

**Università degli Studi di Firenze**  
**Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali**

**Manifesto degli Studi del**  
**Corso di Laurea Magistrale in Scienze Fisiche e Astrofisiche**  
**Anno accademico 2011-2012**

**1. Denominazione, classe di appartenenza, curricula e strutture didattiche**

È istituito presso l'Università degli Studi di Firenze il Corso di Laurea Magistrale in Scienze Fisiche e Astrofisiche. Il Corso è organizzato dalla Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali ed è strutturato in curricula.

Il Corso di Laurea Magistrale appartiene alla classe delle Lauree Magistrali in Fisica (classe LM-17).

Il Corso ha la durata normale di 2 anni. Di norma l'attività dello studente corrisponde al conseguimento di 60 crediti all'anno. Lo studente che abbia comunque ottenuto 120 crediti adempiendo a tutto quanto previsto dall'Ordinamento, può conseguire il titolo anche prima della scadenza biennale.

Sono organi del Corso di Laurea Magistrale il Presidente, il Consiglio di Corso di Laurea Magistrale e il Comitato per la didattica del Corso di Laurea Magistrale. Per la composizione del Consiglio di Corso di Laurea Magistrale e le sue competenze si rimanda al Regolamento Didattico dell'Ateneo.

Composizione e competenze del Comitato per la didattica sono definite e deliberate dal Consiglio di Corso di Laurea Magistrale.

È costituita inoltre una Commissione Didattica paritetica. Per la composizione e le competenze si rimanda al Regolamento Didattico di Ateneo.

**2. Obiettivi formativi, profilo culturale e professionale, sbocchi professionali**

Gli obiettivi formativi del Corso di Laurea Magistrale, il profilo culturale e professionale, gli sbocchi professionali, il quadro generale delle attività formative, la ripartizione delle attività formative in varie tipologie e i crediti assegnati a ciascuna tipologia e ai settori scientifico disciplinari sono riportati nell'Ordinamento Didattico allegato al Regolamento Didattico di Ateneo.

**3. Requisiti d'ammissione e verifica della adeguatezza della preparazione**

Le modalità di accesso alla Laurea Magistrale sono quelle stabilite dal Regolamento didattico riportate di seguito:

a. Titolo di studio

L'accesso alla Laurea Magistrale in Scienze Fisiche e Astrofisiche, classe LM-17 delle Lauree Magistrali, è consentito a coloro che sono in possesso di una laurea della classe L-30 (Scienze e tecnologie fisiche), ex-DM 270/04, oppure di una laurea della classe 20 (Scienze e tecnologie fisiche), ex-DM 509/99, che soddisfino i requisiti curriculari minimi di accesso. Tali requisiti sono rispettati dalla Laurea in Fisica e Astrofisica classe L-30 ex-DM 270/04 dell'Ateneo di Firenze.

L'accesso alla Laurea Magistrale in Scienze Fisiche e Astrofisiche, classe LM-17 delle Lauree Magistrali, è altresì consentito a coloro che abbiano acquisito una buona conoscenza scientifica di base nelle discipline matematiche e chimiche e un'adeguata preparazione nelle diverse discipline fisiche e che siano in possesso di altra laurea o diploma universitario di durata triennale o di altro titolo conseguito all'estero e riconosciuto idoneo dalla struttura didattica ai fini dell'ammissione alla Laurea Magistrale.

b. Requisiti curriculari

Per accedere alla Laurea Magistrale in Scienze Fisiche e Astrofisiche, classe LM-17 delle Lauree Magistrali, è necessario possedere i seguenti requisiti curriculari:

- almeno 30 CFU nelle discipline matematiche e informatiche (SSD MAT/XX e INF/XX);

- almeno 5 CFU nelle discipline chimiche (SSD CHIM/XX);
- almeno 48 CFU nelle discipline fisiche dell'ambito sperimentale e applicativo (SSD FIS/01, FIS/07);
- almeno 36 CFU nelle discipline fisiche degli altri ambiti (SSD FIS/02, FIS/03, FIS/04, FIS/05, FIS/06, FIS/08).

c. Adeguata preparazione individuale

L'adeguata preparazione dei laureati in possesso dei requisiti di titolo di accesso e curriculari di cui sopra, viene verificata dall'apposita Commissione didattica del Corso di Laurea primariamente sulla base del curriculum di studi presentato con la domanda di valutazione. Costituiscono elementi di valutazione, in particolare:

- la tipologia degli esami sostenuti, sia di quelli compresi nei settori scientifico disciplinari dei requisiti curriculari che degli altri presenti nel piano del corso di studi che costituisce titolo utile per l'accesso alla Laurea Magistrale;
- il profitto conseguito negli esami sostenuti, con particolare riguardo a quelli compresi nei settori scientifico disciplinari dei requisiti curriculari;
- la tipologia della prova finale.

Qualora tale verifica venga giudicata soddisfacente, la Commissione didattica delibera l'ammissibilità al Corso di Laurea Magistrale in Scienze Fisiche e Astrofisiche della classe LM-17 delle Lauree magistrali, rilasciando il previsto nulla osta. In caso contrario l'accertamento della preparazione dello studente avviene tramite colloquio che può portare al rilascio del nulla osta per l'ammissione o all'individuazione di obblighi didattici, che lo studente deve assolvere prima dell'iscrizione, per il completamento dell'adeguatezza delle proprie conoscenze e competenze.

Il Manifesto degli studi dell'Università di Firenze può prevedere particolari deroghe ai requisiti di accesso sopra riportati.

#### **4. Insegnamenti, altre attività formative e crediti ad essi attribuiti**

Il quadro generale delle attività formative è riportato nell'Ordinamento Didattico allegato al Regolamento Didattico di Ateneo.

La tabella dei corsi di tutti e due gli anni, comprensiva delle informazioni riguardo ai crediti associati ad ogni corso e del settore disciplinare è riportata nel Regolamento Didattico del Corso di Laurea Magistrale in Scienze Fisiche e Astrofisiche. Tale Regolamento riporta inoltre le norme generali riguardo alla prova finale, al conseguimento del titolo, ai piani di studi individuali, alle unità didattiche, alle propedeuticità, al riconoscimento dei crediti, agli obblighi di frequenza, alle modalità della didattica e della valutazione e alla verifica della efficacia didattica. Il Regolamento rimanda a questo Manifesto per l'attuazione particolareggiata dell'organizzazione didattica, in accordo ai principi generali definiti.

In questo paragrafo vengono riportate sinteticamente solo le informazioni essenziali sull'organizzazione didattica: il Corso di Laurea Magistrale prevede un percorso formativo differenziato in vari curricula e è basato su attività formative relative a cinque tipologie: a) caratterizzanti, b) affini o integrative, c) autonome, d) per la prova finale e la conoscenza della lingua straniera e e) per ulteriori conoscenze linguistiche, informatiche, relazionali ed utili all'inserimento nel mondo del lavoro. Per garantire, nel piano di studi dei laureati magistrali, un'adeguata flessibilità di scelte tra specializzazione nelle discipline fisiche e interdisciplinarietà, differenziata tra i vari curricula, risulta necessario includere i settori da FIS/01 a FIS/08, già presenti tra le attività caratterizzanti, anche fra quelli di tipologia b) affini e integrativi del Corso di Laurea Magistrale.

Le attività autonomamente scelte (tipologia c) corrispondono, di norma, a corsi universitari previsti dall'Università di Firenze.

Ad ogni tipologia sono assegnati un numero di crediti formativi universitari (CFU), per un totale complessivo di 120 crediti che si assume vengano acquisiti dallo studente a tempo pieno nel corso

della durata normale del Corso di Laurea Magistrale, ovvero in due anni.

Per quanto riguarda gli insegnamenti specifici del biennio della Laurea Magistrale, si riporta nella tabella seguente il quadro sintetico delle attività comuni dei vari curricula, rimandando all'Allegato A per il dettaglio della loro articolazione e per l'elenco completo degli insegnamenti di tipologia b) attivati nella Laurea Magistrale.

