



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI FISICA

GUIDA AI PERCORSI
DELLA LAUREA MAGISTRALE

ANNO ACCADEMICO 2021/22

ultima revisione: 20/10/2021

Il Corso di Laurea magistrale in Fisica si articola in due curricula, che lo studente sceglie contestualmente alla domanda di immatricolazione:

- **curriculum specialistico** focalizzato su specifici settori della Fisica quali: Acceleratori; Astrofisica; Elettronica; Fisica dei dati; Fisica della materia; Fisica medica e sanitaria; Fisica nucleare; Fisica delle particelle elementari; Fisica teorica; Fisica applicata (Geofisica, Fisica dell'ambiente, Fisica per i beni culturali);
- **curriculum pluri-settoriale** focalizzato su storia e didattica della Fisica con conoscenze distribuite in modo uniforme tra gli ambiti della Fisica, consigliato per l'insegnamento e la divulgazione della scienza o altre attività che richiedano competenze a largo spettro.

Come specificato in dettaglio nel Manifesto degli Studi https://apps.unimi.it/files/manifesti/ita_manifesto_F95of2_2022.pdf, per il conseguimento della Laurea magistrale lo studente deve acquisire 120 crediti formativi (CFU) in totale.

Per tutti i curricula e percorsi lo studente svolge le seguenti attività formative obbligatorie:

- accertamento della lingua inglese a livello B2 (3 CFU);
- insegnamento di Elettrodinamica Classica (6 CFU) al primo semestre;
- accertamento dell'apprendimento di Abilità informatiche e telematiche (3 CFU);
- preparazione della tesi e prova finale (36 CFU).

Nel **curriculum specialistico**, lo studente deve acquisire 42 CFU in insegnamenti caratterizzanti, scegliendo almeno 6 CFU in ognuno degli ambiti disciplinari "Sperimentale Applicativo", "Teorico e dei Fondamenti della Fisica", "Microfisico e della Struttura della Materia" e "Astrofisico, Geofisico e Spaziale". L'insegnamento di Elettrodinamica Classica appartiene all'ambito "Sperimentale Applicativo" e ne soddisfa la richiesta minima, rappresentando 6 dei 48 CFU qui previsti.

Lo studente deve inoltre acquisire 18 CFU scelti fra gli insegnamenti affini e integrativi.

Lo studente deve anche acquisire 12 CFU scegliendo liberamente fra tutti gli insegnamenti attivati dall'Ateneo, purché culturalmente coerenti con il suo percorso formativo e non sovrapponibili, nei contenuti, agli insegnamenti già utilizzati nel piano di studi.

Lo studente deve infine acquisire 6 CFU relativi a tirocini formativi e di orientamento tipicamente correlati con l'attività di preparazione della tesi di laurea. Il docente tutor di questa attività può essere il relatore della stessa tesi.

Nel **curriculum pluri-settoriale**, lo studente deve acquisire 48 CFU scegliendo 12 CFU in ognuno degli ambiti disciplinari riportati sopra. L'insegnamento di Elettrodinamica Classica appartiene all'ambito "Sperimentale Applicativo" e rappresenta 6 dei 48 CFU qui previsti.

Lo studente deve inoltre acquisire 12 CFU scelti fra gli insegnamenti affini e integrativi.

Lo studente deve anche acquisire 18 CFU scegliendo liberamente fra tutti gli insegnamenti attivati dall'Ateneo, purché culturalmente coerenti con il suo percorso formativo e non sovrapponibili, nei contenuti, agli insegnamenti già utilizzati nel piano di studi. È fortemente consigliato l'inserimento di insegnamenti in area antropo-psico-pedagogica come richiesto dalla normativa vigente per l'accesso ai bandi ministeriali per l'insegnamento.

Questa Guida riporta vari esempi di percorsi utili ad orientare lo studente nelle sue scelte.

Curriculum Specialistico - Percorso di Acceleratori di Particelle e Superconduttività Applicata

Docenti di riferimento: Lucio Rossi e Massimo Sorbi

Gli acceleratori di particelle (elettroni, protoni, ioni) sono uno strumento fondamentale per la ricerca nel campo della fisica delle particelle elementari (vedi grandi laboratori internazionali quali il CERN di Ginevra e il Fermilab negli USA).

Gli acceleratori di particelle estendono inoltre il loro dominio di applicazione a diversi altri settori, quali la produzione di radiazione di sincrotrone (laboratorio ELETTRA di Trieste), la produzione di neutroni per lo studio della struttura dei materiali, la produzione di radioisotopi a uso diagnostico, la produzione di raggi X per terapia oncologica e la cura di tumori direttamente con fasci di protoni o ioni (adroterapia, il cui centro di rilevanza mondiale in Italia è il CNAO di Pavia). A Milano esiste una notevole tradizione nel campo degli acceleratori, risalente agli anni 1960, che ha portato alla costruzione di due ciclotroni, tra cui il ciclotrone superconduttore (CS), installato e funzionante nei Laboratori Nazionali del Sud (LNS), progettato e costruito negli anni 80 nel laboratorio LASA (Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata) del Dipartimento di Fisica, sede principale delle attività sperimentali in fisica degli acceleratori a Milano. I gruppi di ricerca del LASA lavorano all'interno dell'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare), contribuendo ad alcuni dei progetti più importanti del panorama mondiale: l'LHC del CERN, il suo successore, High Luminosity LHC e il futuro FCC sempre al CERN; X-FEL di Amburgo (D) e il linac per protoni ESS (Svezia) e il futuro PIP-II del Fermilab .

Il percorso di Fisica degli Acceleratori prevede una descrizione dei principi di funzionamento degli acceleratori e delle macchine acceleratrici più importanti con particolare rilievo per gli acceleratori circolari e lineari per fisica fondamentale (Fisica Acceleratori I, Prof. L. Rossi). Una particolare enfasi è posta sulla tecnologia superconduttiva, che è oggi predominante negli acceleratori di ultima generazione (protoni ed elettroni), sia per i magneti che per le cavità a radiofrequenza (RF), e nei rivelatori per fisica delle particelle e astroparticelle. E' pertanto previsto il corso Superconduttività Applicata (Prof. M. Sorbi), il Laboratorio di Superconduttività Applicata (Dott. M. Statera, INFN) e il Laboratorio di Acceleratori (Dott. A. Bosotti, INFN), dedicato alle tecniche di accelerazione con cavità a radiofrequenza (RF).

Nel laboratorio LASA sono attive le seguenti linee di ricerca:

1. magneti superconduttori di tipo avanzato per sincrotroni e collider per la Fisica delle alte energie (HiLumi LHC, FCC,...), per acceleratori e "Gantry" (guida dei fasci) per adroterapia (CNAO e progetti Europei H2020), e per rivelatori di particelle
2. Cavità RF superconduttive per FEL (Free Electron Laser), Fisica delle alte energie (ILC, PIP-II) per acceleratori superconduttivi di protoni per Neutron Spallation Source (ESS).

3. Sorgenti di elettroni e di protoni con impulsi laser e studio nuovo acceleratore per generazione intensa raggi X per scopi medici e studio materiali (BriXino)

Sono disponibili tesi o temi di ricerca di dottorato da svolgere sulle linee di ricerca attive al LASA oppure nei laboratori italiani ed esteri con i quali esistono accordi di collaborazione. La preparazione dei laureati e i temi di ricerca affrontati sono molto apprezzati nei laboratori di ricerca sugli acceleratori sia italiani che esteri (CERN, Fermilab, ecc...) nonché nei laboratori industriali.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Fisica degli Acceleratori mod. I	b
Metodi Matematici della Fisica: equazioni differenziali 1 o altro corso di ambito disciplinare "Teorico e dei Fondamenti della Fisica"	b	Superconduttività Applicata	b
-Lab. di Fisica degli Acceleratori (in anni solari dispari) -Lab. di Superconduttività Applicata (in anni solari pari)	b	Corso a scelta tra affini e integrativi	c
Elementi di Fisica dei Continui (o altro corso di ambito "Astrofisico, Geofisico e Spaziale")	b	Corso a scelta tra affini e integrativi	c

Abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Corso a scelta libera	d
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
TOTALE CFU	33	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
- Lab. di Fisica degli Acceleratori (in anni solari dispari) - Lab. di Superconduttività Applicata (in anni solari pari)	b	Corso a scelta tra affini e integrativi	c
Corso a scelta libera, suggerendo tra: - Fisica Nucleare - Fisica delle Particelle - Interazione e rivelazione della radiazione nucleare	d	Tesi di laurea	36 CFU
		Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	48

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Si riportano nel seguito ulteriori scelte consigliate, ripartite per ambito:

Affini e Integrativi: Elettronica 1, Elettronica dei Sistemi Digitali, Metodologie di Analisi Dati, Laboratorio di Fisica delle Particelle, Laboratorio di Strumentazione Spaziale 1, Elettronica 2, Fisica dei Dispositivi Elettronici, Fondamenti di Energetica, Laboratorio di Strumentazione per i Rivelatori di Particelle, Metodi Computazionali della Fisica, Laboratorio di Fisica della Materia 2, Fondamenti della Fisica

Ambito “Sperimentale Applicativo”: Laboratorio di Elettronica.

Ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica”: Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 1, Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 2, Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi 1

Ambito “Microfisico e della Struttura della Materia”: Struttura della Materia 2, Laboratorio di Fisica dei Plasmi 1, Sviluppi recenti in Fisica delle Particelle e Astroparticelle, Rivelatori di Particelle, Fisica dei Plasmi e della Fusione Controllata, Fisica dei Solidi 1, Fisica dei Solidi 2, Fisica dei Dispositivi Elettronici

Curriculum Specialistico - Percorso di Astrofisica

Docente di riferimento: Luigi Guzzo

Maria Archidiacono, Marco Bersanelli, Giuseppe Bertin, Emanuele Castorina, Loris Colombo, Cristian Franceschet, Claudio Grillo, Luigi Guzzo, Giuseppe Lodato, Marco Lombardi, Davide Maino, Aniello Mennella, Pierre Pizzochero, Maurizio Tomasi - <http://astro.fisica.unimi.it>

La moderna ricerca in astrofisica si pone l'obiettivo di rispondere alle domande fondamentali sull'origine e il destino dell'Universo, a tutte le scale a noi accessibili. Grazie allo sviluppo di strumentazione avanzata e a metodologie teoriche e numeriche sempre più potenti, la frontiera in questo campo è stata oggi spinta ad un livello che anche solo pochi anni fa sarebbe parso impossibile. Gli ultimi decenni hanno portato a risultati rivoluzionari. Questi spaziano dalla scoperta di migliaia di nuovi pianeti attorno ad altre stelle a quella dell'accelerazione dell'espansione cosmica; dalla misura accurata della radiazione di fondo e la definizione di un modello cosmologico standard, alla rivelazione delle onde gravitazionali, un ulteriore tassello che va ad aggiungersi ad altri, come l'effetto di lensing gravitazionale, nel confermare la bontà della teoria della Relatività Generale.

L'Universo nel suo insieme si prefigura sempre di più come laboratorio privilegiato per mettere alla prova anche le teorie fisiche su scala microscopica: un ambito in cui, ad esempio, è possibile osservare fenomeni ad energie irraggiungibili nei nostri acceleratori di particelle. La moderna astrofisica, pertanto, è sempre più fortemente collegata con gli altri settori della fisica: dalla fisica fondamentale a quella dei sistemi complessi e dei fenomeni collettivi. Questo non solo per le metodologie teoriche utilizzate (che vanno dall'idrodinamica e fisica dei plasmi, alla relatività speciale e generale, alla fisica delle particelle elementari, alla fisica teorica in generale), ma per il contributo unico che le misure astrofisiche e cosmologiche sono e saranno in grado di fornire a questi ambiti.

Domande fondamentali che stanno al confine tra questi settori sono, ad esempio: da quali particelle è costituita l'inafferrabile *materia oscura* che appare dominare la dinamica dell'Universo? Qual è la massa dei neutrini? Cos'è l'*energia oscura* responsabile dell'accelerazione dell'espansione cosmica che oggi osserviamo? L'espansione esponenziale che si sarebbe verificata appena dopo il Big Bang (detta *inflazione*) è realmente avvenuta e da quale *campo* è stata prodotta? Come evolvono e quali sono le proprietà della materia nelle fasi finali della vita stellare, come le stelle di neutroni e i buchi neri? Assieme a queste l'astrofisica si trova inoltre oggi ad essere in grado di affrontare domande altrettanto fondamentali che riguardano il nostro ruolo nell'Universo. Come hanno avuto origine e come evolvono le galassie e i sistemi di stelle? Come si sono formate la Terra e i pianeti che oggi possiamo stimare siano centinaia di miliardi nella sola Galassia? E quindi, inevitabilmente: siamo soli nell'Universo?

