

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA**

**Dipartimento di Fisica**

<http://fisica.unipv.it/>

# **GUIDA DELLO STUDENTE**

**Corsi di Studio  
dell'Area Fisica**

**Anno Accademico 2014-2015**

Versione 13/11/2014

## Indice

Presentazione .....	3
<b>Laurea in Fisica (triennale)</b> .....	4
Piano di studio ufficiale .....	6
<b>Lineamenti dei corsi della Laurea in Fisica</b> .....	8
<b>Laurea magistrale in Scienze Fisiche (biennale)</b> .....	24
Curriculum di Fisica della Materia .....	27
Curriculum di Fisica Nucleare e Subnucleare .....	27
Curriculum di Fisica Teorica .....	28
Curriculum di Fisica Biosanitaria .....	29
Curriculum di Didattica e Storia della Fisica .....	30
<b>Lineamenti dei corsi della Laurea Magistrale in Scienze Fisiche</b> .....	32
<b>Struttura e attività del Dipartimento di Fisica</b> .....	60
<b>Attività di ricerca scientifica</b> .....	60
<b>Dottorato di Ricerca in Fisica</b> .....	62
<b>Biblioteca delle Scienze e Sezione di Fisica</b> .....	63
<b>Laboratori didattici</b> .....	63
<b>Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia</b> .....	63
<b>Laboratorio di Energia Nucleare Applicata (L.E.N.A.)</b> .....	63
<b>Centro Grandi Strumenti</b> .....	63
<b>Il Centro Linguistico</b> .....	64
<b>Programma Erasmus</b> .....	64
<b>Centro Orientamento Universitario (COR)</b> .....	64
<b>Il S.A.I.S.D.</b> .....	65
<b>Rappresentanze studentesche</b> .....	65
<b>Elenco dei docenti</b> .....	67

## PRESENTAZIONE

L'offerta didattica dell'Università di Pavia per coloro che intendono intraprendere e approfondire lo studio della Fisica si articola su vari livelli:

- 1) Laurea in FISICA (triennale)
- 2) Laurea Magistrale in SCIENZE FISICHE (biennale)
- 3) La Laurea Magistrale consente poi l'accesso:  
alle ESAS (European School of Advanced Studies) o ai Master di II livello;  
oppure al Tirocinio Formativo Attivo (TFA) o ai Percorsi Abilitanti per l'Insegnamento (PAS);  
oppure al Dottorato di Ricerca in Fisica.

Questa Guida illustra i percorsi didattici che portano al conseguimento della laurea in Fisica (laurea di primo livello, triennale) e della laurea magistrale in Scienze fisiche (laurea di secondo livello, biennale).

La laurea triennale fornisce sia una formazione di base che consente il proseguimento degli studi nella laurea magistrale, sia competenze sufficienti per l'inserimento nel mondo del lavoro.

La laurea magistrale si articola in differenti percorsi formativi, sia rivolti alla preparazione di ricercatori e insegnanti che al conseguimento di competenze in specifici settori applicativi.

Una peculiarità dell'organizzazione didattica è il Credito Formativo Universitario (CFU), che rappresenta, sia pure in modo approssimato, una misura dell'impegno richiesto allo studente per conseguire una preparazione adeguata al superamento di ciascun esame. Gli insegnamenti di un anno accademico comportano di norma l'acquisizione di 60 CFU, la laurea triennale viene conseguita con 180 CFU e quella magistrale con altri 120 CFU.

L'organizzazione didattica è predisposta in modo tale che l'impegno temporale per lo studio, il carico didattico delle singole attività formative e le modalità di espletamento delle prove d'esame consentano allo studente medio di conseguire la laurea con una solida preparazione negli anni previsti dal curriculum degli studi. Naturalmente, al fine di una buona preparazione nei tempi stabiliti sono essenziali la frequenza assidua alle lezioni e uno studio regolare.

Le informazioni contenute in questa Guida sono reperibili nel sito web <http://fisica.unipv.it/dida/Corsi.php> dove sono riportati l'orario e le aule delle lezioni, il calendario delle sedute di laurea e altre informazioni.

L'attività didattica è regolata dal **Consiglio Didattico di scienze e tecnologie fisiche** di cui fanno parte i docenti di ruolo, i docenti a contratto e i ricercatori responsabili di insegnamenti, moduli di insegnamenti o di altra attività formativa attivata per i corsi di studio afferenti e i rappresentanti eletti dagli studenti iscritti agli stessi corsi di studio. Il Consiglio didattico è presieduto dal Presidente, (prof. Luigi Mihich, tel. 0382987485, [luigi.mihich@unipv.it](mailto:luigi.mihich@unipv.it)) nominato dal Rettore su designazione del Consiglio, che si avvale della collaborazione di un Presidente Vicario (prof. Pietro Carretta, tel. 0382/987478, [pietro.carretta@unipv.it](mailto:pietro.carretta@unipv.it)).

Per consigli sui piani di studio gli studenti possono rivolgersi ai **Responsabili dei corsi di studio**: per la laurea triennale il prof. Marco Fraternali (tel. 0382/987433, [marco.fraternali@pv.infn.it](mailto:marco.fraternali@pv.infn.it)) e per la laurea magistrale il prof. Pietro Carretta (tel. 0382/987466, [pietro.carretta@unipv.it](mailto:pietro.carretta@unipv.it)).

Per informazioni su possibilità di soggiorni di studio presso Università straniere gli studenti possono consultare il prof. Franco Marabelli (tel. 0382/987709, [franco.marabelli@unipv.it](mailto:franco.marabelli@unipv.it)).

Per contattare la segreteria didattica del Dipartimento di Fisica scrivere a [segreteria@didattica.fisica@unipv.it](mailto:segreteria@didattica.fisica@unipv.it).

Per informazioni di competenza della segreteria studenti rivolgersi alla sig.ra Silvia Moroni, [silvia.moroni@unipv.it](mailto:silvia.moroni@unipv.it)

Pavia, Luglio 2014

Luigi Mihich  
Presidente del Consiglio didattico  
e-mail: [luigi.mihich@unipv.it](mailto:luigi.mihich@unipv.it)  
tel. 0382/987485

Anna Rita Mangia  
Responsabile Segreteria Didattica  
e-mail: [annarita.mangia@unipv.it](mailto:annarita.mangia@unipv.it)  
tel. 0382/987584

## LAUREA IN FISICA CORSO DI STUDI TRIENNALE

Obiettivo principale del **Corso di laurea in Fisica** (Classe L-30) è di fornire una preparazione culturale e metodologica adatta sia al proseguimento degli studi sia all'immediato inserimento nel mondo del lavoro. La naturale continuazione del Corso di Laurea in Fisica è costituita dalla Laurea Magistrale in Scienze Fisiche. Viene di seguito illustrata l'organizzazione degli studi del Corso di laurea triennale, secondo l'ordinamento didattico formato ai sensi del D.M. 270/2004.

Il regolamento didattico dettagliato del corso di laurea in Fisica è disponibile sul sito del Dipartimento di Fisica.

### **a) Organizzazione degli studi**

L'attività didattica è predisposta in modo tale che l'impegno temporale per lo studio, il carico didattico delle singole attività formative e le modalità di espletamento delle prove d'esame consentano allo studente medio di conseguire la laurea con una solida preparazione nei tre anni previsti dal curriculum degli studi. La frequenza assidua alle lezioni e uno studio regolare sono essenziali al fine di una buona preparazione nei tempi stabiliti.

### **b) Crediti formativi universitari (CFU) e durata degli studi**

Il CFU è l'unità di misura dell'impegno temporale medio richiesto allo studente per l'espletamento degli studi. 1 CFU equivale a 25 ore d'impegno comprendenti le ore di lezione frontale, di esercitazione, di laboratorio, di tirocinio e di studio individuale.

Ogni insegnamento è costituito da uno o più moduli a ognuno dei quali è attribuito un definito numero di CFU, come indicato più avanti. Lo studente acquisisce i crediti relativi a ciascun corso con il superamento della prova d'esame.

Di norma, un curriculum di studi annuale comporta l'acquisizione di 60 CFU, corrispondenti a circa 1500 ore di lavoro, e la laurea è conseguita con l'acquisizione di 180 CFU.

### **c) Requisiti d'accesso**

Per essere ammessi al corso di laurea occorre essere in possesso del titolo di scuola secondaria superiore richiesto dalla normativa in vigore o di altro titolo di studio conseguito all'estero, riconosciuto idoneo dagli organi competenti dell'Università di Pavia.

Per l'iscrizione al corso di laurea è inoltre richiesto il possesso o l'acquisizione di un'adeguata preparazione iniziale che viene verificata attraverso un test di ingresso, le cui modalità sono rese note all'atto dell'iscrizione. Il test non ha carattere selettivo e serve esclusivamente ad accertare il livello delle conoscenze possedute; coloro che avranno mostrato lacune nelle conoscenze di matematica, saranno tenuti a partecipare, nel mese di ottobre, a un precorso finalizzato a colmarle. L'avvenuto recupero, da parte dello studente, delle lacune manifestate viene verificato attraverso il superamento dell'esame di almeno un insegnamento del primo anno di corso. Qualora ciò non sia avvenuto, lo studente non potrà sostenere gli esami del secondo e terzo anno di corso.

### **d) Piani di studio**

Lo studente segue normalmente un piano di studio conforme al piano di studio ufficiale esposto nel seguito. I piani di studio conformi al piano di studio ufficiale sono approvati senza bisogno di ulteriore esame da parte del Consiglio didattico. Lo studente può tuttavia presentare un piano di **studio individuale motivato** che dovrà essere espressamente approvato da parte del Consiglio didattico. La presentazione dei piani di studio individuali avviene secondo modalità stabilite dalla Segreteria studenti.

Per informazioni sulle modalità di compilazione e presentazione dei piani di studio consultare la pagina web <http://www.unipv.eu/site/home/area-stampa/articolo3448.html>.

Previo approvazione da parte del Consiglio didattico, gli studenti potranno trascorrere periodi di studio o di apprendistato presso università italiane e straniere, enti pubblici e aziende con attribuzione di un numero di CFU da stabilire caso per caso.

Per studenti iscritti part-time è stato individuato un percorso specifico riportato nell'Allegato 3 del Regolamento didattico del Corso di laurea in Fisica.

### **e) Obblighi di frequenza e propedeuticità**

La frequenza alle lezioni è fortemente raccomandata al fine della proficua formazione dello studente e i singoli docenti adotteranno tutti gli strumenti utili per incentivarla. Essa è obbligatoria per gli insegnamenti o parti di insegnamenti per i quali il docente la ritenga necessaria in relazione a esercitazioni o attività di laboratorio. In tali casi il docente definisce le modalità della verifica.

L'iscrizione all'anno di corso successivo a quello cui lo studente è già iscritto non è sottoposta ad alcun vincolo. Non sussistono propedeuticità tra gli esami degli insegnamenti previsti dal piano di studio.

#### **f) Tipologia delle forme didattiche, tutorato e verifica dell'apprendimento**

La didattica è organizzata in moduli semestrali con crediti differenti. Gli insegnamenti possono essere costituiti da un solo modulo o da due moduli.

L'attività didattica di un modulo si esplica normalmente mediante lezioni frontali, eventualmente accompagnate da esercitazioni e/o da attività di laboratorio. Tuttavia ogni docente può ricorrere a ogni altra metodologia che ritenga efficace ai fini dell'apprendimento.

La didattica di base è accompagnata, con particolare cura nel primo anno, da un'attività di sostegno da parte di tutori rivolta all'eliminazione di carenze culturali di partenza, alla guida nell'organizzazione dello studio individuale e al recupero di studenti in difficoltà. Tale attività può essere svolta anche da studenti, dottorandi, borsisti e cultori della materia.

A scelta dei singoli docenti, la verifica dell'apprendimento è effettuata mediante una prova orale finale, eventualmente preceduta da una prova scritta, o da una prova di laboratorio, o da più prove distribuite nel corso delle lezioni. Il livello dell'apprendimento è quantificato con un voto in trentesimi, corrispondendo la sufficienza a un voto superiore o uguale a 18/30.

Il voto dell'esame non ha alcuna relazione con il numero di CFU associato all'insegnamento e il numero di CFU dell'insegnamento sarà acquisito se il voto sarà di sufficienza (cioè non inferiore a 18/30).

Per consultare il calendario degli appelli (Selezionare [688916] Dipartimento di Fisica) e le istruzioni relative all'iscrizione agli appelli tramite piattaforma ESSE3 collegarsi al sito internet <https://studentionline.unipv.it/Home.do>.

#### **g) Organizzazione temporale degli studi**

Le lezioni si svolgono in due periodi di circa 14 settimane ciascuno, convenzionalmente chiamati "semestri", e gli esami in due periodi come indicato nella seguente tabella:

I semestre:	01/10/2014 – 15/01/2015 Lezioni
	16/01/2015 – 27/02/2015 Esami
II semestre:	02/03/2015 – 12/06/2015 Lezioni
	15/06/2015 – 30/09/2015 Esami

#### **h) Prova finale e voto di laurea**

La prova finale della laurea (triennale) in fisica consiste nella preparazione di una relazione scritta, con la guida di un docente supervisore e nella sua esposizione e discussione di fronte a una commissione di laurea in seduta pubblica.

La commissione è invitata ad attribuire il voto di laurea calcolando in primo luogo la media dei voti conseguiti negli esami, ad esclusione di quelli in sovrannumero, pesata con i relativi CFU, dopo aver sottratto i 12 CFU corrispondenti alle eventuali attività formative senza voto e, in subordine, ai voti più bassi. La media viene approssimata all'intero più vicino.

A questo si aggiungono:

- un punto se lo studente ha conseguito almeno 42 CFU entro il mese di ottobre del primo anno di studi;
- due ulteriori punti se lo studente si laurea nel terzo anno di corso, prima dell'inizio delle lezioni della laurea magistrale oppure un punto se si laurea entro dicembre dello stesso anno;
- un ulteriore punto se lo studente ha ottenuto almeno tre lodi negli esami sostenuti.

La commissione assegna poi un massimo di tre punti tenendo conto della qualità dell'esposizione e della discussione della relazione scritta, nonché del complessivo curriculum e in particolare delle lodi conseguite.

Se il punteggio così ottenuto raggiunge o supera i 110 punti lo studente ottiene il voto di 110/110, se raggiunge o supera i 113 punti, la commissione, all'unanimità, può attribuire la lode.

#### **i) Norme per il trasferimento degli studenti da altra sede universitaria o da altro corso di laurea**

L'iscrizione alla laurea in Fisica presso l'Università di Pavia degli studenti già iscritti alla stessa laurea presso altra sede Universitaria o già iscritti ad altro corso di laurea sarà deliberata caso per caso dal Consiglio didattico sulla base della congruità degli studi effettuati con il curriculum di studi della laurea presso l'Università di Pavia, tenendo conto delle regole enunciate nella parte terza del Regolamento didattico del Corso di laurea in Fisica.

**PIANO DI STUDIO UFFICIALE  
DEL CORSO DI LAUREA IN FISICA**

Viene descritto di seguito il piano di studio ufficiale del Corso di Laurea in Fisica con gli insegnamenti o moduli di insegnamento impartiti in ogni anno e semestre e l'indicazione del numero di CFU ad essi assegnato.

Gli insegnamenti sono tutti unimodulari con l'eccezione dei seguenti che sono bimodulari. Per tali insegnamenti i crediti indicati nelle tabelle saranno attribuiti al termine dell'esame relativo all'intero insegnamento.

<b>Insegnamenti bimodulari</b>	<b>I modulo</b>	<b>II modulo</b>	<b>CFU</b>
Esperimentazioni di fisica I	Misure fisiche I	Laboratorio di fisica I	12
Esperimentazioni di fisica II	Misure fisiche II	Laboratorio di fisica II	12
Meccanica e Termodinamica	Meccanica	Termodinamica	12
Meccanica quantistica	Mod. A	Mod. B	12

**Piano di studio ufficiale**

<b>1° anno</b>	<b>1° semestre</b>	<b>CFU</b>
	Analisi matematica 1	9
	Algebra lineare	9
	Misure fisiche I	6
	Chimica	6
	<i>totale</i>	30
	<b>2° semestre</b>	
	Complementi di analisi matematica I	6
	Metodi informatici della fisica	6
	Laboratorio di fisica I	6
	Meccanica	6
	Termodinamica	6
	<i>totale</i>	30
<b>2° anno</b>	<b>1° semestre</b>	<b>CFU</b>
	Complementi di analisi matematica II	6
	Elettromagnetismo I	6
	Misure fisiche II (I parte)	3
	Meccanica razionale e analitica	9
	<i>totale</i>	24
	<b>2° semestre</b>	
	Elettromagnetismo II	6
	Misure fisiche II (II parte)	3
	Laboratorio di fisica II	6
	Metodi matematici della fisica I	6
	Introduzione alla fisica moderna	6
	Lingua Inglese	3
	<i>totale</i>	30

3° anno	1° semestre	CFU
	Meccanica quantistica (Mod. A)	6
	Meccanica quantistica (Mod. B)	6
	Metodi matematici della fisica II	6
	Laboratorio di fisica III	6
	Introduzione alla fisica nucleare	6
	Insegnamento a scelta	6
	<i>totale</i>	36
	<b>2° semestre</b>	
	Struttura della materia	12
	Introduzione alla fisica subnucleare	6
	Insegnamento a scelta	6
	Prova finale	6
	<i>totale</i>	30

Gli insegnamenti a scelta possono essere presi dall'elenco che segue, oppure scelti tra gli insegnamenti impartiti dall'Università di Pavia, purché congrui con il piano di studi presentato.

#### Insegnamenti a scelta

Denominazione	settore s.d.	CFU	semestre
Elettrodinamica e relatività	FIS/02	6	I
Equazioni differenziali e sistemi dinamici	MAT/05	6	I
Fisica delle radiazioni ionizzanti	FIS/04	6	I
Introduzione all'astronomia	FIS/05	6	I
Preparazione di esperienze didattiche	FIS/08	6	I
Storia della fisica	FIS/08	6	I
Tecniche digitali di acquisizione dei dati	FIS/01	6	I
Complementi di fisica di base	FIS/08	6	II
Introduzione alla fisica dei solidi	FIS/03	6	II
Meccanica statistica	FIS/02	6	II
Tecnologie fisiche e beni culturali	FIS/07	6	II

È consentito inserire, tra gli insegnamenti soprannumerari del piano di studio del corso di Laurea, al massimo tre insegnamenti (per un massimo di 24 CFU) appartenenti all'offerta formativa delle Lauree Magistrali, nel rispetto delle eventuali propedeuticità stabilite. Allo studente, all'atto dell'iscrizione alla Laurea Magistrale, è data la possibilità di chiedere il riconoscimento degli esami svolti in soprannumero.

Agli studenti interessati a proseguire gli studi con la Laurea Magistrale per l'insegnamento di Matematica e Scienze nella scuola secondaria di primo grado (LM 95), ricordiamo che a norma del decreto MIUR del 10 settembre 2010, n. 249, tra i requisiti di accesso a tale Laurea Magistrale ci sono anche almeno 6 CFU nei seguenti Settori Scientifico Disciplinari: INF/01 INFORMATICA, ING-INF/05 SISTEMI DI ELABORAZIONE DELLE INFORMAZIONI, SECS-S/01 STATISTICA. È dunque possibile orientare opportunamente le proprie scelte nell'ambito dei corsi relativi ai 12 crediti liberi previsti.

## **LINEAMENTI DEI CORSI DELLA LAUREA TRIENNALE**

Qui di seguito sono riportati, in ordine alfabetico, i programmi degli insegnamenti impartiti nel corso di Laurea in Fisica.

### **ALGEBRA LINEARE (MAT/03)**

*G. Pirola, L. Pernazza*

#### Obiettivi formativi

Si vogliono fornire le nozioni elementari di algebra lineare al fine di introdurre lo studente al linguaggio dei vettori e delle matrici. Particolare importanza avranno le applicazioni ai sistemi lineari e alla geometria analitica.

#### Prerequisiti

Algebra elementare, calcolo di base

#### Programma

Vettori geometrici e riferimenti; spazi vettoriali, generatori, dipendenza lineare, basi; sistemi lineari, matrici; ranghi; determinanti; problemi lineari e applicazioni lineari; coordinate e cambiamento di coordinate; operatori; autovalori e autovettori; diagonalizzazione. forme bilineari e prodotti scalari. Rette e piani nello spazio, esempi di curve e superficie (coniche, coni e cilindri).

#### Bibliografia

E. Sernesi: "Geometria 1", Bollati Boringhieri.  
S. Lang: "Algebra Lineare", Bollati Boringhieri.  
Dispense fornite dal docente.

Modalità di esame Scritto e Orale

### **ANALISI MATEMATICA 1 (MAT/05)**

*G. Gilardi, S. Lisini*

#### Obiettivi formativi

Lo scopo del corso è quello di fornire tutti i concetti basilari dell'Analisi Matematica per funzioni di una e più variabili e le tecniche di calcolo per funzioni di una variabile. Una certa attenzione viene rivolta alla scelta degli esempi significativi, spesso tratti dalle scienze applicate. Lo sviluppo della teoria è in gran parte lasciato al corso di Complementi di Analisi Matematica I, strettamente collegato con questo.

#### Prerequisiti

Le conoscenze di base fornite dalla scuola secondaria

#### Programma

Numeri reali e complessi. Successioni e serie numeriche. Concetti basilari dell'Analisi Matematica per funzioni di una e più variabili e le tecniche di calcolo per funzioni di una variabile.

#### Programma esteso

Introdotti brevemente alcuni argomenti propedeutici, quali i numeri reali e complessi e le funzioni trascendenti elementari nei campi reale e complesso, si passa a una trattazione succinta delle successioni e delle serie di numeri reali o complessi e di vettori.

Si entra quindi nel vivo del programma e all'introduzione di tutti i concetti fondamentali dell'Analisi Matematica: limiti, continuità, derivate, integrali. Questo viene fatto, in forma unitaria, per funzioni di una o più variabili, sia pure partendo dal caso guida delle funzioni di una sola variabile.

Le nozioni di limite e di continuità vengono presentate nell'ambito delle funzioni che operano fra spazi euclidei, privilegiando negli esempi e negli esercizi il caso delle funzioni reali di variabile reale, senza tuttavia sottovalutare la situazione generale.

La parte teorica del calcolo differenziale si incentra sui concetti di differenziabilità e di differenziale. Questo motivo conduttore offre lo spunto per la precisazione rigorosa del concetto di tangenza e per l'introduzione dei vari tipi di derivate del primo ordine (derivate ordinarie, direzionali, parziali, gradiente, matrice jacobiana), con le loro proprietà principali e le principali regole di calcolo, dunque con il risalto che tutti i tipi di derivate meritano. Viene introdotto e usato sistematicamente il concetto di funzione implicita, con relativo calcolo differenziale del primo ordine. Al caso delle funzioni di una variabile, poi, è dato un rilievo particolare anche nella parte pratica (ad esempio negli studi di funzione, limitatamente alle questioni legate alle derivate del primo ordine, come la determinazione di massimi e minimi e degli intervalli di monotonia), mentre viene rimandata al corso successivo l'acquisizione dell'analoga manualità relativa a funzioni di più variabili e a questioni che fanno intervenire derivate di ordine superiore.



La teoria dell'integrazione viene introdotta alla Riemann, ma attraverso una formulazione astratta, che estende i casi dell'integrale su un intervallo o su un rettangolo del piano, introdotti come prototipi. Il quadro è sufficientemente generale da comprendere, accanto agli integrali di funzioni di una variabile e agli integrali multipli, gli integrali di linea e di superficie. In questo contesto unitario vengono introdotte tutte le proprietà fondamentali degli integrali e la teoria della misura secondo Peano-Jordan. Per quanto riguarda il calcolo effettivo, invece, ci si limita agli integrali sull'intervallo e alle tecniche derivanti direttamente dal Teorema fondamentale del calcolo (integrazione per parti e per sostituzione). Sugli integrali con integrando o dominio non limitati viene dato solo un cenno, dato che questi casi costituiscono uno degli argomenti principali di un corso successivo. Nell'ultima parte di questo capitolo, infine, vengono introdotti per via integrale i concetti di divergenza e di rotore, con le regole per il loro calcolo effettivo, e viene dato un cenno sui Teoremi di Gauss e di Stokes.

#### Bibliografia

G. Gilardi: "Analisi Matematica di Base", seconda edizione, McGraw-Hill, 2011.

Materiale vario nel sito web <http://www-dimat.unipv.it/gilardi/WEBGG/analisi1.htm>

Modalità di esame Prova orale

### **CHIMICA (CHIM/03)**

*M. Licchelli*

#### Obiettivi formativi

Il corso si propone di illustrare i principi generali della chimica, di fare acquisire allo studente il linguaggio chimico di base e di farlo familiarizzare con i simboli e le convenzioni grafiche atte a rappresentare formule, strutture e processi chimici. Saranno affrontati in particolare argomenti quali la struttura atomica della materia, le proprietà periodiche degli elementi, il legame chimico nei composti ionici e covalenti, le interazioni intermolecolari e gli stati di aggregazione, la cinetica chimica, l'equilibrio nei processi chimici, acidi e basi, equilibri di ossido-riduzione e processi elettrochimici. Saranno inoltre forniti elementi di chimica inorganica e di chimica organica.

Al termine delle lezioni lo studente sarà in grado di interpretare alcune relazioni struttura-proprietà della materia, di applicare le conoscenze acquisite alla comprensione di processi chimici osservabili nella quotidianità, di spiegare dal punto di vista chimico il funzionamento di alcuni comuni dispositivi (es. pile e batterie) o lo svolgimento di determinati fenomeni (es. corrosione e passivazione).

#### Prerequisiti

Allo studente di questo corso viene richiesto il possesso o l'acquisizione di un'adeguata preparazione iniziale, e in particolare delle seguenti conoscenze e competenze: Matematica, Chimica e Fisica al livello dei programmi della scuola superiore.

#### Programma

La struttura dell'atomo. Orbitali atomici nell'atomo di idrogeno e in atomi poli-elettronici. La tavola periodica degli elementi e le proprietà periodiche. La massa degli atomi e la mole. Il legame ionico, reticoli ionici, energia di reticolo. Il legame covalente e la struttura delle molecole. Orbitali molecolari. Elettronegatività e polarità delle molecole. Le interazioni intermolecolari e gli stati di aggregazione. I gas, lo stato solido, le soluzioni. Le reazioni chimiche: velocità di reazione, legge di velocità, energia di attivazione, catalisi. Equilibrio chimico, costanti di equilibrio. Equilibri ionici in soluzione acquosa. Acidi e basi di Brønsted, pH. Acidi e basi di Lewis. Solubilità dei sali e reazioni di precipitazione. Equilibri di ossido-riduzione. Celle voltaiche e potenziali di elettrodo. L'equazione di Nernst. Introduzione alla chimica inorganica: proprietà chimiche dei principali composti del silicio e del carbonio. Cenni di chimica organica: idrocarburi e principali gruppi funzionali; materiali polimerici.

#### Bibliografia

R. H. Petrucci, F. J. Herring, J. D. Madura, C. Bissonnette, *Chimica Generale*, Piccin

W. L. Masterton, C. N. Hurley, *Chimica – Principi e reazioni*, Piccin

R. Chang, *Fondamenti di Chimica Generale*, McGraw-Hill

K.W. Whitten, R.E. Davis, M.L. Peck, G.G. Stanley, *Chimica Generale*, Piccin

M. Schiavello, L. Palmisano, *Fondamenti di chimica*, Edises

P. Atkins, L. Jones, *Principi di Chimica*, Zanichelli

Modalità di esame

Esame orale

### **COMPLEMENTI DI ANALISI MATEMATICA I (MAT/05)**

*G. Gilardi, S. Lisini*

#### Obiettivi formativi

Lo scopo del corso è quello di riprendere i contenuti del corso di Analisi Matematica 1 e di sviluppare la teoria, in particolare per quanto riguarda le derivate di ordine superiore e le tecniche di calcolo integrale

per funzioni di più variabili. Vengono inoltre svolte le dimostrazioni di quei risultati che nel corso precedente erano stati solo enunciati. In questo corso, infine, vengono dati anche i primi elementi sulle equazioni differenziali ordinarie. Una certa attenzione viene rivolta alla scelta degli esempi significativi, spesso tratti dalle scienze applicate.

#### Prerequisiti

Le conoscenze di base fornite dai corsi di Analisi matematica 1 e Algebra lineare.

#### Programma

Sviluppo della teoria: proprietà globali delle funzioni continue, derivate di ordine superiore in una e più variabili e tecniche di calcolo integrale per funzioni di più variabili. Equazioni differenziali ordinarie.

#### Programma esteso

Il primo argomento trattato riguarda le proprietà globali delle funzioni continue nell'ambito degli spazi euclidei e le loro applicazioni principali, quali l'esistenza di massimi e minimi per funzioni continue di una o più variabili e l'integrabilità di tali funzioni (nello stesso contesto unitario, usato nel corso di Analisi Matematica 1, che comprende anche integrali di linea e di superficie).

Il secondo argomento consiste nello sviluppo del calcolo differenziale e si basa sui teoremi del valor medio, usati in innumerevoli applicazioni, sia nel caso di funzioni di una variabile (studi di funzione, Teoremi di De L'Hopital) sia nel contesto di funzioni di più variabili (ad esempio integrali dipendenti da parametri). Gli stessi teoremi del valor medio vengono poi utilizzati per lo sviluppo del calcolo differenziale di ordine superiore (questioni di convessità, formule e serie di Taylor, massimi e minimi liberi e vincolati e Teorema dei moltiplicatori di Lagrange).

Il calcolo integrale, ancora nella forma astratta seguita nel corso di Analisi Matematica 1, viene ripreso per lo sviluppo delle tecniche di integrazione per funzioni di più variabili. I risultati principali che vengono introdotti riguardano la riduzione degli integrali multipli e il cambiamento di variabile, quest'ultimo in una forma sufficientemente generale da comprendere i cambiamenti di variabile in integrali multipli e la riduzione a integrali su intervalli o su regioni piane di integrali di linea e di superficie rispettivamente.

Il capitolo delle equazioni differenziali ordinarie tratta principalmente delle problematiche generali per equazioni e sistemi. Vengono introdotti i risultati più importanti sul problema di Cauchy per equazioni e sistemi non lineari e le prime proprietà delle equazioni e dei sistemi lineari. Per quanto riguarda invece le tecniche di calcolo delle soluzioni, ci si limita alle situazioni più semplici, rimandando quelle più complesse e la trattazione sistematica di equazioni e sistemi lineari ai corsi specializzati.

#### Bibliografia

G. Gilardi: "Analisi Matematica di Base", seconda edizione, McGraw-Hill, 2011.

Materiale vario nel sito web <http://www-dimat.unipv.it/gilardi/WEBGG/analisi1.htm>

Modalità di esame: Prova orale

## **COMPLEMENTI DI ANALISI MATEMATICA II (MAT/05)**

*P. Colli*

#### Obiettivi formativi

Scopo del corso è integrare il programma di analisi matematica svolto nel primo anno e completare le conoscenze di base di analisi matematica degli studenti di un corso di laurea triennale in Fisica.

#### Prerequisiti

I contenuti di base dei corsi di Analisi matematica e di Algebra lineare del primo anno di corso.

#### Programma

Successioni e serie di funzioni, serie di potenze, serie di Fourier. Curve, integrali curvilinei, forme differenziali. Integrale di Lebesgue, teoremi di passaggio al limite sotto il segno di integrale, funzioni e insiemi misurabili.

Per ogni argomento verrà presentata una trattazione teorica e verranno proposti esempi ed esercizi.

#### Bibliografia

Testi consigliati

G. Gilardi, Analisi matematica di base - McGraw Hill, 2011:

N. Fusco, P. Marcellini e C. Sbordone, Elementi di Analisi Matematica due - Liguori, 2001 oltre al materiale didattico reperibile sulla pagina web del corso.