<i>Tip.</i>	<i>Titolo Insegnamento</i>	<i>CFU</i>	<i>Settore</i>	<i>Semestre</i>
<b>Completamento cultura fisica di base</b>				
a	<b>Fisica teorica-Complementi</b>	9	FIS/02	I
a	<b>Fisica della materia</b>	12	FIS/03	I/II
a	<b>Fisica nucleare e subnucleare</b>	12	FIS/04	I
a	<b>Astrofisica</b>	9	FIS/05	I
<b>Totale cultura fisica di base</b>		<b>42</b>		
<b>Corsi curriculari</b>				
a	<i>Corsi con o senza laboratorio fra quelli di tipologia a) riportati nell'Allegato A</i>	<b>6</b>	FIS/01÷08	Vedi Allegato A
<b>Corsi affini e integrativi</b>				
b	<i>Corsi con o senza laboratorio fra quelli di tipologia b) riportati nell'Allegato A</i>	<b>12</b>	tutti i SSD indicati come "Interdisciplinarietà e Applicazioni" nell'Ordinamento	Vedi Allegato A
c	<b>A scelta dello studente</b>	<b>18</b>		
d	<b>Prova finale</b>	<b>36</b>		
e	<b>Stage e tirocinii</b>	<b>6</b>		

Crediti acquisiti da studenti presso altre istituzioni universitarie italiane, dell'Unione Europea o di altri paesi, potranno essere riconosciuti dal Corso di Laurea in base alla documentazione prodotta dallo studente ovvero in base ad accordi bilaterali preventivamente stipulati o a sistemi di trasferimento di crediti riconosciuti dall'Università di Firenze.

### **5. Tipologia delle forme didattiche, degli esami e delle altre verifiche di profitto**

Le attività formative svolte nel biennio della Laurea Magistrale sono esplesate sotto forma di corsi cattedratici, corsi di laboratorio e tirocinii.

Le forme didattiche previste sono le seguenti: a) lezioni in aula; b) esercitazioni in aula o in aula informatica; c) sperimentazioni individuali o di gruppo in laboratorio; d) tirocinii presso Dipartimenti dell'Università di Firenze o Enti di ricerca pubblici o privati; e) corsi e/o sperimentazioni presso strutture esterne all'Università o soggiorni presso altre Università, Enti di Ricerca italiani o stranieri nel quadro di accordi internazionali.

Per l'anno accademico 2011-2012 gli insegnamenti sono organizzati in unità didattiche "semestrali". Tutte le attività che consentono l'acquisizione di crediti devono essere valutate. La valutazione è espressa da apposite commissioni, costituite secondo le norme contenute nel Regolamento Didattico di Ateneo, che comprendono il responsabile dell'attività formativa. Le procedure di valutazione sono costituite, a seconda dei casi, da prove scritte, orali, scritte e orali o da altri procedimenti adatti a particolari tipi di attività. Le attività di tipo a), b), c) e d) sono di norma valutate con un voto espresso in trentesimi con eventuale lode.

Per le attività didattiche che prevedono esercitazioni in laboratorio, l'accREDITAMENTO può avvenire

mediante valutazione di un lavoro individuale aggiuntivo in laboratorio su aspetti inerenti al corso. L'assegnazione dei crediti di tipologia e), riguardante stage o tirocini presso Enti di ricerca o Università, Aziende pubbliche o private può avvenire sulla base di una relazione dell'attività svolta e non prevede una votazione associata, ma solo un giudizio di congruità espresso dal Consiglio di Corso di Laurea Magistrale.

I dettagli delle modalità di esame per i vari corsi di insegnamento sono illustrati dal docente all'inizio del corso.

Il numero massimo di esami previsto è 7 più gli esami a libera scelta dello studente (tipologia c) che, ai sensi del DM 26 luglio 2007, Art. 4, comma 2, e delle relative linee guida, vengono contati come un unico esame. Al termine del I e del II semestre sono predisposti due appelli, distanziati di almeno quattordici giorni, per tutti gli esami del Corso di Laurea. Nel mese di settembre è prevista una ulteriore sessione con due appelli.

## **6. Obblighi di frequenza e propedeuticità degli esami**

La frequenza ai corsi è una condizione essenziale per un proficuo inserimento dello studente nell'organizzazione didattica del Corso di Laurea Magistrale. Per i corsi con esercitazioni di laboratorio (indicati con "lab" nelle tabelle dei curricula) la frequenza è obbligatoria.

La successione temporale dei corsi d'insegnamento riportata nell'allegato A è quella suggerita allo studente anche per i relativi esami.

## **7. Piani di studio individuali**

Lo studente iscritto al I anno di corso deve presentare, nel periodo 1 - 30 novembre, un Piano di Studi individuale, nel quale sia definita la scelta del curriculum, che deve comunque soddisfare i requisiti previsti dalla Classe LM-17 Scienze Fisiche e Astrofisiche. Tale Piano di Studi è soggetto ad approvazione da parte del Consiglio di Corso di Laurea Magistrale e deve essere stilato coerentemente alle tabelle dei curricula riportate nell'Allegato A di questo Manifesto. Lo studente può successivamente richiedere, all'atto dell'iscrizione al II anno o con le modalità previste dal Regolamento didattico di Ateneo, la modifica del Piano di Studi presentato.

Il Piano di Studi deve essere necessariamente coerente con l'Ordinamento Didattico per i 120 CFU complessivi. Per tutti i curricula si raccomanda l'inserimento di almeno 6 CFU di un corso fenomenologico o di laboratorio. Si ricorda che il Piano di Studi può ricorrere anche ai crediti di tipologia c) (a scelta dello studente) per soddisfare agli obblighi e alle raccomandazioni di questo Manifesto.

Gli studenti che provengono dal Corso di Laurea in Fisica e Astrofisica di I livello dell'Università di Firenze e che scelgono il percorso consigliato da questo Manifesto per il curriculum prescelto, avranno il Piano di Studi approvato automaticamente. Il Consiglio di Corso di Laurea può approvare qualsiasi piano di studio conforme con l'Ordinamento del Corso di Laurea.

## **8. Prova finale e conseguimento del titolo**

Per quanto riguarda le attività di tipo d), sono previsti 36 CFU per la prova finale. Per accedere alla prova finale lo studente deve avere acquisito in totale 84 CFU di insegnamenti e tirocini propri della Laurea Magistrale.

Alla preparazione del lavoro di tesi può essere connesso lo svolgimento della attività di tirocinio (6 CFU).

La prova finale per il conseguimento della Laurea Magistrale in Scienze Fisiche e Astrofisiche consiste nella redazione di un elaborato scritto/grafico/scritto-grafico e nella sua discussione davanti ad una commissione di laurea appositamente nominata; l'argomento del lavoro di tesi, di carattere sperimentale o teorico, deve riguardare argomenti di fisica moderna e deve essere svolto sotto la guida di un relatore. La discussione deve anche determinare e valutare il contributo originale del candidato.

Il lavoro di tesi può essere svolto sia presso strutture e laboratori universitari, sia presso enti di ricerca pubblici o privati, in Italia o all'estero; ove si renda necessario, la tesi si può anche svolgere presso

aziende pubbliche e private.

La valutazione deve considerare sia il curriculum degli studi del candidato che la maturità scientifica da esso raggiunta. Il voto finale è espresso in centodecimi, più eventuale lode all'unanimità dei commissari.

Nella commissione di laurea i docenti di insegnamenti afferenti al curriculum scelto dal candidato devono essere adeguatamente rappresentati.

### **9. Calendario dei semestri, delle sessioni di laurea e vacanze ufficiali**

Per l'anno accademico 2011-2012 il calendario dei semestri è il seguente:

- I Semestre: 3 Ottobre 2011 - 20 Gennaio 2012
- II Semestre: 5 Marzo 2012 - 13 Giugno 2012

Per l'anno accademico 2010-2011 il calendario delle sessioni di laurea è il seguente:

28 Giugno 2011  
26 Luglio 2011  
11 Ottobre 2011  
13 Dicembre 2011  
5 Marzo 2012  
26 Aprile 2012

Per l'anno accademico 2011-2012 gli appelli di laurea verranno stabiliti e comunicati successivamente.

Vacanze ufficiali durante i periodi di lezione:

- I Semestre: 1 Novembre 2011, 8 Dicembre 2011, dal 23 Dicembre 2011 al 9 Gennaio 2012
- II Semestre: dal 5 al 11 Aprile 2012, 1 Maggio 2012, 2 Giugno 2012

### **10. Insegnamenti**

Gli insegnamenti, le altre attività formative previste e i loro programmi sintetici sono riportati in Appendice. Nell'Allegato A si riporta il dettaglio delle attività didattiche all'interno dei vari curricula e l'assegnazione dei 120 CFU fra gli insegnamenti del II livello.

### **11. Verifica dell'efficacia didattica**

Per tutti gli insegnamenti del Corso di Laurea è prevista la rilevazione dell'opinione degli studenti frequentanti. Inoltre ogni titolare di insegnamento è invitato a sorvegliare l'efficacia didattica del proprio corso, in particolare:

-valutando, durante le lezioni e le esercitazioni del corso, il livello di rispondenza degli studenti e la loro preparazione iniziale;

-registrando il numero degli studenti che entro un anno solare dalla data di fine corso hanno superato l'esame e confrontando tale numero con quello di coloro che hanno frequentato le lezioni del corso. Se il docente rileva problemi riguardo a questi o ad altri aspetti comunque attinenti al proprio corso, sarà sua cura segnalarli al Corso di Laurea Magistrale e alla Commissione Didattica paritetica, fornendo una relazione mirata a individuare le possibili cause del problema, nonché a suggerire possibili interventi.