Una tale varietà di problematiche scientifiche (e non solo) richiede chiaramente che le competenze da acquisire in una Laurea Magistrale coprano uno spettro estremamente ampio,

sia dal punto di vista sperimentale/fenomenologico, sia da quello della fisica fondamentale e degli strumenti teorici necessari. Scopo del Percorso Astrofisico è quindi quello di offrire allo studente interessato la possibilità di indirizzarsi lungo questi filoni d'avanguardia, tramite una formazione il più possibile ampia e bilanciata. Quest'ultima è garantita dalle competenze dei docenti presenti in Dipartimento, che sono attivi con ruoli di leadership in tutti i settori qui riportati.

Il Percorso Astrofisico affida quindi un ruolo importante ad alcuni corsi generali, concentrati nel primo anno, volti ad ampliare le conoscenze di fisica e matematica, accrescendo in parallelo quelle in ambito astrofisico, sia teoriche sia sperimentali; in questo quadro, oltre all'insegnamento obbligatorio di Elettrodinamica Classica, è fortemente consigliata la frequenza dei corsi di base di Metodi Matematici della Fisica e (per chi non l'abbia seguito nella Triennale e voglia indirizzarsi verso l'ambito relativistico/cosmologico) Introduzione alla Relatività Generale, cui affiancare corsi introduttivi più specifici di ambito astrofisico come Astronomia 1, Astronomia 2 e Astrofisica Extragalattica, oltre ad un corso di Laboratorio. La scelta va fatta rispettando i vincoli prescritti dal Regolamento della Laurea Magistrale nel bilanciare insegnamenti caratterizzanti e affini/integrativi: tra i corsi caratterizzanti, deve apparire almeno un corso di ambito "Microfisico e della Struttura della Materia". Vista la varietà di sotto-settori esistenti nell'ambito astrofisico, i docenti sono a disposizione per fornire consigli su come orientare il piano di studi rispetto ai propri interessi specifici e le proprie inclinazioni.

I corsi caratterizzanti dell'ambito "Astrofisico, Geofisico e Spaziale" (tutti da 6 CFU) sono: Astrofisica Extragalattica, Astrofisica Nucleare Relativistica 1, Astronomia 1, Elementi di Fisica dei Continui, Física Terrestre, Radioastronomia 1, Astrofisica Teorica 1, Astronomia 2, Cosmologia 1, Fisica dell'Atmosfera, Tettonofisica, Fisica Cosmica 1 (ad anni alterni). I corsi affini e integrativi di ambito Astrofisico (FIS/05) sono : Astrofisica Nucleare Relativistica 2, Astrofisica Teorica 2, Cosmologia 2, Fisica Cosmica 2, Laboratorio di Strumentazione Spaziale 1, Radioastronomia 2.

L'inizio del lavoro di preparazione della tesi può essere previsto già nel secondo semestre del primo anno, sebbene nella tabella esemplificativa riportata qui sotto sia indicato all'inizio del secondo anno. Il lavoro di tesi darà allo studente una prima introduzione al mondo della ricerca e sarà occasione di collaborazione con gruppi (teorici, sperimentali, o osservativi) anche al di fuori dell'Università (per esempio, presso altri istituti di ricerca italiani, come INAF e INFN, o stranieri).

Tra gli sbocchi specifici legati al Percorso di Astrofisica ricordiamo in particolare quelli relativi all'impiego presso istituti di ricerca in questo ambito, nazionali e internazionali, (in particolare l'INAF) e nell'ambito dell'industria aerospaziale. Rispetto a chi proviene da Lauree Magistrali più tecniche, lo studente laureato nel presente Percorso possiederà una visione più ampia e profonda degli obiettivi scientifici ai quali le tecnologie sono mirate e in generale una maggior sensibilità e competenza nell'ambito modellistico.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGI A	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGI A
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Corso di ambito Microfisico e della Struttura della Materia	b (*)
Astronomia 1	b	Un laboratorio (ad es. Laboratorio di Strumentazione Spaziale 1)	c
Corso a scelta tra: Metodi Matematici della Fisica: (con due opzioni: Equazioni Differenziali 1, oppure Geometria e Gruppi 1)	b	Corso a scelta	d (*)
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Corso a scelta	b
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU	Corso a scelta	c (*)
Corso a scelta	b (*)		
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGI A
Tesi di Laurea	12 CFU	Tesi di Laurea	24 CFU

Corso a scelta	c (*)	corso a scelta	d (*)
Corso a scelta	b (*)	Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	24	TOTALE CFU	36

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Per i corsi a scelta, oltre a tutti i corsi legati al Settore Scientifico Disciplinare FIS/05: (si veda la lista sopra) sono consigliati in particolare corsi relativi alla fisica dei continui, fisica dei plasmi, idrodinamica, relatività generale, simulazioni numeriche, metodologie di analisi dati, meccanica celeste, ottica.

Curriculum Specialistico - Percorso di Elettronica

Docenti di riferimento: V. Liberali, M. Lazzaroni, A. Pullia, S. Riboldi

La formazione è orientata a costruire una figura professionale predisposta all'innovazione e all'evoluzione tecnologica, adatta ad inserirsi in tutti gli ambiti applicativi dell'elettronica e particolarmente in quelli interdisciplinari.

Il percorso elettronico della laurea in fisica ha preparato centinaia di professionisti, docenti e ricercatori per i quali il sistema industriale lombardo è stato il principale soggetto di reclutamento. In molti casi questi laureati hanno costruito brillanti carriere al di fuori di tale ambito, in centri di ricerca nazionali ed internazionali, atenei e gruppi industriali extra-regionali.

Gli sbocchi professionali dei Fisici-Elettronici registrano punte di assorbimento particolarmente alte nell'industria dei componenti elettronici, nel settore aerospaziale e nel settore bio-medico.

La Laurea Magistrale qualifica per la progettazione e lo sviluppo di circuiti analogici e digitali, sistemi elettronici, strumentazione, offrendo una visione tecnologicamente aggiornata del sistema elettronico integrato. Gli aspetti di elettronica generale, strumentazione, tecnologie elettroniche e misure vengono trattati diffusamente nella Laurea Magistrale, nella quale vi è spazio per un approfondimento applicativo delegato principalmente all'esperienza di tesi. Le competenze sperimentali vengono efficacemente impartite nei corsi di laboratorio, riguardanti l'elettronica analogica e i sistemi digitali.

La tesi di laurea potrà essere svolta all'interno del Dipartimento di Fisica, nei laboratori di ricerca del gruppo di elettronica e nei laboratori elettronici dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, oppure all'esterno anche in qualificate sedi industriali o in centri di ricerca sulla base di collaudate collaborazioni che il corpo docente del Dipartimento ha in atto da decenni.

Le attività di ricerca all'interno del Dipartimento di Fisica riguardano la progettazione e lo sviluppo di circuiti elettronici innovativi e strumentazione avanzata, tra cui specificamente: circuiti integrati resistenti alle radiazioni, circuiti multi-canale di front-end e/o back-end per rivelatori di radiazioni ionizzanti, rivelatori di particelle, sistemi dedicati per l'acquisizione e l'elaborazione digitale di segnali negli esperimenti di fisica nucleare e delle alte energie, sistemi per lo studio dell'affidabilità e per il collaudo di apparati elettronici di potenza e point-of-load, circuiti elettronici per applicazioni interdisciplinari quali le nanotecnologie, lo studio dei materiali, la microscopia, la granulometria, la geofisica.

Nelle sedi esterne i campi di prevalente interesse su cui svolgere tesi di laurea sono quelli delle applicazioni aerospaziali, biomediche e nucleari. Circuiti integrati, memorie a semiconduttore e sistemi integrati micro-elettro-meccanici, in tutta la gamma dei problemi di ricerca e sviluppo che comportano, costituiscono gli altri ambiti di tesi svolte in collaborazione con la principale industria europea di semiconduttori.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Elettronica 2	b
Elettronica 1	b	Elettronica Nucleare	b (*)
Laboratorio di Elettronica	b	Fisica dei Dispositivi Elettronici	c
Corso a scelta di ambito "Teorico e dei Fondamenti della Fisica"	b	Laboratorio di Strumentazione per i Rivelatori di Particelle	c
Corso a scelta di ambito "Astrofisico, Geofisico e Spaziale"	b	Semiconductors Radiation Detectors (presso il Politecnico di Milano, in lingua inglese) o altro Corso a scelta	d
Abilità informatiche e telematiche	3	Accertamento di lingua inglese - livello B2	3
TOTALE CFU	33	TOTALE CFU	33

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Tirocinio (propedeutico alla Tesi di Laurea)	6 CFU	Tesi di laurea	26 CFU
Tesi di laurea	10		
Fondamenti di Energetica	c		

Corso a scelta	d		
TOTALE CFU	28	2	26

(*) insegnamento erogato ad anni alterni

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Curriculum Specialistico - Percorso di Fisica dei dati

Docente di riferimento: Guido Tiana

La Fisica, così come altre discipline scientifiche, produce dati sempre più abbondanti e complessi. Le tecniche classiche di analisi dei dati diventano sempre più inadatte ai nuovi scenari che investono tutti i campi della Fisica, dalla Fisica delle alte energie alla Biofisica, dall'Astrofisica alla Fisica dei materiali, sconfinando poi in tutti gli altri campi della scienza [J. Byers, *The Physics of Data*, *Nature* 2017]. Il percorso punta a sviluppare nello studente le capacità modellistiche e interpretative che caratterizzano l'approccio della Fisica, anche nelle sue applicazioni interdisciplinari. Gli studenti da un lato apprenderanno competenze specifiche della Fisica, dall'altro acquisiranno gli strumenti che caratterizzano l'analisi dati moderna. Una parte importante di questo percorso è la capacità di implementare sul computer le tecniche apprese, e quindi il percorso punta al "teaching by supervision", dove gli studenti devono affrontare e portare a termine progetti individuali ed esercizi *hands-on*. Gli sbocchi di una Laurea magistrale seguendo un percorso di Fisica dei dati sono molteplici. Uno studente con una preparazione di questo genere trova una collocazione naturale nella ricerca, sia dentro che fuori l'accademia. Inoltre, l'approccio modellistico della Fisica offre strumenti interpretativi fondamentali per orientarsi nei dati di qualunque natura, rendendo lo studente una preziosa risorsa in campo industriale e dei servizi avanzati [Sole24ore, 2017].

