. Misura e calcolo della FEM delle celle galvaniche. Equazione di Nernst. Cenni su elettrolisi e corrosione. ELEMENTI E COMPOSTI. Chimica inorganica. Caratteristiche dei gruppi della tavola periodica. Cenni di chimica organica. Idrocarburi alifatici (saturi e insaturi) e aromatici. Principali gruppi funzionali e loro caratteristiche.

#### **Modalità di esame :**

L'esame consiste in una prova scritta, e comprende una parte di domande a risposta multipla volta ad accertare la comprensione teorica degli argomenti trattati nel corso. La seconda parte della prova consta di esercizi applicativi, che riguardano principalmente la previsione delle proprietà elettroniche e strutturali delle molecole, la stechiometria e la termodinamica chimica.

#### **Criteri di valutazione :**

Lo studente sarà valutato sia sul livello delle sue conoscenze teoriche che sulle sue capacità di applicarle per risolvere semplici problemi chimici.

#### **Testi di riferimento :**

Petrucci, Ralph H., Chimica generale principi ed applicazioni moderne Ralph H. Petrucci ... [et al.]. Padova: Piccin, 2013  
Kotz, John C.; Townsend, John Raymond, Chimica John C. Kotz, Paul M. Treichel, John R. Townsend. Napoli: EdiSES, 2013

#### **Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Saranno messe a disposizione degli studenti le presentazioni powerpoint utilizzate durante la lezione.

## **CHIMICA - SDOPPIAMENTO**

(Titolare: Dott.ssa MARTA MARIA NATILE)

**Periodo:** 1 anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

#### **Prerequisiti :**

Nozioni elementari di matematica.

#### **Conoscenze e abilità da acquisire :**

Lo scopo del corso è di impartire le conoscenze di base necessarie a comprendere la natura dei legami chimici, prevedere le strutture molecolari, e a utilizzare le leggi che governano le reazioni chimiche.

#### **Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Il corso consta di 48 ore di lezioni frontali.

#### **Contenuti :**

CONCETTI FONDAMENTALI. Fenomeni fisici e chimici. Stati di aggregazione della materia. Sistemi omogenei ed eterogenei. Elementi e composti chimici. ATOMI, MOLECOLE E IONI. Atomi. Molecole. Ioni. Masse relative degli atomi. Massa atomica. Massa assoluta degli atomi. Numero di Avogadro. Massa molecolare. STRUTTURA ATOMICA. I componenti degli atomi. La teoria quantistica. Distribuzione degli elettroni negli atomi. Numeri quantici. Principio di esclusione di Pauli. Regola della massima molteplicità di spin di Hund. Configurazioni elettroniche degli atomi. GLI ELEMENTI. Carattere periodico delle proprietà degli elementi. Il sistema periodico. Struttura elettronica degli elementi e costruzione della tavola periodica. FORMULE ED EQUAZIONI CHIMICHE. Formule. Formule minime. Composti binari e ternari. Nomenclatura. Rappresentazione delle reazioni mediante equazioni. Bilanciamento delle equazioni. IL LEGAME CHIMICO. Potenziale di ionizzazione. Affinità elettronica. Legame ionico. Energia reticolare. Legame covalente. Polarità del legame. Elettronegatività. Teoria del legame di valenza. Regola dell'ottetto. Strutture di Lewis. Formule di risonanza. Geometria molecolare. Metodo VSEPR. Polarità delle molecole. Interazioni intermolecolari. Legami ad idrogeno. Cenni su teorie del legame di valenza e dell'orbitale molecolare. PASSAGGI DI STATO. Tensione di vapore. Evaporazione. Ebollizione. Sublimazione. Diagrammi di stato. Punto triplo. Diagramma di stato dell'acqua e dell'anidride carbonica. SOLUZIONI. Processo di dissoluzione. Dissociazione elettrolitica. Solvatazione. Soluzioni acquose. Concentrazione. %, M, m. PROPRIETÀ COLLEGATIVE. Soluzioni. Abbassamento della tensione di vapore. Legge di Raoult. Innalzamento ebullioscopico e abbassamento crioscopico. Membrane semipermeabili. Pressione osmotica. CINETICA CHIMICA. Velocità di reazione. Influenza della temperatura. Cenni a Teoria delle collisioni. Energia di attivazione. Catalisi e catalizzatori. Ordine di reazione. EQUILIBRIO CHIMICO. Cenni di termodinamica chimica. Reversibilità delle reazioni chimiche. Legge di azione di massa. Principio dell'equilibrio mobile. Costante di equilibrio e sue espressioni.  $K_c$  e  $K_p$ . ACIDI E BASI. Acidi secondo Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis. Coppie coniugate. Forza di acidi e basi. Costante di dissociazione. Equilibrio acido-base. Equilibri in soluzione acquosa. Prodotto ionico dell'acqua. La scala del pH. Neutralizzazione. Soluzioni tampone. Titolazioni. Acidi e basi mono e poliprotici. CONDUCIBILITÀ ELETTROLITICA. Conduttori metallici ed elettrolitici. Dissociazione elettrolitica. Dissociazione e conducibilità. Diluizione e dissociazione. REAZIONI DI OSSIDO-RIDUZIONE. Ossidazione e riduzione. Numero di ossidazione degli elementi nei composti. Regole per il calcolo del numero di ossidazione. Bilanciamento stechiometrico delle reazioni di ossido-riduzione. ELETTROCHIMICA. Decorso chimico ed elettrochimico dei processi di ossido-riduzione. Semi-elementi. Pile. Forza elettromotrice. Potenziali standard. Elettrodi standard. Misura e calcolo della FEM delle celle galvaniche. Equazione di Nernst. Cenni su elettrolisi e corrosione. ELEMENTI E COMPOSTI. Chimica inorganica. Caratteristiche dei gruppi della tavola periodica. Cenni di chimica organica. Idrocarburi alifatici (saturi e insaturi) e aromatici. Principali gruppi funzionali e loro caratteristiche.

#### **Modalità di esame :**

L'esame consiste in una prova scritta, e comprende una parte di domande a risposta multipla volta ad accertare la comprensione teorica degli argomenti trattati nel corso. La seconda parte della prova consta di esercizi applicativi, che riguardano principalmente la previsione delle proprietà elettroniche e strutturali delle molecole, la stechiometria e la termodinamica chimica.

#### **Criteri di valutazione :**

Lo studente sarà valutato sia sul livello delle sue conoscenze teoriche che sulle sue capacità di applicarle per risolvere semplici problemi chimici.

#### **Testi di riferimento :**

Petrucci, Ralph H., Chimica generale principi ed applicazioni moderne Ralph H. Petrucci ... [et al.]. Padova: Piccin, 2013  
Kotz, John C.; Townsend, John Raymond, Chimica John C. Kotz, Paul M. Treichel, John R. Townsend. Napoli: EdiSES, 2013

#### **Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Saranno messe a disposizione degli studenti le presentazioni powerpoint utilizzate durante la lezione.

## **ELETRONICA ANALOGICA**

(Titolare: Dott. GIANMARIA COLLAZUOL)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

#### **Prerequisiti :**

Nessuno

#### **Conoscenze e abilità da acquisire :**

â—• Assimilazione dei fondamenti dell'elettronica analogica

â—• Capacità di decifrare un circuito analogico individuandone i blocchi funzionali principali

â—• Capacità di comprendere e calcolare il comportamento approssimato dei principali blocchi di cui è composto un circuito

â—• Capacità di base nel disegnare nuovi circuiti analogici

#### **Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali ed esercitazioni numeriche

#### **Contenuti :**

##### **1. RICHIAMI STRUMENTI ANALISI CIRCUITI E TRATTAMENTO SEGNALE**

- Leggi Kirckkhoff, Thevenin, Norton, Miller
- Sensori e Trasduttori: modellizzazione elettrica
- Un teorema fondamentale: Ramo-Shockley
- La funzione di trasferimento: dominio del tempo e delle frequenze
- utilizzo pratico della trasformata di Laplace

##### **2. DISPOSITIVI A SEMICONDUCTORE - DIODI**

- Richiami semiconduttori, la giunzione p-n
- Diversi tipi di diodo
- Diodo come raddrizzatore e rettificatore
- Diodo come interruttore: effetti capacitivi
- Principio translineare "relazione Gilbert

##### **3. DISPOSITIVI A SEMICONDUCTORE - TRANSISTORS**

- funzionamento BJT, MOSFET, jFET
- Modelli semplificati per piccoli e grandi segnali
- Effetti capacitivi, comportamento in frequenza, commutazione e transienti
- Transistors come interruttori
- Transistors per l'amplificazione: i blocchi fondamentali (polarizzazione, generatori di corrente e specchi di corrente, configurazioni fondamentali con un transistor (EC,CC,BC), amplificatori e buffer di tensione e corrente, comportamento in frequenza, blocchi fondamentali a due transistors)

##### **4. AMPLIFICATORI OPERAZIONALI**

- Introduzione ai vari tipi di operazionali
- Operazionali ideali / non ideali (principali limitazioni)
- Introduzione al feedback con OPA ideali
- guadagno ideale e guadagno d'anello
- comportamento di nodi e rami lungo il loop (ground virtuale)

##### **5. FEEDBACK**

- Introduzione al feedback
- configurazioni elementari invertente/non-invertente
- benefici: stabilità, linearità, rumore, impedenze, banda
- feedback negativo/positivo
- Strumenti utili per analisi del feedback
- metodi semplificati e teorema Blackman
- classificazione "feedback in corrente/tensione
- Esempi dai più semplici ai più complessi
- Amplificatori in tensione, corrente, transimpedenza, tranconduttanza
- Analisi di circuiti con feedback negativo
- Feedback e comportamento in frequenza (criteri di stabilità, luogo delle radici)

##### **6. CIRCUITI ANALOGICI FONDAMENTALI - LINEARI E NON LINEARI**

##### **7. CENNI A RUMORE E RECUPERO DEL SEGNALE**

#### **Modalità di esame :**

Esame orale

#### **Criteri di valutazione :**

I criteri per la valutazione della prova orale tengono conto della

correttezza dei contenuti, della chiarezza argomentativa e delle capacità di analisi critica e di rielaborazione

#### **Testi di riferimento :**

A.Lacaita, Circuiti Elettronici. ;

T.H.Wilmshurst, Analog Circuit techniques. ;

#### **Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Slides delle lezioni (vedere Moodle relativo al Corso)

## **FISICA DEI PIANETI**

(Titolare: Prof. FRANCESCO MARZARI) - Mutuato da: Laurea magistrale in Astronomia (Ord. 2010)

**Periodo:** III anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

#### **Prerequisiti :**

Corsi di base del triennio



**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Conoscenza della formazione ed evoluzione di sistemi planetari.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni in aula e approfondimenti su dispense e libri di testo.

**Contenuti :**

- 1) Caratteristiche fisiche e dinamiche dei pianeti del Sistema Solare ed extrasolari.
- 2) Formazione dei pianeti da dischi circumstellari, migrazione planetaria e planet-planet scattering. Cenni di fluidodinamica e interazione mareale tra disco e pianeta.
- 3) Campi magnetici planetari, origine e morfologia.
- 4) Moto di cariche nei campi magnetici dei pianeti, fasce di Van Allen, magnetosfere, vento solare.
- 5) Interazione mareale pianeta-satellite e pianeta-stella, sincronizzazione spin-orbita, allungamento del giorno terrestre e allontanamento della Luna.
- 6) Fisica dell'interno dei pianeti, equazioni di stato e struttura.
- 7) Forze non gravitazionali che agiscono sui precursori dei pianeti: Poyting-Robertson drag, effetto Yarkowski, gas drag.
- 7) Il problema a 3 corpi ristretto, punti Lagrangiani (orbite di tipo Troiano) e loro stabilità, sfera di Hill e sue applicazioni (stelle variabili cataclismiche, satelliti di asteroidi)
- 8) Perturbazioni secolari nei sistemi a molti pianeti.

**Modalità di esame :**

Esame orale

**Criteri di valutazione :**

Conoscenza degli argomenti trattati e capacità di derivazione analitica dei risultati teorici.

**Testi di riferimento :**

Murray and Dermott, *Solar System Dynamics*. : Cambridge,  
Armitage, *Astrophysics of planet formation*. : Cambridge,  
Goldston and Rutherford, *Introduction to plasma physics*. : IoP,  
Thompson, *An introduction to astrophysical fluid dynamics*. : Imperial college press,  
Bertotti, Farinella and Vokroulicki, *Physics of the solar system*. : Kluwer,  
DePater and Lissauer, *Planetary Sciences*. : Cambridge,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Testi di riferimento,

Dispense e lucidi: [www.pd.infn.it/~marzari/teaching](http://www.pd.infn.it/~marzari/teaching)

---

## FISICA GENERALE 1

(Titolare: Prof. ALBERTO CARNERA)

**Periodo:** 1 anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 72A+60E; 14,00 CFU

**Prerequisiti :**

Analisi Matematica I, Geometria. Analisi di funzioni; derivate ed integrali per funzioni con una variabile; equazioni differenziali lineari.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il metodo sperimentale, le leggi della meccanica del punto e dei corpi rigidi, le leggi della meccanica dei fluidi e della termodinamica

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Durante il corso, oltre alle lezioni di teoria e a quelle dedicate allo svolgimento di esercizi, sono previste una o due ore settimanali di tutorato, nelle quali vengono dibattuti argomenti o discussi esercizi segnalati dagli studenti.

**Contenuti :**

Grandezze fisiche, unità di lunghezza e di tempo. Dimensioni fisiche. Cinematica del punto: moto rettilineo, moto piano, moto circolare. Dinamica del punto: Massa inerziale; il concetto di forza, Le tre leggi di Newton. Cinematica e dinamica nei sistemi di riferimento accelerati. Forze di inerzia. Lavoro ed energia cinetica. Teorema dell'energia. Forze conservative. Energia potenziale. Moto armonico. Il sistema massa-molla. Quantità di moto. Impulso. Forze impulsive. I pendoli. L'oscillatore smorzato con attrito radente, con attrito viscoso. Risonanza. Proprietà elastiche dei solidi. Dinamica di sistemi di particelle: centro di massa. Q. di m. totale e sua conservazione. Momento angolare e delle forze per un punto materiale e per un sistema. Momento angolare intrinseco ed orbitale. Conservazione del momento angolare. Corpo rigido: Statica. Rotazione intorno ad un asse fisso. Urti tra corpi rigidi. Rotolamento. Rotazione intorno ad assi non di simmetria. Precessione. Giroscopio. Leggi di Keplero. La forza di gravitazione universale. Le orbite dei satelliti. L'esperienza di Cavendish. Moto nel sistema di riferimento terrestre. Statica dei fluidi. Dinamica dei fluidi. Viscosità; cenni alla resistenza di scia e vorticosità. Equilibrio termico, principio zero della termodinamica cenni alla temperatura. Termometro a gas. Equilibrio termodinamico; equazione di stato. Lavoro. Energia interna; calore. Primo principio della termodinamica. Calori specifici; calori latenti; trasmissione del calore. Gas ideali: espansione libera; energia interna. Relazione di Mayer, equazione di Poisson. Macchine termiche. Secondo principio della termodinamica Reversibilità. Ciclo di Carnot. Teorema di Carnot. Temperatura termodinamica. Teorema di Clausius. Entropia. Principio dell'aumento dell'entropia; entropia ed energia inutilizzabile. Proprietà dei fluidi reali. Equazione di Clapeyron. Teoria cinetica dei gas. Cenni all'interpretazione statistica dell'entropia.

**Modalità di esame :**

Prova scritta ed esame orale.

Per la prova scritta, in alternativa ai normali appelli di esame sono previste tre prove di accertamento intermedie svolte durante il corso.

**Testi di riferimento :**

A. Bettini, *Meccanica e termodinamica*. : Zanichelli,  
P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci, *Fisica 1*. : Edises,  
F. Paccanoni, G. Zumerle, *Fisica Generale 1 Raccolta di problemi di Meccanica e Termodinamica con soluzione guidata*. : Libreria Progetto,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Sul sito <https://elearning.unipd.it/fisica/> sono presenti alcuni (pochi) materiali non presenti nei testi di riferimento, le trasparenze usate a lezione, testi di esercizi relativi agli argomenti oggetto delle lezioni, proposti due volte a settimana, e relative soluzioni, esempi di prove

## FISICA GENERALE 1 - SDOPPIAMENTO

(Titolare: Prof. ALBERTO CARNERA)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 72A+60E; 14,00 CFU

### Prerequisiti :

Analisi Matematica I, Geometria. Analisi di funzioni; derivate ed integrali per funzioni con una variabile; equazioni differenziali lineari.

### Conoscenze e abilità da acquisire :

Il metodo sperimentale, le leggi della meccanica del punto e dei corpi rigidi, le leggi della meccanica dei fluidi e della termodinamica

### Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Durante il corso, oltre alle lezioni di teoria e a quelle dedicate allo svolgimento di esercizi, sono previste una o due ore settimanali di tutorato, nelle quali vengono dibattuti argomenti o discussi esercizi segnalati dagli studenti.