Dopo l'ultimo appello di settembre di ogni anno accademico, la Commissione Didattica paritetica, in collaborazione con i docenti dei corsi, presenta una valutazione sulla efficacia della didattica predisposta nell'anno accademico precedente e la illustra al primo Consiglio di Corso di Laurea Magistrale successivo. Anche sulla base di questa relazione, il Consiglio di Corso di Laurea Magistrale introduce nel successivo Manifesto del Corso di Laurea Magistrale le modifiche ritenute più adatte a migliorare la qualità dell'offerta didattica.

## ALLEGATO A

### Curriculum "Astrofisica":

Il curriculum di Astrofisica, è strutturato con il principale obiettivo di assicurare allo studente una elevata padronanza sia di metodi e contenuti scientifici avanzati che di adeguate conoscenze professionali e la capacità di svolgere ruoli di responsabilità nella ricerca. Lo studente dovrà acquisire conoscenze di base sull'astronomia classica e moderna, sulla fisica solare e stellare, sulla astrofisica galattica ed extragalattica, sulla cosmologia. Inoltre dovrà familiarizzarsi con le tecniche relative all'uso di strumenti per lo studio degli oggetti celesti nelle diverse regioni spettrali, nonché con le tecniche per l'analisi delle immagini e il trattamento statistico dei dati. Potrà svolgere periodi di stage presso gli Osservatori e Enti di ricerca Italiani e stranieri. Le conoscenze acquisite potranno servire sia per l'accesso al Dottorato di Ricerca in Astronomia che per l'inserimento in enti di ricerca a carattere astronomico e spaziale (Osservatori, Istituti CNR, Agenzie Spaziali), nonché nelle industrie del settore o attive nel campo dell'informatica, del software, dei metodi numerici avanzati.

Lo studente di questo curriculum presenta un Piano di Studi che per i crediti di tipo a) e b) sia organizzato secondo la tabella di seguito riportata:

Tipologia	Insegnamento	CFU		SSD	Semestre
Caratterizzanti	Fisica teorica	9	42	FIS/02	I
	Fisica della materia	12		FIS/03	I/II
	Fisica nucleare e subnucleare	12		FIS/04	I
	Astrofisica	9		FIS/05	I
Curriculari caratterizzanti	Cosmologia	6	6	FIS/05	II
Affini e integrative	Laboratorio di astrofisica	6	12	FIS/05	II
	Plasmi astrofisici	6		FIS/05	II
	<i>oppure 2 insegnamenti a scelta tra quelli riportati nella successiva tabella</i>				
A scelta studente	<i>Corsi a scelta tra quelli riportati nella successiva tabella o attivati dall'Università di Firenze</i>	18			
Stage e tirocinii		6			
Prova finale		36			
<b>TOTALE</b>		<b>120</b>			

Insegnamento	CFU	SSD	Semestre
Astrofisica computazionale	6	FIS/05	II
Astrofisica delle alte energie	6	FIS/05	I
Complementi di astronomia	6	FIS/05	I
Fisica delle galassie	6	FIS/05	I
Fisica solare	6	FIS/05	I
Tecnologie spaziali	6	FIS/05	II

**Curriculum "Fisica Teorica":**

Il curriculum di "Fisica Teorica" presenta un percorso formativo mirato a una preparazione nel campo della fisica teorica delle particelle elementari, della fisica teorica nucleare e della fisica dei sistemi complessi. L'attività di ricerca verso la quale lo studente è indirizzato si svolge presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze, la Sezione di Firenze dell'INFN e in centri di ricerca nazionale e esteri. Allo studente sarà chiesto di approfondire la preparazione degli strumenti matematici e fisici necessari alla formalizzazione delle teorie fisiche nonché quella degli aspetti fenomenologici sui quali tali teorie sono basate. La formazione così conseguita può servire per il completamento formativo nell'ambito del dottorato di ricerca in Fisica in Italia o all'estero o per trovare una collocazione professionale nell'ambito degli enti di ricerca sia pubblici che privati. Lo studente di questo curriculum presenta un Piano di Studi che per i crediti di tipo a) e b) sia organizzato secondo la tabella di seguito riportata:

Tipologia	Insegnamento	CFU		SSD	Semestre
Caratterizzanti	Fisica teorica	9	42	FIS/02	I
	Fisica della materia	12		FIS/03	I/II
	Fisica nucleare e subnucleare	12		FIS/04	I
	Astrofisica	9		FIS/05	I
Curricolari caratterizzanti	Metodi matematici per la fisica teorica	6	6	FIS/02	II
Affini e integrative	Elettrodinamica quantistica	6	12	FIS/02	II
	Meccanica statistica I	6		FIS/02	II
	<i>oppure 2 insegnamenti a scelta tra quelli riportati nella successiva tabella</i>				
A scelta studente	<i>Corsi a scelta tra quelli riportati nella successiva tabella o attivati dall'Università di Firenze</i>	18			
Stage e tirocinii		6			
Prova finale		36			
<b>TOTALE</b>		<b>120</b>			

Insegnamento	CFU	SSD	Semestre
Meccanica statistica II	6	FIS/02	I e II
Relatività	6	FIS/02	II
Teoria dei campi	6	FIS/02	II
Teoria dei sistemi a molti corpi	6	FIS/02	II
Teoria dei sistemi dinamici	6	FIS/02	I
Teoria delle particelle elementari	6	FIS/02	II

**Curriculum "Fisica Nucleare e Subnucleare":**

Il curriculum "Fisica Nucleare e Subnucleare" presenta un percorso formativo mirato a una preparazione nel campo della fisica sperimentale nucleare, subnucleare e, in generale, delle interazioni fondamentali. L'attività di ricerca alla quale lo studente viene indirizzato è di norma quella che si svolge in questi campi presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze e nelle Sezioni e Laboratori dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e i centri di ricerca nazionali ed esteri. È richiesto allo studente di approfondire la conoscenza dei metodi sperimentali utilizzati nel campo della Fisica nucleare e subnucleare, nonché di acquisire solide conoscenze fenomenologiche e basi teoriche nel campo. Le conoscenze acquisite servono per il completamento formativo nell'ambito del Dottorato di ricerca in Fisica; inoltre le competenze nel campo dei dispositivi di rivelazione delle radiazioni ionizzanti e delle particelle, dei sistemi elettronici ed informatici sono utili per un inserimento nelle attività industriali, negli enti pubblici preposti ai rilievi ambientali e negli enti di ricerca. Lo studente di questo curriculum presenta un Piano di Studi che per i crediti di tipo a) e b) sia organizzato secondo la tabella di seguito riportata:

Tipologia	Insegnamento	CFU		SSD	Semestre
Caratterizzanti	Fisica teorica	9	42	FIS/02	I
	Fisica della materia	12		FIS/03	I/II
	Fisica nucleare e subnucleare	12		FIS/04	I
	Astrofisica	9		FIS/05	I
Curricolari caratterizzanti	Laboratorio nucleare-subnucleare	6	6	FIS/01	II
Affini e integrative	<i>Un insegnamento a scelta tra quelli del settore FIS/04 riportati nella successiva tabella</i>	6	12	FIS/04	
	<i>Un insegnamento a scelta tra quelli del settore FIS/01 riportati nella successiva tabella</i>	6		FIS/01	
A scelta studente	<i>Corsi a scelta tra quelli riportati nella successiva tabella o attivati dall'Università di Firenze</i>	18			
Stage e tirocinii		6			
Prova finale		36			
<b>TOTALE</b>		<b>120</b>			

Insegnamento	CFU	SSD	Semestre
Analisi dati in fisica subnucleare	6	FIS/04	II
Collisioni e decadimenti nucleari	6	FIS/04	II
Fisica degli acceleratori	6	FIS/04	I
Fisica delle particelle elementari	6	FIS/04	II
Fisica nucleare ( <b>RACCOMANDATO</b> )	6	FIS/04	II
Fisica subnucleare ( <b>RACCOMANDATO</b> )	6	FIS/04	II
Metodi sperimentali di fisica nucleare	6	FIS/04	II
Metodi sperimentali di fisica subnucleare	6	FIS/04	I
Raggi cosmici	6	FIS/04	I
Tecniche di rivelatori per radiazioni ionizzanti	6	FIS/04	I
Elettronica generale I	6	FIS/01	I

Elettronica generale II	6	FIS/01	II
Laboratorio di elettronica	6	FIS/01	I
Laboratorio nucleare ( <b>RACCOMANDATO</b> )	6	FIS/01	I
Laboratorio subnucleare ( <b>RACCOMANDATO</b> )	6	FIS/01	I
Sistemi di acquisizione dati	6	FIS/01	II

Il curriculum suggerisce che l'assegnazione dei 6 CFU di tipologia f) avvenga tramite stage presso le strutture (Sezioni o Laboratori Nazionali) dell'INFN o presso laboratori di ricerca nazionali o esteri che operano nel campo della ricerca nucleare o subnucleare.

