



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**SCUOLA DI SCIENZE**

**Bollettino Notiziario**

Anno Accademico 2014/2015

**Laurea magistrale in Fisica (Ord. 2010)**

---

# Curriculum: Corsi comuni

---

## COSMOLOGIA

(Titolare: Prof. SABINO MATARRESE)

**Periodo:** Il anno, 1 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  $\tilde{I}$

• 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  $\hat{l}$

• 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

### 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.

# COSMOLOGIA DELL'UNIVERSO PRIMORDIALE

---

(Titolare: Prof. NICOLA BARTOLO)

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

**Prerequisiti :**

Istituzioni di Astrofisica e Cosmologia

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Scopo del corso e' quello di offrire allo studente gli strumenti necessari per comprendere e analizzare i principali aspetti che riguardano la fisica dell'universo primordiale, sia da un punto di vista modellistico che osservativo.

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

Lezioni frontali con proposte di esercizi ed esempi

**Contenuti :**

Introduzione generale. Il problema delle condizioni iniziali: perturbazioni di densita' primordiali all'origine della formazione delle strutture dell'universo su grande scala

- Brevi richiami ai principali problemi del modello cosmologico standard
- Cosmologia inflazionaria nell'universo primordiale come soluzione ai problemi del modello standard

**Modellistica:**

- Modelli inflazionari: energia del vuoto e l'inflatone; dinamica di un campo scalare in un universo di Friedmann-Robertson-Walker; possibili realizzazioni dello scenario inflazionario
- Modelli inflazionari nell'ambito di fisica delle particelle delle alte energie
- Predizioni osservative dei modelli inflazionari: dalle perturbazioni quantistiche in un universo in espansione alle prime perturbazioni di densita' primordiali; onde gravitazionali primordiali
- Fase di reheating e meccanismi di bariogenesi

**Perturbazioni cosmologiche in relativita' generale**

- perturbazioni scalari, vettoriali e tensoriali
- trasformazioni di gauge
- equazioni di Einstein perturbate linearmente attorno alla metrica di Robertson-Walker

**Test osservativi dell'universo primordiale**

**Modalita' di esame :**

Esame orale

**Criteri di valutazione :**

Apprendimento dei contenuti base del corso, capacita' dello studente di elaborare in modo autonomo i concetti acquisiti, capacita' di ragionamento e di applicazione degli strumenti forniti dal corso.

**Testi di riferimento :**

Andrew R Liddle and David H Lyth, *The Primordial Density Perturbation.* : Cambridge University Press, 2009

Andrew R Liddle and David H Lyth, *Cosmological Inflation and Large-Scale Structure.* : Cambridge University Press, 2000

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

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Le parti rilevanti del corso saranno individuate nei testi di riferimento e per alcune parti del corso saranno a disposizione degli appunti del docente.

---

# FISICA ASTROPARTICELLARE

(Titolare: Prof. PARIDE PARADISI)

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

**Prerequisiti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

CONTENUTO NON PRESENTE

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

CONTENUTO NON PRESENTE

**Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Modalita' di esame :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Criteri di valutazione :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

CONTENUTO NON PRESENTE

# FISICA DEI FLUIDI E DEI PLASMI

(Titolare: Dott. TOMMASO BOLZONELLA)

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

## **Prerequisiti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

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

CONTENUTO NON PRESENTE

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

CONTENUTO NON PRESENTE

## **Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## **Modalità di esame :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## **Criteri di valutazione :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## **Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

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

CONTENUTO NON PRESENTE

# FISICA DEI SEMICONDUTTORI

(Titolare: Prof. DAVIDE DE SALVADOR) - Mutuato da:

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

## **Prerequisiti :**

Conoscenza di base della fisica quantistica e dello stato solido.

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

Conoscenze: principi fisici alla base del comportamento dei materiali semiconduttori. L'obiettivo del corso Ã" fornire i concetti di base che permettano allo studente di comprendere il principio di funzionamento di un semplice dispositivo a semiconduttore. Dopo una prima parte in cui vengono introdotti i principi fisici, verranno descritti i principali dispositivi e alcuni processi fisici che servono a fabbricarli. Lo studente alla fine del corso dovrebbe avere l'abilitÃ di prevedere quale struttura a bande assume un semplice sistema che contenga metalli, isolanti e semiconduttori drogati e di comprendere la spiegazione di come tale struttura si comporta in presenza di sollecitazioni esterne (campi, illuminazione....).

