

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 2012-2013

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. Adeguate preparazione individuale

La verifica della preparazione individuale si considera virtualmente assolta per tutti i laureati in possesso di una laurea della classe 25, ex D.M. 509/99, del CL in Fisica istituito presso l'Università degli studi di Firenze. Per gli altri laureati in possesso dei requisiti curriculari di cui sopra, l'adeguatezza della preparazione verrà verificata da una Commissione del Corso di Laurea primariamente sulla base del curriculum di studi presentato con la domanda di valutazione. Qualora il curriculum sia giudicato soddisfacente, la Commissione delibererà l'ammissibilità al corso di Laurea Magistrale rilasciando il previsto nulla osta. In caso contrario l'accertamento della preparazione dello studente avverrà tramite un colloquio che potrà portare al rilascio del nulla osta per l'ammissione con la proposta di un piano di studi personale in accordo con l'Ordinamento anche in deroga con quanto previsto dal presente Regolamento. Non sono in ogni caso previsti debiti formativi, ovvero obblighi formativi aggiuntivi, al momento dell'accesso.

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

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 2012-2013 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 o 8 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 predisposte sessioni di due (o tre) appelli, distanziati di almeno quattordici giorni, per tutti gli esami del Corso di Laurea. Nel mese di settembre è prevista un'ulteriore sessione con almeno un appello. In via sperimentale, è inoltre istituita una sessione durante il II semestre in concomitanza con le vacanze pasquali, di un solo appello per tutti gli esami. In totale saranno garantiti almeno sei appelli nel corso dell'anno per tutti gli esami.

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 dell'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 2012-2013 il calendario dei semestri è il seguente:

- I Semestre: 24 Settembre 2012 - 22 Dicembre 2012
- II Semestre: 4 Marzo 2013 - 14 Giugno 2013

Per l'anno accademico 2011-2012 il calendario delle sessioni di laurea è il seguente:

26 Giugno 2012
24 Luglio 2012
9 Ottobre 2012
11 Dicembre 2012
5 Marzo 2013
23 Aprile 2013

Per l'anno accademico 2012-2013 gli appelli di laurea verranno stabiliti e comunicati successivamente.

Vacanze ufficiali durante i periodi di lezione:

- I Semestre: 1 e 2 Novembre 2012, 8 Dicembre 2012
- II Semestre: dal 28 marzo al 10 Aprile 2013 (inclusi), 25 Aprile 2013, 1 Maggio 2013

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/II
	Astrofisica	9		FIS/05	I
Curriculari caratterizzanti	Cosmologia	6	12	FIS/05	II
	Plasmi astrofisici	6		FIS/05	II
Affini e integrative	Laboratorio di astrofisica oppure Astrofisica computazionale	6	12	FIS/05 FIS/05	II II
	<i>Un insegnamento a scelta tra quelli riportati nella successiva tabella</i>	6			
A scelta studente	<i>Corsi a scelta tra quelli riportati nella successiva tabella o attivati dall'Università di Firenze</i>	12			
Stage e tirocinii		6			
Prova finale		36			
TOTALE		120			

Insegnamento	CFU	SSD	Semestre
Astrobiologia	6	FIS/05	I
Astrofisica computazionale *	6	FIS/05	II
Astrofisica delle alte energie **	6	FIS/05	I
Complementi di astronomia	6	FIS/05	II
Fisica del mezzo interstellare	6	FIS/05	II
Fisica delle galassie **	6	FIS/05	I
Fisica solare	6	FIS/05	II
Laboratorio di astrofisica *	6	FIS/05	II
Tecnologie spaziali	6	FIS/05	I

* se non già selezionato tra gli insegnamenti affini ed integrativi

** si consiglia la frequenza dell'insegnamento al secondo anno

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/II
	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	I
	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			
TOTALE		120			