**Curriculum "Fisica della Materia":**

Il curriculum di Fisica della Materia presenta un percorso formativo mirato a una preparazione nei campi della fisica atomica e molecolare, della fisica dei laser, dell'ottica classica e quantistica, della fisica dei sistemi disordinati e della fisica dello stato solido, sia dal punto di vista sperimentale che dal punto di vista teorico. L'attività di ricerca relativa a questi campi della fisica, ai quali lo studente viene indirizzato, si svolge nell'ambito fiorentino presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia, la sezione ed i laboratori dell'Istituto Nazionale di Fisica della Materia ed in centri di ricerca nazionali ed internazionali quali il LENS, l'INO e gli istituti del CNR. In questi ambienti di ricerca allo studente viene richiesto di approfondire sia le conoscenze tecniche e sperimentali che quelle teoriche, partecipando, particolarmente nell'ambito dello svolgimento delle tesi di laurea, a ricerche in corso. I corsi relativi alla fisica della materia provvedono a dare una solida preparazione nei settori di interesse che rappresenta una fondamentale premessa per l'eventuale proseguimento degli studi nei corsi di dottorato o per l'inserimento nelle attività produttive industriali ad alto contenuto tecnologico o nelle attività di ricerca negli enti pubblici e privati. Possibili sbocchi professionali possono essere individuati anche in strutture dedicate allo studio e alla conservazione dei beni culturali o ambientali, strutture sanitarie o nel campo dell'informatica e delle sue numerose applicazioni. Lo studente di questo curriculum presenta un Piano di Studi che per i crediti di tipo a) e b) sia organizzato secondo la tabella di seguito riportata:

Tipologia	Insegnamento	CFU		SSD	Semestre
Caratterizzanti	Fisica teorica	9	42	FIS/02	I
	Fisica della materia	12		FIS/03	I/II
	Fisica nucleare e subnucleare	12		FIS/04	I
	Astrofisica	9		FIS/05	I
Curricolari caratterizzanti	<i>Un corso a scelta tra</i>		6		
	Fisica atomica	6		FIS/03	II
	Fisica degli stati condensati	6		FIS/03	I
	Fotonica	6	FIS/03	I	
Affini e integrative	Laboratorio di fisica della materia	12	12	FIS/03	II
	<i>oppure 2 insegnamenti a scelta tra quelli riportati nella successiva tabella</i>				
A scelta studente	<i>Corsi a scelta tra quelli riportati nella successiva tabella o attivati dall'Università di Firenze</i>	18			
Stage e tirocinii		6			
Prova finale		36			
<b>TOTALE</b>		<b>120</b>			

Insegnamento	CFU	SSD	Semestre
Dispositivi e nanostrutture a semiconduttore	6	FIS/03	I
Elettronica quantistica	6	FIS/03	I
Fenomeni quantistici macroscopici	6	FIS/03	II
Fisica atomica *	6	FIS/03	II
Fisica criogenica	6	FIS/03	II
Fisica degli atomi ultrafreddi	6	FIS/03	II
Fisica degli stati condensati *	6	FIS/03	I

Fisica dei liquidi	6	FIS/03	II
Fisica dello stato solido	6	FIS/03	II
Fotonica *	6	FIS/03	I
Laser e applicazioni	6	FIS/03	II
Ottica	6	FIS/03	II
Ottica biomedica	6	FIS/03	I
Ottica quantistica	6	FIS/03	II

\* Selezionabile solo se non già scelto tra quelli caratterizzanti

## APPENDICE

### **Analisi dati in fisica subnucleare (Prof. G. Parrini)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** – Concetti generali di statistica. Algoritmi e simulazioni Monte Carlo. Tests statistici e tecniche di fit. Deconvoluzione delle distribuzioni. Intervalli di confidenza e limiti. Ricostruzione di eventi in collisioni di particelle di alta energia. Programmi per l'analisi dati in fisica delle particelle elementari con applicazioni pratiche.

### **Astrofisica (Prof. E. Landi degl'Innocenti)**

#### **I semestre, 9 CFU**

**Programma** - Struttura stellare (stelle non degeneri): equazioni dell'equilibrio idrostatico, modelli di stelle politropiche, equazione di Lane-Emden, equazione di stato, pressione di radiazione, correzioni dovute alla ionizzazione e alla degenerazione, equazione dell'equilibrio energetico, produzione di energia per reazioni di fusione nucleare, ciclo pp e ciclo CNO, modello di Gamow per le rates nucleari, flusso radiativo, opacità e media di Rosseland, flusso convettivo, criterio di Schwarzschild, termodinamica del gas ionizzato, teoria della mixing length, evoluzione chimica, modelli standard, relazione massa-luminosità, valori minimo e massimo delle masse stellari, cenni alla formazione stellare e all'evoluzione stellare. Atmosfere stellari: descrizione del campo di radiazione, equazione del trasporto, il modello di atmosfera grigia, spettro continuo e spettro di righe, formazione degli spettri stellari. Struttura stellare (stelle degeneri): equazione di stato per la materia degenera, stelle nane bianche, massa limite di Chandrasekhar, stelle di neutroni, pulsars, modello del dipolo magnetico ruotante. Astrofisica solare: eliosismologia, teoria delle oscillazioni solari, modi p, modi g e modi evanescenti, frequenza di Brunt-Väisälä, astrofisica dei neutrini, magnetismo solare, ciclo di attività, cromosfera e corona, vento solare, teoria di Parker. Sistemi binari: problema dei due corpi, lobi di Roche, dischi di accrescimento. Processi radiativi in astrofisica: irraggiamento di cariche elettriche in moto, potenziali di Liénard e Wiechart, diffusione Thomson e Rayleigh, radiazione di frenamento, di ciclotrone e di sincrotrone, diffusione Compton, effetto Compton inverso.

### **Astrofisica computazionale (Prof. F. Rubini, Prof. L. Del Zanna)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** – Parte prima: le basi dell'analisi numerica. Funzioni e loro interpolazione: analisi di Sturm-Liouville, analisi di Fourier e Tchebyshev, spline. Algebra lineare: soluzione di sistemi lineari, metodi iterativi. Equazioni differenziali ordinarie: stabilità, consistenza, convergenza, metodi a uno e più passi, metodi ad ordine elevato. Equazioni differenziali alle derivate parziali: classificazione e metodi alle differenze finite per eq. ellittiche e paraboliche. Parte seconda: fluidodinamica computazionale. Equazioni di Eulero, onde e caratteristiche, shocks, il problema di Riemann. Metodi shock-capturing per equazioni iperboliche: volumi finiti e differenze finite, metodi centrati e upwind. Metodi di Godunov, Roe, Lax-Friedrichs. Applicazioni alla fluidodinamica, magneto-idrodinamica (MHD) e fluidodinamica relativistica. Codici numerici: implementazione e cenni ai metodi di parallelizzazione su piattaforme multi-processore. Applicazioni numeriche di laboratorio a problemi di interesse astrofisico.

### **Astrofisica delle alte energie (Prof. L. Del Zanna, Prof. P. Blasi )**

#### **I semestre, 6 CFU**

**Programma** -Parte prima: astrofisica relativistica e oggetti compatti. Richiami di relatività speciale. I principi della relatività generale, metrica dello spazio-tempo e connessioni affini. Meccanica e idrodinamica in un campo gravitazionale. Il tensore di curvatura e le equazioni di campo. Cenni alle onde gravitazionali. Applicazioni astrofisiche: moti esplosivi e la fireball relativistica, orbite attorno ad un buco nero, accrescimento su oggetti compatti, struttura delle stelle di neutroni, elettrodinamica degli oggetti compatti. Fenomenologia di stelle di neutroni, pulsars e magnetars. Interazione con l'ambiente e

plerioni. Sistemi binari. Gamma ray bursts.

Parte seconda: radiazione e particelle di alte energie. Elettrodinamica in forma covariante e irraggiamento di una carica in moto relativistico. Radiazione di Bremsstrahlung, di sincrotrone e processi Compton. Autoassorbimento. Spettro di particelle non termiche. Evoluzione di una sorgente di sincrotrone. Applicazione ai resti di supernova e Pulsar Wind Nebulae. Cenno ai processi adronici. Il problema dell'origine dei raggi cosmici. Il meccanismo di Fermi. Shocks e particelle non termiche. L'equazione di convezione-diffusione. Shocks modificati.