### Contenuti :

Grandezze fisiche, unità di lunghezza e di tempo. Dimensioni fisiche. Cinematica del punto: moto rettilineo, moto piano, moto circolare. Dinamica del punto: Massa inerziale; il concetto di forza, Le tre leggi di Newton. Cinematica e dinamica nei sistemi di riferimento accelerati. Forze di inerzia. Lavoro ed energia cinetica. Teorema dell'energia. Forze conservative. Energia potenziale. Moto armonico. Il sistema massa-molla. Quantità di moto. Impulso. Forze impulsive. I pendoli. L'oscillatore smorzato con attrito radente, con attrito viscoso. Risonanza. Proprietà elastiche dei solidi. Dinamica di sistemi di particelle: centro di massa. Q. di m. totale e sua conservazione. Momento angolare e delle forze per un punto materiale e per un sistema. Momento angolare intrinseco ed orbitale. Conservazione del momento angolare. Corpo rigido: Statica. Rotazione intorno ad un asse fisso. Urti tra corpi rigidi. Rotolamento. Rotazione intorno ad assi non di simmetria. Precessione. Giroscopio.. Leggi di Keplero. La forza di gravitazione universale. Le orbite dei satelliti. L'esperienza di Cavendish. Moto nel sistema di riferimento terrestre. Statica dei fluidi. Dinamica dei fluidi. Viscosità; cenni alla resistenza di scia e vorticoso. Equilibrio termico, principio zero della termodinamica cenni alla temperatura. Termometro a gas. Equilibrio termodinamico; equazione di stato. Lavoro. Energia interna; calore. Primo principio della termodinamica. Calori specifici; calori latenti; trasmissione del calore. Gas ideali: espansione libera; energia interna. Relazione di Mayer, equazione di Poisson. Macchine termiche. Secondo principio della termodinamica Reversibilità. Ciclo di Carnot. Teorema di Carnot. Temperatura termodinamica. Teorema di Clausius. Entropia. Principio dell'aumento dell'entropia; entropia ed energia inutilizzabile. Proprietà dei fluidi reali. Equazione di Clapeyron. Teoria cinetica dei gas. Cenni all'interpretazione statistica dell'entropia.

### Modalità di esame :

Prova scritta ed esame orale.

Per la prova scritta, in alternativa ai normali appelli di esame sono previste tre prove di accertamento intermedie svolte durante il corso.

### Testi di riferimento :

A. Bettini, Meccanica e termodinamica. : Zanichelli,

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci, Fisica 1. : Edises,

F. Paccanoni, G. Zumerle, Fisica Generale 1 Raccolta di problemi di Meccanica e Termodinamica con soluzione guidata. : Libreria Progetto,

### Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Sul sito <https://elearning.unipd.it/fisica/> sono presenti alcuni (pochi) materiali non presenti nei testi di riferimento, le trasparenze usate a lezione, testi di esercizi relativi agli argomenti oggetto delle lezioni, proposti due volte a settimana, e relative soluzioni, esempi di prove di esame

## FISICA GENERALE 2

(Titolare: Prof. FABIO ZWIRNER)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 72A+60E; 14,00 CFU

### Prerequisiti :

Fisica generale 1, Analisi matematica 1, Analisi matematica 2, Geometria

### Conoscenze e abilità da acquisire :

In questo corso si studiano i fenomeni elettromagnetici, partendo dall'osservazione sperimentale per giungere alla formulazione di leggi. Le conoscenze da acquisire riguardano le metodologie sperimentali per lo studio dei fenomeni elettrici e magnetici, statici e dinamici e della teoria che permette la loro descrizione formale, fino alla formulazione delle equazioni di Maxwell sia nel vuoto che nella materia.

Tra i fenomeni elettromagnetici studiati, particolare attenzione sarà dedicata a quelli dell'ottica e quindi allo studio di onde e oscillazioni.

### Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

L'insegnamento prevede lezioni frontali alla lavagna, con numerose dimostrazioni in Aula. La trattazione generale sarà corredata da esercizi illustrativi ed applicazioni.

### Contenuti :

Legge di Coulomb. Sistema Internazionale di unità di misura. Campo elettrostatico. Potenziale elettrostatico.

Legge di Gauss. Equazioni di Poisson e Laplace.

Dipolo elettrico. Approssimazione di dipolo per un sistema di cariche.

Proprietà dei conduttori in equilibrio. Schermo elettrostatico. Capacità: condensatore ideale. Energia di un sistema di cariche. Energia del campo elettrostatico.

Dielettrici. Costante dielettrica. Polarizzazione. Cariche di polarizzazione. Vettore spostamento elettrico. Cenni su interpretazione microscopica del comportamento dei dielettrici.

Proprietà della carica elettrica. L'esperienza di Millikan e la quantizzazione della carica. Correnti elettriche e densità di corrente. Conservazione della carica. Legge di Ohm. Effetto Joule. Generatori. Forza elettromotrice. Leggi di Kirchhoff. Cenni su superconduttività. Campo magnetico; forza di Lorentz. Moto di una carica in un campo magnetico. Frequenza di ciclotrone. Effetto Hall. Seconda legge di Laplace. Legge di Biot-Savart. Legge della circuitazione di Ampere. Potenziale vettore. Prima legge di Laplace. Forze tra correnti. Momento di dipolo magnetico. Induzione elettromagnetica. Legge di Faraday-Lenz. Mutua e auto-induttanza. Circuiti a costanti concentrate. Soluzioni stazionarie di circuiti con f.e.m. alternata. Legge di Ohm per circuiti in corrente alternata. Impedenza complessa. Risonanza in circuiti RLC. Equazione di Ampere-Maxwell; espressione finale delle equazioni di Maxwell. Il campo elettromagnetico.

Energia di un sistema di correnti. Proprietà magnetiche dei materiali. Vettore magnetizzazione. Correnti di magnetizzazione Vettore H. Ferromagnetismo; curva di isteresi. Cenni su interpretazione microscopica del comportamento magnetico dei materiali. Moto oscillatorio. Sistemi con due o più gradi di libertà. Oscillazioni di una corda tesa. Equazione delle onde. Onde armoniche. Relazione di dispersione. Cenni sull'analisi di Fourier. Onde progressive. Mezzi dispersivi e non-dispersivi. Riflessione delle onde. Impedenza caratteristica. Onde in tre dimensioni. Onde sonore. Intensità delle onde sonore.

Onde elettromagnetiche come soluzioni delle equazioni di Maxwell. Scoperta delle onde elettromagnetiche: esperimento di Hertz. Densità e flusso di energia del campo elettromagnetico. Condizioni di raccordo sulla superficie di separazione tra due mezzi. Soluzioni delle equazioni di Maxwell in un mezzo omogeneo o in due mezzi omogenei diversi in contatto tramite una superficie piana.

Intensità delle onde elettromagnetiche. Campo di radiazione. Spettro delle onde e.m.. Propagazione degli impulsi. Velocità di gruppo. Misure della velocità della luce. Riflessione e rifrazione della luce dalle equazioni di Maxwell. Leggi di Snell. Assorbimento e indice di rifrazione complesso. Interferenza e diffrazione. Principio di Huygens-Fresnel. Esperimento dei fori di Young. Coerenza spaziale e temporale. Interferenza con lamine sottili. Frange di uguale inclinazione e uguale spessore. Interferenza tra molte sorgenti. Diffrazione da una fenditura e da una apertura circolare. Potere risolutivo di una lente. Diffrazione da molti centri disposti casualmente. Potere risolutivo di uno strumento ottico. Criterio di Rayleigh. Reticolo di diffrazione. Potere risolutivo di un reticolo.

Polarizzazione della luce: lineare, circolare, ellittica. Polarizzazione per riflessione (angolo di Brewster), per diffusione, per dicroismo. Legge di Malus. Analizzatori. Onde e.m. in mezzi non isotropi. Birifrangenza. Lamina a quarto d'onda. Birifrangenza artificiale. Attività ottica.

#### **Modalità di esame :**

L'esame prevede sia una prova scritta che una orale, nella stessa sessione di esame. La prova scritta è propedeutica all'orale. La prova scritta per l'ammissione all'orale nella sessione invernale (alla fine del I semestre), può essere sostituita dalle prove scritte parziali (compitini) durante il semestre

#### **Criteri di valutazione :**

Nella prova scritta lo studente deve mostrare la capacità di risolvere dei semplici problemi sugli argomenti svolti nel corso. Nella prova orale lo studente deve mostrare la capacità di analizzare fenomeni elettromagnetici e la comprensione delle leggi fisiche che li descrivono.

#### **Testi di riferimento :**

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci, *Fisica*, vol. 2 Seconda Edizione. Napoli: EdiSES,  
A. Bettini, *Elettromagnetismo*. Bologna: Decibel-Zanichelli.,  
A. Bettini, *Le Onde e la luce*. Bologna: Decibel-Zanichelli,

## **FISICA GENERALE 2 - SDOPPIAMENTO**

(Titolare: Prof. FRANCO SIMONETTO)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 72A+60E 0,00 CFU

#### **Prerequisiti :**

Fisica generale 1, Analisi matematica 1, Analisi matematica 2, Geometria

#### **Conoscenze e abilità da acquisire :**

In questo corso si studiano i fenomeni elettromagnetici, partendo dall'osservazione sperimentale per giungere alla formulazione di leggi. Le conoscenze da acquisire riguardano le metodologie sperimentali per lo studio dei fenomeni elettrici e magnetici, statici e dinamici e della teoria che permette la loro descrizione formale, fino alla formulazione delle equazioni di Maxwell sia nel vuoto che nella materia. Tra i fenomeni elettromagnetici studiati, particolare attenzione sarà dedicata a quelli dell'ottica e quindi allo studio di onde e oscillazioni.

#### **Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

L'insegnamento prevede lezioni frontali alla lavagna, con numerose dimostrazioni in Aula. La trattazione generale è corredata da esercizi illustrativi ed applicazioni.

#### **Contenuti :**

Legge di Coulomb. Sistema Internazionale di unità di misura. Campo elettrostatico. Potenziale elettrostatico. Legge di Gauss. Equazioni di Poisson e Laplace.

Dipolo elettrico. Approssimazione di dipolo per un sistema di cariche.

Proprietà dei conduttori in equilibrio. Schermo elettrostatico. Capacità: condensatore ideale. Energia di un sistema di cariche. Energia del campo elettrostatico.

Dielettrici. Costante dielettrica. Polarizzazione. Cariche di polarizzazione. Vettore spostamento elettrico. Cenni su interpretazione microscopica del comportamento dei dielettrici.

Proprietà della carica elettrica. L'esperienza di Millikan e la quantizzazione della carica. Correnti elettriche e densità di corrente. Conservazione della carica. Legge di Ohm. Effetto Joule. Generatori. Forza elettromotrice. Leggi di Kirchhoff. Cenni su superconduttività. Campo magnetico; forza di Lorentz. Moto di una carica in un campo magnetico. Frequenza di ciclotrone. Effetto Hall.

Seconda legge di Laplace. Legge di Biot-Savart. Legge della circuitazione di Ampere. Potenziale vettore. Prima legge di Laplace. Forze tra correnti. Momento di dipolo magnetico.

Induzione elettromagnetica. Legge di Faraday-Lenz. Mutua e auto-induttanza.

Circuiti a costanti concentrate. Soluzioni stazionarie di circuiti con f.e.m. alternata.

Legge di Ohm per circuiti in corrente alternata. Impedenza complessa. Risonanza in circuiti RLC.

Equazione di Ampere-Maxwell; espressione finale delle equazioni di Maxwell. Il campo elettromagnetico.

Energia di un sistema di correnti. Proprietà magnetiche dei materiali. Vettore magnetizzazione. Correnti di magnetizzazione Vettore H. Ferromagnetismo; curva di isteresi.

Cenni su interpretazione microscopica del comportamento magnetico dei materiali.

Moto oscillatorio. Sistemi con due o più gradi di libertà. Oscillazioni di una corda tesa. Equazione delle onde. Onde armoniche.

Relazione di dispersione.

Cenni sull'analisi di Fourier.

Onde progressive. Mezzi dispersivi e non-dispersivi.

Riflessione delle onde. Impedenza caratteristica.

Onde in tre dimensioni. Onde sonore. Intensità delle onde sonore.

Onde elettromagnetiche come soluzioni delle equazioni di Maxwell.

Scoperta delle onde elettromagnetiche: esperimento di Hertz.

Densità e flusso di energia del campo elettromagnetico. Condizioni di raccordo sulla superficie di separazione tra due mezzi. Soluzioni delle equazioni di Maxwell in un mezzo omogeneo o in due mezzi omogenei diversi in contatto tramite una superficie piana.

Intensità delle onde elettromagnetiche. Campo di radiazione. Spettro delle onde e.m..

Propagazione degli impulsi. Velocità di gruppo. Misure della velocità della luce.

Riflessione e rifrazione della luce dalle equazioni di Maxwell. Leggi di Snell.

Assorbimento e indice di rifrazione complesso.

Interferenza e diffrazione. Principio di Huygens-Fresnel. Esperimento dei fori di Young. Coerenza spaziale e temporale. Interferenza con lamine sottili. Frange di uguale inclinazione e uguale spessore.

Interferenza tra molte sorgenti.

Diffrazione da una fenditura e da una apertura circolare. Potere risolutivo di una lente.

Diffrazione da molti centri disposti casualmente.

Potere risolutivo di uno strumento ottico. Criterio di Rayleigh.

Reticolo di diffrazione. Potere risolutivo di un reticolo.

Polarizzazione della luce: lineare, circolare, ellittica. Polarizzazione per riflessione (angolo di Brewster), per diffusione, per dicroismo.

Legge di Malus. Analizzatori.

Onde e.m. in mezzi non isotropi. Birifrangenza. Lamina a quarto d'onda.

Birifrangenza artificiale. Attività ottica.

#### **Modalità di esame :**

L'esame prevede sia una prova scritta che una orale, nella stessa sessione di esame. La prova scritta è propedeutica all'orale.

La prova scritta per l'ammissione all'orale nella sessione invernale (alla fine del I semestre), può essere sostituita dalle prove scritte parziali (compitini) durante il semestre

#### **Criteri di valutazione :**

Nella prova scritta lo studente deve mostrare la capacità di risolvere dei semplici problemi sugli argomenti svolti nel corso.

Nella prova orale lo studente deve mostrare la capacità di analizzare fenomeni elettromagnetici e la comprensione delle leggi fisiche che li descrivono.

#### **Testi di riferimento :**

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci, Fisica, vol. 2 Seconda Edizione. Napoli: EdiSES,

A. Bettini, Elettromagnetismo. Bologna: Decibel-Zanichelli,

A. Bettini, Le Onde e la Luce. Bologna: Decibel-Zanichelli,

## **FISICA MODERNA**

(Titolare: Prof. PIERALBERTO MARCHETTI)

**Periodo:** Il anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A+16E; 8,00 CFU

#### **Prerequisiti :**

Analisi Matematica 1,2,3, Geometria, Fisica Generale 1 e 2.

#### **Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso illustra gli esperimenti e le considerazioni teoriche che hanno reso necessario il superamento della meccanica e dell'elettromagnetismo classico e l'introduzione della relatività ristretta e della meccanica quantistica. Nella prima parte si introdurrà la relatività ristretta spiegando le ragioni della sua formazione, la logica della sua struttura ed il carattere innovativo delle sue implicazioni. Nella seconda parte si mostreranno le evidenze che hanno portato al concetto di quantizzazione e si introdurranno le basi della

meccanica quantistica e della fisica atomica.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali di teoria e esercizi

**Contenuti :**

Prima Parte: Relatività ristretta. Trasformazioni di Galileo. Relatività galileiana. Elettromagnetismo e relatività galileiana. Esperimento di Michelson-Morely. I postulati della teoria della relatività ristretta. Osservatori e misure di spazio e tempo. Relatività della simultaneità. Trasformazioni di Lorentz. Diagrammi di Minkowski. Invarianza dell'intervallo spazio-temporale. Contrazione delle lunghezze. Dilatazione dei tempi. Coni luce e causalità. Composizione delle velocità. Effetto Doppler. Paradosso dei gemelli. Quadrivettori. Gruppo di Poincaré e gruppo di Lorentz. Grandezze covarianti e controvarianti. Tensori quadridimensionali. Tensore metrico. Leggi di trasformazione dei campi. Quadrivelocità, quadri-impulso, quadriforza. Energia cinetica. Energia totale ed energia di massa. Equivalenza massa energia. Relazione tra momento ed energia. Particelle di massa nulla. Descrizione generale degli urti: urti elastici ed anelastici. Invarianti cinematici. Urti a due corpi. Urti elastici. Decadimenti. Tensore elettromagnetico. Equazioni di Maxwell in forma covariante. Trasformazioni dei campi elettromagnetici. Invarianti elettromagnetici. Particella carica in un campo elettrico e/o magnetico costanti. Seconda parte: La crisi della fisica classica: effetto fotoelettrico e interpretazione di Einstein in termini di fotoni, onde di de Broglie e esperimento di Davisson e Germer. Effetto Compton. Esperimento delle fenditure di Young con particelle classiche, onde classiche e particelle quantistiche, principio di indeterminazione di Heisenberg e conseguenti richieste per una teoria delle particelle quantistiche. Il problema del corpo nero: leggi di Stefan-Boltzmann e Wien, modello di Raleigh-Jeans, ipotesi di Planck. Radiazione cosmica di fondo. Spettri atomici. Formula di Rydberg. Modello di Thompson. Esperimento di Rutherford. Modello di Bohr. Esperimento di Franck-Hertz. Legge di Mosley. Regole di commutazione canoniche di Heisenberg. Equazione d'onda di Schrödinger stazionaria, equazione di Schrödinger per l'evoluzione temporale della funzione d'onda, equivalenza con il formalismo di Heisenberg, interpretazione di Born. Autovalori ed autofunzioni. Valori di aspettazione. Particella in una buca di potenziale. Effetto tunnel. Quantizzazione del momento angolare. Spin. Equazione d'onda per  $\pi^+$  particelle, il principio di indistinguibilità delle particelle quantistiche, la conseguenza: statistiche bosoniche e fermioniche. Principio di esclusione di Pauli. Tavola periodica.

**Modalità di esame :**

Esame scritto e orale

**Criteri di valutazione :**

Verifica della comprensione della parte teorica del corso e della capacità di svolgere esercizi ad esso attinenti.

