



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**SCUOLA DI SCIENZE**

**Bollettino Notiziario**

Anno Accademico 2018/2019

**Laurea magistrale in Physics of Data (Ord.  
2018)**

---

## Curriculum: Corsi comuni

---

### ADVANCED STATISTICS FOR PHYSICS ANALYSIS

---

(Titolare: Prof. ALBERTO GARFAGNINI)

**Periodo:** 1 anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Nessuno

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Risolvere problemi di statistica e analisi di dati tramite l'ambiente di sviluppo R.

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

Lezioni frontali.

Le lezioni saranno corredate da esempi pratici con esercitazioni in aula tramite l'ambiente di sviluppo R.

**Contenuti :**

- richiamo di concetti di base sulle probabilità (regole, definizioni e distribuzioni)
- dalle 'prove' di Bernoulli ai processi Poissoniani e le relative distribuzioni di probabilità
- inferenza della probabilità di Bernoulli,  $p$ ; inferenza del parametro  $\lambda$  della distribuzione di Poisson. Inferenza della media,  $\mu$ , della distribuzione di Gauss. Inferenza simultanea di  $\mu$  e  $\sigma$  da un campione: concetti generali e risultati asintotici (caso di grandi moli di dati)
- fit come caso speciale di inferenza parametrica
- Metodi di Monte Carlo: rejection sampling, inversioni di distribuzioni cumulative, importance sampling. L'algoritmo di Metropolis come esempio di Markov Chain Monte Carlo. Simulated annealing.
- l'ambiente di programmazione e il linguaggio di programmazione R per l'analisi statistica dei dati.

**Modalità di esame :**

Esame orale.

A ridosso della prova orale verrà assegnato un esercizio di statistica da risolvere in ambiente R.

**Criteri di valutazione :**

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

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Dispense dalle lezioni introduttive. Testi di riferimento e materiale integrativo verranno consigliati durante lo svolgimento del corso.

---

### COSMOLOGY

(Titolare: Prof. SABINO MATARRESE) - Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2017)

**Periodo:** 1 anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

**Prerequisiti :**

Le conoscenze acquisite nel corso di Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Scopo del corso e' quello di familiarizzare lo studente con i principali argomenti di ricerca della cosmologia moderna e a fornire i principali strumenti di analisi e di calcolo utilizzati in ambito cosmologico.

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

Lezioni frontali. Dimostrazioni al computer.

**Contenuti :**

Introduzione generale

Equazioni di Friedmann dalle equazioni di Einstein per la metrica di Robertson-Walker

La Radiazione Cosmica di Fondo (CMB)

Equazione di Boltzmann e ricombinazione dell'idrogeno: oltre l'equazione di Saha

Equazione di Boltzmann nell'Universo perturbato: la funzione di distribuzione dei fotoni

Trattazione dei termini di collisione

Equazione di Boltzmann per i fotoni in approssimazione lineare

Equazione di Boltzmann per la materia oscura fredda (CDM) in approssimazione lineare

- Equazione di Boltzmann per i barioni in approssimazione lineare
- Equazione di evoluzione per la funzione di brightness dei fotoni  $\hat{\Gamma}$
- Equazioni di Einstein perturbate al primo ordine (perturbazioni scalari)
- Condizioni iniziali
- Evoluzione su scale super-horizon
- Oscillazioni acustiche e limite di tight coupling
- Free-streaming " ruolo della visibility function
- Cenni sull'evoluzione dei potenziali gravitazionali e Silk damping
- Espressione per i multipoli dell'anisotropia in temperatura  $\hat{\Gamma}$
- Spettro angolare dell'anisotropia in temperatura ed effetto Sachs-Wolfe su grande scala
- Piccole scale angolari: picchi acustici (cenni sul ruolo dei parametri cosmologici)

L'instabilità gravitazionale

- Instabilità gravitazionale nell'Universo in espansione
- Equazioni di Boltzmann per un sistema di particelle non collisionali e il limite di fluido
- Approssimazione di Zel'dovich
- Approssimazione dell'adesione.
- Soluzione dell'equazione di Burgers 3D.

Metodi statistici in cosmologia

- Ipotesi ergodica e di "fair sample"
- Funzioni di correlazione a N-punti
- Spettro di potenza e teorema di Wiener-Khinchine
- Metodi di filtraggio
- Up-crossing regions e picchi del campo di densità
- Campi random Gaussiani e non-Gaussiani
- \* Approccio a path-integral alle perturbazioni cosmologiche

#### Modalità di esame :

L'esame può essere svolto con due differenti modalità.

1. Esame orale tradizionale sugli argomenti fondamentali trattati nel corso.

2. (solo per gli studenti che abbiano frequentato il corso) Tesina scritta su un argomento trattato nel corso e concordato con il docente.

La tesina dovrà contenere una trattazione approfondita dell'argomento scelto, basata sullo studio di articoli di review e/o capitoli di libri.

Il contenuto della tesina, che verrà poi esposto durante un colloquio con il docente, dovrà altresì provare l'acquisizione da parte dello studente della conoscenza dei principali argomenti trattati a lezione.

#### Criteri di valutazione :

Capacità di elaborazione autonoma del materiale trattato a lezione.

#### Testi di riferimento :

Dodelson, S., *Modern Cosmology*. Amsterdam: Academic Press, 2003

Coles P. and Lucchin F., *Cosmology: The Origin and Evolution of Cosmic Structure*. Chichester: Wiley and Sons, 2001

#### Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Appunti del docente sulla quasi totalità degli argomenti trattati.

## GENERAL RELATIVITY

(Titolare: Prof. GIANGUIDO DALL'AGATA) - Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2017)

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

#### Prerequisiti :

Si consiglia Fisica Teorica.

#### Conoscenze e abilità da acquisire :

Il corso fornisce una introduzione alle basi teoriche e fenomenologiche della Relatività Generale. Lo studente dovrà anche appropriarsi delle tecniche di base per costruire e studiare le proprietà delle soluzioni delle equazioni di Einstein.

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

Lezioni frontali. Esercitazioni settimanali.

#### Contenuti :

Geometria Riemanniana; Forme differenziali; Il principio di equivalenza; Equazioni di Einstein; Soluzione di Schwarzschild, limite Newtoniano; test sperimentali; spazi massimamente simmetrici; Buchi neri (Diagrammi di Penrose, buchi neri carichi e rotanti); Termodinamica dei buchi neri.

#### Modalità di esame :

Orale con domande su argomenti svolti a lezione e soluzione di un problema.

#### Criteri di valutazione :

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

#### Testi di riferimento :

S. Carroll, *Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity*. : Addison-Wesley, 2003

A. Zee, *Einstein Gravity in a Nutshell*. : Princeton University Press, 2013

F. de Felice, C.J.S. Clarke., *Relativity on curved manifolds*. : Cambridge University Press, 1992

S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology*. : Wiley, 1972

## LABORATORY OF COMPUTATIONAL PHYSICS (C.I.)

(Titolare: Prof. MARCO ZANETTI)

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

**Prerequisiti :**

Il corso non prevede propedeuticit , tuttavia si assume la frequenza di almeno due corsi di laboratorio di fisica alla laurea triennale.