#### Modalità di esame

L'esame è costituito da una prova scritta (durante la quale non è consentito l'uso di appunti, testi, minicalcolatori, ...) e da una prova orale.

## **COMPLEMENTI DI FISICA DI BASE (FIS/08)**

*A. De Ambrosis*

#### Obiettivi formativi

Fornire gli elementi base della teoria della relatività speciale e della meccanica statistica classica.

#### Prerequisiti

Conoscenze di base di meccanica, termodinamica ed elettromagnetismo, come vengono fornite dai corsi della laurea triennale in Fisica e in Matematica

#### Programma

Prima parte - Si propone un'introduzione ai concetti base della relatività speciale. In particolare, gli argomenti trattati riguardano: la definizione dell'intervallo invariante; l'idea di sistema di riferimento in caduta libera come sistema di riferimento inerziale, il carattere locale del sistema inerziale, la localizzazione degli eventi nello spazio-tempo; il principio di relatività, la relatività della simultaneità; la contrazione di Lorentz e il paradosso dei gemelli; la dimostrazione dell'invarianza dell'intervallo; trasformazioni di Lorentz; la rappresentazione degli eventi dello spazio-tempo e linee d'universo; regioni dello spaziotempo; momento-energia: conservazione, invarianza e sue conseguenze; massa di un sistema di particelle: creazione di particelle, fissione, fusione annichilazione.

Seconda parte - Introduzione alla Fisica Statistica. Descrizione statistica dei sistemi di particelle: numero di stati accessibili a un sistema macroscopico, vincoli, equilibrio e irreversibilità; Interazione termica: distribuzione di energia tra sistemi macroscopici, avvicinamento all'equilibrio termico, definizione di temperatura assoluta e di entropia; Sistemi in contatto con un termostato: la distribuzione canonica e applicazioni; distribuzione canonica nell'approssimazione classica: la distribuzione di Maxwell delle velocità, il teorema di equipartizione e applicazioni, il calore specifico dei solidi.

Sui vari argomenti trattati nel corso viene richiesta agli studenti la soluzione di problemi ed esercizi, alcuni dei quali vengono discussi a lezione.

#### Bibliografia

E. Taylor e J. Wheeler (1996) Fisica dello Spazio-tempo, Zanichelli, Bologna

F. Reif (1974) Fisica Statistica, Zanichelli ;

Callen - Calore e Termodinamica, Tamburini.

Modalità di esame: Esame orale

### **ELETTRODINAMICA E RELATIVITÀ (FIS/02)**

*M. Carfora*

#### Obiettivi formativi

Una esposizione avanzata della teoria della Relatività Speciale e delle sue applicazioni.

#### Prerequisiti

I corsi di base di fisica generale (meccanica ed elettromagnetismo), di analisi matematica e geometria. Alcune tecniche di algebra e geometria differenziale necessarie a sviluppare gli argomenti affrontati dal corso verranno introdotte e illustrate durante il corso stesso.

#### Programma

Trasformazioni di Lorentz e loro proprietà. Causalità e geometria dello spaziotempo di Minkowski. Struttura causale. Gruppo di Lorentz e gruppo di Poincaré. Legame fra il gruppo di Lorentz e  $SL(2, C)$ . Aberrazione luminosa e "Sky mapping". Spinori. Spinori di Dirac. Algebra tensoriale e forme differenziali sullo spazio di Minkowski. Dinamica e leggi di conservazione. Forze meccaniche e forze di tipo calore. Conservazione del 4-impulso e suo significato fisico. Applicazioni: Diffusione Compton, Compton inverso, calcolo dell'energia di soglia in una reazione subnucleare. Il tensore energia-impulso. Dinamica dei mezzi continui in relatività e legami con la teoria dei campi. Formulazione dell'elettromagnetismo nello spaziotempo di Minkowski. Proprietà del tensore di Faraday e le trasformazioni dei campi elettromagnetici. Forme differenziali e elettromagnetismo. Duale di Hodge e codifferenziale. Formulazione delle equazioni di Maxwell in termini di 2-forme su Minkowski. Conservazione della carica e teorema di Stokes in Minkowski. 4-potenziale e invarianza di gauge. Il gauge di Lorenz. La funzione di Green ritardata per il 4-potenziale elettromagnetico, causalità e teorema dei residui. Proprietà del 4-potenziale ritardato. Tensore energia-impulso per il campo elettromagnetico. Deduzione variazionale delle equazioni di Maxwell nello spaziotempo di Minkowski.

#### Bibliografia

W. Rindler "Relativity. Special, general, and cosmological" 2nd. Ed. Oxford Univ. Press, Oxford, 2006

Modalità di esame: esame orale

### **ELETTROMAGNETISMO I (FIS/01)**

*M. Livan*

#### Obiettivi formativi:

Concetti fondamentali dell'Elettromagnetismo inclusa la sua formulazione quadridimensionale

Prerequisiti: Nozioni di meccanica ed analisi matematica

Programma: Il corso parte dal concetto di carica elettrica per descrivere il campo elettrico statico ed il campo magnetico statico. Vengono quindi introdotti i campi variabili nel tempo fino alla loro completa descrizione tramite le Equazioni di Maxwell in forma integrale e differenziale. Segue una introduzione alla teoria della relatività ristretta con l'uso del formalismo quadridimensionale. Vengono discusse la cinematica, la dinamica ed infine l'elettromagnetismo per giungere alla scrittura delle Equazioni di Maxwell tramite il tensore di campo ed il quadripotenziale

Bibliografia:

P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci : Fisica (Volume II) . EdiSES.

D. J. Griffith: Introduction to Electrodynamics. Pearson (per la parte di Relatività).

Modalità di esame:

L'esame consiste in una prova scritta in cui sono proposti alcuni semplici problemi, seguita da una prova orale. Lo studente può sostenere la prova orale indipendentemente dalla votazione ottenuta nella prova scritta.

## **ELETTROMAGNETISMO II (FIS/02)**

*G. Guizzetti*

Prerequisiti: Analisi matematica, Meccanica, Termodinamica, Elettromagnetismo I

Programma: Proprietà elettriche e magnetiche della materia. Fenomeni ondulatori. Onde elettromagnetiche nel vuoto e nei mezzi dispersivi e/o assorbenti. Ottica fisica: riflessione e rifrazione; polarizzazione; birifrangenza; attività ottica; interferenza; diffrazione. Ottica geometrica: specchi e lenti; strumenti ottici. Cenni ai principi fisici di dispositivi fotonici: diodi emettitori di luce; fotodiodi e fotoconduttori; laser; fibre ottiche e guide di luce.

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

Modalità di esame: Prova scritta e esame orale

## **EQUAZIONI DIFFERENZIALI E SISTEMI DINAMICI (MAT/05)**

*G. Savarè*

Obiettivi formativi: Apprendimento dei concetti di base della teoria delle equazioni differenziali ordinarie.

Prerequisiti: I contenuti di base degli insegnamenti di Analisi Matematica e Algebra lineare.

Programma: Esempi di modellizzazione mediante equazioni differenziali. Risultati generali sui problemi ai valori iniziali (esistenza e unicità, prolungamento delle soluzioni, teoremi di confronto, dipendenza delle soluzioni dai dati). Tecniche elementari di integrazione per alcuni tipi di equazioni. Equazioni e sistemi differenziali lineari (risultati generali e calcolo della matrice esponenziale). Comportamento asintotico e stabilità (caso lineare, metodo di linearizzazione e funzioni di Lyapunov, ritratto di fase per sistemi piani).

Bibliografia

M. W. Hirsch, S. Smale, R. L. Devaney: Differential equations, dynamical systems, and an introduction to chaos. Pure and Applied Mathematics, Vol. 60. Elsevier/Academic Press, Amsterdam, 2004.

A. Ambrosetti: Appunti sulle equazioni differenziali ordinarie. Springer Verlag, 2011.

H. Amann: Ordinary differential equations. An introduction to nonlinear analysis. de Gruyter Studies in Mathematics, Vol. 13. Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1990.

V. I. Arnold: Ordinary differential equations. Universitext, Springer-Verlag, 2006. Second printing of the 1992 edition.

M. Braun: Differential equations and their applications. An introduction to applied mathematics. Texts in Applied Mathematics, Vol. 11. Springer-Verlag, New York, fourth edition, 1993.

Jack K. Hale: Ordinary differential equations. Robert E. Krieger Publishing Co., Huntington, N.Y., second edition, 1980.

L. C. Piccinini, G. Stampacchia, G. Vidossich: Equazioni differenziali ordinarie in  $R^n$  (problemi e metodi). Serie di matematica e fisica, Vol. 5. Liguori, Napoli, 1978.

S. Salsa, A. Squellati: Esercizi di analisi matematica 2. Masson, 1994.

M. W. Hirsch, S. Smale: Differential equations, dynamical systems, and linear algebra. Pure and Applied Mathematics, Vol. 60. Academic Press, New York-London, 1974.

Dispense a cura del prof. Enrico Vitali (disponibili on line)

Modalità di esame: prova scritta e orale

## **ESPERIMENTAZIONI DI FISICA I (FIS/01)**

*M. Fraternali*

Obiettivi formativi

Il corso è diviso in due moduli:

- Misure Fisiche I (I semestre, 6 crediti)
- Laboratorio di Fisica I (II semestre, 6 crediti)

Il primo modulo si propone di fornire una introduzione ai principi fondamentali di metodologia della misura, analisi dei dati e stima delle incertezze sperimentali. Vengono esposti alcuni concetti di statistica necessari alla comprensione del trattamento dei dati e della teoria della misurazione.

Nel secondo modulo, una parte monografica è dedicata allo studio della forza elastica, moto in fluidi viscosi, oscillazioni e onde, come parte delle conoscenze richieste per la Meccanica

Il corso è corredato da esperienze pratiche di laboratorio che consentono di applicare i concetti trattati nelle lezioni svolte in aula.

La pratica di laboratorio, condotta in piccoli gruppi, consente anche agli studenti di abituarsi al lavoro in collaborazione.

Sulle esperienze svolte gli studenti devono elaborare delle relazioni scritte, allo scopo di esercitarsi nella stesura di un report scientifico.

Prerequisiti

Fondamenti di algebra e trigonometria.

I concetti di analisi necessari, ove non ancora introdotti nei corsi istituzionali, vengono richiamati dal docente.

Modalità di esame

L'esame consiste in una prova scritta, con problemi e domande, sul programma svolto nel I modulo, e in una prova orale sul programma svolto nelle lezioni frontali del II modulo ( con richiami a quanto trattato nel I modulo). Durante la prova orale vengono inoltre discusse le relazioni portate dagli studenti sulle esperienze svolte in laboratorio.

I modulo: MISURE FISICHE I

Nozioni introduttive Calcoli numerici: uso delle potenze di 10-calcoli approssimati e ordini di grandezza-notazione scientifica-cifre significative- sistemi di unità di misura- equazioni dimensionali e analisi dimensionale -cambiamento di unità di misura.

Introduzione alla misurazione Misure dirette, indirette e con strumenti tarati- accuratezza e precisione di una misura-caratteristiche degli strumenti di misura.

Introduzione allo studio delle incertezze Tipi di errore- - espressione dell'incertezza-incertezza assoluta e relativa- analisi statistica degli errori casuali- propagazione delle incertezze (per misure statisticamente indipendenti).

Tecniche di trattamento dati Statistica descrittiva: distribuzioni di frequenza e istogrammi, indici di posizione centrale e di dispersione-grafici e analisi grafica dei dati: cambiamenti di variabile, linearizzazione, determinazione della pendenza e dell'intercetta, scale funzionali, grafici semilogaritmici e bilogaritmici-interpolazione grafica, lineare e da una tabella.

Introduzione alla probabilità Spazio campionario ed eventi-definizione classica e frequentistica di probabilità- cenni alla definizione assiomatica- addizione e moltiplicazione di eventi e probabilità per eventi composti -probabilità condizionata-richiami di calcolo combinatorio.

Distribuzioni di variabile aleatoria Variabili aleatorie- distribuzioni di probabilità per variabili discrete e continue-caratteristiche numeriche delle popolazioni-distribuzione normale-distribuzione binomiale-distribuzione di Poisson-approssimazione di Gauss alle distribuzioni binomiale e poissoniana – distribuzione uniforme e triangolare.

Elementi di statistica inferenziale ed elaborazione dei dati sperimentali Popolazioni e campioni-medie e varianze campionarie- teorema centrale limite (cenni)- stima di parametri- metodo della massima verosimiglianza- livello di confidenza- test di ipotesi: livello di significatività, test a una coda e a due code, errore del I e del II tipo- compatibilità del risultato di due misurazioni- combinazione di misure (media pesata)- rigetto dei dati- retta di regressione (metodo dei minimi quadrati)- correlazione e coefficiente di correlazione lineare.

Altre considerazioni sulla misurazione: Modello del processo di misurazione- classificazione delle incertezze secondo l'ISO- combinazione di incertezze di origine diversa

Bibliografia

John Taylor, Introduzione all'analisi degli errori, (ed. Zanichelli).

Paolo Fornasini, The Uncertainty in Physical Measurements (ed. Springer).

Dapor-Ropele, Elaborazione dei dati sperimentali (ed. Springer).

II modulo: LABORATORIO DI FISICA I

Argomenti svolti nelle lezioni

Oscillazioni Moto armonico semplice – Esempi di oscillatore armonico (sistema massa-molla, pendolo semplice) - Composizione di moti armonici – Teorema di Fourier (enunciato) – Aspetti non lineari: non

linearità della forza di richiamo del pendolo e variazione del periodo con l'ampiezza – Oscillazioni smorzate, oscillazioni forzate e risonanza – Analogia tra oscillatori in diversi campi della fisica.

Moto di un corpo sottoposto a forze viscosse – Sedimentazione - Elasticità per trazione e compressione, di volume, di torsione e scorrimento – Moduli elastici e relazioni tra di essi – Pendolo (bilancia) di torsione – Isteresi meccanica.

Onde meccaniche Propagazione per onde – Espressione matematica della propagazione – Equazione di D'Alembert – Onde sinusoidali – Velocità di gruppo (cenno) - Onde in una corda tesa e in un tubo contenente un fluido – Onde sonore – Propagazione dell'energia in un'onda – Principio di sovrapposizione – Interferenza, battimenti, onde stazionarie – Modi normali di vibrazione (cenno) – Sorgenti coerenti e interferenza nello spazio – Diffrazione - Principio di Huygens - Riflessione e rifrazione delle onde – Effetto Doppler –Onda d'urto- Cenni di acustica.

Esperienze svolte in laboratorio

In laboratorio vengono condotte delle esperienze (o insiemi di esperienze) su diversi argomenti trattati in questo corso e nel corso di Meccanica e Termodinamica, proposte a tutti gli studenti in piccoli gruppi, scelte tra questi argomenti:

Studio della forza di richiamo di una molla – Studio della forza di richiamo del pendolo - Studio del moto armonico e dei battimenti con pendoli – Sedimentazione - Bilancia di Mohr e viscosimetro – Effetto Joule – Spettroscopio- Misura di g con un pendolo e con un piano inclinato - esperimenti sulle oscillazioni- Tubo di Quincke -Onde stazionarie su una corda.

Inoltre vengono svolte delle esperienze “finali”, in gruppi più numerosi, differenti per ciascun gruppo.

Bibliografia

Mazzodi, Nigro, Voci, Fisica (Vol. I e II) (ed. EdiSES).

## **ESPERIMENTAZIONI DI FISICA II (FIS/01)**

*A. Rotondi, M. Corti*

*I modulo: MISURE FISICHE II*

*A. Rotondi*

Calcolo delle probabilità, algebra delle probabilità, distribuzioni di probabilità in una o più dimensioni. Statistica: intervalli di stima frequentisti e verifica delle ipotesi semplici. Analisi dei dati: incertezze di tipo sistematico e statistico, propagazione degli errori, analisi dei dati in esperimenti di fisica.

*Testo consigliato:*

A. Rotondi, P. Pedroni e A. Pivatolo, Probabilità Statistica e Simulazione, Springer (2005).

*Il modulo: LABORATORIO DI FISICA II*

*M. Corti*

Obiettivi formativi

Il corso ha lo scopo di fornire le modalità operative dei circuiti elettrici fondamentali e della strumentazione di misura di grandezze elettriche

Prerequisiti

Nessun prerequisito richiesto

Programma

Studio dei circuiti elettrici fondamentali comprendenti elementi attivi e passivi, lineari e non lineari: dal partitore resistivo ad un radiorecettore AM. Circuiti digitali: reti combinatorie e sequenziali fondamentali. Misura della velocità della luce. Ogni argomento trattato a lezione viene seguito da esercitazioni pratiche eseguite in un laboratorio attrezzato con strumentazione standard.

Testi consigliati:

C.K. Alexander e M.N.O. Sadiku, Circuiti Elettrici, McGraw Hill (2008)

Dispense del corso disponibili in [www.pv.infn.it/~rotondi](http://www.pv.infn.it/~rotondi)

Modalità di esame

Prova pratica di laboratorio ed esame orale.

## **FISICA DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI (FIS/04)**

*S. Altieri*

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti di base relativi alla dosimetria delle radiazioni ionizzanti.

Prerequisiti

Nozioni di fisica nucleare e fisica quantistica.

#### Programma

Il corso si propone di fornire allo studente i principi di base della dosimetria delle radiazioni ionizzanti: particelle cariche, fotoni e neutroni. Grandezze per la descrizione del campo di radiazioni e dell'interazione radiazione – materia: flusso, fluensa, kerma, dose assorbita, esposizione, coefficienti di attenuazione, di trasferimento e di assorbimento, fattori kerma. Interazione con la materia delle particelle cariche pesanti e degli elettroni, dei fotoni e dei neutroni, con particolare riferimento alla deposizione di energia nella materia biologica. Teoria della cavità per cavità piccole (Bragg-Gray), intermedie (Spencer) e grandi (Burlin) e problematiche relative all'equilibrio di radiazione e all'accoppiamento dei materiali dosimetrici. Cenni di microdosimetria: contatori di Rossi, energia lineale ed energia specifica e relative distribuzioni riferite a siti biologici. Cenni sugli effetti biologici delle radiazioni ionizzanti, sul fondo naturale e sulla radioprotezione.

#### Bibliografia

F. H. Attix, Introduction to radiological Physics and Dosimetry. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

W. R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiment. Springer-Verlag Berlin

J. R. Lamarsh, Introduction to nuclear reactor theory. Addison-Wesley Publishing Company

#### Modalità di esame

Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà...) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

### **INTRODUZIONE ALL'ASTRONOMIA (FIS/05)**

*P. Caraveo*

Obiettivi formativi Dare una visione generale dell'astronomia dei grandi problemi che studia, di quanto è stato capito e di quanto rimane da capire. fino a coprire i risultati più attuali

Prerequisiti corso di fisica 1. I corsi di meccanica razionale e introduzione alla fisica delle particelle sono consigliati

#### Programma

Emissione termica e non termica dai corpi celesti

Astronomia da terra e dallo spazio

Il sistema solare: descrizione del Sole, dei pianeti, comete e asteroidi.

Altri sistemi planetari

Evoluzione stellare: osservabili, diagramma HR, cenni di nucleosintesi, evoluzione delle stelle in funzione della loro massa, fine della vita delle stelle e trasformazione in oggetti compatti: nane bianche, stelle di neutroni buchi neri

La nostra galassia: osservazioni radio per tracciare la struttura, teoria della formazione della struttura a spirale, curva di rotazione e implicazioni circa l'esistenza della materia oscura

Galassie esterne: classificazione, gruppo locale, ammassi di galassie, galassie attive, quasars

Cenni di cosmologia: legge di Hubble, candele standard, radiazione di fondo cosmica, materia oscura ed energia oscura.

#### Bibliografia

The Cosmos: Astronomy in the New Millennium, Pasachoff & Filippenko.

L'Esplorazione dello spazio, G. Bignami, Il Mulino.

I pianeti Extrasolari, G. Tinetti, Il Mulino.

I Marziani Siamo noi, G. Bignami, Zanichelli.

Osservare l'Universo, P. De Bernardis, Il Mulino.

Modalità di esame tre compiti ed esame orale

### **INTRODUZIONE ALLA FISICA DEI SOLIDI (FIS/03)**

*M. Patrini, S. Sanna*

#### Obiettivi formativi

La conoscenza elementare dei principali fenomeni collettivi e le proprietà quantistiche dei solidi, attraverso un approccio intuitivo e il confronto teoria-esperimento.

Prerequisiti: Matematica di base, Fisica Generale e nozioni elementari di Meccanica Quantistica.

#### Programma

Classificazione dei solidi (isolanti, semiconduttori intrinseci ed estrinseci, metalli, materiali magnetici, superconduttori), e introduzione alla struttura elettronica e vibrazionale con cenni di meccanica statistica. Descrizione delle eccitazioni elementari nei solidi, con riferimento alle tecniche più diffuse di studio sperimentale. Verrà data evidenza, anche attraverso esperimenti interattivi, agli effetti e i fenomeni di maggiore rilevanza concettuale, quali processi ottici in semiconduttori, effetto Raman,

plasmoni, effetti di bassa dimensionalità, effetto Hall quantistico, risonanza magnetica nucleare, superconduttività ad alta temperatura, condensazione di Bose-Einstein, magnetismo molecolare. Sono previste lezioni tematiche, che includono anche visite presso i laboratori di ricerca, dedicate a materiali e tecnologie di recente sviluppo e di maggiore interesse applicativo.

#### Bibliografia

C. Kittel, Introduzione alla Fisica dello Stato Solido (Casa Editrice Ambrosiana).  
L. Colombo, Elementi di struttura della materia (Editore Hoepli collana Scienze).  
Appunti del docente.

#### Modalità di esame

Per sostenere l'esame è richiesta una breve relazione scritta su un argomento concordato con il docente. L'argomento potrà essere presentato durante la prova orale in un tempo di circa 20 minuti, eventualmente mediante proiezione di slides (max 15). Oltre che sulla qualità dell'esposizione e della stesura della relazione, la valutazione finale si baserà sul grado di approfondimento e comprensione sia dell'argomento presentato sia dei concetti di base della fisica dei solidi affrontati nel corso.

### **INTRODUZIONE ALLA FISICA MODERNA (FIS/02)**

*G. Montagna*

#### Obiettivi formativi

Si discutono i principali fenomeni, e relative interpretazioni, che hanno sancito la crisi della fisica classica. Il corso si propone inoltre di fornire un'introduzione ai principali aspetti concettuali e metodi teorici di base in uso in meccanica statistica (classica) e meccanica quantistica.

#### Prerequisiti

Elementi e risultati di fisica classica (meccanica analitica, elettrodinamica e termodinamica)

#### Programma

Inadeguatezza della descrizione dei fenomeni fisici alla luce della fisica classica di Newton e Maxwell. Concetti fondamentali e metodi teorici basati sulla meccanica statistica (classica) e sulla meccanica quantistica di uso corrente in fisica moderna. Analisi degli effetti quantistici in alcuni esempi di fenomeni fisici.

#### Bibliografia

S. Boffi, Da Laplace a Heisenberg, un'introduzione alla meccanica quantistica e alle sue applicazioni, Pavia University Press.  
D. J. Griffiths, Introduzione alla meccanica quantistica, Casa editrice Ambrosiana.

Modalità di esame: Orale

### **INTRODUZIONE ALLA FISICA NUCLEARE (FIS/04)**

*C. Giusti*

Obiettivi formativi: Apprendimento di concetti e nozioni di base di fisica nucleare.

Prerequisiti: Conoscenza della fisica classica.

Programma: Struttura atomica e nucleo. Radioattività e esperienza di Rutherford. Proprietà generali dei nuclei atomici. Modelli nucleari. Interazione nucleare. Reazioni nucleari, reazioni con neutroni, fissioni e fusione. Decadimenti alfa, beta e gamma. Acceleratori, rivelatori, strumenti e metodi nucleari.

Bibliografia: R.J. Blin-Stoyle Nuclear and Particle Physics, Chapman & Hall.

E.J. Burge, Atomic Nuclei and Their Particles, Oxford University Press.

J. Lilley, Nuclear Physics, Principles and Applications, Wiley.

Modalità di esame: Esame orale.

### **INTRODUZIONE ALLA FISICA SUBNUCLEARE (FIS/04)**

*A. Rimoldi*

#### Obiettivi formativi

Apprendimento dei fondamenti della fisica subnucleare

#### Prerequisiti

Conoscenza dell'analisi matematica, della meccanica quantistica, di elementi di relatività ristretta; conoscenze elementari di fisica nucleare e di struttura della materia.

#### Programma

Il corso intende fornire conoscenze di base della Fisica Subnucleare mediante una descrizione fenomenologica qualitativamente completa delle particelle elementari e delle loro interazioni. Forniti elementi di base di cinematica relativistica, sono illustrate le leggi di conservazione nelle reazioni



nucleari. Viene quindi descritto il modello a quark degli adroni e la scoperta dei quark pesanti. La dinamica delle interazioni fondamentali elettromagnetica, debole, forte fra leptoni e quark è quindi ampiamente illustrata. Infine, cenni alla teoria elettrodebole unificata consentono di completare il quadro del Modello Standard delle particelle elementari.

#### Bibliografia

C. Conta: Introduction to Modern Particle Physics, Pavia University Press, 2010;  
D. H. Perkins: Introduction to High Energy Physics, 4th Edition, Cambridge Univ. Press;  
D. Griffith: Introduction to Elementary Particles, Wiley, 2008 (ebook).

Modalità di esame: Esame Orale.

### **LABORATORIO DI FISICA III (FIS/01)**

*F. Marabelli*

#### Obiettivi formativi

Apprendimento delle basi fisiche di funzionamento dei principali dispositivi microelettronica ed optoelettronici.

#### Prerequisiti

Nozioni di base di elettromagnetismo.

#### Programma

Generalità sui semiconduttori. Aspetti fondamentali dei dispositivi elettronici e delle loro proprietà circuitali: diodi a giunzione, transistor bipolare a giunzione, transistor a effetto di campo. Cenni di ottica e applicazioni optoelettroniche e fotoniche, LED e laser a semiconduttore. Il corso sarà corredato da esercitazioni pratiche su circuiti elementari, semplici configurazioni di ottica e l'uso di programmi di simulazione.

#### Bibliografia

Circuiti per la microelettronica, A.S. Sedra, K.C. Smith, Ed. Ingegneria 2000, Roma 1996.

#### Modalità di esame

Esame scritto e orale. È prevista una prova di simulazione, una relazione sulle esperienze svolte e una prova orale sui principi fisici.

### **LINGUA INGLESE (L-LIN/12)**

*R. Zago*

#### Obiettivi formativi

Il corso di lingua inglese si propone di sviluppare l'abilità di comprensione di testi scritti di argomento scientifico insieme al conseguimento di una più approfondita competenza comunicativa.

Prerequisiti: Nessuno.

#### Contenuti

Il programma prevede una selezione di testi scientifici specifici delle discipline principali del corso di studio. I testi sono analizzati sia relativamente al contenuto, sia rispetto al lessico specifico e alle strutture sintattico-grammaticali caratterizzanti la lingua inglese nel suo utilizzo in ambito scientifico.

#### Metodi didattici

Il corso consiste di un modulo di lezioni frontali tenute dal docente, di un modulo di lezioni frontali svolte dai CEL (Collaboratori ed Esperti Linguistici di madrelingua) ed eventualmente di seminari didattici condotti da tutors e diretti agli studenti con carenze nella competenza linguistica di base.

#### Modalità d'esame

L'esame, che sarà orale, consisterà nella lettura, traduzione e commento di un brano scelto tra i testi in programma o testi affini, e in un colloquio incentrato sugli argomenti trattati durante il corso.

#### *Testi di riferimento:*

G. Bendelli, English from Science – Mondadori Università.

M. Vince, English Grammar in Context (Intermediate) – Macmillan (soprattutto per gli studenti del corso iniziale).

### **MECCANICA E TERMODINAMICA (FIS/01)**

*A. Rotondi, L. Mihich*

#### Obiettivi formativi

Apprendimento delle nozioni fondamentali della meccanica classica newtoniana. Risoluzione dei problemi di meccanica applicando gli strumenti dell'analisi matematica

Fornire allo studente la conoscenza delle leggi fondamentali della termodinamica classica per gli stati d'equilibrio, sia per via fenomenologica che assiomatica. Mostrare i legami con la meccanica statistica. Illustrazione, attraverso gli argomenti, i problemi e gli esempi di Meccanica e Termodinamica trattati, del metodo sperimentale che sta alla base della Fisica.

Prerequisiti

Aver seguito il corso di Analisi Matematica I.

I modulo: MECCANICA

*A. Rotondi*

Meccanica classica newtoniana: cinematica del punto, dinamica del punto, moti relativi, dinamica dei sistemi di punti materiali, gravitazione, dinamica e statica del corpo rigido. Cenni di meccanica relativistica. Verrà data molta enfasi agli esempi numerici e risoluzione di problemi.

Testo consigliato:

P. Mazzoldi, M. Nigro e C. Voci, Fisica, Vol I, ed EdiSES, Napoli.

Il modulo: TERMODINAMICA

*L. Mihich*

Proprietà meccaniche dei fluidi e fondamenti di termodinamica. Il principio zero, termometria e calorimetria. Il problema fondamentale della termodinamica, stati d'equilibrio, variabili estensive ed intensive. Equazioni di stato e trasformazioni di un sistema termodinamico. Gas ideali e gas reali. Primo e secondo principio, proprietà di energia ed entropia, terzo principio. Potenziali termodinamici, relazioni di Maxwell e transizioni di fase. Teoria cinetica dei gas e cenni di Termodinamica statistica.

Bibliografia

P. Mazzoldi, M. Nigro e C. Voci, Fisica, Vol I, ed EdiSES, Napoli.

Modalità di esame

Prove scritte ed esami orali

## **MECCANICA QUANTISTICA (FIS/02)**

*G. D'Ariano, O. Nicosini*

Obiettivi formativi

Fornire conoscenza di base operativa della meccanica quantistica non relativistica.

Prerequisiti

Conoscenza della Meccanica ed Elettromagnetismo classici

Programma

Principi e struttura matematica della meccanica quantistica. Sistemi di una o più particelle. Sviluppi formali. Teoria della perturbazioni. Altri metodi approssimati. Processi di diffusione.

Bibliografia

David. J. Griffiths, Introduzione alla meccanica quantistica.

Integrazioni: appunti di A. Rimini (<http://www.pv.infn.it/~rimini/MeccanicaQuantistica/Home.html>).

J.J. Sakurai, Meccanica quantistica moderna.

Modalità di esame

Esame scritto a soglia seguito da esame orale (per chi supera la prova scritta).

Modulo A (D'Ariano)

Obiettivi formativi

Si veda descrizione generale del corso

Prerequisiti

Oltre a quanto riportato in descrizione generale, aver seguito il Modulo B

Programma

Principi e struttura matematica della meccanica quantistica. Sistemi di una o più particelle.

Bibliografia

Si veda descrizione generale

Modalità di esame

Si veda descrizione generale

Modulo B (Nicosini)

Prerequisiti

Oltre a quanto riportato in descrizione generale, aver seguito il Modulo A

Programma  
Sviluppi formali. Teoria della perturbazioni. Altri metodi approssimati. Processi di diffusione.

Bibliografia  
Si veda descrizione generale

Modalità di esame  
Si veda descrizione generale

### **MECCANICA RAZIONALE E ANALITICA (MAT/07)**

*A. Marzuoli, C. Dappiaggi*

Obiettivi formativi

Lo scopo del corso è trasmettere i concetti essenziali e rendere familiari gli strumenti matematici che stanno alla base della formulazione analitica (lagrangiana e hamiltoniana) della Meccanica Classica. I contenuti di questo corso costituiscono prerequisiti necessari per affrontare il percorso successivo degli studi in Fisica, in particolare la meccanica quantistica e relativistica e le teorie di campo. Le esercitazioni, e gli approfondimenti/complementi su specifici argomenti non trattati in insegnamenti previsti nel I anno, costituiscono parte integrante del corso. La frequenza, pur se non obbligatoria, è altamente raccomandata.