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

Lezione frontale con esposizione delle teorie di base e dei principi di funzionamento dei dispositivi. Esempi di approfondimento che permettano di applicare le teorie esposte e di quantificare gli ordini di grandezza dei parametri fisici coinvolti. Richiamo alle attivitÃ di laboratorio parallelamente svolte nel corso di metodi fisici di caratterizzazione dei materiali e loro connessione con la teoria.

## **Contenuti :**

Richiamo della struttura cristallina dei principali semiconduttori. Semiconduttori elementari, composti e leghe.

Richiamo di concetti di base (teorema di Bloch, massa efficace, concetto di buca).

Origine e specificitÃ della struttura a bande dei semiconduttori. Metodo tight binding per il calcolo approssimato delle bande in un semiconduttore a struttura diamante. Le bande reali (esempi GaAs, Si, Ge, AlGaAs).

Il metodo della funzione involuppo per il calcolo degli stati quantistici provenienti da potenziali aperiodici.

Il meccanismo di drogaggio. I portatori in un semiconduttore omogeneo in funzione di drogaggio e temperatura (semic. non degenerare, intrinseco, ionizzato, non ionizzato, in saturazione). La compensazione da livello profondo.

Il semiconduttore non omogeneo all'equilibrio. Il caso della giunzione p-n.

Trasporto di carica nei semiconduttori. Dall'equazione di Boltzmann all'equazione di drift-diffusione. Fenomeni di scattering intrabanda e mobilità in un semiconduttore.

I meccanismi di generazione e ricombinazione in un semiconduttore.

L'equazione di continuitÃ. Il caso della giunzione p-n fuori equilibrio.

Le eterogiunzioni le giunzioni metallo/semiconduttore, metallo/ossido/semiconduttore.

Il confinamento quantistico nei semiconduttori, quantum well, quantum wire, quantum dot.

LED, fotodetector. Celle fotovoltaiche. Diverse architetture e materiali per il fotovoltaico. Efficienza. Meccanismi di perdita di efficienza.

Celle a film sottile.

Tecnologie produttive. Transistor bipolare e FET. Struttura MOS.

Tecniche per il drogaggio. Impianto ionico. Diffusione e difetti.

Isolanti, ossidazione termica.

Legge di Moore e riscaldamento. Problematiche e nuovi materiali.

## **Modalità di esame :**

Esame orale. Durante il semestre sarÃ possibile (a discrezione dello studente) sostenere una verifica intermedia orale sulla prima parte del corso riguardante i principi fisici e sostenere alla fine una seconda parte riguardante i dispositivi e i processi.

## **Criteri di valutazione :**

Verranno valutate:

- la capacitÃ di esporre una o piÃ delle teorie di base che spiegano il comportamento fisico dei semiconduttori.

- la comprensione del principio di funzionamento di uno o piÃ dispositivi a semiconduttore spiegati nel corso.

- la capacità di comprendere la struttura a bande e il comportamento elettrico di una semplice struttura contenente semiconduttori drogati, metalli e isolanti.

**Testi di riferimento :**

Sapoval, *Physics of semiconductors.* : Springer Verlag,

Singh, *Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures.* : Cambridge,

Meyer, *Electronic thin film science for Electrical Engineers and Materials Scientists.* : Macmillan Publishing Company,

## FISICA DEI SISTEMI COMPLESSI

(Titolare: Prof. ATTILIO STELLA)

**Periodo:** Il anno, 1 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

**Prerequisiti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

CONTENUTO NON PRESENTE

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

CONTENUTO NON PRESENTE

**Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Modalità di esame :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Criteri di valutazione :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## FISICA DELLA FUSIONE NUCLEARE ED APPLICAZIONE DEI PLASMI

(Titolare: Dott. EMILIO MARTINES)

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

**Prerequisiti :**

Conoscenze di base di elettromagnetismo. Una conoscenza delle diverse descrizioni di un plasma (cinetica, a due fluidi, magnetoidrodinamica) è utile ma non necessaria, in quanto verranno forniti dei richiami durante il corso.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

La prima parte del corso si propone di fornire una panoramica delle tematiche relative al possibile utilizzo della fusione termonucleare controllata come fonte di energia. La trattazione sarà focalizzata sul metodo del "confinamento magnetico", che è quello utilizzato nell'ambito del Programma Fusione Europeo. Nella seconda parte verranno fornite alcune nozioni sui plasmi di bassa temperatura utilizzati nelle applicazioni industriali, e verranno illustrate alcune di tali applicazioni.