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

La finalit  didattica del corso   l'insegnamento delle principali tecniche di analisi dati e la loro messa in pratica per la risoluzione di problemi fisici concreti.

Le lezioni frontali saranno volte ad esporre e rivedere dettagliatamente le problematiche tipiche legate all'estrazione di informazione da dataset fisici complessi. Gli studenti saranno in grado di cogliere, sintetizzare e visualizzare le caratteristiche dei dataset. Impareranno inoltre a confrontare quantitativamente e criticamente le previsioni teoriche con i dati sperimentali.

Gli studenti dovranno mettere poi in pratica tali conoscenze in esperienze laboratoriali di analisi dati. Queste ultime si baseranno su dataset relativi ad ambiti scientifici diversi, dalla biofisica, alla astronomia, alla fisica delle alte energie.

**Modalita' di esame :**

Per accertare l'acquisizione delle competenze relative al corso verranno valutate le relazioni sulle esperienze di laboratorio assegnando a queste ultime un punteggio; tale punteggio dovr  essere confermato da una prova orale, durante la quale verranno verificate anche le conoscenze di carattere teorico.

Si prevede che la prova orale sar  divisibile in due parti, ciascuna relativa ad uno dei due moduli di cui   composto il corso.

**Criteri di valutazione :**

Le relazioni sulle esperienze di laboratorio dovranno rispettare gli standard di una pubblicazione scientifica. L'elaborazione dei dati dovr  essere adeguata al problema da risolvere e dovr  dimostrare sia originalit  che comprensione delle metodologie classiche.

Durante la prova orale, oltre alla discussione critica delle relazioni, si accerteranno le competenze teoriche acquisite durante le lezioni frontali.

**Moduli del C.I.:**

Laboratory of computational physics (Mod. A)

Laboratory of computational physics (Mod. B)

## LABORATORY OF COMPUTATIONAL PHYSICS (MOD. A)

(Titolare: Prof. MARCO ZANETTI)

**Periodo:** I anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**Contenuti :**

- Schema di funzionamento dei calcolatori e delle loro principali componenti. Ottimizzazione dello hardware finalizzata a varie problematiche in ambito di calcolo scientifico: calcolo parallelo, reti e calcolo distribuito

- Il linguaggio di programmazione Python: dalle basi alla programmazione avanzata per il calcolo scientifico; principali librerie per la gestione e l'analisi dei dati (numpy, scipy, pandas, scikit-learn, etc.)

- Metodi Monte Carlo per la simulazione di fenomeni fisici

- Estrazione delle principali propriet  statistiche da dataset fisici e confronto con predizione teorica

- Visualizzazione e rappresentazione grafica dei dataset e delle loro propriet 

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

Il corso prevede una parte di lezioni frontali (30%) e una parte di lezioni in laboratorio (70%) in aula informatica. Le ore di laboratorio saranno finalizzate ad approfondire ed esercitare le tecniche di analisi dati illustrate durante le lezioni frontali.

Verranno proposti esercizi da svolgere utilizzando le risorse di calcolo messe a disposizione dal Dipartimento di Fisica e Astronomia (cloud computing e HPC), nonch  dei piccoli progetti di ricerca (esperienze di laboratorio) che gli studenti affronteranno in gruppi di lavoro

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Verranno fornite dispense di riferimento per la parte di programmazione in python e la descrizione delle sue principali librerie scientifiche.

Si far  spesso riferimento a materiale didattico in formato Jupyter notebook, disponibile su repository pubbliche GitHub.

**Testi di riferimento :**

Rubin Landau, Manuel Paez, Cristian Bordeianu, Computational Physics. : Wiley-VCH,

## LABORATORY OF COMPUTATIONAL PHYSICS (MOD. B)

(Titolare: Prof. MARCO BAIESI)

**Periodo:** I anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**Contenuti :**

1. Introduzione. Scomposizione Bias-Variance
2. Metodi di discesa dei gradienti
3. Regressione lineare: Ridge e LASSO
4. Regressione logistica
5. Combinazione di modelli
6. Reti neurali feed-forward: basi
7. Reti neurali: regolarizzazione

8. Reti neurali: esempi
9. Clustering
10. Modelli basati sull'energia
11. Macchine di Boltzmann ristrette
12. Esempi finali

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

Lo scopo di questo corso è di esporre gli studenti a strumenti moderni per classificare i dati e le tecniche di apprendimento automatico, in modo che possano applicare tali metodi nelle esperienze di laboratorio con i computer. La prima parte del corso è riservata a questo scopo di apprendere i principi generali attraverso le applicazioni, mentre la seconda metà del corso consente agli studenti, in piccoli gruppi, di sviluppare una comprensione più profonda di uno specifico argomento eseguendo un piccolo progetto.

Ogni lezione della prima metà del corso includerà prima una spiegazione teorica di una procedura chiave per l'analisi dei dati o di una classe di algoritmi e una seconda fase in cui gli studenti applicheranno le nuove idee sui computer. Ci si aspetta che questo apprendimento per esperienza pratica migliori la comprensione degli strumenti teorici e, naturalmente, è in linea con la metodologia classica dell'insegnamento in laboratorio. L'analisi numerica comprende l'adozione e la modifica di software pre-costruito o lo sketch di semplici algoritmi da zero.

Il testo principalmente seguito nel corso è ad accesso aperto sull'arXiv:

“A high-bias, low-variance introduction to Machine Learning for physicists” di Pankaj Mehta, Ching-Hao Wang, Alexandre G. R. Day e Clint Richardson, arXiv: 1803.08823.

Questa review fornisce anche utili notebook python per analizzare i dati ed è collegata a strumenti come il pacchetto scikit-learn.

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

Pankaj Mehta, Ching-Hao Wang, Alexandre G. R. Day, and Clint Richardson, “A high-bias, low-variance introduction to Machine Learning for physicists”,

## **MACHINE LEARNING**

(Titolare: Dott. Pietro Zanuttigh) - Mutuato da:

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

#### **Prerequisiti :**

Conoscenze di Base di Analisi Matematica, Probabilità, Statistica, Algebra Lineare, Algoritmi e elementi di base di Programmazione.

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

Lo scopo del corso è di fornire i principi fondamentali del problema di apprendimento e di introdurre i principali algoritmi per la regressione e la classificazione. Il corso includerà esercitazioni al computer.

Alla fine del corso lo studente avrà le seguenti conoscenze ed abilità:

1. Conoscere i principi fondamentali e le principali metodologie dell'apprendimento automatico.
2. Sarà in grado di affrontare problemi di apprendimento supervisionato e non supervisionato.
3. Sarà in grado di applicare queste metodologie a diversi scenari e problemi.
4. Sarà in grado di selezionare la metodologia più adatta alla soluzione di uno specifico problema di apprendimento sulla base delle caratteristiche del problema e dei dati a disposizione.
5. Avrà le competenze per utilizzare e adattare sistemi software in grado di risolvere i problemi considerati.
6. Se possibile saranno fornite anche competenze relative ad argomenti più avanzati come sparsità, boosting e deep learning.