Gli insegnamenti suggeriti per questo percorso sono:

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica classica	b (spe)	Laboratorio di modellizzazione dati	b (ast)
Probabilità e statistica	b (mic)	Fisica statistica dei sistemi complessi	b (teo)
Strutture dati e algoritmi per la fisica dei dati	b (spe)	Fisica statistica avanzata	b (mic)

Machine learning con applicazioni	b (mic)	Processi stocastici	c
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU		
Accertamento lingua inglese B2	3 CFU		

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Insegnamento a scelta	c	Deep learning con applicazioni	c
Insegnamento a scelta	d	Tesi di laurea	36 CFU
Insegnamento a scelta	d	Tirocinio formativo	6 CFU

Tre insegnamenti del secondo anno sono a scelta dello studente, purché almeno uno scelto tra quelli “affini ed integrativi” (tipologia ‘c’). Consigliamo comunque agli studenti con particolari interessi in specifici campi della Fisica alcune possibili scelte per questi tre corsi, in modo da avere una base riguardo alla fenomenologia dello specifico interesse di studio:

INTERESSE	INSEGNAMENTI
Biofisica	Fisica delle proteine (b, 1sem)
	Biofisica computazionale (c, 1 sem)
	Biofisica (c, 1sem)
Alte energie	Interazioni elettrodeboli (b, 1sem)
	Fisica delle particelle (b, 1sem) oppure Fisica Astroparticellare (b, 1sem)
	Fenomenologia del Modello Standard (c, 2sem) oppure Metodologie di Analisi Dati (c, 1sem)
Astrofisica	Astronomia 1 (b, 1sem) ed eventualmente Astronomia 2 (b, 2sem)
	Introduzione all'Astrofisica (c, 2sem)
	Introduzione alla Relativita Generale (c, 2sem)
Atmosfera e ambiente	Fisica dell'ambiente (b, 2sem)
	Elementi di fisica dei continui (b, 1sem)
	Laboratorio di climatologia e fisica dell'atmosfera (c, 1sem anni alterni) o Modellistica geofisica ambientale (c, anni alterni)
Quantum information & technology	Teoria quantistica dell'informazione (c, 1sem)
	Teoria quantistica della computazione (c, 1sem)
	Coerenza e controllo dei sistemi quantistici (b, 1sem)
Fisica nucleare	Fisica Nucleare (b, 1 sem)
	Interazione e rivelazione della radiazione nucleare (b, 1sem)
	Laboratorio di strumentazione per i rivelatori di particelle (c, 2sem)
Fisica medica	Fisica Sanitaria (b, 1sem)
	Tecniche Fisiche di Diagnostica Medica (c, attivato nel 2sem 2022/23)

	Tecniche di Imaging per Applicazioni Biomediche (c, 1sem)
Fisica dei solidi	Fisica dei Solidi 1 (b, 2sem)
	Struttura della Materia 2 (b, 2sem)
	Laboratorio di Fisica della Materia 2 (c, 2sem)
Fisica dei solidi (ottica)	Fisica Atomica (c, 1sem)
	Ottica 1 (b, 2sem)
	Laboratorio di Fisica dei Laser 1 (b, 2sem) o Laboratorio di Ottica (dalla triennale, 2sem)
Fisica dei solidi (nanostrutture)	Fisica delle Superfici 1 (b, 1sem)
	Fisica dei Solidi 2 (b, 1sem)
	Proprietà Magnetiche e Analisi Fine della Materia a Bassa Dimensionalità (b, 1sem)
	Caratterizzazione di Nanostrutture e Film Sottili (c, 1sem)
Fisica dei plasmi	Fisica dei Plasmi e della Fusione Controllata (b, 2sem)
	Laboratorio di Fisica dei Plasmi (b, 2sem)
	Sistemi dinamici 1 (c, 2sem) oppure Fondamenti di energetica (c, 1sem) oppure Sistemi Hamiltoniani e teoria delle perturbazioni (c, 1sem) oppure Meccanica analitica 2 (c, 2sem)
Fisica teorica	Metodi computazionali della fisica (c, 2sem)
	Introduzione alla relatività generale (c, 1sem)
	Sistemi Hamiltoniani e teoria delle perturbazioni (c, 1sem)

Curriculum Specialistico - Percorso di Fisica della Materia

I diversi stati della materia, le molteplici strutture naturali ed artificiali che essa può realizzare dal nanometro alla dimensione della nostra galassia e la loro interazione con la radiazione pongono continue sfide ai ricercatori: da un lato, per lo sviluppo di nuovi materiali, di sorgenti di radiazione, e di sistemi con caratteristiche ed applicazioni innovative, dall'altro per migliorarne la comprensione fondamentale e consentirci di progettare e modificare le loro proprietà. Nel nostro dipartimento, affrontiamo molte di queste sfide usando approcci sia teorici che sperimentali.

Il percorso di Fisica della Materia si inquadra nel curriculum specialistico. Consigliamo agli studenti che intendono scegliere un percorso formativo nel settore della Fisica della Materia di inserire nel piano di studi, oltre all'insegnamento obbligatorio di *Elettrodinamica Classica*, quello (caratterizzante) di *Struttura della Materia 2*. È inoltre consigliato l'inserimento di *un insegnamento di fisica statistica* e di *un laboratorio sperimentale*. Quindi restano da scegliere 10 insegnamenti, rispettando i vincoli prescritti dal Regolamento della Laurea Magistrale in termini di insegnamenti caratterizzanti e affini: tra questi 10, 5 devono essere "caratterizzanti", e 3 devono essere "affini e integrativi". Gli ulteriori 2 insegnamenti sono a scelta completamente libera. Tra i 5 insegnamenti caratterizzanti, deve apparirne almeno uno di ambito "Teorico e dei Fondamenti della Fisica" e uno di ambito "Astrofisico, Geofisico e Spaziale" (essendo gli ambiti "Sperimentale Applicativo" e "Microfisico e della Struttura della Materia" già soddisfatti con *Elettrodinamica Classica* e *Struttura della Materia 2*). Per aiutare lo studente nella scelta, riportiamo nel seguito diversi esempi di percorso didattico nell'ambito di fisica della materia. Per ciascun percorso vengono forniti suggerimenti, non vincolanti, per la scelta degli insegnamenti da inserire nel piano di studi.

1) BIOFISICA

Docente di riferimento: Stefano Zapperi

Biofisica computazionale (*Guido Tiana, Stefano Zapperi*)

Studio di interazioni cellulari e biomolecolari in sistemi e interfacce nanostrutturati (*Alessandro Podestà, Cristina Lenardi, Paolo Milani*)

Sistemi biologici nativi e nanoparticelle (*Paolo Arosio, Francesca Baletto, Francesco Orsini*)

Biologia Quantitativa (*Marco Cosentino Lagomarsino*)

Lo studio dell'interazione tra la materia inorganica e sistemi organici di rilevanza biologica si avvale dell'applicazione di tecniche (raggi X, NMR, SEM, AFM, ipertermia magnetica, tecniche ottiche, simulazioni) e di concetti fisici (transizioni di fase, scale-free networks, ecc.) a problemi quali, ad esempio, il ripiegamento delle proteine, la struttura del DNA e dei complessi proteici, la dinamica della regolazione genica, lo sviluppo fenotipico di cellule staminali, i modelli computazionali per i processi cellulari e per la biomeccanica della cellula, delle membrane cellulari, di filamenti come i microtubuli. Si studiano anche nuovi agenti teranostici per applicazioni biomediche. Il percorso prevede corsi obbligatori di fisica di base e di fisica applicata alla biologia. A integrazione di questi sono previsti corsi facoltativi che appartengono anche al CCD di scienze biologiche.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Laboratorio ambito "Microfisico e della Struttura della Materia" o Affine e Integrativo	b oppure c
Struttura della Materia 2	b	Insegnamento a scelta libera	(*)
Meccanica Statistica 1	b	Insegnamento a scelta libera	(*)
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Insegnamento a scelta libera	(*)
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
		Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
Insegnamento a scelta libera	(*)	Tesi di laurea	36 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	48

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Si riportano nel seguito ulteriori scelte consigliate, ripartite per ambito:

Insegnamenti Affini e integrativi: Biochimica applicata allo sviluppo di molecole biologicamente attive** – Biochimica delle Proteine* – Biofisica – Biofisica Computazionale – Bioinformatica e Biostatistica** – Caratterizzazione di Nanostrutture e Film Sottili – Chimica Biologica* – Deep learning con applicazioni – Fisica degli aggregati molecolari – Fisica dei Liquidi e della Materia Soffice – Fisica dello stato solido: sistemi finiti, aggregati atomici, fullereni, proteine – Laboratorio di Simulazione Numerica – Metodi Computazionali della Fisica – Metodi d’indagine biochimica* – Ottica 1 – Proprietà magnetiche e analisi fine della materia a bassa dimensionalità – Proteomica Strutturale**

Ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica”: Fisica Statistica dei Sistemi Complessi, Teoria Statistica dei Campi

Ambito “Microfisico e della Struttura della Materia”: Fisica delle Proteine 1, Laboratorio di Ottica e Applicazioni, Fisica delle Superfici 1, Fisica Statistica Avanzata, Fisica dei Solidi 1, Fisica dei Solidi 2

*CCD Scienze biologiche; **CCD Biotecnologie

2) FISICA DEI PLASMI

Docente di riferimento: Massimiliano Romé

Fisica dei Plasmi (*Massimiliano Romé, Giancarlo Maero*)

Si studia il comportamento complesso del plasma, lo stato della materia più diffuso nell'universo. Lo studio è centrale in un ampio insieme di tematiche di ricerca, che comprendono: 1) problemi a carattere fondamentale, quali l'evoluzione non-lineare di sistemi fluidi e lo sviluppo di turbolenza e strutture coerenti, lo studio di fenomeni collettivi in plasmi di laboratorio e in plasmi astrofisici, il confinamento elettromagnetico di particelle cariche (trappole di Penning, tokamak, stellarator, ecc.) e la misura di proprietà fondamentali di materia e antimateria; 2) applicazioni tecnologiche, quali la fusione termonucleare controllata, le sorgenti avanzate di radiazione, l'accelerazione di particelle, la propulsione spaziale. Nel percorso formativo si conduce lo studente ad apprendere i fondamenti della fisica dei plasmi e ad indirizzarsi verso ricerche sui plasmi di laboratorio, sulla fusione controllata, su plasmi astrofisici e spaziali. Attività di ricerca sperimentale e teorica su queste tematiche è ben consolidata in Dipartimento, e ben inserita in ambito internazionale.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Fisica dei Plasmi e della Fusione Controllata	b
Metodi matematici della Fisica: Equazioni differenziali 1	b	Laboratorio di Fisica dei Plasmi 1	b
Struttura della Materia 2	b	Insegnamento a scelta libera	(*)
Elementi di Fisica dei Continui	b	Insegnamento a scelta libera	(*)

Abilità informatiche e telematiche	3 CFU		
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
Insegnamento a scelta libera	(*)	Tesi di laurea	36 CFU
		Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	48

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrativi

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Si riportano nel seguito ulteriori scelte consigliate, ripartite per ambito:

Corsi Affini e integrativi: Fondamenti di Energetica, Astrofisica Teorica 2, Sistemi Hamiltoniani e Teoria delle Perturbazioni, Meccanica Analitica 2, Sistemi Dinamici 1, Laboratorio di Simulazione Numerica

Ambito "Sperimentale Applicativo": Fisica degli Acceleratori 1, Laboratorio di Fisica degli Acceleratori

Ambito "Teorico e dei Fondamenti della Fisica": Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi 1, Meccanica Statistica 1

Ambito "Microfisico e della Struttura della Materia": Ottica 1, Fisica Statistica Avanzata, Laboratorio di Fisica dei Laser 1

3) ANALISI FINE DELLA MATERIA; PROPRIETÀ ELETTRONICHE E MAGNETICHE DI SOLIDI E SISTEMI A BASSA DIMENSIONALITÀ

Docenti di riferimento: Giorgio Rossi, Paolo Arosio

Magnetismo e Superconduttività (*Paolo Arosio, Francesco Orsini*)

Proprietà magnetiche di superficie (*Giorgio Rossi*)

Analisi fine della materia (*Andrea Giugni, Giorgio Rossi*)

L'analisi fine della materia allo stato condensato utilizza radiazione elettromagnetica, campi intensi o fasci di particelle (elettroni, neutroni, muoni) per sondare la struttura e le correlazioni elettroniche di sistemi fisici in vari stati di aggregazione e con varia dimensionalità. I metodi sperimentali raggiungono la risoluzione atomica per gli aspetti strutturali, risoluzione energetica alla scala dei meV per la spettroscopia e risoluzione temporale alla scala dei femtosecondi per esperimenti pompa-sonda. La ricerca è rivolta alle proprietà elettroniche e magnetiche di sistemi a bassa dimensionalità (superfici, fili atomici, piccoli aggregati), alle proprietà dinamiche delle fasi eccitate e alle transizioni di fase, ed ha impatto sulle possibili funzionalità di materiali quantistici o di architetture artificiali alla scala nanometrica per possibili applicazioni (spintronica, sensoristica, nano-biomedicina). I metodi più particolarmente approfonditi sono: i) la spettroscopia muonica; ii) la risonanza magnetica nucleare (NMR); iii) la spettroscopia ottica e Raman con risoluzione temporale ai 100 fs; iv) la spettroscopia del reticolo transiente (fononi e onde di spin); v) la spettroscopia di assorbimento X con luce polarizzata di sincrotrone (X-ray Absorption Spectroscopy, X-ray Magnetic Circular Dichroism); vi) la spettroscopia dei fotoelettroni con risoluzione in energia, momento e polarizzazione di spin; vii) i metodi di crescita di solidi nanostrutturati (fasci molecolari, ablazione laser); viii) i metodi della fisica delle superfici; ix) le tecniche pompa-sonda con sorgenti da laser a elettroni liberi (FEL) e da armoniche di laser generate in cristalli e in gas (High Harmonic Generation).