Prerequisiti

Gli strumenti matematici necessari sono quelli forniti nei corsi del I anno di Analisi Matematica e di Algebra Lineare. È inoltre richiesta una conoscenza approfondita della meccanica classica nella formulazione di Newton.

Programma

Richiami sui principi fondamentali della meccanica newtoniana. Formalismo lagrangiano: principio di D'Alembert; equazioni di Eulero-Lagrange dal principio variazionale di Hamilton. Leggi di conservazione e proprietà di simmetria (teorema di Noether). Applicazioni: moto in un campo centrale; il problema dei due corpi e le leggi di Keplero; cinematica e dinamica dei sistemi rigidi; sistemi di riferimento non inerziali e dinamica relativa; oscillatori e modi normali. Formalismo hamiltoniano: spazio delle fasi e trasformata di Legendre; principio di Hamilton modificato e deduzione delle equazioni di Hamilton; trasformazioni canoniche e loro caratterizzazione; parentesi di Poisson; flusso hamiltoniano e invarianza del volume nello spazio delle fasi (teorema di Liouville). Trasformazioni canoniche infinitesime e leggi di conservazione. Algebra dei momenti angolari e simmetria  $SO(4)$  del problema di Keplero. Complementi: calcolo tensoriale.

Bibliografia

H Goldstein, C Poole, J Safko "Meccanica Classica", Zanichelli (2005).

Per alcuni argomenti è fornito materiale di approfondimento disponibile c/o la Biblioteca di Fisica.

Modalità di esame: una prova scritta e una prova orale.

Lo scritto è valutato con un giudizio (da insufficiente a ottimo) e l'accesso all'orale è consentito se viene raggiunta la sufficienza nello scritto.

Per gli studenti Erasmus le modalità d'esame potranno essere concordate diversamente su richiesta.

### **MECCANICA STATISTICA (FIS/02)**

*M. Guagnelli*

Il corso si propone di introdurre ai concetti fisici fondamentali e ai metodi matematici di base della meccanica statistica di equilibrio, con applicazioni ai sistemi ideali classici e quantistici, e al modello di Ising.

*Dispense disponibili al sito: <http://www.pv.infn.it/~zambotti/>*

### **METODI INFORMATICI DELLA FISICA (FIS/01)**

*A. Negri*

Obiettivi formativi: Il corso fornisce un'introduzione all'informatica di base ed è finalizzato alle applicazioni tipiche della fisica. Le lezioni, più che essere focalizzate su un determinato linguaggio di programmazione, sono caratterizzate da un approccio pragmatico all'informatica mirato all'insegnamento delle metodologie di apprendimento, alle tecniche di simulazione ed analisi di dati e alle procedure di debugging.

Prerequisiti: Non è richiesto alcun prerequisito.

Programma: Nella prima parte del corso sono illustrati i principi di funzionamento dei calcolatori, delle loro componenti principali e dei sistemi operativi. In particolare una certa attenzione è dedicata all'introduzione del sistema operativo Linux, ampiamente diffuso in ambito di ricerca, ai comandi unix e

agli script di shell utilizzati per l'automatizzazione delle procedure. Sono quindi presentati i concetti base dei linguaggi di programmazione procedurali e di quelli orientati agli oggetti. Come esempio di linguaggio correntemente usato in ambiente di ricerca fisica, viene fornita un'introduzione al linguaggio C++. Ampio spazio è dedicato ad esercitazioni in aula informatica, dove, per esempio, gli studenti sviluppano in C++ la simulazione di un problema tipico di fisica classica utilizzando anche un programma di analisi dati sviluppato al CERN (Root).

Bibliografia:

Dispense e slides del docente

Un qualsiasi manuale introduttivo al C++, es: <http://www.learncpp.com/>.

"Programmazione Scientifica", Barone et al.; Pearson Education.

"Metodi informatici della fisica", Adele Rimoldi; Pavia University Press.

Modalità di esame: Prova pratica al calcolatore.

## **METODI MATEMATICI DELLA FISICA I (FIS/02)**

*F. Salmistraro*

Obiettivi formativi

Elementi di teoria degli spazi di Hilbert di dimensione infinita;

Elementi di teoria delle funzioni analitiche.

Prerequisiti

Corsi di Algebra e Analisi del biennio.

Programma

1) Spazi normati e spazi di Banach - Convergenza forte in uno spazio normato - Spazi prehilbertiani e hilbertiani - Sistemi ortonormali e sistemi ortonormali completi - Disuguaglianze di Schwarz e di Bessel - Serie generalizzata di Fourier e identità di Parseval - Costruzione di Gram-Schmidt - Isomorfismo tra spazi di Hilbert - Varietà lineari e sottospazi di uno spazio di Hilbert - Teorema di proiezione - Operatori e funzionali lineari in uno spazio di Hilbert - Teorema di Riesz-Fréchet - Convergenza debole e completezza debole di uno spazio di Hilbert.

2) Definizione e proprietà fondamentali di una funzione analitica - Integrali curvilinei in capo complesso e teoremi di Cauchy - Formula integrale di Cauchy e infinita derivabilità delle funzioni analitiche - Serie di Taylor e di Laurent - Punti singolari isolati al finito e all'infinito - Teorema dei Residui - Prolungamento analitico secondo Weierstrass e prolungamento analitico lungo una curva - Funzioni poldrome e separazione dei rami analitici - Applicazione del teorema dei Residui al calcolo di integrali generalizzati.

Bibliografia

Dispense

V. Smirnov, Cours de mathématiques supérieures, Vol III, parte II, Cap. I e III (Mir 1972).

Modalità di esame: Esame orale.

## **METODI MATEMATICI DELLA FISICA II (FIS/02)**

*F. Salmistraro*

Obiettivi formativi

Elementi di teoria delle distribuzioni. Teoria degli operatori lineari in spazi di Hilbert.

Prerequisiti

Corsi di matematica del biennio, nozioni di Meccanica Quantistica.

Programma

Distribuzioni di Schwartz e distribuzioni temperate; loro rappresentazione - Operazioni su distribuzioni e trasformate di Fourier - Carattere distribuzionale delle funzioni d'onda della Meccanica Quantistica - Operatori lineari in spazi di Hilbert di dimensione infinita - Classi di operatori: limitati, non limitati, aggiunti, simmetrici, autoaggiunti, unitari, isometrici, di proiezione, chiusi - Operatori differenziali ed integrali di interesse fisico - Elementi di teoria spettrale per operatori autoaggiunti e unitari.

Bibliografia

Dispense.

Modalità d'esame: Esame orale.

## **PREPARAZIONE DI ESPERIENZE DIDATTICHE (FIS/08)**

*A. De Ambrosis, L. Falomo*

Obiettivi formativi

Il corso si propone di introdurre gli studenti all'utilizzo del laboratorio per l'insegnamento/apprendimento della fisica, fornendo esempi di approcci e di strumenti innovativi.

#### Prerequisiti

Conoscenze di base di meccanica, termodinamica ed elettromagnetismo, come vengono fornite dai corsi della laurea triennale in Fisica e in Matematica

#### Programma

Viene proposto l'uso di strumenti didattici innovativi che permettono di coinvolgere gli studenti nell'approfondimento della fisica partendo da attività di tipo sperimentale. Esempi significativi di tali strumenti sono i dispositivi MBL (Microcomputer-Based Laboratory), software per l'analisi di video come Tracker, programmi di simulazione come Algodoo. Le esperienze proposte riguardano temi di meccanica, termodinamica ed elettromagnetismo e alcune di esse prevedono la ricostruzione e l'analisi di esperimenti storici significativi.

#### Bibliografia

Arnold B. Arons, Guida all'insegnamento della fisica, Zanichelli, 1992.

Matilde Vicentini e Michela Mayer, Didattica della fisica, La Nuova Italia, 1996.

Olivier Darrigol, Electrodynamics from Ampere to Einstein, Oxford University Press, 2002.

#### Modalità di esame

Esame orale sugli argomenti trattati nel corso e sul materiale prodotto dagli studenti.

### **STORIA DELLA FISICA (FIS/08)**

*L. Fregonese*

#### Obiettivi formativi:

Conoscenza di grandi episodi della storia della fisica, finalizzata anche al recupero critico di nozioni centrali della disciplina e ad una loro migliore trasmissione didattica.

#### Prerequisiti:

Il corso sviluppa contestualmente le nozioni necessarie per la comprensione degli argomenti trattati.

#### Programma:

Il corso presenta le grandi linee di sviluppo della fisica nel periodo che va da Galileo alle soglie dei grandi cambiamenti che Einstein introdusse nella disciplina con i suoi famosi articoli del 1905 (relatività speciale, moto browniano, quanto di luce).

L'opera di Galileo e altri importanti sviluppi seicenteschi vengono contestualizzati in quella fondamentale tappa della scienza occidentale che viene denominata "rivoluzione scientifica" e che si caratterizza complessivamente per l'abbandono in fisica delle "qualità" aristoteliche a favore di nuovi schemi esplicativi, quali le leggi quantitative astratte, il corpuscolarismo, l'interpretazione meccanicistica dei processi naturali e l'impiego di "forze" variamente concepite. Le posizioni assunte su queste fondamentali questioni da Cartesio, Newton e Leibniz vengono esaminate specificamente. Il corso procede illustrando la strutturazione della fisica nel corso del Settecento e Ottocento in tre grandi aree - meccanica, termodinamica, elettromagnetismo - insieme al prevalere di approcci riduzionisti che, ricorrendosi agli schemi esplicativi emersi durante la rivoluzione scientifica, si proponevano di fondare l'intera disciplina su basi meccaniche. Il corso si sofferma in particolare sull'interpretazione cinetico-molecolare del calore e sui tentativi infruttuosi di estendere l'equipartizione dell'energia all'elusivo fenomeno del moto browniano. L'incapacità della fisica di spiegare in questa fase il moto browniano portò a una situazione di crisi tale da mettere in forse l'interpretazione cinetica del calore e l'ipotesi di una costituzione atomico-molecolare effettiva della materia, conducendo tra le altre cose al riemergere di forme di vitalismo. Il corso prosegue illustrando come, passando attraverso i risultati di van 't Hoff sulla pressione osmotica e la successiva reinterpretazione del moto browniano ad opera di Einstein, la spiegazione cinetico-molecolare del calore e la costituzione particellare effettiva della materia furono finalmente stabilite, ma ormai alle soglie di un riorientamento della fisica lungo linee di sviluppo non classiche.

#### Bibliografia:

Slides delle lezioni in formato digitale.

Roberto Maiocchi, Storia della scienza in Occidente, La Nuova Italia, 2000, parti scelte.

Storia della scienza, Enciclopedia Treccani, 2001-2003, articoli scelti.

Modalità di esame: Esame orale.

### **STRUTTURA DELLA MATERIA (FIS/03)**

*P. Carretta*

#### Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti di base riguardanti la struttura elettronica, le dinamiche, le spettroscopie e le funzioni di risposta in atomi, molecole e solidi cristallini.

#### Prerequisiti

Aspetti fondamentali di meccanica, termodinamica, elettromagnetismo e meccanica quantistica. È utile conoscere gli aspetti di base della meccanica statistica.

#### Programma

Vengono richiamati gli aspetti generali di atomi idrogenoidi e descritti i principi di spettroscopia dei livelli elettronici negli atomi. Successivamente vengono trattati gli atomi a più elettroni e illustrate le varie interazioni (spin-orbita, scambio, orbita-orbita, iperfine) che determinano la struttura dei livelli elettronici. Vengono descritti quindi gli stati elettronici e la formazione delle molecole, sia facendo riferimento a molecole biatomiche sia a molecole poliatomiche. Sono illustrate le proprietà delle molecole associate ai moti nucleari di rotazione e vibrazione e le spettroscopie utilizzate per il loro studio. Successivamente vengono descritte le proprietà principali dei solidi cristallini: le strutture reticolari, gli stati elettronici nei cristalli e la loro descrizione nell'ambito di diversi modelli, la formazione dei cristalli, la conduttività elettrica, i modi vibrazionali nei cristalli. Nell'arco del corso vengono richiamati in più occasioni concetti di meccanica statistica utili alla comprensione degli argomenti trattati. Viene data particolare enfasi all'effetto di campi elettrici e magnetici sulla struttura dei livelli di atomi, molecole e solidi e alla descrizione delle rispettive funzioni di risposta e delle spettroscopie impiegate per il loro studio.

#### Bibliografia

A. Rigamonti, P. Carretta, Structure of Matter: an Introductory Course with Problems and Solutions, Springer Italia, 2009 (seconda edizione).

#### Modalità di esame

Esame scritto e orale. Durante il corso si svolgeranno delle prove scritte in itinere sulle parti riguardanti atomi, molecole e solidi. Per accedere all'esame orale lo studente dovrà superare l'esame scritto finale oppure le tre prove scritte in itinere.

### **TECNICHE DIGITALI DI ACQUISIZIONE DEI DATI (FIS/01)**

*M. Corti*

#### Obiettivi formativi

L'obiettivo del corso è quello di fornire le modalità operative ed i principi di funzionamento della strumentazione di misura digitale e dei sistemi digitali per l'acquisizione e l'elaborazione dei segnali.

#### Prerequisiti

Nessun prerequisito richiesto.

#### Programma

Mediante un sistema di acquisizione dati basato su Personal Computer con scheda interna di acquisizione dati e interfaccia GPIB, idonea al controllo automatico della strumentazione di misura di laboratorio, i.e. generatori di segnali, voltmetri, multimetri, oscilloscopi, etc., saranno illustrati gli aspetti di fondamento e le potenzialità delle tecniche digitali per l'acquisizione dati. La gestione delle interfacce di comunicazione e di acquisizione dati ed i protocolli di controllo e di trasferimento dati saranno implementati dagli studenti utilizzando i moderni linguaggi di programmazione grafica e/o ad oggetti del tipo LabView (National Instruments), Visual-Basic, etc. Saranno inoltre illustrati alcuni algoritmi per la riduzione del rumore elettrico.

#### Bibliografia

LABVIEW nella gestione dei controlli e dei sistemi. M. Ferrari, G. Filella. DTP-studio-Editore (N0). Digital Electronics. W. Kleitz. Regents/Prentice Hall.

#### Modalità di esame

Prova pratica di laboratorio ed esame orale.

### **TECNOLOGIE FISICHE E BENI CULTURALI (FIS/07)**

*A. De Bari e M.C. Mozzati*

#### Obiettivi formativi

L'insegnamento si propone di fornire agli studenti le conoscenze fondamentali relativamente ad alcune metodologie fisiche applicate ai beni culturali anche attraverso una attività di laboratorio finalizzata a enucleare gli aspetti critici per l'operatore scientifico in ambito beni culturali.

#### Prerequisiti

Conoscenza dell'elettromagnetismo e delle basi di fisica quantistica e nucleare.

#### Programma

Verrà trattata la spettroscopia Raman e micro-Raman e alcune applicazioni nell'ambito dei beni culturali. A partire da alcuni elementi di base sull'interazione radiazione materia verranno illustrate le basi teoriche della tecnica e verranno evidenziate alcune problematiche sperimentali relative al particolare utilizzo in ambito beni culturali. Verrà infine svolta una attività di laboratorio finalizzata a favorire un

contatto diretto degli studenti con casi pratici, come, a titolo di esempio, misure su intonaci affrescati, su dipinti, su documenti stampati o scritti.

Sarà brevemente introdotta la tematica sul corretto campionamento dei reperti, una tecnica di determinazione cronologica e una di pura analisi chimica elementare: carbonio-14 e analisi per attivazione neutronica. La descrizione dell'analisi per attivazione neutronica potrà essere seguita da una dimostrazione in laboratorio che ne dimostri la capacità di identificare e determinare più elementi a livelli dei ppm (parte per milione) e inferiori.

Saranno trattati gli aspetti essenziali della teoria alla base della tecnica EPR (Electron Paramagnetic Resonance) e le possibilità di applicazione della tecnica nel campo dei beni culturali. Saranno realizzati esperimenti finalizzati all'apprendimento degli aspetti sperimentali di base della tecnica, con acquisizione di segnali da campioni standard e da diversi sistemi noti contenenti diversi ioni EPR attivi e con relativo trattamento del dato sperimentale. Saranno inoltre mostrati esempi di applicazione della tecnica per lo studio di materiali strettamente legati al campo dei beni culturali.

Saranno inoltre brevemente illustrati i principi fisici inerenti al paleomagnetismo e all'archeomagnetismo.

#### Bibliografia

Materiale didattico relativo alle tecniche trattate fornito durante le lezioni, accompagnato da estratti di lavori scientifici e di ricerca nell'ambito dei beni culturali.

#### Modalità di esame

La verifica dell'acquisizione dei risultati dell'apprendimento si concretizza in una prova orale che verte principalmente, ma non esclusivamente, su un argomento scelto dallo studente come tema da approfondire e concordato con il docente. La prova orale è preceduta dalla preparazione di una relazione scritta sul tema scelto.

## LAUREA MAGISTRALE IN SCIENZE FISICHE CORSO DI STUDI BIENNALE

Viene presentata l'organizzazione degli studi per la Laurea magistrale in Scienze Fisiche (Classe LM-17-Fisica) di durata biennale ai sensi del D.M. 270/2004.

Il regolamento didattico dettagliato del corso di laurea Magistrale in Scienze Fisiche è disponibile sul sito del Dipartimento di Fisica.

### **a) Obiettivi dell'organizzazione degli studi**

Obiettivo principale della laurea magistrale in Scienze Fisiche è fornire una preparazione culturale e metodologica adatta all'attività di ricerca, all'immediato inserimento nel mondo del lavoro nei settori tradizionali dei laureati in fisica e all'insegnamento nelle scuole secondarie.

Essa ha come naturale sbocco il dottorato di ricerca in fisica e scuole di specializzazione postuniversitarie.

L'organizzazione didattica è predisposta in modo tale che l'impegno temporale per lo studio, il carico didattico delle singole attività formative e le modalità di espletamento delle prove d'esame consentano allo studente medio di conseguire la laurea con una solida preparazione nei due anni previsti dal curriculum degli studi.

### **b) Requisiti d'accesso**

Per informazioni su:

- a) i requisiti di accesso alla Laurea magistrale in Scienze fisiche;
- b) l'indicazione degli studenti che possono procedere direttamente alla immatricolazione;
- c) l'indicazione degli studenti che devono sostenere la prova di ammissione;
- d) le modalità della prova di ammissione;
- e) le modalità della immatricolazione;

si invita a consultare l'**Avviso per l'ammissione** alla Laurea magistrale in Scienze fisiche, pubblicato sul sito dell'Università.

### **c) Crediti formativi universitari (CFU) e durata degli studi**

Di norma 1 CFU (equivalente a 25 ore complessive di lavoro) è costituito dalle ore accademiche di lezione frontale e da altre ore necessarie per l'acquisizione dei contenuti e dei metodi impartiti nelle lezioni e per lo studio dei testi e dei materiali consigliati dal docente, nonché da altre eventuali ore per l'approfondimento di argomenti specifici. Lo studente acquisisce i crediti relativi con il superamento della prova d'esame.

Di norma, un curriculum di studi comporta l'acquisizione di 60 CFU per ogni anno di corso e la laurea magistrale è conseguita con l'acquisizione di 120 CFU.

### **d) Piani di studio**

Lo studente segue normalmente un piano di studio conforme a uno dei piani di studio ufficiali esposti nel successivo punto i). I piani di studio conformi a un piano di studio ufficiale sono approvati senza bisogno di ulteriore esame da parte del Consiglio didattico. Lo studente può tuttavia presentare un **piano di studio individuale motivato** che dovrà essere espressamente approvato da parte del Consiglio didattico. Un piano di studio individuale può prevedere l'acquisizione di un numero di CFU maggiore di 120. La presentazione dei piani di studio individuali avviene secondo modalità stabilite dalla Segreteria studenti.

Per informazioni sulle modalità di compilazione e presentazione dei piani di studio consultare la pagina web <http://www.unipv.eu/site/home/area-stampa/articolo3448.html>.

Prima approvazione da parte del Consiglio didattico, gli studenti possono trascorrere periodi di studio o di apprendistato presso università italiane o straniere o presso istituzioni extrauniversitarie, con attribuzione di un numero di CFU da stabilire caso per caso, sulla base di un'adeguata documentazione.

Nell'ambito delle ipotesi previste dal Regolamento Didattico di Ateneo è consentito agli studenti di richiedere, al momento dell'immatricolazione, una modalità di iscrizione a tempo parziale che estende il periodo di durata del corso di studio a quattro anni. Il piano di studi prevede orientativamente l'acquisizione di 24 CFU per anno, per i primi tre anni, e di 48 CFU al quarto anno attraverso lo svolgimento dell'attività di tesi, dell'internato di tesi e la prova finale. Lo studente può presentare un piano di studi conforme agli schemi illustrati al successivo punto i) per uno dei curricula previsti dall'ordinamento o in alternativa presentare un piano di studi individuale.

### **e) Progressione degli studi e propedeuticità degli insegnamenti**

La frequenza alle lezioni è fortemente raccomandata al fine della proficua formazione dello studente e i singoli docenti adotteranno tutti gli strumenti utili per incentivarla. Essa è obbligatoria per gli insegnamenti o parte di insegnamenti per i quali il docente la ritenga necessaria in relazione a esercitazioni o attività di laboratorio. In tali casi il docente definisce le modalità della verifica.

Non sussistono propedeuticità tra gli esami degli insegnamenti previsti dal piano di studio.



#### f) Tipologia delle forme didattiche e verifica dell'apprendimento

La didattica è organizzata in moduli semestrali di 6 CFU. Le lezioni si svolgono in due periodi di circa 13-14 settimane utili ciascuno, convenzionalmente chiamati "semestri", e gli esami in due periodi, detti "sessioni", come indicato nella seguente tabella:

I semestre:	13/10/2014 – 23/01/2015 Lezioni 26/01/2015 – 27/02/2015 Esami
II semestre:	02/03/2015 – 12/06/2015 Lezioni 15/06/2015 – 30/09/2015 Esami

A scelta dei singoli docenti, la verifica dell'apprendimento è effettuata mediante una prova orale finale, eventualmente preceduta da una prova scritta, o da una prova di laboratorio, o da più prove distribuite nel corso delle lezioni. Il livello dell'apprendimento è quantificato con un voto in trentesimi.

Il voto dell'esame non ha alcuna relazione con il numero di CFU associato all'insegnamento e il numero di CFU dell'insegnamento è acquisito se il voto è di sufficienza (cioè non inferiore a 18/30).

Per consultare il calendario degli appelli (Selezionare [688916] Dipartimento di Fisica) e le istruzioni relative all'iscrizione agli appelli tramite piattaforma ESSE3 collegarsi al sito internet <https://studentionline.unipv.it/Home.do>.

#### g) Prova finale e voto di laurea

La prova finale è pubblica e consiste nella discussione davanti ad una commissione ufficiale di una dissertazione scritta, elaborata in modo personale dal laureando sotto la guida di un docente relatore. La dissertazione deve sviluppare tematiche specificamente attinenti agli obiettivi formativi del corso di studio nell'ambito del curriculum scelto dallo studente. Essa può consistere in una ricerca a carattere sperimentale o teorico, in un lavoro di rassegna o essere il risultato di un'attività di tirocinio svolta presso un ente o un'azienda pubblica o privata.

La commissione è invitata ad attribuire il voto di laurea secondo i seguenti criteri.

La media dei voti conseguiti dallo studente negli esami, ad esclusione di quelli in sovrannumero, espressa in centodecimi, moltiplicata per il fattore 100/110 e arrotondata all'intero più vicino, costituisce il punteggio base. Il punteggio base, incrementato di 2 punti se la laurea magistrale è conseguita entro il 31/12 del secondo anno di corso e di 1 punto se essa è conseguita entro il 31/10 del terzo anno di corso e ulteriormente incrementato fino a un massimo di 12 punti secondo il giudizio della commissione, costituisce il punteggio finale. Il voto finale in centodecimi è dato dal punteggio finale con massimo 110. La lode può essere attribuita con voto unanime della commissione se il punteggio base è pari ad almeno 98 e il punteggio finale, ulteriormente incrementato di 1 punto se lo studente ha conseguito negli esami almeno 4 lodi e di 2 punti se ha conseguito almeno 8 lodi, è pari ad almeno 113.

#### h) Curricula degli studi

I curricula previsti sono i seguenti:

- 1) **Fisica della materia** (caratterizzato da una formazione prevalente nel settore scientifico-disciplinare FIS/03);
- 2) **Fisica nucleare e subnucleare** (caratterizzato da una formazione prevalente nel settore scientifico-disciplinare FIS/04);
- 3) **Fisica teorica** (caratterizzato da una formazione prevalente nel settore scientifico-disciplinare FIS/02);
- 4) **Fisica Biosanitaria** (caratterizzato da una formazione prevalente nei settori scientifico-disciplinari FIS/04, FIS/01, FIS/07);
- 5) **Didattica e storia della fisica** (caratterizzato da una formazione prevalente nel settore scientifico-disciplinare FIS/08).

Il significato dei simboli usati per indicare i settori scientifico-disciplinari citati qui sopra e nel seguito è precisato nella tabella seguente:

FIS/01	Fisica sperimentale
FIS/02	Fisica teorica, modelli e metodi matematici
FIS/03	Fisica della materia
FIS/04	Fisica nucleare e subnucleare
FIS/05	Astronomia e Astrofisica
FIS/06	Fisica per il sistema terra e il mezzo circumterrestre
FIS/07	Fisica applicata (a beni culturali, ambientali, biologia e medicina)
FIS/08	Didattica e storia della fisica

### **i) Piani di studio ufficiali**

I piani di studio ufficiali dei diversi curricula descritti nel seguito si intendono riferiti a uno studente che abbia conseguito la laurea in Fisica presso l'Università di Pavia seguendo un piano di studio conforme al piano ufficiale. In tutti gli altri casi il piano di studio dovrà essere espressamente approvato dal Consiglio didattico tenendo conto delle eventuali lacune presenti nella precedente formazione.

La laurea magistrale in Scienze fisiche si ottiene conseguendo 120 CFU così ripartiti:

**72 CFU** da acquisire nel corso della laurea magistrale con gli insegnamenti specificati nel seguito per i diversi curricula;

**48 CFU** da acquisire con la prova finale della laurea magistrale.

Le scelte operate dallo studente nell'ambito del corso di laurea in Fisica non possono essere ripetute nell'ambito del corso di laurea magistrale in Scienze fisiche. Tali scelte sono comunque valide per soddisfare alcuni vincoli previsti dai piani di studio dei diversi curricula della laurea magistrale.

La dissertazione scritta (tesi) per la prova finale deve essere di argomento omogeneo al curriculum scelto.

I piani di studio dei diversi curricula esposti nel seguito non sono organizzati per anno di corso. Lo studente può scegliere liberamente in quale anno inserire gli insegnamenti. Il rispetto di eventuali propedeuticità è affidato al discernimento dello studente guidato dai consigli dei docenti. I 48 CFU previsti per la prova finale sono divisi convenzionalmente in 36 CFU attribuiti al lavoro di preparazione della tesi, 6 CFU certificati dal relatore e consistenti nell'acquisizione di competenze informatiche e telematiche e di abilità relazionali, nonché attività volte ad agevolare le scelte professionali, e 6 CFU attribuiti alla prova finale vera e propria. Il lavoro di preparazione della tesi può essere suddiviso tra i due anni di corso a scelta della studente con il solo vincolo che il lavoro da svolgere il primo anno non superi quello da svolgere il secondo. In termini di CFU sono possibili per il lavoro di preparazione della tesi le seguenti scelte: 0 (1° anno) - 36 (2° anno), 6 - 30, 12 - 24, 18 - 18. Corrispondentemente i CFU relativi agli insegnamenti da inserire nel piano saranno 60 (1° anno) - 12 (2° anno), 54 - 18, 48 - 24, 42 - 30.

**Insegnamenti che caratterizzano il CURRICULUM DI FISICA DELLA MATERIA (72 CFU)**

**36 CFU** acquisibili con i seguenti insegnamenti obbligatori:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Meccanica statistica	FIS/02	6	II	T
Complementi di struttura della materia	FIS/03	6	I	M
Fisica dello stato solido I	FIS/03	6	I	M
Fisica dello stato solido II	FIS/03	6	II	M
Laboratorio di strumentazioni fisiche	FIS/01	6	II	M
Laboratorio di fisica quantistica I	FIS/01	6	I	M

Gli studenti che hanno sostenuto, nella laurea in Fisica, l'esame di Meccanica statistica, devono sostituire l'insegnamento di Meccanica statistica con un insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Complementi di fisica teorica	FIS/02	6	I	M
Complementi di meccanica statistica	FIS/02	6	I	M
Elettrodinamica quantistica	FIS/02	6	I	M
Metodi matematici della fisica teorica	FIS/02	6	I	M

**12 CFU** acquisibili con 2 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Fisica dei dispositivi elettronici a stato solido	FIS/03	6	I	M
Fisica quantistica della computazione	FIS/03	6	II	M
Fotonica	FIS/03	6	I	M
Nanostrutture di semiconduttori	FIS/03	6	II	M
Ottica quantistica	FIS/03	6	I	M
Spettroscopia dello stato solido	FIS/03	6	I	M
Teoria fisica dell'informazione	FIS/03	6	II	M

**12 CFU** acquisibili con 2 insegnamenti nei settori BIO/06, CHIM/02,03,05,06,07,12, FIS/05,06, GEO/06,07,10, INF/01, MAT/02,03,04,05,06,07,08, ING-IND/09,18,22, ING-INF/01,02,03,05,06,07, MED/36, M-STO/05.

**12 CFU** acquisibili con 2 insegnamenti a scelta libera.

**Insegnamenti che caratterizzano il CURRICULUM DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE (72 CFU)**

**12 CFU** acquisibili con i seguenti insegnamenti obbligatori:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Laboratorio di fisica nucleare e subnucleare I	FIS/04	6	I	M
Rivelatori di particelle	FIS/01	6	II	M

**6 CFU** acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Elettrodinamica e relatività	FIS/02	6	I	T
Complementi di fisica teorica	FIS/02	6	I	M
Elettrodinamica quantistica	FIS/02	6	I	M
Metodi matematici della fisica teorica	FIS/02	6	I	M
Metodi Computazionali della Fisica	FIS/02	6	II	M

<sup>(1)</sup> T = insegnamenti già offerti nella Laurea Triennale; M = Laurea magistrale.

Teoria delle interazioni fondamentali	FIS/02	6	I	M
Teoria quantistica dei campi	FIS/02	6	II	M

**24 CFU** acquisibili con 4 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Fisica delle particelle elementari I	FIS/04	6	II	M
Fisica nucleare I	FIS/04	6	II	M
Fisica nucleare II	FIS/04	6	I	M
Laboratorio di fisica nucleare subnucleare II	FIS/04	6	II	M
Radioattività I	FIS/04	6	I	M
Acceleratori e reattori nucleari	FIS/04	6	I	M
Radioattività II	FIS/04	6	II	M

**6 CFU** acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Tecniche digitali di acquisizione dei dati	FIS/01	6	I	T
Tecnologie fisiche e beni culturali	FIS/07	6	II	T
Procedimenti informatici di simulazione	FIS/01	6	II	M
Metodi statistici della fisica	FIS/01	6	I	M

**12 CFU** acquisibili con 2 insegnamenti nei settori FIS/05, MAT/05, MAT/06, MAT/08, INF/01, ING-IND/09, ING-IND/18, ING-INF/01, ING-INF/05, ING-INF/07, MED/36

**12 CFU** acquisibili mediante insegnamenti a scelta libera.

**Insegnamenti che caratterizzano il**

#### **CURRICULUM DI FISICA TEORICA (72 CFU)**

**24 CFU** acquisibili con i seguenti insegnamenti obbligatori:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Elettrodinamica e relatività	FIS/02	6	I	T
Meccanica statistica	FIS/02	6	II	T
Complementi di fisica teorica	FIS/02	6	I	M
Elettrodinamica quantistica	FIS/02	6	I	M

Gli studenti che hanno sostenuto, nella laurea in Fisica, gli esami di Elettrodinamica e relatività e/o di Meccanica statistica I, devono sostituirli scegliendo tra gli insegnamenti dell'elenco seguente.