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

Lezioni teoriche con utilizzo sia di lucidi che della lavagna. Esercitazioni in aula con coinvolgimento degli studenti. Esercitazioni al computer (in laboratorio), anche con utilizzo di casi di studio.

#### **Contenuti :**

Motivazioni, componenti del problema di apprendimento e applicazioni dell'apprendimento automatico. Apprendimento supervisionato e non supervisionato.

Parte I: Apprendimento supervisionato.

1. Introduzione: Dati, classi di modelli, funzioni di costo.
2. Modelli probabilistici e ipotesi sui dati. Funzione di regressione. Regressione e Classificazione.
3. Bontà di un modello, complessità, compromesso tra distorsione e varianza (dimensione di Vapnik-Chervonenkis, errore di generalizzazione).
4. Modelli per la regressione: regressione lineare (scalare e multivariata), selezione di variabili, modelli lineari nei parametri, regolarizzazione.
5. Classi di modelli non lineari: Sigmoidi, Reti Neurali.
6. Metodi "Kernel": Support Vectors Machines.
7. Metodi per la classificazione: Regressione Logistica, Reti Neurali, Perceptron, Classificatore di Bayes, SVM, Deep Learning.
8. Validazione e selezione dei modelli: errore di generalizzazione, compromesso tra distorsione e varianza, cross validation. Determinazione della complessità del modello.

## Parte II: Apprendimento non supervisionato

1. Analisi di clusters: K-means, misture di Gaussiane e stima EM.

2. Riduzione della dimensionalità: analisi delle componenti principali (PCA).

### Modalità di esame :

La valutazione delle conoscenze e delle abilità acquisite viene effettuata mediante due contributi:

1. Una prova scritta a libro chiuso in cui lo studente deve risolvere dei problemi, al fine di verificare l'acquisizione dei principali ingredienti e strumenti del problema di apprendimento, la capacità analitica nel loro utilizzo e la capacità di interpretare i risultati tipici in un problema pratico di apprendimento.

2. Esercitazioni al computer (facoltative) rivolte all'acquisizione delle competenze, anche pratiche, per l'utilizzo degli strumenti di machine learning. Queste esercitazioni, da svolgere a casa, consentono di verificare la capacità di mettere in pratica i concetti teorici acquisiti. Lo studente deve produrre una breve relazione che descriva le metodologie utilizzate per risolvere il progetto assegnato assieme ai risultati ottenuti.

Il voto finale sarà basato sulla prova scritta con un bonus fino ad un massimo di 3 punti per gli studenti che svolgeranno le esercitazioni di laboratorio.

### Criteri di valutazione :

La valutazione con cui verrà effettuata la verifica delle conoscenze e delle abilità acquisite considera:

1. La completezza delle conoscenze acquisite per quanto riguarda gli strumenti per la predizione (regressione e classificazione).
2. La capacità di risolvere un problema di apprendimento attraverso le tecniche proposte
3. La proprietà nella terminologia tecnica usata, sia scritta che orale
4. L'originalità e indipendenza nella identificazione delle metodologie più adatte a risolvere uno specifico problema di apprendimento.
5. La capacità di interpretare i risultati in un problema pratico di apprendimento
6. Abilità nell'utilizzo degli strumenti informatici per l'apprendimento automatico
7. L'abilità analitica e pratica nell'uso di questi strumenti per la soluzione di semplici problemi.

### Testi di riferimento :

Shalev-Shwartz, Shai; Ben-David, Shai, *Understanding machine learning: From theory to algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014

C. M. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*. : Springer, 2006

Hastie, Trevor J.; Tibshirani, Robert, *The elements of statistical learning, data mining, inference, and prediction*. New York: Springer, 2009

Murphy, Kevin P., *Machine Learning a probabilistic perspective*. Cambridge: Mit press, 2012

### Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Il corso sarà basato sui libri di testo: "Understanding Machine Learning: from Theory to Algorithms", "Machine Learning, a probabilistic perspective", "Pattern Recognition and Machine Learning", e "The Elements of Statistical Learning" (vedi Sezione "Testi di Riferimento").

Tutto il materiale didattico presentato durante le ore di lezione frontale, altro materiale aggiuntivo e informazioni dettagliate sulle modalità d'esame saranno resi disponibili sulla piattaforma elearning (<http://elearning.dei.unipd.it>).

## MANAGEMENT AND ANALYSIS OF PHYSICS DATASET (C.I)

(Titolare: Prof.ssa DONATELLA LUCCHESI)

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

### Prerequisiti :

CONTENUTO NON PRESENTE

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

CONTENUTO NON PRESENTE

### Modalità di esame :

CONTENUTO NON PRESENTE

### Criteri di valutazione :

CONTENUTO NON PRESENTE

### Moduli del C.I.:

Management and analysis of physics dataset (Mod. A)

Management and analysis of physics dataset (Mod. B)

## MANAGEMENT AND ANALYSIS OF PHYSICS DATASET (MOD. A)

(Titolare: Prof. GIANMARIA COLLAZUOL)

**Periodo:** I anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

### 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

## MANAGEMENT AND ANALYSIS OF PHYSICS DATASET (MOD. B)

---

(Titolare: Prof.ssa DONATELLA LUCCHESI)

**Periodo:** I anno, 2 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**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

## MODELS OF THEORETICAL PHYSICS

---

(Titolare: Prof. AMOS MARITAN)

**Periodo:** I anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**Prerequisiti :**

Good knowledge of mathematical analysis, calculus, elementary quantum mechanics and basic physics.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

The purpose of the course is to provide the student with a wide vision on how theoretical physics can contribute to understand phenomena in a variety of fields ranging from classical subjects like diffusion quantum mechanics and more in general to the physics of complex systems. Particular emphasis will be placed on the relationships between different topics allowing for a unified mathematical approach where the concept of universality will play an important role. The course will deal with a series of paradigmatic physical systems that have marked the evolution of theoretical physics in the last century including the most recent challenges posed by disordered systems with applications to machine learning and neural networks. Each physical problem the modeling and the solution thereof will be described in detail using powerful mathematical techniques.

The first part of the course will provide the basic mathematical tools necessary to deal with most of the subjects of our interest. The second part of the course will be concerned with the key concepts of universality stochastic processes and emergent phenomena which justify the use of field theoretical models of interacting systems. In the third part it will be shown how solutions of quantum systems can be mapped in solutions of diffusion problems and vice versa using common mathematical techniques. The last part will deal with the most advanced theoretical challenges related to non-homogeneous/disordered systems which find applications even outside the physical context in which they arose.

