



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**SCUOLA DI SCIENZE**

**Bollettino Notiziario**

Anno Accademico 2016/2017

**Laurea in Astronomia**

---

# Curriculum: Corsi comuni

---

## ANALISI MATEMATICA 1

(Titolare: Prof. DAVIDE VITTONÈ) - Mutuato da: Laurea in Fisica (Ord. 2014)

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

## ANALISI MATEMATICA 1 - SDOPPIAMENTO

(Titolare: Prof. DAVIDE VITTONÈ) - Mutuato da: Laurea in Fisica (Ord. 2014)

**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 2

(Titolare: Prof. ROBERTO MONTI) - Mutuato da: Laurea in Fisica (Ord. 2014)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 40A+24E; 8,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Fisica  
**Aule :** B

### Prerequisiti :

Programma 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 proprieta' 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 piu' variabili: esempi ed esercizi. Spazi metrici completi e spazi di Banach.  $\mathbb{R}^n$  ed  $\mathbb{R}^n$  sono completi con la distanza Euclidea.  $C([0, 1]; \mathbb{R}^n)$  e' 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 continuita'. Spazi metrici e insiemi compatti. Teorema di Heine-Borel. L'immagine continua di un compatto e' compatta. Teorema di Weierstrass. Spazi e insiemi connessi. L'intervallo  $[0, 1]$  e' connesso. L'immagine continua di un connesso e' 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 piu' 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) Invertibilita' locale e funzione implicita. Diffeomorfismi e diffeomorfismi locali. Teorema di invertibilita' locale. Teorema della funzione implicita. Massimi e minimi vincolati.

Teorema dei moltiplicatori di Lagrange.

### **Modalita' 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 e' necessario superare quella scritta nella stessa sessione. Non sono previsti compitini.

### **Criteri di valutazione :**

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

2 - Capacita' 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) - Mutuato da: Laurea in Fisica (Ord. 2014)

**Periodo:** I anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 40A+24E; 8,00 CFU

### **Prerequisiti :**

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

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

Le conoscenze da acquisire sono i contenuti del corso.

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

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

Lezioni in aula.

### **Contenuti :**

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

Integrali generalizzati.

Un po' di topologia di  $\mathbb{R}^n$ : imparare a disegnare semplici insiemi in due o tre dimensioni, semplici grafici di funzioni di piu' variabili, in particolare curve e funzioni a valori reali. Calcolo differenziale ed integrale per funzioni di piu' variabili a valori reali. Massimi e minimi di una funzione di piu' variabili in un compatto ed eventualmente su insiemi illimitati.

Alcuni risultati riguardanti campi di vettori e forme differenziali.

### **Modalita' di esame :**

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

### **Criteri di valutazione :**

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

### **Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

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

Per tutti i dettagli si veda la pagina web del docente

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

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

## ANALISI MATEMATICA 3

(Titolare: Dott. CORRADO MARASTONI) - Mutuato da: Laurea in Fisica (Ord. 2014)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 40A+24E; 8,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento:** Aula C-Dipartimento di Fisica  
**Aule:** Aula C-Dipartimento di Fisica

### 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.

## ASTROFISICA 1

(Titolare: Prof. ENRICO MARIA CORSINI)

**Periodo:** Il anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 56A; 7,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento:** Ex Dipartimento di Astronomia  
vicolo dell'Osservatorio 3  
**Aule:** Aula L. Rosino

### Prerequisiti:

Conoscenze di base in astronomia, fisica generale e calcolo scientifico. Conoscenza dell'inglese scientifico.

### Conoscenze e abilità da acquisire:

Il tema dell'attività formativa riguarda lo studio della struttura della Via Lattea e delle altre galassie per comprenderne i processi di formazione ed evoluzione grazie a dati fotometrici e spettroscopici ottenuti con osservazioni da terra e dallo spazio e interpretati con l'ausilio di modelli teorici.

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

Lezioni frontali ed esercitazioni su temi di natura osservativa e di carattere teorico relativi alla struttura delle galassie. Alcune esercitazioni si svolgono presso l'Osservatorio Astrofisico di Asiago.

### Contenuti:

- STRUTTURA E DINAMICA DELLA VIA LATTEA:** Sistema di riferimento in quiete fondamentale e locale. Velocità peculiari, moto solare, apice solare. Moti propri stellari e velocità radiali nei dintorni solari. Ellissoide delle velocità. Diagramma di Bottlinger. Formule di Oort e curva di rotazione della Via Lattea. Equazione dell'asymmetric drift. Popolazioni stellari, struttura a spirale della Via Lattea.
- MORFOLOGIA DELLE GALASSIE:** Classificazione morfologica delle galassie normali (Hubble, de Vaucouleurs, van den Bergh, Morgan). Classificazione morfologica delle galassie peculiari (Arp, Vorontsov-Velyaminov). Morfologia e luminosità. Morfologia delle galassie del Gruppo Locale. Limiti delle classificazioni morfologiche.
- FOTOMETRIA DELLE GALASSIE:** Brillanza superficiale, luminosità integrata, curve di crescita, isofote, raggio equivalente ed efficace, profili radiali di brillanza superficiale. Forma delle isofote, rotazione delle isofote, deviazioni dalla forma ellittica, isofote 'a disco' e 'a scatola'. Profili fotometrici per galassie ellittiche e sferoidi di galassie a disco (leggi di Reynolds-Hubble, Hubble modificata, de Vaucouleurs, Oemler, Nuker, King, Sersic). Profili fotometrici per i dischi (legge esponenziale di tipo I e di tipo II), legge di Freeman, galassie ad alta e bassa brillanza superficiale centrale. Decomposizioni fotometriche parametriche monodimensionali e a più assi, ellitticità dello sferoide, inclinazione del disco. Decomposizioni fotometriche parametriche bidimensionali. Applicazioni delle decomposizioni fotometriche (rapporto sferoide-disco, strutture, dischi nucleari). Caratteristiche fotometriche delle galassie ellittiche, S0, spirali e irregolari.

4. **FORMA INTRINSECA DELLE GALASSIE:** Forma delle galassie ellittiche, ellittiche con bande di polveri e dischi di gas, piani di equilibrio. Forma delle galassie a disco, spessore dei dischi. Schiacciamenti apparente ed intrinseco, inclinazione, sfera delle orientazioni, funzione di distribuzione degli schiacciamenti intrinseci.

5. **CINEMATICA DELLE GALASSIE:** Cenni sulle proprietà del mezzo interstellare (gas ionizzato, atomico, molecolare, coronale, polveri). Cinematica del gas (ionizzato, atomico, molecolare). Redshift, curva di rotazione, velocità di sistema, profilo radiale di dispersione di velocità, campo di velocità e di dispersione di velocità. Deproiezione della velocità osservata, tratto rigido, tratto piatto. Cinematica delle stelle, distribuzione delle velocità lungo la linea di vista, coefficienti  $h_3$  e  $h_4$ . Dischi nucleari di gas e polveri, dischi estesi di gas, disaccoppiamenti cinematici.

6. **MASSA DELLE GALASSIE:** Determinazione della massa delle galassie ellittiche con tracciante stellare (teorema del viriale; equazioni dell'idrodinamica) e gassoso (dischi di gas ionizzato, molecolare, neutro, alone X). Determinazione della massa delle galassie a spirale con tracciante gassoso (dischi di gas ionizzato, molecolare, neutro). Rapporto massa-luminosità, materia oscura.

7. **SCALA DELLE DISTANZE:** Parallasse, metodo di Baade-Wesselink. Cefeidi, RR Lyrae, novae. Supernovae Ia, funzioni di luminosità degli ammassi globulari e delle nebulose planetarie. Relazione di Tully-Fisher, relazione di Faber-Jackson, relazione D-sigma. Distanza del centro galattico, della Grande Nube di Magellano, di M31 e dell'Ammasso della Vergine. Legge di Hubble, costante di Hubble.

**Modalità di esame :**

Prova scritta e orale. Il superamento della prova scritta è necessario per poter accedere alla prova orale.

**Criteri di valutazione :**

La valutazione della preparazione dello studente si baserà sulla comprensione degli argomenti trattati nel corso delle lezioni e delle esercitazioni e sulla capacità di applicare le conoscenze acquisite in modo autonomo e consapevole.

**Testi di riferimento :**

J. Binney, M. Merrifield, *Galactic Astronomy*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998

L. S. Sparke, J. S. Gallagher, *Galaxies in the Universe*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000

S. Phillips, *The Structure and Evolution of Galaxies*. Chichester: Wiley, 2005

M. H. Jones, R. J. A. Lambourne, S. Serjeant (ed.), *An Introduction to Galaxies and Cosmology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2015

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Tutto il materiale didattico presentato durante le lezioni e le esercitazioni viene messo a disposizione degli studenti sul sito Moodle del corso.

---

## ASTROFISICA 2

(Titolare: Prof.ssa PAOLA MARIGO)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Astronomia  
Vicolo dell'Osservatorio 3  
35100 Padova  
**Aule :** Da definire

**Prerequisiti :**

Elementi di trigonometria piana, derivate, integrali, nozioni di base di fisica relative ai corsi precedenti.