Insegnamento	CFU	SSD	Semestre
Meccanica statistica II	6	FIS/02	II
Relatività	6	FIS/02	II
Sistemi relativistici	6	FIS/02	I
Storia e fondamenti della fisica	6	FIS/02	II
Teoria dei campi	6	FIS/02	I
Teoria dei sistemi a molti corpi	6	FIS/02	I
Teoria dei sistemi dinamici	6	FIS/02	II
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/II
	Astrofisica	9		FIS/05	I
Curricolari caratterizzanti	Laboratorio nucleare o Laboratorio subnucleare *	6	12	FIS/01	II
				FIS/01	I
	Fisica nucleare o Fisica subnucleare *	6		FIS/04	II
				FIS/04	I
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>	12			
Stage e tirocinii		6			
Prova finale		36			
TOTALE		120			

Insegnamento	CFU	SSD	Semestre
Analisi dati in fisica subnucleare	6	FIS/04	II
Collisioni e decadimenti nucleari	6	FIS/04	II
Fisica nucleare (RACCOMANDATO)	6	FIS/04	II
Fisica subnucleare (RACCOMANDATO) *	6	FIS/04	I
Raggi cosmici	6	FIS/04	I
Tecniche di analisi con fasci di ioni	6	FIS/04	II
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 (RACCOMANDATO)	6	FIS/01	II
Laboratorio subnucleare (RACCOMANDATO) *	6	FIS/01	I
Metodi sperimentali di fisica subnucleare	6	FIS/01	I
Sistemi di acquisizione dati	6	FIS/01	II

* si consiglia la frequenza dell'insegnamento al secondo anno

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/II
	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			
TOTALE		120			

Insegnamento	CFU	SSD	Semestre
Complementi di struttura della materia	6	FIS/03	I
Dispositivi e nanostrutture a semiconduttore	6	FIS/03	I
Elettronica quantistica	6	FIS/03	I
Fisica atomica *	6	FIS/03	II
Fisica degli atomi ultrafreddi	6	FIS/03	I
Fisica degli stati condensati *	6	FIS/03	I
Fisica dei liquidi	6	FIS/03	II
Fisica dei sistemi complessi	6	FIS/03	II

Fisica dello stato solido	6	FIS/03	II
Fisica statistica e teoria dell'informazione	6	FIS/03	II
Fotonica *	6	FIS/03	I
Laser e applicazioni	6	FIS/03	II
Molecole magnetiche	6	FIS/03	II
Optoelettronica	6	FIS/03	I
Ottica	6	FIS/03	II
Ottica biomedica	6	FIS/03	I
Ottica quantistica	6	FIS/03	II
Sensoristica avanzata	6	FIS/03	II

* Selezionabile solo se non già scelto tra quelli caratterizzanti

APPENDICE

Analisi dati in fisica subnucleare (Prof. V. Ciulli)

II semestre, 6 CFU

Programma – Concetti generali di statistica. Algoritmi e simulazioni Monte Carlo. Test 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.

Astrobiologia (Prof. J. Brucato, Prof. E. Gallori)

I semestre, 6 CFU

Programma - Origine dell'Universo. Origine degli elementi. Gli elementi biogenici. Il mezzo interstellare. Meteoriti, micrometeoriti e comete come sorgenti della materia organica sulla Terra primitiva. Natura e proprietà dell'ambiente terrestre ancestrale. Le strutture e i meccanismi molecolari della chimica prebiotica. Il mondo ad RNA. Definizione di vita a livello funzionale e strutturale. Ipotesi sull'origine della vita. La vita negli ambienti estremi. La ricerca della vita nell'Universo.

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 stellari, modello solare standard, problema dei neutrini mancanti, cenni di classificazione stellare e di evoluzione stellare. 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. Processi radiativi: diffusione Thomson e diffusione Rayleigh, radiazione di frenamento, di ciclotrone e di sincrotrone. Fisica della gravitazione: lobi di Roche e punti Lagrangiani, dischi di accrescimento Kepleriani, fenomeni mareali. Masse degli oggetti astrofisici: relazione massa-luminosità, valori massimo e minimo delle masse stellari, masse delle galassie, masse dei pianeti.

