



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**SCUOLA DI SCIENZE**

**Bollettino Notiziario**

Anno Accademico 2016/2017

**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 nella stessa sessione. 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 abilità 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 più semplici, come, ad esempio, saper trattare e disegnare semplici insiemi in due o tre dimensioni o grafici di semplici funzioni di una e più variabili o di curve.

**Attività 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 più variabili, in particolare curve e funzioni a valori reali. Calcolo differenziale ed integrale per funzioni di più variabili a valori reali. Massimi e minimi di una funzione di più variabili in un compatto ed eventualmente su insiemi illimitati.

Alcuni risultati riguardanti campi di vettori e forme differenziali.

**Modalità di esame :**

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

**Criteri di valutazione :**

Il singolo studente sarà valutato in base alle risposte che darà 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 verrà 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 abilità da acquisire :**

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

**Attività 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 :**

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

**Modalità di esame :**

Prova scritta, eventualmente seguita da prova orale facoltativa.

**Criteri di valutazione :**

Sarà valutata la capacità 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 abilità 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 COLLAGATIVE. 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 multiple 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 :**

KOTZ - TREICHEL - TOWNSEND, Chimica. : Edises, 2013

PETRUCCI - HERRING - MADURA - BISSONNETTE, Chimica Generale. : Piccin, 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:** I 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 COLLAGATIVE. 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. CONDUCTIBILITÀ 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: Prof. GIANMARIA COLLAZUOL)

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

---

## 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

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

Lezione 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 stabilit , sfera di Hill e sue applicazioni (stelle variabili cataclismiche, satelliti di asteroidi)
- 8) Perturbazioni secolari nei sistemi a molti pianeti.

**Modalit  di esame :**

Esame orale

**Testi di riferimento :**

Thompson, *An introduction to astrophysical fluid dynamics.* : Imperial college press,

Murray and Dermott, *Solar System Dynamics.* : Cambridge,

Armitage, *Astrophysics of planet formation.* : Cambridge,

Bertotti, Farinella and Vokroulicki, *Physics of the solar system.* : Kluwer,

Goldston and Rutherford, *Introduction to plasma physics.* : IoP,

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:** 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 abilit  da acquisire :**

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

**Attivit  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, unit  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. Quantit  di moto. Impulso. Forze impulsive. I pendoli. L'oscillatore smorzato con attrito radente, con attrito viscoso. Risonanza. Propriet  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. Viscosit  ; cenni alla resistenza di scia e vorticosa. 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 Reversibilit  . Ciclo di Carnot. Teorema di Carnot. Temperatura termodinamica. Teorema di Clausius. Entropia. Principio dell'aumento dell'entropia; entropia ed energia inutilizzabile. Propriet  dei fluidi reali. Equazione di Clapeyron. Teoria cinetica dei gas. Cenni all'interpretazione statistica dell'entropia.

**Modalit  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 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 :**

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

A. Bettini, Meccanica e termodinamica. : Zanichelli,

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.

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.

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.  
 Legge di Ohm per circuiti in corrente alternata. Impedenza complessa. Risonanza in circuiti RLC.  
 Onde in tre dimensioni. Onde sonore. Intensità delle onde sonore.  
 Equazioni di Maxwell. 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.  
 Onde elettromagnetiche. Esperimento di Hertz.  
 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.  
 Reticolo di diffrazione. Potere risolutivo di un reticolo.  
 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.  
 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 :

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

## 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 I,II, Geometria, Fisica Generale I e II.

#### 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 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, quadri-forza. 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. Descrizione matematica di una teoria fisica. Il problema del corpo nero: leggi di Stefan-Boltzmann e Wien, modello di Raleigh-Jeans, ipotesi di Planck. Radiazione cosmica di fondo. Spettri atomici. Formule di Balmer e Rydberg. Modello di Thompson. Esperimento di Rutherford. Modello di Bohr. Esperimento di Franck-Hertz. Legge di Mosley. Derivazione delle regole di commutazione canoniche di Heisenberg dalla formula di Planck. Derivazione dell'equazione d'onda di Schrödinger stazionaria dall'analogia con la formulazione

ondulatoria dell'ottica geometrica, l'equazione di Schrödinger per l'evoluzione temporale della funzione d'onda, l'equivalenza formalismo di Heisenberg, l'interpretazione statistica di Born. Autovalori ed autofunzioni. Valori di aspettazione. Particella in una buca di potenziale. Effetto tunnel. Quantizzazione del momento angolare. Spin. L'equazione d'onda per  $\pi^1$  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

M. Born, *Fisica atomica*. Torino: Boringhieri, 0

---

## 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 e di Analisi.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

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

**Attività 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 :**

Generalità sui fluidi. Validità ipotesi del continuo per un fluido. Proprietà fisiche dei fluidi: compressibilità, densità, viscosità. Fluidi newtoniani.