Il percorso prevede una preparazione sperimentale e teorica di struttura della materia, fisica atomica, fisica delle superfici, proprietà magnetiche dei materiali e delle superfici, fisica degli acceleratori e dei laser (tecnologie di base per le sorgenti per spettroscopia con radiazione elettromagnetica, neutroni da spallazione e muoni). L'accesso in tirocinio alle sorgenti Elettra e FERMI in connessione all'insegnamento *Proprietà magnetiche e Analisi Fine della Materia a Bassa Dimensionalità* rappresenta un'occasione di contatto con la strumentazione avanzata per l'analisi fine offerta dalle grandi Infrastrutture di Ricerca

analitiche di rilevanza internazionale. La possibilità di svolgere la tesi presso i laboratori NFFA (www.Trieste.NFFA.eu) permette di acquisire le competenze per operare con i metodi avanzati di analisi fine e con i relativi metodi di analisi dati e gestione dei dati, nonché di partecipare a implementazioni di nuovi set-up.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Meccanica Statistica 1/Fisica Statistica Avanzata	b
Struttura della Materia 2	b	Laboratorio ambito "Microfisico e della Struttura della Materia" o Affine e Integrativo	b oppure c
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Insegnamento a scelta libera	(*)
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)

Insegnamento a scelta libera	(*)	Tesi di laurea	36 CFU
		Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	48

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Si riportano nel seguito ulteriori scelte consigliate, ripartite per ambito:

Insegnamenti Affini e integrativi: Proprietà magnetiche e analisi fine della materia a bassa dimensionalità - Biofisica Computazionale - Fisica dei Dispositivi Elettronici — Biofisica Avanzata – Laboratorio di Fisica della Materia 2 – Metodi computazionali della Fisica – Modellistica geofisica e ambientale - Caratterizzazione di Nanostrutture e film sottili – Teoria Quantistica dell’Informazione – Elettronica 1 – Elettronica dei sistemi digitali – Fisica Atomica – Storia della Scienza e della Tecnica, - Biofisica – Fisica dei Liquidi e della materia Soffice – Laboratorio di Fisica dell’Atmosfera - Elettronica 2 - Laboratorio di Simulazione Numerica.

Ambito “Sperimentale Applicativo”: Laboratorio di Elettronica Analogica – Laboratorio di Elettronica Digitale - Fisica dell’Ambiente.

Ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica”: Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 1- Teoria dei Sistemi a molti corpi 2 – Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi 1 – Metodi matematici della Fisica: Equazioni Differenziali 1 – Meccanica Statistica 1 - Meccanica Statistica 2.

Ambito “Microfisico e della Struttura della Materia”: Fisica Statistica Avanzata - Fisica dei Semiconduttori – Fisica delle Proteine 1 – Laboratorio di Ottica Quantistica - Laboratorio di Ottica e applicazioni - Fisica dei Solidi 1 - Fisica dei Solidi 2 – Fisica delle Superfici 1 – Ottica 1 - Ottica Quantistica - Laboratorio di Fisica dei Laser – Meccanica Statistica 1

Ambito “Astrofisico, Geofisico e Spaziale”: Elementi di Fisica dei Continui – Fisica dell’Atmosfera – Fisica Terrestre.

4) NANOSTRUTTURE E MATERIALI NANOSTRUTTURATI

Docente di riferimento: Paolo Milani

Sintesi e caratterizzazione (*Paolo Milani, Cristina Lenardi, Alessandro Podestà, Paolo Piseri, Marcel Di Vece, Andrea Falqui*)

Fasci molecolari supersonici (*Paolo Milani, Paolo Piseri*)

Spettroscopia fotoelettronica (*Cristina Lenardi, Marcel Di Vece*)

Nanocompositi e nanopolimeri (*P. Milani, C. Lenardi, F. Baletto*)

Tecniche *scanning probe* per lo studio di sistemi e interfacce nanostrutturati (*Alessandro Podestà*)

Tecniche di microscopia elettronica avanzata per lo studio di sistemi nanostrutturati e biologici (*Andrea Falqui*)

In questo settore nel Dipartimento di Fisica esistono attività sperimentali e teoriche ben consolidate e riconosciute internazionalmente nel campo delle nanoscienze e nanotecnologie, della fisica dei solidi e delle superfici. La sinergia di queste attività supporta un'offerta formativa molto ricca in questo campo. I problemi affrontati vanno dalla coesistenza di effetti classici e quantistici in oggetti di dimensioni nanometriche, allo studio di fenomeni e sistemi di interesse biofisico, alla realizzazione e caratterizzazione di dispositivi per la sensoristica, conversione e accumulazione di energia (fotovoltaico, supercapacitori) e per il biomedicale (sistemi di analisi per la genomica e la proteomica, nuovi materiali polimerici e nanocompositi). L'attività teorica comprende lo sviluppo di metodi di frontiera per il calcolo degli spettri di eccitazione. Il percorso è caratterizzato da un'elevata interdisciplinarietà, con una forte base di fisica della materia (fisica dei solidi, delle superfici, dei semiconduttori, tecniche fisiche di caratterizzazione avanzata con risoluzione nanometrica e subnanometrica) e di corsi di laboratorio. Le competenze acquisite offrono ottime opportunità lavorative sia in campo di ricerca industriale applicata, sia di ricerca di base.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
----------------	-----------	------------------	-----------

Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Fisica Statistica Avanzata	b
Struttura della Materia 2	b	Laboratorio ambito "Microfisico e della Struttura della Materia" o Affine e integrativo	b oppure c
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Insegnamento a scelta libera	(*)
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
Insegnamento a scelta libera	(*)	Tesi di laurea	36 CFU
		Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	48

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

- c Affini e integrative
- d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Si riportano nel seguito ulteriori scelte consigliate, ripartite per ambito:

Insegnamenti Affini e integrativi: Biofisica – Biofisica Computazionale - Fisica dei Dispositivi Elettronici — Biofisica Avanzata – Caratterizzazione di Nanostrutture e film sottili – Deep learning con applicazioni – Elettronica 1 – Elettronica 2 – Elettronica dei sistemi digitali – Fisica Atomica – Fisica degli aggregati molecolari – Fisica dei Liquidi e della materia Soffice – Fisica dello stato solido: sistemi finiti, aggregati atomici, fullereni, proteine – Fondamenti di Microscopia Elettronica e Spettroscopie Associate – Laboratorio di Fisica dell’Atmosfera – Laboratorio di Fisica della Materia 2 – Laboratorio di Simulazione Numerica – Metodi computazionali della Fisica – Modellistica geofisica e ambientale – Proprietà magnetiche e analisi fine della materia a bassa dimensionalità – Teoria dei Sistemi Quantistici Aperti – Teoria Quantistica dell’Informazione – Storia della Scienza e della Tecnica.

Ambito “Sperimentale Applicativo”: Laboratorio di Elettronica Analogica – Laboratorio di Elettronica Digitale - Fisica dell’Ambiente.

Ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica”: Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 1- Teoria dei Sistemi a molti corpi 2 – Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi 1 - Metodi matematici della Fisica: Equazioni Differenziali 1 - Meccanica Statistica 1 - Meccanica Statistica 2.

Ambito “Microfisico e della Struttura della Materia”: Meccanica Statistica 1 - Fisica dei Semiconduttori - Fisica delle Proteine 1 - Laboratorio di Ottica Quantistica - Laboratorio di Ottica e applicazioni - Fisica Statistica Avanzata - Fisica dei Solidi 1 - Fisica dei Solidi 2 - Fisica delle Superfici 1 - Ottica 1 - Ottica Quantistica - Laboratorio di Fisica dei Laser.

Ambito “Astrofisico, Geofisico e Spaziale”: Elementi di Fisica dei Continui – Modellistica Geofisica e Ambientale - Fisica dell’Atmosfera – Fisica Terrestre - Fisica dell’Atmosfera.

5) SISTEMI COMPLESSI

Docente di riferimento: *Alberto Vailati*

Fluidi complessi (*Alberto Vailati, Marco Potenza, Bruno Paroli, Marina Carpineti*)

Plasmi Complessi (*Massimiliano Romé, Giancarlo Maero*)

Meccanica statistica teorica e sistemi disordinati (*Sergio Caracciolo, Stefano Zapperi, Roberto Guerra*)

Fisica teorica interdisciplinare e biologia quantitativa (*Marco Cosentino Lagomarsino, Marco Gherardi*)

Teoria dei fluidi e dei materiali complessi (*Alessio Zaccone*)

Fisica statistica della materia (*Davide Galli, Davide Pini*)

Biofisica computazionale (*Guido Tiana*)

Fisica dei fasci di particelle e di radiazione (*Vittoria Petrillo*)

Cosa succede quando un numero elevato di entità elementari, siano esse granelli di sabbia, catene polimeriche, cellule, esseri viventi..., vengono fatte interagire tra loro? La scienza è in grado di fornire una descrizione dettagliata del comportamento di singole entità di questo tipo. Quando però vengono considerate collettivamente emergono comportamenti cooperativi inattesi, come la formazione di strutture auto-organizzate. Sistemi complessi di questo tipo presentano una fenomenologia molto ricca. La loro dinamica è spesso non lineare, accompagnata dallo sviluppo di correlazioni spazio-temporali complesse, che presentano frequentemente invarianza di scala. Di particolare rilevanza in questi sistemi è il ruolo delle fluttuazioni, soprattutto in presenza di transizioni di fase e di turbolenza. Gli ambiti di ricerca comprendono lo studio teorico, sperimentale e computazionale di sistemi complessi quali fluidi complessi classici e quantistici, plasmi complessi, materia soffice, materiali disordinati, sistemi biologici ed ecosistemi sorgenti di radiazione basate su fasci di elettroni ad alta brillantezza.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Fisica Statistica Avanzata	b
Struttura della Materia 2	b	Laboratorio ambito "Microfisico e della Struttura della Materia" o Affine e integrativo	b oppure c

Abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Insegnamento a scelta libera	(*)
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
Insegnamento a scelta libera	(*)	Tesi di laurea	36 CFU
		Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	48

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Si riportano nel seguito ulteriori scelte consigliate, ripartite per ambito:

Corsi Affini e integrativi: Sistemi Dinamici 1 – Biofisica Avanzata - Biofisica Computazionale - Fisica dei Liquidi e della Materia Soffice - Biofisica - Laboratorio di Simulazione Numerica

Ambito “Sperimentale Applicativo”: Strutture Dati e Algoritmi per la Fisica dei Dati

Ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica”: Teoria Statistica dei Campi 1 - Meccanica Statistica 1 - Fisica Statistica dei Sistemi Complessi

Ambito “Microfisico e della Struttura della Materia”: Fisica dei Plasmi e della Fusione Controllata - Fisica delle Proteine 1 - Laboratorio di Ottica e Applicazioni - Laboratorio di Fisica dei Plasmi 1 - Fisica Statistica Avanzata - Ottica 1

Ambito “Astrofisico, Geofisico e Spaziale”: Elementi di Fisica dei continui - Laboratorio di Modellizzazione Dati

Inoltre, è possibile scegliere insegnamenti *esterni su argomenti non coperti internamente* (da valutare caso per caso): statistica avanzata, genetica e genomica, bioinformatica avanzata, biologia molecolare, finanza, ecologia, scienze sociali, tecniche sperimentali avanzate.

6) **SCIENZA E TECNOLOGIE QUANTISTICHE**

Docente di riferimento: Matteo Paris

(*M. Paris, C. Benedetti, F. Castelli, S. Cialdi, A. Ferraro, M. Genoni, S. Olivares, N. Piovella, A. Smirne, D. Tamascelli, B. Vacchini*)

Il percorso è dedicato allo studio dei sistemi quantistici a bassa energia nei suoi risvolti fondamentali e applicativi, con particolare enfasi all’interazione radiazione/materia ed ai fenomeni di coerenza quantistica. L’offerta formativa include insegnamenti di base sui sistemi costituiti da atomi e fotoni, insegnamenti di meccanica quantistica avanzata, e insegnamenti su argomenti alla frontiera della ricerca, tra cui i condensati atomici, i sistemi opto-meccanici, i sistemi quantistici aperti, i quantum walks e le tecnologie quantistiche, ovvero le applicazioni della meccanica quantistica a nuovi sistemi computazionali e a nuovi protocolli di misura e di trasmissione dell’informazione. Lo studente potrà avvicinarsi a tematiche teoriche e sperimentali scegliendo tra gli insegnamenti consigliati e impegnandosi nel lavoro di tesi. La ricerca del gruppo punta a risolvere problemi di fondamento con inaspettate applicazioni tecnologiche ed a formare una nuova generazione di ricercatori che possano sfruttare le proprietà quantistiche di radiazione e materia nella trasmissione e manipolazione dell’informazione. Oltre alla ricerca fondamentale e applicata in centri di ricerca nazionali ed internazionali, gli sbocchi professionali principali sono la ricerca e sviluppo in ambito opto-elettronico e quantum computing, la fisica e la tecnologia dei laser, le comunicazioni e la crittografia quantistiche e la metrologia.