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

Lecture supported by tutorial, assignment, analytical and numerical problems

**Contenuti :**

Introduction; "The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences (Wigner 1959)"; Gaussian integrals Wick theorem

Perturbation theory connected contributions Steepest descent

Legendre transformation Characteristic/Generating functions of general probability distributions/measures

The Wiener integral geometric characteristics of Brownian paths and Hausdorff/fractal dimension

Brownian paths and polymer physics biopolymer elasticity. The random walk generating function the Gaussian field theory and coupled quantum harmonic oscillators

Levy walks violation of universality

Field theories as models of interacting systems

$O(n)$  symmetric  $\Phi^4$  theory. The large  $n$  limit: Spherical (Berlin-Kac) model and  $1/n$  expansion

Perturbative expansion Universality critical dimensions

Generalized diffusion and stochastic differential equations

Path integrals representation of stochastic processes with general diffusion operator (Brownian motion in curved spaces)

The Feynman-Kac formula: diffusion with sinks and sources  
Quantum mechanics (solvable models harmonic oscillator free particle)  
Feynman path integrals and the quantum version of the Feynman-Kac formula.  
Quantum vs stochastic phenomena: quantum tunneling and stochastic tunneling  
Stochastic amplification and stochastic resonance  
Nonperturbative methods, instantons  
Diffusion in random media and anomalous diffusion  
Quantum Mechanics in a random potential localization and random matrices  
Statistical physics of random spin systems and the machine-learning problem  
Random energy model, replica trick  
Cavity method, Random Field Ising Model

**Modalità di esame :**

Final examination based on: Written and oral examination and weekly exercises proposed during the course

**Criteri di valutazione :**

Critical knowledge of the course topics. Ability to present the studied material.

Discussion of the student project.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## NETWORK MODELLING

(Titolare: Prof. MICHELE ZORZI) - Mutuato da:

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

**Prerequisiti :**

Il corso prevede conoscenze preliminari di: Analisi Matematica, Algebra Lineare, Probabilità, variabili aleatorie e processi aleatori. Per gli esempi trattati, e' utile (anche se non necessario) aver seguito un corso di base di reti e protocolli.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

L'obiettivo formativo del corso prevede l'acquisizione delle seguenti conoscenze e abilità :

1. Comprendere a fondo e saper usare la teoria della probabilità e dei processi casuali per modellare sistemi reali e poterne valutare le prestazioni.
2. Acquisire strumenti analitici avanzati per la valutazione delle prestazioni di sistemi e reti
3. Saper tradurre la descrizione di un problema in un modello matematico che lo rappresenti
4. Sapere quali metriche di prestazioni si possono calcolare (e come) a partire da una rappresentazione matematica/probabilistica
5. Essere in grado di enunciare in maniera precisa e di dimostrare in maniera rigorosa i risultati teorici più importanti relativi agli argomenti principali del corso (catene di Markov, processi di Poisson, processi di rinnovamento)

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

L'insegnamento avviene mediante lezioni frontali alla lavagna, in quanto si ritiene che questa modalità di erogazione consenta di mantenere il giusto ritmo di presentazione degli argomenti e mantenga alta l'attenzione da parte degli studenti, con possibilità di interazione e coinvolgimento.

Per verificare il livello di apprendimento durante il corso, vengono proposti allo studente esercizi o sviluppi da fare a casa, che verranno poi spesso svolti in aula durante una lezione successiva.

**Contenuti :**

1. richiami di probabilità e processi casuali
2. catene di Markov: definizioni e risultati principali
3. catene di Markov: comportamento asintotico
4. studio di sistemi multi-accesso e proprietà di stabilità
5. processi di Poisson: definizioni e risultati principali
6. processi di rinnovamento: definizioni e risultati principali, comportamento asintotico
7. processi renewal reward, rigenerativi, e semi-Markov
8. esercizi e esempi di applicazioni

Una lista dettagliata degli argomenti trattati durante il corso, con riferimenti specifici a capitoli e pagine dei testi, e' disponibile sul sito del corso sulla piattaforma elearning.

**Modalità di esame :**

La valutazione delle conoscenze e delle abilità acquisite viene effettuata mediante una prova scritta articolata in due parti.

La parte A, della durata di 90 minuti e a libro aperto, consiste in undici domande numeriche raggruppate in quattro esercizi. Ogni domanda ha un valore di tre punti.

La parte B, della durata di 60 minuti e a libro chiuso, consiste in tre domande teoriche (tipicamente dimostrazioni viste a lezione). Ogni domanda ha un valore di undici punti.

Se lo studente totalizza almeno 15 punti nella parte A e la media dei punti fra parte A e parte B e' almeno pari a 18, quest'ultima può essere accettata come voto finale. Se il punteggio nella parte A e' inferiore a 15 o la media delle due prove e' insufficiente, l'esame non e' superato.



Anche se la prova finale puo' essere superata sostenendo con successo il solo esame scritto (in due parti), lo studente puo' sempre richiedere di sostenere in aggiunta una prova orale se vuole migliorare il voto. La prova orale non sostituisce in nessun caso la prova scritta.

Esempi di compiti sono disponibili sul sito del corso sulla piattaforma elearning, e vengono ampiamente trattati a lezione.

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

La valutazione con cui verr  effettuata la verifica delle conoscenze e delle abilit  acquisite considera:

1. La completezza e il grado di approfondimento delle conoscenze degli argomenti trattati durante il corso.
2. La capacita' di modellare un problema usando uno degli strumenti analitici visti a lezione
3. La capacita' di ottenere risultati numerici corretti negli esercizi proposti
4. La capacita' di sviluppare un ragionamento analitico in maniera rigorosa e completa.

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

H. Taylor, S. Karlin, *An introduction to stochastic modeling.* : Academic Press (3rd or 4th edition), 1998

S. Karlin, H. Taylor, *A first course in stochastic processes.* : Academic Press (2nd ed.), 1975

S. Ross, *Stochastic processes.* : Wiley (2nd ed.), 1996

S. Ross, *Applied probability models with optimization applications.* : Dover (2nd ed.), 1996

D. Bertsekas, R. Gallager, *Data Networks.* : Prentice-Hall (2nd ed.), 1992

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

Il corso segue un libro di testo principale, con integrazioni da altri testi, appunti e articoli scientifici.

Ad eccezione del libro di testo principale, tutto il resto del materiale didattico e' reso disponibile agli studenti sul sito del corso sulla piattaforma elearning, compresi esempi di compiti e esercizi proposti dal testo (con soluzioni).

## **NUCLEAR PHYSICS**

(Titolare: Prof.ssa SILVIA MONICA LENZI) - Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2017)

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

#### **Prerequisiti :**

Meccanica quantistica.

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

Lo studente approfondira' alcuni degli argomenti visti nel corso di Istituzioni di Fisica Nucleare della Laurea Triennale e sara' introdotto a nuovi argomenti sia sulle reazioni nucleari, sia sulla struttura del nucleo. Il corso fornisce una buona conoscenza delle proprieta' del nucleo atomico che implica l'utilizzo di modelli a molti corpi. Inoltre verranno presentati e discussi i problemi piu' attuali della Fisica Nucleare. Lo studente sara' in grado di interpretare le diverse proprieta' e modi di eccitazione dei nuclei.

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

Le lezioni si svolgono con l'ausilio di slides.

#### **Contenuti :**

Programma di Fisica Nucleare 2017/2018

*Parte prima: Struttura del nucleo e modelli nucleari*

Dall'interazione nucleone-nucleone all'interazione efficace nel nucleo.

Grandezze conservate

Simmetrie nella struttura dei nuclei

Metody sperimentali per la struttura nucleare

Modelli nucleari:

1) Modelli collettivi:

Modello della goccia liquida, Modello a gas di Fermi: applicazioni, Deformazione nucleare,

Eccitazioni collettive,

Moti vibrazionali,

Moti rotazionali,

Energy Density Functional

2) Modello Microscopici:

Modello di Hartree Fock,

Modello a shell interattivo,

Modello di Nilsson.