Corsi propedeutici: Astronomia I (2 anno) e Astronomia II (mod. A, terzo anno).

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso si propone di fornire agli studenti i fondamenti teorici della struttura e dell'evoluzione delle stelle, dalla loro nascita fino agli stadi finali.

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

Lezioni in aula, con utilizzo sia di metodologia classica (lezioni alla lavagna) che di supporti multimediali (diapositive, filmati, applet, interfacce-web per la generazione in tempo reale di modelli stellari).

**Contenuti :**

1. Introduzione e panoramica del corso.

Vincoli osservativi, il diagramma H-R, relazioni massa-luminosità e massa-raggio, popolazioni stellari e abbondanze chimiche.

2. Idrostatica, energetica e scale di tempo.

Derivazione di tre equazioni della struttura stellare (conservazione di massa, quantità di moto ed energia). Equilibrio idrostatico e termico. Derivazione del teorema del viriale e le sue conseguenze per l'evoluzione stellare. Derivazione delle scale di tempo caratteristiche dell'evoluzione stellare.

3. Equazione di stato (EoS).

Equilibrio termodinamico locale.. Derivazione generale di  $n$ ,  $U$ ,  $P$ , dalla meccanica statistica. Casi limite: gas ideale, degenerazione.

Miscela di gas e radiazione. Processi adiabatici. Ionizzazione (equazione di Saha, conseguenze per le proprietà termodinamiche).

4. Trasporto di energia all'interno delle stelle.

La 4a equazione della struttura stellare: l'equazione del trasporto di energia.

Approssimazione diffusiva del trasporto di radiazione. Il gradiente di temperatura radiativo. Opacità. Luminosità di Eddington.

Convezione.. Derivazione di criteri di stabilità (Schwarzschild, Ledoux). Trasporto di energia convettivo. Teoria della Mixing Length.

5. Reazioni termonucleari.

Produzione di energia nucleare (energia di legame). Derivazione della velocità di reazione termonucleare (sezioni d'urto, effetto tunnel, picco di Gamow). Dipendenza dalla temperatura della velocità di reazione nucleare. Cicli di combustione: bruciamento dell'idrogeno mediante la catena p-p e il ciclo CNO. Bruciamento dell'elio: reazioni 3-alfa e alfa + C. Reazioni di bruciamenti nucleari avanzati.

6. Le equazioni dell'evoluzione stellare.

Introduzione, derivate rispetto a tempo / spazio, casi limite. Condizioni al contorno e loro effetto sulla struttura stellare. Metodi di

soluzione.

7. Modelli stellari semplici. Modelli politropici. Relazioni di omologia: principi, derivazione, applicazione alle fasi di contrazione gravitazionale e alla fase di sequenza principale.

8. Evoluzione schematica dal teorema del viriale (VT).

Evoluzione delle regioni centrali della stella combinando il VT ed EOS: tracce evoluzione in termini di  $(P, \rho)$  e  $(T, \rho)$ . Evoluzione o meno verso la condizione di degenerazione del gas. La massa di Chandrasekhar, stelle di piccola massa vs stelle massicce. Masse critiche per l'innescio dei bruciamenti, nane brune, cicli di combustione nucleare.

9. Evoluzione dettagliata: verso e sulla sequenza principale (MS).

Semplice derivazione della linea di Hayashi, evoluzione di pre-MS. Proprietà della ZAMS: relazioni M-L e M-R, comparsa delle regioni convettive. Evoluzione durante la MS: cambiamenti strutturali, caratteristiche di stelle di piccola massa vs quelle di massa elevata, effetti di overshooting.

10. Evoluzione di Post-MS. Il limite di Schoenberg-Chandrasekhar, il principio dello specchio. La fase di bruciamento di H in shell: Hertzsprung-gap, la fase di ramo di gigante rossa (RGB), il primo dredge-up. La fase di bruciamento centrale di elio: ramo orizzontale, loop delle Cefeidi. perdita di massa in RGB.

11. Stadi evolutivi avanzati delle stelle di massa piccola e intermedia. La fase di II ramo asintotico (AGB): pulsazioni termiche, secondo e terzo dredge-up, perdita di massa, nucleosintesi. Nane bianche: struttura, effetti non ideali, Descrizione semplificata della teoria del raffreddamento.

12. Evoluzione di pre-supernova di stelle massicce. Importanza della perdita di massa in tutto il diagramma H-R (stelle O, RSG, LBV e WR). Evoluzione del nucleo: cicli di combustione nucleare e perdite di neutrini.

13. Esplosioni di supernova e resti di stelle massicce. Evoluzione del nucleo fino al collasso. Supernovae di tipo Ia.

#### **Modalità di esame :**

Verifica orale e/o scritta su tutti gli argomenti trattati nel corso.

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

Accertamento della comprensione e della padronanza degli argomenti trattati.

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

M. Salaris & S. Cassisi, *Evolution of Stars and Stellar Populations*. : John Wiley & Sons, 2005

C.J. Hansen, S.D. Kawaler & V. Trimble, *Stellar Interiors*. : Springer-Verlag, 2004

R. Kippenhahn & A. Weigert, *Stellar Structure and Evolution*. : Springer-Verlag, 1990

D. Prialnik, *An Introduction to the Theory of Stellar Structure and Evolution*. : Cambridge University Press, 2009

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

Diapositive e altro materiale reso disponibile in formato elettronico agli studenti.

## **ASTROFISICA DEL SISTEMA SOLARE**

(Titolare: Dott.ssa MONICA LAZZARIN)

**Periodo:** Il anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

#### **Prerequisiti :**

Il corso richiede le conoscenze di base di fisica, chimica e matematica acquisite durante il percorso previsto.

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

Il corso si propone di fornire una panoramica generale del Sistema Solare e gli elementi di base per lo studio dei corpi minori del Sistema Solare. In particolare verranno acquisite conoscenze relative ai pianeti, satelliti e alle proprietà chimiche, fisiche e dinamiche dei piccoli corpi del Sistema Solare, comete e asteroidi.

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

L'insegnamento del corso avverrà mediante lezioni frontali con utilizzo sia dei metodi classici che dei mezzi informatici.

Gli studenti sono stimolati a partecipare attivamente alle lezioni mediante domande e interventi.

#### **Contenuti :**

Il corso si propone di fornire le conoscenze di base del Sistema Solare e delle proprietà dei corpi minori, e di rendere partecipi gli studenti delle ultimissime conoscenze relative a questi corpi provenienti dalle ricerche, comprese quelle spaziali, attualmente in corso.

Il corso si articola su un totale di 48 ore corrispondenti a 6 crediti sui seguenti argomenti principali:

#### 1) Generalità sul Sistema Solare:

-Introduzione al Sistema Solare: descrizione generale della struttura e dei componenti.

-Cenni sull'origine e formazione del Sistema Solare

-Classificazione dei pianeti e loro caratteristiche chimiche, fisiche e dinamiche: confronto tra le loro proprietà

-Proprietà principali di pianeti e satelliti (moti orbitali, massa, dimensione, rotazione, forma, temperatura, campi magnetici, composizione, atmosfere)

-Proprietà generali delle lune e degli anelli dei pianeti giganti.

-Forze mareali

#### 2) Corpi Minori

-Quali sono i corpi minori e importanza del loro studio

-Origine di comete e asteroidi

-Descrizione delle tre zone principali occupate dai corpi minori: fascia asteroidale, fascia di Kuiper e nube di Oort

-Risonanze e loro importanza nella formazione e stabilità del Sistema Solare

#### 3) Comete

-Formazione

-Classificazione generale

-Classificazione mediante l'invariante di Tisserand

-Orbite cometarie

- Forze non gravitazionali e loro influenza sul moto di una cometa
- 4) Fascia di Kuiper
- Classificazione degli oggetti della Kuiper Belt (KBO) e descrizione delle varie classi
- Oggetti binari
- Descrizione degli oggetti più grandi identificati nella Kuiper Belt (Plutone, Quaoar, Sedna, 2003 EL61, Eris)
- Centauri
- Distribuzione di luminosità e popolazione totale
- Proprietà fisiche dei KBO: albedo, dimensioni, rotazione, forma, etc.
- Composizione superficiale dei KBO mediante spettroscopia e fotometria
- Struttura della Kuiper Belt e sua formazione
- Relazioni con altri oggetti del Sistema Solare: lune di pianeti giganti, Centauri, comete della famiglia di Giove
- 5) Proprietà fisiche delle comete
- Struttura di una cometa attiva e non attiva
- Magnitudine di una cometa
- Nucleo cometario e sue proprietà. Nucleo della cometa di Halley e informazioni ottenute dall'incontro con la sonda Giotto.
- Modelli di nucleo cometario
- Dimensioni, massa e densità di un nucleo cometario
- Evoluzione di una cometa attorno al Sole, formazione di chioma e code
- Teoria della vaporizzazione
- Struttura della chioma
- Meccanismi di produzione delle specie osservate nella chioma e nella coda
- Polvere cometaria e struttura della coda di polvere
- Struttura della coda di ioni
- Spettri cometari dall'UV al radio
- Spettri della chioma: meccanismi di eccitazione ed emissione
- Modello di Hasegawa e Festou per il calcolo della distribuzione di densità nella chioma cometaria
- Evoluzione superficiale delle comete e nuclei cometari inattivi
- Asteroidi in orbite cometarie, riattivazione di nuclei cometari
- Distinzioni e relazioni comete-asteroidi
- Comete nella main-Belt
- 6) Missioni cometarie: cosa ci hanno insegnato le missioni verso nuclei cometari effettuate finora
- 7) Asteroidi
- Distribuzione nel Sistema Solare
- Caratteristiche generali
- Troiani
- Effetto Yarkovski
- Effetto YORP
- Asteroidi binari
- Famiglie di asteroidi
- Proprietà fisiche degli asteroidi: massa, densità, albedo, magnitudine e dimensioni
- Tassonomia degli asteroidi e distribuzione delle classi nella fascia principale
- Spettroscopia e mineralogia superficiale degli asteroidi nella regione del visibile e infrarosso
- 8) Missioni asteroidali: cosa ci hanno insegnato le missioni verso asteroidi effettuate finora

#### **Modalità di esame :**

L'esame prevede un colloquio orale in cui verranno discussi i contenuti del corso

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

I criteri di valutazione si basano sulla verifica delle competenze acquisite. Si ritiene che lo studente, alla fine del percorso, debba possedere le conoscenze di base per poter affrontare le varie problematiche che riguardano i pianeti e gli oggetti minori del Sistema Solare.

