



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA
DIPARTIMENTO DI
FISICA

Corso di Laurea in Fisica

Manifesto degli Studi

Anno Accademico 2023-2024

Approvato dal Consiglio di Corso di Studio del 09/03/2023

e dal Consiglio di Dipartimento di Fisica del 14/03/2023

Denominazione del Corso di Studio	Fisica
Denominazione in inglese del Corso di Studio	Physics
Anno Accademico	2023/2024
Classe di Corso di Studio	L-30 Scienze e Tecnologie Fisiche
Dipartimento	Fisica
Coordinatore del Corso di Studio	Prof. Alessandro Papa
Sito web	https://fisica.unical.it/didattica/

Allegato 1- Piano di studio ufficiale per studenti impegnati a tempo pieno (coorte 2023/2024)

Anno	Sem	Insegnamento	Attività formativa	Ambito	SSD	CFU lez.	CFU eserc.	CFU lab.	CFU	
1	I	Analisi matematica I	Di base	Discipline matematiche e informatiche	MAT/05	9	3	-	12	
		Chimica generale	Di base	Discipline chimiche	CHIM/03	5	1	-	6	
		Informatica	Di base	Discipline matematiche e informatiche	INF/01	4	2	-	6	
		Inglese (parte I)	Altre attività		L-LIN/12	-	3	-	3	
	II	Laboratorio di meccanica e termodinamica (parte I)	Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/07	3	-	-	3	
		Inglese (parte II)	Altre attività		L-LIN/12	1	2	-	3	
		Geometria per la fisica	Affine o integrativa		MAT/07	7	2	-	9	
		Laboratorio di meccanica e termodinamica (parte II)	Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/07	2	1	3	6	
		Meccanica e termodinamica	Di base	Discipline fisiche	FIS/01	9	3	-	12	
2	I	Analisi matematica II	Affine o integrativa		MAT/05	7	2	-	9	
		Elettromagnetismo	Di base	Discipline fisiche	FIS/01	9	3	-	12	
		<i>Un insegnamento (12 CFU) a scelta tra:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Meccanica superiore • Fisica dei fluidi 1) Termodinamica statistica 2) Fluidi e microfluidica	Caratterizzante	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03	9	3	-	12	
	II	<i>Un insegnamento (6 CFU) a scelta tra:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Fenomeni ondulatori • Ottica e laboratorio 	Caratterizzante	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03	4	2	-	6	
		Fisica computazionale	Caratterizzante	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05	3	1	2	6	
		Laboratorio di elettromagnetismo e onde	Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/07	2	-	4	6	
			<i>Un insegnamento (6 CFU) a scelta tra:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Metodi matematici della fisica • Matematica applicata 	Caratterizzante	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02	6	3	-	9
	3	I	Elettronica	Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/01	4	-	2	6
<i>Una coppia di insegnamenti (18 CFU) a scelta tra:</i>										
<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio di fisica moderna • Meccanica quantistica I 			Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/07	4	-	2	6	
			Caratterizzante	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02	8	4	-	12	

		<i>oppure</i>							
		• Fisica e tecnologia dei materiali	Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/07	4	-	2	6
		• Fisica quantistica dei materiali con laboratorio	Caratterizzante	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02	6	3	3	12
		Insegnamento a scelta dello/a studente	Altre attività	A scelta dello/a studente					6
	II	Struttura della materia	Caratterizzante	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03	9	3	-	12
		Insegnamento a scelta dello/a studente	Altre attività	A scelta dello/a studente					6
		Tirocinio							6
		Prova finale							6
									180

Insegnamenti a scelta consigliati dal CdS

Semestre	Insegnamento	Attività formativa	Ambito	SSD	CFU lez.	CFU eserc.	CFU lab.	CFU
I	* Elementi di biofisica	Altre attività	A scelta dello/a studente	FIS/07	5	-	1	6
II	* Elementi di fisica sanitaria	Altre attività	A scelta dello/a studente	FIS/01	4	2	-	6
I	* Fisica dell'atmosfera e climatologia	Altre attività	A scelta dello/a studente	FIS/06	4	2	-	6
II	* Introduzione alla fisica teorica	Altre attività	A scelta dello/a studente	FIS/02	4	2	-	6
I	* Introduzione all'astrofisica	Altre attività	A scelta dello/a studente	FIS/05	4	2	-	6
II	* Introduzione alle nanostrutture e alle nanotecnologie	Altre attività	A scelta dello/a studente	FIS/07	4	-	2	6
II	* Nuclei e particelle	Altre attività	A scelta dello/a studente	FIS/01	4	2	-	6
II	* Relatività generale	Altre attività	A scelta dello/a studente	FIS/02	4	2	-	6

*Il corso verrà attivato solo se un congruo numero di studenti lo avrà scelto e inserito, nei termini previsti dal Regolamento Didattico di Ateneo, nel proprio piano di studio.

Allegato 2- Piano di studio ufficiale per studenti impegnati non a tempo pieno (coorte 2023/2024)

Il Corso di Laurea in Fisica prevede uno specifico percorso formativo per gli/le studenti impegnati non a tempo pieno. Lo/a studente interessato opera la scelta tra impegno a tempo pieno o impegno non a tempo pieno all'atto dell'immatricolazione. Ogni anno lo/a studente impegnato a tempo pieno può chiedere di passare al percorso formativo riservato agli/le studenti impegnati non a tempo pieno, indicando l'anno al quale chiede di essere iscritto. Viceversa, ogni anno lo/a studente impegnato non a tempo pieno può chiedere di passare al percorso formativo riservato agli/le studenti impegnati a tempo pieno, indicando l'anno al quale chiede di essere iscritto.

In entrambi i casi ai sensi del Regolamento Didattico di Ateneo (Art.43, punto 5):

- la richiesta deve essere sottoposta all'approvazione del Consiglio Unificato dei Corsi di Studio in Fisica;
- il passaggio ha luogo all'inizio dell'anno accademico immediatamente successivo.