**6 CFU** acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Complementi di meccanica statistica	FIS/02	6	I	M
Econofisica	FIS/02	6	I	M
Teoria delle interazioni fondamentali	FIS/02	6	I	M
Fondamenti della meccanica quantistica	FIS/02	6	I	M
Gruppi e simmetrie fisiche	FIS/02	6	II	M
Metodi matematici della fisica teorica	FIS/02	6	I	M
Metodi Computazionali della Fisica	FIS/02	6	II	M
Relatività generale	FIS/02	6	II	M
Teoria quantistica dei campi	FIS/02	6	II	M

**6 CFU** acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

<sup>(1)</sup> T = insegnamenti già offerti nella Laurea Triennale; M = Laurea magistrale.

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Laboratorio di fisica quantistica I	FIS/01	6	I	M
Metodi statistici della fisica	FIS/01	6	I	M
Procedimenti informatici di simulazione	FIS/01	6	II	M
Rivelatori di particelle	FIS/01	6	II	M

**12 CFU** acquisibili con 2 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Complementi di struttura della materia	FIS/03	6	I	M
Fisica delle particelle elementari I	FIS/04	6	II	M
Fisica dello stato solido I	FIS/03	6	I	M
Fisica nucleare I	FIS/04	6	II	M
Fotonica	FIS/03	6	I	M
Ottica quantistica	FIS/03	6	I	M
Fisica dello stato solido II	FIS/03	6	II	M
Fisica nucleare II	FIS/04	6	I	M
Fisica quantistica della computazione	FIS/03	6	II	M
Nanostrutture di semiconduttori	FIS/03	6	II	M
Teoria fisica dell'informazione	FIS/03	6	II	M

**12 CFU** acquisibili con 2 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Equazioni differenziali e sistemi dinamici	MAT/05	6	I	T
Introduzione all'astronomia	FIS/05	6	I	T
Analisi funzionale	MAT/05	9	I	M
Equazioni della fisica matematica	MAT/07	6	II	M
Astrofisica	FIS/05	6	II	M
Astronomia	FIS/05	6	II	M
Fenomeni di diffusione e trasporto	MAT/07	9	II	M
Plasmi astrofisici	FIS/05	6	II	M
Teoria dei sistemi dinamici	MAT/07	6	I	M

**12 CFU** acquisibili con 2 insegnamenti a scelta libera.

### Insegnamenti che caratterizzano il CURRICULUM DI FISICA BIOSANITARIA (72 CFU)

**48 CFU** acquisibili con i seguenti insegnamenti obbligatori:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Fisica delle radiazioni ionizzanti	FIS/04	6	I	T
Biologia generale, anatomia e fisiologia umana	BIO/06	6	I	M
Tecniche diagnostiche II	FIS/07	6	I	M
Tecniche diagnostiche I	FIS/07	6	II	M
Elementi di radioprotezione	FIS/07	6	II	M
Radiobiologia	MED/36	6	II	M
Strumentazione fisica biosanitaria	FIS/07	6	I	M
Laboratorio di radiazioni ionizzanti	FIS/04	6	II	M

Qualora l'insegnamento di Fisica delle radiazioni ionizzanti sia già stato sostenuto nella laurea in Fisica deve essere sostituito con un altro insegnamento dei SSD FIS/03 o FIS/04.

**6 CFU** acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Tecniche digitali di acquisizione dei dati	FIS/01	6	I	T

<sup>(1)</sup> T = insegnamenti già offerti nella Laurea Triennale; M = Laurea magistrale.

Metodi statistici della fisica	FIS/01	6	I	M
Procedimenti informatici di simulazione	FIS/01	6	II	M
Rivelatori di particelle	FIS/01	6	II	M
Simulazione in campo biosanitario	FIS/07	6	I	M

**6 CFU** acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Elettrodinamica e relatività	FIS/02	6	I	T
Meccanica statistica	FIS/02	6	II	T
Complementi di Fisica di Base	FIS/08	6	II	T
Complementi di meccanica statistica	FIS/02	6	I	M
Metodi Computazionali della Fisica	FIS/02	6	II	M

**12 CFU** acquisibili con 2 insegnamenti a scelta libera.

**Insegnamenti che caratterizzano il**

### **CURRICULUM DI DIDATTICA E STORIA DELLA FISICA (72 CFU)**

**36 CFU** acquisibili con 6 insegnamenti scelti dal seguente elenco, di cui al più uno appartenente al settore FIS/02:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Elettrodinamica e relatività	FIS/02	6	I	T
Storia della fisica	FIS/08	6	I	T
Preparazione di esperienze didattiche	FIS/08	6	I	T
Complementi di fisica di base	FIS/08	6	II	T
Meccanica statistica	FIS/02	6	II	T
Complementi di fisica teorica	FIS/02	6	I	M
Didattica della fisica	FIS/08	6	II	M
Tecnologie della comunicazione scientifica	FIS/08	6	I	M
Fondamenti della fisica	FIS/08	6	I	M
Relatività generale	FIS/02	6	II	M

**6 CFU** acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Laboratorio di fisica quantistica I	FIS/01	6	I	M
Laboratorio di strumentazioni fisiche	FIS/01	6	II	M

**6 CFU** acquisibili con 1 insegnamento scelto dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Introduzione alla fisica dei solidi	FIS/03	6	II	T
Complementi di struttura della materia	FIS/03	6	I	M
Fisica dello stato solido I	FIS/03	6	I	M
Fisica nucleare I	FIS/04	6	II	M
Radioattività I	FIS/04	6	I	M
Teoria fisica dell'informazione	FIS/03	6	II	M

**12 CFU** acquisibili con 2 insegnamenti scelti dal seguente elenco:

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea <sup>(1)</sup>
Equazioni differenziali e sistemi dinamici	MAT/05	6	I	T
Introduzione all'astronomia	FIS/05	6	I	T
Matematiche complementari	MAT/04	6	I	M
Storia della matematica	MAT/04	6	I	M
Storia delle scienze	M-STO/05	6	I	M
Astrofisica	FIS/05	6	II	M
Astronomia	FIS/05	6	II	M

<sup>(1)</sup> T = insegnamenti già offerti nella Laurea Triennale; M = Laurea magistrale.

Comunicazione digitale multimediale	ING-INF/05	6	II	M
Didattica della matematica	MAT/04	9	I	M
Matematiche element. da un punto di vista superiore	MAT/04	6	II	M

**12 CFU** acquisibili con 2 insegnamenti a scelta libera.

### **Corsi attivati presso i Collegi**

All'attività didattica svolta presso il Dipartimento di Fisica si aggiungono i seguenti corsi tenuti presso i collegi storici pavese, che possono essere inseriti nel piano di studi come insegnamenti a scelta.

- Dynamic programming, optimal control and applications (MAT/03, 3 CFU, Collegio Borromeo).
- Teoria dei giochi (MAT/05, 3 CFU, Collegio Borromeo).
- Neuroscienze (BIO/09, 3 CFU, Collegio Borromeo).
- Etica ambientale (SECS-P/13, 3 CFU, Collegio Borromeo).
- Progresso umano e sviluppo sostenibile (SECS-P/01, 3 CFU, Collegio S. Caterina).
- Introduzione alla Teoria dei Processi Stocastici (MAT/06, 3 CFU, Collegio Ghislieri).
- Istituzioni di logica (M-FIL/02, 3 CFU, Collegio Ghislieri).

Per informazioni sui corsi ci si può rivolgere ai rispettivi Collegi.

- Collegio Ghislieri, <http://www.ghislieri.it/>
- Collegio Borromeo, <http://www.collegioborromeo.it/>
- Collegio Santa Caterina da Siena, <http://santacaterina.unipv.it/>
- Collegio Nuovo, <http://colnuovo.unipv.it/>

## **LINEAMENTI DEI CORSI DELLA LAUREA MAGISTRALE**

Qui di seguito sono riportati, in ordine alfabetico, i programmi degli insegnamenti impartiti nel corso di Laurea Magistrale in Scienze Fisiche.

### **ACCELERATORI E REATTORI NUCLEARI (FIS/04)**

*S. Altieri, A. Braghieri*

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti di base relativi al funzionamento degli acceleratori di particelle e dei reattori nucleari.

Prerequisiti

Nozioni di fisica nucleare, fisica quantistica, elettromagnetismo.

Programma

Il corso si propone di analizzare la produzione di fasci di elettroni, gamma, particelle cariche e neutroni, che vengono utilizzati in Fisica sperimentale e in medicina a scopo terapeutico e diagnostico. Sono presi in esame i principi di funzionamento di diversi tipi di acceleratori di particelle: acceleratori elettrostatici, betatrone, sincrotrone, ciclotrone, sincrociclotrone, acceleratori lineari. Breve presentazione dei principali laboratori nel mondo.

Per quanto riguarda i reattori nucleari viene studiata l'equazione di diffusione dei neutroni in semplici geometrie introducendo anche il metodo a multigruppi. Vengono quindi studiate le condizioni di criticità di un reattore nucleare con la teoria di diffusione a un gruppo e in geometrie semplici con particolare riferimento ai reattori termici con e senza riflettore. Si passa poi allo studio della cinetica del reattore approfondendo alcuni aspetti del reattore Triga. Vengono brevemente discusse le problematiche connesse all'uso dei reattori nucleari per la produzione di energia elettrica con riferimento alla sicurezza degli impianti, agli incidenti e ai rifiuti radioattivi.

Bibliografia

J. R. Lamarsh, Anthony J. Baratta Introduction to Nuclear Engineering Prentice-Hall International (UK) Limited, London.

J. R. Lamarsh Introduction to nuclear reactor theory. Addison-Wesley Publishing Company.

Modalità di esame

Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà...) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

### **ANALISI FUNZIONALE (MAT/05)**

*G. Schimperna*

Obiettivi

Il corso ha uno scopo molteplice:

- a) fornire gli elementi più importanti della teoria degli spazi di Banach e di Hilbert, con particolare riguardo agli spazi di Banach;
- b) dare applicazioni significative dell'Analisi Funzionale a problemi di un certo rilievo nell'Analisi Matematica;
- c) evidenziare l'interazione fra problematiche concrete e teoria astratta con la presentazione parallela di concetti, risultati e applicazioni.

Prerequisiti

Calcolo differenziale ed integrale per funzioni di una e più variabili. Teoria della misura e dell'integrazione secondo Lebesgue. Nozioni di base di algebra lineare.

Programma

1. Richiami su norme e prodotti scalari. Metriche e topologie indotte. Spazi vettoriali topologici. Alcune costruzioni canoniche. Completezza e spazi di Banach e di Hilbert. Completamenti. Esempi significativi, quali gli spazi di funzioni continue, di Lebesgue e di Sobolev.

2. Operatori lineari e continui. Duale di uno spazio normato. Risultati di rappresentazione del duale. Richiami sulla teoria elementare degli spazi di Hilbert. Convergenza debole in uno spazio normato e compattezza debole sequenziale degli spazi di Hilbert.

3. Forme analitiche dei teoremi di Hahn-Banach e loro applicazioni: la mappa di dualità, il biduale, l'isomorfismo canonico e la nozione di spazio riflessivo, la convergenza debole nel duale, il problema della compattezza debole sequenziale, l'aggiunto di un operatore lineare e continuo. Forme geometriche dei teoremi di Hahn-Banach e alcune loro applicazioni: funzioni convesse e sottodifferenziali.



4. Alcuni dei teoremi fondamentali della teoria degli spazi di Banach: i teoremi di Banach-Steinhaus, dell'applicazione aperta e del grafico chiuso con alcune loro conseguenze importanti. L'aggiunto di un operatore non limitato e le relazioni di ortogonalità. Operatori chiusi e operatori a immagine chiusa.
5. Complementi Riflessività: costruzioni canoniche di spazi riflessivi e classi importanti di spazi riflessivi. Famiglie di seminorme, spazi localmente convessi, spazi di Frechet. Le topologie debole e debole: teoremi di compattezza debole e di compattezza debole.

#### Bibliografia

H. Brezis: "Analisi Funzionale", Liguori Editore, 1986.

G. Gilardi: "Analisi Funzionale (ovvero un possibile Corso di Analisi Funzionale)", note del corso (scaricabili).

Altro materiale reperibile in rete alla pagina web del corso.

Modalità di esame: Esame scritto e orale.

### **ASTROFISICA (FIS/05)**

*A. Tiengo*

#### Obiettivi formativi

Il corso si propone di fornire le basi per la comprensione, sia qualitativa che quantitativa, di alcuni aspetti dell'astrofisica contemporanea, con particolare attenzione per gli ultimi stadi evolutivi delle stelle.

#### Prerequisiti

Nessuno.

#### Programma

Gli argomenti principali sono i seguenti:

- processi radiativi in astrofisica: radiazione di corpo nero, bremsstrahlung, ciclotrone e sincrotrone, Compton inverso;
- fondamenti di cosmologia e radiazione cosmica di fondo;
- ammassi di galassie ed effetto Sunyaev-Zeldovich;
- formazione ed evoluzione stellare;
- supernovae e Gamma-Ray Bursts;
- oggetti compatti: nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri;
- sistemi binari e accrescimento;
- pianeti extrasolari.

#### Bibliografia

H. Bradt: "Astrophysical Processes: The Physics of Astronomical Phenomena", Cambridge University Press.

#### Modalità di esame

Esame orale.

### **ASTRONOMIA (FIS/05)**

*A. De Luca, P.W. Cattaneo*

Il corso è dedicato all'astrofisica delle alte energie, la scienza che si propone di capire i fenomeni più energetici che hanno luogo nell'universo, tramite lo studio del cielo nelle bande dei raggi X e gamma e lo studio dei raggi cosmici. Dopo una introduzione ai processi di accelerazione di particelle e di produzione di fotoni di alta energia in ambiente astrofisico, particolare enfasi verrà data allo studio di diverse classi di sorgenti astrofisiche di raggi X e gamma, partendo dai più recenti risultati osservativi. Il programma del corso sarà il seguente. Raggi cosmici: cenni storici; composizione e spettro; meccanismi di accelerazione e origine dei raggi cosmici; modulazione solare; interazione sole-terra e space weather. Astronomia X: rivelatori e ottiche; missioni per astronomia X. Sorgenti astrofisiche di raggi X: stelle; resti di supernova; stelle di neutroni isolate; sistemi binari galattici in accrescimento (con nane bianche, stelle di neutroni, buchi neri); galassie; nuclei galattici attivi; ammassi di galassie; radiazione di fondo isotropa in banda X.

Astronomia gamma: interazione fotoni-materia e meccanismi produzione raggi gamma. Strumenti per astronomia gamma. Le missioni INTEGRAL, AGILE e GLAST. Sorgenti astrofisiche di raggi gamma: pulsars; blazars; radiazione diffusa galattica. I lampi di raggi gamma e la missione Swift. Rivelatori Cerenkov e astronomia gamma delle altissime energie.

### **BIOLOGIA GENERALE, ANATOMIA E FISILOGIA UMANA (BIO/06)**

*R. Nano*

Obiettivi formativi Apprendimento di concetti e meccanismi di base di biologia, anatomia e fisiologia.

Prerequisiti Nessuno

## Programma

La cellula come unità fondamentale degli organismi: organizzazione e funzione.

Organizzazione delle cellule procariote ed eucariote.

La base strutturale dell'informazione cellulare: DNA, cromosomi, mitosi e meiosi, RNA e sintesi proteica.

I ruoli chiave della divisione cellulare; apoptosi (morte cellulare programmata) , necrosi.

Tecniche di colorazione morfologica e immunohistochimica.

Tessuto epiteliale, connettivale, muscolare, nervoso.

Midollo osseo, cellule del sangue e del sistema immunitario.

Sistema circolatorio, digestivo, respiratorio.

Definizione di cellula tumorale

## Bibliografia:

Testo consigliato

Istologia (Ed Piccin) per i corsi di laurea in professioni Sanitarie

S. Adamo, P. Comoglio, M. Molinaro, G. Siracusa, M. Stefanini, E. Ziparo.

Modalità di esame: esame orale

## COMPLEMENTI DI FISICA DI BASE (FIS/08)

Vedi: Lauree triennali

## COMPLEMENTI DI FISICA TEORICA (FIS/02)

*B. Pasquini*

Obiettivi formativi

Apprendimento di concetti e fenomeni di base relativi alla fisica dei sistemi a molte particelle.

Prerequisiti

Meccanica quantistica.

Programma

Modelli a particelle indipendenti; seconda quantizzazione in ambito non relativistico; osservabili in seconda quantizzazione; descrizione di un sistema mediante stati di quasi-particella; la trasformazione di Bogoliubov-Valatin; teorema di Wick; metodo di Hartree-Fock; metodo BCS; la funzione di Green come risolvete di un'equazione della fisica-matematica; funzione di Green di particella singola per sistemi a temperatura zero; rappresentazione di Lehmann e densità spettrale; teoria della risposta lineare; metodi di calcolo, esempi di sistemi di fermioni e di bosoni.

Bibliografia

S. Boffi: Da Heisenberg a Landau; un'introduzione alla fisica dei sistemi a molte particelle, Bibliopolis, Napoli, 2004.

A.L. Fetter, J.D. Walecka "Quantum theory of many particle systems", McGraw-Hill, 1971; Dover 2002.

Modalità di esame: Esame orale.

## COMPLEMENTI DI MECCANICA STATISTICA (FIS/02)

*M.F. Sacchi*

Obiettivi formativi

Fornire i) elementi della teoria meccanico-statistica di non equilibrio, ii) metodi per trattare sistemi quantistici aperti, iii) trattazione termodinamica di processi dinamici quantistici.

Prerequisiti

Meccanica quantistica, metodi matematici della fisica.

Programma

Elementi della teoria meccanico-statistica di non equilibrio:

sistemi aperti, approssimazione di Born-Markoff, Master Equation; semigruppì dinamici e forma di Lindblad; rappresentazione della dinamica a tempi discreti: mappe completamente positive e isomorfismo di Jamiolkowski. Equazioni di Langevin, equazioni di Fokker-Planck, metodo della funzione di Green. Teorema della regressione quantistica e funzioni di correlazione. Relazioni di Einstein tra diffusione e drift. Funzioni generalizzate di Wigner.

Metodi numerici:

metodo della cumulativa, Monte Carlo e algoritmo di Metropolis; quantum jump.

Applicazioni:

forma di riga Lorentziana dell'emissione spontanea. Equazioni di Bloch completa per sistemi a due livelli, tempi di rilassamento  $T_1$  e  $T_2$ . Radiazione in cavità; Lamb-shift dipendente dalla temperatura (nonrelativistico).

Master equation e Fokker-Planck per perdita e amplificazione delle radiazione.

Operatore statistico canonico generalizzato e teoria della risposta:  
livelli di osservazione ed entropia. I e II legge della termodinamica per processi dinamici. Prodotto scalare di Mori (correlazione canonica) e identità di Kubo. Operatori delle forze generalizzate.  
Teoria della risposta lineare per sistemi classici e quantistici:  
susceptività isoterma e adiabatica; susceptività dinamica; formula di Kubo. Funzioni di rilassamento.  
Teorema di Wiener-Khintchine; relazioni di Kramers-Kronig; teorema di Johnson-Nyquist. Equazioni di Langevin-Mori. Matrice di memoria e coefficienti dinamici di Onsager. I e II teorema di fluttuazione-dissipazione. Master equation generalizzate: metodo dei proiettori (equazione di Nakajima-Zwanzig).  
Produzione irreversibile di entropia. Lavoro per trasformazioni fuori dall'equilibrio: relazione di Crooks e disuguaglianza di Jarzynski.

#### Bibliografia

Testi consigliati:

The theory of open quantum systems, H.-P. Breuer and Petruccione (Oxford University Press);  
Statistical physics II: Nonequilibrium statistical mechanics, R. Kubo, M. Toda, and N. Hashitsume (Springer);  
The quantum statistics of dynamic processes, E. Fick and G. Sauermaun (Springer).

Modalità di esame: Esame orale.

### **COMPLEMENTI DI STRUTTURA DELLA MATERIA (FIS/03)**

*P. Carretta, S. Sanna*

#### Obiettivi formativi

Apprendimento degli aspetti di base riguardanti le transizioni di fase e le proprietà dei materiali magnetici e superconduttori.

#### Prerequisiti

Conoscenza dei fondamenti della meccanica quantistica e della meccanica statistica e delle nozioni di base della struttura dei solidi: strutture reticolari, le bande elettroniche e le vibrazioni reticolari. Queste nozioni dovrebbero essere state acquisite nel corso della laurea triennale.

#### Programma

Vengono presentati gli aspetti generali delle transizioni di fase: fenomenologia, transizioni del primo e del secondo ordine, parametro d'ordine, funzioni di risposta, esponenti critici. Viene trattata la funzione di correlazione, il fattore di struttura statico e il loro comportamento in prossimità di una transizione di fase, gli effetti di correlazione tra variabili critiche e il modello di Stoner-Hubbard. Saranno quindi illustrate le proprietà magnetiche della materia. Nei metalli viene descritta: la susceptività generalizzata, i livelli di Landau, effetto de Haas-Van Alphen, diamagnetismo di Landau e paramagnetismo di Pauli, gli effetti di dimensione finita e le onde di densità di spin. Negli isolanti sono richiamati il paramagnetismo di Curie, Van-Vleck e gli effetti di campo cristallino. Vengono presentate le interazioni di scambio dirette e indirette e successivamente il ferromagnetismo, l'antiferromagnetismo e altri tipi di ordine magnetico, le loro proprietà statiche e le onde di spin. Sono inoltre illustrati gli effetti indotti dalla frustrazione magnetica e le proprietà dei magneti molecolari. Saranno infine trattati gli aspetti fondamentali dei superconduttori: proprietà termodinamiche, equazioni di London, la formazione delle Coppie di Cooper, il Gap e l'effetto isotopico, l'effetto Josephson e lo SQUID e illustrata la teoria di Ginzburg-Landau. Saranno inoltre presentate alcune tecniche sperimentali adatte allo studio dei materiali magnetici e superconduttori: magnetometria, NMR,  $\mu$ SR e diffusione di neutroni.

#### Bibliografia

G. Grosso and G. Pastori Parravicini, Solid State Physics (Academic Press, 2000).  
H. Eugene Stanley, Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena (Oxford University Press).  
C. Kittel, Introduction to Solid State Physics (John Wiley & Sons 2005).

Modalità di esame: Esame orale.

### **COMUNICAZIONE DIGITALE MULTIMEDIALE (ING-INF/05)**

*L. Falomo*

#### Obiettivi formativi

Il corso si propone di introdurre gli studenti alle nuove forme di comunicazione museale.

#### Prerequisiti

Nessuno

#### Programma

Durante il corso verranno visitati e analizzati alcuni musei del Sistema Museale d'Ateneo per evidenziarne le possibili chiavi di lettura e le più efficaci modalità per comunicarle ai diversi tipi di pubblico. A tale scopo verranno presentati i vari media, tecnologie e strategie utilizzati e utilizzabili nella

comunicazione museale e discussi in modo collaborativo diversi esempi tratti dal panorama nazionale e internazionale. Vedi sito del Collegio Nuovo all'indirizzo [http://colnuovo.unipv.it/corsi\\_seminari.html](http://colnuovo.unipv.it/corsi_seminari.html)

#### Bibliografia

La bibliografia e la sitografia di riferimento saranno fornite e discusse durante le lezioni e indicate nel blog del corso.

#### Modalità di esame

Esame con elaborazione di progetto e prova orale.

### **DIDATTICA DELLA FISICA (FIS/08)**

*P. Mascheretti*

#### Obiettivi formativi

Il corso costituisce un'introduzione alla didattica della fisica, sia come contributo alla formazione professionale di futuri insegnanti sia come preparazione alla ricerca nel campo della didattica.

#### Prerequisiti

Conoscenze di base di meccanica, termodinamica, ottica ed elettromagnetismo, come vengono fornite dai corsi della Laurea triennale in Fisica e in Matematica

#### Programma

Temi principali: L'evoluzione della didattica della fisica, le idee fondanti e le linee principali di ricerca; le difficoltà degli studenti e le concezioni alternative; spiegazioni scientifiche e conoscenza comune; la ricostruzione didattica dei contenuti; elaborazione di percorsi d'insegnamento e apprendimento; il ruolo nell'apprendimento e nell'insegnamento di alcuni aspetti caratterizzanti la costruzione della conoscenza fisica (i modelli, le analogie, gli esperimenti, i problemi).

Argomenti di fisica di riferimento: Meccanica classica, lavoro ed energia, statica dei fluidi, fenomeni termici, fenomeni ondulatori, ottica, elettrostatica e circuiti elettrici.

#### Bibliografia

Besson Ugo (2009), *Didattica della fisica*, Dispense per il corso. Università di Pavia.

Vicentini M. & Mayer M. (1996) *Didattica della fisica*, La Nuova Italia, Firenze.

Arons A.B. (1990) *A Guide to Introductory Physics Teaching*, J. Wiley & Sons. Versione Italiana (1992) Guida all'insegnamento della Fisica, Zanichelli, Bologna.

#### Modalità di esame

Preparazione di un elaborato scritto da parte degli studenti ed esame orale

### **DIDATTICA DELLA MATEMATICA (MAT/04)**

*A. Pesci, Mirko Maracci*

#### Obiettivi

Il corso si propone l'analisi dei principali modelli di insegnamento/apprendimento della matematica e lo studio di metodologie didattiche innovative, anche in riferimento all'uso delle tecnologie.

#### Prerequisiti

Sono richieste le conoscenze di base fornite dalla laurea triennale in matematica.

#### Programma

Modelli di insegnamento - apprendimento della matematica:

il modello tradizionale della trasmissione della conoscenza (empirismo)

il costruttivismo radicale (di Von Glasersfeld)

il costruttivismo sociale (di P. Ernest e altri)

la teoria delle situazioni didattiche (di G. Brousseau)

il modello "Inquiry" (di R. Borasi)

l'apprendimento cooperativo.

Esempi di trasposizioni didattiche di tipo costruttivista.

Esame dei Programmi Ministeriali di matematica per la scuola preuniversitaria, e analisi, in particolare, di alcune tematiche. Software didattici per l'insegnamento della geometria nella scuola secondaria: studio delle potenzialità e dei limiti di sistemi di geometria dinamica per il piano e per lo spazio in riferimento sia al loro utilizzo come strumenti geometrici sia al loro utilizzo come strumenti didattici.

#### Bibliografia

Testi di riferimento:

"I suggerimenti della ricerca in didattica della matematica per la pratica scolastica" di A. Pesci, disponibile in rete alla pagina di A. Pesci.

Documenti reperibili in rete sul sito del Ministero della Pubblica Istruzione (indicati di volta in volta durante il corso e segnalati sul programma svolto e disponibile agli studenti a fine corso).

Articoli tratti da riviste e altri materiali di lavoro messi a disposizione in rete alla pagina di M. Maracci.

Modalità di esame

L'esame prevede una duplice prova scritta, una sulle parti teoriche del corso e una in Laboratorio Informatico sulle tematiche svolte.

## **ECONOFISICA (FIS/02)**

*G. Montagna*

Obiettivi formativi

Il corso si propone di illustrare il ruolo della fisica statistica, e in particolare della teoria dei processi stocastici, nella moderna modellizzazione della dinamica dei mercati finanziari.

Prerequisiti

Elementi di probabilità e statistica. Conoscenze universitarie di base di matematica e fisica, in particolare equazioni differenziali.

Programma

Si discutono le principali applicazioni dei metodi della fisica teorica allo studio della dinamica dei mercati finanziari. La prima parte del corso è dedicata alla teoria dei processi stocastici, mentre la seconda parte illustra il ruolo dei processi stocastici in econofisica e finanza.

Moto browniano e interpretazioni di Einstein e Langevin. Random walk, processi di diffusione e legame col teorema del limite centrale. Processi di Markov, di Wiener e loro proprietà. Equazione di Fokker-Planck. Equazioni differenziali stocastiche e cenni di calcolo stocastico. Processi di Ito e di Ornstein-Uhlenbeck.

Introduzione ai mercati e agli strumenti finanziari. Moto browniano geometrico e distribuzione lognormale dei prezzi. Opzioni e modello di Black-Scholes. Limiti del modello di Black-Scholes. Opzioni esotiche e alberi binomiali. Tassi di interesse, obbligazioni e modello di Vasicek.

Analisi empirica dei dati finanziari ad alta frequenza. Distribuzioni a legge di potenza, processi di Levy e teorema del limite centrale generalizzato. Cenno ai modelli a volatilità stocastica.

Bibliografia

W. Paul, J. Baschnagel, *Stochastic processes – From physics to finance*, Springer.

R.N. Mantegna, H.E. Stanley, *An introduction to econophysics: correlations and complexity in finance*, Cambridge University Press.

Modalità di esame: Orale

## **ELEMENTI DI RADIOPROTEZIONE (FIS/07)**

*E. Giroletti*

Obiettivi formativi

Al termine del corso lo studente dovrà conoscere, per sommi capi, le problematiche connesse con la tutela dalle radiazioni ionizzanti dei lavoratori, della popolazione e dei pazienti esposti nelle pratiche mediche. Il corso tratterà, oltre agli aspetti fisici, anche quelli operativi e normativi della radioprotezione.

Prerequisiti

Si danno per acquisiti i seguenti concetti: campo elettrico e magnetico; spettro elettromagnetico; frequenza, periodo, lunghezza, energia e ampiezza d'onda; atomo e particelle nucleari, decadimento radioattivo, catene radioattive, interazione della radiazione ionizzante con la materia.

Programma

Gli argomenti del corso sono: danni conseguenti alla esposizione alle radiazioni ionizzanti (cenni); sistema di protezione radiologica; grandezze radiometriche; modalità di esposizione alle radiazioni (esterna ed interna); grandezze radioprotezionistiche (dose equivalente e dose efficace, dose efficace impegnata, dose collettiva, livelli operativi derivati); limiti di dose individuale e livelli diagnostici di riferimento; aspetti pratici della radioprotezione e modalità di tutela, quali: tempo, distanza, schermi e protezione dalla contaminazione interna; principali tipologie di sorgenti radiogene di origine antropica (industria, sanità e ricerca) e di origine naturale (radon, NORM, TeNORM, cosmici, ecc.); panoramica sulla normativa vigente; (cenni) organismi internazionali e nazionali.

Bibliografia

Pelliccioni M, *Fondamenti fisici della radioprotezione*, ed. Pitagora, Bologna, 1990.

Vergine A.L, Giroletti E, *Radiazioni ionizzanti: protezione dei lavoratori, della popolazione e dei pazienti*, ed. Esse Libri, 2003 (testo normativo).

I files dei LUCIDI DELLE LEZIONI verranno forniti direttamente agli studenti.

Altri testi di riferimento

Shapiro J, *A radiation protection guide for scientists and physicians*, Harvard university press, IVth ed.

Martin E, *Physics for Radiation Protection*, Wiley-Interscience, 2000.

Dorschel B, Schuricht V, Stener J, *The physics of radiation protection*, Nuclear Technology Publ., Asford, 1996.

Modalità di esame: orale su tutti gli argomenti del corso.

### **ELETTRODINAMICA E RELATIVITÀ (FIS/02)**

Vedi: Lauree triennali

### **ELETTRODINAMICA QUANTISTICA (FIS/02)**

*A. Bacchetta*

Obiettivi formativi

Introdurre i concetti di base delle teorie di campo quantistiche e relativistiche.

Prerequisiti

Meccanica Quantistica, Relatività Speciale

Programma

Il corso affronta i seguenti argomenti principali

- Equazioni di Klein-Gordon e Dirac
- Teorie di campo e loro quantizzazione
- Interazioni tra campi e diagrammi di Feynman
- Calcolo di alcuni processi di scattering a tree level.