### **Collisioni e decadimenti nucleari (Prof. M. Bini, Prof. A. Olmi )**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Generalità e richiami sulla radioattività alfa, beta, gamma. Le serie radioattive naturali. Multipolarità delle transizioni gamma nucleari. Il rapporto di mixing di multipolo. La distribuzione angolare di raggi gamma a seguito di reazioni nucleari. Correlazione angolare gamma-gamma e sua determinazione sperimentale. La polarizzazione lineare dei raggi gamma e sua misura. La conversione interna e determinazione del coefficiente di conversione interna. Generalità sulla fissione nucleare. Panoramica sui meccanismi di reazione in collisioni fra nuclei pesanti al variare dell'energia di bombardamento, con particolare riferimento alle collisioni ad energie intermedie o "di Fermi". Analisi di alcune problematiche di attualità riguardanti la dinamica e la "termodinamica" delle reazioni nucleari, in collisioni sia centrali che periferiche. Presentazione di alcuni apparati a grande angolo solido di ultima generazione, studio delle loro caratteristiche e discussione dei risultati con essi ottenuti.

### **Complementi di astronomia (Prof. R. Stanga)**

#### **I semestre, 6 CFU**

**Programma** -Introduzione allo studio del mezzo interstellare; lo spettro delle regioni HII; determinazione di temperatura e densità delle regioni HII. Caratteristiche e metodologie osservative. L'equazione del trasporto. La polvere interstellare: composizione; assorbimento ed emissione delle polveri interstellari. Le regioni di formazione stellare: caratteristiche fisiche e metodologie osservative. Introduzione alla formazione dei sistemi planetari; i pianeti extrasolari.

### **Cosmologia (Prof. A. Marconi)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** -Scopo del corso è fornire le basi della cosmologia osservativa utilizzando i modelli cosmologici classici, analizzati dal punto di vista contemporaneo. Particolare enfasi sarà data ai processi di formazione delle strutture cosmologiche ed alla formazione ed evoluzione delle galassie. Le basi osservative: struttura a larga scala, galassie ed ammassi di galassie. Le basi teoriche: curvatura dello spazio e la metrica, equazioni di Friedmann e loro caratteristiche, i parametri cosmologici. La storia termica dell'universo. La nucleosintesi. Lo sviluppo e l'evoluzione delle fluttuazioni primordiali. L'importanza della materia oscura. La ricombinazione: il fondo cosmico a microonde e le sue fluttuazioni. L'epoca successiva alla ricombinazione. Il mezzo intergalattico. Evoluzione cosmologica di galassie e nuclei attivi. Modelli di formazione ed evoluzione delle galassie.

### **Dispositivi e nanostrutture a semiconduttore (Prof. A. Vinattieri)**

#### **I semestre, 6 CFU**

**Programma** -Stati elettronici in un solido cristallino. Struttura a bande. Concetto di lacuna. Impurezze sostituzionali e drogaggio. Sistemi in equilibrio e statistica di Fermi-Dirac. Modello di Drude: trasporto, diffusione. Sistemi fuori equilibrio e fotogenerazione di carica. Giunzioni p-n, metallo-semiconduttore e applicazioni: laser a semiconduttore e LED. Fotodiodi e celle solari. Transistor bipolare e MOSFET. Eterogiunzioni e ingegnerizzazione del band gap. Nanostrutture a confinamento quantistico. Pozzi, fili e punti quantici. Laser a doppia eterogiunzione, a QW e a QD. Coulomb Blockade e transistor a singolo elettrone. Emettitori di singolo fotone. Dispositivi a effetto

tunnel, HFET e dispositivi balistici. Laser a cascata quantica.

### **Elettrodinamica quantistica (Prof. G. Pettini)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** -Quantizzazione dei campi scalari, spinoriali e del campo elettromagnetico. Simmetrie. Elettrodinamica come teoria di gauge. Matrice S ed espansione perturbativa in diagrammi di Feynman. Calcoli di processi di scattering in elettrodinamica quantistica. Correzioni radiative e cenni sulla rinormalizzazione. Cenni sul modello elettrodebole.

### **Elettronica generale I (Prof. R. D'Alessandro)**

**I semestre, 6 CFU**

**Programma** -Porte logiche, logica combinatoriale. Flip-flop, contatori, shift-register, state machines. Famiglie di dispositivi logici e complex programmable logic devices (CPLD). Simulazione e programmazione di dispositivi logici complessi.

### **Elettronica generale II (Prof. M. Carlà)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Circuiti analogici con feedback - Condizioni di stabilità - Elementi non lineari - Conversione di frequenza e modulazione - Applicazioni alla strumentazione elettronica - Simulazioni numeriche lineari e non lineari dei circuiti elettronici.

### **Elettronica quantistica (Prof. S. Cavalieri)**

**I semestre, 6 CFU**

**Programma** - Richiami e estensioni dell'interazione radiazione materia. Propagazione in mezzi anisotropi e/o dispersivi. Propagazione di campi risonanti con transizioni del sistema materiale. Equazioni del laser. Laser in funzionamento continuo e transiente. Funzionamento di laser a impulsi ultracorti. Polarizzazioni non lineari: effetti del secondo e del terzo ordine. Generazione di frequenza somma: teoria e tecnica. Processi dovuti a effetto Kerr ottico. Caratteristiche temporale e spettrali di impulsi ottici: metodi di misura. Generazione di armoniche di alto ordine.

### **Fisica atomica (Prof. G. Tino)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Introduzione al corso: temi della fisica atomica contemporanea. Interazione degli atomi con la radiazione elettromagnetica. Struttura e spettri atomici. Spettroscopia atomica con radiazione laser. Fisica con atomi ultrafreddi.

### **Fisica criogenica (Prof. G. Ventura)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** -Tecniche del vuoto, crioliquidi, proprietà dei solidi a bassa temperatura, contatti e interruttori termici, refrigeratori, termometria, misure a bassa temperatura, applicazioni della criogenia.

### **Fisica degli atomi ultrafreddi (Prof. M. Inguscio, Prof. G. Tino)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Verrà illustrata la fisica dei gas atomici che, raffreddati a pochi micro o nanokelvin, manifestano comportamenti ondulatori e di degenerazione quantistica. Verranno discussi i principi ed i metodi sperimentali di raffreddamento ed intrappolamento sia laser che con campi magnetici. Si discuteranno sia aspetti fondamentali legati ad una nuova fisica collisionale, al controllo delle interazioni atomo-atomo, alla produzione di molecole, che le applicazioni a misure di precisione. Introduzione al rumore di fase: proprietà, effetto sulla forma di riga di un oscillatore, metodi di misura e caratterizzazione. Orologi atomici a microonde/ottici. Optical frequency comb.

### **Fisica degli stati condensati (Prof. A. Rettori, Prof.ssa E. Guarini)**

**I semestre, 6 CFU**

**Programma** - Teoria elementare dello scattering: liquidi, gas e solidi; simmetria e strutture cristalline; ordine uni- e bi-dimensionale; ordine magnetico. Richiami di termodinamica e meccanica statistica; correlazione spaziale in sistemi classici; simmetria, parametro d'ordine e modelli. Teoria di campo medio: teoria di Landau, transizione del primo e del secondo ordine. Esponenti critici, universalità e leggi di scaling. Gruppo di rinormalizzazione e fenomeni critici. Simmetrie continue e transizioni topologiche. Uno fra i seguenti argomenti: Funzioni di correlazione dinamiche e scattering anelastico; ii) Sistemi magnetici e modelli di spin: eccitazioni elementari e proprietà termodinamiche; iii) Introduzione ai metodi di simulazione numerica Monte Carlo.

### **Fisica dei liquidi (Prof. R. Torre, Prof.ssa E. Guarini)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma -Liquidi semplici:** Definizioni e funzioni di correlazione statiche e dinamiche. Sviluppi in densità della funzione di correlazione a coppie e legame con il potenziale di interazione a due e tre corpi. Teorie dello stato liquido. Fattore di struttura statico e dinamico. Metodi sperimentali per la caratterizzazione della struttura statica e dinamica di liquidi: scattering di luce, neutroni e raggi X.  
**Liquidi complessi:** Introduzione e fenomenologia. Equilibrio e fuori equilibrio termodinamico. Accenni alle transizioni di fase e alla transizione vetrosa. Funzioni di correlazione molecolari. Definizione delle Equazioni di moto e modelli fisici: eq. di Langevin, memory function e teorie di mode-coupling. Processi dinamici nei liquidi aggregati e sotto raffreddati. Presentazione delle tecniche sperimentali di spettroscopia ottica non-lineare: teorica e pratica.