Corsi consigliati:

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Ottica Quantistica	b
Teoria dei sistemi quantistici aperti	c	Laboratorio di fisica dei Laser	b
Coerenza e Controllo dei Sistemi Quantistici	b	Un insegnamento di ambito "Astrofisico, Geofisico e Spaziale"	b
Teoria Quantistica dell'informazione	c	Teoria Quantistica della Computazione	c
Fisica Atomica	d		
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU		
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Quantum Walks	c	Corso a scelta libera	(*)
Laboratorio di Ottica Quantistica	b	Tesi di laurea	36 CFU

		Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	48

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

7) **TEORIA DELLA MATERIA CONDENSATA**

Docente di riferimento: Giovanni Onida

Gas, Fluidi e Solidi Quantistici *(Davide Galli)*

Teoria del funzionale densità: metodi e applicazioni a solidi, superfici e nanostrutture
(Simona Achilli, Francesca Baletto, Guido Fratesi, Nicola Manini, Giovanni Onida)

Fenomeni di attrito su scala nanometrica *(Francesca Baletto, Roberto Guerra, Nicola Manini)*

Materia soffice *(Nicola Manini, Davide Pini, Alessio Zaccone)*

Fluttuazioni statistiche e effetti di scala nei materiali *(Roberto Guerra, Stefano Zapperi)*

Dinamica molecolare e materiali alle nanoscale *(Francesca Baletto, Roberto Guerra, Alessio Zaccone, Stefano Zapperi)*,

In questo percorso vengono forniti strumenti concettuali e algoritmici avanzati per lo studio e la previsione delle proprietà della materia. In particolare la formazione consente di addentrarsi negli sviluppi più recenti dei metodi teorici e computazionali, sia classici sia quantistici, per lo studio di numerosi sistemi quali, ad esempio i gas diluiti ultrafreddi, superfluidi, solidi e solidi quantistici, oppure superfici, clusters e materiali nanostrutturati per i quali si apprende come affrontare il calcolo di proprietà strutturali, elettroniche, dinamiche, vibrazionali, e spettroscopiche, anche mediante metodi “da principi primi”. Inoltre lo studente può apprendere le tecniche più avanzate per lo studio dei fenomeni di attrito e nanoattrito alle interfacce, sia mediante simulazioni di dinamica molecolare, sia

tramite lo sviluppo di teorie statistiche a molti corpi. Infine il percorso include la possibilità di specializzarsi nel campo della "materia soffice" (es.: liquidi e soluzioni di molecole complesse) affrontando tematiche a carattere interdisciplinare tra fisica, chimica e biologia. Viene dato particolare risalto a tutte le proprietà funzionali rilevanti per le applicazioni. Le competenze acquisite, di carattere teorico/modellistico/informatico, sono spendibili in ambiti diversi, in particolare per la simulazione numerica avanzata anche in campi esterni alla fisica.

Insegnamenti consigliati:

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Meccanica Statistica 1, Fisica Statistica Avanzata, Fisica Statistica dei Sistemi Complessi	b
Struttura della Materia 2	b	Laboratorio in ambito "Microfisico e della Struttura della Materia" o "Affine e integrativo"	b oppure c
Insegnamento a scelta tra: (a) Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 1 (b) Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi 1	b	Metodi Computazionali della Fisica	c
Modellistica Geofisica e Ambientale o Fisica Terrestre o Elementi di Fisica dei Continui	b	Insegnamento a scelta libera	(*)
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Insegnamento a scelta libera	(*)
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
Insegnamento a scelta libera	(*)	Tesi di laurea	36 CFU
		Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	48

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Si riportano nel seguito ulteriori scelte consigliate, ripartite per ambito:

Insegnamenti Affini e integrativi: Biofisica - Biofisica Computazionale – Biofisica Avanzata – Calcolatori Quantistici – Caratterizzazione di Nanostrutture e film sottili – Deep learning con applicazioni – Fisica Atomica – Fisica degli aggregati molecolari – Fisica dei Dispositivi Elettronici – Fisica dei Liquidi e della materia soffice – Laboratorio di Fisica della Materia 2 – Laboratorio di Simulazione Numerica – Modellistica geofisica e ambientale – Teoria dei Sistemi Quantistici Aperti - Teoria Quantistica dell’Informazione – Storia della Scienza e della Tecnica.

Ambito “Sperimentale Applicativo”: Fisica dell’Ambiente.

Ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica”: Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 1 - Teoria dei Sistemi a molti corpi 2 - Metodi matematici della Fisica: Equazioni Differenziali 1.

Ambito “Microfisico e della Struttura della Materia”: Fisica dei Semiconduttori – Fisica delle Proteine 1 - Fisica dei Solidi 1 - Fisica dei Solidi 2 - Fisica delle Superfici 1 - Laboratorio di Ottica e applicazioni - Laboratorio di Ottica Quantistica - Machine learning con applicazioni - Ottica 1 - Ottica Quantistica.

Ambito "Astrofisico, Geofisico e Spaziale": Fisica dell'Atmosfera.

8) OTTICA E APPLICAZIONI

Docente di riferimento: Marco Potenza

Light scattering, ottica statistica (*Marco Potenza, Alberto Vailati, Bruno Paroli*)

Ottica classica, imaging coerente e incoerente, olografia (*Marco Potenza, Alberto Vailati, Bruno Paroli*)

Laser, interazione radiazione materia (*Simone Cialdi*)

Fisica dei fasci di particelle e di radiazione (*Vittoria Petrillo, Marco Potenza, Bruno Paroli*)

In questo percorso verranno forniti strumenti concettuali, di laboratorio e di calcolo numerico per lo studio delle proprietà fisiche di sistemi ottici e per le loro applicazioni in ambito diagnostico avanzato. Le tematiche richiedono l'utilizzo di metodi classici e quantistici e riguardano sia lo studio delle tecniche ottiche intese come applicazione di fenomeni specifici delle proprietà della radiazione, sia le applicazioni dell'ottica come mezzo di indagine della materia. Il percorso ha connessioni strette con lo studio della "materia soffice" (es.: liquidi complessi fuori dall'equilibrio termodinamico) e tematiche a carattere interdisciplinare tra fisica, chimica e fisica dei fasci di particelle. Le attività su cui è basato il percorso sono di carattere prevalentemente sperimentale e portano all'acquisizione delle competenze necessarie per la gestione di esperimenti che comprendano parti importanti di ottica. Le competenze acquisite sono spendibili anche in ambiti diversi della fisica.

Insegnamenti consigliati:

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Meccanica Statistica 1 / Fisica Statistica Avanzata / Fisica	b

		Statistica dei Sistemi Complessi	
Struttura della Materia 2	b	Laboratorio ambito "Microfisico e della Struttura della Materia" o Affine e integrativo	b oppure c
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Insegnamento a scelta libera	(*)
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Insegnamento a scelta libera	(*)	Insegnamento a scelta libera	(*)
Insegnamento a scelta libera	(*)	Tesi di laurea	36 CFU
		Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	48

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

- c Affini e integrative
- d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Si riportano nel seguito ulteriori scelte consigliate, ripartite per ambito:

Insegnamenti Affini e integrativi: Sistemi Dinamici 1 – Biofisica Avanzata - Biofisica Computazionale - Fisica dei Liquidi e della Materia Soffice – Biofisica.

Ambito “Sperimentale Applicativo”: Elettronica 1 - Laboratorio di Elettronica - Analisi Ottiche per i Beni Culturali.

Ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica”: Teoria Statistica dei Campi 1 - Meccanica Statistica 1 - Meccanica Statistica 2 - Metodi Matematici della Fisica: Equazioni Differenziali 1

Ambito “Microfisico e della Struttura della Materia”: Fisica dei Plasmi e della Fusione Controllata - Laboratorio di Fisica dei Laser 1 - Fisica delle Proteine 1 - Laboratorio di Ottica e Applicazioni - Laboratorio di Fisica dei Plasmi 1 - Fisica Statistica Avanzata - Ottica 1

Ambito “Astrofisico, Geofisico e Spaziale”: Elementi di Fisica dei Continui - Radioastronomia 1 - Fisica dell’Atmosfera

Curriculum Specialistico - Percorso di Fisica delle Particelle e delle Astroparticelle

Docente di riferimento: M. Fanti

Altri docenti:

Fisica delle Particelle: A. Andreatza, L. Carminati, S. D'Auria, N. Neri, L. Perini, F. Ragusa.

Fisica Astroparticellare: D. D'Angelo, F. Ferraro, L. Miramonti, A. Re.

Negli ultimi decenni un'intensa attività teorica e sperimentale ha portato ad una comprensione molto dettagliata delle interazioni elettromagnetiche, deboli e forti che sono ben descritte da una teoria di gauge di leptoni e quarks chiamata "Modello Standard", la cui simmetria è rotta spontaneamente mediante il meccanismo di Higgs. Il modello Standard ha però dei problemi di "consistenza interna" o di "naturalzza" che fanno pensare che si tratti in realtà di una teoria approssimata (alle scale di energie cui la teoria stessa è stata studiata e verificata) e che a scale di energie maggiori si debba far ricorso ad una teoria più generale. Ulteriori indicazioni in questo senso provengono da misure sperimentali quali le misure di precisione di LEP, LHC e del Tevatron, le oscillazioni dei neutrini, le fluttuazioni nella radiazione del fondo cosmico di microonde, l'accelerazione dell'espansione dell'universo, l'evidenza astrofisica di materia oscura. Esistono molte possibilità teoriche per questa generalizzazione ma è oggi indispensabile ottenere dei risultati sperimentali che indichino quali delle tante possibilità siano da studiare più attentamente.

Le attività di ricerca del nostro dipartimento in questo settore vedono rilevanti partecipazioni di fisici del nostro dipartimento e dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di Milano e permetteranno agli studenti interessati di svolgere tesi di laurea sugli argomenti indicati, con possibilità di soggiorno presso i principali laboratori nazionali e internazionali in collaborazione con i quali si svolgono le ricerche.

Il curriculum proposto parte dal presupposto che l'interesse dello studente sia diretto verso la comprensione dei fenomeni di Fisica delle Particelle e ha l'obiettivo di dotare lo studente delle conoscenze necessarie per comprendere le attuali problematiche del settore mediante lo studio dei più recenti risultati quali la fisica del Modello Standard, le misure di precisione sul bosone di Higgs, la fisica dei neutrini, la ricerca di nuove particelle supersimmetriche e di materia oscura, la violazione dell'invarianza CP, lo studio dei raggi cosmici di ultra alta energia e delle onde gravitazionali.

Per gli studenti con interessi maggiormente orientati verso gli aspetti tecnologici della strumentazione del settore sono possibili piani di studio alternativi con maggiore enfasi verso materie di tipo tecnologico o applicativo.

Lo studente ha la possibilità di completare la sua preparazione con almeno un corso nell'ambito di Fisica Teorica (suggeriti sono Fisica Teorica 1, Relatività Generale 1, Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi 1, Teoria delle Interazioni Fondamentali 1), almeno un corso nell'ambito Astrofisico (suggeriti sono Astronomia 1, Cosmologia, Astrofisica Nucleare e Relativistica 1, Astrofisica Teorica) e privilegiando i suoi personali interessi con due corsi a scelta, per i quali segnaliamo: Metodologie di Analisi dei Dati, Rivelatori di Particelle, Fisica degli Acceleratori 1, Elettronica 1, Elettronica dei Sistemi Digitali, Elettronica Nucleare.

Per finire qualche considerazione sugli sbocchi occupazionali: trattandosi di un curriculum rivolto allo studio di problemi fondamentali, pensiamo che gli studenti siano molto interessati alla possibilità di proseguire la carriera in ambito accademico, eventualmente dopo un dottorato di ricerca. Per la carriera accademica i principali enti sono: a) le università (italiane o estere); b) l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare; c) istituzioni internazionali che svolgono ricerca in fisica delle particelle elementari, fra questi segnaliamo in particolare il CERN (il laboratorio europeo che ospita i più grandi acceleratori del mondo); d) altri enti di ricerca pubblici qualora ci si sposti su settori di ricerca diversi dalla Fisica delle Particelle.