**Contenuti :**

Prima parte: Breve panoramica sulle fonti di energia e sul loro impatto ambientale. La fusione nucleare: principali processi, sezioni d'urto, reattività. Bilancio energetico di un reattore a fusione, break-even, ignizione. Confinamento magnetico e confinamento inerziale. Configurazioni toroidali per il confinamento magnetico. Il tokamak. Schema concettuale del reattore. Equilibrio MHD in geometria cilindrica, z-pinch, screw-pinch. Equilibrio MHD in geometria toroidale, funzioni di flusso, equazione di Grad-Shafranov. Fattore di sicurezza, beta toroidale e poloidale. Limiti operativi del tokamak: diagramma di Hugill, limite di Greenwald, limite di beta. Leggi di scala del tempo di confinamento, modo L e modo H. Riscaldamento del plasma: ohmico, con fasci di neutri, con radiofrequenza. Regione esterna del plasma, concetti di limiter e divertore. Analogia formale fra traiettorie delle linee di campo magnetico e traiettorie di un sistema Hamiltoniano. Configurazioni toroidali alternative: stellarator e RFP. Stato della ricerca sulla fusione: il progetto ITER. Sicurezza e impatto ambientale del reattore a fusione. Rischi di proliferazione.

Seconda parte: Introduzione alle applicazioni dei plasmi. Metodologie di formazione di un plasma. Modello del diodo piano, legge di Child-Langmuir. Strato di Debye, criterio di Bohm, potenziale flottante. Sonda di Langmuir e suo utilizzo per la misura delle proprietà del plasma. Sonda doppia e sonda tripla. Scariche a radiofrequenza, accoppiamento induttivo e capacitivo. Scariche a microonde. Cenni sui plasmi a pressione atmosferica. Applicazioni: deposizione di film sottili, sterilizzazioni di superfici, propulsori al plasma per applicazioni spaziali.

**Modalità di esame :**

Esame orale

**Testi di riferimento :**

J. Wesson, *Tokamaks.* : Clarendon Press, 2004

J. R. Roth, *Industrial Plasma Engineering*, vol. 1. : IOP Publishing, 1995

M. A. Lieberman, A. J. Lichtenberg, *Principles of plasma discharges and materials processing.* : J. Wiley & Sons, 1994

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Verranno fornite delle dispense relative all'intero contenuto del corso.

# FISICA SUBNUCLEARE

(Titolare: Prof. RICCARDO BRUGNERA)

**Periodo:** Il anno, 1 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

## Prerequisiti :

Lo studente deve in precedenza aver seguito il corso di Istituzioni di Fisica Subnucleare (informazioni di base sulla Fisica Subnucleare) e il corso di Fisica Teorica (seconda quantizzazione, QED).

## Conoscenze e abilità da acquisire :

Il corso, partendo dai contenuti acquisiti nel corso di Istituzioni di Fisica Subnucleare, fornisce, con un approccio principalmente sperimentale, informazioni fondamentali su alcuni aspetti importanti del Modello Standard (Cromodinamica, Teoria Elettrodebole, Fisica dei sapori e delle oscillazioni). Lo studente avrà alla fine del corso una panoramica abbastanza attuale dello stato della fisica subnucleare. Lo studente dovrebbe essere in grado di valutare criticamente i risultati ottenuti dagli esperimenti di Fisica delle Alte Energie.

## Attività di apprendimento previste e metodologie di insegnamento :

Il corso si sviluppa attraverso lezioni di tipo frontale con l'utilizzo di slides.