**Testi di riferimento :**

A. Beiser, *Concepts of Modern Physics.* : Mc Graw Hill, 2003

V. Barone, *Relatività.* : Bollati Boringhieri, 2004

## FISICA MODERNA - SDOPPIAMENTO

(Titolare: Prof. FLAVIO SENO)

**Periodo:** Il anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A+16E; 8,00 CFU

**Prerequisiti :**

Analisi Matematica 1,2,3 Geometria, Fisica Generale 1 e 2.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso illustra gli esperimenti e le considerazioni teoriche che hanno reso necessario il superamento della meccanica e della relatività classica e l'introduzione della relatività ristretta e della meccanica quantistica. Nella prima parte si introdurrà la relatività ristretta spiegando le ragioni della sua formazione, la logica della sua struttura ed il carattere innovativo delle sue implicazioni. Nella seconda parte si mostreranno le evidenze che hanno portato al concetto di quantizzazione e si introdurranno le basi della meccanica quantistica e della fisica atomica.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali di teoria e esercizi

**Contenuti :**

Prima Parte: Relatività ristretta. Trasformazioni di Galileo. Relatività galileiana. Elettromagnetismo e relatività galileiana. Esperimento di Michelson-Morely. I postulati della teoria della relatività ristretta. Osservatori e misure di spazio e tempo. Relatività della simultaneità. Trasformazioni di Lorentz. Diagrammi di Minkowski. Invarianza dell'intervallo spazio-temporale. Contrazione delle lunghezze. Dilatazione dei tempi. Coni luce e causalità. Composizione delle velocità. Effetto Doppler. Paradosso dei gemelli. Quadrivettori. Gruppo di Poincaré e gruppo di Lorentz. Grandezze covarianti e controvarianti. Tensori quadridimensionali. Tensore metrico. Leggi di trasformazione dei campi. Quadrivelocità, quadri-impulso, quadriforza. Energia cinetica. Energia totale ed energia di massa. Equivalenza massa energia. Relazione tra momento ed energia. Particelle di massa nulla. Descrizione generale degli urti: urti elastici ed anelastici. Invarianti cinematici. Urti a due corpi. Urti elastici. Decadimenti. Tensore elettromagnetico. Equazioni di Maxwell in forma covariante. Trasformazioni dei campi elettromagnetici. Invarianti elettromagnetici. Particella carica in un campo elettrico e/o magnetico costanti. Seconda parte: La crisi della fisica classica: effetto fotoelettrico e interpretazione di Einstein in termini di fotoni, onde di de Broglie e esperimento di Davisson e Germer. Effetto Compton. Esperimento delle fenditure di Young con particelle classiche, onde classiche e particelle quantistiche, principio di indeterminazione di Heisenberg e conseguenti richieste per una teoria delle particelle quantistiche. Il problema del corpo nero: leggi di Stefan-Boltzmann e Wien, modello di Raleigh-Jeans, ipotesi di Planck. Radiazione cosmica di fondo. Spettri atomici. Formula di Rydberg. Modello di Thompson. Esperimento di Rutherford. Modello di Bohr. Esperimento di Franck-Hertz. Legge di Mosley. Regole di commutazione canoniche di Heisenberg. Equazione d'onda di Schrödinger stazionaria, equazione di Schrödinger per l'evoluzione temporale della funzione d'onda, equivalenza con il formalismo di Heisenberg, interpretazione di Born. Autovalori ed autofunzioni. Valori di aspettazione. Particella in una buca di potenziale. Effetto tunnel. Quantizzazione del momento angolare. Spin. Equazione d'onda per  $\pi^+$  particelle, il principio di indistinguibilità delle particelle quantistiche, la conseguenza: statistiche bosoniche e fermioniche. Principio di esclusione di Pauli. Tavola periodica.

**Modalità di esame :**

Esame scritto e orale

**Criteri di valutazione :**

Verifica della comprensione della parte teorica del corso e della capacità di svolgere esercizi ad esso attinenti

**Testi di riferimento :**

V. Barone, *Relatività* . : Bollati Boringhieri, 2004

A. Beiser, *Concepts of Modern Physics*. : Mc. Graw Hill, 2003

## FLUIDODINAMICA

---

(Titolare: Prof. GIAMPAOLO MISTURA)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 32A+16E; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Aver frequentato i corsi di Fisica Generale I e II, Analisi I and II, Geometria.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso Ã finalizzato all'acquisizione delle conoscenze di base della dinamica dei fluidi newtoniani che posseggono inerzia e viscositÃ . Tramite continue analogie e confronti con le equazioni del campo elettromagnetico e con quelle dell'elasticitÃ , permette inoltre di approfondire proprietÃ comuni dei mezzi continui.

**AttivitÃ di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali. Per meglio comprendere alcuni concetti fondamentali, durante il corso sono previste anche delle dimostrazioni in laboratorio e in video.

**Contenuti :**

GeneralitÃ sui fluidi. ValiditÃ ipotesi del continuo per un fluido. ProprietÃ fisiche dei fluidi: compressibilitÃ , densitÃ , viscositÃ . Fluidi newtoniani.

Descrizione del campo di velocitÃ . Derivata materiale. Equazione di continuitÃ . Funzione di corrente di un flusso a simmetria 2D. Tensore degli sforzi di un fluido a riposo e in movimento. Equazione di Cauchy per un fluido. Equazione di Navier-Stokes per un fluido incompressibile e newtoniano. Condizione di non-scivolamento alla parete solida. SimilaritÃ dinamica e numero di Reynolds.

Soluzioni analitiche equazione di Navier-Stokes: flusso di un film liquido su un piano inclinato; flusso di Couette; flusso di Taylor-Couette e analisi della sua stabilitÃ ; flusso di Poiseuille in una condotta di sezione arbitraria; flusso di Poiseuille in una condotta a sezione circolare; stabilitÃ flusso di Poiseuille; teoria della lubrificazione.

Moto oggetti in un fluido a bassi numeri di Reynolds: moto di una sfera, equazione di Stokes; moto di una sfera, equazione di Oseen; moto di un cilindro; moto cilindro per numeri di Reynolds compresi tra 1 e 100.

Equazione della vorticitÃ . Teorema di Bernoulli. Equazione dello strato limite. Strato limite su una superficie piana. Soluzione di Blasius e coefficiente di resistenza. Metodo di von Karman. Separazione dello strato limite.

Forze viscosse esercitate da un fluido in moto su un oggetto. Forza di trascinamento, fattore di forma, resistenza viscosa. Coefficiente di trascinamento Cd. Variazione del Cd di un cilindro e di una sfera col numero di Reynolds. Regime supercritico e sue applicazioni nei giochi con palle.

Introduzione alla turbolenza. Caratteristiche del regime turbolento.

Equazioni del moto di un fluido ideale. Teorema di Kelvin. Equazione di Eulero. Equazione di Laplace per il potenziale velocitÃ . Il principio di sovrapposizione. UnicitÃ soluzioni equazione di Laplace. Moto di un cilindro in un fluido non viscoso. Effetto Magnus. Moto di una sfera in un fluido non viscoso.

La portanza agente su un profilo alare. Ipotesi di Zhukhovskiy.

Fenomeni interfacciali tra due fluidi. Tensione superficiale. Equazione di Laplace. Adesione capillare. Angolo di contatto. Produzione di micro gocce.

**ModalitÃ di esame :**

Esame orale.

**Criteri di valutazione :**

La valutazione della preparazione dello studente si baserÃ sulla comprensione degli argomenti svolti, sull'acquisizione dei concetti e delle metodologie proposte e sulla capacitÃ di applicarle in modo autonomo e consapevole.

**Testi di riferimento :**

P.K. Kundu, I.M. Cohen e D.R. Dowling, *Fluid Mechanics*. Oxford: Academic Press, 2012

## FONDAMENTI DI FISICA DEI PLASMI

---

(Titolare: Dott. GIANLUIGI SERIANNI)

**Periodo:** III anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Analisi Matematica I, II, III, Fisica Generale II, Fisica Moderna

**Conoscenze e abilitÃ da acquisire :**

apprendimento dei fenomeni di base della fisica del plasma e dei metodi adoperati nella loro descrizione

**AttivitÃ di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

diapositive; notes

**Contenuti :**

Descrizione e principali proprietÃ di un plasma: frequenza di plasma e lunghezza di Debye; collisioni; diffusione e mobilitÃ ; moto delle particelle e di fluidi conduttori in campi elettrici e magnetici; interazione fra plasma e superfici materiali. Scarica nei gas: scarica oscura; ionizzazione e deionizzazione; scarica a bagliore; scarica ad arco; scarica tipo corona; scarica capacitiva e induttiva; la sorgente degli iniettori di neutri; acceleratori di particelle di alta intensitÃ . Magnetoidrodinamica: deduzione delle equazioni descrittive; modello a fluido

unico; confinamento del plasma; configurazioni di equilibrio magnetostatico lineari; cenni alla fusione termonucleare controllata nell'ambito del problema energetico. Onde nei plasmi: cenni alle principali instabilità di plasma (kink e sausage); onde elettrostatiche; onde elettromagnetiche. Diagnostica di plasma: strato di Debye e sonde di Langmuir; spettroscopia di plasma; trasmissione di onde nei plasmi; misura di campo magnetico; misure termomeccaniche.

**Modalità di esame :**

scritto, orale

**Criteri di valutazione :**

Livello di raggiungimento delle conoscenze da acquisire

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

fotocopie dei trasparenti adoperati dal docente.

Testi di riferimento: F. F. Chen, *Plasma Physics and Controlled Fusion*, vol. I, Plenum Press, New York (USA), 1984; G. Pucella e S. E. Segre, *Fisica dei plasmi*, Zanichelli, 2010; J. Reece Roth, *Industrial Plasma Engineering*, vol. I, Institute of Physics Publishing, Bristol (UK), 1995; A. Buffa, L. Giudicotti, *Dispense di Fisica dei Plasmi*, Cortina, Padova, 2008.

Per consultazione: Yu. P. Raizer, *Gas Discharge Physics*, Springer, Berlin (D), 1991; M. A. Lieberman e A. J. Lichtenberg, *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*, 2nd edition, Wiley, New York (USA), 2005; J. P. Freidberg, *Ideal Magnetohydrodynamics*, Plenum Press, New York (USA), 1987.

## GEOMETRIA

(Titolare: Prof. REMKE NANNE KLOOSTERMAN)

**Periodo:** I anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A+16E; 8,00 CFU

**Prerequisiti :**

Nessuno

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Conoscenza delle nozioni fondamentali della teoria degli spazi vettoriali e della teoria delle matrici. Conoscenza degli stretti legami che l'algebra lineare ha con la geometria.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali (50% del tempo) alternate con esercizi svolti in classe dal docente (rimanente 50% del tempo).

**Contenuti :**

Risoluzione di sistemi di equazioni lineari. Tecnica di eliminazione di Gauss. Calcolo di matrici, matrici invertibili. Rango di una matrice.

Spazi vettoriali, sottospazi, dipendenza lineare, basi. Dimensione di uno spazio vettoriale. Somma di spazi vettoriali, intersezione di spazi vettoriali.

Mappe lineari. Nucleo e immagine di una mappa lineare. Matrice di una mappa lineare. Matrice di cambiamento base. Determinante di una matrice.

Autovalori e autovettori di una mappa lineare. Matrici diagonalizzabili.

Lo spazio dei vettori geometrici: prodotto scalare e sue proprietà, norma di un vettore, disuguaglianza di Schwarz.

Forme quadratiche. Applicazioni bilineari simmetriche. Teorema spettrale per matrici simmetriche reali.

Spazi affini e sottovarietà. Coordinate affini. Trasformazioni affini. Spazio euclideo. Isometrie. Sottovarietà parallele, incidenti, sghembe. Distanza, angoli. Volume di parallelepipedi: formule esplicite. Classificazione delle coniche.

**Modalità di esame :**

L'esame consiste di uno scritto contenente sia esercizi di calcolo che domande di teoria. E' previsto un esame orale esclusivamente per gli studenti che conseguiranno una valutazione superiore o uguale a 28.

Sarà possibile sostituire il primo appello con il risultato dei due compitini (uno a metà corso, uno alla fine del corso).

**Criteri di valutazione :**

Conoscenza delle definizioni e degli enunciati dei teoremi principali.

Capacità di svolgere gli esercizi nei quali si applica la teoria della algebra lineare.

Capacità di mostrare risultati riguardanti spazi vettoriali.

**Testi di riferimento :**

Bottacin, Francesco, *Algebra lineare e geometria*. Bologna: Esculapio, 2016

Bottacin, Francesco, *Esercizi di algebra lineare e geometria* Francesco Bottacin. Bologna: Esculapio, 2016

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Il testo di riferimento copre la teoria che viene discussa in questo corso. Inoltre il docente preparerà degli appunti, che saranno disponibili nella pagina web del docente.

## GEOMETRIA - SDOPPIAMENTO

(Titolare: Dott. STEFANO URBINATI)

**Periodo:** I anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A+16E; 8,00 CFU

**Prerequisiti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Modalità di esame :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Criteri di valutazione :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## GEOMETRIA DIFFERENZIALE

(Titolare: Prof. FRANCESCO BOTTACIN) - Mutuato da: Laurea magistrale in Matematica (Ord. 2011)

**Periodo:** III anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 32A+16E; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Conoscenze basilari di analisi matematica, algebra lineare, geometria euclidea e topologia.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Calcolo differenziale e integrale sulle varietà differenziabili.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali. Distribuzione di fogli di esercizi da risolvere per casa.

**Contenuti :**

Varietà differenziabili, sottovarietà, morfismi tra varietà.

Spazio tangente, il teorema di Frobenius.

Fibrati vettoriali: il fibrato tangente (campi di vettori), il fibrato cotangente (1-forme), fibrati tensoriali (campi tensoriali).

Forme differenziali. L'algebra esterna.

Integrazione di forme differenziali.

Il teorema di Stokes.

Connessioni su fibrati vettoriali, curvatura.

Metriche. Geometria (pseudo)riemanniana.

Gruppi e algebre di Lie (proprietà basilari).

**Modalità di esame :**

Prova scritta seguita da una prova orale.

**Criteri di valutazione :**

La valutazione del livello di apprendimento dello studente si basa sul risultato della prova scritta, integrata dalla valutazione ottenuta nella prova orale.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## INTRODUZIONE AI RILEVATORI DI PARTICELLE

(Titolare: Prof. ROBERTO STROILI) - Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2017)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Conoscenza dei fenomeni elettromagnetici, incluse onde elettromagnetiche.

Nozioni di base di relatività ristretta e di meccanica quantistica.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Principi e metodi di rivelazione di particelle e della radiazione elettromagnetica. Come si misurano posizione, energia, quantità di moto, e velocità. Tecniche di accelerazione di particelle cariche.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Durante il corso verranno presentati mediante lezioni frontali gli argomenti riportati nella sezione "contenuti". Gli argomenti affrontati



verranno corredati da esempi ed esercizi per una migliore comprensione le modalità di applicazione dei concetti esposti.

**Contenuti :**

A. Descrizione dei fenomeni fisici considerati: introduzione sulle grandezze misurate negli esperimenti di fisica nucleare, subnucleare e astroparticellare. Perdita di energia di particelle cariche. La formula di Bethe-Block, discussione e applicazioni quantitative ai rivelatori. Identificazione di particelle.

Diffusione Colombiana multipla. Bremsstrahlung, lunghezza di radiazione, spettro della radiazione.

Interazioni fotoni-materia, coefficiente di assorbimento, effetto fotoelettrico, effetto Compton, produzione di coppie.

Radiazione Cerenkov. Cenni alla radiazione di transizione.

Interazioni nucleari.

Scintillazione nei materiali inorganici ed organici. Perdita di energia in un gas, diffusione, effetto di un campo elettrico, velocità di deriva, effetto di un campo magnetico. Perdita di energia in un semiconduttore.

B. Requisiti di rivelatori costruiti in base agli effetti descritti: contatori a scintillazione, contatori Cerenkov, contatori a ionizzazione.

Camere a fili proporzionali, camere a deriva e TPC. Tubi a streamer limitato, RPC. Rivelatori a semiconduttore. Cenni all'elettronica di trigger e di lettura.

Misura dell'energia e misura della quantità di moto. Struttura generale dei rivelatori attuali.

C. Gli acceleratori di particelle. Acceleratori elettrostatici. Acceleratori lineari. Ciclotrone. Il sincrotrone: stabilità trasversa, focalizzazione debole, oscillazioni di betatrone, matrici di trasporto, focalizzazione forte, quadrupoli e funzioni separate. Cenni all'emittanza, stabilità di fase, oscillazioni di sincrotrone, diagrammi di fase, struttura a pacchetti. Cenni alla radiazione di sincrotrone. Anelli di accumulazione: luminosità, accumulazione di antiprotoni, raffreddamento stocastico.

**Modalità di esame :**

Orale.

**Criteri di valutazione :**

Verranno valutati il livello di apprendimento degli argomenti in programma e la capacità di applicazione a casi pratici.

**Testi di riferimento :**

S. Tavernier, *Experimental Techniques in Nuclear and Particle Physics.* : Springer, 2010

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

E' a disposizione degli studenti copia delle trasparenze usate nel corso.

---

## INTRODUZIONE ALLA GRAVITAZIONE RELATIVISTICA

(Titolare: Dott. JEAN-PIERRE ZENDRI)

**Periodo:** III anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 24A+24E; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Fisica generale e Relatività speciale

**Modalità di esame :**

Esame orale

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

---

## ISTITUZIONI DI FISICA DELLA MATERIA

(Titolare: Prof. ARMANDO-FRANCESCO BORGHESANI)

**Periodo:** III anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 32A+16E; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Fisica Generale I e II, Fisica Moderna, Istituzioni di Fisica Teorica.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Lo studente imparerà ad applicare la meccanica quantistica a sistemi fisici reali. In particolare si applicheranno sistematicamente metodi approssimati (in particolare la teoria delle perturbazioni) e acquisirà la capacità di valutare il peso delle approssimazioni fatte.