Per attività lavorative di tipo non accademico gli studenti possono far conto su una solida preparazione che li porta ad avere competenze in campi quali elaborazioni statistiche di dati, capacità di formulare modelli matematici e di utilizzarli con competenza, conoscenze tecnologiche in settori quali la microelettronica, la meccanica di precisione e comunque la capacità di lavorare all'interno di grossi gruppi internazionali con ritmi e professionalità molto apprezzate nelle aziende.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Fenomenologia del Modello Standard delle Particelle Elementari	c
Interazioni Elettrodeboli	b	Laboratorio di Strumentazione per Rivelatori di Particelle	c

Fisica delle Particelle	b	Rivelatori di Particelle	b
Corso di ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica” o “Astrofisico, Geofisico e Spaziale”	b	Corso di ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica” o “Astrofisico, Geofisico e Spaziale”	b
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Corso a scelta libera	(*)
Accertamento di lingua inglese – livello B2	3 CFU		
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Laboratorio di Fisica delle Particelle	c	Tesi di Laurea	36 CFU
Fisica Astroparticellare	b	Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
Corso a scelta libera	(*)		
TOTALE CFU	18	TOTALE CFU	42

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

(*) A scelta tra tutti quelli dell’Ateneo

Si riportano nel seguito ulteriori scelte consigliate:

Ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica”: Teoria delle Interazioni Fondamentali 1, Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi 1, Relatività Generale, Fisica Teorica 1

Ambito “Astrofisico, Geofisico e Spaziale”: Astronomia 1, Astrofisica Nucleare e Relativistica 1, Cosmologia, Astrofisica Teorica

Si segnalano infine i seguenti insegnamenti:

Affini e integrativi: Elettronica dei Sistemi Digitali, Metodologie di Analisi Dati, Deep Learning con applicazioni

Ambito “Sperimentale applicativo”: Elettronica 1, Fisica degli Acceleratori

Ambito “Microfisico e della Struttura della Materia”: Elettronica Nucleare (erogato ad anni alterni).

Curriculum Specialistico - Percorso di Fisica Medica e Sanitaria

Docenti di riferimento: Ivan Veronese, Daniela Bettega, Flavia Groppi

Radiobiologia (Daniela Bettega)

Dosimetria (Ivan Veronese, Salvatore Gallo)

Biomateriali e dispositivi per applicazioni biomediche (Cristina Lenardi)

Risonanza Magnetica Nucleare e tecniche di Imaging (Paolo Arosio, Francesco Orsini)

Radioprotezione, produzione di radionuclidi per applicazioni in Medicina e Nanoteranostica (Flavia Groppi).

La Fisica Medica e Sanitaria riguarda l'applicazione di metodologie fisiche, sperimentali e teoriche, alla medicina e alla salute dell'uomo e dell'ambiente. La Fisica Medica e Sanitaria si rivolge all'impiego delle radiazioni ionizzanti e non ionizzanti sia in diagnostica che in terapia, con riferimento a tematiche di dosimetria, di radioprotezione, di radioterapia, di radiobiologia, di radiochimica. Ambiti di formazione e ricerca inerenti al percorso in Fisica Medica e Sanitaria sono ad esempio la risonanza magnetica nucleare (NMR) e la sua applicazione nell'ambito dell'imaging (MRI), lo sviluppo di nuovi materiali per applicazioni dosimetriche, lo studio di nanomateriali per applicazioni teranostiche, la produzione di radionuclidi per applicazioni in medicina nucleare (diagnostica, radioterapia metabolica e teranostica), gli studi legati all'impatto delle nanoparticelle sulla salute dell'uomo (nanosafety), lo sviluppo e la caratterizzazione di rivelatori di radiazioni e acceleratori di ultima generazione in stretta collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). Recentemente la Fisica Medica e Sanitaria ha inoltre contribuito allo sviluppo e all'utilizzo di algoritmi di intelligenza artificiale (AI) e *machine learning* in ambito medico.

Il percorso di Fisica Medica e Sanitaria della Laurea Magistrale in Fisica si propone di fornire ai laureati una preparazione atta a:

- accedere al Dottorato di Ricerca,
- accedere alla Scuola di Specializzazione in Fisica Medica (<https://ssfm.fisica.unimi.it/>) (che richiede come requisito fondamentale di accesso la Laurea Magistrale in Fisica) per svolgere la professione di Fisico Medico presso Strutture Sanitarie,
- accedere da attività ad alta professionalità in ambito industriale, in Agenzie per la protezione e il controllo ambientale, in Istituti di Ricerca,
- accedere alla libera professione (si veda Federazione Nazionale degli Ordini dei Chimici e dei Fisici (<https://www.chimicifisici.it>).
- accedere alla libera professione di Esperto di Radioprotezione secondo la nuova normativa DI 101/2020.

Tabella dei corsi consigliati:

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica ¹	b	Radioattività ³	b
Meccanica Statistica 1 ²	b	Radiobiologia ¹	b
Interazione e rivelazione della radiazione nucleare ³	b	Laboratorio di Fisica Sanitaria	c
Elementi di Fisica dei continui ⁴	b	Dosimetria	c
Fisica Sanitaria ¹	b	Tecniche fisiche di diagnostica medica	c, attivato nel 2sem 2022/23
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Accertamento di Lingua Inglese – Livello B2	3 CFU
TOTALE CFU	33		33

1. Ambito "Sperimentale Applicativo"; 2. Ambito "Teorico e dei Fondamenti della Fisica"; 3. Ambito "Microfisico e di Struttura della Materia"; 4. Ambito "Astrofisico, Geofisico e Spaziale"

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Tecniche di Imaging per Applicazioni Biomediche	c	Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
Strumentazione per medicina	c	Tesi di laurea	36 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	42

I corsi indicati come "affini ed integrativi" (tipologia 'c') sono suggeriti in quanto particolarmente coerenti con il progetto formativo del percorso di Fisica Medica e Sanitaria. Si precisa che due di tali insegnamenti possono essere sostituiti con corsi a scelta tra tutti quelli dell'Ateneo.

Ulteriori insegnamenti consigliati:

Caratterizzanti: Fisica Nucleare, Fisica degli acceleratori 1, Fisica Statistica Avanzata

Affini e Integrativi: Introduzione alla Fisica Medica e Sanitaria, Laboratorio di Simulazione Numerica, Deep learning con applicazioni

Curriculum Specialistico - Percorso di Fisica del Nucleo Atomico e Interdisciplinare

Docente di Riferimento: Angela Bracco

Struttura e reazioni nucleari - attività sperimentale (A. Bracco, F. Camera, F. Crespi, S. Leoni)

Struttura e reazioni nucleari - attività Teorica (G. Colo, C. Barbieri, X. Roca Maza)

Sviluppo di rivelatori (A. Bracco, F. Camera, F. Crespi, S. Leoni)

Astrofisica nucleare sperimentale (A. Guglielmetti, R. Depalo)

Attualmente la fisica nucleare si occupa dello studio della struttura e delle reazioni di nuclei che si trovano in condizioni estreme di temperatura, di momento angolare, o di rapporto tra numero di protoni e di neutroni. In particolare, la carta dei nuclidi noti si estende ogni anno con la scoperta di nuovi isotopi instabili, ricchi di neutroni o protoni, con vite medie brevi.

Questo tipo di fisica è di grande interesse anche in ambiti interdisciplinari come l'astrofisica nucleare. Infatti, la comprensione delle proprietà degli oggetti compatti come le stelle di neutroni e l'interpretazione delle osservazioni sempre più dettagliate, incluse quelle delle onde gravitazionali emesse in eventi "cataclismici", richiedono la conoscenza dell'equazione di stato della materia ricca di neutroni.

Più in generale, i processi nucleari sono responsabili sia della produzione di energia nelle stelle sia della nucleosintesi. In particolare, la produzione in laboratorio dei nuclei "esotici" menzionati prima, ricchi di neutroni o protoni, permette di isolare e studiare le reazioni chiave che avvengono nelle stelle, la cui comprensione porta informazioni utili per comprendere la nucleosintesi degli elementi e le esplosioni di supernova. La fisica nucleare è fondamentale anche per comprendere problemi legati alle particelle elementari: solo tramite osservabili nucleari è possibile, ad esempio, ricavare la massa dei vari tipi di neutrino.

L'attività sia sperimentale che teorica in questo campo si svolge nell'ambito di collaborazioni internazionali presso numerosi laboratori europei, americani ed asiatici, come pure nei laboratori italiani dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Questo tipo di ricerca si basa su apparati sperimentali in continua espansione e allo stato dell'arte per la rivelazione di raggi gamma, particelle cariche e neutroni, su acceleratori per fasci stabili e radioattivi (che permettono di accedere a radionuclidi instabili sempre più lontani dalla valle di stabilità nucleare), nonché su modelli teorici di frontiera. Tali importanti sviluppi sperimentali e

teorici hanno rilanciato in questi anni il settore della fisica nucleare che ha attualmente un programma di ricerca a lungo termine molto ben definito e di avanguardia.

Dal punto di vista teorico, il nucleo atomico costituisce un esempio unico di sistema quantistico a molti corpi il cui comportamento è governato dall'interazione forte, ma nel quale anche la forza debole e quella elettromagnetica si manifestano in maniera peculiare. Il gruppo di Milano è attivo nello sviluppo di nuovi paradigmi e metodi computazionali per la soluzione del problema a molti corpi nucleari, sia basati su interazioni realistiche (teoria “ab initio”) sia efficaci (teoria del funzionale densità). Vengono studiate le proprietà dei nuclei stabili ed instabili, le reazioni adroniche ed elettrodeboli che li coinvolgono, l'equazione di stato della materia neutronica e la struttura delle stelle di neutroni (anche includendo gradi di libertà iperonici).

Un'altra caratteristica importante della fisica nucleare è la sua forte interdisciplinarietà, motivo per cui viene utilizzata in diversi campi applicativi. Le tecniche, soprattutto di tipo sperimentale, sviluppate per affrontare specifici problemi di fisica nucleare sono infatti largamente e con successo impiegate in altri campi di ricerca tra cui il settore medico (adroterapia e radioprotezione in ambito spaziale) e quello dei beni culturali. Le metodologie teoriche legate al problema dei sistemi quantistici a molti corpi sono poi impiegate in molti altri settori quali la fisica della materia o la biofisica. I metodi di soluzione del complesso sistema a molti corpi si basano su tecniche all'avanguardia di inferenza statistica, di computazione e di “machine learning”, che si ispirano e trovano applicazioni in altri campi della scienza quantitativa.

Il gruppo di docenti di questo indirizzo partecipa alle nuove iniziative in collaborazioni internazionali contribuendo fortemente sia alla ricerca di base in fisica nucleare che a quella interdisciplinare, mettendo a buon frutto la notevole e consolidata tradizione nel campo della struttura nucleare, della dinamica delle reazioni, e delle applicazioni. I corsi e i lavori di tesi offerti in questo ambito permettono allo studente di avere una visione completa di come una ricerca venga non solo realizzata ma anche pianificata e impostata, e questa esperienza si dimostra preziosa anche per la soluzione di numerosi problemi nell'ambito di contesti non accademici.

Gli sbocchi occupazionali per coloro che otterranno una laurea specialistica in questo indirizzo sono molteplici e riguardano sia il settore accademico che industriale.

Per il settore accademico, tra le varie possibilità ci sono quelle presso:

- università e centri o laboratori di ricerca (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare ed i suoi laboratori);
- laboratori esteri (Europa, Stati Uniti, Cina, Giappone).

Per quanto riguarda il settore aziendale e ospedaliero le possibilità sono:

- industrie e aziende nel campo dell'elettronica e dei rivelatori;
- aziende informatiche, meccaniche e di strumentazione per la fisica sanitaria.