Il percorso formativo destinato allo/a studente iscritto non a tempo pieno è articolato su un impegno medio annuo corrispondente all'acquisizione, di norma, di 30 crediti formativi universitari.

Anno	Semestre	Insegnamento	Attività formativa	Ambito	SSD	CFU lez.	CFU eserc.	CFU lab.	CFU
I	I	Analisi matematica I	Di base	Discipline matematiche e informatiche	MAT/05	9	3	-	12
I	I	Laboratorio di meccanica e termodinamica (parte I)	Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/07	3	-	-	3
I	II	Geometria per la fisica	Affine o integrativa		MAT/07	7	2	-	9
I	II	Laboratorio di meccanica e termodinamica (parte II)	Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/07	2	1	3	6
									30
II	I	Chimica generale	Di base	Discipline chimiche	CHIM/03	5	1	-	6
II	I	Informatica	Di base	Discipline matematiche e informatiche	INF/01	4	2	-	6

II	I	Inglese	Altre attività		L-LIN/12	1	5	-	6
II	II	Meccanica e termodinamica	Di base	Discipline fisiche	FIS/01	9	3	-	12
									30
III	I	Analisi matematica II	Affine o integrativa		MAT/05	7	2	-	9
III	I	<i>Un insegnamento (12 CFU) a scelta tra:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Meccanica superiore • Fisica dei fluidi <ol style="list-style-type: none"> 1) Termodinamica statistica 2) Fluidi e microfluidica 	Caratterizzante	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03	9	3	-	12
						3	2	1	6
						3	1	2	6
III	II	<i>Un insegnamento (6 CFU) a scelta tra:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Metodi matematici della fisica • Matematica applicata 	Caratterizzante	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02	6	3	-	9
						5	4	-	9
									30
IV	II	Elettromagnetismo	Di base	Discipline fisiche	FIS/01	9	3	-	12
IV	II	<i>Un insegnamento (6 CFU) a scelta tra:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Fenomeni ondulatori • Ottica e laboratorio 	Caratterizzante	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03	4	2	-	6
						3	1	2	6
IV	II	Fisica computazionale	Caratterizzante	Astrofisico, geofisico e spaziale	FIS/05	4	-	2	6
IV	II	Laboratorio di elettromagnetismo e onde	Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/07	2	-	4	6
									30
V	I	<i>Una coppia di insegnamenti (18 CFU) a scelta tra:</i>							
		<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio di fisica moderna 	Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/07	4	-	2	6
		<ul style="list-style-type: none"> • Meccanica quantistica I 	Caratterizzante	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02	8	4	-	12
		<i>oppure</i>							

		<ul style="list-style-type: none"> Fisica e tecnologia dei materiali 	Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/07	4	-	2	6
		<ul style="list-style-type: none"> Fisica quantistica dei materiali con laboratorio 	Caratterizzante	Teorico e dei fondamenti della fisica	FIS/02	6	3	3	12
V	II	Struttura della materia	Caratterizzante	Microfisico e della struttura della materia	FIS/03	9	3	-	12
									30
VI	I	Elettronica	Caratterizzante	Sperimentale e applicativo	FIS/01	4	-	2	6
VI	I	Insegnamento a scelta dello/a studente	Altre attività	A scelta dello/a studente					6
VI	II	Insegnamento a scelta dello/a studente	Altre attività	A scelta dello/a studente					6
VI	II	Tirocinio							6
VI	II	Prova finale							6
									30
									Totale 180

Declaratorie delle singole attività formative

Attività formativa	ANALISI MATEMATICA I
SSD	MAT/05
CFU	12
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Analisi matematica I si propone di fornire allo/a studente le conoscenze dei fondamenti teorici e metodologici relativi a successioni e serie reali, calcolo differenziale ed integrale, con particolare riguardo agli aspetti applicativi di base. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di padroneggiare gli aspetti delle successioni e serie reali, e del calcolo differenziale ed integrale necessari per intraprendere lo studio dei fondamenti della fisica.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: principi di base e principali teoremi delle successioni e serie reali, del calcolo differenziale ed integrale.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: calcolo di limiti di successioni reali e di somme di serie reali, calcolo di derivate di funzioni note, tracciare il grafico di una funzione, metodi di risoluzione di integrali di funzioni a una variabile, calcolo di derivate parziali e differenziale di una funzione a più variabili, calcolo del piano tangente in un punto del suo grafico, forme differenziali esatte e chiuse, calcolo di integrali curvilinei di prima e di seconda specie.</p> <p>Autonomia di giudizio: capacità di autonoma identificazione delle principali tecniche del calcolo differenziale ed integrale, e consapevolezza dell'interesse delle metodologie dell'analisi matematica nell'ambito della modellizzazione dei sistemi fisici.</p>

Abilità comunicative: capacità di descrivere i teoremi di base dell'analisi matematica usando un linguaggio formale appropriato.

Capacità di apprendimento: comprendere i meccanismi delle successioni e serie reali, del calcolo differenziale in più variabili e del calcolo integrale in una variabile, e comprendere lo sviluppo logico-deduttivo della dimostrazione di un teorema di base.

The teaching unit of **Mathematical Analysis I** aims at providing the student with the knowledge of the theoretical and methodological foundations relating to real sequences and series, differential and integral calculus, with particular regard to the basic application aspects. At the end of the course the student will be able to master the aspects of real sequences and series, and of differential and integral calculus necessary to undertake the study of the foundations of physics.

EXPECTED LEARNING OUTCOMES

Knowledge and understanding: basic principles and main theorems of real sequences and series, of differential and integral calculus.

Ability to apply knowledge and understanding: computation of limits of real sequences and sums of real series, computation of derivatives of known functions, graphing a function, methods for solving integrals of one-variable functions, computation of partial derivatives and differential of a function with several variables, calculation of the tangent plane in a point of its graph, exact and closed differential forms, calculation of curvilinear integrals of the first and second kind.