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 Tchebychev, 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 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, Prof. M. Romoli)

II semestre, 6 CFU

Programma - Fisica della gravitazione: introduzione alla relatività generale. Spettroscopia astronomica: strumenti, rivelatori a stato solido, formazione dello spettro. Esperienza di laboratorio: verifica della legge di Hubble.

Complementi di struttura della materia (Prof. G. Spina)

I semestre, 6 CFU

Programma – Equazioni dell'EM. Hamiltoniana di un elettrone in campo EM. Campo di Lorentz, legge di Clausius-Mossotti. Polarizzazione elettronica, per orientamento e ionica. Modi fononici e polaronici. Effetti Pyro e Piezoelettrico. Modello di Landau. Momento magnetico di spin. Diamagnetismo e paramagnetismo. Quenching di Landau. Parametro di Van Vleck. Interazioni di Scambio e Super-Scambio. H. di Heisenberg e D-M. Teoria di Anderson. Teorie di Weiss e di Neel. Onde di Spin. Ferrimagnetismo. Magnetismo Molecolare. Valutazione dei livelli magnetici. Proprietà dei sistemi a basso ed alto spin.

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.ssa 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)

I 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 degli atomi ultrafreddi (Prof. M. Inguscio, Prof. G. Tino)

I 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 dei sistemi complessi (Prof. D. Fanelli)

II semestre, 6 CFU (corso rivolto anche agli studenti di Ingegneria)

Programma – Sistemi dinamici in 1D. Punti fissi e stabilità. Teoria delle biforcazioni. Estensione al caso 2D. Sistemi lineari. Cicli limite. Tecniche di simulazione numerica. Il modello di Lorenz. Chaos. Mappe discrete. La diffusione. Sistemi di reazione diffusione. Pattern formation. L'instabilità di Turing. I modelli stocastici. Teoria dei processi stocastici. Processi di Markov. L'eq. maestra. Metodi di simulazione diretta. Il metodo montecarlo. L'algoritmo di Gillespie. Approccio analitico allo studio dei sistemi stocastici. Lo sviluppo di van Kampen. Gli effetti di taglia finita. Applicazioni ed esempi particolari (teoria dei networks, applicazioni alla biologia).

Fisica del mezzo interstellare (Prof. F. Fontani, Prof. F. Palla)

II semestre, 6 CFU

Programma - Mezzo interstellare: composizione e distribuzione. Processi collisionali e radiativi. Equilibrio termodinamico; ionizzazione e ricombinazione. Trasporto radiativo. Processi fisici in nubi di idrogeno e molecolari. Polvere interstellare: composizione, estinzione, emissione, interazione con la radiazione. Nubi molecolari: struttura e dinamica. Frammentazione e collasso gravitazionale. Evoluzione Protostellare e di PreSequenza (dischi circumstellari). Jets e Outflows. Maser Interstellari. Stelle Massicce: formazione ed evoluzione; effetti radiativi sull'ambiente. Proprietà globali: funzione iniziale di massa; storia della formazione stellare.

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 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.ssa A. Nannini, Prof. A. Olmi)

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. M. Bini, Prof. E. Iacopini)

I/II 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 (Prof. M. Romoli, Prof. M. Velli)

II semestre, 6 CFU

Programma - Prima parte - osservazioni: Il Sole come stella. Strumentazione solare. Spettro solare continuo e di riga. Trasporto radiativo. Processi dinamici: Dopplergrammi, granulazione, supergranulazione, oscillazioni solari. Processi magnetici: ciclo di attività, magnetografi e magnetogrammi. Cromosfera e corona. Fenomeni esplosivi: brillamenti e CMEs. Space Weather.