Bibliografia

Dispense (si veda <http://www.pv.infn.it/~bacchett/teaching.html>)

F. Mandl, G. Shaw, "Quantum Field Theory - Second Edition" (Wiley, 2010)

Altre letture:

L. Ryder, "Quantum Field Theory", Cambridge

M. Peskin, Schroeder, "An Introduction to Quantum Field Theory",

I.J.R. Aitchison, A.J.G. Hey, "Gauge theories in particle physics – A practical introduction", Vol I, Fourth edition.

Modalità di esame

Esame scritto (calcolo di una sezione d'urto per un processo di scattering a tree level) e orale.

### **EQUAZIONI DELLA FISICA MATEMATICA (MAT/07)**

*G. Toscani*

Obiettivi

Scopo del corso è quello di fornire un'introduzione allo studio delle principali equazioni della fisica matematica, utilizzando quasi esclusivamente strumenti di analisi matematica classica.

Prerequisiti

Si suppongono noti i contenuti dei corsi del primo biennio.

Programma

Richiami su calcolo vettoriale, gradiente, rotore e divergenza. Teorema della divergenza. Teorema di Stokes. Formule di Green. Sistemi di coordinate curvilinee ortogonali.

Equazioni alle derivate parziali del secondo ordine. Classificazione. Equazioni ellittiche. Equazione di Laplace, teorema della media, principio del massimo. Cenni di analisi complessa (funzioni analitiche, formule di Cauchy-Riemann). Problemi di Dirichlet e di Neumann per il cerchio. Cenni di fluidodinamica piana.

Equazioni paraboliche. Equazione di diffusione del calore. Soluzioni esatte e metodo di similarità. Equazione di diffusione del calore: risoluzione del problema di Cauchy unidimensionale mediante il metodo di Fourier. Problema al valore iniziale ed al contorno per l'equazione di diffusione del calore: il metodo di separazione delle variabili. Equazioni iperboliche. Equazione delle onde: risoluzione del problema di Cauchy e del problema al valore iniziale ed al contorno. Formula di D'Alembert.

Bibliografia

E. Persico: "Introduzione alla fisica matematica", Zanichelli, Bologna, 1943. (Download da <http://mathematica.sns.it/opere/323/>)

Modalità di esame: Esame orale

### **EQUAZIONI DIFFERENZIALI E SISTEMI DINAMICI (MAT/06)**

Vedi: Lauree triennali

## **FENOMENI DI DIFFUSIONE E TRASPORTO (MAT/07)**

*F. Salvarani, F. Bisi*

### **Obiettivi**

Il corso fornisce uno studio matematico introduttivo di alcune notevoli equazioni alle derivate parziali di tipo evolutivo che descrivono fenomeni di trasporto e diffusione. Si evidenzieranno i legami tra le proprietà fisiche dei sistemi e le proprietà matematiche dei modelli corrispondenti.

### **Prerequisiti**

Nozioni di base di analisi funzionale.

### **Programma**

#### **a) Equazioni di trasporto**

Origine delle equazioni di trasporto e diffusione: il random walk, equazione del calore ed equazione del trasporto libero. Il formalismo della teoria cinetica. Scaling di trasporto e di diffusione. Passaggio formale dal trasporto alla diffusione. Fenomeni modellizzati con equazioni di trasporto. Cenni alle equazioni di Vlasov-Poisson ed alle equazioni di Vlasov-Maxwell. L'equazione lineare del trasporto libero: il problema di Cauchy. Il metodo delle caratteristiche, stime. Il problema ai limiti per l'equazione lineare del trasporto libero. Bordo entrante, uscente e caratteristico. Tempo di uscita retrogrado, regolarità. Principio del massimo per l'equazione del trasporto. Equazione stazionaria del trasporto: teorema di esistenza ed unicità, principio del massimo. Il problema di Cauchy per l'equazione di Boltzmann lineare. Esistenza ed unicità, stime e positività della soluzione. Il problema ai limiti per l'equazione di Boltzmann lineare: condizioni di riflessione speculare, di riflessione diffusa e di accomodamento. Il lemma di Darrozes-Guiraud. Esistenza ed unicità della soluzione. Il limite asintotico in tempo per l'equazione di Boltzmann lineare. Il limite di diffusione per l'equazione di Boltzmann lineare. Scaling diffusivo e sviluppo di Hilbert. Metodi alle differenze finite per equazioni di trasporto: schemi di Lax-Friedrichs ed upwind. Il metodo diamante. Il metodo delle ordinate discrete ed il metodo Monte Carlo per l'equazione di Boltzmann lineare. Introduzione all'equazione di Boltzmann.

#### **b) Equazioni di diffusione**

Introduzione alla meccanica dei continui. Formulazione lagrangiana ed euleriana. Deformazione e movimento. Equazioni di bilancio. Grandezze termodinamiche ed equazioni costitutive. Materiali classici: fluidi perfetti, incompressibili, barotropici; fluidi perfetti ed equazioni di Eulero; fluidi newtoniani ed equazioni di Navier-Stokes. Unicità e stabilità per soluzioni di un problema di flusso viscoso. Equazione del calore come paradigma della diffusione. Condizioni al bordo di Dirichlet, di Neumann, di Robin, miste. Unicità della soluzione con il metodo dell'energia. Principio del massimo (minimo) debole e forte; corollari. Riscaldamento parabolico. Soluzione fondamentale. Uso della soluzione fondamentale per il problema di Cauchy omogeneo e per il problema non omogeneo. Equazione dei mezzi porosi (equazione non lineare del calore) (EMP) standard. Propagazione a velocità finita: soluzioni stazionarie, a variabili separabili, di tipo onde, soluzione fondamentale di Barenblatt. Fluido incompressibile in mezzo poroso. Flusso di Stefan e diffusione alla Stefan-Maxwell; applicazioni.

### **Bibliografia**

L.C. Evans: "Partial Differential Equations", American Mathematical Society, Providence (RI), 1998.

R.T. Glassey: "The Cauchy problem in kinetic theory", Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia, PA, 1996.

C. Villani: "A review of mathematical topics in collisional kinetic theory". Handbook of mathematical fluid dynamics, Vol. I, 71305, North-Holland, Amsterdam, 2002.

C. Banfi: "Introduzione alla meccanica dei continui", CEDAM (Padova), 1990.

M.E. Gurtin: "An Introduction to Continuum Mechanics", Academic Press (NY), 1981.

J. L. Vazquez: "The porous medium equation: mathematical theory" (XXII Oxford mathematical monographs) Clarendon Press (Oxford), 2007.

Appunti dei docenti.

Modalità di esame: Prova scritta

## **FISICA DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI A STATO SOLIDO (FIS/03)**

*V. Bellani*

### **Programma**

Il corso si occupa della fisica dei materiali inorganici e organici, del grafene, con applicazione ai dispositivi elettronici, fotonici e quantistici. Gli argomenti trattati sono:

- Le proprietà fisiche dei materiali inorganici e organici utilizzati nei dispositivi. Il grafene. I metodi per la fabbricazione di tali dispositivi.

- LED e display a semiconduttore e in materiale organico. La fisica del laser. Il laser a stato solido, a semiconduttore e a cascata quantica.

- Celle solari inorganiche, organiche e al grafene.

- Foto-rivelatori e sensori a semiconduttore e al grafene.

- Rivelatori di particelle e di radiazione a semiconduttore e scintillatori per applicazioni in fisica nucleare e sub-nucleare.

- La fisica dei fenomeni quantistici in alcuni dispositivi a semiconduttore e al grafene.

Bibliografia: Dispense distribuite dal docente.

Modalità di esame: Esame orale

### **FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI I (FIS/04)**

*G. Boca*

Obiettivi formativi

Apprendimento degli aspetti sperimentali della fisica dei quark e del bosone di Higgs, della fisica dei neutrini e della ricerca di particelle supersimmetriche.

Prerequisiti

Laurea triennale in Fisica in cui è stato seguito il corso di Introduzione alla Fisica Subnucleare (a Pavia) o corsi equivalenti in altre Università; si consiglia fortemente di seguire prima un corso di Teoria Quantistica dei Campi o equivalente.

Programma

La dinamica delle interazioni fondamentali delle particelle elementari è illustrata in modo quantitativo esaminando tematiche di interazioni elettrodeboli e forti nelle reazioni leptone-leptone, leptone-adrone e adrone-adrone nell'ambito del Modello Standard delle Particelle Elementari. In particolare sono approfonditi argomenti riguardanti: produzione e decadimento dei bosoni vettori intermedi W e Z, produzione di jets di particelle, produzione e decadimento dei quarks top e bottom. Sono quindi trattati argomenti attuali di Fisica delle particelle con particolare riferimento alla sperimentazione ai grandi collisionatori di particelle e nei laboratori sotterranei:

- a) Fisica al Large Hadron Collider, in particolare la produzione ed il decadimento del bosone di Higgs e delle particelle supersimmetriche
- b) Fisica del neutrino, in particolare la fenomenologia delle oscillazioni di neutrini solari ed atmosferici e di neutrini da reattori ed acceleratori.

Bibliografia

C. Conta, Introduction to Modern Particle Physics, Pavia University Press, 2010.

D. H. Perkins, Introduction to high energy physics, Cambridge University Press, 2000 (reprint 2003).

C. Conta, The Physics at the Large Hadron Collider, FNT/DD 2009.

C. Conta, Neutrino oscillations, FNT/DD 2009.

Modalità di esame: Esame orale

### **FISICA DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI (FIS/04)**

Vedi: Lauree triennali

### **FISICA DELLO STATO SOLIDO I (FIS/03)**

*L.C. Andreani*

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti e fenomeni di base relativi alla fisica dello stato solido.

Prerequisiti

Nozioni di fisica quantistica, elettromagnetismo, ottica, preferibilmente meccanica statistica di base.

Programma

Vengono trattati i concetti fondamentali della fisica dello stato solido, con particolare attenzione ai livelli degli elettroni nei solidi cristallini, alle vibrazioni reticolari, alle proprietà ottiche, alla fisica dei semiconduttori. Gli argomenti comprendono: elettroni liberi nei metalli, teorie di Drude e Sommerfeld; reticoli cristallini e diffrazione, teorema di Bloch, elettroni e lacune; classificazione dei solidi e legame chimico; bande di energia, metodi di calcolo e di misura, superfici di Fermi, elettroni in campo magnetico; vibrazioni reticolari e fononi; proprietà ottiche degli isolanti e dei semiconduttori, funzione dielettrica complessa, transizioni interbanda; semiconduttori omogenei e inhomogenei, deriva e diffusione, giunzione p-n, celle solari (argomento monografico). La presentazione dei concetti e metodi teorici sarà completata da esempi fenomenologici, dall'illustrazione delle principali tecniche sperimentali per la misura delle quantità fisiche, e da esercitazioni numeriche e computazionali.

Bibliografia

N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, Solid State Physics (Holt-Rinehart, 1976).

G. Grosso and G. Pastori Parravicini, Solid State Physics (Academic Press, 2000).

P.Y. Yu, M. Cardona, Fundamentals of Semiconductors: Physics and Material Properties, 3rd edition (Springer, 2005).

F. Bassani and U. Grassano, Fisica dello Stato Solido (Bollati Boringhieri, 2000).



J. Nelson, The Physics of Solar Cells (Imperial College Press, London, 2003).

Modalità di esame

Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà...) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

### **FISICA DELLO STATO SOLIDO II (FIS/03)**

*L.C. Andreani*

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti e fenomeni relativi alla fisica dello stato solido avanzato.

Prerequisiti

Nozioni di fisica quantistica, elettromagnetismo, ottica, preferibilmente meccanica statistica di base. Conoscenze di base di fisica dei solidi, come fornite dal corso di Fisica dello Stato Solido I.

Programma

Vengono trattati alcuni concetti avanzati di fisica dello stato solido, con particolare attenzione alla agli effetti di correlazione, alle eccitazioni elementari nei solidi, alla teoria del trasporto, alla trattazione quantistica delle correlazioni e della superconduttività. Gli argomenti comprendono: metodo Hartree-Fock, effetti di scambio e correlazione, screening; teoria del funzionale densità e metodi moderni per il calcolo delle bande di energia; elettrodinamica nei metalli, teoria della risposta lineare, funzione dielettrica di Lindhart, plasmoni di bulk e di superficie; eccitoni e polaritoni; localizzazione di Anderson; equazione di Boltzmann e coefficienti di trasporto; liquidi di Fermi, correlazioni nei solidi, transizione di Mott, modelli di Hubbard e di Anderson, effetto Kondo; teoria quantistica (BCS) della superconduttività. La presentazione dei concetti e metodi teorici sarà completata da esempi fenomenologici, dall'illustrazione delle principali tecniche sperimentali per la misura delle quantità fisiche, da visite ai laboratori di ricerca, e da esercitazioni numeriche e computazionali.

Bibliografia

N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, Solid State Physics (Holt-Rinehart, 1976).

G. Grosso and G. Pastori Parravicini, Solid State Physics, 2nd edition (Academic Press, 2014).

C. Kittel, Introduction to Solid State Physics, 8th edition (John Wiley & Sons, 2005).

C. Kittel, Quantum Theory of Solids, 2nd revised printing (John Wiley & Sons, 1987).

R.M. Martin, Electronic Structure - Basic Theory and Practical Methods (Cambridge University Press, 2004).

Modalità di esame

Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà...) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

### **FISICA NUCLEARE I (FIS/04)**

*C. Giusti*

Obiettivi formativi: Apprendimento e approfondimento di alcuni concetti di fisica nucleare.

Prerequisiti: Si richiede una conoscenza di base di meccanica quantistica.

Programma: Viene affrontato il problema dell'interazione nucleare: se ne deducono le caratteristiche essenziali, come la dipendenza dallo spin, la non centralità e l'indipendenza dalla carica elettrica, dalle proprietà del deutone e dello scattering nucleone-nucleone. Si costruisce un potenziale realistico e se ne discute il comportamento a piccole, medie e grandi distanze. Nella parte finale del corso viene data una breve introduzione al problema a molti corpi in fisica nucleare.

Bibliografia: M.A.Preston, R.K.Bhaduri: Structure of the Nucleus, Westview press.

Modalità di esame: Esame orale.

### **FISICA NUCLEARE II (FIS/04)**

*M. Radici*

Obiettivi formativi

Introduzione alla fenomenologia degli adroni (in particolare il protone, come prototipo di nucleo) secondo il linguaggio dell'interazione forte del Modello Standard: la Cromodinamica quantistica.

Prerequisiti

Si consiglia di frequentare il corso dopo aver seguito gli insegnamenti di Elettrodinamica Quantistica e Teoria Quantistica dei Campi.

## Programma

Introduzione alla fenomenologia dell'interazione forte a basse energie: la Cromodinamica Quantistica (QCD) e il problema del confinamento. Gruppi di simmetrie della QCD e spettroscopia dei mesoni e dei barioni. I tableaux di Young; G-parità e i nonetti mesonici; mixing e la regola di OZI. Gruppo SU(3) di colore e il confinamento. Teoria dello scattering leptone-adrone. Scaling delle funzioni di struttura. Modello a partoni e densità partoniche. La relazione di Callan-Gross. Fenomenologia dei processi inelastici (elettrodeboli), sia inclusivi che semi-inclusivi, con o senza polarizzazione. Regole di somma. Superamento del modello a partoni: violazioni dello scaling ed equazioni di Altarelli-Parisi. Cenni all'Operator Product Expansion (OPE); definizione OPE delle densità partoniche. La "spin crisis" e il moto orbitale dei partoni all'interno gli adroni.

## Bibliografia

F. Close, "An Introduction to Quarks and Partons" (Academic Press, 1979).  
R.K. Bhaduri, "Models of the Nucleon: from Quarks to Soliton" (Addison-Wesley, 1988).  
M.E. Peskin and D.V. Schroeder, "An Introduction to Quantum Field Theory" (Addison-Wesley, 1995).  
M. Guidry, "Gauge Field Theories - An Introduction with Applications" (John Wiley & Sons, 1991).  
R.G. Roberts, "The Structure of the Proton - Deep Inelastic Scattering" (Cambridge Univ. Press, 1990).  
C.T.E.Q. Collaboration, "Handbook of perturbative QCD", <http://www.phys.psu.edu/~cteq#Handbook>.  
Materiale didattico a disposizione all'indirizzo:  
[http://www2.pv.infn.it/~radici/welcome-it.html#Attività\\_didattica](http://www2.pv.infn.it/~radici/welcome-it.html#Attività_didattica).

## Modalità di esame

Esame orale. La prova consiste nella presentazione e discussione di una relazione di approfondimento su un argomento a scelta del programma.

## **FISICA QUANTISTICA DELLA COMPUTAZIONE (FIS/03)**

*C. Macchiavello*

### Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti teorici fondamentali relativi alla fisica quantistica della computazione.

### Prerequisiti

La comprensione degli argomenti del corso presuppone la conoscenza dei concetti di base della fisica quantistica, che verranno comunque richiamati all'inizio del corso (agli studenti che non hanno seguito corsi di fisica quantistica verrà indicato materiale di approfondimento sulla materia).

## Programma

Il corso riguarda i recenti sviluppi della teoria quantistica della computazione e della comunicazione. I principali argomenti affrontati sono: Cenni alla teoria della complessità computazionale. Reti e porte logiche. Computazione quantistica: porte a qubit singolo e a due qubit. Porte quantistiche universali. Algoritmi quantistici: Deutsch, Deutsch-Jozsa, Simon, Grover, Shor. Introduzione alla teoria quantistica della correzione degli errori. Codifica superdensa e teletrasporto quantistico. Cenni di crittografia classica. Introduzione alla crittografia quantistica. Introduzione alla teoria dell'entanglement. Criteri di separabilità e tecniche di purificazione e rivelazione di entanglement. Entanglement negli algoritmi quantistici. Computazione quantistica unidirezionale.

## Bibliografia

I.L. Chuang and M.A. Nielsen, Quantum Information and Quantum Computation, Cambridge University Press (Cambridge UK 2000).

## Modalità di esame

L'esame consiste in una prova orale, in cui viene richiesta la conoscenza degli argomenti trattati nel corso.

## **FONDAMENTI DELLA FISICA (FIS/08)**

*G. Introzzi*

### Obiettivi formativi

Sviluppare una consapevolezza critica - fondata sull'analisi d'importanti casi storici - della complessità del processo di formulazione di teorie fisiche, della loro corroborazione sperimentale, della successiva accettazione da parte della comunità scientifica e del loro eventuale superamento a favore di altre teorie.

### Prerequisiti

Concetti di Fisica classica e di Fisica quantistica usualmente acquisiti nel corso della laurea triennale in Fisica.

## Programma

È delineata l'evoluzione di alcuni concetti della fisica classica dalla meccanica alla termodinamica, ed evidenziato il progressivo indebolimento, nel corso del XIX secolo, del determinismo laplaciano. Viene

mostrata la transizione, nell'elettromagnetismo e in meccanica statistica, da modelli continui a discontinui per le cariche e la materia. L'ipotesi dell'esistenza dell'etere è presentata discutendo anche la non crucialità degli esperimenti di Michelson e Morley, mentre il superamento di tale concetto viene connesso alla relatività ristretta einsteiniana.

La fisica dei quanti introduce, all'inizio del XX secolo, una discretizzazione per gli scambi d'energia, ed obbliga ad accettare il dualismo onda/particella per la descrizione dei fenomeni microscopici. Alcuni risultati della fisica quantistica (atomo di Bohr, equazione di Schroedinger, relazioni d'indeterminazione di Heisenberg) vengono ricavati a partire da tale dualismo. Segue la presentazione dell'interpretazione probabilistica di Copenhagen, di quella causale di Bohm, di varie relazioni d'indeterminazione (Fourier, Heisenberg, Kennard, Robertson, Bohm, Puri, Ozawa), della complementarità di Bohr, della dualità di Greenberger/Yasin e di Englert. Le possibili interpretazioni del dilemma onda/particella e l'analisi dell'"entanglement", del gatto di Schroedinger, del paradosso di EPR, delle disuguaglianze di Bell e della decoerenza quantistica concludono il corso.

Bibliografia

Sono disponibili gli appunti delle lezioni.

Modalità di esame: Esame orale.

## **FONDAMENTI DELLA MECCANICA QUANTISTICA (FIS/02)**

*G.M. D'Ariano*

Obiettivi formativi

Apprendimento della struttura matematica e concettuale della teoria quantistica dei sistemi (chiusi e aperti), dei principi della quantum information e computation, e della teoria quantistica dell'ottimizzazione e della stima.

Prerequisiti

Corso di Meccanica Quantistica, e nozioni di base di algebra lineare e metodi matematici.

Programma

La teoria quantistica per sistemi generici (in dimensione finita) viene presentata a partire da semplici postulati matematici, dai quali si deriva la struttura convessa e operativa della teoria, e se ne deducono sei principi fondamentali: causalità, discriminabilità locale, discriminabilità perfetta, atomicità della composizione, purificazione, compressione perfetta. Dai soli principi, senza utilizzare gli spazi di Hilbert, si deducono i teoremi fondamentali della teoria. Tale deduzione viene affiancata alla usuale derivazione che utilizza gli spazi di Hilbert, per un approfondimento concettuale della struttura della teoria. Ciò permette al contempo di introdurre le basi dei capitoli fondamentali della moderna teoria quantistica, ovvero: la teoria quantistica dei sistemi aperti, la teoria quantistica dell'informazione e della computazione, e la teoria quantistica dell'ottimizzazione e della stima. Fra gli argomenti generali trattati si hanno: entanglement di stati ed effetti, operazioni quantistiche e strumenti quantistici, isomorfismo di Choi-Jamiolkowski, teoremi di dilatazione di strumenti e canali quantistici, equazione di Lindblad per evoluzioni Markoviane di sistemi aperti, metriche su stati, effetti, e trasformazioni, teorema del no information without disturbance, stati steering, stati fedeli, struttura causale della teoria e no-signaling, teoremi del no-cloning e del no-programming, teletrasporto, tomografia di processi e stati, teoria della quantum error correction, canali con memoria, POVM ottime e misurazioni congiunte di osservabili incompatibili.

Bibliografia

Giacomo M. D'Ariano, G. Chiribella, P. Perinotti, Quantum Theory from Principles, Cambridge University Press (in press).

M. A. Nielsen, I. L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press, 2000).

Modalità di esame: Esame orale.

## **FOTONICA (FIS/03)**

*M. Liscidini*

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti e fenomeni di base relativi alla fotonica.

Prerequisiti

Il corso, che si svolge nel primo semestre, non richiede altri prerequisiti oltre a conoscenze di base di elettromagnetismo e di meccanica quantistica. È complementare agli insegnamenti di Ottica, Fisica dei Semiconduttori, Nanostrutture di Semiconduttori, Fisica dei Dispositivi Elettronici a Stato Solido.

Programma

Il corso si propone di illustrare i principi fisici alla base della fotonica, ossia della disciplina che tratta della generazione, propagazione e manipolazione della radiazione elettromagnetica e che presenta

numerose applicazioni all'elettronica quantistica e alla comunicazione ottica. Saranno trattati i seguenti macro-argomenti: (1) Il campo elettromagnetico: propagazione nei mezzi materiali, mezzi periodici, seconda quantizzazione. (2) Propagazione guidata: principi alla base del confinamento di luce in guide d'onda dielettriche e relativi esempi (3) Risuonatori e microcavità: risuonatore Fabry-Pérot, microcavità planari, risonatori ad anello, microcavità tridimensionali. Emissione spontanea in cavità ed effetto Purcell. (4) Interazione radiazione-materia: suscettibilità atomica, emissione spontanea e stimolata, guadagno e saturazione, oscillazioni laser. (5) Ottica nonlineare: effetti legati alle nonlinearità del secondo e terzo ordine.

#### Bibliografia

A. Yariv, "Quantum electronics", third edition (Wiley, New York, 1989)

A. Yariv and P. Yeh, "Photonics" (Oxford University Press, 2007)

B.E.A. Saleh, M.C. Teich, "Fundamentals of Photonics", second edition (Wiley, 2007)

E. Rosencher, B. Vinter, "Optoelectronics" (Cambridge University Press, 2002)

R. Loudon, "The Quantum Theory of light" (Oxford University Press 2008)

J.D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J. N. Winn, and R. D. Meade "Photonic Crystals: Molding the Flow of Light," second edition (Princeton, 2008)

#### Modalità di esame

Il voto finale viene deciso dopo un esame orale. Le valutazioni riportate negli esercizi svolti a casa saranno considerate a seconda della scelta dello studente, che dovrà comunicarla all'inizio del corso e non prima della consegna del primo set di esercizi. Non sarà possibile cambiare idea dopo la valutazione del quarto elaborato.

### **GRUPPI E SIMMETRIE FISICHE (FIS/02)**

*C. Dappiaggi*

#### Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti basilari sia della teoria dei gruppi di Lie, incluse le varietà omogenee, sia della teoria delle rappresentazioni su spazi di Hilbert.

#### Prerequisiti

È richiesta la conoscenza degli strumenti matematici appresi durante i corsi della laurea triennale ed è preferibile che lo studente abbia o stia acquisendo in parallelo conoscenze di geometria differenziale.

#### Programma

Nella prima parte del corso vengono presentate le proprietà strutturali basilari dei gruppi di Lie, in particolare la correlata nozione di algebra di Lie e la sua interpretazione geometrica. Infine viene introdotta e studiata nel dettaglio la mappa esponenziale. Nella seconda parte del corso, viene introdotto il teorema di Frobenius come strumento per costruire le varietà omogenee a partire dai gruppi di Lie e per studiarne le loro proprietà differenziali. Nella terza parte del corso, si studia la teoria delle rappresentazioni dei gruppi di Lie su spazi di Hilbert con particolare enfasi alle applicazioni in meccanica quantistica e teoria dei campi.

#### Bibliografia

F. Warner "Foundations of differentiable manifolds and Lie groups" (1990) 3ed. Springer-Verlag.

A. W. Knap "Lie groups: Beyond an introduction" (2005) Birkhäuser

A. O. Barut, R. Raczka "Theory of Group representations and applications" (1986) World Scientific.

#### Modalità di esame

L'esame consta di una sola prova orale per valutare l'apprendimento degli argomenti trattati a lezione.

### **INTRODUZIONE ALL'ASTRONOMIA (FIS/05)**

Vedi: Lauree triennali

### **INTRODUZIONE ALLA FISICA DEI SOLIDI (FIS/03)**

Vedi: Lauree triennali

### **LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE I (FIS/04)**

*P. Vitulo*

#### Obiettivi formativi

Il corso si propone di formare gli studenti all'uso di alcune tecniche di misura comunemente usate nella fisica sperimentale nucleare e subnucleare attraverso l'utilizzo di moduli elettronici per il trattamento dei segnali provenienti da rivelatori. A questo proposito verranno utilizzati rivelatori a scintillazione sia organici che inorganici, rivelatori a stato solido e possibilmente rivelatori a gas. In un primo momento il segnale dei rivelatori veri e propri verrà simulato tramite generatori di impulsi in modo da calibrare e

testare le catene di acquisizione per le varie misure. Successivamente, una volta compreso il funzionamento dei moduli di acquisizione verranno introdotti i rivelatori per effettuare le misure.

Prerequisiti

Non richiesti

Programma di massima:

Definizione operativa di sezione d'urto di un processo, coefficiente di attenuazione lineare, libero cammino medio nei gas, statistica ionizzazione nei gas. Generazione tramite montecarlo. Generazione di variabili aleatorie secondo distribuzioni notevoli. Cenni ad aspetti sperimentali di radioprotezione: calcolo della dose assorbita dovuta a radiazione da sorgenti puntiformi. Aspetti sperimentali nella misura dell'efficienza di un rivelatore. Giustificazione dell'uso di rivelatori in coincidenza. Perdita di energia: Formula di Bethe –Bloch e simulazione dell' energia persa da una particella carica. Sviluppo della carica in un rivelatore a gas: primo e secondo coefficiente di Townsend; attachment e coefficiente effettivo di Townsend. Segnale indotto sugli elettrodi di un rivelatore: casi particolari del teorema di Ramo. Applicazione a rivelatori a gas con geometria cilindrica e con geometria piana. Risoluzione temporale di un rivelatore; definizione di Jitter e Time Walk temporale di un segnale di un rivelatore.

Alcuni misure saranno:

Linee di trasmissione e disadattamento di impedenza. Misura di impedenza della linea. Misura delle coincidenze spurie tra due generatori in funzione della finestra di formazione temporale. Moduli di discriminazione, logiche, contatori, Multichannel Analyzer, Time to Amplitude Converter. Tecniche di coincidenza per la misura dell'attività assoluta di una sorgente radioattiva. Misura del coefficiente lineare di attenuazione per gamma in diversi materiali, misura del build-up.

Misura dell'efficienza di uno scintillatore in funzione della tensione. Curva caratteristica di un fotomoltiplicatore, conteggi in coincidenza. Punto di lavoro di uno scintillatore organico.

Misura dello spettro differenziale di altezza di impulso di uno scintillatore inorganico NaI(Tl) sottoposto a radiazione gamma. Calibrazione energetica di un multicanale e spettri energetici con sorgenti di  $^{22}\text{Na}$  e  $^{137}\text{Cs}$

Per tutte queste misure ne verranno discussi gli aspetti sperimentali e le varie problematiche.

Bibliografia

G.F. Knoll, Radiation detection and measurements; Wiley, (New York 2003).

W.R.Leo , Techniques for nuclear and Particle Physics experiments (Springer, 1994).

W.Blum, L.Rolandi, Particle detection with drift chambers (Springer, 1994).

Dispense del docente

Modalità di esame

L'esame potrà essere orale oppure consisterà nell'esecuzione di una misura sperimentale con la strumentazione utilizzata durante il corso. Pur non essendo un insegnamento English-friendly l'esame potrà essere sostenuto in lingua inglese, su richiesta dello studente.

## **LABORATORIO DI FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE II (FIS/04)**

*A. Menegolli*

Obiettivi formativi

Il corso si propone di fornire conoscenze approfondite di alcuni tipi di rivelatori, sia dal punto di vista teorico che da quello pratico, attraverso esperienze di laboratorio.

Prerequisiti

Nozioni di base di elettromagnetismo, di fisica quantistica e di programmazione. Consigliata la frequenza del corso di Laboratorio di Fisica Nucleare e Sub-Nucleare I.

Programma

1) Lezioni frontali. Rivelatori a scintillazione: caratteristiche generali, legge di riemissione, scintillatori organici e inorganici. Foto-moltiplicatori (PMT): caratteristiche generali, foto-catodo, finestra, focalizzazione, moltiplicazione, guadagno, partitori, forma dell'impulso, risposta temporale, risoluzione energetica, corrente di buio. Altri dispositivi di foto-rivelazione: fotodiodi, APD, Silicon PM.

2) Laboratorio. Caratterizzazione di due PMT XP2020: corrente di buio, misura del guadagno e degli intertempi di rumore. Studio della distribuzione di raggi cosmici in funzione dell'angolo zenitale. Misura della vita media del muone a riposo.

Bibliografia

W.R. Leo "Techniques for nuclear and particle physics experiments", Springer-Verlag, 1994.

G.F. Knoll "Radiation Detection and measurement", John Wiley & Sons, 2000.

Trasparenze delle lezioni.

Modalità di esame

Esame orale sugli argomenti trattati nelle lezioni frontali. Discussione della tesi riguardante le misure di laboratorio. Realizzazione di una delle esperienze di laboratorio.

## **LABORATORIO DI FISICA QUANTISTICA I (FIS/01)**

*M. Galli*

### Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti di base e delle principali metodologie di fisica sperimentale mediante la realizzazione di alcuni esperimenti fondamentali di fisica quantistica della materia.

### Prerequisiti

Nozioni di fisica quantistica, elettromagnetismo, ottica.