*Parte Seconda: Reazioni nucleari*

Introduzione: proprieta' del nucleo

-energia di legame

-equazione semiempirica di massa

-proprieta' elettromagnetiche statiche dei nuclei: Momenti di multipolo

## Le forze nucleari e il potenziale nucleare

- interazione nucleone-nucleone
- Il deutone
- isospin
- diffusione nucleone-nucleone
- proprietà delle forze nucleari

## Reazioni Nucleari

- considerazioni generali: Cinematica delle collisioni a due corpi
- tipi di reazione e le osservabili coinvolte
- diffusione elastica e sezione d'urto di reazione
- reazioni di nucleo composto
- reazioni di Knock-out

## Reazioni con Ioni Pesanti

- reazioni di trasferimento quasi-elastico di nucleoni
- aspetti fenomenologici delle reazioni nucleari alla barriera Coulombiana,
- fusione completa, formazione e decadimento del nucleo composto
- reazioni di fusione di interesse astrofisico
- tecniche sperimentali

Verranno considerati come esempi e argomenti di discussione gli aspetti che riguardano la formazione di nuclei  $\epsilon$ superpesanti $\epsilon$ , le reazioni con nuclei instabili.

## Modalità di esame :

L'esame consiste in una prova orale con eventuale presentazione di un lavoro di ricerca su argomenti diversi proposti dal docente.

## Criteri di valutazione :

Buon dominio dei principali argomenti del corso.

## Testi di riferimento :

Kris Heyde, *Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics*. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1999

## Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

I libri di testo e le slides messe a disposizione dai docenti nel sito moodle. Inoltre verrà messo a disposizione altro materiale di rassegna di carattere didattico sugli argomenti più attuali della fisica nucleare teorica, sperimentale e applicata.

# RELATIVISTIC ASTROPHYSICS

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

**Periodo:** 1 anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU

## Prerequisiti :

Elettrodinamica, Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia, Relatività speciale

## Conoscenze e abilità da acquisire :

Scopo del corso  $\epsilon$  di fornire agli studenti una panoramica delle proprietà osservative e della modellistica delle Sorgenti Compatte Galattiche di raggi X

## Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Lezioni frontali con esercizi ed esempi

## Contenuti :

Oggetti Compatti. Fasi finali dell'evoluzione stellare. Core-collapse supernovae. Nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri.

Complementi di Relatività Generale. Metrica esterna di Schwarzschild e sue proprietà. Moto geodetico in Schwarzschild. Metrica interna di Schwarzschild, strutture in equilibrio idrostatico, equazione di Tolman-Oppenheimer-Volkoff. Metrica di Kerr (cenni).

Gas degeneri. Statistiche quantistiche (richiami). Equazioni di stato per un gas completamente degeneri; limite non-relativistico e ultra-relativistico. Massa di Chandrasekhar.

Interazione radiazione-materia. Campo di radiazione. Emissione, assorbimento, scattering. L'equazione del trasporto radiativo.

Spessore ottico. Soluzioni particolari dell'equazione del trasporto: diffusione e free-streaming. Principali meccanismi radiativi (electron scattering e free-free).

Accrescimento su oggetti compatti. Oggetti compatti isolati ed in sistemi binari. Geometria di Roche. Accrescimento wind- e Roche lobe-fed. Efficienza, limite di Eddington. Accrescimento sferico. Soluzione di Bondi-Hoyle. Dischi di accrescimento. Il modello standard (alpha-disc). Spettro di radiazione per gli alpha-disc.

Stelle di neutroni. Neutronizzazione. Configurazioni di equilibrio. Il diagramma massa-raggio. Struttura interna di una stella di neutroni. Campo magnetico e rotazione. Magnetosfera, cilindro di luce. Correnti di Goldreich-Julian. Raggio di Alfvén. Frenamento magneto-rotazionale. Evoluzione del periodo. Stima del campo magnetico e dell'età. Il diagramma P-Pdot. Raffreddamento delle stelle di neutroni. Neutrino cooling: URCA e modified URCA. Cooling radiativo. Curve di cooling.

## Modalità di esame :

Prova orale

**Criteria di valutazione :**

La prova orale  $\hat{A}$  volta ad accertare l'acquisizione delle conoscenze di base dell'astrofisica relativistica, le capacit $\hat{A}$  di ragionamento e di comprensione dello studente.

**Testi di riferimento :**

Nobili, L., *Astrofisica Relativistica*. Padova: CLEUP, 2000

Frank, J., King, A.R., Raine, D.J., *Accretion power in astrophysics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002

Rybicki, G.B., Lightman, A.P., *Radiative processes in astrophysics*. New York: Wiley, 1985

**SOLID STATE PHYSICS**

(Titolare: Prof. FRANCESCO ANCILOTTO) - Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2017)

**Periodo:** I anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**Prerequisiti :**

Conoscenze di elementi di Meccanica Quantistica di base

Conoscenze di elementi di Meccanica Statistica di base

(funzioni di distribuzioni, ensemble Canonico e gran Canonico, medie statistiche).

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Concetti fondamentali della fisica dei solidi e relazione tra le leggi microscopiche e le proprieta' misurabili sperimentalmente.

Capacita' di risolvere problemi che coinvolgono le proprieta' della materia condensata.

Capacita' di applicare a sistemi reali semplici modelli

predittivi che incorporano proprieta' della materia su scala microscopica.

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

Lezioni in aula con uso di lavagna convenzionale e proiettore per trasparenze.

Settimanalmente verranno proposti agli studenti dei

problemi inerenti argomenti trattati a lezione

nei giorni immediatamente precedenti, da risolvere

per conto proprio.

**Contenuti :**

Legami chimici nei solidi;

La struttura dei cristalli;

Reticoli di Bravais e basi;

Strutture cristalline semplici;

Reticolo reciproco;

Diffrazione da strutture periodiche e tecniche sperimentali;

Leggi di Bragg e di Laue;

Fattore di forma atomico e di struttura,

Approssimazione adiabatica;

Dinamica reticolare;

Approssimazione armonica,

Matrice Dinamica;

Fononi;

Catene lineari monoatomiche e diatomiche;

Spettroscopia dei fononi;

Propriet $\hat{A}$  termiche dei cristalli;

Calore specifico reticolare;

Effetti anarmonici: espansione termica, conducibilit $\hat{A}$  termica degli isolanti;

Elettroni "liberi";

Calore specifico elettronico;

"Screening" elettrostatico in un gas di Fermi.;

Teorema di Bloch;

Struttura a bande;

Approssimazione di elettroni "quasi liberi";

Approssimazione "tight binding";

Esempi di struttura a bande;

Fenomeni di trasporto;

Modello di Drude;

Effetto Hall nei metalli;

Modello semiclassico;

Concetto di "buca";

Conducibilit $\hat{A}$  elettrica e termica nei metalli;

Legge di Wiedemann e Franz;

Semiconduttori;

Risonanza di ciclotrone;

Portatori nei semiconduttori intrinseci ed estrinseci;

"Drogaggio" e stati di drogante;

Mobilità ;  
Conduttività elettrica nei semiconduttori;  
Effetto Hall nei semiconduttori;  
La superficie di Fermi nei metalli reali.  
La superconduttività.  
**Modalità di esame :**  
Esame orale sul programma svolto a lezione.