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

- I. Mann, A. Nakamura, T. Mukai editors, *Small Bodies in Planetary System, Lecture notes in physics.* : Springer-Verlag, 2009
- B. Bertotti, P. Farinella, D. Vokrouhlicky editors, *Physics of the Solar System, Dynamics and Evolution, Space Physics and Spacetime Structure.* : Kluwer Academic Publishers,
- W.F. Bottke, A. Cellino, P. Paolicchi, R.P Binzel editors, *Asteroids III.* : The University of Arizona Press,
- H. Balsiger, Kathrin Altwegg, Walter F. Huebner,, *Origin and early evolution of comet nuclei, Volume 28 di Space Sciences Series of Issi.* : Springer, 2008
- J.J. Lissauer, I. de Pater, *Fundamental Planetary Science.* : Cambridge University Press, 2013
- K.S. Krishna Swamy, *Physics of Comets, Third edition.* : World Scientific Publishing,

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

Saranno fornite come integrazione per la preparazione all'esame dispense preparate dal docente.

I testi di riferimento indicati più sotto verranno suggeriti precisamente all'inizio del corso. Si consiglia pertanto di non acquisire alcun testo prima dell'inizio del corso.

## **ASTRONOMIA 1**

(Titolare: Prof. GIAMPAOLO PIOTTO)

<b>Periodo:</b>	Il anno, 1 semestre
<b>Indirizzo formativo:</b>	Corsi comuni
<b>Tipologie didattiche:</b>	56A; 7,00 CFU
<b>Sede dell'insegnamento :</b>	Dipartimento di Astronomia
<b>Aule :</b>	Aula A

**Prerequisiti :**

Nozioni elementari di trigonometria piana, derivate e integrali, Fisica I, Chimica

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Conoscenza degli elementi fondamentali di astronomia sferica, conoscenze di base di astrofisica

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

Lezioni frontali

Esperienza osservativa all'Osservatorio Astrofisico di Asiago

Lezione presso il Museo della Specola

**Contenuti :**

Elementi di trigonometria piana e sferica

I sistemi di riferimento astronomici e le coordinate astronomiche

Trasformazioni di coordinate astronomiche

Nascere e tramontare degli astri

La misura del tempo

L'anno

I movimenti dei piani fondamentali sulla sfera celeste

Precessione

Nutazione

L'aberrazione della luce

La parallasse

Velocita' radiali e moti propri

Il moto apparente di Sole, Luna e pianeti

Eclissi, transiti e occultazioni

Maree

Le leggi di Keplero

Cenni sul problema dei due corpi

Effemeridi e elementi orbitali

Il sistema solare

I sistemi planetari extrasolari

Cenni sulle stelle binarie

Corpo nero e legge di Planck

Definizione di magnitudine apparente e assoluta

Modulo di distanza

Definizione di sistema fotometrico

Indici di colore

I sistemi fotometrici Johnson-Cousins, Stromgren

Temperatura di colore

Diagrammi colore-magnitudine e diagrammi colore-colore

Assorbimento e arrossamento interstellare

Leggi di Boltzmann e Saha

Classificazione spettrale delle stelle.

Effetti di luminosit  e di metallicita'

Ammassi Aperti

Ammassi Globulari

**Modalita' di esame :**

Scritto e/o orale

**Criteri di valutazione :**

Capacita' di svolgere esercizi di astronomia sferica ed esercizi con le magnitudini.

Capacita' di esporre in modo appropriato gli argomenti del programma del corso.

**Testi di riferimento :**

Barbieri, Cesare, *Lezioni di astronomia* Cesare Barbieri. Bologna: Zanichelli, 2002

Rosino, Leonida, *Lezioni di astronomia* Leonida Rosino. Padova: CEDAM, 1979

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Materiale informatico del docente

---

**C.I. DI ASTRONOMIA 2**

(Titolare: Prof. PIERO RAFANELLI)

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Moduli del C.I.:**

Astronomia 2 (Mod. A)

Astronomia 2 (Mod. B)

---

**ASTRONOMIA 2 (MOD. A)**

(Titolare: Prof. SERGIO ORTOLANI)

**Periodo:** III anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Astronomia



**Aule :** Aula A

**Contenuti :**

Scopo del corso  $\tilde{\sim}$  di approfondire le tematiche di carattere osservativo-interpretativo gi $\tilde{\sim}$  affrontate nei corsi della triennale e di colmare argomenti che nella triennale non trovano spazi adeguati. In una prima parte si affrontano problematiche strumentali e interpretative del dato osservativo, con particolare riferimento alla fotometria stellare.

Questa  $\tilde{\sim}$  completata con l'interpretazione dei diagrammi colore-luminosit $\tilde{\sim}$  e colore-colore (IR) nell'ambito dell'evoluzione stellare, in particolare di popolazioni giovani. Segue una seconda parte sullo studio delle propriet $\tilde{\sim}$  fisiche dei pianeti (statistiche, formazione, atmosfere, evoluzione) e cenni allo studio dei pianeti extrasolari. La parte finale riguarda approfondimenti specifici di sorgenti legate al mezzo interstellare galattico (riga a 21 cm, resti di supernovae, maser).

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

Lezioni frontali con utilizzo di lavagna, lucidi, power point.

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Dispense del docente.

Sono disponibili anche articoli specifici per eventuale approfondimento.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## **ASTRONOMIA 2 (MOD. B)**

(Titolare: Prof. PIERO RAFANELLI)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Astronomia  
**Aule :** da definire

**Contenuti :**

LECTURES ON PHYSICS OF STELLAR ATMOSPHERES

Specific Intensity

Black Body

Radiative energy transport through a GAS VOLUME with absorption and emission

The source function  $S_l$

Absorption versus emission lines

Transport equation

Transport along a ray

Radiative transfer equation

The fluxes

Surface flux and effective temperature

Flux  $F$  and the anisotropy of the radiation field

Radiation density

Depth dependence of the source function

Radiative equilibrium

Theoretical temperature stratification in a grey atmosphere in radiative equilibrium

Dependence of the temperature  $T$  from the optical depth

Continuous absorption of hydrogen atoms

Different absorption process of hydrogen

Boltzmann equation

Saha equation

The H- absorption coefficient in the Sun

Helium absorption in the Sun

Metallic absorption in the Sun

Absorption coefficients for A and B stars

Influence of the non greyness of the absorption coefficient

Dependence of the Balmer discontinuity on temperature and electron density

Formation of optically thin lines

Profile of an optically thin absorption line

Doppler broadening

Voigt profile

Equivalent widths for optically thin lines

Optically thick lines

Curve of growth

Influence of the Doppler width on the curve of growth

The influence of  $S_l$  ( $T_c = 0$ ) on the curve of growth

Theoretical curve of growth

Hydrogen lines

Balmer jump and hydrogen lines

Determination of temperature, density and gravity at the surface of a star

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

Lezioni frontali

Esercitazioni su dati osservativi

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

dispense manoscritte del docente

## C.I. DI FISICA QUANTISTICA

(Titolare: Prof. PAOLO UMARI)

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Moduli del C.I.:**

Fisica Quantistica (Mod. A)

Fisica Quantistica (Mod. B)

## FISICA QUANTISTICA (MOD. A)

(Titolare: Prof. PAOLO UMARI)

**Periodo:** III anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 56A; 7,00 CFU

**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Fisica

**Aule :** da definire

**Contenuti :**

Meccanica statistica

Random walk, distribuzione binomiale, limite della distribuzione normale: distribuzione normale

Teoria cinetica dei gas, libero cammino medio, distribuzione delle velocità di Maxwell-Boltzmann

Postulati della meccanica statistica, insieme micro-canonico

Condizioni per l'equilibrio termico, insieme canonico, definizione di temperatura, formule per il gas di molecole non interagenti