	<p>Independent judgement: ability to autonomously identify the main techniques of differential and integral calculus, and awareness of the interest of mathematical analysis methodologies in the modeling of physical systems.</p> <p>Communication skills: ability to describe the basic theorems of mathematical analysis using an appropriate formal language.</p> <p>Learning skills: understanding the mechanisms of real sequences and series, of differential calculus in several variables and of integral calculus in one variable, and understanding the logical-deductive development of the proof of a basic theorem.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	ANALISI MATEMATICA II
SSD	MAT/05
CFU	9
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Analisi matematica II si propone di fornire allo/a studente le conoscenze dei fondamenti teorici e metodologici relativi al calcolo differenziale ed integrale in più variabili, alla teoria delle equazioni differenziali ordinarie e all'analisi superiore, con particolare riguardo agli aspetti applicativi di base. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di padroneggiare gli aspetti del calcolo differenziale ed integrale in più variabili, della teoria delle equazioni differenziali e dell'analisi superiore necessari per continuare lo studio della fisica.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: principali teoremi del calcolo differenziale ed integrale in più variabili e principi di base dell'analisi superiore.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: calcolo di estremi liberi e vincolati di una funzione a più variabili, risoluzione di equazioni differenziali</p>

	<p>ordinarie e sistemi, calcolo di integrali multipli, calcolo di integrale di superficie, sviluppo in serie di Fourier.</p> <p>Autonomia di giudizio: capacità di autonoma identificazione delle principali tecniche del calcolo differenziale ed integrale a più variabili e dell'analisi superiore, e consapevolezza dell'interesse delle metodologie dell'analisi superiore nell'ambito della modellizzazione dei sistemi fisici.</p> <p>Abilità comunicative: capacità di descrivere i teoremi di base del calcolo differenziale ed integrale e dell'analisi superiore usando un linguaggio formale appropriato.</p> <p>Capacità di apprendimento: comprendere i meccanismi del calcolo differenziale ed integrale e dell'analisi superiore.</p> <hr/> <p>The teaching unit of Mathematical Analysis II aims at providing the student with the knowledge of the theoretical and methodological foundations relating to differential and integral calculus in several variables, to the theory of ordinary differential equations and to higher analysis, with particular regard to the basic applicative aspects. At the end of the course the student will be able to master the aspects of differential and integral calculus in several variables, the theory of differential equations and higher analysis necessary to continue the study of physics.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: main theorems of differential and integral calculus in several variables and basic principles of higher analysis.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: computation of free and</p>
--	--

	<p>constrained extrema of a multivariate function, resolution of ordinary differential equations and systems, computation of multiple integrals, computation of surface integral, expansion in Fourier series.</p> <p>Independent judgement: ability to autonomously identify the main techniques of differential and integral calculus with multiple variables and higher analysis, and awareness of the interest of higher analysis methodologies in the modeling of physical systems.</p> <p>Communication skills: ability to describe the basic theorems of differential and integral calculus and of higher analysis using an appropriate formal language.</p> <p>Learning skills: understand the mechanisms of differential and integral calculus and of higher analysis.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	CHIMICA GENERALE
SSD	CHIM/03
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Chimica Generale si propone di fornire allo/a studente un'adeguata conoscenza della chimica generale di base, cercando in una prima fase di ampliare le nozioni scolastiche. Attraverso l'approfondimento di fondamentali argomenti quali la struttura atomica, il legame chimico, l'equilibrio chimico ed i principali tipi di reazioni e sistemi reagenti, si intende fornire agli/le studenti lo strumento concettuale per gettare un ponte tra ciò che si percepisce e ciò che si immagina succeda.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: principi della chimica di base.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicare i principi di base</p>

della chimica per comprendere i fenomeni della trasformazione della materia rifacendosi ad atomi, molecole e reazioni chimiche.

Autonomia di giudizio: capacità di estrarre in modo autonomo le informazioni fondamentali sulla comprensione di fenomeni chimici micro e macroscopico e di effettuare calcoli numerici su reagenti e prodotti coinvolti nelle reazioni stesse.

Abilità comunicative: capacità di descrivere la fenomenologia che sottende alla chimica e alle reazioni chimiche.

Capacità di apprendimento: capacità di applicare le migliori soluzioni, anche matematiche al fine di ottenere informazioni chimiche e quantitative da un sistema chimico a seguito di reazioni.

The teaching unit of **Chemistry** aims at providing the student with an adequate knowledge of basic general chemistry, seeking in the first phase to broaden the scholastic notions. Through the deepening of fundamental topics such as atomic structure, chemical bond, chemical equilibrium and the main types of reactions and reacting systems, we intend to provide students with the conceptual tool to build a bridge between what is perceived and what it is expected to happen.

EXPECTED LEARNING OUTCOMES

Knowledge and understanding: principles of basic chemistry.

Ability to apply knowledge and understanding: apply the basic principles of chemistry to understand the phenomena of the transformation of matter by referring to atoms, molecules and chemical reactions.

	<p>Independent judgement: ability to autonomously extract the fundamental information on understanding micro- and macroscopic chemical phenomena and to perform numerical calculations on the reactants and products involved in the reactions themselves.</p> <p>Communication skills: ability to describe the phenomenology that underlies chemistry and chemical reactions.</p> <p>Learning ability: ability to apply the best solutions, including mathematical ones, in order to obtain chemical and quantitative information from a chemical system following reactions.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	ELEMENTI DI BIOFISICA
SSD	FIS/07
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Elementi di Biofisica si propone di fornire allo/a studente una descrizione generale delle proprietà della materia biologica, con particolare riferimento alle proteine. Il corso fornisce, inoltre, una descrizione di base delle più comuni metodologie di analisi spettroscopica per la caratterizzazione dei sistemi biologici. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado</p> <p>i) di descrivere in maniera qualitativa dal punto di vista fisico le proprietà di semplici sistemi biologici quali le proteine, ii) di descrivere i principi fisici che sono alla base del funzionamento della spettrofluorimetria e della spettroscopia di risonanza magnetica, iii) di usare in maniera elementare uno spettrofluorimetro ed uno spettrometro di risonanza magnetica di spin elettronico.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI Conoscenza e capacità di comprensione: capacità di comprendere i) i meccanismi di base del funzionamento di sistemi biologici semplici e ii) i principi alla base del funzionamento di tecniche di spettroscopia</p>

ottica e magnetica. iii) capacità di eseguire semplici esperimenti di spettrofluorimetria e di risonanza magnetica.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: capacità di utilizzare la conoscenza acquisita per la comprensione dei meccanismi di funzionamento di sistemi biologici semplici e per la scelta di metodologie sperimentali adeguate alla caratterizzazione delle loro proprietà fisiche.