### **Fisica della materia (Prof. M. Inguscio , Prof. A. Rettori)**

**I/II semestre, 12 CFU**

**Programma** - Prima parte: Proprietà del corpo nero. Teoria di Einstein dell'equilibrio atomo-campo elettromagnetico. Elementi di fisica atomica e molecolare: struttura atomica, regole di transizione, struttura fine della riga H, atomo a 2 e N elettroni; separazione di B-O, moti rotazionali, moti vibrazionali, principio di F-C, regole di selezione. Elementi di fisica dei cristalli: legami nei solidi, proprietà cristallografiche, reticolo reciproco, diffrazione X e N, teoria elettronica, proprietà termiche e di trasporto. Seconda parte: I gas quantistici. Effetti quantistici. Lo stato solido. Le vibrazioni nei solidi. Assorbimento dovuto ai fononi. Strutture cristalline. Lo scattering dei raggi x. Elettroni nei cristalli. Coefficienti di trasporto. La conducibilità elettrica. La conducibilità termica. Lo stato liquido. Funzione di struttura. Meccanica statistica dei liquidi classici. I coefficienti del viriale. Dinamica dei liquidi. Proprietà magnetiche della materia. Il magnetismo forte. Il campo molecolare. Eccitazioni magnetiche. Termodinamica del ferromagnete. Risonanza magnetica. Interazione di "radiazione" con la materia. Funzioni di correlazione.

### **Fisica delle galassie (Prof. A. Marconi, Prof. G. Risaliti)**

**I semestre, 6 CFU**

**Programma** - L'universo locale. Galassie: struttura e dinamica; proprietà di galassie ellittiche, spirali e irregolari; gli starburst. Nuclei Galattici Attivi: proprietà osservative, accrescimento sui buchi neri, processi di emissione e loro osservazione. I buchi neri supermassivi nei nuclei galattici, e la loro relazione con le galassie ospiti. L'universo ad alto redshift. Ricerca di galassie e nuclei attivi e le loro proprietà osservative. Evoluzione cosmologica di galassie e nuclei attivi: formazione di galassie e interazione con nuclei attivi e buchi neri.

### **Fisica delle particelle elementari (Prof. E. Celeghini)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Teoria dei gruppi con applicazioni alla fisica delle Particelle. Gruppi di Lie. SO(2). SO(3) e SU(2). Gruppi euclidei in due e tre dimensioni. Gruppo di Lorentz. Gruppo di Poincaré.

Introduzione alla fisica di alta energia. Principi di invarianza e leggi di conservazione. Interazioni e campi. Quarks e leptoni. Scattering di quarks e di leptoni. Quantum chromodynamics. Interazioni elettromagnetiche. Interazioni deboli. Teoria elettrodebole e modello standard.

### **Fisica dello stato solido (Prof. A. Rettori, Prof. A. Cuccoli)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Scattering, strutture e simmetrie. Costanti elastiche dei solidi. Fononi. Struttura a bande nei solidi. Proprietà di trasporto. Semiconduttori. Proprietà dei dielettrici. Magnetismo: transizioni di fase, eccitazioni elementari in ferromagneti ed antiferromagneti. Introduzione alla superconduttività. Richiami di meccanica statistica classica. Potenziali di interazione microscopici. Proprietà statiche, equazione di stato, funzione di correlazione a coppie  $g(r)$ . Approssimazioni per la  $g(r)$ . Proprietà dinamiche fondamentali in liquidi semplici. Metodi sperimentali di diffusione della radiazione per la determinazione di proprietà di liquidi

### **Fisica nucleare (Prof. P.G. Bizzeti)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Introduzione ai modelli nucleari. modelli a particelle indipendenti. Modello a shell: campo medio ed interazioni residue. Transizioni elettromagnetiche. Campi di multipolo. Esempi di misure in spettroscopia nucleare. Campo medio autoconsistente: modello di Hartree-Fock. Moto di particella singola ed effetti collettivi. Diffusione classica da potenziale centrale e trattazione semi-classica delle collisioni fra nuclei pesanti. Reazioni al di sotto dell'energia di Fermi. Processi profondamente anelastici. Processi di fusione-evaporazione e di fusione-fissione. Fissione sequenziale. Trasferimento di energia e di momento angolare. Modelli statistici: sezioni d'urto medie e fluttuazioni. La cascata evaporativa. Temperatura nucleare. Densità di livelli. Reazioni intorno e sopra l'energia di Fermi. Caratterizzazione degli eventi. Flusso trasversale. Fase iniziale della reazione: correlazioni di intensità. Energia interna e temperatura. Equazione di stato nucleare. Cascata di collisioni fra nucleoni nel campo medio, modello BUU. Cenni sulle reazioni a energie relativistiche.

### **Fisica nucleare e subnucleare (Prof. B. Mosconi, Prof. E. Iacopini)**

#### **I semestre, 12 CFU**

**Programma** - Prima parte: Radioattività naturale. Diffusione di particelle alfa. Scoperta del nucleo atomico e dei suoi costituenti. Dimensioni, densità, massa dei nuclei. Proprietà delle forze nucleari. Potenziale di Yukawa. Simmetria di isospin. Modelli di struttura nucleare. Decadimenti alfa, beta e gamma dei nuclei. Fissione. Fusione. Seconda parte: Introduzione alle particelle elementari ed al Modello Standard. Teoria di Fermi delle interazioni deboli. Approfondimenti riguardo al neutrino (prove di esistenza, misura della sua elicità, oscillazioni). Dinamica relativistica: urto elastico e anelastico, massa trasversa. Trasformazione di distribuzioni ed applicazioni ai decadimenti in volo. Moto relativistico di cariche in campo elettrico e magnetico uniforme e costante. Irraggiamento nei diversi tipi di acceleratore.

### **Fisica solare (NON ATTIVATO)**

#### **I semestre, 6 CFU**

**Programma** - Il Sole come stella. Strumentazione solare. Spettro solare continuo e di righe. Teoria del trasporto radiativo. Processi dinamici: Dopplergrammi, granulazione, supergranulazione, oscillazioni solari. Processi magnetici: ciclo di attività, magnetogrammi e magnetogrammi. Cromosfera e corona. Il vento solare. Brillamenti.

### **Fisica subnucleare (Prof. E. Iacopini)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Le prime particelle elementari, i raggi cosmici, l'antimateria. Cenni alla teoria dei campi (seconda quantizzazione). Le simmetrie discrete. Proprietà di  $T^2$  e di CPT. Il decadimento del pione

neutro e del positronio. Il momento di dipolo elettrico e T. Scattering e decadimenti in QFT. Lo spazio delle fasi di due e di tre particelle. Il plot di Dalitz. Le particelle elementari oltre la prima famiglia. Le particelle strane. Il GIM mechanism. Il Modello Standard.

### **Fisica teorica (Prof. D. Dominici)**

**I semestre, 9 CFU**

**Programma** -Richiami di teoria della radiazione elettromagnetica. Campi di spostamento: fononi. Campo elettromagnetico: fotoni e loro quantizzazione in gauge di Coulomb. Interazione radiazione-materia: emissione, assorbimento, diffusione di fotoni. Stati condensati: superfluidità, spettro fononico, cenni alla rottura spontanea di simmetrie. Stati relativistici: equazione di Dirac dell'elettrone e sue principali conseguenze.

### **Fotonica (Prof. M. Gurioli)**

**I semestre, 6 CFU**

**Programma** -Cristalli fotonici. Legge di scala. Specchi di Bragg e cavità planari; polaritoni. Sistemi bidimensionali e membrane. Sistemi tridimensionali. Superrifrazione. Localizzazione del campo elettromagnetico ad un difetto. Microcavità fotoniche. Effetto Purcell, accoppiamento forte. Dispositivi fotonici.

### **Laboratorio di astrofisica (Prof. A. Righini)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** – Concetti fondamentali della pratica astronomica: trigonometria sferica, sistemi di riferimento, misura delle coordinate di un astro. Effetti che alterano le coordinate di un astro. Il punto nave. Il tempo e la misura del tempo: effetti relativistici. Cataloghi stellari. Uso dei database astronomici principali: Simbad, DSS, USNO. Elementi di fotometria: il concetto di magnitudine bolometrica e magnitudine monocromatica, concetto di lunghezza d'onda efficace. Indice di colore e temperatura. Sistemi fotometrici dispositivi per fotometria, dalla emulsione fotografica al CCD, valutazione dell'errore fotometrico. Concetti fondamentali di ottica geometrica: dal diotro sferico alle lenti sottili. Gli specchi sferici e parabolici, le lastre correttrici. Esempi di ray tracing. I diaframmi: diaframma di apertura, diaframma di campo, pupilla di ingresso e pupilla di uscita. Dal telescopio di Galileo ai telescopi moderni: telescopi rifrattori e riflettori, i telescopi a pupilla composita. Gli interferometri. Telescopi ottici e radio telescopi. I telescopi per l'infrarosso e per la parte ultravioletta e X dello spettro. Ottica di Fourier: i dispositivi ottici come trasduttori lineari, definizione di PSF in caso coerente e incoerente, il concetto di OTF di un dispositivo ottico formatore di immagine. Il caso di illuminazione incoerente. Cenni sul fenomeno del seeing astronomico e sui dispositivi di ottica adattiva. Esperimenti ed osservazioni: 1) osservazione di un asteroide con il telescopio di 1.5 metri di Loiano; determinazione della sua posizione e della sua magnitudine in due colori; classificazione della sua natura. 2) Studio degli errori di lavorazione di una superficie ottica con l'interferometro di Shack, valutazione della sua MTF. 3) Fotografia e analisi dello spettro di una nebula, identificazione delle righe e valutazione della energia emessa. 4) determinazione della latitudine e della longitudine del Polo Scientifico di Sesto con osservazioni astronomiche, usando il sestante.