## Contenuti :

Cromodinamica quantistica

Lagrangiana di QCD, Cenni alle eq. del gruppo di rinormalizzazione,  $\alpha_s$  come running coupling constant. Equazioni di Dokshitzer-Gribov-Altarelli-Parisi. Funzioni di struttura. Processi di adronizzazione.

Teoria elettrodebole

Modello  $SU(2) \times U(1)$ , correzioni radiative, fisica della Z, interferenza e asimmetrie a LEP, fisica a LEP II  
Modello di Goldstone, meccanismo di Higgs, fenomenologia dell'Higgs, ricerche del bosone di Higgs.  
Fisica ai colliders adronici: ricerca e proprietà del quark top e dei bosoni vettori.

Matrice CKM

Gerarchia dei parametri, parametrizzazione originale e sviluppo di Wolfenstein. Triangolo di Unitarietà'. Esempi di misura di alcuni elementi della matrice.

Violazione di CP e oscillazione di particelle

Gli stati del sistema K neutro

Oscillazioni di stranezza

Rigenerazione

La violazione di CP

Oscillazioni e violazione di CP nel sistema B neutro

Violazione di CP nei decadimenti mesonici

Oscillazioni dei neutrini: oscillazioni tra due sapori, oscillazioni tra tre sapori, oscillazioni dei neutrini nella materia.

Neutrini dal sole e studi delle oscillazioni. Oscillazioni dei neutrini atmosferici ed esperimenti. Oscillazioni dei neutrini atmosferici ed esperimenti. Esperimenti long-baseline. Conseguenze delle oscillazioni dei neutrini.

## Modalità di esame :

Orale

## Criteri di valutazione :

La verifica consiste in un colloquio volto ad accertare il livello di apprendimento dei concetti e delle problematiche più importanti sviluppate durante le lezioni.

## Testi di riferimento :

C. Giunti and C.W. Kim, *Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics*. : Oxford University Press, 2007

R.K. Ellis, W.J. Stirling and B.R. Webber, *QCD and Collider Physics*. : Cambridge University Press, 1996

R. Devenish and A. Cooper-Sarkar, *Deep Inelastic Scattering*. : Oxford University Press, 2004

F. Halzen and A.D. Martin, *Quarks & Leptons*. : John Wiley & Sons, 1984

W.E. Burcham and M. Jones, *Nuclear and Particle Physics*. : Lonman Scientific & Technical, 1995

A. Bettini, *Elementary Particle Physics*. : Cambridge University Press, 2008

## Eventuali indicazioni sui materiali di studio :

Durante il corso verranno forniti agli studenti ulteriori informazioni bibliografiche su specifici argomenti.

# MICROSCOPIA OTTICA

(Titolare: Dott. STEFANO BONORA)

**Periodo:** Il anno, 1 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

**Prerequisiti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

CONTENUTO NON PRESENTE

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

CONTENUTO NON PRESENTE

**Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Modalita' di esame :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Criteri di valutazione :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## PROVA FINALE

---

*(Titolare: da definire)***Periodo:** Il anno, 2 semestre**Indirizzo formativo:** Corsi comuni**Tipologie didattiche:** ; 42,00 CFU**Prerequisiti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

CONTENUTO NON PRESENTE

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

CONTENUTO NON PRESENTE

**Contenuti :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Modalita' di esame :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Criteri di valutazione :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

CONTENUTO NON PRESENTE

## TEORIA DEI CAMPI 2

---

*(Titolare: Prof. KURT LECHNER)***Periodo:** Il anno, 1 semestre**Indirizzo formativo:** Corsi comuni**Tipologie didattiche:** 48A; 6,00 CFU**Prerequisiti :**

Si presuppone che lo studente possieda conoscenze adeguate del metodo della quantizzazione canonica in teoria dei campi e in particolare in Elettrodinamica Quantistica, abbia nozioni elementari del formalismo dell'integrale funzionale e conosca la tecnica dei grafici di Feynman.