**Criteri di valutazione :**  
Adeguate comprensione e visione di insieme di concetti e argomenti svolti a lezione.

**Testi di riferimento :**  
N.Ashcroft e D.Mermin, "Solid State Physics". : ,  
C.Kittel, "Introduzione alla Fisica dello Stato Solido". : ,  
**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**  
Vengono fornite le fotocopie (in formato pdf) delle slides mostrate a lezione.

## STATISTICAL MECHANICS

(Titolare: Prof. ENZO ORLANDINI) - Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2017)

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

**Prerequisiti :**  
Istituzioni di Meccanica Statistica (corso tenuto al terzo anno della laurea triennale)  
Termodinamica

**Conoscenze e abilità da acquisire :**  
Dopo aver completato il corso, lo studente dovrà essere in grado di comprendere i concetti di base e le tecniche avanzate utilizzate in meccanica statistica.

In particolare lo studente dovrebbe

- 1) fornire un resoconto delle quantità rilevanti utilizzate per descrivere i sistemi macroscopici, i potenziali termodinamici e l'insieme.
- 2) Comprendere l'uso delle funzioni di partizione e la loro relazione con la termodinamica
- 3) Spiegare il concetto di transizioni di fase in modelli semplici come la fisica dei sistemi vicino ai punti critici.
- 4) Capire il ruolo della dimensione e dell'intervallo di interazione nelle transizioni di fase
- 5) Applicare la teoria dello scaling e del gruppo di rinormalizzazione
- 6) Capire la forza e la limitazione dei modelli
- 7) Mostrare una capacità analitica per risolvere problemi rilevanti per la fisica statistica

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

Il corso è organizzato in lezioni frontali i cui contenuti sono presentati alla lavagna, a volte con ausilio di immagini, schemi e video. L'insegnamento è interattivo, con domande e presentazione di casi di studio, per promuovere la discussione e la riflessione critica in aula.

**Contenuti :**  
I contenuti del programma, in sintesi, possono essere così divisi

Termodinamica delle transizioni di fase.  
Punti critici, parametro d'ordine ed esponenti critici.  
Transizioni di fase e rottura spontanea di simmetria.  
Argomenti entropia-energia e definizione di dimensione critica inferiore.  
Modello di Ising.  
Tecnica di risoluzione esatta per modelli unidimensionali: matrice di trasferimento. Approssimazione di campo medio, principio variazionale.  
Formulazione funzionale del problema delle transizioni di fase e approssimazione di Landau.  
Funzioni di correlazione e funzioni di risposta. Scattering e funzioni di correlazione. Singolarità critiche.  
Relazioni di scala fra esponenti critici.  
Omogeneità e scaling di Kadanoff.  
Gruppo di rinormalizzazione nello spazio reale. Universality.  
Rottura spontanea di simmetria per simmetrie continue e teorema di Goldstone.

Notare che alcuni argomenti possono variare di anno in anno

**Modalità di esame :**

La verifica delle conoscenze acquisite avviene attraverso una prova comune scritta con 1-2 esercizi da risolvere e 1-2 domande aperte su concetti di base. Queste ultime sono volte ad evidenziare le conoscenze, il lessico scientifico, la capacità di sintesi e di discussione critica acquisite durante il corso. La seconda parte dell'esame sarà invece orale e sarà basata su una discussione sui vari temi trattati e discussi a lezione.

**Criteri di valutazione :**  
I criteri con cui verrà effettuata la verifica delle conoscenze e abilità acquisite sono:

- 1) comprensione degli argomenti trattati;
- 2) capacità critica di collegamento delle conoscenze acquisite;
- 3) completezza delle conoscenze acquisite;
- 4) capacità di sintesi;
- 5) proprietà delle terminologia utilizzata
- 6) capacità di utilizzo delle metodologie e tecniche analitiche illustrate durante il corso per risolvere o almeno impostare problemi dove la meccanica statistica svolge un ruolo importante.

**Testi di riferimento :**

K. Huang, *Meccanica Statistica*. : Zanichelli,  
 L. Peliti, *Statistical Mechanics in a Nutshell*. : Princeton,  
 J. Yeomans, *Statistical mechanics of Phase transitions*. Oxford: Oxford University Press, 1992

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Tutto il materiale didattico utilizzato per le lezioni frontali (lezioni alla lavagna, articoli su casi di studio, review di aggiornamento rispetto ai contenuti dei testi consigliati) è reso disponibile agli studenti in formato pdf nella piattaforma e-learning: <https://elearning.unipd.it/>

## STATISTICAL MECHANICS OF COMPLEX SYSTEMS

(Titolare: Dott. SAMIR SIMON SUWEIS)

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

**Prerequisiti :**

Processi stocastici: moto browniano, equazione di Langevin, equazioni Master e di Fokker-Planck. Termodinamica delle transizioni di fase.

Punti critici, parametro d'ordine ed esponenti critici. Scaling di taglia finita

Modello di Ising e teorie di campo medio.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Dopo aver completato il corso lo studente dovrebbe essere in grado di comprendere e spiegare i concetti di base e l'uso di tecniche avanzate nella meccanica statistica dei sistemi complessi.

In particolare, lo studente dovrà

- 1) Acquisire la capacità di costruire un modello teorico fenomenologico appropriato basato sui dati disponibili di un certo sistema
- 2) Fornire un resoconto delle quantità rilevanti e necessarie per descrivere il sistema (uso del modello null).
- 3) Comprendere l'uso delle funzioni di generatrici.
- 4) Spiegare il concetto di transizioni di fase in modelli di particelle interagenti fuori dall'equilibrio, nonché la fisica in corrispondenza o in prossimità di punti critici.
- 5) Comprendere la forza e la limitazione di tali modelli
- 6) Mostrare una capacità analitica per risolvere problemi relativi a sistemi complessi

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

Il corso è organizzato in lezioni il cui contenuto è presentato alla lavagna, a volte con l'aiuto di immagini, diagrammi e video.

L'insegnamento è interattivo, con domande e presentazione di casi studio, al fine di promuovere la discussione e il pensiero critico in classe.

**Contenuti :**

Il programma può essere riassunto come segue

Reti complesse: misure statistiche di base e avanzate. Reti reali e loro proprietà.

Modelli null e grafici random. Formalismo delle funzioni generatrici.

Dimensione del cluster e percolazione sulle reti; transizioni di fase.

Dinamica di delle e sulle reti.

Modelli di particelle interagenti: modello degli elettori e processo di contatto.

Algoritmo Gillespie, Equazioni Master e campo medio.

Applicazione all'ecologia, all'epidemiologia e neuroscienze.

Alcune argomenti potrebbero variare, in base alla composizione e background della classe.