Va sottolineato che il fatto di essere inseriti durante il lavoro di tesi in collaborazioni internazionali fornisce una particolare professionalità ben riconosciuta nel mondo del lavoro moderno.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Laboratorio di spettroscopia gamma	b
Fisica Nucleare	b	Corso a scelta tra: a) Radioattività b) Fisica degli acceleratori 1	b
Corso affine integrativo	c	Corso caratterizzante	b
Corso a scelta tra: a) Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi 1 b) Teoria dei sistemi a molti corpi 1 c) Machine learning con applicazioni	b	Corso affine e integrativo	c
Corso a scelta tra: a) Interazione e Rivelazione della Radiazione Nucleare b) Astrofisica Nucleare Relativistica 1	b	Corso affine e integrativo	c
Accertamento di Lingua Inglese – Livello B2	3 CFU		

Abilità informatiche e telematiche	3 CFU		
TOTALE CFU	36	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Corso a scelta libera	d	Tesi di laurea	36 CFU
Corso a scelta libera	d	Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	42

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli dell'Ateneo

Ulteriori corsi consigliati:

Caratterizzanti: Elettronica 1, Elettronica Nucleare, Fisica Teorica, Laboratorio di modellizzazione dati

Affini e Integrativi: Astrofisica Nucleare Relativistica 2, Fisica Cosmica, Metodi computazionali della fisica, Metodologie di analisi dati

Curriculum Specialistico - Percorso di Fisica Teorica e dei Fondamenti della Fisica

Docente di riferimento: Luca Guido Molinari

Teoria Quantistica dei Campi e Interazioni Fondamentali (*S. Forte, A. Vicini, G. Ferrera, S. Carrazza, F. Caravaglios, M. Zaro, C. Frugiuele, R. Roentsch*)

Fisica Statistica e Teoria Statistica dei Campi (*S. Caracciolo, M. Cosentino Lagomarsino, M. Gherardi, L.G. Molinari*)

Supersimmetria, Gravità e Superstringhe (*S. Klemm, A. Santambrogio, A. Amariti*)

Astrofisica Nucleare Relativistica (*P. Pizzochero*)

La fisica ambisce a rispondere a domande come: di cosa è fatta la materia? Quali sono le forze fondamentali e le leggi che la governano? Qual è l'origine dell'universo, e come evolve? Come si spiegano i fenomeni macroscopici a partire dai costituenti microscopici? Per questo la natura viene interrogata con esperimenti e misure sempre più sofisticate, che scaturiscono dalla conoscenza raggiunta.

La fisica teorica è una architettura complessa di teorie, che inquadrano in leggi e modelli i fenomeni conosciuti, e il cui contenuto può essere molto più ampio rispetto a quanto è tecnicamente accessibile alle verifiche sperimentali. Lo sviluppo delle conseguenze concettuali delle teorie è un'attività molto importante della Fisica teorica, che può portare molto lontano, suggerendo nuovi esperimenti che le rafforzeranno o ne mostreranno i limiti. La precisa formulazione delle domande fondamentali fa parte del lavoro, e indirizza la ricerca sperimentale per leggere le risposte meglio e univocamente.

È grazie alle teorie che il fisico teorico guarda lontano, e focalizza la ricerca dove la natura non cessa di svelarsi e manifestarci talvolta l'incompletezza dello stato raggiunto. Così la Fisica teorica avanza, allarga i confini, si ramifica e aspira a grandi sintesi. Queste si sono compiute più volte, come nella sintesi di Maxwell, nelle leggi della termodinamica, nella meccanica quantistica, nel modello standard, nel modello cosmologico. Ogni volta è una conquistata bellezza formale e concettuale.

Il percorso di studi in fisica teorica nell'ambito della Laurea Magistrale in Fisica ha lo scopo di fornire in primo luogo una formazione generale avanzata in fisica teorica, e di concentrarsi poi su uno dei principali aspetti della fisica teorica contemporanea, e cioè:

- La fisica delle particelle elementari, in cui si studiano i costituenti della materia e le loro interazioni.

- La meccanica statistica, in cui si studiano i sistemi con molti gradi di libertà, dalle scale più piccole delle particelle elementari, alle scale più grandi dei sistemi astrofisici, e i sistemi complessi, come quelli biologici.

- La teoria dei campi quantistici e delle corde quantistiche, che forniscono il linguaggio unificato in cui si esprimono le teorie fisiche moderne.

- I fondamenti della meccanica quantistica, e gli aspetti matematici della teoria.

Gli studi teorici si avvalgono di metodi matematici, di simulazioni numeriche, e dell'interpretazione dei dati sperimentali. La fisica teorica è una struttura concettuale unica, e nella maggioranza delle ricerche molti aspetti teorici e metodologici si combinano. Il suo ruolo è all'intersezione delle discipline che formano la fisica moderna, dalla fisica della materia alla fisica delle particelle, dall'astrofisica alla biofisica. Per questo, nella scelta dei corsi complementari è offerto un ventaglio di opzioni che va da corsi di tipo matematico, a corsi di fisica teorica di base, a corsi più legati a specifiche discipline.

1) TEORIA QUANTISTICA DEI CAMPI E INTERAZIONI FONDAMENTALI

Lo studio teorico e fenomenologico delle interazioni fondamentali (elettromagnetica, debole e forte) e' basato sulla teoria quantistica di campo che va sotto il nome di Modello Standard delle particelle elementari.

L'utilizzo di tecniche perturbative permette di calcolare predizioni teoriche di alta precisione per processi di diffusione ad alta energia che vengono confrontate con risultati sperimentali raccolti presso acceleratori di particelle quali il Large Hadron Collider (LHC) al CERN, i collisori elettrone-positrone e negli esperimenti che analizzano le oscillazioni di neutrini.

Il confronto tra predizioni teoriche e risultati sperimentali permette di migliorare la conoscenza delle interazioni fondamentali note e di scoprire eventuali fenomeni di nuova fisica.

Il percorso prevede lo studio del formalismo teorico della teoria quantistica dei campi e della sua applicazione alle interazioni fondamentali, oltre all'acquisizione dei metodi matematici e delle tecniche computazionali ad esso associati.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGI A	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGI A
----------------	---------------	------------------	---------------

Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Fisica Teorica 1	b
Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi 1	b	Metodi Computazionali della Fisica	c
3 Corsi a scelta	(*)	Teoria delle Interazioni Fondamentali 1	b
abilità informatiche e telematiche	3 CFU	2 Corsi a scelta	(*)
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
TOTALE CFU	36	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Fisica Teorica 2	b	Tesi di laurea	36 CFU
Teoria delle Interazioni Fondamentali 2	c	Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	42

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e Integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Ulteriori corsi consigliati:

Affini e Integrativi: Cosmologia 2, Deep learning con applicazioni, Introduzione alla Relatività Generale, Gravità e superstringhe 2, Laboratorio di analisi numerica, Metodi Computazionali della fisica.

Ambito disciplinare "Teorico e dei Fondamenti della Fisica": Meccanica statistica 1, Gravità e superstringhe 1, Teoria dei sistemi a molti corpi 1, 2.

Ambito disciplinare "Microfisico e della Struttura della Materia": Fisica astroparticellare, Machine learning con applicazioni, Probabilità e statistica

Ambito disciplinare "Astrofisico, Geofisico e Spaziale": Astrofisica nucleare relativistica 1, Cosmologia

2) FISICA STATISTICA E TEORIA STATISTICA DEI CAMPI

Attività di ricerca:

Matrici Random e applicazioni

Applicazioni delle tecniche della fisica statistica a problemi di ottimizzazione e enumerazione combinatoria random.

Applicazioni della fisica statistica ad ambiti interdisciplinari, e in particolare a biologia quantitativa, ecologia, e evoluzione.

Meccanica statistica del *machine learning*.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Fisica Teorica 1	b
4 Corsi a scelta	(*)	Fisica statistica dei sistemi complessi	b

abilità informatiche e telematiche	3 CFU	Fisica Statistica Avanzata	b
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU	2 Corsi a scelta	(*)
TOTALE CFU	36	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Fisica Teorica 2	(*)	Tesi di laurea	36 CFU
Corso a scelta	(*)	Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	42

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Un corso tra: Metodi Computazionali della Fisica (II sem, c)

Laboratorio di Simulazione Numerica (II sem, c)

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e Integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Ulteriori corsi consigliati:

Affini e Integrativi: Biofisica, Teoria Statistica dei Campi 2, Biofisica computazionale, Processi stocastici

Ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica”: Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 1, Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 2, Teoria Statistica dei Campi 1, Meccanica Statistica 1

Ambito “Microfisico e di struttura della materia”: Fisica delle Proteine 1, Probabilità e statistica

3) SUPERSIMMETRIA, GRAVITÀ E SUPERSTRINGHE

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Fisica Teorica 1	b
Introduzione alla Relatività Generale	c	Gravità e Superstringhe 1	b
Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi 2 (attivato da a.a. 2020/21)	b	Gravità e Superstringhe 2	c
2 Corsi a scelta	(*)	2 Corsi a scelta	(*)
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU		
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		

TOTALE CFU	36	TOTALE CFU	30
------------	----	------------	----

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Fisica Teorica 2	b	Tesi di laurea	36 CFU
Corso a scelta	(*)	Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	42

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e Integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Ulteriori corsi consigliati, ripartiti per ambito:

Affini e Integrativi: Geometria 2; Metodi Computazionali della Fisica;

Ambito "Microfisico e della Struttura della Materia": Sviluppi Recenti in Fisica delle Particelle e Astroparticelle, Fisica Statistica Avanzata, Fisica delle Particelle.

Ambito "Astrofisico, Geofisico e Spaziale": Cosmologia, Elementi di Fisica dei Continui.

4) ASTROFISICA NUCLEARE RELATIVISTICA

Attività di ricerca: studio del fenomeno dei pulsar glitches, prova diretta dell'esistenza di superfluidi all'interno delle stelle di neutroni. L'approccio è sia a livello microscopico (interazione dei vortici superfluidi con la materia normale) che a livello di idrodinamica

rotazionale dei superfluidi e di modelli fenomenologici. Questi ultimi, applicati alle osservazioni di glitches, permettono di estrarre informazioni su vari parametri interni della pulsar, altrimenti inaccessibili.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	5 Corsi a scelta	(*)
Teoria delle Interazioni Fondamentali 1	b		
Teoria dei Sistemi a Multi Corpi 1	b		
Teoria dei Sistemi a Multi Corpi 2	b		
Corso a scelta	(*)		
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU		
Accertamento di lingua inglese - livello B2	3 CFU		
TOTALE CFU	36	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA A	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
----------------	----------------	------------------	-----------

Astrofisica Nucleare Relativistica 1	b	Tesi di laurea	36 CFU
Astrofisica Nucleare Relativistica 2	b	Tirocinio formativo e di orientamento	6 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	42

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e Integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Ulteriori corsi consigliati, ripartiti per ambito:

Affini e Integrativi: Introduzione alla Relatività Generale; Metodi Computazionali della Fisica.

Ambito "Microfisico e della Struttura della Materia": Fisica Statistica Avanzata, Fisica Nucleare.

Curriculum Specialistico – Percorso di Geofisica, Fisica per l’Ambiente e Fisica per i Beni Culturali

Docente di riferimento: R. Vecchi

Altri docenti: V. Bernardoni, L. Bonizzoni, G. Cambiotti, A. Comunian, B. Crippa, M. Gargano, A. Guglielmetti, M. Giudici, N. Ludwig, A.M. Marotta, M. Maugeri, R. Sabadini,

Il pianeta Terra è un sistema estremamente complesso, che può essere suddiviso schematicamente in varie parti (la litosfera e l’interno della Terra, l’idrosfera, l’atmosfera e la criosfera), ciascuna delle quali è essa stessa un sistema complesso ed eterogeneo. Questo percorso si prefigge l’obiettivo di fornire allo studente le conoscenze necessarie per studiare i meccanismi che regolano i processi che avvengono nelle diverse parti del nostro pianeta e le modalità di interazione tra queste. La metodologia di studio è basata su un approccio rigoroso ed integrato tra la modellistica fisico-matematica, l’acquisizione e l’analisi dei dati sperimentali e il confronto tra questi ultimi e i risultati dei modelli.

La Fisica per i Beni Culturali, in particolare l’archeometria, ha molti punti di contatto con le discipline geofisiche e della fisica dell’ambiente, sia per la metodologia di misura che per l’oggetto di studio, ad esempio nel caso delle datazioni delle rocce. L’archeometria (“misura di ciò che è antico”) include diverse discipline scientifiche (fisica, chimica, geologia, biologia). Tra queste, la fisica riveste un ruolo peculiare perché le tecniche fisiche di indagine, ad esempio quelle nucleari, offrono metodi non distruttivi e non invasivi per l’esecuzione di analisi con elevatissime sensibilità, senza richiedere alcuna preparazione del campione o lo spostamento di oggetti antichi o preziosi dalle sedi dove sono conservati.