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

Il corso si propone di fornire agli studenti una buona conoscenza delle teorie quantistiche relativistiche di campo, formulate in termini dell'integrale funzionale, proposte come teorie descriventi le interazioni fondamentali a livello microscopico. Argomento centrale del corso e' la quantizzazione delle teorie di gauge non abeliane e la loro rinormalizzazione perturbativa. Scopo del corso e', da una parte, fornire agli studenti i mezzi operativo-computazionali per eseguire un'analisi quantitativa di una generica teoria di campo quantistica e confrontare le sue previsioni con i fenomeni fisici e, dall'altra, insegnargli di analizzare le proprieta' di consistenza interna della teoria. In particolare lo studente dovrebbe sviluppare la capacita' di distinguere gli aspetti perturbativi da quelli non perturbativi di una teoria di campo.

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

Lezioni frontali. Una parte del corso e' dedicata alla soluzione di problemi concreti in applicazione degli insegnamenti teorici forniti.

**Contenuti :**

- 1) INTRODUZIONE ALLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE. Aspetti perturbativi e assiomatici.
- 2) INTERAZIONI QUANTISTICAMENTE CONSISTENTI. Teorema di Coleman-Mandula. Caratteristiche delle interazioni al variare dello spin. Dualita' tra assione e campo scalare.
- 3) TEORIE DI CAMPO CLASSICHE. Azioni ed equazioni del moto. Universalita' degli accoppiamenti consistenti. Accoppiamenti chirali e di Yukawa. Simmetrie globali e teorema di Noether. Teorie con invarianze locali abeliane e non abeliane. Connessione e curvatura di Yang-Mills (YM). Derivata covariante. Correnti covarianti e correnti conservate. Autointerazione dei campi di YM. Carica di colore.
- 4) INTEGRALE FUNZIONALE. Funzionali generatori delle funzioni di Green. Generatore delle funzioni 1PI. Spazio euclideo e analiticita'. Metodo dei campi di background. Simmetrie lineari classiche e loro implementazione quantistica. Applicazioni alla QED.

Determinanti di campi commutanti e anticommutanti. Potenziale effettivo di Coleman-Weinberg e rottura radiativa di simmetria.

Derivazione delle Regole di Feynman per una generica teoria locale. Esempio della QED scalare.

5) METODO PERTURBATIVO E RINORMALIZZABILITA'. Richiami di regolarizzazione dimensionale e del metodo dei parametri di Feynman. Correzioni a piu' loop. Localita' delle divergenze ultraviolette. Rinormalizzabilita' perturbativa in diverse dimensioni.

6) TEORIA LAMBDA PHI ALLA TERZA IN  $D = 6$  COME LABORATORIO. Rinormalizzazione esplicita a una loop. Propagatore esatto a una loop. Controtermini. Funzione beta e dimensione anomala. Liberta' asintotica e trasmutazione dimensionale. Rinormalizzazione a due loop. Divergenze annidate e divergenze sovrapposte. Cancellazione delle divergenze non-locali.

7) QUANTIZZAZIONE DELLE TEORIE DI YM. Il problema della quantizzazione perturbativa dei campi di YM. Metodo di Faddeev-Popov e campi di ghost. Indipendenza dalla condizione di gauge-fixing. Invarianza di BRST e spazio fisico. Identita' di Slavnov-Taylor e identita' di Ward.

8) ANALISI PERTURBATIVA DELLE TEORIE DI YM. Regole di Feynman. Rinormalizzabilita'. Determinazione esplicita dei controtermini divergenti a una loop e relazioni fra loro. Il ruolo dei ghost. Funzioni beta e liberta' asintotica. La scala Lambda della QCD. Finitezza della teoria di YM supersimmetrica  $N=4$ .

9) ANOMALIE. Simmetrie chirali classiche e quantistiche. Calcolo esplicito dell'azione di Schwinger chirale in due dimensioni. Anomalie ABJ, grafici triangolari ed estensione a dimensioni arbitrarie. Metodo del vertice anomalo. Teorema di Adler-Bardeen. Cancellazione delle anomalie nel modello standard. Teorema dell'indice.

10) ISTANTONI. Soluzioni semiclassiche non perturbative in teoria di campo. Configurazioni istantoniche. Vuoti theta. Il problema della simmetria  $U(1)$ . Loop di Wilson.

11) DEEP INELASTIC SCATTERING. Struttura interna degli adroni e quarks. Urti a grandi momenti trasferiti. Fattori di forma. Rinormalizzazione di operatori composti. Scaling di Bjorken.