5) Applicazioni della distribuzione canonica: distribuzione delle velocità di Maxwell-Boltzmann, oscillatore armonico 1-D, funzione di partizione e teorema

dell'equipartizione dell'energia, oscillazioni armoniche nei solidi, calori specifici a volume costante

6) Forze generalizzate nella distribuzione canonica, formula dell'entropia nella distribuzione canonica, limite termodinamica e formula dell'entropia nella

distribuzione micro-canonica

7) Paradosso di Gibbs, funzione di partizione per particelle identiche, terzo principio della termodinamica (o di Nernst), implicazioni per i calori specifici

Quantizzazione della luce

1) Radiazione Corpo nero: definizioni e considerazioni generali; potere emissivo e potere assorbente; teoria classica: formula di Rayleigh-Jeans; ipotesi di Planck, formula di Planck; energia dei fotoni

2) Effetto fotoelettrico; spiegazione di Einstein

3) Momento dei Fotoni, effetto Compton

Dall'atomo di Bohr all'ipotesi di de Broglie

Spettri di emissione e assorbimento dei gas atomici; spettro di emissione del atomo H; formula di Balmer; formula di Rydberg; modello atomico di Thomson; esperimento di Rutherford; postulati di Bohr; atomo di H secondo Bohr; livelli energetici; esperimento di Franck e Hertz; ipotesi di de Broglie; esperimento di Davisson e Germer; Diffrazione da cristalli: legge di de Broglie; significato fisico della funzione d'onda; trasformate di Fourier; onde in un mezzo dispersivo; pacchetti d'onda, velocità di gruppo; pacchetto d'onda gaussiano e sua trasformata; funzione di Dirac; principio di indeterminazione di Heisenberg.

L'equazione di Schroedinger

Costruzione dell'equazione di Schroedinger; caso del potenziale a gradino coefficienti di riflessione e trasmissione; normalizzazione; equazione di continuità per la densità di probabilità elettronica; stati stazionari, stati legati, stati degeneri; buca di potenziale infinita; buca rettangolare; parità delle soluzioni; spazio di Hilbert; operatori nello spazio di Hilbert; postulati della meccanica quantistica; costanti del moto; principio di indeterminazione; effetto tunnel; oscillatore armonico

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

Il corso prevede lezioni frontali di teoria corredata da esemplificazioni.

Verranno proposti regolarmente agli studenti degli esercizi che verranno

poi discussi in aula.

**Testi di riferimento :**

Messiah, Albert, *Quantum mechanics two volumes bound as one* Albert Messiah. Mineola: Dover publications, 1999

## **FISICA QUANTISTICA (MOD. B)**

(Titolare: Prof. STEFANO GIUSTO)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Informazioni in lingua non trovate  
**Aule :** Informazioni in lingua non trovate

**Contenuti :**

1. Postulati e formalismo della meccanica quantistica. Principio di sovrapposizione e di corrispondenza. Osservabili. Operatori hermitiani e loro autofunzioni ed autovalori. Formalismo di Dirac. Probabilità di Transizione. Valori medi. Sistema completo di osservabili. Variabili complementari e compatibili. Algebra dei commutatori. Relazione di indeterminazione.

2. Teoria delle Rappresentazioni. Rappresentazione delle coordinate. Eq. di Schroedinger. Interpretazione della funzione d'onda. Rappresentazione degli impulsi e Trasformate di Fourier.

3. Oscillatore armonico in una dimensione. Autostati ed autovalori. Polinomi di Hermite. Operatori creazione e distruzione. Soluzione algebrica dell'oscillatore armonico. Stati coerenti.

4. Evoluzione Temporale. Schema di Schroedinger. Schema di Heisenberg. Operatori unitari e generatori Hermitiani.

5. Momento angolare. Definizione e relazioni di commutazione. Derivazione algebrica di autovalori ed autofunzioni. Rappresentazione standard. Momento angolare orbitale ed armoniche sferiche. Spin. Composizione di momenti angolari.

6. Potenziali centrali. Hamiltoniana in coordinate sferiche. Separazione di variabili. Equazione radiale e sue soluzioni. Oscillatore armonico isotropo tridimensionale.

Problema a due corpi. Atomo d'idrogeno. Soluzione dell'equazione di Schroedinger e spettro dell'energia.

7. Breve introduzione alla teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo: variazione dei livelli energetici al prim'ordine.

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

Il corso prevede lezioni frontali di teoria corredata da esercizi.

Le attività formative proposte sono in linea con gli obiettivi del corso di fornire i fondamenti fenomenologici che hanno portato allo sviluppo della Fisica Moderna e le metodologie teoriche per affrontare i problemi posti dalla Meccanica Quantistica.

**Testi di riferimento :**

D. J. Griffiths, *Introduzione alla Meccanica Quantistica*. : Casa Editrice Ambrosiana,  
J. J. Sakurai, J. Napolitano, *Meccanica Quantistica Moderna*. : Zanichelli,  
Cohen-Tannoudji, Diu, Laloe', *Quantum Mechanics*. : Wiley,  
L. E. Picasso, *Lezioni di Meccanica Quantistica*. : Edizioni ETS,

## **C.I. DI SPERIMENTAZIONI DI FISICA 1**

(Titolare: Prof.ssa GIULIA RODIGHIERO)

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Moduli del C.I.:**

Sperimentazioni di Fisica 1 (Mod. A)

Sperimentazioni di Fisica 1 (Mod. B)

## **SPERIMENTAZIONI DI FISICA 1 (MOD. A)**

(Titolare: Dott. ANDREA BARUFFOLO)

**Periodo:** I anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 24A+32L; 6,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Biologia (lezioni frontali)  
Dipartimento di Matematica Pura e Applicata (laboratori)  
**Aule :** Aula I via Bassi, Laboratorio informatico via Paolotti e Torre Archimede

**Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

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

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Testi di riferimento :**  
CONTENUTO NON PRESENTE

## **SPERIMENTAZIONI DI FISICA 1 (MOD. B)**

(Titolare: Prof.ssa GIULIA RODIGHIERO)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 24A+36L; 6,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Lezioni frontali di insegnamento teorico presso la sede dell'Istituto di Matematica di via Paolotti.  
Esperienze di laboratorio presso il Polo Didattico di Via Loredan.  
**Aule :** da definire

### **Contenuti :**

Il metodo scientifico.

Grandezze fisiche.

Misura e strumenti di misura.

Sensibilità, accuratezza, precisione.

Errori sistematici e casuali.

-

Media aritmetica.

Scarto quadratico medio ed indeterminazione della media.

Significato statistico.

Arrotondamento dei decimali dopo la virgola e cifre significative.

-

Fondamenti della teoria della probabilità .

Definizioni assiomatica ed empirica.

Leggi della probabilità totale, della probabilità composta

e della probabilità condizionata.

-

Rappresentazione grafica dei dati: istogrammi, stime di tendenza centrale e stime di dispersione.

Variabili casuali o aleatorie.

Distribuzioni di probabilità per variabili discrete; funzioni di densità di probabilità per variabili continue e relative proprietà .

-

Distribuzione binomiale, gaussiana e poissoniana.

-

L'errore accidentale come variabile aleatoria.

Distribuzione degli errori accidentali.

-

Teoria della propagazione degli errori: caso generale e casi particolari.

Esempio di applicazione della propagazione degli errori in fisica.

Propagazione degli errori statistici.

Combinazione di errori massimi e statistici.

-

La media pesata: metodo diretto e indiretto.

-

Il metodo dei minimi quadrati: applicazione al caso lineare.

Generalizzazione del metodo dei minimi quadrati.

-

Il coefficiente di correlazione lineare.

-

Il test del  $\chi^2$ .

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

Esperienze in laboratorio:

Misure con la guida.

Misure con l'estensimetro.

Il pendolo di Kater.

Il volano.

Il viscosimetro a caduta.

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Ausili didattici :

Dispense messe a disposizione degli studenti

**Testi di riferimento :**

J.R.Taylor, Introduzione all'analisi degli errori. : Zanichelli,

M. Loreti, Teoria degli errori e fondamenti di statistica. : ,

(Titolare: Prof. RENZO BERTONCELLO)

**Periodo:** I anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento Scienze Chimiche  
**Aule :** Informazioni in lingua non trovate

**Prerequisiti :**

Lo studente deve avere conoscenze di matematica, fisica e chimica di base che ha acquisito alle scuole medie superiori

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso Ã finalizzato allo studio della composizione della materia, delle trasformazioni che essa subisce e delle interazioni tra materia ed energia ad esse legate e fornisce le basi per lâ€™ applicazione dei principi generali della Chimica ai processi che ricorrono nell'ambiente e nel cosmo.

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

le lezioni in aula prevedono l'utilizzo di diapositive, filmati e collegamento a siti web. Il materiale non protetto sarÃ poi fornito agli studenti dell'insegnamento.