Autonomia di giudizio: capacità di autonoma identificazione dei principali aspetti fenomenologici che consentono la descrizione della dinamica di un sistema biologico semplice.

Abilità comunicative: capacità di descrivere la fenomenologia che sottende al funzionamento di sistemi biologici semplici.

Capacità di apprendimento: capacità di interpretare fenomeni biologici elementari dal punto di vista fisico utilizzando sia concetti di meccanica classica che di meccanica quantistica.

The teaching unit of **Elements of Biophysics** aims at providing the student with a general description of the properties of biological matter, with particular reference to proteins. The course also provides a basic description of the most common spectroscopic analysis methodologies for the characterization of biological systems. At the end of the course the student will be able to i) qualitatively describe the properties of simple biological systems such as proteins, ii) to describe the physical principles that underlie spectrofluorometry and magnetic resonance spectroscopy, iii) to use in an elementary way a spectrofluorimeter and an electronic spin magnetic resonance spectrometer.

EXPECTED LEARNING RESULTS

Knowledge and ability to understand: ability to understand i) the basic mechanisms of the functioning of simple biological systems and

	<p>ii) the principles underlying the operation of optical and magnetic spectroscopy techniques. iii) ability to perform simple spectrofluorimetry and magnetic resonance experiments.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: ability to use the knowledge acquired for the understanding of the functioning mechanisms of simple biological systems and for the choice of experimental methodologies suitable for the characterization of their physical properties.</p> <p>Independent judgment: ability to autonomously identify the main phenomenological aspects that allow the description of the dynamics of a simple biological system.</p> <p>Communication skills: ability to describe the phenomenology that underlies the functioning of simple biological systems.</p> <p>Learning skills: ability to interpret elementary biological phenomena from a physical point of view using both classical mechanics and quantum mechanics concepts.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	ELEMENTI DI FISICA SANITARIA
SSD	FIS/01
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Elementi di Fisica Sanitaria si propone di fornire allo/a studente una descrizione generale dei meccanismi del decadimento radioattivo e dei principi fisici che descrivono l'interazione materia-radiazioni ionizzanti. Il corso fornisce, inoltre, una descrizione di base delle più comuni metodologie di analisi dosimetrica e di radioprotezione. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado i) di descrivere i meccanismi del decadimento radioattivo, ii) di descrivere i principi fisici che sono alla base dell'interazione radiazione-materia, iii) di</p>

padroneggiare i concetti base di dosimetria e radioprotezione.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione: comprensione dei principi di base del decadimento radioattivo e dei suoi effetti sui sistemi biologici, comprensione dei principi di dosimetria e della tecnologia usata per la rilevazione di basse attività.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: capacità di applicare le conoscenze dei principi di base della radioattività e della interazione radiazione-materia all'interpretazione dei risultati sperimentali ottenuti con tecniche dosimetriche.

Autonomia di giudizio: capacità di interpretare in maniera autonoma i dati sperimentali provenienti da misure dosimetriche ed inquadrarli nel contesto generale delle regole per la radioprotezione.

Abilità comunicative: capacità di descrivere la fenomenologia del decadimento radioattivo, capacità di descrivere i principi e le tecniche utilizzate in dosimetria e radioprotezione.

Capacità di apprendimento: capacità di interpretare gli effetti delle radiazioni ionizzanti su sistemi biologici utilizzando nozioni di fisica moderna.

The teaching unit of **Elements of health physics** aims at providing the student with a description of the radioactive processes and the physical principles describing the interaction between matter and ionizing radiation. The course also provides a basic description of the most common methods for radiation protection and health.

At the end of the course the student will be able i) to describe the mechanisms of

	<p>radioactive decay, ii) to describe the physical principles that underlie the radiation-matter interaction, iii) to master the basic concepts for radiation protection and for the diagnosis and treatment with radiation.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: understanding the basic principles of radioactive decay and its effects on biological systems, understanding the principles of dosimetry and the technology used for the detection of low activities.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: ability to apply knowledge of the basic principles of radioactivity and radiation-matter interaction to the interpretation of experimental results obtained with dosimetric techniques.</p> <p>Independent judgment: ability to independently interpret experimental data from dosimetric measurements and frame them in the general context of the rules for radiation protection.</p> <p>Communication skills: ability to describe the phenomenology of radioactive decay, ability to describe the principles and techniques used in dosimetry and radiation protection.</p> <p>Learning skills: ability to interpret the effects of ionizing radiation on humans and the environment.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	ELETTROMAGNETISMO
SSD	FIS/01
CFU	12
Obiettivi formativi	L'unità formativa di Elettromagnetismo si propone di fornire allo/a studente gli elementi di base della teoria classica dell'elettromagnetismo e delle sue principali applicazioni. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di analizzare,