Descrizione del campo di velocità. Derivata materiale. Equazione di continuità. 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. Similitudine 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 stabilità; flusso di Poiseuille in una condotta di sezione arbitraria; flusso di Poiseuille in una condotta a sezione circolare; stabilità 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 vorticità. 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 velocità. Il

principio di sovrapposizione. Unicità 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 Zhukhovsky.

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

**Modalità di esame :**

Esame orale.

**Criteri di valutazione :**

La valutazione della preparazione dello studente si baserà sulla comprensione degli argomenti svolti, sull'acquisizione dei concetti e delle metodologie proposte e sulla capacità 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 abilità da acquisire :**

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

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

diapositive

**Contenuti :**

Descrizione e principali proprietà di un plasma: frequenza di plasma e lunghezza di Debye; collisioni; diffusione e mobilità; 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). 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. FRANCESCO BALDASSARRI)

**Periodo:** I anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**Prerequisiti :**

Nessuno

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Argomenti del corso sono la Geometria Affine ed Euclidea, con i metodi dell'Algebra Lineare. Quanto all'Algebra Lineare, sarà indispensabile assimilare le nozioni di spazio vettoriale, di applicazione lineare, di forma bilineare, e comprenderne la classificazione, sui numeri reali e complessi. Dal punto di vista geometrico, nozioni essenziali saranno quelle di spazio affine, di sottovarietà (punti, rette, piani,  $\mathbb{R}^n$ ), di prodotto scalare tra vettori, di distanza tra sottovarietà, e di volume di solidi. Si studieranno anche le trasformazioni affini e in particolare le congruenze. Si tratteranno in breve le coniche e la loro classificazione nello spazio affine reale euclideo. Cenni agli spazi affini non-euclideo (piano di Minkowski).

**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 :**

Spazi vettoriali, sottospazi, dipendenza lineare e basi. Dimensione di uno spazio vettoriale (finitamente generato). Lo spazio dei vettori geometrici: prodotto scalare e sue proprietà, norma di un vettore e disuguaglianza di Schwarz, prodotto vettoriale e prodotto misto. Somma e intersezione di sottospazi. Spazio vettoriale duale. Applicazioni lineari. Nucleo e immagine. Proiezioni e simmetrie. Matrici invertibili e cambiamenti di base. Rango di una matrice. Risoluzione di sistemi di equazioni lineari. Tecnica di eliminazione di Gauss. Funzioni multilineari alternanti. Il determinante di una applicazione lineare e alcune sue proprietà. Autovalori ed autovettori, polinomio caratteristico di un endomorfismo. Matrici diagonalizzabili. Forme quadratiche. Applicazioni bilineari simmetriche. Teorema spettrale per matrici simmetriche reali. Cenni alle forme hermitiane. 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. Cenni al piano di Minkowski.

**Modalità di esame :**

Si offre la possibilità di svolgere l'esame in due compitini. Il primo a novembre e il secondo a metà gennaio. La prova scritta consiste nella risoluzione di alcuni esercizi. Nella prova orale, usualmente svolta anch'essa in forma scritta, saranno richiesti enunciati, dimostrazioni, definizioni, brevi esercizi. In genere il compito scritto conterrà anche delle domande per l'esame orale: lo studente può, a sua scelta, svolgerle oppure rimandare l'esame orale ad un appello successivo. Un vero orale alla lavagna si proporrà solo a chi, avendo già ottenuto un voto molto alto, punti a risultati eccellenti.

**Criteri di valutazione :**

Sono indispensabili la conoscenza delle definizioni e degli enunciati dei teoremi e la capacità di svolgere gli esercizi più semplici contenuti nei testi di riferimento. La conoscenza delle dimostrazioni dei teoremi è invece necessaria solo per ottenere un voto molto alto ed è accertata con la prova orale.

**Testi di riferimento :**

M. Candilera, A. Bertapelle, Algebra lineare e primi elementi di Geometria. : McGraw-Hill Com, 2011

M. Abate, C. De Fabritiis, Geometria Analitica con elementi di algebra lineare. : McGraw-Hill Com, 2015

### Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Proponiamo due testi di riferimento.