**Contenuti :**

- 1) ATOMI, MOLECOLE E IONI
- 2) LA STECHIOMETRIA
- 3) LE REAZIONI IN SOLUZIONI ACQUOSE
- 4) I GAS
- 5) I BILANCI ENERGETICI NELLE REAZIONI CHIMICHE
- 6) LA STRUTTURA ELETTRONICA DEGLI ATOMI
- 7) LA TAVOLA PERIODICA
- 8) IL LEGAME CHIMICO
- 9) LE FORZE INTERMOLECOLARI
- 10) LE PROPRIETÀ FISICHE DELLE SOLUZIONI
- 11) LA CINETICA CHIMICA
- 12) L'EQUILIBRIO CHIMICO
- 13) GLI ACIDI E LE BASI
- 14) LA TERMODINAMICA IN AMBITO CHIMICO
- 15) LE REAZIONI REDOX E L' ELETTRICITÀ
- 16) LA CHIMICA DEI COMPOSTI DI COORDINAZIONE
- 17) LA CHIMICA ORGANICA DI BASE
- 18) LA CHIMICA NUCLEARE DI BASE

**Modalità di esame :**

orale

**Criteri di valutazione :**

Domande aperte sugli argomenti del programma

**Testi di riferimento :**

P. Atkins, L. Jones, Principi di chimica. Bologna: Zanichelli, 2012

R. Chang, K Goldsby, Fondamenti di CHIMICA GENERALE. Milano: Mc Graw-Hill, 2015

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Testi di riferimento, diapositive, filmati e collegamento a siti web

## COSMOLOGIA

(Titolare: Prof. ALBERTO FRANCESCHINI)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Astronomia  
**Aule :** da definire

**Prerequisiti :**

Analisi Matematiche, Fisiche Generali. Istituzioni di Relatività.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Analisi dei dati osservativi più rilevanti. Cinematica e dinamica cosmica. Modelli di Universo. Breve storia evolutiva dell'Universo.

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

Lezioni frontali ed esercitazioni.

**Contenuti :**

Cosmologia osservativa: galassie, gruppi di galassie, ammassi, superammassi. Legge di Hubble. Campi di velocità, moti peculiari. Proprietà di clustering delle galassie. Strutture su grande scala, struttura e dinamica dell'universo. Materia oscura, radiazioni di fondo. L'universo lontano, galassie attive, radiogalassie e quasars come fari campione.

Il principio cosmologico, metrica di Robertson-Walker. Modelli di Friedmann, modelli di universo omogeneo e isotropo, universi di radiazione e materia. Gli osservabili cosmologici, distanze cosmiche, il redshift. Conteggi di sorgenti, evidenze per un universo evolutivo, radiazione cosmica nelle microonde. Effetti di una costante cosmologica, modifiche alla dinamica dell'universo. Test osservativi dal diagramma di Hubble per le supernove Ia.

Cenni alle fasi fondamentali dell'evoluzione cosmica. Era della radiazione, equipartizione, ricombinazione della materia e disaccoppiamento della radiazione, reionizzazione.

Il fenomeno dell'attività galattica. Radiosorgenti. Quasar.

**Modalita' di esame :**

Esame orale con discussione approfondita dei contenuti del corso.

**Criteri di valutazione :**

Conoscenza dei singoli argomenti e capacita' di discuterne le varie connessioni.

Lo studente dovra' dimostrare l'acquisizione dei concetti fisici fondamentali e la capacita' di dedurre, su tale base, i risultati principali riguardanti la nostra descrizione dell'universo.

**Testi di riferimento :**

M. Rowan-Robinson, "Cosmology". Oxford: , 2005

M. Longair, Galaxy Formation. : Springer, 2006

P. Schneider, Extragalactic Astronomy and Cosmology. : Springer, 2006

S. Weimberg, Gravitation and Cosmology. : John Wiley & Sons Inc, 1972

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

E' disponibile in rete un libro di dispense elaborato dal docente che include e discute tutti gli argomenti rilevanti del corso.

---

**FISICA GENERALE 1**

(Titolare: Prof. ROBERTO TUROLLA)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 112A; 14,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Fisica e Astronomia  
**Aule :** da definire

**Prerequisiti :**

Analisi Matematica I

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Il metodo sperimentale e le leggi della meccanica del punto e dei sistemi. La fluidostatica e cenni di fluidodinamica. La termodinamica di base.

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

Lezioni frontali ed esercizi in aula

**Contenuti :**

Introduzione. Grandezze fisiche, campioni e unita' di misura. Il sistema internazionale (SI). Analisi dimensionale. Sistemi di riferimento. Vettori ed operazioni con i vettori.

Cinematica del punto. Moto rettilineo di una particella. Velocita' media e velocita' istantanea; moto uniforme. Accelerazione media e istantanea; moto ad accelerazione costante. Caduta verticale dei gravi. Moto armonico. Moto in due e tre dimensioni. Posizione, velocita' ed accelerazione. Moto circolare. Moto dei gravi.

Dinamica del punto. Il concetto di forza; unita' di misura della forza. Le leggi della dinamica. Quantita' di moto di una particella. Impulso. Massa inerziale e massa gravitazionale. Equilibrio del punto. Forza peso, attrito radente, reazione vincolare, piano inclinato, forza elastica, attrito viscoso, tensione dei fili. Applicazioni delle leggi di Newton. Momento angolare e momento di una forza.

Lavoro ed energia. Lavoro di una forza. Energia cinetica e teorema lavoro-energia. Forze conservative ed energia potenziale (forza peso, forza elastica). Conservazione dell'energia. Potenza.

Moti relativi. Sistemi di riferimento. Velocita' relative. Accelerazioni relative. Sistemi inerziali. Il sistema di riferimento terrestre.

Sistemi di particelle. Forze interne ed esterne e loro momenti. Centro di massa. Quantita' di moto totale; prima equazione cardinale della dinamica dei sistemi; conservazione del momento. Momento angolare di un sistema; seconda equazione cardinale della dinamica dei sistemi; conservazione del momento angolare. Lavoro ed energia di un sistema di particelle. Sistema del centro di massa. Primo e secondo teorema di Koenig. Sistemi di forze applicate; sistemi di forze parallele, baricentro.

Dinamica dei corpi rigidi. Rotazione con un asse fisso; momento assiale, energia cinetica, lavoro. Momento d'inerzia; calcolo di momenti d'inerzia. Teorema di Steiner. Applicazioni. Moto di puro rotolamento. Leggi di conservazione nel moto del corpo rigido. Equilibrio statico.

Urti; urti tra due particelle puntiformi; urti elastici ed anelastici. Conservazione della quantita' di moto e dell'energia. Urti in una e in due dimensioni. Urti tra corpi rigidi.

Gravitazione. Forze centrali e loro proprietÃ . Le leggi di Keplero. La legge della gravitazione universale. Campo gravitazionale. Energia potenziale gravitazionale; velocita' di fuga. Determinazione della costante di gravitazione universale, esperienza di Cavendish. Costanti del moto e traiettorie.

ProprietÃ dei fluidi in equilibrio; legge di Stevino. Principio di Archimede; galleggiamento. Viscosita' : fluidi ideali e reali. Cenni di fluidodinamica. Moti stazionari: equazione di continuita' , portata, teorema di Bernoulli.

Grandezze termodinamiche, trasformazioni e stati di equilibrio, equazione di stato, funzioni di stato. Scale di temperatura e termometri. Esperienza di Joule ed equivalenza calore/lavoro. Primo principio della termodinamica. Energia interna. Calorimetria.

Gas ideali e gas reali. Leggi di Boyle, Gay-Lussac e Avogadro; equazione di stato dei gas ideali. Termometro a gas ideale. Piano di Clapeyron e trasformazioni termodinamiche di gas ideali. Trasformazioni reversibili e irreversibili; cicli termodinamici e lavoro. Calori specifici; relazione di Mayer. Espansione libera ed energia interna di un gas ideale. Trasformazioni adiabatiche; equazioni delle adiabatiche reversibili. Rendimento di un ciclo termodinamico. Ciclo di Carnot. Gas reali; transizioni di fase e piano di Clapeyron. Modello cinetico dei gas ideali.

Secondo principio. Enunciati di Clausius e Kelvin-Planck. Teorema di Carnot. Temperatura termodinamica assoluta. Teorema di Clausius. Entropia.

**Modalita' di esame :**

La verifica finale consiste in una prova scritta, che potra' essere sostituita da prove in itinere, ed in una prova orale

**Criteri di valutazione :**

La prova scritta mira a verificare la capacita' dello studente di risolvere semplici problemi di meccanica e termodinamica in modo autonomo, sfruttando le tecniche apprese durante il corso. La prova orale e' volta ad accertare l'acquisizione delle conoscenze di base della Fisica Generale, la capacita' di ragionamento e di comprensione dello studente.

**Testi di riferimento :**

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci, Elementi di Fisica, Meccanica - Termodinamica. Napoli: EdiSES, 2008

---

## FISICA GENERALE 2

(Titolare: Prof. GIOVANNI Busetto)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 112A; 14,00 CFU

**Sede dell'insegnamento :** Aule presso i Dipartimenti di Chimica e di Biologia (Vallisneri)

**Aule :** Aule IV piano Economia, via Bassi 1 e Aula della Vigna, via Jappelli 1

**Prerequisiti :**

Vengono richiesti gli argomenti affrontati nella Fisica Generale I e gli elementi di base del calcolo differenziale ed integrale.

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Comprensione dei fenomeni fondamentali dell'elettromagnetismo classico e metodologia della loro descrizione matematica.