Scopo fondamentale del corso è la costruzione di modelli quantomeccanici in grado di spiegare aspetti fondamentali degli spettri di emissione e di assorbimento degli atomi, il legame molecolare e le principali proprietà dei solidi. Le previsioni dei modelli saranno sistematicamente confrontate con le evidenze sperimentali.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali ed esercizi numerici.

**Contenuti :**

Spettro dell'atomo di Idrogeno. Struttura fondamentale e fine dello spettro. Degenerazione e sua rimozione. Regole di selezione.

Particelle identiche. Atomo di He. Principio di Pauli. Spinori. Atomi a più elettroni. Determinanti di Slater. Metodo di Hartree-Fock.

Approssimazione di campo centrale. Tavola periodica degli elementi. Perturbazioni all'approssimazione di campo centrale.

Accoppiamento LS e jj. Effetto Zeeman. Struttura delle molecole. Approssimazione di Born-Oppenheimer. Ione molecolare H<sub>2</sub><sup>+</sup> e

molecola di H<sub>2</sub>. Metodo LCAO e Orbitale Atomico. Spettro rotovibrazionale delle molecole. Potenziali anarmonici. Solidi Cristallini. Il

reticolo cristallino. Reticolo reciproco. Diffrazione di Raggi X. Reticolo con base e regole di estinzione. Proprietà elastiche e termiche dei

solidi. Fononi. Calore specifico reticolare e elettronico. Gas di Fermi. Elettroni nei solidi cristallini. Elettroni liberi nel solido. Elettroni nel

reticolo. Teorema di Bloch e sue conseguenze. Dinamica di elettroni di Bloch. Metalli, isolanti, conduttori.

**Modalità di esame :**

esame scritto e orale.

**Criteri di valutazione :**

Si valuterà il livello di comprensione della materia da parte dello studente attraverso la sua capacità di focalizzare il problema e applicare ad esso i pertinenti modelli fisici.

**Testi di riferimento :**

Ch. Kittel, *Introduction to Solid State Physics..* : Wiley,  
Bransden and Joachain, *Physics of Atoms and Molecules..* : Prentice-Hall,  
Borghesani, *Istituzioni di Fisica della materia.* : Edizioni Libreria Progetto, 2017

## ISTITUZIONI DI FISICA MATEMATICA

---

(Titolare: Prof. FRANCESCO FASSO)

**Periodo:** Il anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 72A; 9,00 CFU

**Prerequisiti :**

Analisi 1,2,3. Geometria. Fisica 1.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Comprensione approfondita della formulazione lagrangiana della meccanica classica, in un quadro matematico rigoroso; basi della teoria dei sistemi dinamici e della formulazione hamiltoniana della meccanica classica.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali, con teoria ed esercizi. Indicazioni (generalmente a cadenza settimanale) sullo studio da compiere, su esercizi da svolgere, con domande di autoverifica dell'apprendimento.

**Contenuti :**

Scopo del corso e' l'approfondimento della meccanica classica in un quadro matematico rigoroso e l'introduzione in questo ambito del formalismo lagrangiano e hamiltoniano.

1. Teoria qualitativa equazioni differenziali: Flusso di un'equazione differenziale. Integrali primi e derivata di Lie. Linearizzazione attorno ad un equilibrio. Ritratti in fase di sistemi lineari e conservativi nel piano. Stabilità degli equilibri; teoremi di Lyapunov.

2. Sistemi vincolati: Vincoli olonomi; varietà delle configurazioni e coordinate lagrangiane. Vincoli ideali. Energia cinetica, forze ed energie potenziale in coordinate lagrangiane. Equazioni di Lagrange: deduzione e forma normale.

3. Meccanica Lagrangiana: Invarianza delle equazioni di Lagrange; Lagrangiane equivalenti. Integrale di Jacobi; conservazione dell'energia. Potenziali dipendenti dalle velocità: forze elettromagnetiche nel formalismo Lagrangiano. Equilibri e stabilità: teorema di Lagrange-Dirichlet. Linearizzazione e piccole oscillazioni; modi normali. Simmetrie ed integrali primi: teorema di Noether e riduzione alla Routh. Introduzione minima ai principi variazionali della meccanica: equazione di Euler-Lagrange, principio di Hamilton; geodetiche e moti vincolati. Introduzione alla dinamica dei corpi rigidi.

4. Introduzione minima alla Meccanica Hamiltoniana: Trasformazione di Legendre. Equazioni di Hamilton. Parentesi di Poisson. Conservazione del volume.

**Modalità di esame :**

Scritto, unico, con teoria ed esercizi.

**Criteri di valutazione :**

L'esame mira ad accertare la conoscenza della materia e la capacità di risolvere esercizi ad essa pertinenti.

**Testi di riferimento :**

F. Fasso, *Dispense per il corso di istituzioni di Fisica Matematica..* : CLEUP,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Il contenuto del corso e' coperto interamente in:

F. Fasso, *Dispense per il corso di Istituzioni di Fisica Matematica.* CLEUP.

Ottimi testi di consultazione sono:

V.I. Arnold, *Metodi Matematici della Meccanica Classica*, Editori Riuniti

G. Dell'Antonio, *Elementi di Meccanica. I: Meccanica Classica*, Liguori.

G. Gallavotti, *Meccanica Elementare*, Boringhieri.

A. Fasano, S. Marmi, B. Pelloni, *Analytical Mechanics: An Introduction (Oxford Graduate Texts)*

## ISTITUZIONI DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE

---

(Titolare: Prof.ssa DONATELLA LUCCHESI)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 56A+8E; 8,00 CFU

## **Prerequisiti :**

Prerequisiti:

Relatività ristretta, concetti fondamentali della meccanica quantistica.

Chimica (Tav. periodica)

## **Conoscenze e abilità da acquisire :**

Fisica Nucleare:

Lo studente acquisirà la conoscenza dei fenomeni nucleari, della struttura nucleare e dei decadimenti radioattivi. Nell'apprendere i principali modelli teorici con cui si studia la struttura nucleare, lo studente utilizzerà molti concetti provenienti da corsi precedenti e vedrà l'applicazione diretta delle conoscenze di meccanica quantistica.

Fisica delle Particelle:

Indagine della natura tramite analisi della radiazione cosmica e attraverso l'utilizzo di acceleratori.

Esistenza di particelle fondamentali e loro interazioni.

Classificazione delle particelle elementari e le loro interazioni.

Leggi di conservazione e simmetrie nelle interazioni fondamentali

## **Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Fisica delle Particelle:

Lezioni frontali con l'ausilio di diapositive, brevi filmati e animazioni.

Si seguirà l'approccio storico dopo aver inquadrato il panorama attuale e mostrato dove si vuole arrivare.

## **Contenuti :**

Fisica nucleare:

0. Introduzione al corso, presentazione dei contenuti e modalità d'esame.

1. Proprietà dei costituenti elementari del nucleo atomico: carica, massa, spin (fermioni/bosoni), parità

2. Unità di misura nucleari e grandezze tipiche: energie, raggi nucleari, etc.

3. Isospin; Momento angolare, accoppiamento di momenti angolari, spin semintero.

4. Deutone e sue proprietà, modello semplice a buca quadrata.

5. Forze nucleari, saturazione, energia di legame,  $S_n$ ,  $S_p$ , formula di massa (modello a goccia), carta di Segre' (valle di stabilità, driplines)

6. Modello a gas di Fermi (quantizzazione di una "scatola", det. Slater, Energia e momento di Fermi)

7. Modello a shell sferico per singola particella, Oscillatore Armonico + Spin-orbita, valore di aspettazione degli operatori rilevanti, Cenni sull'interazione di pairing.

8. Modello collettivo di Bohr e Mottelson, Sviluppo in multipoli della superficie nucleare, variabili beta, gamma, Eccitazioni collettive: vibrazioni e rotazioni della superficie.

9. Decadimento alfa: legge del decadimento, vita media; teoria elementare (preformazione, Eff. tunnel, Legge di Gamow)

10. Decadimento beta: End-point, Log(ft), Kurie plot, Transizioni di Gamow-Teller e Fermi.

11. Decadimento gamma: transizioni elettromagnetiche, regole di selezione, momento di quadrupolo elettrico e dip. magnetico. Isomeri.

Fisica delle Particelle:

1. IL MODELLO STANDARD E LE PARTICELLE FONDAMENTALI

- Quadro generale delle forze e delle particelle ad oggi note

2. CONCETTI FONDAMENTALI NELLA FISICA SUBNUCLEARE:

- unità di misura naturali

- sezione d'urto, dal concetto classico di urto alla regola d'oro di sezione d'urto differenziale

- larghezze di decadimento, branching ratios

- acceleratori di particelle, intensità di un fascio, luminosità

- interazioni tra due fasci e fascio su targhetta

3. CONCETTI FONDAMENTALI DI RIVELATORI di PARTICELLE

- cenni di interazione radiazione e particelle con la materia

- rivelatori: scintillatori, a ionizzazione, a silicio

4. LE PRIME PARTICELLE: DALL'ATOMO AI K

- gli esperimenti di Rutherford e i costituenti di atomo e nucleo

- ipotesi di Yukawa, la radiazione cosmica, il pione e il muone

- le particelle strane nella radiazione cosmica, i K

5. SIMMETRIE:

- Simmetrie continue. Gruppo delle rotazioni. Rappresentazioni.  $SU(2)$  e isospin

- Simmetrie discrete: parità, coniugazione di carica, time reversal, teorema CPT

- le antiparticelle, il positrone (Anderson), antiprotonone

- numeri leptonici e barionici

6. MODELLO STATICO dei QUARKS:

- mesoni  $J_p=0^-, 1^-$

- barioni  $J=1/2, 3/2$

- il charm e beauty e il ruolo degli acceleratori

7. PARTICELLE E INTERAZIONI:

- caratteristiche generali delle interazioni fondamentali

- leptoni e quark

- interazione elettromagnetica

- interazione debole, interazione di Fermi, decadimento beta

- interazione forte

- l'interazione elettrodebole, oscillazione di stranezza dei mesoni K

- accenno al bosone di Higgs

## **Modalità di esame :**

Fisica nucleare:

prova orale

Fisica delle Particelle:  
Test online e orale

**Criteri di valutazione :**

Verifica dell'apprendimento dei contenuti del corso (capacità e completezza nell'esposizione) e della abilità nel rispondere a semplici quesiti da risolvere applicando la teoria.

Conoscenza dei contenuti del corso, capacità di collegamenti e implicazioni dei fenomeni studiati.

**Testi di riferimento :**

K. Krane, *Introductory Nuclear Physics.* : Wiley,

K. Heyde, *Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics.* : IoP Publishing,

W. Greiner and J.A. Maruhn, *Nuclear Models.* : Springer,

C.A. Bertulani, *Nuclear Physics in a Nutshell.* : Princeton University Press

A. Bettini, *Introduction to Elementary Particle Physics.* : Cambridge University Press,

---

## ISTITUZIONI DI FISICA TEORICA

(Titolare: Prof. FERRUCCIO FERUGLIO)

**Periodo:** III anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 72A+40E; 14,00 CFU

**Prerequisiti :**

Gli studenti devono essere famigliari con gli aspetti fenomenologici più elementari della Meccanica Quantistica e con gli spazi Hilbertiani e gli operatori su essi definiti.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Questo è un corso introduttivo alla Meccanica Quantistica per studenti del terzo anno della laurea triennale. Si propone di illustrare le leggi generali che descrivono il comportamento dei sistemi fisici su scala atomica e subatomica. L'enfasi del corso è sulle basi concettuali della Meccanica Quantistica e sulle applicazioni a semplici sistemi fisici.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali con parte teorica ed esercitazioni.

**Contenuti :**

Dualità onda-corpuscolo; relazioni di De Broglie; il corpo nero, l'effetto fotoelettrico, l'effetto Compton, stabilità e identità degli atomi. Tre esperienze con due fenditure; predizioni probabilistiche della MQ, esistenza di quantità osservabili tra loro incompatibili. Richiami matematici sugli spazi di Hilbert. Definizione Stati e Grandezze Fisiche. Spettro di una grandezza fisica. Distribuzione statistica. Valori medi e fluttuazioni. Descrizione stati e grandezze fisiche in MQ. Caso della particella unidimensionale. Assiomi I e II della MQ. Operatore impulso per una particella unidimensionale, autofunzionali e decomposizione spettrale. Il principio di indeterminazione Valori medi e fluttuazioni di posizione e impulso per una funzione d'onda gaussiana. Particella in tre dimensioni. L'evoluzione causale: equazione di Schroedinger. Equazione di continuità per la densità di probabilità  $\Psi^* \Psi$ . L'operatore di evoluzione temporale. Il terzo assioma della MQ. Evoluzione causale per sistemi con Hamiltoniano a spettro discreto. Buca infinita di potenziale.

Evoluzione causale per sistemi con Hamiltoniano a spettro continuo. Evoluzione causale per particella libera in una dimensione e funzione d'onda iniziale gaussiana. Sparpagliamento del pacchetto. Particella in una dimensione. Potenziale costante a tratti: discussione generale. Evoluzione temporale di un pacchetto d'onde con un potenziale a gradino. Ritardo nella riflessione di un pacchetto incidente su un gradino.

Coefficienti di riflessione e trasmissione: discussione generale. Barriera di potenziale. Barriera di potenziale. Buca finita di potenziale, quantizzazione dell'energia. Teoria della misura. Osservabili compatibili. Insieme completo di osservabili compatibili. Rappresentazione delle coordinate e degli impulsi. Particelle identiche in MQ. Statistiche di Bose-Einstein e Fermi-Dirac. Oscillatore armonico unidimensionale. Autovalori e autofunzioni di H tramite gli operatori di creazione e distruzione. Operatore di traslazione. Il momento angolare orbitale di una particella in tre dimensioni. Definizione generale di momento angolare in meccanica quantistica. Determinazione degli autovalori con il metodo algebrico. Spin 1/2.

Particella di spin 1/2 in un campo magnetico uniforme e costante. Cenni al caso di una particella con spin 1/2 in un campo magnetico non uniforme: l'esperimento di Stern e il momento angolare orbitale di una particella in tre dimensioni. Le armoniche sferiche. Particella in un potenziale centrale. Operatori di rotazione: rotazione nel piano 12 e rotazione intorno ad una generica direzione dello spazio.

Potenziale centrale: richiami classici. L'equazione agli autovalori per H in coordinate polari. L'equazione radiale. Condizione di regolarità all'origine per la soluzione della equazione radiale. Autofunzioni e autofunzionali. Atomo di idrogeno. Coordinare relative e massa ridotta. Grandezze tipiche: raggio di Bohr ed energia di ionizzazione. Equazione agli autovalori radiale con parametri e variabile adimensionali. Andamenti asintotici della soluzione per r grande e r vicina all'origine. Soluzione tramite espansione in serie.

Quantizzazione della energia. Autofunzioni dell'atomo di idrogeno. Limiti della trattazione nonrelativistica.

**Modalità di esame :**

Prova scritta con domande di carattere generale e problemi.

**Criteri di valutazione :**

L'esame scritto è volto a valutare la assimilazione da parte dello studente dei principi della Meccanica Quantistica e la loro corretta applicazione nel contesto di semplici problemi.

**Testi di riferimento :**

Claude Cohen-Tannoudji, Bernard Dui, Frank Laloe, *Quantum Mechanics, Vol I.* : 1992 Wiley Interscience,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Oltre al libro di testo, appunti da lezione e note rintracciabili al sito

<http://www.pd.infn.it/~feruglio/QM.html>

---

## ISTITUZIONI DI METODI MATEMATICI

(Titolare: Prof. LUCA MARTUCCI)

**Periodo:** Il anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 32A+24E; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Adeguate conoscenze dei contenuti dei corsi di analisi matematica.

In particolare, la teoria della misura di Lebesgue, svolta ad analisi III,  $\mathbb{A}^n$  considerata prerequisito.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Adeguate conoscenza dell'analisi complessa, degli spazi Hilbert e della teoria delle distribuzioni.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali

**Contenuti :**

A. Funzioni analitiche

1. Condizioni di Cauchy-Riemann
2. Laplaciano su  $\mathbb{C}$ . Funzioni armoniche e analitiche. Determinazione di una funzione analitica dalla sua componente reale o immaginaria
3. Trasformazioni conformi e funzioni analitiche
4. Integrazioni su  $\mathbb{C}$ . Disuguaglianza di Darboux. Teorema di Cauchy. Teorema fondamentale del calcolo integrale, Teorema di Morera. Formula di Cauchy. Teorema della media, principio del massimo, teorema di Liouville, teorema fondamentale dell'algebra.
5. Studio delle serie nel campo complesso. Teorema di Weierstrass sulle serie. Serie di potenze, teorema di Abel, teorema della serie di Taylor, serie di Laurent.
6. Singolarità isolate (eliminabili, poli, essenziali). Teoremi di Picard sulle singolarità essenziali (enunciati). Residui. Punto all'infinito. Funzioni poldrome e punti di ramificazione.
7. Zeri di una funzione, teorema di unicità, unicità del prolungamento analitico
8. Teorema dei residui. Residuo all'infinito. Teorema della somma dei residui.
9. Teorema dell'indicatore logaritmico. Principio dell'argomento. Sviluppo in frazioni semplici.
10. Integrazione nell'ambito della teoria dei residui, Lemma di Jordan e sue applicazioni. Integrazione di funzioni trigonometriche.
11. Parte principale di un integrale, la prescrizione epsilon.
12. Integrali che coinvolgono funzioni poldrome.