- 1) Il Candilera-Bertapelle  $\hat{\pi}^1$  curato e ricco dal punto di vista della teoria.  $\hat{\pi}^1$  un libro  $\hat{\pi}^1$  adatto per chi abbia interessi matematici, molto ricco di dimostrazioni e di materiale supplementare. Svolge la Geometria Analitica ed Euclidea in dimensione anche maggiore di 3 e dedica molto spazio ai Gruppi di Trasformazioni (affinità, movimenti rigidi, isometrie,...). Gli esercizi sono spesso difficili e contengono nuovi argomenti teorici.
- 2) L'Abate-De Fabritiis  $\hat{\pi}^1$  un testo assolutamente standard, che sviluppa la Geometria Analitica del Liceo Scientifico in dimensione 2 e 3. E' molto ricco di esercizi semplici. E' un testo  $\hat{\pi}^1$  scolastico, molto adatto a chi ha una mentalità ingegneristica. Purtroppo manca totalmente di due cose: degli esempi concreti di spazi di dimensione 4 o 5 e della discussione dei Gruppi di Trasformazioni. Nel corso invece tratteremo anche questi argomenti !

Nelle lezioni darò solo brevi dimostrazioni e invece farò molti esempi ed esercizi. Lo studente troverà nei testi le dimostrazioni  $\hat{\pi}^1$  complesse (facoltative!). Raccomando di svolgere almeno gli esercizi del testo Abate-De Fabritiis, che sono  $\hat{\pi}^1$  semplici. Dei complementi si trovano nel sito Moodle del corso, insieme a compiti degli anni scorsi.

## GEOMETRIA - SDOPPIAMENTO

(Titolare: Dott. MARCO ANDREA GARUTI)

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

### Prerequisiti :

Nessuno

### Conoscenze e abilità da acquisire :

Argomenti del corso sono la Geometria Affine ed Euclidea, con i metodi dell'Algebra Lineare. Quanto all'Algebra Lineare, sarà indispensabile assimilare le nozioni di spazio vettoriale, di applicazione lineare, di forma bilineare, e comprenderne la classificazione, sui numeri reali e complessi. Dal punto di vista geometrico, nozioni essenziali saranno quelle di spazio affine, di sottovarietà (punti, rette, piani,  $\hat{\pi}^1$ ), di prodotto scalare tra vettori, di distanza tra sottovarietà, e di volume di solidi. Si studieranno anche le trasformazioni affini e in particolare le congruenze. Si tratteranno in breve le coniche e la loro classificazione nello spazio affine reale euclideo. Cenni agli spazi affini non-euclideo (piano di Minkowski).

### 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 :

Spazi vettoriali, sottospazi, dipendenza lineare e basi. Dimensione di uno spazio vettoriale (finitamente generato). Lo spazio dei vettori geometrici: prodotto scalare e sue proprietà, norma di un vettore e disuguaglianza di Schwarz, prodotto vettoriale e prodotto misto. Somma e intersezione di sottospazi. Spazio vettoriale duale. Applicazioni lineari. Nucleo e immagine. Proiezioni e simmetrie. Matrici invertibili e cambiamenti di base. Rango di una matrice. Risoluzione di sistemi di equazioni lineari. Tecnica di eliminazione di Gauss. Funzioni multilineari alternanti. Il determinante di una applicazione lineare e alcune sue proprietà. Autovalori ed autovettori, polinomio caratteristico di un endomorfismo. Matrici diagonalizzabili. Forme quadratiche. Applicazioni bilineari simmetriche. Teorema spettrale per matrici simmetriche reali. Cenni alle forme hermitiane. 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. Cenni al piano di Minkowski.

### Modalità di esame :

Si offre la possibilità di svolgere l'esame in due compitini. Il primo a novembre e il secondo a metà gennaio. La prova scritta consiste nella risoluzione di alcuni esercizi. Nella prova orale, usualmente svolta anch'essa in forma scritta, saranno richiesti enunciati, dimostrazioni, definizioni, brevi esercizi. In genere il compito scritto conterrà anche delle domande per l'orale: lo studente può, a sua scelta, svolgerle oppure rimandare l'orale ad un appello successivo. Un vero orale alla lavagna si proporrà solo a chi, avendo già ottenuto un voto molto alto, punti a risultati eccellenti.

### Criteri di valutazione :

Sono indispensabili la conoscenza delle definizioni e degli enunciati dei teoremi e la capacità di svolgere gli esercizi  $\hat{\pi}^1$  semplici contenuti nei testi di riferimento. La conoscenza delle dimostrazioni dei teoremi  $\hat{\pi}^1$  invece necessaria solo per ottenere un voto molto alto ed  $\hat{\pi}^1$  accertata con la prova orale.