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

Lezioni teoriche ed esercizi in aula. Sono previste dimostrazioni sperimentali in aula.

**Contenuti :**

Fisica Generale 2

Il corso affronta i temi principali dell'elettromagnetismo classico. Vengono trattati inizialmente i fenomeni elettrostatici. Partendo dalla legge elementare dell'interazione statica tra cariche elettriche, il corso affronta poi la descrizione dei casi macroscopici.

Successivamente vengono trattati i fenomeni elettrostatici nei materiali conduttori ed isolanti e descritti i fenomeni e le leggi della conduzione elettrica in circuiti elettrici resistivi. Viene poi approfondita la natura del campo magnetico e le sorgenti del campo e successivamente vengono trattati i fenomeni elettromagnetici variabili nel tempo, fino alla costruzione delle equazioni di Maxwell. Il corso prosegue poi con lo studio dei fenomeni oscillatori e ondulatori, con particolare riguardo ai fenomeni ondulatori elettromagnetici. Il corso affronta poi i fenomeni oscillatori di natura elettrica, le onde elettromagnetiche e la loro propagazione, i fenomeni di interferenza e di diffrazione. Vengono infine trattati argomenti di base dell'ottica geometrica.

**Prima parte**

- Forza elettrostatica. Campo elettrostatico
- Lavoro elettrico. Potenziale elettrostatico:
- La legge di Gauss e sue applicazioni
- Conduttori. Dielettrici. Energia elettrostatica
- Conduzione e corrente elettrica
- Il campo magnetico e la forza magnetica
- Campi elettrici e magnetici variabili nel tempo

**Seconda parte**

- le oscillazioni elettriche e i circuiti in regime alternato
- richiami sui fenomeni ondulatori meccanici
- le onde elettromagnetiche
- i fenomeni di riflessione, rifrazione e trasmissione delle onde elettromagnetiche
- i fenomeni di interferenza
- la diffrazione
- l'ottica geometrica

**Modalita' di esame :**

esercizi scritti e orale

**Criteri di valutazione :**

Nella prova scritta vengono proposti semplici esercizi per capire se lo studente e' in grado di inquadrare un problema individuando i particolari fenomeni fisici coinvolti. Dall'impostazione delle opportune equazioni alla soluzione in termini numerici e di unita' di misura delle grandezze coinvolte, vengono valutati i vari aspetti che caratterizzano l'approccio scientifico e sperimentale ad un problema.

**Testi di riferimento :**

Mazzoldi, Nigro, Voci, Elementi di Fisica - Elettromagnetismo e Onde. : Edises,

Mazzoldi, Nigro, Voci, Fisica Vol. II. : Edises,

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

libri di testo

---

## GEOMETRIA

**Periodo:** I anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A+16E; 8,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento:** Dipartimento di Matematica  
**Aule:** da definire

**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'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 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 è un libro curato e ricco dal punto di vista della teoria. È un libro 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 è un testo assolutamente standard, che sviluppa la Geometria Analitica del Liceo Scientifico in dimensione 2 e 3. È molto ricco di esercizi semplici. È un testo 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 più complesse (facoltative!). Raccomando di svolgere almeno gli esercizi del testo Abate-De Fabritiis, che sono più semplici. Dei complementi si trovano nel sito Moodle del corso, insieme a compiti degli anni scorsi.

## GEOMETRIA - SDOPPIAMENTO

**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'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 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 è più curato e ricco dal punto di vista della teoria. È un libro più 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 è un testo assolutamente standard, che sviluppa la Geometria Analitica del Liceo Scientifico in dimensione 2 e 3. È molto ricco di esercizi semplici. È un testo più 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 più complesse (facoltative!). Raccomando di svolgere almeno gli esercizi del testo Abate-De Fabritiis, che sono più semplici. Dei complementi si trovano nel sito Moodle del corso, insieme a compiti degli anni scorsi.

## ISTITUZIONI DI RELATIVITA'

(Titolare: Prof. GIANGUIDO DALL'AGATA)

**Periodo:** III anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 80A; 10,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Astronomia  
**Aule :** da definire

**Prerequisiti :**

Analisi Matematica, Fisica Generale, Geometria, Meccanica Analitica

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Parte di Relatività : Comprensione dei fondamenti della relatività ristretta. Capacità di risolvere problemi elementari di Meccanica relativistica. Uso del calcolo tensoriale.

Parte di Metodi Matematici: Alla fine del corso lo studente conoscerà e saprà usare le distribuzioni (in particolare la Delta di Dirac), saprà definire e calcolare le trasformate di Fourier di distribuzioni e di funzioni elementari, avrà appreso i rudimenti del campionamento digitale di un segnale, saprà definire e manipolare tensori in uno spazio-tempo piatto, conoscerà il significato della convoluzione e saprà come calcolarla.

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

Lezioni tradizionali inframezzate da attività interattive individuali e di gruppo.

**Contenuti :**

Parte di Relatività

1. Simmetrie ed invarianze.

Sistemi inerziali, leggi fisiche, gruppo di Galilei; Simultaneità e misure Newtoniane; Velocità della luce, ipotesi dell'etere; Esperimenti sulla finitezza e costanza della velocità della luce.

2. La nuova meccanica: Principio di Relatività.

Postulati della relatività speciale; Diagrammi di Minkowski; Linea di universo; Simultaneità; trasformazioni di Lorentz.

3. Cinematica relativistica - Basi.

Intervallo, metrica di Minkowski; Rappresentazione matriciale delle trasformazioni di Lorentz; Rapidità; Composizione delle velocità;

Dilatazione dei tempi; Contrazione delle lunghezze; Rotazione di Penrose-Terrell; Il paradosso dei gemelli e limiti dell'intuizione "Darwiniana".

4. Cinematica relativistica - Formalismo covariante

Gruppo di simmetria di Poincaré e Lorentz; Formalismo covariante; Tensori; Impulso relativistico; Energia cinetica, energia a riposo, equivalenza massa energia.

6. Cinematica relativistica - Ottica

Trasformazione degli angoli; Aberrazione stellare; Effetto Doppler relativistico.

7. Gli urti.

Conservazione del quadriimpulso; Decadimenti; Energia di Soglia; Massa invariante.

8. Elettromagnetismo.

Quadripotenziale e forma covariante delle equazioni di Maxwell; Invarianza di gauge; Trasformazioni di Lorentz per il campo elettromagnetico; Invarianti relativistici; Equazioni di Maxwell nel vuoto; Soluzione dell'equazione delle onde e sue proprietà; Legge di continuità per la carica elettrica; Moto di cariche in campi elettromagnetici; Tensore energia-impulso; Equazione di continuità per il tensore energia-impulso.

9. Introduzione alla Relatività Generale.

Il principio di equivalenza; La metrica; Descrizione di forze inerziali e gravitazionali; Osservatori accelerati; Spaziotempo di Rindler;

Dilatazione dei tempi.

Parte di Metodi Matematici

1. Tensori in Relatività Speciale

Rotazioni (proprie e improprie) nello spazio euclideo. Spazio minkowskiano, trasformazioni di Lorentz e Poincaré. Trasformazioni di Lorentz proprie e improprie, ortocrone e non-ortocrone. Basi covarianti e controvarianti. Campi scalari, vettoriali e tensoriali, covarianti e controvarianti. Quadridivergenza e equazione di continuità in forma covariante. Simmetria e antisimmetria degli indici. Forme differenziali. Derivata esterna. Tensore elettromagnetico e equazioni di Maxwell omogenee in forma covariante. (Pseudo-)tensori invarianti: delta di Kronecker, metrica, pseudo-tensore di Levi-Civita. Costruzione di tensori da tensori: prodotto tensoriale e contrazione degli indici. Proprietà dello pseudo-tensore di Levi-Civita.

2. Elementi di teoria delle distribuzioni

Motivazioni generali. Funzioni di prova e spazio  $S(\mathbb{R})$ . Distribuzioni temperate, regolari e singolari. Esempi della delta di Dirac e del valore principale. Convergenza debole e approssimazione di distribuzioni singolari tramite distribuzioni regolari. Operazioni su distribuzioni: derivata, coniugazione complessa, riscaldamento e traslazione della variabile. Delta di Dirac di una funzione. Trasformata di Fourier e teorema di Fourier in  $S(\mathbb{R})$ . Convoluzione di funzioni e loro proprietà. Teorema della convoluzione. Simmetria e realtà. Formule di Parseval. Trasformata di Fourier di distribuzioni e teorema di Fourier distribuzionale. Applicazioni a distribuzioni notevoli: trasformata di Fourier della delta di Dirac, della funzione costante, della funzione segno, della funzione gradino. Convoluzione di distribuzioni e loro proprietà.

**Modalità di esame :**

Parte di Relatività : Scritta e orale.

Parte di Metodi Matematici: La verifica finale consiste in una prova scritta con esercizi, integrata da una prova orale in caso di parziale insufficienza.

**Criteri di valutazione :**

Conoscenza e comprensione dei contenuti del corso, abilità nella soluzione di problemi elementari legati ai contenuti del corso.