12) TEORIA ASSIOMATICA. Funzioni di Wightman e funzioni di Schwinger. Teorema di ricostruzione. Trivialita' della teoria lambda phi alla quarta. Divergenze infrarosse e problema degli stati carichi in Elettrodinamica Quantistica. Teorema di Goldstone.

### Modalita' di esame :

L'esame consiste in una prova orale che include la soluzione di un problema.

### Criteri di valutazione :

Alla prova orale si valuta la profondita' raggiunta dallo studente nella comprensione della teoria e la capacita' di esporre gli argomenti con senso logico e in modo coerente. Si valuteranno inoltre la capacita' di saper affrontare un problema in modo indipendente, applicando le metodologie esposte a lezione, e di motivare le soluzioni proposte.

### Testi di riferimento :

Steven Weinberg, The Quantum Theory of Fields. Cambridge: Cambridge University Press, 2005

Pierre Ramond, Field theory: a modern primer. Boulder Colorado: Westview Press, 1997

Claude Itzykson, Jean-Bernard Zuber, Quantum Field Theory. New York: McGraw-Hill Book Co, 1987

Mark Srednicki, Quantum Field Theory. Cambridge: Cambridge University Press, 2007

Lewis H. Ryder, Quantum Field Theory. Cambridge: Cambridge University Press, 1996

John C. Collins, Renormalization. Cambridge: Cambridge University Press, 1984

## TEORIA DEI SISTEMI FORTEMENTE CORRELATI

(Titolare: Prof. LUCA DELL'ANNA)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre

**Indirizzo formativo:** Corsi comuni

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

### Conoscenze e abilita' da acquisire :

Comprensione di alcuni fenomeni della fisica della materia tramite il metodo degli integrali funzionali.

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

Lezioni alla lavagna

#### Contenuti :

I Parte: Introduzione e formalismo del path integral.

- Richiami di meccanica quantistica di singola particella e di particelle identiche
- Seconda quantizzazione: operatori di creazione e distruzione
- Operatori di singola e doppia particella
- " Stati coerenti bosonici
- Algebra di Grassmann
- Stati coerenti fermionici
- Digressione sugli integrali gaussiani con variabili complesse e grassmaniane
- Integrali di Feynman
- Funzione di partizione e tempo immaginario
- Equazione del moto ed approssimazione di fase stazionaria
- Applicazione degli integrali di Feynman alla doppia buca: gas di istantoni
- Integrale funzionale con gli stati coerenti bosonici e fermionici
- Funzione di partizione per particelle non interagenti e funzioni di Green
- Particelle interagenti: teoria perturbativa
- Integrale funzionale per il campo di gauge elettromagnetico

II Parte: Applicazioni.

- Gas di Coulomb

- L'approccio perturbativo

- Random Phase Approximation

- Il metodo dell'integrale funzionale

- Bosoni non interagenti: condensazione di Bose-Einstein



- Teorema di Goldstone  
- Bosoni interagenti: Superfluidita'  
- Lo spettro di Bogoliubov  
- Criterio di Landau  
- L'azione del modo di Goldstone  
- Fenomenologia  
- Superconduttività  
- Fenomenologia ed equazioni di London  
- Interazione elettrone-fonone  
- Il problema di Cooper  
- La teoria BCS con l'integrale funzionale: la gap e la temperatura critica  
- La teoria di Ginzburg-Landau  
- L'azione del modo di Goldstone  
- L'effetto Meissner ed il meccanismo di Higgs

**Modalità di esame :**

Orale

**Criteri di valutazione :**

Conoscenza degli argomenti trattati nel corso, capacità di calcolo analitico e di esposizione orale.

**Testi di riferimento :**

N. Nagaosa, Quantum Field Theory in Condensed Matter Physics. : ,  
J.W. Negele, H. Orland, Quantum Many-Particle Systems. : ,  
A. Altland, B. Simons, Condensed Matter Field Theory. : ,

---

## TEORIA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

(Titolare: Prof. ANDREA WULZER)

**Periodo:** Il anno, 1 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

**Prerequisiti :**

Il corso richiede una conoscenza elementare della teoria dei campi e dell'uso dei diagrammi di Feynman.