### Testi di riferimento :

M. Candilera, A. Bertapelle, Algebra lineare e primi elementi di Geometria. : McGraw-Hill Com, 2011  
M. Abate, C. De Fabritiis, Geometria Analitica con elementi di algebra lineare. : McGraw-Hill Com, 2015

### Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Proponiamo due testi di riferimento.

- 1) Il Candilera-Bertapelle  $\hat{\pi}^1$  curato e ricco dal punto di vista della teoria.  $\hat{\pi}^1$  un libro  $\hat{\pi}^1$  adatto per chi abbia interessi matematici, molto ricco di dimostrazioni e di materiale supplementare. Svolge la Geometria Analitica ed Euclidea in dimensione anche maggiore di 3 e dedica molto spazio ai Gruppi di Trasformazioni (affinità, movimenti rigidi, isometrie,...). Gli esercizi sono spesso difficili e contengono nuovi argomenti teorici.
- 2) L'Abate-De Fabritiis  $\hat{\pi}^1$  un testo assolutamente standard, che sviluppa la Geometria Analitica del Liceo Scientifico in dimensione 2 e 3. E' molto ricco di esercizi semplici. E' un testo  $\hat{\pi}^1$  scolastico, molto adatto a chi ha una mentalità ingegneristica. Purtroppo manca totalmente di due cose: degli esempi concreti di spazi di dimensione 4 o 5 e della discussione dei Gruppi di Trasformazioni. Nel corso invece tratteremo anche questi argomenti !

Nelle lezioni darò solo brevi dimostrazioni e invece farò molti esempi ed esercizi. Lo studente troverà nei testi le dimostrazioni  $\hat{\pi}^1$  complesse (facoltative!). Raccomando di svolgere almeno gli esercizi del testo Abate-De Fabritiis, che sono  $\hat{\pi}^1$  semplici. Dei complementi si trovano nel sito Moodle del corso, insieme a compiti degli anni scorsi.

# GEOMETRIA DIFFERENZIALE

(Titolare: da definire) - 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 abilita' da acquisire :

Calcolo differenziale e integrale sulle varieta' differenziabili.

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

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

## Contenuti :

Varieta' differenziabili, sottovarieta', morfismi tra varieta'.

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).

## Modalita' 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 :

M. Abate, F. Tovena, Geometria Differenziale. : Unitext, Springer-Verlag Italia, 2011

G. Gentili, F. Podesta', E. Vesentini, Lezioni di Geometria Differenziale. : Bollati Boringhieri, 1995

# INTRODUZIONE AI RILEVATORI DI PARTICELLE

(Titolare: Prof. ROBERTO STROILI)

**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 abilita' 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.

## Attivita' 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 traversa, 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.

**Modalita' di esame :**

Orale.

**Criteri di valutazione :**

Verranno valutati il livello di apprendimento degli argomenti in programma e la capacit  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 :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

CONTENUTO NON PRESENTE

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

CONTENUTO NON PRESENTE

**Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Modalita' 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

---

**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 abilita' da acquisire :**

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

Scopo fondamentale del corso   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 propriet  dei solidi. Le previsioni dei modelli saranno sistematicamente confrontate con le evidenze sperimentali.

**Attivita' 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 pi <sup>1</sup> 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. Propriet  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.

**Modalita' di esame :**

esame scritto e orale.

**Criteri di valutazione :**

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

**Testi di riferimento :**

Ch. Kittel, *Introduction to Solid State Physics.* : Wiley,

Borghesani, *Introduzione alla Struttura della materia.* : Edizioni Libreria Progetto,

Bransden and Joachain, *Physics of Atoms and Molecules.* : Prentice-Hall,

---

**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 abilita' da acquisire :**

Comprensione approfondita della formulazione lagrangiana della meccanica classica, in un quadro matematico rigoroso; basi della formulazione hamiltoniana.

**Attivita' 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. Stabilita' degli equilibri; teoremi di Lyapunov.

2. Sistemi vincolati: Vincoli olonomi; varieta' 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 velocita': forze elettromagnetiche nel formalismo Lagrangiano. Equilibri e stabilita': 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.

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

**Modalita' di esame :**

Scritto, unico, con teoria ed esercizi.

**Criteri di valutazione :**

L'esame mira ad accertare la conoscenza della materia e la capacita` 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 :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

CONTENUTO NON PRESENTE

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

CONTENUTO NON PRESENTE

**Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Modalita' di esame :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Criteri di valutazione :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**



## 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 piu' elementari della Meccanica Quantistica e con gli spazi Hilbertiani e gli operatori su essi definiti.

### Conoscenze e abilita' da acquisire :

Questo e' 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 e' sulle basi concettuali della Meccanica Quantistica e sulle applicazioni a semplici sistemi fisici.