**Testi di riferimento :**

M. Gasperini, Manuale di Relatività Ristretta. : Springer-Verlag Italia, 2010

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Per la parte di Relatività , esercizi sui contenuti del corso si trovano al link:

[http://www.pd.infn.it/~dallagat/relativity\\_astro.html](http://www.pd.infn.it/~dallagat/relativity_astro.html)

## LABORATORIO DI ASTRONOMIA

(Titolare: Prof. ALESSANDRO PIZZELLA)

**Periodo:** III anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 16A+36L; 6,00 CFU

**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Astronomia

**Aule :** A (Dip. Astronomia) e Aule Didattiche (Oss. Astrofisico di Asiago)

**Prerequisiti :**

Conoscenze di matematica e fisica di base.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Obiettivo principale del corso è introdurre gli studenti del terzo anno della Laurea Triennale all'astronomia osservativa, attraverso lezioni sugli strumenti e sulle tecniche osservative più diffuse (fotometria e spettroscopia), con accenni alle tecniche di indagine più moderne. Il corso prevede esercitazioni pratiche sulle tecniche di riduzione e analisi di immagini CCD, oltre all'uso pratico del telescopio per imaging e per spettroscopia.

**Contenuti :**

PROGRAMMA

- Diffrazione attraverso una fenditura

- Diffrazione e interferenza attraverso la doppia fenditura

- Il reticolo di diffrazione

- Caratteristiche di prisma, grism e reticoli vph

- Esempi di spettrografi a fenditura, echelle, multi-object e integral-field

- Sistemi fotometrici, filtri a banda larga e filtri

interferenziali

- CCD

**ESERCITAZIONI**

- Utilizzo di database e archivi di dati astronomici

- Cenni sulle procedure di richiesta tempo e accesso ai telescopi

- Introduzione all'uso di IRAF

- Procedure di riduzione ed analisi di dati fotometrici e spettroscopici

**ARGOMENTI PER LE ESERCITAZIONI**

- Fotometria di stelle: apertura e PSF.

- Spettroscopia di stelle: classificazione spettrale, temperatura, larghezza equivalente delle righe.

- Fotometria di galassie: isofote e profili di brillantezza, classificazione morfologica.

**Modalità di esame :**

L'esame Ã" suddiviso in tre parti:

- relazione orale a seguito del periodo di esercitazione ad Asiago

- relazione scritta a seguito alle esercitazioni al computer

- orale relativo alla lezioni frontali

**Criteri di valutazione :**

La valutazione complessiva dello studente Ã" basata su:

- accertamento dell'attivitÃ svolta presso l'Osservatorio di Asiago tramite relazione orale

- qualitÃ scientifica e tecnica delle relazioni scritte e relative all'attivitÃ svolta in Aula Informatica del ex-Dipartimento di Astronomia

- verifica della preparazione e della comprensione degli argomenti svolti durante le lezioni frontali

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

---

## LINGUA INGLESE

(Titolare: Dott.ssa MONICA LAZZARIN)

**Periodo:** l'anno, annuale

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** ; 3,00 CFU

**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di lingue

**Aule :** da definire

**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

**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

---

## MECCANICA ANALITICA

(Titolare: Dott. MARCO FAVRETTI)

**Periodo:** Il anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Tipologie didattiche:** 56A; 7,00 CFU

**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Astronomia

**Aule :** da definire

**Prerequisiti :**

Dai Corsi di Fisica del Biennio: sistemi di riferimento, cinematica e dinamica del punto materiale, energia cinetica e potenziale, forze conservative e non conservative.

Dai Corsi di analisi del biennio : calcolo differenziale in  $\pi^1$  variabili, calcolo integrale in una variabile, integrazione lungo curve, forme differenziali, varietà differenziabili, equazioni differenziali lineari e non lineari, ritratto in fase.

Dai Corsi di algebra e geometria del biennio : spazi vettoriali euclidei, matrici e trasformazioni lineari, autovettori, determinante.

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Conoscere i modelli della meccanica finito dimensionale (punto materiale, corpo rigido, sistema vincolato)

Conoscere le modalitÃ per passare dalla analisi del sistema meccanico alla scrittura delle equazioni differenziali della dinamica del sistema

Conoscere le tecniche di indagine del sistema di equazioni differenziali (teoria della stabilitÃ , formulazione variazionale delle equazioni, metodo qualitativo per sistemi 1-dimensionali conservativi)

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

lezioni frontali del docente, risoluzione in aula di esercizi, ricevimento studenti, gestione di pagina web con testo e risoluzione degli

esami precedenti, interazione diretta e via web con gli studenti

**Contenuti :**

Dal programma: studio del ritratto in fase per sistemi autonomi, problema dei due corpi, stabilità per sistemi autonomi, dinamica dei sistemi di punti materiali liberi, cinematica rigida, velocità angolare, sistemi non inerziali, forze apparenti, forza di marea, equazioni cardinali, sistemi vincolati, vincoli ideali, equazioni di Lagrange, riduzione alla Routh, Teorema di Noether, Piccole oscillazioni, moto geodetico, principio variazionale di Hamilton, Dinamica del corpo rigido, soluzioni dell'equazione di Eulero, meccanica Hamiltoniana, equazioni di Hamilton, principio variazionale di Hamilton-helmholtz. Parentesi di Poisson.

**Modalità di esame :**

Prova scritta finale di almeno tre ore comprendente risoluzione di esercizi e trattazione scritta di parti teoriche del programma.

In alternativa, due prove parziali in itinere rispettivamente sulla prima e sulla seconda parte del corso. Sono previsti cinque appelli nell'Anno Accademico

**Criteri di valutazione :**

Nella valutazione della prova scritta, si accerta e valuta se il candidato:

- sa riconoscere il tipo di sistema meccanico in analisi
- sa scegliere la procedura corretta per la determinazione delle equazioni del moto
- sa utilizzare i teoremi e gli strumenti di indagine matematica del sistema di equazioni differenziali
- sa organizzare l'esposizione di un argomento teorico visto nel corso
- sa ricostruire con rigore matematico una dimostrazione vista a lezione

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Dispensa del docente scritta appositamente per il corso:

"Note per il corso di Meccanica Analitica", disponibile gratuitamente sulla homepage del docente.

Testi e risoluzione degli appelli precedenti disponibili sulla home page del docente

## OTTICA APPLICATA

(Titolare: Prof. MAURO D'ONOFRIO)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Astronomia  
**Aule :** da definire

**Prerequisiti :**

Il corso prevede la conoscenza degli elementi basilari dell'ottica geometrica, la nozione di onda elettromagnetica, e una discreta familiarità con la matematica delle serie e dei numeri complessi. E' consigliabile aver frequentato (e possibilmente già dato) gli esami di Analisi Matematica e di Fisica del biennio.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Gli obiettivi del corso sono: 1) introdurre alcune nozioni fondamentali di ottica che saranno necessarie per la comprensione delle esperienze di laboratorio; 2) insegnare come si progettano e realizzano su banco ottico alcune fondamentali esperienze di ottica; 3) eseguire tali esperienze e ottenere delle misure con i relativi errori.

Il corso di 48h (6 CFU) è diviso in una parte teorica di 20h e una di laboratorio di 28h. Il corso si propone di realizzare almeno tre esperienze: 1) costruire un interferometro di Michelson 2) eseguire l'esperienza di Abbe, 3) sperimentare il fenomeno della diffrazione della luce.

Lo studente acquisirà le abilità necessarie a maneggiare ed allineare i LASER, e imparerà a progettare le esperienze di ottica sulla base dei materiali a disposizione e dei risultati che si vogliono raggiungere.

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

Il corso si svolge per circa la metà in aula, con lezioni frontali, in cui gli studenti possono formulare domande ed avere risposte sugli argomenti trattati a lezione.

L'altra metà è in laboratorio, dove gli studenti prendono confidenza con il montaggio delle parti meccaniche ed ottiche di un'esperienza precedentemente progettata.

Si procede molto anche per prove ed errori, fino a che non si raggiunge la precisione delle misure che si era prefissata.

**Contenuti :**

I contenuti del corso possono essere distinti in teorici e di laboratorio.

La parte teorica prevede i seguenti argomenti:

Elementi di interferometria. Sovrapposizione delle onde. Leggi di Fresnel-Arago. I vari tipi di interferometro. Diffrazione. Fenditura singola e multipla. Schema ottico di uno spettrografo. Equazione dei reticoli. Elementi di spettroscopia. Elementi di ottica di Fourier. Teoria delle immagini. La PSF. Funzioni di trasferimento. Cenni sul funzionamento dei Laser.

La parte di laboratorio prevede:

Misure di lunghezza d'onda di un laser o misure dell'indice di rifrazione di un prisma. Costruzione di uno spettrografo. Analisi degli elementi principali di uno spettrografo. Esperienza di Abbe. Filtraggio spaziale. Diffrazione da una o più fenditure.

**Modalità di esame :**

L'esame di profitto è orale e può consistere: 1) nella discussione di una relazione redatta dallo studente a fine corso, 2) nel colloquio sui temi svolti a lezione. E' comunque prevista una prova di assemblaggio di un'esperienza su banco ottico durante la prova orale.