### Programma

Realizzazione di alcuni esperimenti classici nel campo della fisica atomica e della Struttura della materia. Atomo di idrogeno: studio della serie di Balmer, verifica della validità dell'ipotesi di Bohr e determinazione del valore della costante di Rydberg. Effetto Zeeman: studio dello splitting in campo magnetico del doppietto del Sodio e della riga rossa del Cadmio e determinazione del valore del magnetone di Bohr. Laser a stato solido: studio dell'emissione spontanea e stimolata, determinazione del guadagno, determinazione della curva L-L e della soglia di lasing. Proprietà di coerenza della luce laser. Durante il corso vengono affrontati da un punto di vista sia teorico che pratico aspetti di ottica, elettronica, optoelettronica, tecnologie di fisica sperimentale, analisi e riduzione del rumore, elaborazione dati.

### Modalità di esame

Al termine del corso è richiesta la stesura di una relazione scientifica su una delle esperienze eseguite. All'esame è richiesta l'esposizione della relazione scientifica con particolare riferimento alle metodologie sperimentali adottate.

## **LABORATORIO DI RADIAZIONI IONIZZANTI (FIS/04)**

*A. De Bari*

### Obiettivi formativi

Apprendimento dell'utilizzo pratico dei rivelatori a scintillazione, rivelatori a stato solido (HPGe) e strumentazione utilizzata in fisica sanitaria.

### Prerequisiti

Nozioni di interazione della radiazione con la materia, elettronica, statistica e analisi dei dati.

### Programma

Esperienze di laboratorio proposte:

- Montaggio catena NaI(Tl).
- Calibrazione in energia di una catena NaI(Tl).
- Analisi di spettri gamma.
- Identificazione di radionuclidi mediante spettrometria gamma.
- Risoluzione in energia di un NaI(Tl).
- Misura dell'attività di radionuclidi.
- Misura coefficiente di assorbimento massico di Pb e Al utilizzando fotoni gamma.
- Misura contaminazione superficiale.
- Calibrazione in efficienza di un HPGe.
- Attivazione neutronica e analisi dei campioni attivati.
- Misura della concentrazione del radon.

Ogni esperienza sarà preceduta da lezioni introduttive.

### Bibliografia

William R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: A How-To Approach* (Springer-Verlag, 2nd revised edition, 1994).

### Modalità di esame

Esame orale e pratico basato sulle esperienze di laboratorio e sul quaderno di laboratorio. Ogni studente mantiene e aggiorna il proprio quaderno di laboratorio.

## **LABORATORIO DI STRUMENTAZIONI FISICHE (FIS/01)**

*F. Marabelli*

### Obiettivi formativi

Apprendimento delle modalità di utilizzo delle principali tecniche sperimentali e strumentazioni relative alla criogenia, alla spettroscopia ottica e alle tecniche di abbattimento del rumore di misura.

### Prerequisiti

Nozioni di fisica dei materiali, elettromagnetismo, ottica.

### Programma

Lo scopo del corso è fornire le nozioni di base e i criteri di utilizzo di diverse tecniche e strumentazioni comuni nei laboratori di ricerca, discutendone vantaggi e limiti di utilizzo.

In particolare si considerano: l'acquisizione, il trattamento e la conversione di segnali, le tecniche di abbattimento del rumore e il lock-in, le trasformate di Fourier e loro utilizzo pratico, la misura della temperatura e la criogenia, le tecniche di vuoto, le tecniche base di spettroscopia ottica e la strumentazione relativa, sorgenti e detettori.

Il corso si svolgerà presso il laboratorio dedicato articolandosi in lezioni introduttive ai diversi argomenti, seguite da esercitazioni pratiche sugli strumenti ed esperimenti illustrativi.

### Bibliografia

Experimental Physics, Modern Methods, R.A. Dunlap, Orford University Press, 1988, ISBN 0-19-504949-7.

### Modalità di esame

Esame orale. La prova parte da una relazione specifica a scelta dello studente su una delle esperienze svolte per estendersi ai concetti generali illustrati nel corso.

## **MATEMATICHE COMPLEMENTARI (MAT/04)**

*M. Reggiani*

### Obiettivi

Il corso si propone di fornire gli strumenti per un'analisi critica di alcuni temi di aritmetica ed algebra anche in vista di un loro utilizzo didattico.

### Prerequisiti

Si richiede la conoscenza dei contenuti di un corso base di algebra

### Programma

Dopo aver accennato alla teoria degli insiemi nella sua evoluzione storica e nella sistemazione assiomatica di Zermelo-Fraenkel (tema trattato più diffusamente nel corso di Fondamenti della Matematica), si esaminano e si confrontano possibili introduzioni degli insiemi numerici (naturali, interi, razionali, reali). Vengono inoltre affrontati alcuni aspetti dell'aritmetica dei numeri naturali (in particolare divisibilità e numeri primi), lo studio dei sistemi di numerazione, i polinomi a coefficienti in un campo e le loro proprietà, i numeri algebrici e trascendenti sul campo dei numeri razionali. Lo studio di alcuni temi è affiancato da riflessioni e approfondimenti di carattere didattico.

### Bibliografia

Dispense del corso

Modalità di esame: esame scritto e orale

## **MATEMATICHE ELEMENTARI DA UN PUNTO DI VISTA SUPERIORE (MAT/04)**

*A. Pesci*

### Obiettivi

Il corso si propone l'analisi comparata di tre diverse impostazioni assiomatiche della geometria elementare.

### Prerequisiti

Si richiedono i concetti base dei corsi previsti nel primo biennio, in particolare quelli di relazione binaria, relazione di equivalenza e ordine, funzione biunivoca, composizione di funzioni, gruppo, gruppo abeliano.

### Programma

Assiomi della geometria di Hilbert

Assiomi della geometria piana di Choquet

Analisi della versione di G. Prodi (per la scuola media superiore) dell'assiomatica di Choquet

Confronto critico delle tre presentazioni assiomatiche

Soluzioni di problemi di geometria elementare in base alle differenti impostazioni assiomatiche.

### Bibliografia

"Fondamenti della geometria", D. Hilbert, Feltrinelli, 1968.

"Insegnamento della geometria piana: la proposta di G. Choquet, secondo il commento di M. Ferrari", versione disponibile in file da richiedere alla docente.

"La geometria piana secondo il progetto di G. Prodi", versione disponibile in file da richiedere alla docente.

### Modalità di esame

La verifica prevede un compito scritto sui contenuti del corso e un colloquio orale, sia sullo scritto che su altri contenuti del corso.

## **MECCANICA STATISTICA (FIS/02)**

Vedi: Lauree triennali

## **METODI COMPUTAZIONALI DELLA FISICA (FIS/02)**

*F. Piccinini*

Obiettivi formativi

Apprendimento dei principali algoritmi utilizzati nella soluzione numerica di problemi di fisica classica e quantistica. Un obiettivo importante del corso è anche quello di sviluppare la forma mentis necessaria ad affrontare un problema numericamente. Per questo motivo tutti gli algoritmi vengono illustrati sia teoricamente che mediante il loro utilizzo pratico nello svolgimento di problemi di fisica.

Prerequisiti

Nessuno

Programma

- Metodi numerici di base: interpolazione, approssimazione, differenziazione, integrazione, ricerca di zeri ed estremi, generatori di numeri casuali
- Equazioni differenziali ordinarie
- Algebra lineare: operazioni elementari con matrici, sistemi lineari, equazioni agli autovalori
- Metodi di Monte Carlo per l'integrazione numerica e, più in generale, come metodi di simulazione
- Equazioni differenziali alle derivate parziali
- Metodi spettrali (analisi di Fourier).

Bibliografia

W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery, Numerical Recipes, Cambridge University Press.

S.S.M. Wong, Computational Methods in Physics and Engineering, World Scientific.

P.L. De Vries, A first Course in Computational Physics, John Wiley & Sons, Inc.

Modalità di esame: Esame orale

## **METODI MATEMATICI DELLA FISICA TEORICA (FIS/02)**

*M. Carfora*

Obiettivi formativi

Una introduzione ai metodi della geometria differenziale utilizzati nella fisica teorica. Esempi e case studies focalizzati allo sviluppo della comprensione e delle metodologie usate nella relatività generale, nelle teorie di gauge e nella teoria quantistica dei campi.

Prerequisiti

I corsi introduttivi di metodi matematici (o equivalenti).

Programma

Varietà differenziabili, fibrati vettoriali su varietà differenziabili, fibrati principali. Campi vettoriali su varietà, flusso di un campo vettoriale, derivata di Lie. Connessioni lineari su un fibrato vettoriale. Connessioni come 1-forme a valori nell'algebra di Lie di un gruppo. Trasporto parallelo. Mappa esponenziale. Curvatura e ologonomia di una connessione. Identità di Bianchi e loro significato geometrico. Tensore di curvatura. Metrica su una varietà e compatibilità fra metrica e connessione. Connessioni e campi di Yang-Mills. Invarianza di Gauge. Equazioni di Yang-Mills e loro deduzione variazionale. L'esempio del campo elettromagnetico. Connessioni lineari sul fibrato tangente e connessioni di Levi-Civita. Curve geodetiche e loro proprietà. Tensore di Ricci di una connessione. Simmetrie e vettori di Killing. Analisi geometrica. Operatori differenziali su varietà e equazioni alle derivate parziali di origine geometrica. Spazi di Banach di sezioni di un fibrato. Norme  $L^p$  e spazi di Sobolev. Operatori ellittici, parabolici, e iperbolici. Esempi e applicazioni. Teorema spettrale su varietà. Lo spettro dell'operatore di Laplace-Beltrami su varietà compatte. Applicazione al calcolo dei Determinanti funzionali e funzioni di partizione in teoria quantistica dei campi e meccanica statistica.

Bibliografia

Manfredo do Carmo, Riemannian Geometry, Birkhauser Boston.

Y. Choquet-Bruhat, C. DeWitt-Morette, Analysis, Manifolds and Physics, North-Holland.

J. Jost, Riemannian Geometry and Geometric analysis, Springer.

Modalità di esame: Esame orale



## **METODI STATISTICI DELLA FISICA (FIS/01)**

*P. Pedroni*

Obiettivi formativi

Apprendimento dei principali metodi utilizzati in tutti i vari settori della fisica per l'interpretazione, la simulazione e la previsione di dati sperimentali.

Prerequisiti

Nozioni di base di nozioni di base di statistica e di calcolo delle probabilità.

Programma

Gli argomenti trattati comprendono: Calcolo delle probabilità per più variabili e funzioni di variabili casuali; statistica di base (intervalli di confidenza; stima di probabilità, di medie, di varianze e di coefficienti di correlazione); trattazione dettagliata del metodo Monte Carlo: con descrizione sia dei suoi principi di base sia di alcune applicazioni significative; Principio di massima verosimiglianza applicato alla stima di parametri ed alla verifica di ipotesi; metodo dei minimi quadrati e sua applicazione ai casi concreti di "best fit".

Bibliografia

A. Rotondi, P. Pedroni, A. Pievatolo, Probabilità, Statistica e Simulazione (Springer 2012).

A. Papoulis, Probability and Statistics, (Prentice Hal 1990).

G. Cowan, Statistical Data analysis, (Oxford University Press 2002).

Modalità di esame

Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti concettuali e logici degli argomenti trattati e non sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

## **NANOSTRUTTURE DI SEMICONDUTTORI (FIS/03)**

*D. Gerace*

Obiettivi formativi: Apprendimento dei concetti e fenomeni di base relativi alle nanostrutture di semiconduttori per il confinamento quantico di elettroni e lacune.

Prerequisiti: Nozioni di fisica quantistica, elettromagnetismo, ottica, fisica dei solidi. Il corso, che si svolge nel secondo semestre, richiede preferibilmente la frequenza di 'Fisica dello Stato Solido I' come corso propedeutico.

Programma: Vengono trattate le nanostrutture di semiconduttore, ossia i sistemi a bassa dimensionalità che danno origine a fenomeni di confinamento quantico in una, due o tre dimensioni per gli elettroni (e le lacune). Saranno trattati i seguenti argomenti: Richiamo sui concetti base della fisica dei semiconduttori. Calcoli a principi primi e discontinuità di banda. Eterostrutture, metodo della funzione involuppo. Sistemi bidimensionali: buche quantiche, superreticoli, etero-interfacce. Assorbimento ed emissione, transizioni interbanda e intersubbanda in buche quantiche, laser a semiconduttore. Eccitoni e polaritoni confinati. Tunneling e resistività differenziale negativa, diodo a effetto tunnel, doppia barriera. Effetti di campi elettrici e magnetici. Effetto Hall quantistico, intero e frazionario. Sistemi mono- e zero-dimensionali: quantum wires e quantum dots, livelli elettronici, proprietà di trasporto e proprietà ottiche, effetti di correlazione. Cenni ai sistemi a confinamento fotonico (microcavità di semiconduttore e cristalli fotonici).

Bibliografia:

L.C. Andreani, Dispense del corso (1998/1999).

P.Y. Yu, M. Cardona, Fundamentals of Semiconductors: Physics and Material Properties, 3rd edition (Springer, 2005).

J.H. Davies, The Physics of Low-dimensional Semiconductors: An Introduction (Cambridge University Press, 1998).

Modalità di esame: Esame orale. Per la prova di esame si raccomanda di focalizzarsi sugli aspetti fisici degli argomenti trattati (andamenti qualitativi, grafici, metodi per misurare le varie proprietà...) piuttosto che sullo studio dettagliato delle derivazioni matematiche.

## **OTTICA QUANTISTICA (FIS/03)**

*L. Maccone*

Obiettivi formativi

Acquisizione di "intuizione fisica" riguardo alla meccanica quantistica tramite l'ottica quantistica; teoria dell'ottica quantistica; preparazione alla ricerca (working knowledge): tecniche di calcolo e di simulazione, analisi e descrizione matematica di devices sperimentali, teoria della stima.

Prerequisiti

Meccanica quantistica (corso triennale) e fondamenti di elettromagnetismo (Fisica 2). Le prime lezioni del corso saranno dedicate ad un ripasso di tutte le nozioni necessarie.

#### Programma

- Ripasso di meccanica quantistica (per fissare la notazione e il sistema formale), ripasso di elettromagnetismo classico.
- Quantizzazione del campo elettromagnetico libero e interazione radiazione-materia dall'Hamiltoniana di minimal coupling.
- Metodi algebrici per la meccanica quantistica.
- Stati quantistici della radiazione.
- Interferenza e sovrapposizione quantistica (si analizzeranno vari esperimenti tipici di ottica quantistica).
- Sistemi quantistici aperti (Master equations e CP-maps).
- Teoria della rivelazione in ottica quantistica.

#### Bibliografia

Scully, Zubairy, "Quantum Optics", Cambridge University Press;  
Gerry, Knight, "Introductory Quantum Optics", Cambridge University Press;  
Per approfondimenti: Mandel, Wolf, "Optical Coherence and Quantum Optics", Cambridge University Press.

(Tutti i libri consigliati sono presenti nella biblioteca del dipartimento)

#### Modalità lezioni

Le lezioni si tengono esclusivamente alla lavagna (no powerpoint). Le interazioni (domande, osservazioni, feedback) sono incoraggiate.

#### Modalità di esame

Esame orale. Si prega di contattare il docente per fissare la data dell'esame.

### **PLASMI ASTROFISICI (FIS/05)**

*M. Bornatici*

#### Obiettivi formativi

Processi di fisica dei plasmi rilevanti per l'astrofisica.

#### Prerequisiti

Nozioni di elettromagnetismo e meccanica statistica.

#### Programma

Elementi di fisica dei plasmi rilevanti per la descrizione dei plasmi astrofisici. Processi di fusione nucleare di interesse astrofisico: la produzione di energia nel Sole; la catena protone-protone; i neutrini solari. Il modello solare standard: le equazioni per la regione centrale del Sole (in particolare, l'equazione del trasporto radiativo e soluzione per un sistema otticamente spesso: l'opacità di Rosseland); i profili radiali della temperatura, densità, pressione e luminosità. Il vento solare non-magnetizzato (soluzione di Parker) e vento solare magnetizzato (soluzione di Weber et al.): il problema del momento angolare. L'atmosfera solare.

#### Bibliografia

R.M. Kulsrud, Plasma Physics for Astrophysics, Princeton Univ. Press, Princeton, 2005.  
D. Melrose, Plasma Astrophysics, Lecture Notes, University of Sydney, 2007.

#### Modalità di esame

Esame orale: enfasi sugli aspetti fisici dei processi considerati.

### **PREPARAZIONE DI ESPERIENZE DIDATTICHE (FIS/08)**

Vedi: Lauree triennali

### **PROCEDIMENTI INFORMATICI DI SIMULAZIONE (FIS/01)**

*A. Rimoldi*

#### Obiettivi

Programmazione object oriented applicata alla fisica dei rivelatori di particelle.

#### Prerequisiti

Conoscenza di base del linguaggio C++ e del C

#### Programma

Scopo del corso è fornire una solida conoscenza di base per la programmazione simulata di grandi sistemi utilizzando metodologie Object Oriented. Maggiore enfasi è posta all'analisi, al design e all'implementazione del software di simulazione di un esperimento di fisica fondamentale. Il linguaggio di programmazione utilizzato è il C++ e le tecniche di analisi e design si basano sulla metodologia dello Unified Modeling Language. All'inizio del corso vengono rapidamente richiamate le nozioni base dei linguaggi C/C++/HTML/Java. Il corpo centrale del corso consta nell'introduzione, nello studio e

nell'applicazione dei concetti fondamentali della simulazione fisica di un esperimento o di un apparato. Il tool utilizzato è GEANT4 e un'ampia trattazione in forma di seminari a soggetto (fisica, geometria, processi fisici, visualizzazione) ne fa corpo a se stante. Gli esempi spaziano dalla fisica delle particelle elementari, alla fisica medica, all'astrofisica e sono commentati a lezione. Nuove implementazioni in vari campi vengono suggerite in relazione alle propensioni singole dello studente e ai campi di interesse. Un ciclo di seminari compendia il corso: gli esercizi (scritti in linguaggio C++) sono eseguiti su PC in laboratorio o personale (installazione Linux richiesta) e riguardano argomenti di interesse del singolo studente nel campo di attività che lo vede attivo per la laurea specialistica per la realizzazione di un setup sperimentale simulato.

Bibliografia

Koenig, Moo, Accelerated C++, Addison Wesley.

Adele Rimoldi, Metodi informatici della fisica, Pavia University Press.

Adele Rimoldi, La simulazione dei rivelatori di particelle, Pavia University Press, Didattica e Formazione.

Modalità di esame: Esame Orale

## **RADIOATTIVITÀ I (FIS/04)**

*P. Salvini*

Obiettivi formativi: comprensione dei fenomeni radioattivi, dei rischi ad essi connessi e delle possibili applicazioni tecnologiche.

Prerequisiti: conoscenze di meccanica quantistica (funzione d'onda, probabilità di transizione, effetto tunnel), fisica nucleare (composizione del nucleo) e struttura della materia (descrizione dell'atomo).

Programma: Legge del decadimento radioattivo, Famiglie radioattive, Radioattività Naturale, Interazione Radiazione-Materia, Effetti biologici delle radiazioni, Radon, Incidenti nucleari (seminario al LENA), radiodatazione, misure di concentrazione mediante metodo di attivazione (laboratorio al LENA), decadimento gamma, decadimento alfa, decadimenti esotici, decadimento beta, misura della massa del neutrino.

Bibliografia: Libro di testo: G. Bendiscioli "Fenomeni Radioattivi" Ed. Springer.

Eventuali approfondimenti su specifici argomenti:

W.R. Leo "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: A How to Approach" Ed. Springer

Modalità di esame: Orale

## **RADIOATTIVITÀ II (FIS/04)**

*A. Fontana*

Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti e fenomeni relativi alla fisica delle interazioni deboli e del neutrino.

Prerequisiti

Nozioni di fisica nucleare e subnucleare, radioattività, elettromagnetismo e meccanica quantistica.

Programma

Il corso si sviluppa a partire dallo studio della fenomenologia dell'interazione debole (violazione della parità, elicità di neutrino ed elettrone, distribuzioni angolari) e del formalismo teorico utilizzato per la sua descrizione (teoria di Dirac e teoria V-A). I temi trattati riguardano successivamente tre ambiti di ricerca connessi con il decadimento beta e con la fisica del neutrino:

- nucleosintesi sulle stelle, in particolare sul sole: problema dei neutrini solari, evoluzione stellare, processi r, s e p, supernovae, età dell'Universo;
- doppio decadimento beta: neutrini massivi, neutrini di Dirac e di Majorana, doppio decadimento beta con e senza emissione di neutrini, esperimenti e risultati sperimentali;
- oscillazioni di neutrino: formalismo teorico ed esperimenti ideali, neutrini da acceleratore, da reattore, atmosferici e solari, esperimenti e risultati sperimentali.

Bibliografia

G. Bendiscioli, Fenomeni Radioattivi: dai nuclei alle stelle, Springer 2013 (II Edizione).

Modalità di esame

Colloquio orale con possibilità di seminario su approfondimenti di un argomento trattato a lezione.

## **RADIOBIOLOGIA (MED/36)**

*A. Ottolenghi*

### Obiettivi formativi

Obiettivo generale del corso è quello di fornire agli studenti una introduzione ai principi fondamentali della radiobiologia e della biofisica delle radiazioni (dalle interazioni fisiche, al danno iniziale e alla sua evoluzione temporale) e su come un sistema biologico complesso possa reagire alla perturbazione indotta dalle radiazioni ionizzanti. Alla fine del corso gli studenti debbono essere in grado di usare i principi base per il disegno di attività di ricerca in radiobiologia (integrando approcci teorici e sperimentali) e di contribuire a ricerche applicate per la stima del rischio e per l'ottimizzazione dell'uso delle radiazioni in medicina.

### Prerequisiti

Conoscenze di base di biologia (DNA e strutture cellulari) e sulle interazioni radiazioni ionizzanti - materia.

### Programma

Saranno introdotti i meccanismi relativi agli effetti fisici, chimici e biologici delle radiazioni ionizzanti, a livello sub-cellulare, cellulare e di organismo (compresi i rischi di cancro e altre patologie, particolarmente a basse dosi). Dopo una descrizione della fase fisica delle interazioni radiazioni – strutture biologiche, verrà analizzata l'evoluzione temporale del danno, includendo gli effetti a livello chimico (chimica delle radiazioni in acqua, soluzioni con DNA, ecc.) e biologico (come il danno al DNA in un ambiente cellulare e processi di riparo). Sarà analizzata l'evoluzione del danno e del riparo di vari endpoint radiobiologici ed in particolare il loro ruolo nello sviluppo di patologie indotte da radiazioni. Ciò comprenderà: le aberrazioni cromosomiche e il loro impatto a livello di tessuto, la loro persistenza e il loro ruolo nella dosimetria biologica; le forme di morte cellulare, l'inattivazione della funzione proliferativa; la perturbazione della segnalazione intra- e inter-cellulare; gli effetti "non-targeted" (bystander, instabilità genomica, risposta adattativa, ecc.). Particolare attenzione verrà data alla dipendenza dalla qualità della radiazione.

Verranno introdotti e confrontati diversi approcci per la modellizzazione degli effetti radiobiologici: stocastici (ad es.: Monte Carlo) versus deterministici (ad es. basati su equazioni differenziali); discreti versus continui; macroscopici versus microscopici; predittivi versus esplorativi, ecc.. La radiazione verrà studiata come una perturbazione di un sistema (biologico) complesso; un approccio multiscala caratterizzerà il corso e saranno introdotti la systems radiation biology e i suoi metodi.

Le applicazioni saranno dedicate in particolare alla stima del rischio da basse dosi e alla radiobiologia clinica per l'ottimizzazione in campo medico (come in radiologia e nelle tecniche attuali ed emergenti in radioterapia).

È prevista anche una parte di laboratorio, presso il laboratorio di Radiation Biophysics and Radiobiology del Dipartimento di Fisica.

### Bibliografia

D. Alloni, L. Mariotti and A. Ottolenghi. Chapter 1 - Early events leading to radiation induced biological effects. In: Radiation Biology and Radiation Safety, Radiation Biology, J Hendry ed., Vol 8 of the Comprehensive Biomedical Physics series . Elsevier. In press, (2014).

Eric J. Hall, Amato J. Giaccia, Radiobiology for the Radiologist

Articoli vari di review

Trasparenze fornite agli studenti

Modalità di esame: Orale

## **RELATIVITÀ GENERALE (FIS/02)**

*M. Carfora*

### Obiettivi formativi

Una esposizione avanzata della teoria della Relatività Generale e delle sue applicazioni.

### Prerequisiti

METODI MATEMATICI DELLA FISICA TEORICA o corso equivalente di geometria differenziale e il corso di ELETTRODINAMICA E RELATIVITÀ o corso equivalente di introduzione alla relatività speciale.

### Programma

Introduzione alla fisica del campo gravitazionale. Principio di equivalenza debole e principio di equivalenza. Campo gravitazionale e geometria dello spaziotempo. Le equazioni di Einstein. Deduzione variazionale delle equazioni di Einstein. La teoria di Einstein linearizzata. Limite Newtoniano della teoria. Teoria linearizzata e onde gravitazionali. La soluzione di Schwarzschild: deduzione e sue proprietà. Moto di particelle nello spaziotempo di Schwarzschild. Precessione del perielio di Mercurio. Deflessione dei raggi luminosi. Raggio di Schwarzschild. Singolarità reali e apparenti. Estensione massimale di una soluzione. Lo spaziotempo di Rindler. Orizzonte degli eventi. Estensione massimale di Kruskal. Orizzonte degli eventi e Black Holes. Compattificazione conforme e diagrammi di Penrose. Proprietà causali di uno spaziotempo asintoticamente piatto e definizione di Black Hole. La soluzione di Kerr e le

sue proprietà. Ergosfera e superradianza. Dinamica dei black holes. La relatività generale come sistema dinamico. Formalismo di Arnowitt-Deser-Misner. I vincoli Einsteniani e evoluzione iperbolica. Massa e quadri-impulso di un sistema isolato. Problemi aperti in relatività generale. Cosmologia relativistica. Equazioni di Friedmann e modelli cosmologici.

#### Bibliografia

Robert M. Wald, General Relativity, The University of Chicago Press

Modalità di esame: Esame orale

### **RIVELATORI DI PARTICELLE (FIS/01)**

*M. Livan*

#### Obiettivi formativi

Comprensione dei processi di interazione radiazione-materia e dei principi fisici su cui si basa la rivelazione delle radiazioni

#### Prerequisiti

Concetti base di Elettromagnetismo, meccanica quantistica e statistica

#### Programma

Dopo una introduzione alla radioattività ed alle sorgenti radioattive, si passa allo studio dei processi di interazione radiazione-materia per particelle cariche e neutre. Vengono poi descritte le caratteristiche principali dei rivelatori per passare successivamente allo studio dei meccanismi fisici di funzionamento delle due classi principali di rivelatori: i rivelatori a ionizzazione e quelli a scintillazione. Si passa quindi alla descrizione di sistemi di rivelazione quali l'identificazione di particelle e, in notevole dettaglio, la calorimetria elettromagnetica ed adronica.

#### Bibliografia

W.R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. Springer- Verlag

K. Kleinknecht, Detectors for particle radiation.

G. Gaudio, M. Livan, R. Wigmans The art of Calorimetry. Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi", Course CLXXV "radiation and Particle Detectors" (IOS Amsterdam; SIF, Bologna).

#### Modalità di esame

Esame orale. L'attenzione verrà posta principalmente sulla fisica della rivelazione di radiazioni

### **SIMULAZIONE IN CAMPO BIOSANITARIO (FIS/07)**

*F. Ballarini*

#### Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti e dei metodi fondamentali delle tecniche di simulazione dell'interazione radiazione-materia. Apprendimento delle basi di un codice di trasporto. Apprendimento degli aspetti principali della modellizzazione degli effetti biologici radioindotti.

#### Prerequisiti

Nozioni di fisica nucleare, metodo Monte Carlo, interazione radiazione-materia.

#### Programma

La prima parte del corso è dedicata al codice di simulazione MCNP, che trasporta neutroni, fotoni ed elettroni, e anche particelle cariche nelle sue ultime versioni. Si tratta di una serie di lezioni pratiche, a seguito di una breve introduzione teorica, nelle quali gli studenti impareranno a creare un file di input e a simulare problemi di trasporto. Al termine di questa prima parte del corso gli studenti saranno utenti base di MNCP e avranno acquisito le capacità per creare le geometrie, descrivere la fisica, fare delle richieste al programma e analizzare statisticamente i risultati. La seconda parte del corso è dedicata alla modellizzazione e simulazione degli effetti biologici indotti dalle radiazioni ionizzanti a livello subcellulare/cellulare e a livello di tessuti e organi. L'attenzione è focalizzata sulle aberrazioni cromosomiche e sulle loro conseguenze in termini di morte cellulare o conversione della cellula in cellula tumorale, nonché sulla modellizzazione di tali effetti a livello di interi tessuti e organi, con esempi di applicazione all'adroterapia e alla radioprotezione nello spazio. Agli studenti saranno inoltre offerti dei seminari finalizzati a fornire una panoramica delle caratteristiche dei codici di simulazione FLUKA e GEANT-4, e delle loro applicazioni in campo bio-sanitario.

#### Bibliografia

Dispense del corso

Manuali di MNCP, FLUKA, GEANT 4

E. Alpen, Radiation Biophysics, Elsevier

Modalità d'esame

Esame sia pratico, sia orale. L'esame pratico consisterà nello svolgimento e discussione di un esercizio di simulazione MCNP, mentre la prova orale riguarderà la parte di modellizzazione del danno biologico da radiazioni.

### **SPETTROSCOPIA DELLO STATO SOLIDO (FIS/03)**

*G. Guizzetti*

Prerequisiti: Corsi di fisica di base, Meccanica quantistica, Struttura della Materia

Programma: Il programma del corso è coordinato con quello dei corsi di Fisica dello stato solido e di Fotonica e consta di lezioni in aula e dimostrazioni in laboratorio, concernenti essenzialmente le spettroscopie ottiche.

Inizialmente vengono trattati argomenti generali riguardanti: interazione radiazione-materia, funzione dielettrica e indice di rifrazione complessi, modello di Drude-Lorentz, relazioni di dispersione, relazioni di Kramers-Kronig, effetti di schermaggio, campo locale, equazioni di Lorentz-Lorentz e di Clausius-Mossotti, trattazione quantistica delle transizioni ottiche. Vengono quindi illustrate le seguenti spettroscopie ottiche e le loro applicazioni: riflettanza e trasmittanza con spettrometri sia dispersivi sia a trasformata di Fourier; spettroscopia ellissometrica; spettroscopia Raman, spettroscopia di luminescenza; spettroscopia risolta in tempo. Vengono infine presentate, come tecniche complementari per ottenere informazioni topografiche e morfologiche sui campioni da analizzare, la Microscopia a Forza Atomica (AFM) e la Microscopia Tunnel a Scansione (STM).

Bibliografia: N.V. Tkachenko, "Optical spectroscopy: methods and instrumentations" (Elsevier, 2006). Yu-Cardona, "Fundamentals of semiconductors" (Springer, 1996), Cap. 6 e 7.

Modalità di esame: esame orale

### **STORIA DELLA FISICA (FIS/08)**

Vedi: Lauree triennali

### **STORIA DELLA MATEMATICA (MAT/04)**

*M. Ferrari, R. Rosso*

Programma

L'algebra dei greci e degli arabi. Risoluzione delle equazioni di terzo e quarto grado: la scuola di Bologna. Nascita del formalismo moderno: Bombelli e Viete. Le radici dell'unità. Preistoria e storia del teorema fondamentale dell'algebra. Lagrange e la risoluzione algebrica delle equazioni. Il teorema di Abel-Ruffini. Nascita della teoria dei gruppi: Ruffini, Galois, Cauchy. Storia della risoluzione numerica delle equazioni algebriche. Storia della regola di Descartes.

Bibliografia

S. Maracchia: Storia dell'Algebra. Liguori, Napoli (2005).

J.P. Tignol: Galois Theory of Equations. World Scientific, Singapore (2001).

Appunti disponibili presso il sito web del corso.

### **STORIA DELLE SCIENZE (M-STO/05)**

*L. Fregonese*

Obiettivi formativi:

Conoscenza di grandi episodi dello sviluppo dell'approccio scientifico alla realtà, finalizzata anche al recupero critico di nozioni centrali della scienza contemporanea e ad una loro migliore trasmissione didattica.