	<p>modellizzare e descrivere i principali fenomeni elettromagnetici e di risolvere problemi di media difficoltà.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: conoscenza dei principi di base dell'elettromagnetismo classico.</p> <p>Comprensione della portata e delle conseguenze delle equazioni di Maxwell.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicazione dei principi di base alla descrizione di fenomeni elettromagnetici ed alla soluzione di problemi di media difficoltà.</p> <p>Autonomia di giudizio: sviluppo dell'autonomia di giudizio attraverso l'abitudine ad applicare i concetti di base dell'elettromagnetismo classico a problemi talvolta anche "non standard".</p> <p>Abilità comunicative: sviluppo della capacità di comunicare in forma orale e scritta informazioni, idee, problemi e soluzioni.</p> <p>Capacità di apprendimento: capacità di comprendere i concetti di base che sottendono ai fenomeni elettromagnetici: il concetto di campo ed il passaggio dall'approccio statico e quasi-statico a quello elettrodinamico, l'unificazione dell'elettromagnetismo e dell'ottica.</p> <hr/> <p>The teaching unit of Electromagnetism aims at providing the student with the basic elements of the classical theory of electromagnetism and its main applications. At the end of the course the student will be able to analyze, model and describe the main electromagnetic phenomena and to solve problems of medium difficulty.</p>
--	--

	<p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: knowledge of the basic principles of classical electromagnetism. Understanding the scope and consequences of Maxwell's equations.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: application of basic principles to the description of electromagnetic phenomena and to the solution of problems of medium difficulty.</p> <p>Independent judgment: development of autonomy of judgment through the habit of applying the basic concepts of classical electromagnetism to sometimes even "non-standard" problems.</p> <p>Communication skills: development of the ability to communicate information, ideas, problems and solutions in oral and written form.</p> <p>Learning skills: ability to understand the basic concepts underlying electromagnetic phenomena: the concept of field and the transition from the static and quasi-static to the electrodynamic approach, the unification of electromagnetics and optics.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	ELETTRONICA
SSD	FIS/01
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Elettronica si propone di fornire allo/a studente le conoscenze dei fondamenti dei principali dispositivi a semiconduttore, dell'elettronica analogica e digitale, e delle teoria delle reti. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di 1) conoscere e utilizzare i più diffusi dispositivi elettronici a semiconduttore 2) conoscere e saper realizzare semplici circuiti elettronici con diodi, transistori ed amplificatori operazionali 3) apprendere I metodi di sintesi e di analisi di reti logiche combinatorie,</p>

comprendere il funzionamento delle reti sequenziali.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione: capacità di 1) comprendere il funzionamento dei più diffusi dispositivi elettronici a semiconduttore 2) conoscere e saper realizzare semplici circuiti elettronici con diodi, transistori ed amplificatori operazionali 3) comprendere I metodi di sintesi e di analisi di reti logiche combinatorie ed il funzionamento delle reti sequenziali.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicare i principi di base alla progettazione e descrizione dei principali circuiti elettronici analogici e digitali.

Autonomia di giudizio: capacità di autonoma identificazione dei principali aspetti che consentono la descrizione dei dispositivi e circuiti elettronici.

Abilità comunicative: sviluppo della capacità di comunicare in forma orale e scritta informazioni, idee, problemi e soluzioni.

Capacità di apprendimento: capacità di comprendere i meccanismi di base che sottendono al funzionamento dei principali dispositivi elettronici, dei circuiti e delle reti.

The teaching unit of **Electronics** aims at providing students with the knowledge of the fundamentals of the main semiconductor devices, analog and digital electronics, and network theory. At the end of the course the student will be able to 1) know and use the most common semiconductor electronic devices 2) know and know how to make simple electronic circuits with diodes, transistors and operational amplifiers 3) learn the methods of synthesis and network

	<p>analysis combinatorial logic, understand the functioning of sequential networks.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: ability to 1) understand the operation of the most common semiconductor electronic devices 2) know and know how to make simple electronic circuits with diodes, transistors and operational amplifiers 3) understand the methods of synthesis and analysis of combinatorial logic networks and the functioning of sequential networks.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: apply the basic principles to the design and description of the main analog and digital electronic circuits.</p> <p>Independent judgment: ability to autonomously identify the main aspects that allow the description of electronic devices and circuits.</p> <p>Communication skills: development of the ability to communicate information, ideas, problems and solutions in oral and written form.</p> <p>Learning skills: ability to understand the basic mechanisms underlying the functioning of the main electronic devices, circuits and networks.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	FENOMENI ONDULATORI
SSD	FIS/03
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Fenomeni ondulatori si propone di fornire allo/a studente le conoscenze di base dei fenomeni ondulatori caratterizzanti i sistemi fisici descritti dalle equazioni d'onda lineari. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di descrivere 1) le principali proprietà dell'equazione di D'Alembert e delle onde meccaniche ed</p>

elettromagnetiche 2) le interazioni delle onde elettromagnetiche con la materia e 3) i principali risultati dell'ottica geometrica e dei fenomeni di interferenza e diffrazione.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione: capacità di 1) comprendere le principali proprietà dell'equazione di D'Alembert e delle onde meccaniche ed elettromagnetiche 2) comprendere le interazioni delle onde elettromagnetiche con la materia e 3) di conoscere i principali risultati dell'ottica geometrica e dei fenomeni di interferenza e diffrazione.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicare i risultati relativi alle equazioni d'onda lineari alla descrizione di importanti sistemi fisici.

Autonomia di giudizio: capacità di autonoma identificazione dei principali aspetti che consentono la descrizione della propagazione ondosa in un sistema fisico.

Abilità comunicative: sviluppo della capacità di comunicare in forma orale e scritta informazioni, idee, problemi e soluzioni.

Capacità di apprendimento: capacità di comprendere i meccanismi di base che sottendono ai fenomeni ondulatori in Natura.