**Modalità di esame :**

La prima parte della verifica delle conoscenze acquisite verrà valutata attraverso esercizi a casa (da fare in gruppo) e la partecipazione degli studenti alle discussioni di classe. La seconda parte verrà condotta attraverso, una prova scritta comune con 1-2 esercizi da risolvere e domande aperte per testare le conoscenze sui concetti di base, il vocabolario scientifico, la capacità di sintesi e discussione critica acquisita durante il corso. La terza fase facoltativa dell'esame sarà orale e si baserà su una discussione sui vari argomenti discussi durante il corso.

**Criteri di valutazione :**

I criteri utilizzati per verificare le conoscenze e le competenze acquisite sono:

- 1) comprensione degli argomenti trattati;
- 2) capacità critica di collegare le conoscenze acquisite;
- 3) completezza delle conoscenze acquisite;
- 4) capacità di sintesi;
- 5) comprensione della terminologia utilizzata
- 6) capacità di utilizzare le metodologie analitiche e le tecniche computazionali illustrate durante il corso per risolvere o almeno affrontare i problemi fissati su sistemi complessi in cui la meccanica statistica svolge un ruolo importante.

**Testi di riferimento :**

Krapivsky, Pavel L.; Redner, Sidney, <<A >>kinetic view of statistical physics Pavel L. Krapivsky, Sidney Redner, Eli Ben-Naim. Cambridge: University press, 0

Newman, Mark E. J., *Networks an introduction* M. E. J. Newman. Oxford: New York, Oxford University Press, 2010

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

Oltre ad alcuni libri suggeriti, i materiali (note e articoli pubblicati) saranno messi a disposizione agli studenti su Moodle.

## **STRUCTURE OF MATTER**

(Titolare: Prof. LUCA SALASNICH) - Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2017)

**Periodo:** I anno, 2 semestre  
**Indirizzo formativo:** Corsi comuni  
**Tipologie didattiche:** 40A+8E; 6,00 CFU

### **Prerequisiti :**

I corsi della laurea triennale in Fisica.

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

Seconda quantizzazione del campo elettromagnetico. Transizioni elettromagnetiche. Equazioni d'onda relativistiche e lo spin dell'elettrone. Sistemi quantistici a molti corpi interagenti. Seconda quantizzazione del campo di materia non relativistico.

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

36 ore di lezioni teoriche e 12 ore di esercizi.

### **Contenuti :**

1. Seconda quantizzazione del campo elettromagnetico. Proprietà del campo elettromagnetico classico nel vuoto. Gauge di Coulomb. Espansione in onde piane del potenziale vettore. Oscillatori quantistici e quantizzazione del campo elettromagnetico. Stati di Fock e stati coerenti del campo elettromagnetico. Energia di punto zero ed effetto Casimir. Campo elettromagnetico a temperatura finita.

2. Transizioni elettromagnetiche. L'atomo in presenza del campo elettromagnetico. La regola d'oro di Fermi. Approssimazione di dipolo. Assorbimento ed emissione spontanea e stimolata della radiazione: i coefficienti di Einstein. Regole di selezione. Tempi di vita degli stati atomici e larghezza di riga. Inversione di popolazione e luce laser.

3. Sistemi quantistici a molti corpi. Particelle identiche. Bosoni e condensazione di Bose-Einstein. Fermioni e principio di esclusione di Pauli. Approssimazioni di Hartree per i bosoni e l'equazione di Gross-Pitaevskii. Approssimazione di Hartree-Fock per i fermioni. Teoria del funzionale densità: teoremi di Hoernberg-Kohn, funzionale densità di Thomas-Fermi-Dirac-Von Weizsacker e funzionale densità di Kohn-Sham.

4. Lo spin dell'elettrone. Equazioni di Klein-Gordon e Dirac. L'equazione di Pauli e lo spin. Equazione di Dirac con un potenziale centrale. Atomo di idrogeno relativistico e struttura fine.

5. Seconda quantizzazione del campo di Schrodinger. Operatori di campo bosonici e fermionici. Stati di Fock e stati coerenti del campo bosonico di Schrodinger. Campo di Schrodinger a temperatura finita per bosoni e fermioni. Campo di materia per bosoni e fermioni interagenti. Bosoni in doppia buca di potenziale e modello di Bose-Hubbard a due siti.

### **Modalità di esame :**

Esame orale di circa 30 minuti.

### **Criteri di valutazione :**

Conoscenze acquisite e capacità espositiva.

### **Testi di riferimento :**

L. Salasnich, Quantum Physics of Light and Matter. Photons, Atoms and Strongly-Correlated Systems.. Berlin: Springer, 2016

B.H. Bransden and C.J. Joachain, Physics of Atoms and Molecules. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003

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

Libro scritto dal docente.

## **SUBNUCLEAR PHYSICS**

(Titolare: Prof. FRANCO SIMONETTO) - Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2017)

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

### **Prerequisiti :**

Istituzioni di fisica nucleare e subnucleare, istituzioni di meccanica quantistica, dinamica relativistica, teoria quantistica dei campi, grafici di Feynman, interazione radiazione materia

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

Fondamenti e metodologie sperimentali per lo studio della Fisica Subnucleare. Fenomenologia del Modello Standard: interazioni forti, elettromagnetiche, deboli, organizzazione delle particelle elementari, spettroscopia adronica. Capacità di stimare, almeno per ordini di grandezza, le frequenze e le sezioni d'urto dei processi di maggiore interesse. Stato dell'arte e prospettive.

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

Lezioni frontali alla lavagna. Esercizi numerici. Lezioni con proiettore.

### **Contenuti :**

Richiami dei concetti fondamentali : classificazione delle particelle elementari sulla base dei numeri quantici dettati da simmetrie e leggi di conservazione. Vita media. Risonanze e distribuzione di Breit Wigner.

QED, richiami di teoria, processi a livello albero e ordini superiori. Running coupling constant. Verifiche sperimentali: successi e problemi.

Interazioni deboli di leptoni e quark. Costante di Fermi ( $G_f$ ), bosoni intermedi massivi, relazione tra  $G_f$  e MW. Decadimenti del muone e del tau: universalità leptonica. Violazione di P e C nei processi deboli. Altri decadimenti deboli: beta decay di nuclei, barioni e mesoni: soppressione "per elicità". Interazioni di neutrini. Rottura spontanea di simmetria e bosone di Higgs. Misure a LEP e a LHC. Stato e prospettive

QCD. Struttura degli adroni. Annichilazione ee in adroni. Deep inelastic scattering e funzioni di struttura.

Fisica del sapore adronico: cenni sulla matrice CKM. Oscillazioni di sapore e violazione di CP. Stato e prospettive.

**Modalità di esame :**

Esame scritto: soluzione di esercizi numerici, domande a risposta multipla, discussione su temi aperti; esame orale: a scelta interrogazione aperta sull'intero programma svolto, oppure discussione specifica su di un articolo pertinente scelto dallo studente tra quelli proposti a lezione.

**Criteri di valutazione :**

scritto : 10 punti (minimo 5) ; orale 20 punti (minimo 10) ; minimo complessivo 18.