Prerequisiti:

Il corso sviluppa contestualmente le nozioni necessarie per la comprensione degli argomenti trattati.

Programma:

Nel presente anno accademico il corso è diviso in due parti monografiche, dedicate rispettivamente all'atomismo antico e alle principali teorie che furono elaborate nel Settecento per spiegare le funzioni nervose e muscolari e i loro rapporti con l'elettricità. Nella parte dedicata all'atomismo antico, si affrontano inizialmente le questioni metodologiche delle fonti e degli approcci storiografici al tema. Concentrando l'attenzione sull'atomismo nella versione lasciataci da Lucrezio nel *De rerum natura*, si esaminano poi vari punti significativi della filosofia naturale epicureo-lucreziana. L'analisi si struttura in sei diversi percorsi dedicati ai seguenti temi: 1) i principi teorici posti a fondamento dell'atomismo epicureo, 2) le diverse concezioni del peso individuabili nel *De rerum natura*, 3) Carattere cinetico dell'atomismo, ordini di particelle e moti attraverso cui i fenomeni macroscopici «emergono» dal livello

microscopico fondamentale, 4) il “clinamen” indeterministico dell’atomismo epicureo, 5) psicologia, anima e percezione in Lucrezio, 6) elementi di cosmologia epicureo-lucreziana.

La seconda parte del corso inizia considerando preliminarmente le spiegazioni elaborate da Newton per interpretare le funzioni della percezione, della volizione e della contrazione muscolare. Lo studio prosegue tracciando un quadro dei principali paradigmi della fisiologia settecentesca: iatromeccanicismo, micromeccanicismo, animismo, vitalismo, soffermandosi poi soprattutto sull’influente teoria fisiologica che Albrecht von Haller basò sulla distinzione tra “sensibilità” e “irritabilità” delle differenti parti dei corpi organici. Il corso affronta infine le fondamentali ricerche di Galvani e Volta sulla “elettricità animale”, contestualizzandole rispetto alla fisiologia del periodo e in particolare rispetto agli schemi della sensibilità e dell’irritabilità halleriane. Il corso esamina anche l’invenzione della pila di Volta, inserendola nel contesto dei dibattiti sull’elettricità animale.

#### Bibliografia

- Lucio Fregonese, “Il De rerum natura di Lucrezio: sei percorsi di lettura”, slides in formato digitale.
- Geoffrey E.R. Lloyd e John Vallance, “La scienza nell’antichità greco-romana”, in *La scienza antica* (2001) [vol. 1 di *Storia della scienza*, Roma: Istituto della Enciclopedia italiana, 2001-2004, 10 voll.], sez. IV, cap. I, di, pp. 539-554.
- David Sedley, “Epistemologia e teorie della natura nell’età ellenistica”, in *La scienza antica* (2001) [vol. 1 di *Storia della scienza*, Roma: Istituto della Enciclopedia italiana, 2001-2004, 10 voll.], sez. IV, cap. XI, pp. 678-690.
- Walter Bernardi, “I fluidi della vita: alle origini della controversia sull’elettricità animale”, Firenze: Olschki, 1992, parti scelte.
- Lucio Fregonese, Volta: teorie ed esperimenti di un filosofo naturale, in “I grandi della scienza”, Milano: Le scienze, n° 11, 1999, parti scelte.
- Marco Piccolino e Marco Bresadola, Rane, torpedini e scintille: Galvani, Volta e l’elettricità animale, Torino: Bollati Boringhieri, 2003, parti scelte.
- Giuliano Pancaldi, Volta: science and culture in the age of Enlightenment, Princeton; Oxford: Princeton University Press, 2003, parti scelte.

Modalità di esame: Esame orale.

### **STRUMENTAZIONE FISICA BIOSANITARIA (FIS/07)**

*M. Corti*

#### Obiettivi formativi

Il corso ha lo scopo di fornire le modalità operative ed i principi di funzionamento della strumentazione più largamente diffusa nel settore diagnostico e biomedicale

#### Prerequisiti

Conoscenza delle nozioni impartite nei corsi della laurea triennale. Sono consigliati i concetti impartiti nei corsi di tecniche diagnostiche della laurea magistrale in scienze e tecnologie fisiche.

#### Programma

Modalità operative e principi di funzionamento della strumentazione biomedicale più largamente diffusa nel settore diagnostico e medicale. Tecniche di Risonanza Magnetica Nucleare e di tomografia a Risonanza Magnetica (MRI): sistemi a corpo intero e sistemi dedicati. Tecniche ultrasonografiche: apparati per ecografia, ecocardiografia, ecodoppler, ecotomografia. Apparati per misure di flusso e di viscosità ematica generale e capillare. Applicazioni dello SQUID per lo studio dei segnali bio-magnetici nel cervello e Magneto-encefalografia. Gli argomenti trattati a lezione saranno oggetto di sperimentazione “in vitro” utilizzando strumentazione diagnostica biomedicale in dotazione del Laboratorio di Strumentazione Fisica Biosanitaria (Spettrometro NMR (Mid-Continent); Tomografo MRI (Artoscan-Esaote dedicato agli arti distali; Viscosimetri medicali) e presso l’ Istituto di Radiologia del IRCCS Policlinico S. Matteo di Pavia (Ecotografo).

#### Bibliografia

- Bioimmagini. G. Coppini, S. Diciotti, G. Valli – Patron Editore.
- Tecniche di CT e MRI nella Diagnostica per Immagini. L. Cei, A. La Fianza, C. Baluce. -Società Editrice Universo (Roma).
- Medical Imaging Physics. W.R. Hendee, E.R. Ritenour – Wiley-Liss.

#### Modalità di esame

Relazioni scritte di laboratorio ed esame orale.

## **TECNICHE DIAGNOSTICHE I (FIS/07)**

*L. Mariotti*

### Obiettivi formativi

Obiettivo del corso è di illustrare come alcuni concetti di fisica nucleare di base già trattati in altri corsi (rivelatori, interazione radiazione-materia, radioattività, ...) vengano applicati quotidianamente nella diagnostica clinica. Lo studente dovrà saper utilizzare la conoscenza acquisita nel corso per contribuire nella scelta ottimale tra le varie tecniche in diversi casi clinici, tenendo conto sia dei principi fisici di funzionamento sia dei rischi associati con ciascuna tecnica.

### Prerequisiti

Radioattività

Struttura atomica e nucleare

Interazione della radiazione con la materia

Rivelatori

Fortemente consigliato: Corso di Biologia per LM in fisica.

### Programma

Obiettivo generale del corso è di illustrare i principi fisici e il funzionamento delle principali tecniche diagnostiche di uso routinario in ambito ospedaliero (Radiografia, CT, Mammografia, PET/SPECT etc). Successivamente verranno illustrate le tecniche diagnostiche più innovative (tecniche di fusione PET/CT, PET/NMR, OCT, Imaging funzionale).

Allo studio teorico sarà affiancata la presentazione qualitativa di alcuni referti diagnostici allo scopo di mostrare in casi specifici possibili artefatti, limiti risolutivi etc. Il corso sarà infine completato da visite, seminari e test diagnostici pratici realizzati in alcuni centri ospedalieri pavesi.

### Bibliografia

Physics for diagnostic radiology. PP Dendy, B Heaton. Medical Science Series. Institute of Physics Publishing. 2008. Third Edition. Philadelphia. US. ISBN 0-7503-0590-8.

Farr's Physics for Medical Imaging. P Allisy-Roberts, J Williams. Saunders- Elsevier. 2008. Second Edition. ISBN 987-0-7020-2844-1.

Physics in nuclear medicine. SR Cherry, JA Sorensen, ME Phelps. Saunders-Elsevier. 2003. Third Edition. ISBN 0-7216-8341-X.

Copia delle lezioni (presentazione ppt) sarà fornita agli studenti durante il corso.

Modalità di esame: Esame Orale

## **TECNICHE DIAGNOSTICHE II (FIS/07)**

*P. Carretta, A. Lascialfari*

### Obiettivi formativi

Il corso di propone di fornire le basi fisiche della Risonanza Magnetica Nucleare, i principi della polarizzazione dinamica dei nuclei; le basi fisiche della Risonanza Magnetica per Immagini e i principi delle tecniche di ricostruzione di immagini.

### Prerequisiti

Fondamenti dell'elettromagnetismo, meccanica statistica e meccanica quantistica

### Programma

Viene trattato il fenomeno della risonanza magnetica, le equazioni fenomenologiche di Bloch, la relazione fra lo spettro NMR e il segnale di precessione libera. Successivamente vengono descritti gli effetti dell'interazione dipolare nucleo-nucleo sugli spettri, l'interazione dipolare indiretta e lo spostamento chimico. Sono quindi illustrati gli effetti dell'interazione quadrupolare elettrica e dell'interazione iperfine elettrone-nucleo sugli spettri. Particolare enfasi viene data all'effetto delle dinamiche sugli spettri NMR, sul segnale di eco di spin e sul tempo di rilassamento spin-reticolo. Vengono quindi illustrati esperimenti di doppia risonanza, le tecniche di iperpolarizzazione dei nuclei e i principi della risonanza magnetica bidimensionale. Il corso prosegue con la presentazione della Magnetic Resonance Imaging: imaging in una dimensione (1D), lo spazio K, gli echi di gradiente, l'imaging 3D mediante la decodifica in spazio (slice selection), fase e frequenza. Sarà quindi descritta la pesatura delle immagini in densità nucleare, T1 e T2, le sequenze MRI 2D e 3D. Verranno illustrate le tecniche di ricostruzione delle immagini: la trasformata di Fourier (caso discreto e continuo), il campionamento e l'aliasing, la ricostruzione di immagini per proiezione e retroproiezione, la trasformata di Radon e M-filtering, il caso dei raggi-X. Saranno infine descritte le misure pesate in diffusione, le proprietà magnetiche dei tessuti, la tecnica BOLD, l'MRI funzionale, le tecniche di acquisizione veloce e gli agenti di contrasto paramagnetici e superparamagnetici.

### Bibliografia

E.M. Haacke, R.W. Brown, M.R. Thompson, R. Venkatesan, Magnetic Resonance Imaging – Physical Principles and Sequence Design – ed. Wiley-Liss.

C.P. Slichter, Principles of Magnetic Resonance (Springer Series in Solid State Physics, 3rd edition).



Modalità di esame: Esame orale

### **TECNICHE DIGITALI DI ACQUISIZIONE DEI DATI (FIS/01)**

Vedi: Lauree triennali

### **TECNOLOGIE DELLA COMUNICAZIONE SCIENTIFICA (FIS08)**

*L. Falomo*

Obiettivi formativi

Il corso si propone di introdurre gli studenti alle profonde implicazioni che le nuove tecnologie digitali hanno avuto sui sistemi di accesso e di comunicazione dell'informazione.

Prerequisiti

Nessuno

Programma

Particolare risalto viene dato alle applicazioni e alle pratiche tipiche del web e del mobile, importanti supporti per fare e comunicare la scienza, per insegnare e apprendere in modo più partecipato e collaborativo. Durante il corso vengono descritte le caratteristiche principali delle immagini digitali vettoriali e raster e del video digitale e utilizzati servizi di fotoritocco e montaggio di filmati. Ci si sofferma su blog, comunità virtuali, wiki e realtà aumentata. Vengono quindi utilizzati servizi di costruzione, anche collaborativa, e condivisione online di presentazioni e di mappe mentali e concettuali. Sono poi presentati diversi esempi di applicazione, nella science education, nella ricerca e nella comunicazione scientifica, degli strumenti analizzati: dalle applicazioni di realtà aumentata per l'apprendimento delle scienze ai wiki per la gestione di progetti europei, dalle ricerche del laboratorio di intelligenza collettiva del MIT ai progetti di Citizen science.

Bibliografia

La bibliografia e la sitografia di riferimento sono discusse durante le lezioni e indicate nel blog del corso.

Modalità di esame

Elaborazione di progetto e prova orale.

### **TECNOLOGIE FISICHE E BENI CULTURALI (FIS/07)**

Vedi: Lauree triennali

### **TEORIA DEI SISTEMI DINAMICI (MAT/07)**

*A. Marzuoli*

Obiettivi formativi

Scopo del corso è l'acquisizione di una solida preparazione nel campo della Meccanica Analitica avanzata. Gli argomenti trattati nell'ultima parte del corso potranno essere scelti e/o modificati secondo le preferenze degli studenti.

Prerequisiti

I contenuti di un corso di Meccanica Analitica (formalismo lagrangiano e hamiltoniano). La conoscenza delle nozioni di base di geometria differenziale è auspicabile.

Programma

Fondamenti geometrici della meccanica lagrangiana e hamiltoniana. Flusso hamiltoniano, teorema di Liouville, teorema di Poincaré. Struttura simplettica dello spazio delle fasi hamiltoniano; 1-forma di Poincaré-Cartan e forma simplettica. Trasformazioni canoniche e loro caratterizzazione. Struttura algebrica delle variabili dinamiche: parentesi di Poisson e legame con la derivata di Lie. Costanti del moto e proprietà di simmetria (teorema di Noether hamiltoniano). Equazioni di Hamilton-Jacobi; variabili azione-angolo nel caso unidimensionale e nel caso n-dimensionale separabile. Sistemi hamiltoniani completamente integrabili: teoremi di Liouville e di Arnol'd. Teoria canonica delle perturbazioni e cenni al teorema KAM (Kolmogorov, Arnol'd, Moser). Varietà di Poisson e metodo delle orbite co-aggiunte.

Bibliografia

A. Fasano, S. Marmi "Meccanica Analitica", Bollati Boringhieri 2002.

Modalità di esame: prova orale

## **TEORIA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI (FIS/02)**

*O. Nicrosini*

Obiettivi formativi

Il corso si propone di fornire un'introduzione alle moderne teorie di gauge, con l'obiettivo di illustrare i concetti teorici alla base del Modello Standard delle interazioni elettrodeboli e forti.

Prerequisiti

Conoscenza di base di elettrodinamica quantistica, teoria quantistica dei campi e fisica delle particelle elementari

Programma

L'elettrodinamica quantistica (QED) come teoria di gauge abeliana. L'invarianza di gauge non abeliana: teorie di Yang-Mills. Rottura spontanea della simmetria: modello di Goldstone e meccanismo di Higgs. La teoria dell'unificazione elettrodebole: lagrangiana e principali implicazioni fenomenologiche. La lagrangiana della cromodinamica quantistica (QCD): simmetrie esatte e approssimate, principali caratteristiche fenomenologiche. Effetti perturbativi a 1-loop: polarizzazione del vuoto in QED e QCD, libertà asintotica della QCD. Cenni a limiti strutturali e fisica al di là del modello standard (supersimmetria, Technicolor, teorie di grande unificazione).

Bibliografia

M.E. Peskin and D.V. Schroeder - An introduction to Quantum Field Theory- ©1995, Addison-Wesley Advanced Book Program (now Perseus Books).

C. Quigg - Gauge Theories of the Strong, Weak and Electromagnetic Interactions - ©1983, 1997, Addison Wesley Longman, Inc.

F. Mandl and G. Shaw - Quantum Field Theory - ©1994, John Wiley & Sons.

Modalità di esame: Orale

## **TEORIA FISICA DELL'INFORMAZIONE (FIS/03)**

*P. Perinotti*

Obiettivi Formativi

Apprendimento degli elementi della teoria della codifica e trasmissione di informazione su supporti classici e quantistici.

Prerequisiti

Si richiede allo studente una conoscenza elementare della struttura matematica della teoria delle probabilità e della meccanica quantistica. Le nozioni necessarie nell'ambito del corso saranno comunque introdotte nelle prime lezioni.

Programma

Il corso copre gli argomenti chiave della teoria dell'informazione classica e quantistica, sviluppando soprattutto gli aspetti di comprimibilità e correggibilità, intimamente connessi con il concetto stesso di informazione.

Parte 1: Informazione classica. Si introducono i concetti base, alcuni tipi di codifica, schemi di compressione e error-correction, nonché diverse misure dell'informazione, entropie di Shannon, mutua informazione e loro proprietà. Si dimostrano i due teoremi di Shannon sulla compressione e sulla trasmissione affidabile, la disuguaglianza di Fano, il data-processing theorem, il bound di Mc Millan.

Parte 2: Informazione classica su supporti quantistici. Si introducono le entropie quantistiche di von Neumann e le loro proprietà, dimostrando il teorema di Lieb e la monotonicità di Uhlmann dell'entropia relativa. Si introducono l'informazione accessibile e il bound di Holevo.

Parte 3: Informazione quantistica. La terza parte comincia con l'analisi dell'affidabilità della compressione quantistica, introducendo fidelity e entanglement fidelity. Si dimostrano il teorema di compressione di Schumacher e la disuguaglianza di Fano quantistica. Si presentano l'informazione coerente ed il data-processing theorem quantistico. Si espone la teoria generale dell'error correction quantistica, con cenni a teletrasporto e dense coding.

Bibliografia

I. K. Chuang and M. A. Nielsen, Quantum Information and Quantum Computation, Cambridge University Press, (Cambridge UK 2000).

D. J. C. MacKay, Information Theory, Inference, and Learning Algorithms, Cambridge University Press (Cambridge UK 2001).

T. M. Cover, J. A. Thomas, Elements of Information Theory, John Wiley & Sons (Hoboken USA 2012).

Modalità di esame

L'esame prevede una prova orale. Lo studente deve padroneggiare gli argomenti del corso ed essere in grado di risolvere problemi elementari.

## **TEORIA QUANTISTICA DEI CAMPI (FIS/02)**

*F. Piccinini*

### Obiettivi formativi

Apprendimento dei concetti di base e dei metodi funzionali in teoria quantistica dei campi, con particolare riferimento all'elettrodinamica quantistica come prototipo delle teorie di gauge.

### Prerequisiti

Conoscenze di base di meccanica quantistica non relativistica e di relatività speciale.

### Programma

- Quantizzazione alla Feynman in meccanica quantistica non relativistica
- Approccio funzionale in teoria quantistica dei campi: quantizzazione dei campi scalari, dei campi vettoriali (con particolare riferimento ai campi di gauge) e dei campi fermionici.
- Relazione generale tra le funzioni di Green e gli elementi di matrice S: le formule di riduzione LSZ.
- Rinormalizzazione (concetti generali, regolarizzazione dimensionale e calcoli di funzioni di Green a una loop in teoria delle perturbazioni) per un modello scalare di campo autointeragente e per l'Elettrodinamica quantistica.
- Divergenze infrarosse in Elettrodinamica Quantistica
- Gruppo di Rinormalizzazione.

### Bibliografia

L.H. Ryder, Quantum Field Theory, Cambridge, 1996.

A. Zee, Quantum Field Theory in a Nutshell, Princeton University Press, 2010.

Note a cura del docente.

Modalità di esame: Esame orale

## **TERMODINAMICA STATISTICA CON SIMULAZIONI (CHIM/02)**

*S. Romano*

### Obiettivi formativi

Scopo formativo del corso è di fornire una introduzione, elementare ma coerente, alla Termodinamica Statistica classica di sistemi interagenti, in particolare modelli su reticolo e modelli di fluidi isotropi ed anisotropi (cristalli liquidi). Verranno inoltre presentati alcuni rilevanti risultati matematici e strumenti computazionali, quali tecniche di simulazione Monte Carlo e Dinamica Molecolare.

### Prerequisiti

Corsi della laurea triennale in Fisica; Meccanica Statistica di base.

### Programma

Richiami di termodinamica; strumenti matematici (probabilità, trasformate integrali, equazioni integrali); vari Ensemble, fluttuazioni e derivate termodinamiche; gas reali diluiti: equazioni di stato e coefficienti viriali; stato liquido, funzioni di correlazione, trattazioni mediante equazioni integrali; soluzioni elettrolitiche diluite, modelli di spin su reticolo e di gas reticolari; modelli di potenziale e costruzione di potenziali per specifici individui chimici; nozioni fondamentali su processi stocastici, e su teoria della risposta lineare; nozioni fondamentali su liquidi anisotropi (cristalli liquidi).

### Bibliografia

Un punto di partenza è costituito da D. A. Mc Quarrie, "Statistical Mechanics", Harper and Row, (New York, Evanston, San Francisco, London, 1976, o successiva edizione/ristampa);

questo e diversi altri manuali di Meccanica Statistica sono disponibili in varie biblioteche di uniPV.

Tra i manuali di simulazione, il libro di M. P. Allen and D. J. Tildesley, "Computer Simulation of Liquids", Oxford University Press, (Oxford, UK, 1989), risulta anch'esso reperibile in biblioteche di uniPV.

Utili materiali si possono trovare presso le varie wikipedia, e talvolta presso <http://arXiv.org>.

Modalità di esame: Prova orale

## STRUTTURA E ATTIVITÀ DEL DIPARTIMENTO DI FISICA

### DIPARTIMENTO DI FISICA

Via Bassi, 6

Numeri telefonici

Informazioni

0382/987471

Segreteria

0382/987474 – 987473 - 987436 - 987584

Segreteria Amministrativa

0382/987577

Direzione

0382/987626

Presso il Dipartimento hanno sede la Sezione di Pavia dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e l'Unità di Pavia del Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze Fisiche della Materia (CNISM).

### ATTIVITÀ DI RICERCA SCIENTIFICA

Le attività di ricerca, svolte da docenti afferenti al Corso di laurea in Fisica, coerenti e rilevanti rispetto agli obiettivi formativi del corso di studio, si svolgono nel Dipartimento di Fisica. I gruppi di ricerca sono impegnati in tematiche tra le più attuali della fisica moderna. Una descrizione completa delle linee di ricerca è disponibile sui siti web del Dipartimento di Fisica: <http://fisica.unipv.it> e del Dottorato di Ricerca in Fisica: <http://dottorato-fisica.pv.infn.it>. Per darne un quadro sintetico di riferimento, si citano le seguenti linee:

1. FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE (sperimentale e teorica)
2. FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA (sperimentale e teorica)
3. INFORMAZIONE QUANTISTICA, FONDAMENTI DELLA MECCANICA QUANTISTICA
4. ASTRONOMIA E ASTROFISICA
5. FISICA INTERDISCIPLINARE E APPLICATA
6. DIDATTICA E STORIA DELLA FISICA

#### FISICA NUCLEARE E SUBNUCLEARE (sperimentale e teorica)

In stretta collaborazione con i centri nazionali ed internazionali più accreditati (CERN, FERMILAB, GRAN SASSO, FRASCATI, MAINZ etc.) viene condotta una ormai consolidata attività di studio dei costituenti elementari della materia e delle loro interazioni (gravitazionale, nucleare, debole, elettromagnetica).

Le ricerche sono di tipo sia teorico (modelli fenomenologici, teorie generali) sia sperimentale.

L'attività sperimentale è svolta nell'ambito di collaborazioni internazionali che comprendono gruppi di rilevanti dimensioni operanti in grandi centri di ricerca. Qui sono funzionanti i rivelatori di particelle esposti ai fasci delle grandi macchine acceleratrici o esposti ai raggi cosmici. L'attività di ricerca sia teorica sia sperimentale riguarda in particolare lo studio dei seguenti argomenti: bosone di Higgs, particelle supersimmetriche, materia oscura, quark pesanti, antimateria, neutrini solari e atmosferici, oscillazioni di neutrino, stabilità della materia, decadimenti radioattivi, interazioni di fotoni e protoni con nuclei, ipernuclei, possibili sperimentazioni a futuri grandi acceleratori, comprensione dei meccanismi attraverso cui le particelle elementari danno luogo a strutture su scala maggiore (neutroni e protoni) fino a determinare le proprietà dei nuclei atomici.

Dell'attività teorica fanno parte ricerche sulla gravità quantistica, la fisica dei buchi neri, la teoria delle corde e la cosmologia.

#### FISICA DELLA MATERIA CONDENSATA (sperimentale e teorica)

Coerentemente con una tradizione consolidata, che negli anni 1950-60 ha visto la sede di Pavia come importante centro propulsore della fisica dei solidi in Italia, viene condotta in questo campo una articolata serie di ricerche che si avvalgono di attrezzati laboratori di spettroscopia ottica e di nanofotonica, di risonanza magnetica nucleare (NMR e NQR), di risonanza paramagnetica elettronica (EPR), nonché di moderni apparati per misure calorimetriche e di assorbimento e dispersione dielettrica. Spettroscopia. Sono studiate le proprietà ottiche di isolanti e di semiconduttori, di nuovi materiali di sintesi aventi interesse anche applicativo per la microelettronica, di superfici e di interfacce di semiconduttori, di sistemi a confinamento quantistico (ad es. buche e punti quantici), di cristalli fotonici e nanostrutture plasmoniche, di polimeri. Una recente linea applicativa riguarda lo studio di materiali (semiconduttori e organici) per celle fotovoltaiche. Sono inoltre condotti studi di ottica lineare e non lineare, fra cui spettroscopia Raman, di ossidi misti puri e drogati con elementi di transizione nonché di reperti archeologici e numerosi materiali di interesse applicativo.

Risonanza magnetica. È studiata la dinamica delle eccitazioni di spin e di carica in sistemi che manifestano transizioni di fase. La parte più rilevante delle ricerche basate sulla spettroscopia NMR-NQR ad impulsi è dedicata alle proprietà magnetiche microscopiche di superconduttori ad alta temperatura critica e di sistemi magnetici precursori. Le misure delle proprietà magnetiche dei materiali sono completate da misure di calorimetria e di magnetizzazione mediante magnetometro a SQUID in

funzione di campo magnetico e temperatura. Con tecniche NMR ed EPR sono studiati fenomeni magnetici in ossidi di metalli di transizione.

Nell'ambito della Fisica Teorica della Materia vengono condotte varie ricerche riguardanti sia gli aspetti fisici di base, sia le connessioni con attività sperimentali e con vari risvolti applicativi. Fra gli argomenti principali vi sono la fisica dello stato solido (sistemi elettronici, proprietà ottiche e di trasporto), le nanostrutture (sistemi a bassa dimensionalità quali quantum wells e superreticoli, quantum wires e quantum dots), i sistemi di spin, le nanostrutture fotoniche quali i cristalli fotonici e le nanocavità, l'ottica classica e quantistica. Inoltre mediante tecniche teoriche-computazionali è studiata la meccanica statistica di fasi condensate quali liquidi, reticoli di spin e cristalli liquidi.

### **INFORMAZIONE QUANTISTICA, FONDAMENTI DELLA MECCANICA QUANTISTICA**

Queste linee di ricerca di carattere teorico riguardano le basi concettuali e assiomatica della teoria quantistica, nonché le loro applicazioni al campo moderno della *quantum information*.

**Informazione e computazione quantistica** - Si studiano i nuovi metodi di computazione, comunicazione crittografica e trasmissione di informazione basate sulla sovrapposizione e sull'entanglement quantistici. Si progettano nuovi metodi di misurazione universale tomografici, misurazioni e canali programmabili, clonazione ottima di stati e trasformazioni e calibrazione di misurazioni e trasformazioni quantistiche. Parallelamente si progettano nuovi esperimenti per verifiche di fondamento della meccanica quantistica.

**Fondamenti della meccanica quantistica** - La meccanica quantistica, indipendentemente dai suoi successi nella previsione delle proprietà e del comportamento dei sistemi fisici, a tutt'oggi presenta problemi di interpretazione che hanno provocato e provocano accese dispute. Inoltre essa non possiede ancora un'assiomatizzazione fisica. Questi problemi sono oggetto di studio e ricerca.

### **ASTRONOMIA E ASTROFISICA**

In collaborazione stretta con i consorzi delle principali missioni per astronomia dallo spazio (XMMNewton, Swift, AGILE, GLAST e altre), l'attività di ricerca si concentra sullo studio osservativo e l'interpretazione modellistica dell'emissione di alta energia (raggi X e gamma) da diverse classi di sorgenti cosmiche, quali stelle di neutroni isolate (radio pulsar e magnetar), sistemi binari in accrescimento (con nane bianche, stelle di neutroni o buchi neri), lampi di raggi gamma.

### **FISICA INTERDISCIPLINARE E APPLICATA**

La collaborazione in aree interdisciplinari e il frequente legame fra ricerca di base e applicazioni al contesto socio-economico e industriale, oltre l'ambito accademico, sta assumendo una importanza crescente per la attività dei fisici. Le principali linee di ricerca di carattere applicativo (derivanti spesso da evoluzioni recenti delle ricerche tradizionali sopra menzionate) possono essere brevemente riassunte come segue:

**Fisica Biomedica** – Questa attività comprende lo studio degli effetti biologici delle radiazioni e la realizzazione di apparati per la misura delle caratteristiche di fasci di particelle (neutroni, protoni, fotoni,...), la realizzazione di originali apparecchiature elettromedicali, lo studio della diffusione ambientale di inquinanti chimici e radioattivi liberati in incidenti, lo sviluppo di nuove tecniche informatiche, la progettazione di nuovi rivelatori e la messa a punto di metodologie per la cura dei tumori mediante radiazioni nucleari (sia neutroni che protoni e ioni). Comprende inoltre lo sviluppo di tecniche di Imaging avanzato mediante NMR e di mezzi di contrasto usando nanoparticelle magnetiche.

**Energia** – La soluzione del problema energetico richiederà un grande sforzo di ricerca e sviluppo verso la generazione, stoccaggio e utilizzo di fonti di energia rinnovabili e a basso impatto ambientale. Presso il Dipartimento di Fisica sono attive linee di ricerca sulle celle solari fotovoltaiche di semiconduttori e di altri materiali, e sullo stoccaggio di energia sotto forma di idrogeno in nanostrutture di carbonio.

**Fotonica e Nanotecnologie** – Questa ricerca riguarda lo studio teorico, le proprietà elettroniche e ottiche, le nano-tecnologie di fabbricazione dei materiali di ultima generazione per l'optoelettronica e la fotonica. Questi sistemi, caratterizzati da strutture fotoniche su scala sub-micrometrica realizzate in materiali e nanostrutture di semiconduttori, sono di grande interesse sia per lo studio di fenomeni fisici di base sia per la realizzazione di dispositivi miniaturizzati quali interconnessioni ottiche integrate, transistor ottico, laser a bassa soglia con applicazione alla Information and Communication Technology (ICT). Un'altra applicazione di grande portata riguarda lo sviluppo di biosensori per la rivelazione di piccole quantità di molecole biologiche.

**Quantum Information e Quantum Computing** – In questo settore della fisica vi sono profondi legami fra problematiche di ricerca fondamentale in Meccanica Quantistica e applicazioni tecnologiche avanzate. Proprietà tipicamente quantistiche quali la complementarità e l'entanglement hanno già permesso la realizzazione sperimentale della Quantum Cryptography, e sebbene gli sviluppi di un computer quantistico siano ancora in una fase preliminare, vi sono forti aspettative nel mondo industriale e nella ICT, con particolare riguardo alla crittografia quantistica.

**Econofisica** – Si tratta dell'applicazione dei metodi tipici della fisica allo studio del mercato finanziario, considerato come un sistema complesso. Si tratta di un nuovo campo di ricerca interdisciplinare dove i metodi propri della fisica statistica e teorica possono essere applicati con successo. La ricerca riguarda lo sviluppo di nuove tecniche, derivate dalla meccanica statistica e dalla moderna teoria dei campi quantistici, per realizzare modelli teorici della dinamica dei mercati finanziari nonché della gestione e

dell'analisi dei dati nei campi dell'Economia e della Finanza Quantitativa e, più in generale, della descrizione e simulazione di sistemi complessi di varia natura.

### **DIDATTICA E STORIA DELLA FISICA**

**Didattica della fisica** - Obiettivo principale della ricerca è individuare strumenti e metodologie che contribuiscano al miglioramento dell'insegnamento/apprendimento della fisica. Le ricerche in corso riguardano prevalentemente

- la progettazione e la sperimentazione di modelli per la formazione iniziale e in servizio degli insegnanti di fisica che consentano di sviluppare, come parte fondamentale della professionalità dei docenti, competenze sia sugli aspetti specifici della disciplina fisica sia su quelli cognitivi e didattici;

- l'elaborazione di percorsi didattici su temi rilevanti di fisica che costituiscano il punto di partenza sia per la sperimentazione in classe sia per le attività di formazione iniziale dei docenti.