Seconda parte - teoria: Struttura interna del Sole. Eliosismologia: modi p e modi g. La dinamo solare. Modelli per strutture magnetiche: macchie solari, archi coronali e protuberanze. Il problema del riscaldamento coronale. Modelli di vento solare. La spirale di Parker. Eliosfera e interazione col mezzo interstellare.

Fisica statistica e teoria dell'informazione (Prof. F. Bagnoli, Prof. D. Fanelli)

II semestre, 6 CFU (corso rivolto anche agli studenti di Ingegneria)

Programma – Realtà, modelli e computazione. Modelli della fisica classica: particelle in interazione. Sistemi estesi e riduzione della complessità. Sistemi dinamici basso-dimensionali, attrattori, stabilità, biforcazioni, caos. Sistemi stocastici: random walk, insiemi statistici, probabilità, approccio Markoviano, eq. maestra, eq. di Fokker-Plank, diffusione, campo medio. Stato asintotico e transizioni di fase. La meccanica statistica e l'informazione. Monte-Carlo. Cenni di fisica quantistica. Applicazioni a teoria della complessità, calcolo quantistico, ottimizzazione stocastica, teoria dell'evoluzione, teoria dei giochi. Il corso è orientato principalmente a studenti di Ingegneria informatica.

Fisica subnucleare (Prof. E. Iacopini)

I semestre, 6 CFU

Programma -Le prime particelle elementari, il 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. E. Pace)**II semestre, 6 CFU**

Programma – Coordinate celesti. Elementi di ottica e di ottica di Fourier. Elementi di astronomia osservativa e sperimentale. Telescopi: configurazioni ottiche, aberrazioni, verifica delle prestazioni, utilizzo in osservatorio. Spettrometri: configurazioni ottiche, aberrazioni, verifica delle prestazioni, utilizzo al piano focale di un telescopio. Fotometria: tecniche di imaging e analisi delle immagini. Polarimetria. Rivelatori di fotoni. Astronomia sperimentale nelle varie bande spettrali. Esperienze di laboratorio e presso osservatori.

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. A. Stefanini, Prof. --)**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 γ 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 γ e X al Silicio compensato con Litio. Rivelatori di raggi γ 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. L. Casetti)

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. R. Livi, Prof. P. Politi)

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 teorica (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 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.

Molecole magnetiche (Prof.ssa R. Sessoli, Prof. D. Gatteschi)

II semestre – 6 CFU

Programma - 1) Interazioni magnetiche in sistemi molecolari: livelli elettronici del singolo ione, interazione di scambio e dipolare, anisotropia magnetica. L'hamiltoniano di spin. 2) Tecniche di indagine nel magnetismo molecolare. Bistabilità ed isteresi in molecole magnetiche. Il processo di inversione della magnetizzazione. Rilassamento nel regime termicamente attivato e nel regime di tunnel quantistico. Prospettive ed applicazioni.

Optoelettronica (Prof. S. Pelli)

I semestre – 6 CFU

Programma - Ottica e Fotonica: tecnologie abilitanti. Richiami a nozioni fondamentali di ottica. Elementi di propagazione ottica guidata. Materiali vetrosi; processi di diffusione. Film sottili: deposizione e caratterizzazione. Caratterizzazione di guide ottiche e dispositivi. Fibre ottiche e componenti in fibra; sensori a fibra ottica. Ottica integrata: materiali e tecnologie. Componenti e dispositivi ottici integrati (amplificatori e laser integrati basati su emissione da ioni di terre rare in matrici vetrose, modulatori elettro-ottici). Microrisonatori a modi di galleria. Introduzione ai cristalli fotonici. Fibre microstrutturate e a bandgap fotonico. Tecniche di simulazione di sistemi ottici.

Ottica (Prof. L. Fini, Prof. M. Vannoni)

II semestre, 6 CFU

Programma - Ottica ondulatoria, 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. Principi di olografia. Richiami di ottica geometrica. Lenti sottili e lenti spesse in ottica parassiale. Proprietà delle superfici asferiche. Aberrazioni geometriche, teorema dei seni di Abbe, aberrazione cromatica. Aperture, pupille di ingresso e di uscita, cenni di radiometria. Applicazioni agli strumenti ottici.