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

Lezioni frontali con parte teorica ed esercitazioni.

### Contenuti :

Dualita' onda-corpuscolo; relazioni di De Broglie; il corpo nero, l'effetto fotoelettrico, l'effetto Compton, stabilita' e identita' degli atomi. Tre esperienze con due fenditure; predizioni probabilistiche della MQ, esistenza di quantita' 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 continuita' per la densita' di probabilita'  $\rho$ . 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 regolarita' 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.

### Modalita' di esame :

Prova scritta con domande di carattere generale e problemi.

### Criteri di valutazione :

L'esame scritto e' 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:** II 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,  $\mathbb{R}^n$  considerata prerequisito.

### Conoscenze e abilita' da acquisire :

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

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

Lezioni frontali

### Contenuti :

A. Funzioni analitiche

1. Condizioni di Cauchy-Riemann
2. Laplaciano su  $C$ . Funzioni armoniche e analitiche. Determinazione di una funzione analitica dalla sua componente reale o immaginaria
3. Trasformazioni conformi e funzioni analitiche
4. Integrazioni su  $C$ . 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. Singolarit  isolate (eliminabili, poli, essenziali). Teoremi di Picard sulle singolarit  essenziali (enunciati). Residui. Punto all'infinito. Funzioni poldrome e punti di ramificazione.
7. Zeri di una funzione, teorema di unicit  , unicit  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. Separabilit  e numerabilit  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.
10. Elementi di teoria spettrale.

#### **Modalit  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. Citt  Studi,  
 Kolmogorov e Fomin, Elementi della Teoria delle Funzioni e di Analisi Funzionale. : Ed. Riuniti,  
 Weidmann, Linear Operators in Hilbert Spaces. : Ed. Springer-Verlag,

(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  
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 un apparato per un semplice esperimento di fisica. 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 (Elettronica):

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.

Diodi a giunzione pn: principio di funzionamento, curve caratteristiche. Diodi Zener. Circuiti con diodi e applicazioni: raddrizzatori, termometri digitali ...

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.

Transistor BJT: principio di funzionamento, curve caratteristiche, semplici circuiti. Cenni di applicazioni digitali.

Esperienze in laboratorio:

- Circuiti amplificatori con operazionali
- Caratteristica del Diodo, raddrizzatore di tensione.
- Caratterizzazione di un MOSFET e realizzazione di un amplificatore Common Source, porte logiche CMOS

Seconda Parte (Spettroscopia):

Aspetti sperimentali di spettroscopia atomica. Rivelazione di raggi X con dispositivi a stato solido. Assorbimento della radiazione X nella materia. Rivelazione di particelle alfa in una camera a ionizzazione. Curva di Bragg. Messa a punto degli apparati, acquisizione e analisi dei dati.

Esperienze in laboratorio:

- spettroscopia atomica: riconoscimento di una sorgente luminosa incognita
- Effetto zeeman
- Misura dell'assorbimento degli X nella materia tramite la rivelazione dei fotoni con un rivelatore al silicio
- Studio delle particelle alfa emesse da una sorgente radioattiva con una camera a ionizzazione tipo Bragg.

**Modalità di esame :**

Scritto e Orale. È richiesta la preparazione di relazioni su una parte delle esperienze di laboratorio.

**Criteri di valutazione :**

50% valutazioni delle relazioni di laboratorio e 50% valutazione dell'esame

**Testi di riferimento :**

M. Peraccini, Microelettronica. : Pearson, 2016

R. Jaeger and T. Blalock, Microelectronics, 4th Ed.. : McGraw-Hill Education, 2014

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

G. F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, 4th Ed.. : J. Wiley & Sons, 2012

**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 e II  
Fisica I e II

Propedeuticità : Sperimentazioni di Fisica 1 (solo frequenza), Sperimentazioni di Fisica 2 (solo frequenza)

**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.

Strumentazione: messa a punto di un apparato per un esperimento di fisica. Analisi critica 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 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

Esperienze in laboratorio:

- Circuiti amplificatori con operazionali
- Caratteristica del Diodo, raddrizzatore a semionda e onda intera
- Amplificatore Common Source con transistor MOSFET, porte logiche CMOS

Seconda Parte:

Messa a punto degli apparati, acquisizione dati per i seguenti esperimenti:

1. spettroscopia ottica
2. Effetto zeeman
3. 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

### **Modalità di esame :**

Scritto e Orale. È richiesta la preparazione di relazioni su una parte delle esperienze di laboratorio.