Particolare attenzione viene dedicata all'impiego delle nuove tecnologie nell'insegnamento/apprendimento della fisica nei diversi livelli scolari. La ricerca viene svolta nell'ambito di progetti nazionali e internazionali.

**Storia della fisica** - Le ricerche sono orientate verso una comprensione storica degli sviluppi delle varie discipline fisiche che non tenga conto soltanto degli aspetti tecnici ed interni ma anche del globale contesto culturale e sociale. Partendo dalle tradizioni meccaniciste cartesiane, newtoniana e leibniziana nei differenti contesti europei e in particolare in Italia, si analizzano così le articolazioni e le mutazioni storiche della meccanica, dell'elettromagnetismo, della relatività, della fisica quantistica e del caos, della fisica teorica, connettendole alle tradizioni scientifiche, epistemologiche, filosofiche e religiose.

### **DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA**

[http://www-2.unipv.it/dottorati/scienzeetecnologie/fisica/n/web\\_PhD/](http://www-2.unipv.it/dottorati/scienzeetecnologie/fisica/n/web_PhD/)

Il Dipartimento di Fisica concorre al funzionamento didattico e scientifico del Dottorato di Ricerca in Fisica.

Il Dottorato ha la durata di tre anni e dà la possibilità di seguire i seguenti curricula di studi:

- 1) Fisica delle interazioni fondamentali (fisica nucleare e subnucleare, fisica teorica e matematica);
- 2) Fisica della materia (fisica dei solidi e struttura della materia, ottica e fotonica, quantum information);
- 3) Fisica interdisciplinare e applicata (fisica biomedicale, energia, ICT)

I dottorandi devono seguire un piano di studi che prevede di norma la frequenza di 4 corsi al primo anno e 2 corsi al primo semestre del secondo anno. L'accesso agli anni successivi al primo avviene in base all'esito delle prove di esame (o scritta, o orale o entrambe a discrezione del docente) e ad un seminario orale presentato dal dottorando.

I dottorandi hanno l'obbligo di svolgere attività di ricerca in uno dei tre curricula. Le ricerche, che devono avere carattere innovativo e originale, sono spesso in collaborazioni con università o enti di ricerca italiani o esteri. I dottorandi partecipano ai programmi di ricerca che si svolgono nel Dipartimento di Fisica, programmi finanziati in parte dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MiUR), dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), dal Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze Fisiche della Materia (CNISM), dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), dall'Unione Europea e da altre istituzioni. Alla fine del triennio, il dottorando deve preparare una dissertazione scritta (tesi di dottorato) che descrive i risultati della ricerca.

La formazione dei dottorandi è finalizzata non solo alla ricerca di tipo accademico, ma anche all'acquisizione di abilità spendibili in qualunque ambiente professionale caratterizzato da attività di problem solving e di ricerca avanzata. Le abilità ("skills and knowledge") comprendono conoscenze dei meccanismi di finanziamento europei e nazionali, capacità di management, capacità informatiche e di comunicazione, conoscenze dei meccanismi imprenditoriali, di proprietà intellettuale e spin-off. Tutte queste capacità, riassumibili nell'espressione inglese "entrepreneurship", permetteranno al dottorando di far maturare le proprie aspirazioni e, in seguito al completamento del triennio, di cogliere opportunità professionali a livello avanzato in università, enti di ricerca, settori industriali e altri.

A partire dall'anno accademico 2000/2001, a seguito di delibera Ministeriale, il dottorato ha carattere internazionale grazie ad accordi specifici con le Graduate Schools delle Università di California a Santa Barbara, Santa Cruz, e Berkeley, Colorado a Boulder, Washington a Seattle, Iowa a Ames, Purdue a Lafayette, Stony Brook a New York, Paris 6 - Pierre e Marie Curie, Cracovia e altre. Dottorandi selezionati in base ai programmi di ricerca saranno autorizzati a seguire corsi e sostenere esami nonché trascorrere periodi di ricerca presso una delle Università partecipanti. Il programma prevede lo scambio di docenti nonché l'attribuzione di un International Certificate of Doctoral Studies (ICDS).

Ulteriori informazioni sono reperibili all'indirizzo:

[http://www-2.unipv.it/dottorati/scienzeetecnologie/fisica/n/web\\_PhD/index.php?option=com\\_content&view=section&id=22&Itemid=121&lang=it](http://www-2.unipv.it/dottorati/scienzeetecnologie/fisica/n/web_PhD/index.php?option=com_content&view=section&id=22&Itemid=121&lang=it)

## **BIBLIOTECA DELLE SCIENZE E SEZIONE DI FISICA**

Via A. Bassi, 6 - Tel. 987510 - fax 987262

E-mail: [biblioteca.dellescienze@unipv.it](mailto:biblioteca.dellescienze@unipv.it)

La Biblioteca Delle Scienze è nata il 1 gennaio 2008 dalla unificazione amministrativa delle Biblioteche di Fisica, Chimica, Farmacia e Biochimica, che ne costituiscono le quattro sezioni.

Il portale all'indirizzo <http://www-1.unipv.it/bibscienze/> è utilizzabile come punto di accesso per acquisire informazioni e per tutti i servizi della Biblioteca delle Scienze. In particolare, la Biblioteca partecipa al Catalogo Unico di Ateneo (OPAC), al Catalogo Italiano dei Periodici (ACNP) e al Catalogo del Sistema Bibliotecario Nazionale (SBN). Oltre ai servizi di consultazione e prestito dei volumi e delle riviste, aperti a tutti gli interessati secondo le norme dell'apposito regolamento, la biblioteca offre servizi di prestito interbibliotecario, reperimento documenti da altre biblioteche, consultazione on line di riviste in abbonamento e banche dati, ricerche bibliografiche, reference. È di recente istituzione la sezione multimediale a scopo didattico e divulgativo.

La Biblioteca delle Scienze, in collaborazione con la Scuola di Dottorato in Scienze e Tecnologie "Alessandro Volta" dell'Università degli Studi di Pavia, pubblica la rivista internazionale Scientifica Acta. La rivista, che pubblica contributi in lingua inglese soggetti a procedura di "peer review", è disponibile online sul sito web <http://siba.unipv.it/fisica/ScientificaActa/SA.htm>

La sezione di Fisica della Biblioteca delle Scienze, nata come biblioteca unificata interdipartimentale nel 1985, proviene dalla fusione delle preesistenti biblioteche dell'Istituto di Fisica, dell'Istituto di Fisica Nucleare e dell'Istituto di Fisica Teorica. È situata al primo piano dell'edificio dei dipartimenti fisici.

Il patrimonio librario consta di più di 700 riviste, di cui 140 correnti, e circa 17000 volumi monografici parte dei quali costituiscono un importante fondo storico, completamente catalogato, a disposizione degli studiosi di storia della scienza.

## **LABORATORI DIDATTICI**

Gli insegnamenti di laboratorio dei corsi di laurea dell'area fisica sono tenuti in parte presso i laboratori didattici situati presso la Cascina Cravino, via Bassi 21. I Laboratori Didattici sono attrezzati con varia strumentazione relativa a esperimenti di meccanica, termodinamica, elettromagnetismo, elettronica, informatica. Gli esperimenti sono interfacciati a personal computer appositamente dedicati all'acquisizione e all'analisi dei dati.

Altri laboratori situati presso i Dipartimenti Fisici, dedicati alla didattica ma vicini alle attività di ricerca, trattano esperimenti di ottica, acustica, elettronica, fisica quantistica, fisica nucleare, fisica dei solidi e strumentazione, risonanza magnetica e imaging, tecnologie educative e relative esperienze didattiche.

## **ISTITUTO UNIVERSITARIO DI STUDI SUPERIORI DI PAVIA**

Unica realtà nel suo genere in Lombardia, la Scuola Superiore IUSS si propone di contribuire alla valorizzazione dei giovani di talento, offrendo loro, nella fase degli studi pre e post-laurea, percorsi formativi di alta qualificazione che ne esaltino le capacità, nonché occasioni di arricchimento scientifico e culturale, anche in senso interdisciplinare. Lo IUSS si propone altresì di contribuire al progresso della scienza, curando la formazione dei giovani alla ricerca e sviluppando programmi di ricerca scientifica.

Sito web: <http://www.iusspavia.it/>

## **LABORATORIO ENERGIA NUCLEARE APPLICATA (L.E.N.A.)**

(Centro Servizi Interdipartimentale) Via Aselli, 41- Tel. 0382/987300

Presso il laboratorio è installato e funziona un Reattore Nucleare di ricerca da 250 kW della classe Triga Mark II, un irraggiatore di Cobalto-60 da 1000 Curie, un generatore di neutroni da 14 MeV e un generatore di raggi X da 350 KV. Il Laboratorio di Radiochimica è messo a disposizione dell'Università per le attività di ricerca, per la radiochimica e per l'analisi per attivazione neutronica.

Ulteriori informazioni si possono trovare nel sito web: <http://www.unipv-lena.it/>

## **CENTRO GRANDI STRUMENTI**

Cascina Cravino, via Bassi, 21 – 27100 Pavia - Tel. 038298.7530 – Fax 0382422251 –

Il Centro Grandi Strumenti è un organismo creato allo scopo di acquisire e di gestire apparecchiature di particolare rilievo, di carattere il più possibile multidisciplinare, altrimenti non accessibili alle singole unità di ricerca dell'Ateneo. Il Centro si articola in diversi Laboratori, ciascuno dedicato ad una complessa e sofisticata tecnologia di indagine, di interesse per i ricercatori della nostra Università: 1. Laboratorio di Citometria; 2. Laboratorio di Cristallografia; 3. Laboratorio di Microscopia Elettronica; 4. Laboratorio di Risonanze Magnetiche; 5. Laboratorio di Spettrometria di Massa; 6. Laboratorio di Spettroscopie; 7. Laboratorio per la Struttura primaria delle proteine.

Ulteriori informazioni si possono trovare nel sito web: <http://cgs.unipv.it>.

## **CENTRO LINGUISTICO**

Il Centro Linguistico d'Ateneo (CLA) dell'Università di Pavia offre una serie di servizi connessi all'insegnamento e all'apprendimento delle lingue. Tali servizi sono rivolti agli studenti, al personale docente, al personale tecnico-amministrativo dell'Ateneo pavese e a chiunque voglia apprendere o perfezionare la conoscenza delle lingue straniere.

Attualmente dispone di due sedi:

Centro Linguistico Laboratori, Cortile Sforzesco (Sede Centrale)

Centro Linguistico Uffici, Cortile Teresiano (Sede Centrale)

Al CLA è possibile:

- usufruire del servizio di autoapprendimento delle lingue straniere e di italiano per stranieri;
- reperire informazioni riguardanti l'attività didattica integrativa svolta dai Collaboratori ed Esperti Linguistici di lingua madre (C.E.L.), grazie al supporto che il CLA fornisce agli insegnamenti curricolari di lingua per i vari Corsi di studio dell'Ateneo;
- sostenere gli esami per il conseguimento delle certificazioni, ampiamente accreditate dai Corsi di studio, di lingua inglese dell'Università di Cambridge ESOL (PET, FCE, CAE, CPE), la Certificazione di Italiano come Lingua Straniera dell'Università per Stranieri di Siena (CILS), la certificazione di tedesco come lingua straniera del Test DaF Institut di Bochum (Test DaF);
- frequentare corsi di lingua italiana per studenti stranieri in mobilità e per utenti esterni;
- partecipare alle iniziative scientifiche e didattiche volte alla diffusione delle lingue e delle culture straniere promosse dal CLA;

Il Centro Linguistico è dotato di laboratori linguistici e di aule multimediali. Inoltre dispone di una ricca mediateca contenente circa 1000 corsi con supporti audio, video e cd-rom relativi a 53 lingue diverse ( ) e di una collezione di film in lingua originale che conta più di 650 titoli.

I supporti multimediali presenti nei laboratori possono essere utilizzati in maniera autonoma dagli studenti dell'Ateneo per approfondire gli argomenti affrontati durante le attività didattiche integrative svolte dai C.E.L. e, più in generale, dai vari utenti per apprendere o rafforzare la conoscenza di una lingua straniera o per prepararsi ad un esame di certificazione internazionale.

L'assistenza è garantita dalla presenza costante di tecnici laureati in lingue i quali sono a disposizione per aiutare nella scelta del materiale didattico e del percorso di apprendimento.

Presso il CLA gli utenti possono trovare informazioni e materiali didattici non solo sulle certificazioni di cui lo stesso è sede d'esame, ma anche sulle altre principali certificazioni internazionali di lingua straniera quali TOEFL e IELTS (lingua inglese), DELF/DALF (lingua francese), certificazioni del Goethe Institut (lingua tedesca), D.E.L.E. (lingua spagnola).

Orario di apertura del Centro Linguistico Laboratori, Cortile Sforzesco, Sede Centrale:

lunedì-venerdì 9.00-13.00 e 14.00-16.30

Tel. e fax Laboratori +39-0382-984476

Tel. e fax Uffici +39-0382-984383

Sito web: <http://cla.unipv.it>

( ) Afrikaans, albanese, amarico, arabo, basco, bulgaro, cambogiano, catalano, ceco, cinese cantonese, cinese mandarino, coreano, danese, ebraico moderno, estone, finlandese, francese, gaelico irlandese, gallese, giapponese, greco moderno, gujarati, hindi, indonesiano, inglese, italiano, latino, lettone, lituano, malese, mongolo, nederlandese, norvegese, persiano, polacco, portoghese, panjabi, romeno, russo, serbo-croato, slovacco, sloveno, somalo, spagnolo, svedese, swahili, tedesco, thailandese, turco, ucraino, ungherese, urdu, vietnamita.

## **PROGRAMMA ERASMUS**

Erasmus è il programma comunitario che consente agli studenti universitari di trascorrere un periodo di studio (da 3 a 12 mesi) presso un Istituto di Istruzione Superiore di uno dei paesi partecipanti al programma, offrendo l'opportunità di seguire corsi, di usufruire dei servizi e delle strutture universitarie (senza pagare ulteriori tasse di iscrizione oltre a quelle già pagate in Italia) e di ottenere il riconoscimento degli esami sostenuti. Dal 2007 Erasmus fa parte di LLP (Life Long Programme) il nuovo programma comunitario finalizzato a sviluppare la dimensione europea dell'apprendimento lungo tutto l'arco della vita.

In Università il Programma è gestito da:

Ufficio Mobilità Studentesca - Via S. Agostino 1, 27100 Pavia

E-mail: [erasmus@unipv.it](mailto:erasmus@unipv.it) Tel 0039 0382 984302 Fax 0039 0382 984314

<http://www.unipv.eu/on-line/Home/Internazionalizzazione/Erasmus.html>

## **CENTRO ORIENTAMENTO UNIVERSITARIO (C.O.R.)**

Via S. Agostino 8, Tel 0382/984218-296/210, Fax 0382/984449

sito internet: <http://cor.unipv.it> e-mail: [cor@unipv.it](mailto:cor@unipv.it)

Il COR, Centro Orientamento Universitario, è un Centro di Servizi e ha lo scopo di attuare tutte le



iniziative occorrenti per garantire un processo di orientamento continuativo e dinamico degli studenti che inizi dal penultimo anno di Scuola Secondaria e continui per tutto il periodo di iscrizione ai corsi universitari, con particolare attenzione alle fasi di ingresso nell'Università e di uscita verso il mondo del lavoro.

Il Centro svolge attività di informazione, di formazione e di valutazione, in collegamento con le strutture didattiche e amministrative interessate, mediante la razionalizzazione dei servizi rivolti agli studenti in modo da prevenire o ridurre il fenomeno dei fuori corso e degli abbandoni.

Cura le attività promozionali di relazioni pubbliche e le comunicazioni interne, nell'ambito delle finalità del Centro.

Promuove iniziative di sostegno didattico e tutorato, curando in modo particolare gli studenti nella fase precedente alla scelta, nelle pre-iscrizioni e nel primo anno di corso.

Collabora con l'Istituto per lo Studio Universitario di Pavia ed i Provveditori agli Studi ai fini dell'efficace realizzazione delle attività di orientamento.

L'attività del Centro è articolata in tre settori in relazione alle differenti tipologie di orientamento universitario (Pre, Intra e Post).

### **S.A.I.S.D.**

A partire dall'anno accademico 1999-2000, in attuazione della l. 28 gennaio 1999, n. 17 (di integrazione e modifica della legge-quadro 5 febbraio 1992, n. 104, per l'assistenza, l'integrazione sociale e i diritti delle persone disabili), è stato istituito presso l'Università di Pavia il Servizio di Assistenza e Integrazione Studenti Disabili (S.A.I.S.D.), al fine di offrire agli studenti disabili un servizio integrato di accoglienza, assistenza e integrazione all'interno del mondo universitario.

Ulteriori informazioni si possono trovare nel sito web: <http://saisd.unipv.it>

### **RAPPRESENTANZE STUDENTESCHE**

Con l'intento di offrire una figura di supporto, nella necessità di mediare un qualunque rapporto con la classe docente o semplicemente per raccogliere opinioni, critiche, richieste riguardanti l'organizzazione didattica e strutturale del Corso di Laurea, nasce il ruolo del Rappresentante degli studenti, eletto dagli studenti stessi.

I rappresentanti degli studenti nel Consiglio didattico di Scienze e Tecnologie Fisiche sono:

1	ABED ABUD	ADAM	adam.abedabud01@ateneopv.it aaadam94@gmail.com
2	MOSCOLARI	MASSIMO	massimo.moscolari01@ateneopv.it massimo.moscolari@gmail.com
3	BELTRAMI	CHIARA	chiara.beltrami01@ateneopv.it annadondi@libero.it
4	CIVARDI	ERICA	erica.civardi01@ateneopv.it smciva@yahoo.it
5	FAVRE	GIANLUCA	gianluca.favre01@ateneopv.it favregianluca@gmail.com
6	FACCHINI	MATTEO	matteo.facchini01@ateneopv.it funky-gallo@hotmail.it
7	DELCARRO	FILIPPO	filippo.delcarro01@ateneopv.it brifulfi@libero.it
8	PASSONI	MARCO	marco.passoni01@ateneopv.it mpasson@alice.it
9	TOSCANI	MARTINA	martina.toscani01@ateneopv.it mtoscani94@gmail.com
10	POLITA	GIOVANNI	giovanni.polita01@ateneopv.it polita.giovanni@gmail.com

I rappresentanti degli studenti nel Consiglio di Dipartimento di Fisica sono:

1	FACCHINI	MATTEO	matteo.facchini01@ateneopv.it funky-gallo@hotmail.it
2	FAVRE	GIANLUCA	gianluca.favre01@ateneopv.it favregianluca@gmail.com
3	DELCARRO	FILIPPO	filippo.delcarro01@ateneopv.it brifulfi@libero.it
4	PASSONI	MARCO	marco.passoni01@ateneopv.it mpasson@alice.it
5	POLITA	GIOVANNI	giovanni.polita01@ateneopv.it polita.giovanni@gmail.com
6	CIVARDI	ERICA	erica.civardi01@ateneopv.it smciva@yahoo.it
7	MOSCOLARI	MASSIMO	massimo.moscolari01@ateneopv.it massimo.moscolari@gmail.com

ELENCO DEI DOCENTI

Docente	Dipartimento di afferenza	Indirizzo e-mail	N. tel. 0382...
ALTIERI SAVERIO	Fisica	<a href="mailto:saverio.altieri@pv.infn.it">saverio.altieri@pv.infn.it</a>	987635
ANDREANI LUCIO	Fisica	<a href="mailto:lucio.andreani@unipv.it">lucio.andreani@unipv.it</a>	987491
BACCHETTA ALESSANDRO	Fisica	<a href="mailto:alessandro.bacchetta@unipv.it">alessandro.bacchetta@unipv.it</a>	987449
BALLARINI FRANCESCA	Fisica	<a href="mailto:francesca.ballarini@unipv.it">francesca.ballarini@unipv.it</a>	987949
BELLANI VITTORIO	Fisica	<a href="mailto:vittorio.bellani@unipv.it">vittorio.bellani@unipv.it</a>	987685
BOCA GIANLUIGI	Fisica	<a href="mailto:gianluigi.boca@pv.infn.it">gianluigi.boca@pv.infn.it</a>	987522
BORNATICI MARINO	Fisica	<a href="mailto:marino.bornatici@unipv.it">marino.bornatici@unipv.it</a>	987497
BORTOLUSSI SILVA	Fisica	<a href="mailto:silva.bortolussi@pv.infn.it">silva.bortolussi@pv.infn.it</a>	987635
BRAGHIERI ALESSANDRO	INFN – Sezione di Pavia	<a href="mailto:alessandro.braghieri@pv.infn.it">alessandro.braghieri@pv.infn.it</a>	987628
CAMPAGNOLI GIANCARLO	Fisica	<a href="mailto:giancarlo.campagnoli@unipv.it">giancarlo.campagnoli@unipv.it</a>	987496
CANEVARI ROMANO		<a href="mailto:rc@aaug.net">rc@aaug.net</a>	
CARAVEO PATRIZIA	IASF - Milano	<a href="mailto:pat@iasf-milano.inaf.it">pat@iasf-milano.inaf.it</a>	0223699326
CARFORA MAURO	Fisica	<a href="mailto:mauro.carfora@pv.infn.it">mauro.carfora@pv.infn.it</a>	987443
CARRETTA PIETRO	Fisica	<a href="mailto:pietro.carretta@unipv.it">pietro.carretta@unipv.it</a>	987478
CATTANEO PAOLO WALTER	INFN Sezione di Pavia	<a href="mailto:paolo.cattaneo@pv.infn.it">paolo.cattaneo@pv.infn.it</a>	987578
COLLI PIERLUIGI	Matematica "F. Casorati"	<a href="mailto:pierluigi.colli@unipv.it">pierluigi.colli@unipv.it</a>	985617
CONTA CLAUDIO	Fisica	<a href="mailto:claudio.conta@pv.infn.it">claudio.conta@pv.infn.it</a>	987352
CORNALBA MAURIZIO	Matematica "F. Casorati"	<a href="mailto:maurizio.cornalba@unipv.it">maurizio.cornalba@unipv.it</a>	985644
CORTI MAURIZIO	Fisica	<a href="mailto:maurizio.corti@unipv.it">maurizio.corti@unipv.it</a>	987466
DAPPIAGGI CLAUDIO	Fisica	<a href="mailto:claudio.dappiaggi@pv.infn.it">claudio.dappiaggi@pv.infn.it</a>	987440
D'ARIANO GIACOMO	Fisica	<a href="mailto:giacomo.dariano@unipv.it">giacomo.dariano@unipv.it</a>	987484
DE AMBROSIS ANNA	Fisica	<a href="mailto:anna.deambrosisvigna@unipv.it">anna.deambrosisvigna@unipv.it</a>	987690
DE BARI ANTONIO	Fisica	<a href="mailto:antonio.debari@pv.infn.it">antonio.debari@pv.infn.it</a>	987890
DE LUCA ANDREA	IASF - Milano	<a href="mailto:deluca@lambrate.inaf.it">deluca@lambrate.inaf.it</a>	
FALOMO LIDIA	Fisica	<a href="mailto:lidia.falomobernarduzzi@unipv.it">lidia.falomobernarduzzi@unipv.it</a>	987461
FONTANA ANDREA	INFN – Sezione di Pavia	<a href="mailto:andrea.fontana@pv.infn.it">andrea.fontana@pv.infn.it</a>	987991
FRATERNALI MARCO	Fisica	<a href="mailto:marco.fraternali@pv.infn.it">marco.fraternali@pv.infn.it</a>	987433
FREGONESE LUCIO	Fisica	<a href="mailto:lucio.fregonese@unipv.it">lucio.fregonese@unipv.it</a>	984659
GALINETTO PIETRO	Fisica	<a href="mailto:pietro.galinetto@unipv.it">pietro.galinetto@unipv.it</a>	987499
GALLI MATTEO	Fisica	<a href="mailto:matteo.galli@unipv.it">matteo.galli@unipv.it</a>	987501
GEDDO MARIO	Fisica	<a href="mailto:mario.geddo@unipv.it">mario.geddo@unipv.it</a>	987503
GERACE DARIO	Fisica	<a href="mailto:dario.gerace@unipv.it">dario.gerace@unipv.it</a>	987903
GILARDI GIANNI MARIA	Matematica "F. Casorati"	<a href="mailto:gilardi@dimat.unipv.it">gilardi@dimat.unipv.it</a>	985642
GIROLETTI ELIO	Fisica	<a href="mailto:elio.giroletti@unipv.it">elio.giroletti@unipv.it</a>	987905
GIULOTTO ENRICO	Fisica	<a href="mailto:enricovirgilio.giulotto@unipv.it">enricovirgilio.giulotto@unipv.it</a>	987792
GIUSTI CARLOTTA	Fisica	<a href="mailto:carlotta.giusti@pv.infn.it">carlotta.giusti@pv.infn.it</a>	987454
GUAGNELLI MARCO	INFN – Sezione di Pavia	<a href="mailto:marco.guagnelli@pv.infn.it">marco.guagnelli@pv.infn.it</a>	987449
GUIZZETTI GIORGIO	Fisica	<a href="mailto:giorgio.guizzetti@unipv.it">giorgio.guizzetti@unipv.it</a>	987494
INTROZZI GIANLUCA	Fisica	<a href="mailto:gianluca.introzzi@pv.infn.it">gianluca.introzzi@pv.infn.it</a>	987522
LASCIALFARI ALESSANDRO	Università di Milano	<a href="mailto:alessandro.lascialfari@unipv.it">alessandro.lascialfari@unipv.it</a>	987483
LICCHELLI MAURIZIO	Chimica	<a href="mailto:maurizio.licchelli@unipv.it">maurizio.licchelli@unipv.it</a>	987936
LISCIDINI MARCO	Fisica	<a href="mailto:marco.liscidini@unipv.it">marco.liscidini@unipv.it</a>	987680
LISINI STEFANO	Matematica "F. Casorati"	<a href="mailto:stefano.lisini@unipv.it">stefano.lisini@unipv.it</a>	985632
LIVAN MICHELE	Fisica	<a href="mailto:michele.livan@pv.infn.it">michele.livan@pv.infn.it</a>	987688
MACCHIAVELLO CHIARA	Fisica	<a href="mailto:chiara.macchiavello@unipv.it">chiara.macchiavello@unipv.it</a>	987674
MACCONE LORENZO	Fisica	<a href="mailto:lorenzo.maccone@unipv.it">lorenzo.maccone@unipv.it</a>	987482
MARABELLI FRANCO	Fisica	<a href="mailto:franco.marabelli@unipv.it">franco.marabelli@unipv.it</a>	987709
MARZUOLI ANNALISA	Matematica "F. Casorati"	<a href="mailto:annalisa.marzuoli@pv.infn.it">annalisa.marzuoli@pv.infn.it</a>	987442
MIGLIETTA FRANCESCO	Fisica	<a href="mailto:francesco.miglietta@pv.infn.it">francesco.miglietta@pv.infn.it</a>	987441
MIHICH LUIGI	Fisica	<a href="mailto:luigi.mihich@unipv.it">luigi.mihich@unipv.it</a>	987485
MONTAGNA GUIDO	Fisica	<a href="mailto:guido.montagna@pv.infn.it">guido.montagna@pv.infn.it</a>	987742
MONTAGNA PAOLO	Fisica	<a href="mailto:paolo.montagna@pv.infn.it">paolo.montagna@pv.infn.it</a>	987636
MOZZATI MARIA CRISTINA	Fisica	<a href="mailto:mariacristina.mozzati@unipv.it">mariacristina.mozzati@unipv.it</a>	987682
NANO ROSANNA	Biologia animale	<a href="mailto:rosanna.nano@unipv.it">rosanna.nano@unipv.it</a>	986405
NEGRI ANDREA	Fisica	<a href="mailto:andrea.negri@pv.infn.it">andrea.negri@pv.infn.it</a>	987234
NICROSINI ORESTE	INFN Sezione di Pavia	<a href="mailto:oreste.nicrosini@pv.infn.it">oreste.nicrosini@pv.infn.it</a>	987681
OTTOLENGHI ANDREA	Fisica	<a href="mailto:andrea.ottolenghi@mi.infn.it">andrea.ottolenghi@mi.infn.it</a>	987892
PASQUINI BARBARA	Fisica	<a href="mailto:barbara.pasquini@pv.infn.it">barbara.pasquini@pv.infn.it</a>	987450
PATRINI MADDALENA	Fisica	<a href="mailto:maddalena.patrin@unipv.it">maddalena.patrin@unipv.it</a>	987498

PEDRONI PAOLO	INFN Sezione di Pavia	<a href="mailto:paolo.pedroni@pv.infn.it">paolo.pedroni@pv.infn.it</a>	987428
PERNAZZA LUDOVICO	Matematica "F. Casorati"	<a href="mailto:ludovico.pernazza@unipv.it">ludovico.pernazza@unipv.it</a>	985657
PERINOTTI PAOLO	Fisica	<a href="mailto:paolo.perinotti@unipv.it">paolo.perinotti@unipv.it</a>	987675
PICCININI FULVIO	INFN Sezione di Pavia	<a href="mailto:fulvio.piccinini@pv.infn.it">fulvio.piccinini@pv.infn.it</a>	987740
PIROLA GIAN PIETRO	Matematica "F. Casorati"	<a href="mailto:gianpietro.pirola@unipv.it">gianpietro.pirola@unipv.it</a>	985619
RADICI MARCO	INFN Sezione di Pavia	<a href="mailto:marco.radici@pv.infn.it">marco.radici@pv.infn.it</a>	987451
REBUZZI DANIELA	Fisica	<a href="mailto:daniela.rebuzzi@pv.infn.it">daniela.rebuzzi@pv.infn.it</a>	987492
RICCARDI CRISTINA	Fisica	<a href="mailto:cristina.riccardi@pv.infn.it">cristina.riccardi@pv.infn.it</a>	987633
RIMOLDI ADELE	Fisica	<a href="mailto:adele.rimoldi@pv.infn.it">adele.rimoldi@pv.infn.it</a>	987427
ROMANO SILVANO	Fisica	<a href="mailto:silvano.romano@unipv.it">silvano.romano@unipv.it</a>	987487
ROTONDI ALBERTO	Fisica	<a href="mailto:alberto.rotondi@pv.infn.it">alberto.rotondi@pv.infn.it</a>	987423
SACCHI MASSIMILIANO	Fisica	<a href="mailto:msacchi@unipv.it">msacchi@unipv.it</a>	987692
SALMISTRARO FRANCO	Fisica	<a href="mailto:franco.salmistraro@pv.infn.it">franco.salmistraro@pv.infn.it</a>	987446
SALVINI PAOLA	INFN Sezione di Pavia	<a href="mailto:paola.salvini@pv.infn.it">paola.salvini@pv.infn.it</a>	987630
SANNA SAMUELE	Fisica	<a href="mailto:samuele.sanna@unipv.it">samuele.sanna@unipv.it</a>	987903
SCANNICCHIO DOMENICO	Fisica	<a href="mailto:domenico.scannicchio@pv.infn.it">domenico.scannicchio@pv.infn.it</a>	987524
SCHIMPERNA GIULIO F.	Matematica "F. Casorati"	<a href="mailto:giuliofernando.schimperna@unipv.it">giuliofernando.schimperna@unipv.it</a>	985654
TIENGO ANDREA	IUSS	<a href="mailto:andrea.tiengo@iusspavia.it">andrea.tiengo@iusspavia.it</a>	375865
VITALI ENRICO	Matematica "F. Casorati"	<a href="mailto:enrico.vitali@unipv.it">enrico.vitali@unipv.it</a>	985653
VITULO PAOLO	Fisica	<a href="mailto:paolo.vitulo@pv.infn.it">paolo.vitulo@pv.infn.it</a>	987633