B. Spazi di Hilbert e distribuzioni.

1. Spazi vettoriali finito e infinito dimensionali. Spazi con prodotto scalare (pre-Hilbertiani) e normati.
2. Convergenza, completezza e teorema del completamento. Spazi di Banach e di Hilber. Esempi importanti: spazi  $l_2$  e  $L_2$ .
3. Sottospazi. Complemento ortogonale. Teorema della decomposizione in sottospazi ortogonali.
4. Sistemi e basi ortonormali (s.o.n. e b.o.n.). Procedura di Gram-Schmidt. Separabilità e numerabilità dei s.o.n. Espansione in serie di Fourier in b.o.n. Teorema di Riesz-Fischer. Esempi di b.o.n. (polinomi di Legendre, Hermite e Leguerre).
5. Funzionali lineari limitati e continui, teorema di Riesz, notazione di Dirac.
6. Spazi di Schwarz e distribuzioni temperate, operazioni sulle distribuzioni.
7. Operatori lineari limitati: operatore aggiunto e inverso, funzione analitica di un operatore, operatori autoaggiunti, proiettori ortogonali, operatori isometrici e unitari.
8. Trasformata di Fourier e sua estensione alle distribuzioni. TF e convoluzione. TF come trasformazione unitaria su  $L_2$ .
9. Aggiunto di operatori non-limitati. Operatori non-limitati simmetrici, autoaggiunti e essenzialmente autoaggiunti. Esempi importanti: operatori  $Q$ ,  $P$ ,  $P^2$ , su vari domini.

**Modalità di esame :**

Esame diviso in due parti: risoluzione di esercizi e teoria

**Criteri di valutazione :**

Lo studente deve dimostrare di conoscere la teoria e di saperla applicare alla risoluzione di esercizi.

**Testi di riferimento :**

Smirnov, *Corso di Matematica Superiore*, vol. 3 parte II. : Ed. Riuniti,  
Rossetto, *Metodi Matematici della Fisica*. : Ed. Levrotto e Bella,  
Musso e Ragnisco, *Raccolta di Esercizi e Problemi di Analisi Complessa e Algebra Lineare*. : Aracne,  
Pradisi, *Lezioni di Metodi Matematici per la Fisica*. : Ed. della Normale,  
Onofri, *Lezioni sulla Teoria degli Operatori Lineari*. : Ed. Zara,  
Abbati e Cirelli, *Metodi Matematici per la Fisica. Operatori Lineari negli Spazi di Hilbert*. : Ed. Città Studi,  
Kolmogorov e Fomin, *Elementi della Teoria delle Funzioni e di Analisi Funzionale*. : Ed. Riuniti,  
Weidmann, *Linear Operators in Hilbert Spaces*. : Ed. Springer-Verlag,

## ISTITUZIONI DI METODI MATEMATICI - SDOPPIAMENTO

(Titolare: Dott. ROBERTO VOLPATO)

**Periodo:** Il anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 32A+24E; 6,00 CFU

### Prerequisiti :

Adeguate conoscenze dei contenuti dei corsi di analisi matematica.

In particolare, la teoria della misura di Lebesgue, svolta ad analisi III,  $\mathbb{A}^n$  considerata prerequisito.

### Conoscenze e abilità da acquisire :

Adeguate conoscenze dell'analisi complessa, degli spazi Hilbert e della teoria delle distribuzioni.

### Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali

### Contenuti :

A. Funzioni analitiche

1. Condizioni di Cauchy-Riemann
2. Laplaciano su  $\mathbb{C}$ . Funzioni armoniche e analitiche. Determinazione di una funzione analitica dalla sua componente reale o immaginaria
3. Trasformazioni conformi e funzioni analitiche
4. Integrazioni su  $\mathbb{C}$ . Disuguaglianza di Darboux. Teorema di Cauchy. Teorema fondamentale del calcolo integrale, Teorema di Morera. Formula di Cauchy. Teorema della media, principio del massimo, teorema di Liouville, teorema fondamentale dell'algebra.
5. Studio delle serie nel campo complesso. Teorema di Weierstrass sulle serie. Serie di potenze, teorema di Abel, teorema della serie di Taylor, serie di Laurent.
6. Singolarità isolate (eliminabili, poli, essenziali). Teoremi di Picard sulle singolarità essenziali (enunciati). Residui. Punto all'infinito. Funzioni poldrome e punti di ramificazione.
7. Zeri di una funzione, teorema di unicità, unicità del prolungamento analitico
8. Teorema dei residui. Residuo all'infinito. Teorema della somma dei residui.
9. Teorema dell'indicatore logaritmico. Principio dell'argomento. Sviluppo in frazioni semplici.
10. Integrazione nell'ambito della teoria dei residui, Lemma di Jordan e sue applicazioni. Integrazione di funzioni trigonometriche.
11. Parte principale di un integrale, la prescrizione epsilon.
12. Integrali che coinvolgono funzioni poldrome.

B. Spazi di Hilbert e distribuzioni.

1. Spazi vettoriali finito e infinito dimensionali. Spazi con prodotto scalare (pre-Hilbertiani) e normati.
2. Convergenza, completezza e teorema del completamento. Spazi di Banach e di Hilbert. Esempi importanti: spazi  $l_2$  e  $L_2$ .
3. Sottospazi. Complemento ortogonale. Teorema della decomposizione in sottospazi ortogonali.
4. Sistemi e basi ortonormali (s.o.n. e b.o.n.). Procedura di Gram-Schmidt. Separabilità e numerabilità dei s.o.n. Espansione in serie di Fourier in b.o.n. Teorema di Riesz-Fischer. Esempi di b.o.n. (polinomi di Legendre, Hermite e Leguerre).
5. Funzionali lineari limitati e continui, teorema di Riesz, notazione di Dirac.
6. Spazi di Schwarz e distribuzioni temperate, operazioni sulle distribuzioni.
7. Operatori lineari limitati: operatore aggiunto e inverso, funzione analitica di un operatore, operatori autoaggiunti, proiettori ortogonali, operatori isometrici e unitari.
8. Trasformata di Fourier e sua estensione alle distribuzioni. TF e convoluzione. TF come trasformazione unitaria su  $L_2$ .

9. Aggiunto di operatori non-limitati. Operatori non-limitati simmetrici, autoaggiunti e essenzialmente autoaggiunti. Esempi importanti: operatori  $Q$ ,  $P$ ,  $P^2$ , su vari domini.

**Modalita' di esame :**

Esame diviso in due parti: risoluzione di esercizi e teoria

**Criteri di valutazione :**

Lo studente deve dimostrare di conoscere la teoria e di saperla applicare alla risoluzione di esercizi.

**Testi di riferimento :**

Smirnov, Corso di Matematica Superiore, vol. 3 parte II. : Ed. Riuniti,  
Rossetto, Metodi Matematici della Fisica. : Ed. Levrotto e Bella,  
Musso e Ragnisco, Raccolta di Esercizi e Problemi di Analisi Complessa e Algebra Lineare. : Aracne,  
Pradisi, Lezioni di Metodi Matematici per la Fisica. : Ed. della Normale,  
Onofri, Lezioni sulla Teoria degli Operatori Lineari. : Ed. Zara,  
Abbati e Cirelli, Metodi Matematici per la Fisica. Operatori Lineari negli Spazi di Hilbert. : Ed. Città Studi,  
Kolmogorov e Fomin, Elementi della Teoria delle Funzioni e di Analisi Funzionale. : Ed. Riuniti,  
Weidmann, Linear Operators in Hilbert Spaces. : Ed. Springer-Verlag,

## LABORATORIO DI FISICA

(Titolare: Prof. MARCELLO LUNARDON)

**Periodo:** III anno, annuale  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 40A+48L; 9,00 CFU

**Prerequisiti :**

Sperimentazioni di Fisica I, Sperimentazioni di Fisica II, Fisica I e Fisica II.

Propedeuticità :

- per poter frequentare il laboratorio "necessario aver frequentato i laboratori di Sperimentazioni di Fisica 1 e Sperimentazioni di Fisica 2

- per poter sostenere le prove di accertamento bisogna aver sostenuto gli esami dei quattro corsi propedeutici : Fisica I, Fisica II, Sperimentazioni di Fisica I e Sperimentazioni di Fisica II.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Elettronica: realizzare semplici circuiti elettronici con diodi, transistor e amplificatori operazionali e riuscire a misurarne alcune grandezze caratteristiche. Apprendere i concetti base dell'amplificazione analogica.

Spettroscopia: messa a punto di semplici apparati per degli esperimenti di spettroscopia atomica e nucleare. Analisi dati multiparametrica. Analisi critica dei risultati.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni in aula sui contenuti dell'attività formativa e attività in gruppo (generalmente 3 studenti) con esecuzione in laboratorio di esperienze programmate e stesura di report finale (relazioni).

**Contenuti :**

Prima Parte:

Amplificazione: concetti generali dell'amplificazione in tensione e in corrente, adattamento, amplificatori operazionali ideali e circuiti base (amplificatore invertente, non invertente, differenziale, integratore, differenziatore). Operazionali reali: risposta in frequenza, caratteristiche, feedback.

Diodo: principio di funzionamento, curve caratteristiche. Circuiti con diodi e alcune applicazioni: raddrizzatori, termometri digitali, celle solari.

Transistor a effetto di campo (MOSFET): principio di funzionamento, curve e grandezze caratteristiche, polarizzazione, punto di lavoro, modelli semplificati. Applicazioni: circuiti amplificatori a transistor: analisi per piccoli segnali, caratteristiche, risposta in frequenza. Cenni di applicazioni digitali e transistor BJT.

Esperienze in laboratorio:

- Circuiti amplificatori con operazionali
- Caratteristica del Diodo, raddrizzatore a semionda e onda intera
- Caratterizzazione del MOSFET, realizzazione di un amplificatore Common Source e Common Drain; analisi di semplici porte logiche CMOS.

Seconda Parte:

Principi generali di funzionamento dei rivelatori per radiazione ionizzante. Cenni di dosimetria. Descrizione e messa a punto degli apparati sperimentali del laboratorio, dell'acquisizione e analisi dei dati per i seguenti esperimenti:

1. spettroscopia atomica (spettri di emissione di sorgenti luminose nel visibile)
2. Effetto Zeeman normale
3. Misure di assorbimento di raggi X e verifica della legge dell'inverso del quadrato per una sorgente puntiforme, tramite la rivelazione di fotoni con un rivelatore al silicio
4. Verifica delle caratteristiche della legge del frenamento di particelle cariche con una camera a ionizzazione
5. Misure di radiazione gamma con rivelatori a scintillazione.

**Modalita' di esame :**

Scritto. E' richiesta la preparazione di relazioni su una parte delle esperienze di laboratorio. In alcuni casi e' possibile sostenere un esame orale a integrazione dello scritto.

**Criteria di valutazione :**

la valutazione sarà elaborata in parte sulle relazioni di laboratorio e in parte sugli esami scritti, eventualmente integrata dall'esame orale.

**Testi di riferimento :**

Melissinos, *Experiments in Modern Physics.* : Academic Press, 2003

Blalock, *Microelettronica.* : McGraw-Hill Education, 2013

M. Pieraccini, *Fondamenti di elettronica.* : Pearson, 2014

G. Knoll, *Radiation Detection and Measurement.* : John Wiley and sons,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Dispense dalle lezioni introduttive e testi

## LABORATORIO DI FISICA - SDOPPIAMENTO

(Titolare: Prof. ALBERTO GARFAGNINI)

**Periodo:** III anno, annuale

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 40A+48L; 9,00 CFU

**Prerequisiti :**

Sperimentazioni di Fisica I, Sperimentazioni di Fisica II, Fisica I e Fisica II.

Propedeuticità :

- per poter frequentare il laboratorio " necessario aver frequentato i laboratori di Sperimentazioni di Fisica 1 e Sperimentazioni di Fisica 2

- per poter sostenere le prove di accertamento bisogna aver sostenuto gli esami dei quattro corsi propedeutici : Fisica I, Fisica II, Sperimentazioni di Fisica I e Sperimentazioni di Fisica II.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

**Elettronica:** realizzare semplici circuiti elettronici con diodi, transistor e amplificatori operazionali e riuscire a misurarne alcune grandezze caratteristiche. Apprendere i concetti base dell'amplificazione analogica.

**Spettroscopia:** messa a punto di semplici apparati per degli esperimenti di spettroscopia atomica e nucleare. Analisi dati multiparametrica. Analisi critica dei risultati.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni in aula sui contenuti dell'attività formativa e attività in gruppo (generalmente 3 studenti) a cadenza settimanale con esecuzione in laboratorio di esperienze programmate e stesura di report finale (relazioni).

**Contenuti :**

Prima Parte:

**Amplificazione:** concetti generali dell'amplificazione in tensione e in corrente, adattamento, amplificatori operazionali ideali e circuiti base (amplificatore invertente, non invertente, differenziale, integratore, differenziatore). Operazionali reali: risposta in frequenza, caratteristiche, feedback.

**Diodo:** principio di funzionamento, curve caratteristiche. Circuiti con diodi e alcune applicazioni: raddrizzatori, termometri digitali, celle solari.

**Transistor a effetto di campo (MOSFET):** principio di funzionamento, curve e grandezze caratteristiche, polarizzazione, punto di lavoro, modelli semplificati. Applicazioni: circuiti amplificatori a transistor: analisi per piccoli segnali, caratteristiche, risposta in frequenza. Cenni di applicazioni digitali e transistor BJT.

Esperienze in laboratorio:

- Circuiti amplificatori con operazionali

- Caratteristica del Diodo, raddrizzatore a semionda e onda intera

- Caratterizzazione del MOSFET, realizzazione di un amplificatore Common Source e Common Drain; analisi di semplici porte logiche CMOS.

Seconda Parte:

**Principi generali di funzionamento dei rivelatori per radiazione ionizzante.** Cenni di dosimetria. Descrizione e messa a punto degli apparati sperimentali del laboratorio, dell'acquisizione e analisi dei dati per i seguenti esperimenti:

1. spettroscopia atomica (spettri di emissione di sorgenti luminose nel visibile)

2. Effetto Zeeman normale

3. Misure di assorbimento di raggi X e verifica della legge dell'inverso del quadrato per una sorgente puntiforme, tramite la rivelazione di fotoni con un rivelatore al silicio

4. Verifica delle caratteristiche della legge del frenamento di particelle cariche con una camera a ionizzazione

5. Misure di radiazione gamma con rivelatori a scintillazione.

**Modalità di esame :**

Scritto. E' richiesta la preparazione di relazioni su una parte delle esperienze di laboratorio. In alcuni casi " possibile sostenere un esame orale a integrazione dello scritto.

**Criteria di valutazione :**

la valutazione sarà elaborata in parte sulle relazioni di laboratorio e in parte sugli esami scritti, eventualmente integrata dall'esame orale

**Testi di riferimento :**

Melissinos, *Experiments in Modern Physics.* : Academic Press, 2003

Blalock, *Microelettronica.* : McGraw-Hill Education, 2013

M. Pieraccini, *Fondamenti di elettronica.* : Pearson, 2014

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Dispense dalle lezioni introduttive e testi



## LINGUA INGLESE

(Titolare: Prof. MATTEO AMBROGIO PAOLO PIERNO)

**Periodo:** I anno, annuale  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** ; 2,00 CFU

## MECCANICA ANALITICA

(Titolare: Prof. GIANCARLO BENETTIN)

**Periodo:** III anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

### Prerequisiti :

Per gli studenti di Fisica: tutti gli argomenti del corso di Istituzioni di Fisica Matematica. Per gli studenti di Matematica: tutti gli argomenti del corso di Fisica Matematica.

### Conoscenze e abilità da acquisire :

Lo studente diventerà familiare con le basi della meccanica hamiltoniana e con alcune delle sue principali applicazioni fisiche. Acquisirà in particolare dimestichezza con i metodi perturbativi e con i principali risultati in questo campo, sempre con attenzione al loro significato fisico.

### Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni cosiddette frontali, comprendenti teoria ed esercizi.

### Contenuti :

Trasformazioni canoniche: nozione e proprietà caratteristiche; generazione di trasformazioni canoniche; trasformazioni dipendenti dal tempo e applicazioni al problema a tre corpi.

Il corpo rigido: cinematica essenziale; il caso di Eulero-Poinsot; gli angoli di Eulero; il caso di Lagrange.

Sistemi hamiltoniani integrabili: nozione; le variabili di azione-angolo; il teorema di Liouville-Arnold; applicazione al moto centrale; applicazione al corpo rigido di Eulero-Poinsot; l'equazione di Hamilton-Jacobi.

Le basi della teoria Hamiltoniana delle perturbazioni: sistemi prossimi a sistemi integrabili; il principio della media e il ruolo delle risonanze; un passo perturbativo per sistemi isocroni perturbati; forme normali; sistemi anisocroni e loro caratteristiche geometriche, il modello dei rotatori; applicazione al corpo rigido: il modello classico della precessione degli equinozi.

Uno sguardo ai principali risultati moderni: la teoria KAM e la teoria di Nekhoroshev.

Invarianti adiabatici: nozione, esempi elementari, alcune applicazioni fisiche

### Modalità di esame :

Prova scritta, comprendente esercizi e teoria. La parte di teoria, a richiesta dello studente, si può svolgere in forma orale.

### Criteri di valutazione :

Verifica delle conoscenze acquisite, con particolare attenzione al formarsi di una mentalità critica e alla comprensione del legame tra struttura matematica e significato fisico degli argomenti di studio.

### Testi di riferimento :

CONTENUTO NON PRESENTE

### Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Sono sufficienti le dispense del docente disponibili in rete. Su richiesta dello studente saranno consigliati testi di approfondimento.

## METODI COMPUTAZIONALI DELLA FISICA

(Titolare: Prof. ANTONIO TROVATO)

**Periodo:** III anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 32A+24E; 6,00 CFU

### Prerequisiti :

Fisica I, Fisica II

### Conoscenze e abilità da acquisire :

Metodi numerici applicati a problematiche di fisica classica e quantistica. Metodi numerici deterministici e stocastici. Scrittura di semplici programmi per la soluzione di problemi specifici di calcolo computazionale, valutazione ed interpretazione dei risultati ottenuti.

### Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali in aula ed esercitazioni pratiche in aula informatica. Durante quest'ultime si approfondiranno e si metteranno in pratica metodologie introdotte in aula applicandole alla risoluzione di specifici problemi numerici.