### **Criteri di valutazione :**

50% valutazioni delle relazioni di laboratorio

50% valutazione dell'esame

### **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.

**Criteria 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. Interpolazione ed estrapolazione di funzioni. I polinomi di Lagrange. 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 probabilità: 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 più 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. Introduzione alla Dinamica Molecolare con esempi.

**Modalità di esame :**

Prova orale.

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

**Criteria di valutazione :**

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

**Testi di riferimento :**

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

Harvey Gould, Jam Tobochnik, Wolfgang Christian, Introduction to Simulation Methods. : ,

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

**Prerequisiti :**

Elementi base del sistema operativo Linux.

Elementi base di programmazione.

Elementi di linguaggio C.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Grammatica e sintassi del linguaggio C++.

Programmazione a oggetti. Disegno ed implementazione di programmi.

**Attività 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 accessibilità, 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.

Ereditarietà e polimorfismo, classi base e classi derivate, funzioni virtuali.

Costrutti comuni.

**Modalità di esame :**

Prove pratica durante il corso e discussione orale.

**Criteri di valutazione :**

Funzionalità, leggibilità e mantenibilità dei programmi scritti nelle esercitazioni.

Conoscenza del linguaggio e dei costrutti più 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 Ã" conforme alla matematica e fisica insegnate nelle scuole superiori di II grado.

**Conoscenze e abilità 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 abilità 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 dell'intervallo di confidenza dei dati sperimentali);
9. acquisire manualità in laboratorio;
10. organizzazione del lavoro di gruppo e della suddivisione dei compiti.

#### **Attività 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 finalità alla concettualizzazione astratta dei vari argomenti.
- apprendistato cognitivo basato sull'interazione tra studente ed insegnante attorno ad un compito di apprendimento. In tal caso docente fungerà inizialmente da modello di riferimento (modeling), per poi fornire supporto allo studente durante l'esecuzione del compito (coaching), conducendolo gradualmente all'autonomia;
- didattica laboratoriale: svolgimento di esperimenti focalizzati rispondendo anche ad istanze sociali in cui la prestazione in gruppo è valorizzata al meglio per promuovere relazioni collaborative. In tale ambito si farà uso anche della metodologia brainstorming;
- collaborative learning: ovvero apprendimento in piccoli gruppi, all'interno dei quali gli studenti si avvalgono di una collaborazione reciproca e si sentono corresponsabili del percorso formativo intrapreso (in attività laboratoriale);

#### **Contenuti :**

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

1) Teoria dell'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-quadrato: 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  $\bar{A}$  fornito dalla media pesata dei voti presi nelle tre parti.

In particolare la prova scritta comprender $\bar{A}$  esercizi e dimostrazioni di Elementi di informatica, programmazione (prima parte) e teoria degli errori e statistica (seconda parte). Pu $\bar{A}$  essere svolta secondo due modalit $\bar{A}$  : attraverso il superamento delle prove in itinere oppure attraverso lâ€™ $\bar{A}$  appello istituzionale. Le prove parziali in itinere, in numero pari a tre, saranno svolte durante lâ€™ $\bar{A}$  anno accademico secondo il seguente calendario:

$\hat{A}$  1 $\bar{A}$  prova scritta in itinere su  $\hat{A}$   $\bar{A}$  Elementi di informatica e programmazione $\hat{A}$  , I semestre (tra dicembre e gennaio). Tale prova esaurisce prima parte;

$\hat{A}$  2 $\bar{A}$  prova scritta in itinere su Elementi di teoria degli errori e statistica, argomenti presentati nelle lezioni del I semestre (febbraio-marzo);

$\hat{A}$  3 $\bar{A}$  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 $\bar{A}$  e la 3 $\bar{A}$  prova in itinere saranno valutate complessivamente come un $\hat{A}$   $\bar{A}$  unica prova relativa alla seconda parte: si considerer $\bar{A}$  sufficiente la performance dello studente la cui media pesata dei voti ottenuti nelle due prove in itinere (2 $\bar{A}$ -3 $\bar{A}$ ) sar $\bar{A}$  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 $\hat{A}$   $\bar{A}$  appello, la prova scritta sar $\bar{A}$  articolata in due parti:

parte di informatica e parte di statistica. Agli studenti  $\bar{A}$  concesso di sostenere una o entrambe le parti per ogni appello. Il voto rimarr $\bar{A}$  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 $\hat{A}$   $\bar{A}$  appello.

La prova orale verte sugli argomenti trattati durante lâ€™ $\bar{A}$  anno accademico nelle due sezioni tematiche ivi comprensive gli argomenti trattati durante le lezioni di laboratorio e relative esperienze di fisica generale.