The teaching unit of **Wave Phenomena** aims at providing the student with the basic knowledge of wave phenomena characterizing the physical systems described by linear wave equations. At the end of the course the student will be able to describe 1) the main properties of the D'Alembert equation and of mechanical and electromagnetic waves; 2) the interactions of electromagnetic waves with matter and 3) the

	<p>main results of geometric optics and of the phenomena of interference and diffraction.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: ability to 1) understand the main properties of D'Alembert's equation and mechanical and electromagnetic waves 2) understand the interactions of electromagnetic waves with matter and 3) know the main results of geometric optics and the phenomena of interference and diffraction.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: apply the results of linear wave equations to the description of important physical systems.</p> <p>Independent judgment: ability to autonomously identify the main aspects that allow the description of wave propagation in a physical system.</p> <p>Communication skills: development of the ability to communicate information, ideas, problems and solutions in oral and written form.</p> <p>Learning skills: ability to understand the basic mechanisms underlying wave phenomena in Nature.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	FISICA COMPUTAZIONALE
SSD	FIS/05
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Fisica Computazionale si propone di fornire allo/a studente le conoscenze dei fondamenti della matematica discreta, da applicare per la soluzione numerica di problemi fisici, descritti da sistemi di equazioni differenziali non lineari e quindi non risolubili analiticamente. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di ottenere una soluzione numerica di un sistema di equazioni differenziali ordinarie, e</p>

	<p>soluzioni numeriche di altri problemi di calcolo differenziale ed integrale di media difficoltà.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: principi di base e tecnologia della matematica discreta.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicare i principi di base della matematica discreta per ottenere una soluzione numerica di problemi del calcolo differenziale ed integrale non risolubili in forma analitica.</p> <p>Autonomia di giudizio: capacità di estrarre in modo autonomo le informazioni fondamentali sulla soluzione numerica di problemi integrali e differenziali.</p> <p>Abilità comunicative: capacità di descrivere la fenomenologia che sottende alla dinamica di un sistema fisico, le cui soluzioni sono state ottenute in forma numerica.</p> <p>Capacità di apprendimento: capacità di comprendere le migliori tecniche computazionali al fine di ottenere informazioni numeriche da un sistema fisico note le equazioni costitutive.</p> <hr/> <p>The teaching unit of Computational Physics aims at supplying the student with the basic knowledge of discrete mathematics, to apply it to the numerical solution of physics problems, described through system of nonlinear differential equations not solvable in an analytic way. At the end of the course the student will be able to obtain a numerical solution of a system of ordinary differential equations, as well as the numerical solution of other kind of problems of average difficulty in differential and integral calculus.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding of the basic principles and technology in discrete mathematics.</p>
--	---

	<p>Ability to apply knowledge and understanding: application of the basic principles of discrete mathematics to obtain the numerical solution of problems in calculus, not solvable in an analytic way.</p> <p>Independent judgement: ability to extract in an autonomous way the fundamental information concerning the numerical solution of integral and differential calculus problems.</p> <p>Communications abilities: ability to describe the phenomenology at the basis of a physical system, once solutions have been obtained in a numerical form.</p> <p>Learning abilities: ability to understand the best computational techniques aiming to obtain information from a physical system, once the constitutive equations are known.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	FISICA DEI FLUIDI
SSD	FIS/03
CFU	12
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Fisica dei Fluidi si compone di due unità e si propone di fornire alle/agli studenti le conoscenze dei fondamenti della meccanica analitica, della termodinamica e della meccanica statistica, della meccanica dei fluidi e della fluidodinamica alla macro e microscala, da applicare per la soluzione di sistemi fisici a pochi o a molti gradi di libertà. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di ottenere una soluzione analitica di problemi di meccanica analitica, della termodinamica e della meccanica statistica classica e della meccanica dei fluidi di media difficoltà. Inoltre, le/gli studenti potranno confrontarsi con delle esperienze di laboratorio che</p>

permetteranno loro di osservare alcuni dei fenomeni studiati durante il corso.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione: principi di base e metodologia della meccanica statistica classica, della termodinamica statistica e della meccanica dei fluidi alla macro e microscala.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicare i principi di base della meccanica statistica e dei fluidi per ottenere soluzioni analitiche per sistemi non complicati; descrivere ed utilizzare i principi base della termodinamica statistica e della fluidodinamica; comprendere le differenze tra fenomeni termodinamici e fluidodinamici diversi.

Autonomia di giudizio: capacità di estrarre in modo autonomo le informazioni fondamentali sulla soluzione di problemi di meccanica analitica, di meccanica e termodinamica statistica e dei fluidi.

Abilità comunicative: capacità di descrivere la fenomenologia che sottende alla dinamica di un sistema termodinamico, statistico o fluido.

Capacità di apprendimento: capacità di comprendere le migliori tecniche teoriche per lo studio di un sistema meccanico non quantistico.

The teaching unit of **Physics of Fluids** consists of two subunits that aim at providing the student with knowledge of the main aspects of analytical and statistical mechanics, thermodynamics, fluid mechanics and dynamics at the macro- and microscale. These knowledges will be applied for the solution of physical systems with different degrees of freedom. At the end