### **Laboratorio di elettronica (Prof. M. Carlà)**

**I semestre, 6 CFU**

**Programma** -Semiconduttori; giunzione PN; legge della giunzione; diodo zener - circuiti non lineari - conduttanza e capacità dinamiche; quadrupoli lineari e parametri g,h,m,r; transistor bjt, mosfet e jfet; circuiti di polarizzazione ed esempi di applicazioni; elementi base di elettronica digitale: codice binario, porte logiche, leggi di de Morgan; famiglie logiche CMOS e TTL; flip-flop; contatori.

### **Laboratorio di fisica della materia (Prof. F. Marin, Prof.ssa A. Vinattieri, Prof.ssa C. Gambi)**

**II semestre, 12 CFU**

**Programma** - Spettrometri monocromatore e Fabry-Perot, risuonatori ottici. Fasci Gaussiani. Ottiche, filtri, ottiche polarizzanti. Amplificatore "lock-in". Analizzatore di spettro in super-eterodina. Fotodiodi ed elettronica per la rivelazione in continua. Spettroscopia in saturazione. Funzionamento ed uso dei laser a semiconduttore. Fluttuazioni e funzioni di correlazione temporale. Vettore di scattering. Rivelazione omodina ed eterodina. Correlatore digitale. Stabilizzazione termica e meccanica. Principi generali della spettroscopia ottica di semiconduttori: processi di rilassamento e scale temporali tipiche. Spettroscopia risolta in frequenza e tempo. Rivelatori e tecniche di rivelazione per spettroscopia ultraveloce. Sorgenti impulsate. Principi generali del "Q-switching" e "mode-locking". Propagazione di impulsi in mezzi lineari e non lineari. Esperienze di laboratorio: a) Misura del coefficiente di diffusione e del raggio idrodinamico di nanoparticelle. b) Spettroscopia in saturazione del Rb e misura della struttura iperfina. c) Caratterizzazione spettrale di un laser a semiconduttore. d) Misura di autocorrelazione di un impulso al picosecondo. e) Misure di luminescenza ed eccitazione della luminescenza in nanostrutture. f) Misura dell'intensità media di luce diffusa al variare dell'angolo.

**Laboratorio nucleare (Prof. G. Poggi, Prof. G. Pasquali)**

**I semestre, 6 CFU**

**Programma** - Approfondimento delle caratteristiche dei rivelatori di radiazione nucleare, a gas, a scintillazione e a stato solido. Svolgimento di esperimenti con rivelatori singoli o con più rivelatori operanti in coincidenza temporale.

**Laboratorio nucleare-subnucleare (Prof. O. Adriani, Prof. A. Stefanini)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Interazione delle particelle con la materia. Perdita di energia collisionale. Perdita di energia radiativa. Curve di ionizzazione di Bragg. Range. Straggling. Scattering multiplo. Angolo medio di scattering. Interazione dei raggi X e  $\gamma$  con la materia. Coefficienti di attenuazione. Range. Rivelatori a scintillazione organici e inorganici. Fotomoltiplicatori. Statistica di rivelazione. Risposta all'elettrone singolo. Teorema di Ramo per il calcolo delle forme d'onda di corrente e di carica. Camere di ionizzazione. Contatori proporzionali. Rivelatori di particelle al Silicio. Rivelatori di raggi  $\gamma$  e X al Silicio compensato con Litio. Rivelatori di raggi  $\gamma$  al Germanio iperpuro. Trasmissione dei segnali. Esempi di amplificatori di front-end e di amplificatori formatori. Elementi di rumore elettrico. Formazione lineare dei segnali. Principi della conversione analogico-digitale. Laboratorio: rilievo oscillografico delle forme d'onda di corrente e di carica dei rivelatori. Formazione dei segnali. Spettri di energia.

**Laboratorio subnucleare (Prof. G. Passaleva, Prof. L. Bonechi)**

**I semestre, 6 CFU**

**Programma** - Approfondimento delle tecniche di rivelazione della Fisica Subnucleare. Rivelatori a gas. Rivelatori al silicio e loro applicazioni. Rivelatori di luce Cherenkov e di radiazione di transizione. Calorimetri elettromagnetici ed adronici. Sistemi per la misura del tempo di volo e per l'identificazione delle particelle.

**Laser e applicazioni (Prof. F. Pavone)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** - La fisica del laser. Trattazione semiclassica del sistema a due livelli. Trattazione con le equazioni di bilancio del laser a 3 livelli. Meccanismi di allargamento delle righe di emissione (naturale, Doppler, pressione). Laser a gas, a stato solido, liquido e a semiconduttore. Cavità ottiche. Generazione e controllo di impulsi brevi. Generazione e controllo della frequenza di emissione. Panorama di applicazioni nel campo del biomedicale, biotecnologico, industriale, dei beni culturali e dell'ambiente. Seguirà un approfondimento sulle applicazioni nel campo della biofisica, biofotonica e dell'imaging biomedicale. Verranno effettuate visite presso laboratori di ricerca accademici ed industriali.

### **Meccanica statistica I (Prof. R. Livi)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Teoria degli insiemi statistici: operatore densità, postulati della meccanica statistica, insiemi statistici quantistici, limite classico. Teoria delle trasformazioni fra insiemi statistici. Transizioni di fase e fenomeni critici: singolarità delle funzioni termodinamiche, teoria di Lee e Yang. Rottura spontanea della simmetria e rottura dell'ergodicità. Teoria di campo medio e teoria di Landau-Ginzburg. Universalità, invarianza di scala, esponenti critici. Gruppo di rinormalizzazione.

### **Meccanica Statistica II (Prof. F. Becattini, Prof. P. Politi)**

**I e II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Sistemi disordinati, modelli e teoria delle repliche. Catene di Markov e metodo Monte Carlo. Moto browniano, eq. di Langevin ed eq. di Fokker-Planck. Teorema di fluttuazione-dissipazione e teoria della risposta lineare. Transizioni di fase di non equilibrio con applicazioni. Invarianza di scala nei processi di crescita. Equazioni di Edwards-Wilkinson e di Kardar-Parisi-Zhang. Instabilità e formazione di strutture in sistemi fuori dall'equilibrio. Introduzione alle scale multiple per analisi non lineari.

### **Metodi matematici per la fisica teorici (Prof. R. Giachetti)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Introduzione ad alcune delle più importanti strutture algebriche, geometriche e topologiche che trovano applicazione nell'attuale fisica teorica.

### **Metodi sperimentali di fisica nucleare (Prof.ssa A. Giannatiempo)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Strutture nucleari tipiche e loro evoluzione in funzione del numero dei nucleoni. Interpretazione nell'ambito dei vari modelli nucleari. Nuclei esotici e fasci radioattivi. Acceleratori di particelle. Reattori nucleari. Tecniche utilizzate in misure di spettroscopia nucleare.

### **Metodi Sperimentali di Fisica Subnucleare (Prof. E. Focardi)**

**I semestre, 6 CFU**

**Programma** - Principi di accelerazione delle particelle cariche. Acceleratori lineari e circolari. Ciclotroni. Sincrotroni. Anelli di accumulazione. Luminosità. Principi di interazione particelle/radiazioni materia. Tracciamento di particelle cariche in rivelatori a gas e a stato solido. Scintillatori. Fotomoltiplicatori. Calorimetri elettromagnetici e adronici. Identificazione di particelle ( $dE/dx$ , Time-of-flight, Cerenkov, radiazione di transizione). Sistemi di acquisizione. Elaborazione dei dati. Esempi di sistemi di rivelatori della fisica delle alte energie.

### **Ottica (Prof. L. Fini, Prof.ssa A. Consortini)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Ottica fisica, incluso onde evanescenti e fasci parassiali, interferenza e diffrazione. Immagini con radiazione coerente ed incoerente. Ottica di Fourier ed introduzione all'elaborazione ottica e al filtraggio di immagini. Applicazioni a sistemi classici e moderni. Richiami di ottica geometrica. Lenti sottili, lenti spesse. Aberrazioni geometriche. Aberrazione cromatica. Applicazioni agli strumenti ottici. Propagazione della luce in mezzi anisotropi, effetti elettroottici e magnetoottici. Ottica non lineare, generazione di seconda armonica.