### Contenuti :

Introduzione. Soluzioni numeriche di equazioni differenziali ordinarie con il metodo di Eulero. Studio di alcuni problemi di meccanica.

Studi di moti oscillatori. Analisi degli schemi evolutivi per la soluzione di equazioni differenziali ordinarie: Eulero, Eulero-Cromer. Lo

schema Mid-Point e l'algoritmo di Eulero-Richardson. Gli schemi di Verlet e di Verlet delle Velocità. I metodi di Runge-Kutta, derivazione degli schemi al secondo ordine. Discussione dei metodi di Runge-Kutta di ordine  $m$ . Calcolo numerico di potenziali e campi elettrici. Risoluzione dell'equazione di Laplace. Il metodo delle differenze finite. Il metodo di Jacobi per la soluzione dell'equazione di Laplace. Equazioni differenziali alle derivate parziali: classificazione geometrica ed esempi: l'eq. delle onde, l'eq. della diffusione e l'eq. di Poisson. Schemi risolutivi alle differenze finite: errori di troncamento, consistenza e stabilità. Equazioni iperboliche (onde): i metodi FTCS e di LAX. Il criterio di Courant-Friedrichs-Lewy. Lo schema staggered leapfrog. Equazioni paraboliche (diffusione): schema esplicito FTCS, condizioni di convergenza. Lo schema implicito di Laasonen. Lo schema di Crank-Nicolson. Valutazioni numerica di polinomi. Ricerca delle soluzioni numeriche di una funzione di variabile reale. I metodi della bisezione, Newton-Raphson e della secante. Integrazioni numeriche: formule di Newton-Cotes (metodo dei trapezi e metodi di Simpson 1/3 e 3/8). Risoluzione di sistemi di equazioni lineari. Il metodo di eliminazione di Gauss-Jordan: forward elimination e backward substitution. Introduzione al pivoting

parziale. Soluzioni di sistemi di matrici tri-diagonali. Metodi di Monte Carlo. La generazione di numeri casuali. I generatori LCG, Shift-Register e Lagged Fibonacci. Generazione di campioni statistici da distribuzioni di probabilit : il metodo della trasformazione inversa. Il metodo della composizione. Il metodo Acceptance/Rejection. Calcolo degli integrali definiti con metodi di Monte Carlo: Hit-or-Miss, sample-mean e Importance-Sampling (discussione dei metodi e valutazione della varianza). Risoluzione di equazioni differenziali ordinarie con pi  condizioni al contorno (boundary value problems). Lo shooting method e il metodo del rilassamento. Trasformate di Fourier: Fast Fourier Transform. Metodi di ottimizzazione deterministici: steepest descent e metodo dei gradienti coniugati, metodo dei semplici. Metodi di ottimizzazione stocastici: simulated annealing.

**Modalit  di esame :**

Prova orale.

Uno specifico esercizio numerico verr  assegnato ad ogni studente pochi giorni prima della prova orale.

**Criteri di valutazione :**

L'esercizio assegnato prima del colloquio orale mira a verificare la capacit  dello studente di risolvere un problema numerico specifico in maniera autonoma, mettendo in pratica le tecniche apprese durante il corso. La prova orale   volta ad accertare l'acquisizione delle conoscenze di base dei metodi numerici utilizzati per affrontare problemi di Fisica e la capacit  di ragionamento e di comprensione da parte dello studente.

**Testi di riferimento :**

Nicholas J. Giordano, Hisao Nakanishi, Computational Physics. : ,

Benjamin J. Stickler, Ewald Schachinger, Basic Concepts in Computational Physics. : ,

William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery, Numerical Recipes. : ,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Ulteriori indicazioni bibliografiche specifiche agli argomenti trattati saranno indicati durante lo svolgimento del corso.

## PROGRAMMAZIONE AD OGGETTI E C++

(Titolare: Dott. PAOLO RONCHESE)

**Periodo:** III anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Elementi base del sistema operativo Linux.

Elementi base di programmazione.

Elementi di linguaggio C.

**Conoscenze e abilit  da acquisire :**

Grammatica e sintassi del linguaggio C++.

Programmazione a oggetti. Disegno ed implementazione di programmi.

**Attivit  di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali con dimostrazioni pratiche.

Esercitazioni in aula informatica.

**Contenuti :**

Rivisitazione degli elementi del linguaggio C e differenze con il C++.

Variabili, tipi ed operatori.

Controllo del flusso e cicli.

Funzioni, argomenti, passaggio per valore e per riferimento, ricorsione.

Puntatori, insiemi di variabili, riferimenti e variabili costanti.

Gestione dinamica della memoria.

Ingresso e uscita di dati.

Il preprocessore C/C++.

Specificatori di memoria e accessibilit , librerie.

Oggetti composti, strutture e classi.

Dati membro e funzioni membro, membri condivisi, operatori.

Spazi di nomi ed eccezioni.

Funzioni e classi template.

Libreria standard, contenitori ed algoritmi.

Ereditariet  e polimorfismo, classi base e classi derivate, funzioni virtuali.

Costrutti comuni.

**Modalit  di esame :**

Prove pratica durante il corso e discussione orale.

**Criteri di valutazione :**

Funzionalit , leggibilit  e mantenibilit  dei programmi scritti nelle esercitazioni.

Conoscenza del linguaggio e dei costrutti pi  comuni.

**Testi di riferimento :**

S.Prata, C++ Primer Plus. Sams Publishing: ,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Materiale fornito dal docente.

# PROVA FINALE

(Titolare: da definire)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** ; 10,00 CFU

## SPERIMENTAZIONI DI FISICA 1

(Titolare: Prof.ssa CINZIA SADA)

**Periodo:** I anno, annuale  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 60A+84L; 13,00 CFU

### Prerequisiti :

Conoscenze base di:

- algebra;
- analisi (equazioni, disequazioni, derivate, integrali, serie);
- fisica generale (cinematica, dinamica, termologia).

Il livello di conoscenze pregresse richiesto  $\bar{A}$  conforme alla matematica e fisica insegnate nelle scuole superiori di II grado.

### Conoscenze e abilita' da acquisire :

Le conoscenze che si intendono acquisite al termine del corso sono relative alla statistica e all'analisi dati riferite ad esperimenti di fisica classica (si veda dettaglio delle conoscenze consultando la sezione contenuti).

Inoltre si intende da acquisire:

1. comprensione della terminologia fisica in relazione al trattamento di dati sperimentali e relativa organizzazione;
2. acquisizione di metodi per lâ€™analisi di dati affetti da errori casuali;
3. acquisizione di metodi di misura diretti ed indiretti della stessa grandezza fisica e della migliore procedura per il trattamento dei dati sperimentali;
4. comprensione del significato delle approssimazioni assunte e verifica delle relative ipotesi di partenza;
5. comprensione e stima delle cause di errore casuale e verifica della presenza di errori sistematici ed il loro peso relativo;
6. quantificazione del peso delle varie cause dâ€™errore, limitando lâ€™acquisizione ad un numero congruo di dati in esperimenti semplici;
7. acquisire abilita' nellâ€™impiego di un software informatico per lâ€™analisi dati;
8. acquisire un atteggiamento critico nello stilare un quaderno di laboratorio e nella elaborazione dati (comprensivo della definizione dellâ€™intervallo di confidenza dei dati sperimentali);
9. acquisire manualita' in laboratorio;
10. organizzazione del lavoro di gruppo e della suddivisione dei compiti.

### Attivita' di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Saranno impiegate, negli opportuni contesti:

- lezioni frontali, specialmente per la parte di informatica, di introduzione alla statistica e alla presentazione della fisica oggetto degli esperimenti inteso come lavoro mentale attivo con finalita' alla concettualizzazione astratta dei vari argomenti.

- apprendistato cognitivo basato sullâ€™interazione tra studente ed insegnante attorno ad un compito di apprendimento. In tal caso docente funge inizialmente da modello di riferimento (modeling), per poi fornire supporto allo studente durante lâ€™esecuzione del compito (coaching), conducendolo gradualmente allâ€™autonomia;

- didattica laboratoriale: svolgimento di esperimenti focalizzati rispondendo anche ad istanze sociali in cui la prestazione in gruppo  $\bar{A}$  valorizzata al meglio per promuovere relazioni collaborative. In tale ambito si farÃ  uso anche della metodologia brainstorming;

- collaborative learning: ovvero apprendimento in piccoli gruppi, allâ€™interno dei quali gli studenti si avvalgono di una collaborazione reciproca e si sentono corresponsabili del percorso formativo intrapreso (in attivita' laboratoriale);

### Contenuti :

#### INFORMATICA E PROGRAMMAZIONE

1) Teoria dellâ€™Informazioni. Sistemi di numerazione posizionali. Sistema decimale, binario, ottale ed esadecimale. Cambiamento di base. Rappresentazione dei numeri relativi: modulo e segno, complemento ad uno, complemento a due. Rappresentazione dei numeri razionali: rappresentazione in virgola fissa e in virgola mobile. Standard IEEE-754.

2) Algebra Booleana, Teoria degli insiemi. Algebra booleana: definizione e proprietÃ . Teorema di De Morgan. Algebra booleana a due elementi {0,1}. Teorema fondamentale dellâ€™algebra booleana. Corollari.

3) Programmazione: Introduzione al C++. La funzione main. La direttiva #include. Utilizzo degli operatori cin e cout. Dichiarazione ed inizializzazione di variabili. Tipi di variabili: char, int, long, float, double, bool. Operatori aritmetici. Conversione di tipo. Espressioni numeriche e relazionali. Operatori logici. Istruzione if. I cicli: for, while, do-while. Operatore condizionale. Lo statement switch, break, continue. Array, stringhe, strutture e puntatori. Le funzioni. Prototipi di funzioni. Funzioni inline. Referenze e puntatori. Argomenti di default. Overloading di funzioni. Funzioni templates. Breve introduzioni alle classi ed alla programmazione orientata ad oggetti.

4) Attività di laboratorio: la frequenza è obbligatoria. In particolare saranno trattati i seguenti argomenti: Scrittura di un primo programma in C++. Tutorial di LINUX. La struttura di un programma, introduzione ai diagrammi di flusso. Scrittura di un programma per il calcolo della media, dell'area di un triangolo, della traiettoria di un proiettile. Esercizi di programmazione.

#### INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEGLI ERRORI

1) Misure dirette ed indirette. Strumenti di misura. Errori casuali e sistematici. Cifre significative ed arrotondamenti. Precisione, accuratezza e sensibilità. Probabilità. Eventi e variabili casuali, teoremi della probabilità composta e della probabilità totale. Teorema di Bayes. Esempi e applicazioni. Stime di tendenza centrale e stime di dispersione. Proprietà. Istogrammi. Sovrapposizione di una funzione gaussiana su un istogramma e epurazione dati.

2) Variabili casuali discrete: generalità. Popolazioni e campioni. Valore medio di combinazioni lineari. Varianza di combinazioni lineari di variabili casuali statisticamente indipendenti. Legge dei grandi numeri e teorema di Bernoulli. Valore medio e valore vero. Relazione tra varianza dei campioni e varianza della popolazione. Variabili casuali continue: definizione e proprietà, la densità di probabilità e la funzione di distribuzione. Proprietà della speranza matematica e della varianza. La distribuzione uniforme, distribuzione di Gauss. Elementi di calcolo combinatorio. La distribuzione di Poisson e relative proprietà. La distribuzione di Bernoulli e relative proprietà. La distribuzione del Chi-quadro: definizione e proprietà. Metodo del minimo  $\chi^2$ . Applicazioni del  $\chi^2$  e vincoli dei sistemi. Esempi ad applicazioni.

3) Misure indirette

Miglior stima del valor vero di una grandezza misurata in modo indiretto. La propagazione degli errori e i limiti della sua validità. Errori massimi e formula di propagazione degli errori massimi. Covarianza e Correlazione lineare e relative proprietà.

4) Stime di parametri.

Funzione di verosimiglianza e metodo della massima verosimiglianza. Applicazioni della stima di massima verosimiglianza: media pesata e relativo errore, derivazione dei parametri di una retta per il metodo dei minimi quadrati e una retta generica.

5) Attività di laboratorio con frequenza obbligatoria su argomenti di Meccanica, termologia e termodinamica.

#### Modalità di esame :

L'esame consta di tre parti:

1. Relazioni delle esperienze svolte in laboratorio sotto forma di elaborati scritti. Ogni relazione è stilata per gruppo (costituito da due/tre studenti ciascuno) e consegnata secondo il calendario fornito dai docenti all'avvio del laboratorio al docente di riferimento. La consegna in ritardo darà luogo a penalizzazione sulla valutazione, la mancata consegna di una o più relazioni invalida la possibilità di sostenere l'esame con esito positivo;

2. prova scritta (relativa ad elementi di Elementi di informatica e programmazione ed Elementi di teoria degli errori e statistica);

3. prova orale relativa ad elementi di Elementi di informatica e programmazione e alla teoria degli errori e statistica nonché sulla discussione critica delle esperienze svolte in laboratorio.

Il voto finale è fornito dalla media pesata dei voti presi nelle tre parti.

In particolare la prova scritta comprenderà esercizi e dimostrazioni di Elementi di informatica, programmazione (prima parte) e teoria degli errori e statistica (seconda parte). Può essere svolta secondo due modalità: attraverso il superamento delle prove in itinere oppure attraverso l'appello istituzionale. Le prove parziali in itinere, in numero pari a tre, saranno svolte durante l'anno accademico secondo il seguente calendario:

1° prova scritta in itinere su Elementi di informatica e programmazione, I semestre (tra dicembre e gennaio). Tale prova esaurisce la prima parte;

2° prova scritta in itinere su Elementi di teoria degli errori e statistica, argomenti presentati nelle lezioni del I semestre (febbraio-marzo);

3° prova scritta in itinere su Elementi di teoria degli errori e statistica, argomenti presentati nelle lezioni del II semestre (fine maggio-primi di giugno).

La 2° e la 3° prova in itinere saranno valutate complessivamente come un'unica prova relativa alla seconda parte: si considererà sufficiente la performance dello studente la cui media dei voti ottenuti nelle due prove in itinere (2°-3°) sarà almeno pari a 18/30 (con votazione almeno di 12/30 su un compitino).

Coloro che avranno raggiunto la sufficienza sulle parti di Elementi di informatica e di Teoria degli errori e statistica saranno ammessi alla prova orale qualora abbiano frequentato il laboratorio e consegnato tutte le relazioni delle esperienze svolte. Coloro che risultassero insufficienti nelle due parti, dovranno sostenere la prova scritta secondo il calendario previsto nelle varie sessioni di appello (2 appelli nella sessione estiva, due appelli nella sessione autunnale ed un appello nella sessione di recupero). Nelle varie sessioni d'appello, la prova scritta sarà articolata in due parti:

parte di informatica e parte di statistica. Agli studenti è concesso di sostenere una o entrambe le parti per ogni appello. Il voto rimarrà valido fino alla sessione di febbraio. Gli studenti che abbiano superato solo una delle due parti (informatica / statistica) potranno recuperare la parte insufficiente o non sostenuta (informatica/statistica) nelle sessioni d'appello.

La prova orale verte sugli argomenti trattati durante l'anno accademico nelle due sezioni tematiche ivi comprensive gli argomenti trattati durante le lezioni di laboratorio e relative esperienze di fisica generale.

Entro l'anno accademico è possibile ripetere la prova scritta anche in caso di esito positivo ma non ritenuto soddisfacente. La consegna dell'elaborato annulla il voto positivo precedentemente ottenuto in altra prova scritta a meno che non si esprima la volontà di ritirarsi.

#### Criteri di valutazione :

Criteri di Valutazione della prova scritta ed orale:

1. Rielaborazione conoscenze e abilità sviluppate in relazione al corso attraverso quesiti mirati e comprensivi di esercitazioni;

2. Azione comunicativa, che in particolare rifletta le competenze relative al linguaggio specifico, alla modalità di comunicazione orale e/o scritta, alle modalità di rappresentazione di argomenti inerenti al corso;

#### Criteri di Valutazione della attività laboratoriale

1. Regolarità nella frequenza e nelle attività;

2. qualità dei contributi relativamente alle attività previste nelle diverse esperienze di laboratorio;

3. gestione delle attività di laboratorio e partecipazione al lavoro di gruppo;

4. rielaborazione delle conoscenze e abilità sviluppate in relazione ai contenuti del laboratorio;

5. utilizzo di strumenti e materiali forniti durante il corso;

â” discussione delle relazioni;  
â” impostazione e organicitÃ delle relazioni.

#### **Testi di riferimento :**

Maurizio Loreti, *Teoria degli errori e fondamenti di statistica (introduzione alla fisica sperimentale)*. : Zanichelli, 2006

#### **Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Eventuale ulteriore materiale sarÃ fornito dai docenti. Gli esercizi svolti a lezione costituiscono parte integrante del corso.

I documenti saranno reperibili ai sito del docente

Parte di informatica: <http://www.pd.infn.it/~agarfa/>

Parte di statistica: <https://sites.google.com/site/sadacinzia/>

e su piattaforma Moodle

<https://www.elearning.unipd.it/fisica> Laurea in Fisica

## **SPERIMENTAZIONI DI FISICA 1 - SDOPPIAMENTO**

(Titolare: Dott.ssa AGNESE GIAZ)

**Periodo:** I anno, annuale  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 60A+84L; 13,00 CFU

#### **Prerequisiti :**

Conoscenze base di:

- algebra;
- analisi (equazioni, disequazioni, derivate, integrali, serie);
- fisica generale (cinematica, dinamica, termologia).

Il livello di conoscenze pregresse richiesto Ã” conforme alla matematica e fisica insegnate nelle scuole superiori di II grado.

#### **Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Le conoscenze che si intendono acquisite al termine del corso sono relative alla statistica e all'analisi dati riferite ad esperimenti di fisica classica (si veda dettaglio delle conoscenze consultando la sezione contenuti).