**Testi di riferimento :**

Halzen, Francis; Martin, Alan Douglas, Quarks and leptons an introductory course in modern particle physics Francis Halzen, Alan D. Martin. New York [etc.]: J. Wiley, 0

Perkins, Donald H., Introduction to high energy physics Donald H. Perkins. Menlo Park: CA [etc.], Addison-Wesley, 0

Bettini, Alessandro, Introduction to elementary particle physics Alessandro Bettini. Cambridge: Cambridge University Press, 2014

De\_Angelis, Alessandro; Pimenta, Mário João Martins, Introduction to particle and astroparticle physics questions to the Universe Alessandro De Angelis, Mário João Martins Pimenta. Milan [etc.]: Springer, 2015

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Appunti dalle lezioni, libri di testo. Si potranno scaricare da moodle copie delle diapositive mostrate.

## THE PHYSICAL UNIVERSE

(Titolare: Prof. SABINO MATARRESE) - Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2017)

**Periodo:** I anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

**Prerequisiti :**

Si richiede la conoscenza dei concetti fondamentali di meccanica quantistica e di relatività ristretta.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

La capacità di affrontare una classe di fenomeni fisici e astronomici la cui comprensione richiede un approccio basato su strumenti largamente interdisciplinari.

La capacità di passare dalla formulazione astratta di alcuni principi fisici acquisiti nei corsi fondamentali del triennio e di strumenti matematici alla loro applicazione in un contesto per molti aspetti diverso da quello dei corsi di base.

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

Lezioni frontali.

**Contenuti :**

Concetti di base della Cosmologia

• Componenti principali dell'Universo. Evidenza osservativa della presenza di materia oscura ed energia oscura.

• Universo in espansione e Principio Cosmologico.

• Elemento di linea di Robertson-Walker. Proprietà geometriche.

• Costante di Hubble e parametro di decelerazione.

• Definizioni di distanza in Cosmologia; redshift e legge di Hubble.

• Deduzione Newtoniana delle equazioni di Friedmann.

• Modelli di Friedmann.

• La costante cosmologica: soluzione statica di Einstein e modello di de Sitter.

• Soluzioni per il caso piatto e per Universi con curvatura non nulla.

### Storia termica e Universo primordiale

• Densità numerica, densità di energia e pressione per un sistema di particelle in equilibrio termodinamico.

• Conservazione dell'entropia in un volume comovente.

• Relazione temperatura-tempo in epoche primordiali.

• Problemi del modello standard: orizzonte, piattezza, etc..

• "Inflazione" nell'Universo primordiale. Soluzione del problema dell'orizzonte e della piattezza.

• Asimmetria barionica. Bariogenesi (cenni).

• La ricombinazione dell'idrogeno: equazione di Saha. Disaccoppiamento della radiazione. Radiazione Cosmica alle Microonde.

• Definizione generale di "disaccoppiamento".

### Materia oscura: proprietà generali

• Equazione di Boltzmann in cosmologia e relitti cosmici.

• Materia oscura calda e fredda: definizione, calcolo dell'abbondanza attuale e proprietà generali in cosmologia.

### Elementi di astrofisica stellare

• Nucleosintesi primordiale degli elementi leggeri.

• Contrazione gravitazionale e condizioni per l'equilibrio idrostatico

• Indice adiabatico ed equilibrio.

• Condizioni per il collasso gravitazionale

• Teoria di Jeans dell'instabilità gravitazionale

• Teoria lineare delle perturbazioni nell'Universo in espansione (cenni)

• Collasso sferico di una protostruttura cosmica.

• La funzione di massa delle strutture cosmiche: teoria di Press & Schechter.

• Contrazione di una protostella

• Formazione stellare e gas degenere di elettroni.

â€¢ Il Sole: propriet  generali, diffusione radiativa, fusione termonucleare.

â€¢ Nucleosintesi stellare

â€¢ Cicli stellari.

\* Elementi di struttura stellare. Massa minima e massima per una stella.

â€¢ Fasi finali dell'evoluzione stellare: nane bianche, stelle di neutroni, buchi neri.

â€¢ Diagramma di Hertzsprung-Russell.

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

Esame orale.

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

L'esame orale mira a sondare la capacita' dello studente di elaborare in modo autonomo le varie problematiche affrontate nel corso, partendo da alcuni concetti fondamentali.

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

Kolb, E.W. and Turner, M.S., *The Early Universe*. Redwood City,: Addison-Wesley, 1990

Coles, P. and Lucchin, F., *Cosmology, The Origin and Evolution of Cosmic Structure*. Chichester: Wiley and Sons., 2002

Phillips, A.C., *The Physics of Stars*. Chichester: Wiley and Sons., 1994

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

Le parti rilevanti per il corso dei testi di riferimento verranno indicate a lezione (e sono deducibili dagli argomenti del programma).

Saranno anche forniti appunti del docente su molti argomenti.

## **THEORETICAL PHYSICS OF THE FUNDAMENTAL INTERACTIONS**

(Titolare: Prof. PIERPAOLO MASTROLIA) - Mutuato da: Laurea magistrale in Physics (Ord. 2017)

**Periodo:** I anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

#### **Prerequisiti :**

Il corso richiede una conoscenza di base in fisica teorica e teoria quantistica dei campi, per campi liberi.

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

Come interagiscono le particelle.

Diagrammi di Feynman, Ampiezze e Sezioni d'urto.

Elettrodinamica quantistica.

Principi di Correzioni Radiative e Rinormalizzazione.

Teorie di gauge Abelian e non-Abelian.

Cromodinamica quantistica.

Unificazione Elettrodebole.

Meccanismo di Higgs e Modello Standard.

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

Lezioni frontali ed esercizi

#### **Contenuti :**

Programma:

##### 1. Elettrodinamica Quantistica.

Regole di Feynman e processi di scattering a livello di albero: diffusione di Rutherford, diffusione di Compton, Bhabha scattering, Bremsstrahlung.

##### 2. Fondamenti di Correzioni radiative e Rinormalizzazione.

##### 3. Teorie di gauge non-Abelian: derivate covarianti e campi di gauge, termini cinetici per i campi di gauge e autointerazione.

##### 4. La teoria di gauge SU(3) e la Cromodinamica Quantistica.

L'algebra del "colore".

Regole di Feynman ed ampiezze di scattering per gluoni e quarks ad ordine albero.

##### 5. Introduzione all'interazione Debole.

Teoria di Fermi: regole di Feynman e decadimento del muone.

La teoria di gauge SU(2) x U(1) e l'unificazione elettrodebole.

##### 6. Rottura spontanea di una simmetria: rotture di una simmetria discreta; rottura di una simmetria U(1) globale; teorema di Goldstone; il meccanismo di Higgs.

##### 7. Rottura spontanea della simmetria elettrodebole e doppietto di Higgs.

##### 8. La Lagrangiana del Modello Standard.

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

Prova scritta e prova orale

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

Il superamento della prova scritta e' necessario per l'ammissione alla prova orale.

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

M.D. Schwartz, *Quantum Field Theory and the Standard Model*. : Cambridge University Press, 2014

M.E. Peskin, D.V. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory*. : Addison-Wesley Publishing Company,

F. Mandl and G. Shaw, *Quantum Field Theory*. : Wiley,