### **Ottica biomedica (Prof. F. Pavone)**

**I semestre, 6 CFU**

**Programma** - Microscopia laser avanzate (Multifotone, FLIM, CARS, SHG, SRS, Random Access). Metodi di manipolazione ottica di campioni biologici. Aspetti di imaging morfofunzionale di tessuti

biologici. Aspetti di imaging biomedico applicato ad applicazioni cliniche. Visite in laboratorio con partecipazione ad esperimenti.

### **Ottica quantistica (Prof. F. Marin)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Proprietà della luce classica (coerente e caotica): correlazioni, momenti, spettro di potenza. Equazione di Fokker-Planck. Misure interferometriche e statistiche. Equazioni di Langevin. Spettro di rumore di ampiezza e di frequenza e forma di riga di radiazione laser. Quantizzazione del campo elettromagnetico. Coerenze quantistiche e relazioni di indeterminazione. Stati quantistici della luce: stati di Fock, coerenti, di vuoto compresso, luminosi compressi, stato termico. Indicatori di luce non-classica. Separatore di fascio e rivelazione in omodina. Esperimento di Hong-Ou-Mandel. Distribuzioni di quasi-probabilità e funzione di Wigner. Stati separabili e intrecciati ('entangled'). Argomento EPR: non località e realismo. Disuguaglianza di Bell. Applicazioni: crittografia quantistica, calcolo quantistico. Misure non distruttive. Variabili continue e approssimazione semi-classica. Cavità ottica. Pressione di radiazione ed effetti pondero-motivi. Limite quantistico standard.

### **Plasmi astrofisici (Prof. M. Velli)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** -Definizione di plasma. Moti di particelle in campi elettrici e magnetici. Descrizione cinetica del plasma e passaggio alla descrizione fluida. Magnetoidrodinamica (MHD) ideale. Onde magnetoidrodinamiche. Stabilità degli equilibri MHD. MHD resistiva: riconnessione magnetica. Onde in regime cinetico e smorzamento di Landau. Applicazioni della magnetoidrodinamica all'astrofisica: fisica delle strutture magnetiche solari, dei getti stellari e dell'accrescimento. Onde d'urto e accelerazione di particelle. Introduzione alla teoria della turbolenza.

### **Raggi cosmici (Prof. P. Papini, Prof. S. Bottai)**

#### **I semestre, 6 CFU**

**Programma** -Fenomenologia dei Raggi Cosmici primari. -Meccanismi di propagazione e accelerazione. - Antiprotoni e positroni nei Raggi Cosmici: produzione secondaria e possibili sorgenti primarie. -Composizione isotopica. -I Raggi Cosmici di altissima energia. Interazione dei Raggi Cosmici primari con l'atmosfera e produzione degli sciami. I Raggi Cosmici a terra: muoni e neutrini. Apparat sperimentali per la misura dei flussi di Raggi Cosmici a terra, su palloni stratosferici e in orbita.

### **Relatività (Prof. D. Seminara)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Richiami di Relatività Speciale e Spazio-Tempo Piatto. Principio di Equivalenza. Geometria delle Varietà. Il limite Newtoniano. Derivazioni dell'equazioni di Einstein, La Lagrangiana di Hilbert. Covarianza ed accoppiamento con materia. Teoria Linearizzata. La metrica di Schwarzschild: Previsioni classiche della Relatività. Qualche cenno di Cosmologia. Formulazione ADM della gravità. Formulazione del primo ordine della teoria di Einstein.

### **Sistemi di acquisizione dati (Prof. M. Carlà)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Conversione Analogico-Digitale e Digitale-Analogico -Handshaking e protocolli di trasferimento dati - Caratteristiche dei principali bus di interconnessione tra computer e strumentazione di misura – Software per misura e controllo.

### **Tecniche di rivelatori per radiazioni ionizzanti (Prof. G. Pasquali)**

#### **I semestre, 6 CFU**

**Programma** - Interazione delle particelle con la materia. Perdita di energia collisionale. Perdita di

energia radiativa. Curve di ionizzazione di Bragg. Range. Straggling. Interazione dei raggi X e gamma con la materia. Coefficienti di attenuazione. Classificazione dei rivelatori di radiazioni ionizzanti. Principi fisici del funzionamento dei rivelatori a gas. Modi di funzionamento. Rivelatori a scintillazione. Fotomoltiplicatori e partitori. Rivelatori a semiconduttore. Elettronica di front-end e di acquisizione per i vari rivelatori. Messa in opera in laboratorio dei vari rivelatori.

### **Tecnologie spaziali (Prof. E. Pace)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** - La fisica dallo spazio: aspetti scientifici che richiedono missioni spaziali. Sintesi storica delle missioni spaziali. Sonde sub-orbitali. Sonde orbitali e planetarie. Palloni stratosferici. Sistemi ottici ad imaging e spettroscopici. Rivelatori di fotoni per lo spazio. Rivelatori di particelle per lo spazio. Sistemi elettronici di lettura e di trigger. Sistemi di raffreddamento attivo e passivo. Sistemi di alimentazione. Sistemi di propulsione. Materiali e componenti per lo spazio. Problemi specifici di qualificazione spaziale: termo-vuoto, vibrazioni, radiation hardness. Acquisizione ed immagazzinamento dati: telemetria, memorie, archivi. Esempi di missioni spaziali.

### **Teoria dei campi (Prof. A. Cappelli, Prof.ssa S. De Curtis )**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Ordini di grandezza delle interazioni fondamentali. Introduzione alle teorie di gauge non-abeliane. Path-integral in teoria dei campi, metodi funzionali e serie perturbativa. Rottura spontanea della simmetria. Interazioni deboli prima del modello standard. Modello standard elettro-debole:  $SU(2) \times U(1)$ , meccanismo di Higgs, gauge rinormalizzabile e unitaria, mescolamento delle famiglie. Matrice CKM, violazione di CP, meccanismo GIM. Fenomenologia del modello standard: alcuni processi. Rinormalizzazione e gruppo di rinormalizzazione. Equazione di Callan-Symanzik e costante d'accoppiamento mobile. Rinormalizzazione col path-integral delle teorie di gauge non-abeliane. Calcolo della beta function col metodo del background field. Introduzione alla QCD e al modello a partoni.

### **Teoria dei sistemi a molti corpi (Prof. F. Matera)**

#### **II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Equilibrio: Richiami al formalismo di seconda quantizzazione. Modello del "jellium" per il gas di elettroni. Stati coerenti bosonici e fermionici, variabili di Grassmann. Funzione di partizione, funzioni di Green termiche, sviluppi perturbativi (diagrammi di Feynman). Equazione di Dyson per la "self-energy", teoria di Hartree-Fock. Sistemi di bosoni: approssimazione della "fase stazionaria", equazione di Gross-Pitaevskij e condensazione di Bose-Einstein per particelle interagenti. Sistemi di fermioni: trasformazioni di Hubbard-Stratonovich, campo ausiliario, teoria BCS della superconduttività. Non equilibrio: Teoria della risposta lineare e teorema di fluttuazione-dissipazione. Trasporto quantistico: funzioni di Wigner, limite semiclassico, connessioni con le equazioni cinetiche classiche, zero-sound nei liquidi di Fermi. Tecniche di simulazione numerica per le equazioni del trasporto.

### **Teoria dei sistemi dinamici (Prof. R. Livi, Prof. A. Torcini)**

#### **I semestre, 6 CFU**

**Programma** - Breve introduzione delle diverse classi di sistemi dinamici (automi, mappe, equazioni differenziali). Classificazione dei vari tipi di soluzione e studio della stabilità. Biforcazioni e forme normali. Transizioni ordine caos in sistemi dissipativi. Individuazione dei gradi di libertà efficaci (eliminazione adiabatica, varietà centrale). Nascita di comportamenti ergodici in sistemi Hamiltoniani. Introduzione di invarianti dinamici (esponenti di Lyapunov, dimensione frattale, entropia di Kolmogorov). Algoritmi numerici per la caratterizzazione di sistemi dinamici. Brevi cenni sul comportamento di sistemi spazialmente estesi ed in generale a molti gradi di libertà.

**Teoria delle particelle elementari (Prof. A. Barducci)**

**II semestre, 6 CFU**

**Programma** - Gruppi di Lorentz e Poincaré e loro rappresentazioni irriducibili. Coniugazione di carica, parità e inversione temporale. Teoria della diffusione relativistica e matrice S. Simmetrie interne delle particelle elementari. Il modello a quark. Fenomenologia del modello standard. Il modello a partoni e la cromodinamica quantistica.