Inoltre si intende da acquisire:

1. comprensione della terminologia fisica in relazione al trattamento di dati sperimentali e relativa organizzazione;
2. acquisizione di metodi per lâ€™analisi di dati affetti da errori casuali;
3. acquisizione di metodi di misura diretti ed indiretti della stessa grandezza fisica e della migliore procedura per il trattamento dei dati sperimentali;
4. comprensione del significato delle approssimazioni assunte e verifica delle relative ipotesi di partenza;
5. comprensione e stima delle cause di errore casuale e verifica della presenza di errori sistematici ed il loro peso relativo;
6. quantificazione del peso delle varie cause dâ€™errore, limitando lâ€™acquisizione ad un numero congruo di dati in esperimenti semplici;
7. acquisire abilita' nellâ€™impiego di un software informatico per lâ€™analisi dati;
8. acquisire un atteggiamento critico nello stilare un quaderno di laboratorio e nella elaborazione dati (comprensivo della definizione dellâ€™intervallo di confidenza dei dati sperimentali);
9. acquisire manualitÃ in laboratorio;
10. organizzazione del lavoro di gruppo e della suddivisione dei compiti.

#### **Attivita' di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Saranno impiegate, negli opportuni contesti:

- lezioni frontali, specialmente per la parte di informatica, di introduzione alla statistica e alla presentazione della fisica oggetto degli esperimenti inteso come lavoro mentale attivo con finalitÃ alla concettualizzazione astratta dei vari argomenti.
- apprendistato cognitivo basato sullâ€™interazione tra studente ed insegnate attorno ad un compito di apprendimento. In tal caso docente fungerÃ inizialmente da modello di riferimento (modeling), per poi fornire supporto allo studente durante lâ€™esecuzione del compito (coaching), conducendolo gradualmente allâ€™autonomia;
- didattica laboratoriale: svolgimento di esperimenti focalizzati rispondendo anche ad istanze sociali in cui la prestazione in gruppo Ã” valorizzata al meglio per promuovere relazioni collaborative. In tale ambito si farÃ uso anche della metodologia brainstorming;
- collaborative learning: ovvero apprendimento in piccoli gruppi, allâ€™interno dei quali gli studenti si avvalgono di una collaborazione reciproca e si sentono corresponsabili del percorso formativo intrapreso (in attivitÃ laboratoriale);

#### **Contenuti :**

##### **INFORMATICA E PROGRAMMAZIONE**

1) Teoria dellâ€™Informazioni. Sistemi di numerazione posizionali. Sistema decimale, binario, ottale ed esadecimale. Cambiamento di base. Rappresentazione dei numeri relativi: modulo e segno, complemento ad uno, complemento a due. Rappresentazione dei numeri razionali: rappresentazione in virgola fissa e in virgola mobile. Standard IEEE-754.

2) Algebra Booleana, Teoria degli insiemi. Algebra booleana: definizione e proprietà. Teorema di De Morgan. Algebra booleana a due elementi  $\{0,1\}$ . Teorema fondamentale dell'algebra booleana. Corollari.

3) Programmazione: Introduzione al C++. La funzione main. La direttiva #include. Utilizzo degli operatori cin e cout. Dichiarazione ed inizializzazione di variabili. Tipi di variabili: char, int, long, float, double, bool. Operatori aritmetici. Conversione di tipo. Espressioni numeriche e relazionali. Operatori logici. Istruzione if. I cicli: for, while, do-while. Operatore condizionale. Lo statement switch, break, continue. Array, stringhe, strutture e puntatori. Le funzioni. Prototipi di funzioni. Funzioni inline. Referenze e puntatori. Argomenti di default. Overloading di funzioni. Funzioni templates. Breve introduzioni alle classi ed alla programmazione orientata ad oggetti.

4) Attività di laboratorio: la frequenza è obbligatoria. In particolare saranno trattati i seguenti argomenti: Scrittura di un primo programma in C++. Tutorial di LINUX. La struttura di un programma, introduzione ai diagrammi di flusso. Scrittura di un programma per il calcolo della media, dell'area di un triangolo, della traiettoria di un proiettile. Esercizi di programmazione.

#### INTRODUZIONE ALLA TEORIA DEGLI ERRORI

1) Misure dirette ed indirette. Strumenti di misura. Errori casuali e sistematici. Cifre significative ed arrotondamenti. Precisione, accuratezza e sensibilità. Probabilità. Eventi e variabili casuali, teoremi della probabilità composta e della probabilità totale. Teorema di Bayes. Esempi e applicazioni. Stime di tendenza centrale e stime di dispersione. Proprietà. Istogrammi. Sovrapposizione di una funzione gaussiana su un istogramma e epurazione dati.

2) Variabili casuali discrete: generalità. Popolazioni e campioni. Valore medio di combinazioni lineari. Varianza di combinazioni lineari di variabili casuali statisticamente indipendenti. Legge dei grandi numeri e teorema di Bernoulli. Valore medio e valore vero. Relazione tra varianza dei campioni e varianza della popolazione. Variabili casuali continue: definizione e proprietà, la densità di probabilità e la funzione di distribuzione. Proprietà della speranza matematica e della varianza. La distribuzione uniforme, distribuzione di Gauss. Elementi di calcolo combinatorio. La distribuzione di Poisson e relative proprietà. La distribuzione di Bernoulli e relative proprietà. La distribuzione del Chi-quadro: definizione e proprietà. Metodo del minimo  $\chi^2$ . Applicazioni del  $\chi^2$  e vincoli dei sistemi. Esempi ad applicazioni.

3) Misure indirette

Miglior stima del valor vero di una grandezza misurata in modo indiretto. La propagazione degli errori e i limiti della sua validità. Errori massimi e formula di propagazione degli errori massimi. Covarianza e Correlazione lineare e relative proprietà.

4) Stime di parametri.

Funzione di verosimiglianza e metodo della massima verosimiglianza. Applicazioni della stima di massima verosimiglianza: media pesata e relativo errore, derivazione dei parametri di una retta per l'origine e una retta generica.

5) Attività di laboratorio con frequenza obbligatoria su argomenti di Meccanica, termologia e termodinamica.

#### Modalità di esame :

L'esame consta di tre parti:

1. Relazioni delle esperienze svolte in laboratorio sotto forma di elaborati scritti. Ogni relazione è stilata per gruppo (costituito da due/tre studenti ciascuno) e consegnata secondo il calendario fornito dai docenti all'avvio del laboratorio al docente di riferimento. La consegna in ritardo darà luogo a penalizzazione sulla valutazione, la mancata consegna di una o più relazioni invalida la possibilità di sostenere l'esame con esito positivo;

2. prova scritta (relativa ad elementi di Elementi di informatica e programmazione ed Elementi di teoria degli errori e statistica);

3. prova orale relativa ad elementi di Elementi di informatica e programmazione e alla teoria degli errori e statistica nonché sulla discussione critica delle esperienze svolte in laboratorio.

Il voto finale è fornito dalla media pesata dei voti presi nelle tre parti.

In particolare la prova scritta comprenderà esercizi e dimostrazioni di Elementi di informatica, programmazione (prima parte) e teoria degli errori e statistica (seconda parte). Può essere svolta secondo due modalità: attraverso il superamento delle prove in itinere oppure attraverso l'appello istituzionale. Le prove parziali in itinere, in numero pari a tre, saranno svolte durante l'anno accademico secondo il seguente calendario:

1° prova scritta in itinere su Elementi di informatica e programmazione, I semestre (tra dicembre e gennaio). Tale prova esaurisce prima parte;

2° prova scritta in itinere su Elementi di teoria degli errori e statistica, argomenti presentati nelle lezioni del I semestre (febbraio-marzo);

3° prova scritta in itinere su Elementi di teoria degli errori e statistica, argomenti presentati nelle lezioni del II semestre (fine maggio-primi di giugno).

La 2° e la 3° prova in itinere saranno valutate complessivamente come un'unica prova relativa alla seconda parte: si considererà sufficiente la performance dello studente la cui media pesata dei voti ottenuti nelle due prove in itinere (2°-3°) sarà almeno pari a 18/30.

Coloro che avranno raggiunto la sufficienza sulle parti di Elementi di informatica e di Teoria degli errori e statistica saranno ammessi alla prova orale qualora abbiano frequentato il laboratorio e consegnato tutte le relazioni delle esperienze svolte. Coloro che risultassero insufficienti nelle due parti, dovranno sostenere la prova scritta secondo il calendario previsto nelle varie sessioni di appello (2 appelli nella sessione estiva, due appelli nella sessione autunnale ed un appello nella sessione di recupero). Nelle varie sessioni d'appello, la prova scritta sarà articolata in due parti:

parte di informatica e parte di statistica. Agli studenti è concesso di sostenere una o entrambe le parti per ogni appello. Il voto rimarrà valido fino alla sessione di febbraio. Gli studenti che abbiano superato solo una delle due parti (informatica / statistica) potranno recuperare la parte insufficiente o non sostenuta (informatica/statistica) nelle sessioni d'appello.

La prova orale verte sugli argomenti trattati durante l'anno accademico nelle due sezioni tematiche ivi comprensive gli argomenti trattati durante le lezioni di laboratorio e relative esperienze di fisica generale.

Entro l'anno accademico è possibile ripetere la prova scritta anche in caso di esito positivo ma non ritenuto soddisfacente. La consegna dell'elaborato annulla il voto positivo precedentemente ottenuto in altra prova scritta a meno che non si esprima la volontà di ritirarsi.

#### Criteri di valutazione :

Criteri di Valutazione della prova scritta ed orale:

1. Rielaborazione conoscenze e abilità sviluppate in relazione al corso attraverso quesiti mirati e comprensivi di esercitazioni;

2. Azione comunicativa, che in particolare rifletta le competenze relative al linguaggio specifico, alla modalità di comunicazione orale e/o scritta, alle modalità di rappresentazione di argomenti inerenti al corso;

## Criteria di Valutazione della attività laboratoriale

- Regolarità nella frequenza e nelle attività;
- qualità dei contributi relativamente alle attività previste nelle diverse esperienze di laboratorio;
- gestione delle attività di laboratorio e partecipazione al lavoro di gruppo;
- rielaborazione delle conoscenze e abilità sviluppate in relazione ai contenuti del laboratorio;
- utilizzo di strumenti e materiali forniti durante il corso;
- discussione delle relazioni;
- impostazione e organicità delle relazioni.

### Testi di riferimento :

Maurizio Loreti, Teoria degli errori e fondamenti di statistica (introduzione alla fisica sperimentale). : Zanichelli, 2006

### Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Eventuale ulteriore materiale sarà fornito dai docenti. Gli esercizi svolti a lezione costituiscono parte integrante del corso.

I documenti saranno reperibili sulla piattaforma moodle all'indirizzo [www.elearning.unipd.it/dfa](http://www.elearning.unipd.it/dfa)

Tutte le comunicazioni agli studenti saranno effettuate tramite tale piattaforma.

## SPERIMENTAZIONI DI FISICA 2

(Titolare: Prof. DENIS BASTIERI)

**Periodo:** Il anno, annuale  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 52A+54L; 11,00 CFU

### Prerequisiti :

- Prima parte - Statistica e Analisi Dati: Sperimentazione di Fisica 1
- Seconda parte - Laboratorio di Ottica, di Elettromagnetismo e Circuiti: Fisica Generale 1, Fisica Generale 2, Sperimentazione di Fisica 1 - Propedeuticità : Sperimentazioni di Fisica 1 (solo frequenza), Sperimentazioni di Fisica 2 prima Parte (solo frequenza)

### Conoscenze e abilità da acquisire :

- Prima parte - Statistica e Analisi Dati: comprendere e saper utilizzare lo sviluppo in onde sinusoidali e la trasformazioni di Fourier e Laplace di funzioni generiche e caratteristiche come strumento per lo studio dei fenomeni fisici; saper analizzare dati con strumenti evoluti di analisi statistica in contesti scientifici di ricerca e sviluppo.
- Seconda parte - Laboratorio di Ottica, di Elettromagnetismo e Circuiti: Apprendere metodi di misura ed analisi dei dati nel campo dell'ottica geometrica e ondulatoria. Realizzare circuiti elettrici elementari in corrente continua e alternata e riuscire a misurarne alcune grandezze caratteristiche.

### Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

- Prima parte - Statistica e Analisi Dati: Lezioni in aula sui contenuti dell'attività formativa.
- Seconda parte - Laboratorio di Elettromagnetismo e Circuiti, Ottica: Lezioni in aula sui contenuti dell'attività formativa e attività in gruppo (da 3 studenti l'uno) a cadenza settimanale con esecuzione in laboratorio di esperienze programmate e stesura di report finale (relazioni).

### Contenuti :

- Prima parte - Statistica e Analisi Dati:  
Funzioni di Heaviside e Dirac: proprietà formali ed applicazioni. Trasformata di Fourier: serie di Fourier ed integrale di Fourier; trasformata ed anti-trasformata di Fourier; esempi. Trasformata di Laplace: legame tra la trasformata di Fourier e la trasformata di Laplace; anti-trasformata di Laplace; soluzione di equazioni differenziali ordinarie con il metodo di Laplace.  
PDF: Probability Density Function(s): Densità Normale (richiami); Momenti, Funzione cumulativa, Funzione Caratteristica; Densità Uniforme e Binomiale (richiami); Densità di Poisson e t-Student; Correlazioni, coefficiente di Pearson. Likelihood e Teorema di Bayes: Funzione di Likelihood (richiami); Teorema di Bayes. Test di ipotesi e Test statistici: Intervalli di confidenza; p-value. Teorema di Cramer-Rao e Lemma di Neyman-Pearson.
- Seconda parte - Laboratorio di Ottica, di Elettromagnetismo e Circuiti:  
Richiami di ottica geometrica. Distanza focale e aberrazioni. Richiami di ottica ondulatoria. Diffrazione da una fenditura, interferenza a poche fenditure. Prisma e reticolo. Descrizione delle misure che saranno effettuate in laboratorio e della strumentazione che verrà utilizzata. Richiami di teoria dei circuiti in corrente continua e alternata ed elementi di teoria delle reti. Quadrupoli e circuiti equivalenti. Circuiti RC e RLC in serie. Linee di trasmissione.  
Esperienze in laboratorio:
  - misure della distanza focale di una lente;
  - caratterizzazione di fenomeni di aberrazione;
  - diffrazione e interferenza a 2,3,4 fenditure
  - misura delle lunghezze d'onda della luce emessa da una sorgente multilinea attraverso uno spettroscopio a reticolo

- misure di indice di rifrazione con un prisma ottico- misure di resistenze in corrente continua.
- principio di funzionamento e uso dell'oscilloscopio;
- circuito RC in serie: tempo caratteristico e risposta in frequenza;
- circuito RLC in serie: oscillazioni smorzate e curva di risonanza;
- linee di trasmissione;

### Modalità di esame :

La verifica di profitto è costituita da un giudizio complessivo comprendente la valutazione del modulo di Statistica e analisi dati (I), consistente in una prova orale, e quella del modulo di Laboratorio (II), consistente nelle relazioni scritte sulle esperienze di laboratorio, una prova scritta sui contenuti del modulo, e una prova tecnico-pratica sull'attività sperimentale in laboratorio.

### Criteri di valutazione :

Correttezza e completezza nell'esposizione dei contenuti proposti in sede di orale o di prova scritta; correttezza e adeguatezza nell'uso

degli strumenti, nell'esecuzione delle misure e nell'analisi dei dati presi in laboratorio.

**Testi di riferimento :**

M. Loreti, Teoria degli errori e fondamenti di statistica. <http://www.cdf.pd.infn.it/labo/> ,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Dispense; lucidi delle lezioni

---

## SPERIMENTAZIONI DI FISICA 2 - SDOPPIAMENTO

(Titolare: Dott.ssa ANNAMARIA ZALTRON)

**Periodo:** Il anno, annuale  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 52A+54L; 11,00 CFU

**Prerequisiti :**

- Prima parte - Statistica e Analisi Dati: Sperimentazione di Fisica 1
- Seconda parte - Laboratorio di Elettromagnetismo e Circuiti, Ottica: Fisica Generale 1, Fisica Generale 2, Sperimentazione di Fisica 1 - Propedeuticit  : Sperimentazioni di Fisica 1 (solo frequenza), Sperimentazioni di Fisica 2 prima Parte (solo frequenza)

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

- Prima parte - Statistica e Analisi Dati: comprendere e saper utilizzare lo sviluppo in onde sinusoidali e la trasformazioni di Fourier e Laplace di funzioni generiche e caratteristiche come strumento per lo studio dei fenomeni fisici; saper analizzare dati con strumenti evoluti di analisi statistica in contesti scientifici di ricerca e sviluppo.
- Seconda parte - Laboratorio di Elettromagnetismo e Circuiti, Ottica: realizzare circuiti elettrici elementari in corrente continua e alternata e riuscire a misurarne alcune grandezze caratteristiche. Apprendere metodi di misura ed analisi dei dati nel campo dell'ottica geometrica e ondulatoria.

**Attivit  di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

- Prima parte - Statistica e Analisi Dati: Lezioni in aula sui contenuti dell'attivit  formativa.
- Seconda parte - Laboratorio di Elettromagnetismo e Circuiti, Ottica: Lezioni in aula sui contenuti dell'attivit  formativa e attivit  in gruppo (generalmente 3 studenti) a cadenza settimanale con esecuzione in laboratorio di esperienze programmate e stesura di report finale (relazioni).