	<p>of the teaching unit, the student will be able to obtain an analytical solution for physical systems studied in analytical and statistical mechanics, thermodynamics and fluid mechanics of medium difficulty physical systems. Furthermore, the students will be able to deal with laboratory experiences that will allow them to observe some of the phenomena studied during the course.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: ability to use the basic principles and methodology of classical statistical mechanics, statistical thermodynamics and fluid mechanics at the macro and microscale.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: ability to apply the fundamental principles of statistical and fluid mechanics to obtain analytical solutions for physical systems; ability to describe and use the fundamental principles of statistical thermodynamics and fluid dynamics; being able to understand the differences between the different thermodynamic and fluid dynamic phenomena.</p> <p>Independent judgment: ability to autonomously identify and extract the fundamental information for the solution of problems in analytical, statistical and fluid mechanics, as well as for thermodynamic systems.</p> <p>Communication skills: development of the ability to communicate acquired knowledge in oral and written form, ability to describe the phenomenology underlying the dynamics of a thermodynamic, statistical or fluid system.</p> <p>Learning skills: ability to understand the best theoretical techniques for the study of a non-quantum mechanical system.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	FISICA DELL'ATMOSFERA E CLIMATOLOGIA
SSD	FIS/06
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Fisica dell'atmosfera e climatologia si propone di fornire allo/a studente le conoscenze di base della fisica dell'atmosfera, come conseguenza della termodinamica, della dinamica dei fluidi e delle relazioni Sole-Terra, e quindi dei fondamenti teorici e metodologici relativi alla meteorologia dinamica, nonché alcuni aspetti generali di climatologia. Alla fine del corso lo/a studente avrà acquisito le basi per una descrizione dell'atmosfera in termini fisici, e dei suoi valori medi, assieme alle variazioni statistiche, anche a scale temporali multi-decennali.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: è richiesta la conoscenza dei principi di base della fisica dell'atmosfera, nell'ambito delle relazioni Sole-Terra.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: è richiesta la capacità di applicare le conoscenze nell'ambito della fisica dell'atmosfera, in vista della descrizione di alcuni aspetti legati a problematiche meteorologiche e climatologiche.</p> <p>Autonomia di giudizio: è richiesta la capacità di autonoma identificazione dei principali modelli relativi alla fisica dell'atmosfera ed alla climatologia, e della consapevolezza del ruolo giocato dai cambiamenti climatici in atto.</p> <p>Abilità comunicative: è richiesta la capacità di descrivere la fisica dell'atmosfera e le relazioni Sole-Terra, usando un linguaggio formale appropriato, anche per comunicare al</p>

meglio il ruolo sociale dei cambiamenti climatici in atto.

Capacità di apprendimento: è richiesta la capacità di apprendere le basi delle relazioni Sole-Terra e quindi della fisica dell'atmosfera, le basi della meteorologia e le relazioni con il clima ed i cambiamenti climatici.

The teaching unit of **Atmospheric physics and climatology** aims at providing students with the basic knowledge of atmospheric physics (based on thermodynamics, fluid dynamics, and Sun-Earth relations) and of the theoretical and methodological foundations to dynamic meteorology, as well a general knowledge of climatology. At the end of the course the student will know the basics for the description of the atmosphere in physical terms, of its average values, and statistical variations, even at multi-decennial time scales.

EXPECTED LEARNING OUTCOMES

Knowledge and understanding: knowledge of the basic principles of atmospheric physics, in the context of Sun-Earth connections.

Ability to apply knowledge and understanding: ability to apply knowledge of atmospheric physics for the description of some aspects related to meteorological and climatological problems.

Independent judgement: ability to autonomously identify the main models related to the physics of the atmosphere and climatology, and awareness of the role played by the climate change underway.

Communication skills: ability to describe the physics of the atmosphere and the Sun-Earth relations, using appropriate scientific language, also to better communicate the social role of climate change.

	Learning skills: ability to learn the basics of the Sun-Earth relations and therefore of atmospheric physics, meteorology and relations with climate and climate change.
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	FISICA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI
SSD	FIS/07
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Fisica e Tecnologia dei Materiali è principalmente a carattere sperimentale e con una forte componente di laboratorio. Durante le lezioni frontali vengono introdotti gli argomenti che costituiscono le basi delle esperienze di laboratorio. Scopo del corso è far conoscere allo/a studente molteplici tecniche sperimentali spettroscopiche per caratterizzare la risposta dielettrica dei materiali alla multiscala. Tecniche di microscopica ottica ed a forza atomica saranno invece impiegate per la caratterizzazione morfologica dei materiali. Vengono messe in rilievo le applicazioni tecnologiche dei sistemi considerati.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: Al termine del corso, lo/a studente possiede conoscenze nel campo delle tecniche di indagine spettroscopica e microscopica applicata alla Fisica della Materia.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: In particolare, lo/a studente conosce il concetto di comportamento dei materiali in termini dielettrici e meccanici al variare della loro scala e struttura. Apprende inoltre metodologie di modellazione di sistemi complessi a partire da principi primi.</p>

Autonomia di giudizio: capacità di individuare le metodologie opportune per le indagini sulle proprietà della materia condensata e come le stesse siano legate alla loro struttura.

Abilità comunicative: capacità di utilizzare le metodologie di indagine sulla struttura degli stati aggregati della materia e le proprietà ad essa connesse.

Capacità di apprendimento: comprendere l'importanza di utilizzare il corretto approccio sperimentale per lo studio dei materiali in dipendenza dalla loro dimensionalità ed ordine.

The teaching unit of **Physics and Technology of Materials** is mainly experimental in nature, with a strong laboratory component. During lectures, topics that form the basis of laboratory experiments are introduced. The aim of the course is to introduce the student to multiple spectroscopic experimental techniques for characterizing the dielectric response of materials on a multiscale level. Optical and atomic force microscopy techniques will instead be used for the morphological characterization of materials. The technological applications of the systems considered are highlighted.

EXPECTED LEARNING OUTCOMES

Knowledge and understanding: At the end of the course, the student possesses knowledge in the field of spectroscopic and microscopic investigation techniques applied to the physics of matter.