**Conoscenze e abilità da acquisire :**

Scopo del corso e' fornire una prima introduzione al Modello Standard delle interazioni Elettrodeboli e Forti, descrivendo i suoi fondamenti teorici e le principali conferme sperimentali della sua validità

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

lezione frontale e esercizi da svolgere individualmente

**Contenuti :**

Contenuti: teoria di gauge non Abelian; rottura spontanea delle simmetrie globali e locali; lo Standard model; teorie effettive e Lagrangiana di Fermi; decadimento del muone e scattering da correnti neutre; fisica al polo della Z; matrice VCKM e violazione di CP; simmetrie in teoria dei campi; la Lagrangiana di QCD e le sue simmetrie; elementi di matrice semileptonici e decadimenti dei mesoni; il sistema dei kaoni neutri; violazione di CP e meccanismo GIM; libertà asintotica e modello a partoni; masse e oscillazioni di neutrino; il modello standard come una teoria effettiva e il problema della gerarchia.

**Modalità di esame :**

Esame orale, esercizi facoltativi

**Criteri di valutazione :**

La valutazione si baserà sul livello di comprensione degli argomenti svolti raggiunta dallo studente, e sulla capacità tecnica di riprodurre autonomamente i principali risultati ottenuti.

**Testi di riferimento :**

L. B. Okun, Leptons and Quarks. : North-Holland, 1982  
M. E. Peskin and D. V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory. : Addison Wesley, 1995  
Ta-Pei Cheng and Ling-Fong Li, Gauge theory of elementary particle physics. : Clarendon Press-Oxford, 1984  
F. Mandl and G. Shaw, Quantum field theory. : John Wiley publications, 1993

---

## Curriculum: Sperimentale

---

### LABORATORIO DI FISICA AVANZATO B

(Titolare: Prof. PIERO GIUBILATO)

**Periodo:** Il anno, 1 semestre  
**Indirizzo formativo:** Sperimentale  
**Tipologie didattiche:** +48L; 6,00 CFU  
**Sede dell'insegnamento :** Informazioni in lingua non trovate  
**Aule :** Informazioni in lingua non trovate

**Prerequisiti :**

Electronics, semiconductor devices (suggested).

**Conoscenze e abilita' da acquisire :**

- Basic semiconductor devices behavior and utilization.
- Analog circuit design, simulation and characterization.
- Different circuit/signal coupling, black-box design approach.

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

The course will be held in the lab. The first weeks will focus more on theoretical aspects of designing a circuit and understanding its component behavior. The rest of the course will instead focus on the design, realization and characterization of the circuit, even if some theoretical aspects will be discussed in depth when met during the design/characterization phase.

**Contenuti :**

Basic semiconductor devices behavior and utilization:

- Recall to basic physics of semiconductors.
- diode: characteristics, reverse bias current, breakdown.
- bipolar transistor: working point, curves and characteristics.
- FET: operational principles and characteristics.
- CMOS: operational principles and characteristics.
- Brief overview of ICs devices production techniques.

Basic single component amplifier configurations:

- Class A amplifier, polarization.
- Class A amplifier, common emitter configuration.
- Class A amplifier, feedback network and stability.
- Class A amplifier, working point decoupling.
- Emitter follower configuration.

Basic current supply configurations:

- Current mirror.
- Single transistor current source.
- Two transistor current source.

Multi-stage amplifier:

- Differential pair.
- Darlington couple.
- Push-pull output stages.
- Basic OA configuration design.
- Pole cancellation.
- Frequency response, stability, gain of OA amplifiers.

**Modalita' di esame :**

Design and realization of a complete OA during the course, measurements of the realized circuit real characteristics and discussion of the results in a written essay. Oral defense of the essay.

**Criteri di valutazione :**

- Design skills demonstrated during the circuit development.
- Correctness and understanding of the measurement results.
- Knowledge of the theoretical foundation of the design choices.

**Testi di riferimento :**

CONTENUTO NON PRESENTE

**Eventuali indicazioni sui materiali di studio :**

Notes provided by the teacher. Additionally, a good reference book on the subject:

- Physics and Technology of semiconductor devices, Sze.
- Microelectronic, Millman.

---

## Curriculum: Teorico e Modellistico

---