**Criteri di valutazione :**

La valutazione finale si basa molto sull'impegno profuso dallo studente durante tutto il corso. Oltre al grado di conoscenza teorica e di laboratorio raggiunta dallo studente,

viene valutata positivamente la redazione di una relazione su una delle esperienze svolte durante il corso, redatta in modo chiaro e

contenente i principali elementi teorici che sono attinenti all'esperienza svolta.

**Testi di riferimento :**

D'Onofrio Mauro, *Elementi di Ottica per Astronomi*. Padova: CLEUP, 2012

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Gli studenti possono consultare tutte le presentazioni mostrate a lezioni e hanno a disposizione una dispensa scritta dal docente, oltre ad un gran numero di testi di ottica presenti nella biblioteca. Tutta la documentazione del corso e sul materiale usato in laboratorio Ã" disponibile in rete nel sito del corso (vedi piattaforma moodle: <https://elearning.unipd.it/fisica/>) oppure nel sito del laboratorio (<http://www.astro.unipd.it/labott/documenti/index.php?dir=>).

---

## PROVA FINALE

(Titolare: da definire)

**Periodo:** III anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** ; 7,00 CFU

---

## SPERIMENTAZIONI DI FISICA 2

(Titolare: Prof. DAVIDE DE SALVADOR)

**Periodo:** Il anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 32A+24L; 6,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Astronomia  
**Aule :** Aula Jappelli - Osservatorio Astronomico di Padova

**Prerequisiti :**

Conoscenza della teoria degli errori di misura. Basi dell'ottica da Fisica Generale II ( i fenomeni di riflessione e rifrazione delle onde, leggi della riflessione e rifrazione, i fenomeni di interferenza, diffrazione da una fenditura e da un foro circolare)

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Obiettivo primario del corso Ã" fornire agli studenti una base di ottica che sarÃ" poi applicata nei corsi successivi (ad esempio Laboratorio di Astronomia) dove verranno trattati gli strumenti astronomici e le tecniche osservative.

Tramite esperienze di laboratorio verranno applicate le conoscenze teoriche.

Lo studente dovrÃ" imparare a capire analizzare e misurare semplici sistemi ottici.

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

Lezioni frontali tramite dimostrazioni geometriche alla lavagna con l'ausilio di slides per i grafici, dei principali aspetti dell'ottica geometrica. Presentazione di esempi e esercizi sugli argomenti trattati. Presentazione sintetica in aula degli esperimenti. Discussione per gruppi e collettiva in laboratorio dell'impostazione pratica e degli aspetti critici degli esperimenti durante il loro svolgimento.

Presentazione e discussione, prima dell'esame delle relazioni corrette.

**Contenuti :**

PROGRAMMA DEL CORSO: richiami su principio della rifrazione e riflessione; il diotro sferico; la formazione dell'immagine nel diotro sferico; le lenti sottili, le lenti spesse e i sistemi di lenti; gli specchi e lo specchio sferico; l'aberrazione sferica e l'aberrazione cromatica; la teoria di Seidel delle aberrazioni; configurazioni ottiche dei telescopi astronomici.

ESPERIENZE IN LABORATORIO: misura della lunghezza focale di una lente convergente simmetrica; misura della lunghezza focale di una lente divergente simmetrica; misura dell'aberrazione sferica in una lente convergente simmetrica; misura dell'aberrazione cromatica in una lente convergente simmetrica.

**Modalita' di esame :**

L'esame si baserÃ" su un esame orale durante il quale verranno discusse individualmente le relazioni di laboratorio precedentemente consegnate e verranno esposti e discussi gli aspetti teorici presentati a lezione. Sono previste 2 verifiche scritte in itinere che possono sostituire la discussione orale della parte teorica.

**Criteri di valutazione :**

VerrÃ" valutata la capacitÃ" di presentare i risultati di laboratorio tramite grafici appropriati e coerentemente commentati nelle relazioni. La capacitÃ" di analizzare criticamente le misure svolte e di saper descrivere correttamente gli aspetti teorici discussi a lezione. Si valuterÃ" la capacitÃ" di risolvere semplici esercizi che applichino le nozioni impartite.

**Testi di riferimento :**

Taylor, John R., *Introduzione all'analisi degli errori* Lo studio delle incertezze nelle misure fisiche John R. Taylor. Bologna: Zanichelli, 2000  
Secco, Luigi, *Ottica geometrica gaussiana e sue deviazioni* corso introduttivo Luigi Secco. Padova: CUSL nuova vita, 2000

Tempesti, Piero, <<Le >> aberrazioni ottiche Piero Tempesti. Padova: Libreria Progetto, 2005

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Gli studenti possono avvalersi delle dispense e lucidi del corso scaricabili.

---

## STORIA DELL'ASTRONOMIA

(Titolare: Prof. GIULIO PERUZZI)

**Periodo:** III anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Dipartimento di Astronomia, Vicolo dell'Osservatorio, 3, 35122 Padova  
**Aule :** Aula Rosino

**Prerequisiti :**

Il corso è rivolto a studenti del terzo anno del corso di laurea in astronomia e a studenti del corso di laurea magistrale di filosofia. La provenienza da aree disciplinari diverse viene tenuta presente nello svolgimento del corso, per cui le conoscenze richieste come prerequisito sono minimali e riguardano le conoscenze di base di matematica, fisica e astronomia.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Il corso ha l'obiettivo di presentare le principali idee che hanno dato origine all'astronomia e all'astrofisica contemporanea, analizzando i mutamenti scientifici verificatisi nel periodo compreso tra il Seicento e il Novecento. Particolare attenzione sarà dedicata agli sviluppi dell'astronomia analizzati in parallelo agli sviluppi in altri settori disciplinari quali la fisica e la strumentazione scientifica. 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 sguardo al passato è come sosteneva già il Lord Cancelliere quattro secoli fa "È essere per capire il presente e per orientarsi nelle 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" del Dipartimento di Fisica e Astronomia. Un modo per correlare la storia della scienza con importanti sviluppi recenti.

Nella seconda parte del corso si svolgeranno anche visite al Museo La Specola dell'Osservatorio Astronomico di Padova.

**Contenuti :**

Il corso è costituito da due parti (di 24 ore ciascuna), la prima tenuta da Giulio Peruzzi e la seconda da Valeria Zanini.

La prima parte si articola in sette sezioni. La prima sezione, dopo un'introduzione generale, illustra i caratteri salienti dell'astronomia pre-copernicana. La seconda sezione tratta delle novità introdotte dalla rivoluzione scientifica, sottolineando i fondamentali elementi di discontinuità con la tradizione medioevale, e soffermandosi sui contributi di alcuni protagonisti: Copernico, Tycho, Keplero e Galileo. La terza sezione avrà come tema centrale la prima moderna teoria della gravitazione, quella costruita da Isaac Newton nel 1687. Segue poi una sezione dedicata alle prime teorie sulla nascita del sistema solare, avendo come filo conduttore la storia che da Huygens a Maxwell porta alla comprensione degli anelli di Saturno. La quinta sezione si soffermerà sulla nascita dell'astronomia scientifica a partire dalla metà dell'Ottocento. Qui avremo modo di vedere anche gli sviluppi delle teorie sulla struttura del sistema solare. La sesta sezione sarà dedicata alla nascita e ai primi sviluppi della moderna teoria della gravitazione (la relatività generale). La settima sezione affronta, infine, gli sviluppi dell'attuale Modello Standard dell'Universo (detto anche del Big Bang).

La seconda parte del corso si propone di seguire l'evoluzione dell'astronomia, sia attraverso l'illustrazione della strumentazione astronomica pre- e post-telescopica, sia attraverso la storia degli osservatori astronomici, in particolare di quelli italiani. Sinteticamente i contenuti di questa seconda parte sono i seguenti: 1. l'astronomia pre-telescopica e i suoi strumenti; 2. l'invenzione del cannocchiale, Galileo e le prime scoperte astronomiche; 3. l'ottica dei primi telescopi e le osservazioni del Seicento; 4. la nascita degli osservatori astronomici istituzionali e la loro organizzazione; 5. le implementazioni strumentali della seconda metà del Settecento e i grandi rifrattori Ottocenteschi; 6. il telescopio riflettore; 7. la nascita dell'astrofisica e della fotografia astronomica; 8. una panoramica sugli astronomi padovani; 9. gli astronomi e la misura del tempo. In questa seconda parte, alcune lezioni saranno svolte visitando gli strumenti conservati nel Museo La Specola dell'Osservatorio Astronomico di Padova.

**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 di quelli affrontati nel corso. Questo si configura come un lavoro di rassegna basato su una ricerca bibliografica autonomamente svolta dallo studente.

Verrà messa a disposizione degli studenti una lista, non vincolante, di possibili 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 :**

Malcolm S. Longair, *The Cosmic Century. A History of Astrophysics and Cosmology*. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2006  
Tullio Regge, Giulio Peruzzi, *Spazio, tempo e universo. Passato, presente e futuro della teoria della relatività*. Torino: Bollati Boringhieri, 2005

Thoma Kuhn, *La rivoluzione copernicana. L'astronomia planetaria nello sviluppo del pensiero occidentale*. Torino: Einaudi, 2000

Michael Hoskin, *Storia dell'Astronomia*. Milano: BUR-Rizzoli, 2008

Henry C. King, *The history of the telescope*. New York: Dover, 2003

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

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