**Contenuti :**

- Prima parte - Statistica e Analisi Dati:  
Funzioni di Heaviside e Dirac: propriet  formali ed applicazioni. Trasformata di Fourier: serie di Fourier ed integrale di Fourier; trasformata ed anti-trasformata di Fourier; esempi. Trasformata di Laplace: legame tra la trasformata di Fourier e la trasformata di Laplace; anti-trasformata di Laplace; soluzione di equazioni differenziali ordinarie con il metodo di Laplace.  
PDF: Probability Density Function(s): Densit  Normale (richiami); Momenti, Funzione cumulativa, Funzione Caratteristica; Densit  Uniforme e Binomiale (richiami); Densit  di Poisson e t-Student; Correlazioni, coefficiente di Pearson. Likelihood e Teorema di Bayes: Funzione di Likelihood (richiami); Teorema di Bayes. Test di ipotesi e Test statistici: Intervalli di confidenza; p-value. Teorema di Cramer-Rao e Lemma di Neyman-Pearson.

- Seconda parte - Laboratorio di Elettromagnetismo e Circuiti, Ottica:  
Richiami di teoria dei circuiti in corrente continua e alternata ed elementi di teoria delle reti. Quadropoli e circuiti equivalenti. Circuiti RC e RLC in serie. Linee di trasmissione. Richiami di ottica geometrica. Distanza focale e aberrazioni. Richiami di ottica ondulatoria. Diffrazione da una fenditura. Effetto Faraday. Prisma e reticolo.

Descrizione delle misure che saranno effettuate in laboratorio e della strumentazione che verr  utilizzata.

Esperienze in laboratorio:

- misure di resistenze in corrente continua.
- principio di funzionamento e uso dell'oscilloscopio;
- circuito RC in serie: tempo caratteristico e risposta in frequenza;
- circuito RLC in serie: oscillazioni smorzate e curva di risonanza;
- linee di trasmissione;
- misure della distanza focale di una lente;
- caratterizzazione di fenomeni di aberrazione;
- diffrazione e interferenza a 2,3,4 fenditure
- effetto Faraday
- Misura delle lunghezze d'onda della luce emessa da una sorgente multilinea attraverso uno spettroscopio a reticolo

- Misure di indice di rifrazione con un prisma ottico

**Modalit  di esame :**

La verifica di profitto   costituita da un giudizio complessivo comprendente la valutazione del modulo di Statistica e analisi dati (I), consistente in una prova orale, e quella del modulo di Laboratorio (II), consistente nelle relazioni scritte sulle esperienze di laboratorio, una prova scritta sui contenuti del modulo, e una prova tecnico-pratica sull'attivit  sperimentale in laboratorio.

**Criteri di valutazione :**

correttezza e completezza nell'esposizione dei contenuti proposti in sede di orale o di prova scritta; correttezza e adeguatezza nell'uso degli strumenti, nell'esecuzione delle misure e nell'analisi dei dati presi in laboratorio;

**Testi di riferimento :**

M. Loreti, Teoria degli errori e fondamenti di statistica. <http://www.cdf.pd.infn.it/labo/> ,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Dispense; lucidi delle lezioni

---

## STORIA DELLA FISICA

(Titolare: Prof. GIULIO PERUZZI)



**Periodo:** III anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Il corso Ã rivolto a studenti del terzo anno provenienti da corsi di laurea molto diversi di area sia scientifica sia umanistica e per questo non si richiedono requisiti specifici.

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Il corso ha lâ€™<sup>TM</sup>obiettivo di presentare le principali idee che hanno dato origine alla scienza contemporanea, analizzando i mutamenti scientifici verificatisi nel periodo compreso tra la fine del Settecento e il Novecento. Particolare attenzione sarÃ dedicata agli sviluppi della fisica analizzati in parallelo agli sviluppi degli altri settori disciplinari. Uno degli obiettivi del corso Ã quello di permettere allo studente di ricomporre in un quadro unitario le molteplici ma spesso frammentate nozioni apprese nei suoi studi universitari. Questo Ãœ sguardo al passatoÃ• Ãœ come sosteneva giÃ il Lord Cancelliere quattro secoli fa Ãœ Ã essenziale per capire il presente e per orientare le ricerche future.

Anche in funzione di questo obiettivo, sulla base degli indicatori di Dublino, si cerca di stimolare, sia durante il corso sia nella stesura dell'elaborato finale:

1. le conoscenze e capacitÃ di comprensione, portandoli a un livello che includa anche la possibilitÃ di acquisire la conoscenza dell'origine di alcuni dei temi dÃ€™<sup>TM</sup>avanguardia nel proprio campo di studi tramite lâ€™<sup>TM</sup>uso di libri di testo avanzati e di fonti primarie;
2. l'applicazione delle conoscenze e delle capacitÃ in modo da arrivare a padroneggiare competenze adeguate sia per ideare e sostenere argomentazioni che per risolvere problemi nel proprio campo di studi;
3. l'autonomia di giudizio, intesa come capacitÃ di raccogliere e interpretare le informazioni utili a determinare scelte libere e consapevoli, includendo anche la riflessione su temi sociali, scientifici o etici a essi connessi;
4. l'abilitÃ comunicativa, e cioÃ il saper comunicare informazioni, idee, problemi e soluzioni a interlocutori specialisti e non specialisti;
5. la capacitÃ di utilizzare le conoscenze che vengono dalla storia del pensiero scientifico per i futuri livelli di apprendimento e lavorativi.

**AttivitÃ di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Le lezioni sono eminentemente frontali. In alcuni casi vengono abbinate (con una breve introduzione a cura del docente) a seminari del tipo dei "Colloquia" organizzati dal Dipartimento di Fisica e Astronomia. Un modo per correlare la storia della scienza con importanti sviluppi recenti.

A seconda della numerositÃ degli studenti si prevedono visite ai musei dell'Ateneo patavino.

**Contenuti :**

Il corso, dopo unÃ€™<sup>TM</sup>introduzione generale sul ruolo e il significato della storia della scienza, si articola in quattro sezioni. La prima illustra alcuni dei caratteri di quella che Ã oggi nota come Ãœ<sup>TM</sup>evoluzione scientificaÃ• soffermandosi sulla nascita dei vari settori scientifici moderni (fisica, chimica, astronomia, geologia, biologia). La seconda sezione tratta alcuni dei principali sviluppi della scienza nellÃ€™<sup>TM</sup>Ottocento, nei quali si evidenzia il fondamentale ruolo svolto dalla Ãœ<sup>TM</sup>fertilizzazione incrociata delle scienzeÃ•. La terza ricostruisce la storia del principio di relativitÃ e dei mutamenti nelle nozioni di spazio e tempo tra Ottocento e Novecento. La quarta sezione, infine, Ã dedicata alla teoria dei quanti, dalla vecchia teoria dei quanti alla meccanica quantistica, e alle sue ricadute in altri settori della scienza, in particolare la chimica e la biologia.

**ModalitÃ di esame :**

La verifica dell'apprendimento prevede una breve discussione di un elaborato scritto che in 4/5 cartelle affronta un tema scelto dallo studente nell'ambito della storia della scienza tra Ottocento e Novecento. Questo si configura come un lavoro di rassegna basato su una ricerca bibliografica autonomamente svolta dallo studente.

Per facilitare gli studenti alla scelta di un argomento, verrÃ messa a disposizione una lista indicativa, ma non vincolante, di argomenti sui quali svolgere l'elaborato finale.

**Criteri di valutazione :**

Tra i criteri di valutazione della preparazione dello studente rientrano:

1. la frequentazione delle lezioni;
2. la partecipazione alle discussioni sui singoli temi trattati;
3. la capacitÃ di una autonoma ricerca bibliografica per la stesura dell'elaborato finale che non si fermi alla generica ricerca di informazioni via internet, ma che comprenda anche l'uso della biblioteca e degli strumenti di ricerca bibliografica piÃ¹ avanzati messi a disposizione dal Centro di Ateneo delle Biblioteche.

**Testi di riferimento :**

Paolo Rossi (a cura di), Storia della Scienza Moderna e Contemporanea. Torino: UTET, 1988

Tullio Regge, Giulio Peruzzi, Spazio, tempo e universo. Passato, presente e futuro della teoria della relativitÃ. Torino: Bollati Boringhieri, 2005

Giulio Peruzzi (a cura di), Scienza e realtÃ. Riduzionismo e antiriduzionismo nelle scienze del Novecento. Milano: Bruno Mondadori, 2000

Giulio Peruzzi, Vortici e colori. Alle origini dell'opera di James Clerk Maxwell. Bari: Dedalo, 2010

Giulio Peruzzi, Niels Bohr. Dall'alba della fisica atomica alla big science. Milano: Le Scienze - collana "i grandi della scienza", 2001

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Nelle dispense, rese disponibili sulla piattaforma moodle, sono presenti ulteriori indicazioni bibliografiche relative alle varie parti del corso.

---

## TECNICHE E STRUMENTI DI MISURA

(Titolare: Dott. GIOVANNI CARUGNO)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Aver superato gli esami di fisica 1 e fisica 2

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Riuscire a padroneggiare gli ordini di grandezza che permettono di valutare la possibilità realizzativa di situazioni sperimentali che si incontrano: 1) nella produzione del vuoto e della sua misura, 2) nella gestione del freddo fino a temperature dell'elio liquido e 3) di saper stimare le fonti di rumore in un'ampia gamma di frequenze elettromagnetiche.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Gli studenti saranno portati in laboratorio così da confrontarsi con le metodologie sperimentali presentate nel corso.

**Contenuti :**

**Tecnologie del Vuoto**

- Elementi teoria cinetica dei gas: cammino libero medio, velocità  $\bar{v}$  di pompaggio, portata e conduttanza
- Sistemi di pompaggio per basso, alto e ultra alto vuoto
- Gauge di vuoto e pressione
- Sistemi da vuoto, materiali, test.

**Criogenia**

- Modalità di trasporto Calore: Legge di Fourier Conduzione, Irraggiamento, convezione e vuoto
- Calore specifico, Conduttività ed Espansione termica dei materiali a freddo
- Produzione delle basse temperature: Effetto Joule Thompson
- Costruzione di criostati per mantenimento del freddo con cenni alla termometria e bolometria

**Generazione e propagazione di onde E.M.**

- Radiazione e antenne
- Antenne direzionali
- Riflessione, rifrazione e assorbimento
- Ionosfera e comunicazione satellitare
- Ricevitore radio Supereterodina in AM e FM
- Laser e proprietà della radiazione
- Infrarossi, visibile, x,  $\gamma$ : bolometri, fotodiodi, fototubi e sistemi combinati.
- Interferometria ottica: Michelson-Morley, Fabay-Perot.

**Analisi segnali**

- Rumore in tensione e corrente
- Filtri
- Analisi attraverso la media dei segnali
- Analisi di ampiezza
- Rivelazione attraverso la fase: Lock in

**Modalità di esame :**

Compito scritto composto da 3 esercizi su Vuoto, Criogenia e Onde elettromagnetiche e loro misura e limiti.

Il compito sarà poi esaminato assieme allo studente per un'ulteriore valutazione.

**Criteri di valutazione :**

Per ogni modulo dei 3, presentati durante il corso, sarà assegnato un punteggio da 0 a 10.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Il Materiale di studio sarà distribuito agli studenti durante le lezioni.

## TERMODINAMICA

(Titolare: Prof. MATTEO AMBROGIO PAOLO PIERNO)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 32A+16E; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Matematica: Analisi I e II, elementi di Algebra lineare.

Fisica: Meccanica Newtoniana, Elettromagnetismo classico, elementi di Meccanica Statistica e Quantistica.

Chimica Fisica: reazioni chimiche, equilibrio chimico, teoria cinetica dei gas.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

CONOSCENZE:

Lo studente dovrà acquisire una conoscenza approfondita della Termodinamica, con particolare riferimento alla comprensione trasversale dei principi e dei metodi per passare dallo studio degli stati di equilibrio a quello delle situazioni di non equilibrio.

Per sommi capi i le conoscenze principali si possono così riassumere:

- i) I principi e la definizione dell'equazione fondamentale;
- ii) La misura dell'entropia, lo studio dei gas e della legge degli stati corrispondenti (all'interno di quest'ultimo argomento sarà di fondamentale importanza una estesa conoscenza della fenomenologia).
- iii) Come cambiano le funzioni di stato in presenza di campi esterni;
- iv) Studio delle configurazioni di non equilibrio e dei processi (in approssimazione discontinua);
- v) Interferenza tra processi diversi per situazioni vicine all'equilibrio;
- vi) Stati stazionari e accoppiamento di stato stazionario;
- vii) Generalizzazione ai sistemi continui; nuova definizione dei flussi e delle forze; linearità e applicazioni.

ABILITÀ:

Lo studente dovrà :

- saper operare in modo trasversale, nell'ambito della disciplina, dimostrando di saper stabilire collegamenti chiari e ben giustificati tra parti diverse
- saper risolvere e affrontare situazioni problematiche chiuse e aperte, cioè "operare scelte tra possibilità diverse ma precostituite (problemi "chiusi") oppure sapersi orientare in situazioni "aperte" (in cui la soluzione va costruita)"
- dimostrare consapevolezza sulle scelte scientifiche operate e cioè "in riferimento all'analisi critica dei dati e affidabilità dei processi di misura, validazione dei modelli proposti e consapevolezza dei processi di generalizzazione che si compiono nella teoria.

**Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :**

Lezioni frontali.

Discussioni docente-gruppo studenti su aspetti disciplinari specifici e situazioni problematiche in cui si devono prospettare soluzioni (problem solving).

Didattica individualizzata (correzione, chiarimenti e approfondimenti).

Esempi tratti da demo e animazioni/simulazioni multimediali

**Contenuti :**

PROGRAMMA DEL CORSO

PARTE I: Termodinamica degli stati di equilibrio

- Sistemi macroscopici e sistemi microscopici
- Sistemi interagenti e sistemi isolati
- Stati di equilibrio.
- Equilibrio termico. Principio zero e la definizione di temperatura empirica. .
- Sistemi adiabatici. Sistemi chiusi.
- I Principi della Termodinamica
- Primo principio: definizione di Energia (U) e di quantità di calore (Q).
- Secondo principio: entropia e temperatura assoluta
- Sistemi discontinui come esempio paradigmatico di applicazione del secondo principio.
- Macchine termiche.
- Estensione del secondo Principio ai sistemi aperti.
- I potenziali termodinamici e il problema della stabilità degli stati di equilibrio
- Relazioni generali
- Definizione di  $\mu$  e di  $\mu_T$ . Def di  $\mu_S$ . Relazione tra di  $\mu_T$  e  $\mu$ .
- Relazioni di Maxwell.
- Definizione di  $C_p$  e  $C_v$  e relazione tra loro. Dipendenza da T dei calori specifici.
- Dipendenza dell'entropia da V e da p.
- Terzo Principio
- Proprietà dei gas. Sviluppi del viriale, equazione di Van der Waals
- Misurabilità di T.
- Evidenza sperimentale sul primo coefficiente del viriale.
- Equazioni delle adiabatiche
- Transizioni di fase del primo e secondo ordine. Relazione di Calpeyron ed Ehrenfest. Punti tripli
- Punto critico e Legge degli stati corrispondenti.
- Strati superficiali
- Potenziali termodinamici negli strati superficiali. (qualcosa sulla tensione superficiale?). criteri di stabilità del vapore soprassaturo.
- Termodinamica in presenza di campi esterni: Caso elettrostatico e magnetico
- Termodinamica della radiazione.

PARTE II: Processi irreversibili

- Approssimazione dei sistemi discontinui. Calcolo di produzioni di entropia in sistemi chiusi e in sistemi aperti.
- Reazioni chimiche: velocità e affinità .
- Flussi e forze generalizzati. Relazioni lineari tra flussi e forze.
- Esame della condizione di linearità nei casi della conduzione del calore e nel caso delle reazioni chimiche.
- Diverse possibili scelte di flussi e delle forze. Sistemi equivalenti.
- Relazioni di Onsager.
- Studio del decadimento delle fluttuazioni in un sistema in equilibrio.
- Effetti termomeccanici; effetti elettrocinetici. Calcolo degli effetti termomeccanici per gas di Knudsen.
- Stati stazionari. Minima produzione di entropia e stabilità degli stati stazionari. Accoppiamento di stato stazionario.
- Cenni alla Termodinamica non lineare dei processi irreversibili.

PARTE III: Sistemi continui

- Equilibrio Termodinamico Locale. Riformulazione delle equazioni dell'energia e dell'entropia per sistemi continui.
- Produzione di entropia per unità di volume. Flussi e forze generalizzati.
- Relazione di Einstein tra coefficiente di mobilità e coefficiente di diffusione.

**Modalità di esame :**

Colloquio orale sui contenuti disciplinari

**Criteri di valutazione :**

La fase di verifica e valutazione degli apprendimenti " correlata, nei contenuti e nei metodi, alle attività didattiche svolte durante il processo di insegnamento-apprendimento

Riguarda tutte le tematiche proposte e tiene conto di tutti gli obiettivi delineati."

Verranno valutati: i) la capacità di ragionamento, ii) i progressi raggiunti nella chiarezza, comprensione e proprietà di espressione nonché

iii) il monitoraggio della preparazione pregressa."

La valutazione in tal senso " di tipo sommativo per l'accertamento dell'acquisizione di specifiche competenze.

**Testi di riferimento :**

Guggenheim, Edward Armand, Thermodynamics an advanced treatment for chemists and physicists by E. A. Guggenheim. Amsterdam: North-Holland, 1967

Prigogine, Ilya, Introduction to thermodynamics of irreversible processes by I. Prigogine. New York: London, John Wiley, 0

Callen, Herbert, Thermodynamics an introduction to the physical theories of equilibrium thermostatics and irreversible

thermodynamics Herbert B. Callen. New York [etc.]: Wiley, 0

Saggion, Antonio; Pierno, Matteo; Faraldo Rossella, Principles of Thermodynamics. : ,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

La bibliografia sulla termodinamica Ãˆ immensa e gli approcci innumerevoli, non solo in Fisica. Per la parte di fondamenti si consiglia di partire dalle dispense del corso che ne costituiscono un'efficace sintesi. Per le parti applicative si suggerisce di spaziare tra le varie referenze proposte nelle dispense e nel corso, compresi i materiali multimediali proposti.