Entro lâ€™ $\bar{A}$  anno accademico  $\bar{A}$  possibile ripetere la prova scritta anche in caso di esito positivo ma non ritenuto soddisfacente. La consegna dell $\hat{A}$   $\bar{A}$  elaborato annulla il voto positivo precedentemente ottenuto in altra prova scritta a meno che non si esprima la volont $\bar{A}$  di ritirarsi.

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

Criteri di Valutazione della prova scritta ed orale:

$\hat{A}$  Rielaborazione conoscenze e abilit $\bar{A}$  sviluppate in relazione al corso attraverso quesiti mirati e comprensivi di esercitazioni;

$\hat{A}$  Azione comunicativa, che in particolare rifletta le competenze relative al linguaggio specifico, alla modalit $\bar{A}$  di comunicazione orale e/o scritta, alle modalit $\bar{A}$  di rappresentazione di argomenti inerenti al corso;

Criteri di Valutazione della attivit $\bar{A}$  laboratoriale

$\hat{A}$  Regolarit $\bar{A}$  nella frequenza e nelle attivit $\bar{A}$  ;

$\hat{A}$  qualit $\bar{A}$  dei contributi relativamente alle attivit $\bar{A}$  previste nelle diverse esperienze di laboratorio;

$\hat{A}$  gestione delle attivit $\bar{A}$  di laboratorio e partecipazione al lavoro di gruppo;

$\hat{A}$  rielaborazione delle conoscenze e abilit $\bar{A}$  sviluppate in relazione ai contenuti del laboratorio;

$\hat{A}$  utilizzo di strumenti e materiali forniti durante il corso;

$\hat{A}$  discussione delle relazioni;

$\hat{A}$  impostazione e organicit $\bar{A}$  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 sar $\bar{A}$  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 1 - SDOPPIAMENTO**

(Titolare: Prof. MARCO MAZZOCCO)

**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 abilit $\bar{A}$ 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€™ $\bar{A}$  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 d'errore, limitando l'acquisizione ad un numero congruo di dati in esperimenti semplici;
7. acquisire abilità nell'impiego di un software informatico per l'analisi dati;
8. acquisire un atteggiamento critico nello stilare un quaderno di laboratorio e nella elaborazione dati (comprensivo della definizione dell'intervallo di confidenza dei dati sperimentali);
9. acquisire manualità in laboratorio;
10. organizzazione del lavoro di gruppo e della suddivisione dei compiti.

#### **Attività 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 finalità alla concettualizzazione astratta dei vari argomenti.

- apprendistato cognitivo basato sull'interazione tra studente ed insegnante attorno ad un compito di apprendimento. In tal caso docente fungerà inizialmente da modello di riferimento (modeling), per poi fornire supporto allo studente durante l'esecuzione del compito (coaching), conducendolo gradualmente all'autonomia;

- didattica laboratoriale: svolgimento di esperimenti focalizzati rispondendo anche ad istanze sociali in cui la prestazione in gruppo è valorizzata al meglio per promuovere relazioni collaborative. In tale ambito si farà uso anche della metodologia brainstorming;

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

#### **Contenuti :**

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

1) Teoria dell'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-quadrato: 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  $\bar{A}$  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 compito).

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:

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

~ 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

~ 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 al 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 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 Elettromagnetismo e Circuiti, Ottica: 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

evoluiti 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.

**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 (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: 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 Elettromagnetismo e Circuiti, Ottica:

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. 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 verrà 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

**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://wwwcdf.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 è 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 abilità da acquisire :**

Il corso ha l'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 sarà dedicata agli sviluppi della fisica analizzati in parallelo agli sviluppi degli altri settori disciplinari. Uno degli obiettivi del corso è quello di permettere allo studente di ricomporre in un quadro unitario le molteplici ma spesso frammentate nozioni apprese nei suoi studi universitari. Questo è un sguardo al passato che, come sosteneva già il Lord Cancelliere quattro secoli fa, è 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 capacità di comprensione, portandoli a un livello che includa anche la possibilità di acquisire la conoscenza dell'origine di alcuni dei temi d'avanguardia nel proprio campo di studi tramite l'uso di libri di testo avanzati e di fonti primarie,;
2. l'applicazione delle conoscenze e delle capacità 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 capacità 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'abilità comunicativa, e cioè il saper comunicare informazioni, idee, problemi e soluzioni a interlocutori specialisti e non specialisti;

5. la capacità di utilizzare le conoscenze che vengono dalla storia del pensiero scientifico per i futuri livelli di apprendimento e lavorativi.