Ottica biomedica (Prof. F. Pavone)

I semestre, 6 CFU

Programma - Microscopie 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. 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.

Sensoristica avanzata (Prof. F. Cataliotti, Prof. S. Sciortino)

II semestre – 6 CFU (corso rivolto anche agli studenti di Ingegneria)

Programma - Richiami a concetti di base sulle onde elettromagnetiche, riflessione e rifrazione, dispersione e assorbimento. Ottica geometrica. Interferenza e coerenza temporale. Diffrazione. Strumenti ottici e loro risoluzione. Cenni al funzionamento dei Laser, Principali strumenti spettroscopici Introduzione alla spettroscopia Raman. Propagazione in fibra ottica. Nozioni di base di radiometria. Misure ottiche di temperatura: pirometri ottici. Sensori inerziali, telemetri, Sensori a fibra ottica, giroscopi ottici, Particle imaging Velocimetry, Sensori spettroscopici per inquinanti, LIDAR.

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.

Sistemi relativistici (Prof. F. Becattini)

I semestre, 6 CFU

Programma – Meccanica statistica e termodinamica relativistica di equilibrio. Insiemi microcanonico, canonico e gran-canonico. Insieme canonico per gruppi non abeliani. Formulazione covariante della meccanica statistica. Fluidodinamica relativistica ideale e dissipativa riferimenti di Eckart e Landau, teoria di Israel-Stewart. Corrente di entropia. Meccanica statistica relativistica di non-equilibrio. Teoria di Zubarev dell'operatore densità di non-equilibrio. Formula relativistica di Kubo per i coefficienti di trasporto e sue proprietà. Applicazioni della fluidodinamica relativistica al plasma di quarks e gluoni.

Storia e fondamenti della fisica (Prof.ssa E. Castellani, Prof. A. Baracca)

II semestre, 6 CFU

Programma - Rivoluzione industriale, meccanica pratica, concetti energetici, macchina a vapore in Inghilterra. Rivoluzione francese, Lazare e Sadi Carnot, verso il concetto di entropia. Trasformazioni scientifiche nella seconda metà dell'800: teoria cinetica, elettromagnetismo. I limiti del meccanicismo. La rivoluzione scientifica del '900. La Meccanica Quantistica "ortodossa". Trasformazioni scientifiche dagli anni '30: fisica dello stato solido, nucleare, ecc. Filosofia dello spazio e del tempo (Philosophy of space and time). Il dibattito corrente sulle principali questioni filosofiche che sorgono intorno alla natura dello spazio e del tempo: A) (spazio e tempo) la natura assoluta o relazionale dello spazio e del tempo, sostanzialismo versus relazionismo, la natura del moto e le diverse teorie spazio-temporali, le simmetrie spazio-temporali e l'argomento del buco; B) (tempo) teorie dinamiche e statiche e teorie

'tensed' e 'tenseless' del tempo, le teorie del cambiamento (tridimensionalisti vs quadridimensionalisti), la freccia del tempo. i viaggi nel tempo.

Tecniche di analisi con fasci di ioni (Prof. M. Chiari)

II semestre – 6 CFU

Programma - Principi fisici e metodi delle tecniche di analisi con fasci di ioni (Ion Beam Analysis, IBA) per lo studio della composizione e della struttura dei materiali: PIXE -Particle Induced X-ray Emission, PIGE -Particle Induced Gamma-ray Emission, EBS -Elastic Backscattering Spectroscopy, ERDA -Elastic Recoil Detection Analysis, NRA -Nuclear Reaction Analysis. Applicazioni delle tecniche IBA nel campo della scienza dei materiali, dei beni culturali, delle scienze ambientali e della geologia.

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, Prof. S. Bottai)

I 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)

I 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)

I 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)

II 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. D. Dominici)

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.