L’attività didattica proposta per questo percorso, strettamente collegata alla ricerca svolta presso i Dipartimenti di Fisica, di Scienze della Terra e di Scienze e Politiche Ambientali riguarda sia problemi di base (Quali sono le leggi fisiche che regolano i processi che avvengono nella litosfera, nell’atmosfera, nella idrosfera? Quali sono le principali cause di modifica delle condizioni ambientali su scala globale, dell’effetto serra, del buco dell’ozono, delle piogge acide?) sia problemi applicativi (Come si fanno le previsioni del tempo? Come incidono le attività umane sulla produzione di inquinanti nelle aree urbane? Come possiamo osservare la distribuzione dei contaminanti in aria, in acqua e nei suoli e prevederne l’evoluzione? Come possiamo osservare e prevedere eventuali effetti legati alle variazioni climatiche?).

Le attività di ricerca sono svolte in collaborazione con altre sedi universitarie ed enti di ricerca (CNR, ENEA, JRC, ASI, ESA), che permettono anche l’effettuazione di stage presso laboratori europei, con le ARPA (Agenzie Regionali per la Protezione dell’Ambiente) e le amministrazioni locali e, per l’archeometria, con i laboratori dei principali musei mondiali, come il Louvre.

Consigliamo agli studenti che intendano scegliere un percorso formativo in questo settore di inserire nel piano di studi, oltre all'insegnamento obbligatorio di Elettrodinamica classica (ambito sperimentale applicativo), i corsi di Metodi matematici della fisica: equazioni differenziali 1 (corso caratterizzante – ambito teorico e dei fondamenti della fisica) e di Radioattività (corso caratterizzante – ambito microfisico e della struttura della materia). Sugeriamo quindi di inserire i corsi di Fisica terrestre, Elementi di fisica dei continui, Fisica dell'ambiente e Fisica dell'atmosfera (tutti caratterizzanti) e i Laboratori di fisica dell'ambiente, di fisica terrestre e di climatologia e fisica dell'atmosfera (tutti affini e integrativi). Gli ulteriori due corsi sono a scelta completamente libera. Per essi suggeriamo ad esempio: Fondamenti di energetica, Modellistica geofisica e ambientale (attivato ad anni alterni), Tettonofisica (attivato ad anni alterni), Fisica dell'interno della Terra*, Sismologia*, Modellistica numerica dei processi geodinamici*, Dinamica dei fluidi geofisici*, Analisi ottiche per i Beni culturali (mutuato da Metodi di analisi per i beni culturali**), Metodologie con raggi X per i beni culturali***, Tecniche fisiche avanzate applicate ai beni culturali – laboratorio***, Microclimatologia per i beni culturali***, Conservazione e valorizzazione di strumentazione scientifica***, Esplorazione sismica e laboratorio (attivato ad anni alterni)*, Esplorazione elettrica ed elettromagnetica (attivato ad anni alterni)*, Interazione e rivelazione della radiazione nucleare, Ottica 1, Storia della fisica.

* Corsi della Laurea Magistrale in Scienze della Terra

** Corsi delle Laurea in Scienze e tecnologie per lo studio e la conservazione dei beni culturali e dei supporti dell'informazione

*** Corsi della Laurea Magistrale in Scienze per la Conservazione e la Diagnostica dei Beni Culturali

Primo semestre	Tipologia	Secondo semestre	Tipologia
Metodi matematici della fisica: equazioni differenziali 1	b	Laboratorio di fisica terrestre	c
Elettrodinamica classica	b	Laboratorio di Fisica dell'Ambiente	c
Fisica Terrestre	b	Fisica dell'Atmosfera	b

Fisica dell' Ambiente	b	Radioattività	b
Elementi di fisica dei continui	b	Corso a scelta	
Secondo anno			
Primo semestre	Tipologia	Secondo semestre	CFU
Corso a scelta		Tesi di Laurea Magistrale + abilità informatiche + competenze linguistiche + tirocini	48
Laboratorio di climatologia e fisica dell'atmosfera	c		
Tesi di Laurea Magistrale + abilità informatiche + competenze linguistiche + tirocini			

b: corsi caratterizzanti

c: corsi affini e integrativi

Curriculum Pluri-Settoriale – Percorso di Storia e Didattica della Fisica

Il Curriculum Pluri-Settoriale è particolarmente rivolto agli studenti interessati all'insegnamento e alla divulgazione della scienza. I laureati in questo curriculum avranno crediti in numero sufficiente in opportuni gruppi di settori per partecipare, come previsto dalla legislazione vigente, alle prove di ammissione per i percorsi di formazione per l'insegnamento secondario. Dal punto di vista didattico il Curriculum Pluri-Settoriale propone sia insegnamenti di approfondimento distribuiti in modo uniforme sui principali ambiti della Fisica, sia insegnamenti di area antropo-psico-pedagogica e nelle metodologie e tecnologie didattiche. Per l'accesso ai bandi ministeriali per l'insegnamento, in base alla normativa vigente, è necessario conseguire 24 CFU tra insegnamenti di almeno tre tra quattro aree: 1) antropologia, 2) psicologia, 3) pedagogia, 4) metodologie e tecnologie didattiche disciplinari. Specificamente in questo curriculum sono previsti 12 CFU di insegnamenti caratterizzanti sulle metodologie e tecnologie didattiche. Gli altri 12 CFU possono essere conseguiti tra i corsi a scelta libera, tra quelli forniti dall'Ateneo, che possono essere destinati dagli studenti ad insegnamenti di area antropo-psico-pedagogica.

Docente di riferimento: Leonardo Gariboldi

Storia della Fisica (*Leonardo Gariboldi*)

Didattica della Fisica

Didattica della Fisica Classica (*Marco Giliberti, Michela Cavinato*)

Didattica della Fisica Moderna (*Marco Giliberti*)

Didattica della Fisica attraverso il Teatro (*Marco Giliberti, Marina Carpineti*)

1) STORIA DELLA FISICA

La Storia della Fisica offre allo studente la possibilità di riflettere sulle connessioni tra i vari settori della fisica e di vedere come le principali teorie abbiano affrontato una serie di ostacoli concettuali e osservativo-sperimentali che presentano alcune analogie con alcune difficoltà maggiormente riscontrate nell'apprendimento scolastico della fisica.

L'analisi dello sviluppo storico e filosofico delle ricerche in fisica, sia in un contesto interno-disciplinare sia in uno esterno che tenga conto delle interazioni con la società, richiede per la fisica moderna e contemporanea una preparazione disciplinare che riflette

così la tendenza in atto dal secondo dopoguerra nella costituzione di una comunità di storici della scienza di formazione scientifica che affianca quelli di formazione umanistica. Le ricerche in storia della fisica nel nostro dipartimento si concentrano soprattutto sul Novecento e riguardano i seguenti temi: fisica dell'atmosfera e geofisica, fisica della radiazione cosmica, strumentazione scientifica, fisica italiana durante il Fascismo.

Si consiglia un corso di laboratorio attinente a uno dei corsi a scelta libera dello studente.

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Laboratorio	(*)
Storia della Fisica	b	Fondamenti della Fisica	c
Preparazione di Esperienze Didattiche 1	b	Corso a scelta libera	(*)
Corso a scelta libera	(*)	Corso a scelta libera	(*)
Corso a scelta libera	(*)	Corso a scelta libera	(*)
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU		
Accertamento di lingua inglese – livello B2	3 CFU		
TOTALE CFU	36	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
----------------	-----------	------------------	-----------

Corso a scelta libera	(*)	Tesi di laurea	36 CFU
Corso a scelta libera	(*)		
Corso a scelta libera	(*)		
TOTALE CFU	18	TOTALE CFU	36

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e Integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Nota: tra i corsi della tipologia d) devono essere scelti i corsi per il conseguimento dei 12 CFU di area antro-psyco-pedagogica. È inoltre consigliato inserire almeno un insegnamento del SSD FIS/02 (tra i corsi della tipologia c).

Si riportano nel seguito ulteriori corsi consigliati, ripartiti per ambito, tra i quali si suggerisce in particolare di scegliere i corsi caratterizzanti con il vincolo di uno per ambito.

Ambito “Sperimentale Applicativo”: Analisi Ottiche per i Beni Culturali; Fisica Sanitaria; Laboratorio di Elettronica; Fisica dell’Ambiente.

Ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica”: Preparazione di Esperienze Didattiche 2.

Ambito “Microfisico e della Struttura della Materia”: Fisica delle Particelle; Fisica Nucleare; Interazione e Rivelazione della Radiazione Nucleare; Laboratorio di Ottica Quantistica; Laboratorio di Spettroscopia Nucleare; Ottica 1; Ottica Quantistica; Radioattività; Rivelatori di Particelle.

Ambito “Astrofisico, Geofisico e Spaziale”: Astronomia 1; Cosmologia; Fisica terrestre; Fisica dell’Atmosfera.

Corsi Affini e integrativi (CCD Fisica): Armi Nucleari, Disarmo e Proliferazione Nucleare; Fisica Teoria 1; Introduzione all'Astrofisica; Introduzione alla Relatività Generale; Metodi Computazionali della Fisica; Metodi Matematici della Fisica: Equazioni Differenziali 1.

Corsi Affini e integrativi (CCD Scienze per la conservazione e la diagnostica dei beni culturali): Conservazione e valorizzazione di strumentazione scientifica.

Corsi Affini e integrativi (CCD Matematica): Storia della matematica 1.

Corsi Affini e integrativi (CCD Filosofia): Filosofia della scienza.

2) DIDATTICA DELLA FISICA

La ricerca in didattica della fisica si occupa di trovare strumenti e metodi per migliorare l'insegnamento/apprendimento della fisica a tutti i livelli di età.

Per questo, da un lato è importante riflettere su nodi concettuali disciplinari importanti e, dall'altro, studiare le modalità di apprendimento. Inoltre, dato che il contesto e l'immagine sociale della disciplina influenzano il processo di apprendimento, sembra opportuno proporre anche metodi di didattica informale.

Le ricerche in didattica della fisica nel nostro dipartimento si concentrano pertanto sulle seguenti tre tematiche.

- a) Analisi e revisione di nodi concettuali disciplinari particolarmente interessanti; nell'ambito della fisica classica con particolare attenzione alle oscillazioni e all'elettromagnetismo; nell'ambito della fisica moderna (argomento di punta della ricerca in didattica) con particolare attenzione alla fisica quantistica e alla superconduttività.
- b) Didattica informale e sue ricadute sulla percezione della fisica nella società attraverso il teatro scientifico.
- c) Sviluppo di nuove tecniche atte a migliorare l'insegnamento/apprendimento della fisica seguendo le indicazioni della Commissione Europea. Attualmente siamo interessati alle tecniche IBSE (Inquiry Based Science Education).

I ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Laboratorio	(*)

Preparazione di Esperienze Didattiche 1	b	Fondamenti della Fisica	c
Storia della Fisica	b	Corso a scelta libera	(*)
Corso a scelta libera	(*)	Corso a scelta libera	(*)
Corso a scelta libera	(*)	Corso a scelta libera	(*)
Abilità informatiche e telematiche	3 CFU		
Accertamento di lingua inglese – livello B2	3 CFU		
TOTALE CFU	36	TOTALE CFU	30

II ANNO

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGIA	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGIA
Corso a scelta libera	(*)	Tesi di laurea	36 CFU
Corso a scelta libera	(*)		
Corso a scelta libera	(*)		
TOTALE CFU	18	TOTALE CFU	36

(*) b, c o d rispettando i vincoli del CdS

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

d A scelta tra tutti quelli di Ateneo

Nota: tra i corsi della tipologia d) devono essere scelti i corsi per il conseguimento dei 12 CFU di area antro-po-psi-co-pedagogica. È inoltre consigliato inserire almeno un insegnamento del SSD FIS/02 (tra i corsi della tipologia c).

Si riportano nel seguito ulteriori scelte consigliate, ripartite per ambito:

Ambito “Sperimentale Applicativo”: Fisica dell’Ambiente; Fisica degli Acceleratori 1.

Ambito “Teorico e dei Fondamenti della Fisica”: Preparazione di Esperienze Didattiche 2.

Ambito “Microfisico e della Struttura della Materia”: Fisica delle Particelle; Struttura della Materia 2; Ottica 1; Radioattività; Fisica Nucleare; Interazioni Elettrodeboli; Laboratorio di Ottica Quantistica; Laboratorio di Superconduttività Applicata.

Ambito “Astrofisico, Geofisico e Spaziale”: Astronomia 1; Cosmologia; Fisica Terrestre; Fisica dell’Atmosfera.

Corsi Affini e integrativi (CCD Fisica): Introduzione alla Relatività Generale; Fenomenologia del Modello Standard delle Particelle Elementari; Introduzione all’Astrofisica; Fisica Atomica.