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

Le lezioni sono eminentemente frontali. In alcuni casi vengono abbinata (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 numerosità degli studenti si prevedono visite ai musei dell'Ateneo patavino.

**Contenuti :**

Il corso, dopo un'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 è oggi nota come "rivoluzione scientifica" soffermandosi sulla nascita dei vari settori scientifici moderni (fisica, chimica, astronomia, geologia, biologia). La seconda sezione tratta alcuni dei principali sviluppi della scienza nell'Ottocento, nei quali si evidenzia il fondamentale ruolo svolto dalla "fecondazione incrociata delle scienze". La terza ricostruisce la storia del principio di relatività e dei mutamenti nelle nozioni di spazio e tempo tra Ottocento e Novecento. La quarta sezione, infine, è 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.

**Modalità 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, verrà 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 capacità 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 più 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 relatività. Torino: Bollati Boringhieri, 2005

Giulio Peruzzi (a cura di), Scienza e realtà. 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 :**

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

## TERMODINAMICA

(Titolare: Prof. MATTEO AMBROGIO PAOLO PIERNO)

**Periodo:** III anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**Prerequisiti :**

Analisi Matematica I e II

Elementi di Chimica

Meccanica Newtoniana

Elettromagnetismo classico.

Elementi di mecc. statistica e di mecc. quantistica.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Per le conoscenze si faccia riferimento al riquadro in cui si  $\tilde{A}$  indicato il programma disciplinare.

Particolare rilevanza deve essere data sia alla comprensione dei principi che all'acquisizione della consapevolezza circa l'aumento del livello di complessità nel passaggio dallo studio degli stati di equilibrio a quello delle situazioni di non equilibrio.

Per sommi capi i punti principali sono:

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.

Per le abilità, lo studente deve sapere:

- operare in modo trasversale, nell'ambito della disciplina, dimostrando di saper stabilire collegamenti chiari e ben giustificati tra parti diverse

- Deve 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)

- Deve dimostrare consapevolezza sulle scelte scientifiche operate e cioè in riferimento a: 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 fuochi disciplinari espliciti e situazioni problematiche in cui si devono prospettare soluzioni (problem solving).

Didattica individualizzata (correzione, chiarimenti e approfondimenti).

**Contenuti :**

**PROGRAMMA DI TERMODINAMICA**

Prima parte : 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

1. Primo principio: definizione di Energia ( U ) e di quantità di calore ( Q ).

2. 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  $\bar{L}_T$  e di  $\bar{L}_S$ . Def di  $\bar{L}_T$ . Relazione tra di  $\bar{L}_T$  e  $\bar{L}_S$ .

- Relazioni di Maxwell.

- Definizione di  $C_p$  e  $C_v$  e relazione tra loro.

- Dipendenza dell'entropia da V e da p.

- Terzo Principio

- Le proprietà dei gas.

- Misurabilità di T.

- Evidenza sperimentale sul primo coeff. del viriale.

- Equazioni delle adiabatiche

- Equazione di Van der Waals.

- Transizioni di fase

- Equilibrio di fase ( solido-liquido , solido-vapore , liquido-vapore e altri casi come ad es. diversi stati di cristallizzazione  $\hat{\epsilon}$  ).

- Eq. di Clapeyron ed esempi vari.

- Punti tripli.

- 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

- Caso magnetostatico

Termodinamica della radiazione.

Seconda Parte: 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.

Terza Parte: 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 :**

Verifica orale della gestione dei contenuti disciplinari e della comunicazione.

**Criteri di valutazione :**

La fase di verifica e valutazione degli apprendimenti correlata, nei contenuti e nei metodi, a tutte le attività didattiche svolte durante il processo di insegnamento-apprendimento (vedi riquadro precedente).

La valutazione riguarda tutte le tematiche proposte e tiene conto di tutti gli obiettivi evidenziati nei riquadri corrispondenti.

A tal fine la verifica si articola come segue:

colloquio orale, volto a valutare la capacità di ragionamento e i progressi raggiunti nella chiarezza, comprensione e nella proprietà di espressione dello studente nonché il monitoraggio della preparazione pregressa.

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

**Testi di riferimento :**

Guggenheim E. A, Termodinamica. Amsterdam: North Holland Publ. Comp., 1950

I. Prigogine, Introduzione alla Termodinamica dei processi irreversibili.. Roma: Leonardo Edizioni Scientifiche, 1971

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Guggenheim E. A., 1950, Termodinamica, North Holland Publ. Comp. . Amsterdam

I. Prigogine, 1971, Introduzione alla Termodinamica dei processi irreversibili.

Saggion A., M. Pierno, R. Faraldo, Termodinamica dei sistemi continui (dispense)