Ability to apply knowledge and understanding: In particular, the student is familiar with the concept of material

	<p>behavior in terms of dielectric and mechanical properties as a function of their scale and structure. They also learn methodologies for modeling complex systems based on first principles.</p> <p>Independent judgment: ability to identify appropriate methodologies for investigations into the properties of condensed matter and how they are related to their structure.</p> <p>Communicative skills: ability to use methodologies for investigating the structure of aggregated states of matter and the properties associated with them.</p> <p>Learning ability: understanding the importance of using the correct experimental approach for the study of materials depending on their dimensionality and order.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	FISICA QUANTISTICA DEI MATERIALI CON LABORATORIO
SSD	FIS/02
CFU	12
Obiettivi formativi	<p>L'attività formativa di Fisica Quantistica dei Materiali con Laboratorio si propone di introdurre gli studenti e le studentesse ai concetti fondamentali di Meccanica quantistica, a partire dagli esperimenti che hanno portato alla crisi della fisica classica fino alle più semplici applicazioni allo studio della struttura della materia. Il formalismo matematico viene mantenuto al livello minimo indispensabile per fornire gli strumenti operativi necessari alla descrizione di semplici modelli di sistemi materiali, con l'obiettivo di far comprendere la connessione tra la descrizione</p>

microscopica e quella macroscopica per alcune delle proprietà della materia. Le attività di laboratorio hanno lo scopo primario di verificare alcuni dei fenomeni che hanno condotto alla nascita della meccanica quantistica, nonché di svolgere semplici esperienze riguardanti la fisica quantistica, che dovranno essere descritte e interpretate sulla base dei principi e con il linguaggio sviluppato durante le lezioni.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione: Comprendere i principi della meccanica quantistica e le metodologie necessarie a descrivere il comportamento degli elettroni nei sistemi atomici ed in semplici dispositivi a stato solido, nonché la necessità di utilizzarli per comprendere e analizzare la fenomenologia ad essi relativa.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Saper impiegare il formalismo della meccanica quantistica per risolvere semplici modelli di struttura della materia. Essere in grado di utilizzare in maniera corretta la strumentazione di laboratorio

Autonomia di giudizio: saper confrontare criticamente i risultati di modelli/predizioni teoriche con misure/verifiche sperimentali nel contesto della fisica della materia; comprendere in quali contesti sia necessario utilizzare l'approccio quantistico e quando, invece, si possa continuare ad usare l'approssimazione

classica; riuscire ad interpretare in maniera critica i risultati degli esperimenti eseguiti in laboratorio.

Abilità comunicative: usare correttamente il linguaggio della meccanica quantistica, nel descrivere alcuni aspetti del comportamento di elettroni, sistemi atomici, materiali e per analizzare i risultati degli esperimenti condotti in laboratorio.

Capacità di apprendimento: Comprendere le motivazioni dell'inadeguatezza della descrizione classica del comportamento di elettroni ed atomi; comprendere la portata e le conseguenze del principio di sovrapposizione e di quello di indeterminazione; essere in grado di raccordare, in casi semplici, la descrizione microscopica con quella macroscopica delle proprietà dei materiali.

The teaching unit of **Quantum Physics of Materials with Laboratory** aims at introducing students to fundamental concepts of quantum mechanics, starting from experiments that brought to the crisis of classical physics and up to simple applications in the physics of matter. Mathematical formalism will be kept to the lowest possible level to provide concepts and tools needed to analyze simple models of material system, with the aim of understanding the connection between the microscopic and the macroscopic description of the physical properties of matter. Laboratory activities aims primarily at verifying some of the phenomena that led to the

birth of quantum physics, as well as to build up some simple experience concerning quantum behaviour of matter, which shall be discussed on the basis of the quantum language developed during the lectures.

EXPECTED LEARNING OUTCOMES

knowledge and understanding:

Understanding the principles of quantum mechanics and the mathematical methods needed to describe the behavior of electrons within atoms, and simple solid state devices. Understanding the need to employ quantum concepts to discuss and analyze the phenomenology observed in the laboratory.

Ability to apply knowledge and understanding:

ability to employ the formalism of quantum mechanics to solve simple problems about static and dynamical properties of model- systems related to matter physics. Ability to use laboratory equipment correctly

Autonomy of judgment: ability to critically compare the results of theoretical modelling with measures and experimental verifications in the realm of matter physics. Ability to assess the usefulness of the classical vs quantum approach. Ability to critically assess experimental procedures.

Communication skills:

to be able to employ correctly the technical language in order to describe the properties of electrons, atoms and simple material devices, and to discuss experimental procedures and results.

	<u>Learning skills:</u> To understand the inadequacy of the classical description of electrons and atoms; to understand the deep meaning of superposition principle and uncertainty relations. To be able to connect, in simple cases, the microscopic and macroscopic description of material properties.
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	GEOMETRIA PER LA FISICA
SSD	MAT/07
CFU	9
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Geometria per la fisica si propone di fornire le conoscenze fondamentali dell'algebra lineare e della geometria analitica enfatizzando alcuni concetti di particolare rilevanza per la fisica. Al termine del corso lo studente sarà in grado di padroneggiare gli aspetti dell'algebra lineare e della geometria analitica alla base dello studio dei sistemi fisici lineari, della meccanica razionale e più in generale dei sistemi dinamici, della meccanica quantistica e della relatività ristretta.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI Conoscenza e capacità di comprensione: Lo studente sarà in grado di dimostrare i principali teoremi dell'algebra lineare e della geometria analitica e di riconoscere e analizzare la struttura di spazio vettoriale in diversi contesti. Avrà inoltre familiarità con il concetto di operatore lineare in spazi reali e complessi, sarà in grado di descrivere le proprietà fondamentali degli spazi euclidei e dello spazio di Minkowski. Lo studente dovrà essere consapevole del potere unificatore del formalismo astratto dell'algebra lineare senza il quale non sarebbe possibile la concretezza</p>

delle sue applicazioni in diverse aree della fisica. Infine, dovrà acquisire visione d'insieme.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: gli studenti saranno in grado di applicare le conoscenze acquisite per la risoluzione di problemi elementari di geometria analitica e sistemi di equazioni lineari, per il calcolo di autovalori e autovettori di una trasformazione lineare nel campo reale e complesso, per la determinazione di una base ortonormale di uno spazio vettoriale reale e complesso, per la diagonalizzazione di matrici reali e complesse. Dovranno inoltre essere in grado di applicare il teorema della rappresentazione di Riesz e di discutere il concetto di ortogonalità e parallelismo all'interno dello spazio di Minkowski.

Autonomia di giudizio: capacità di individuare i teoremi necessari per la risoluzione di problemi di algebra lineare e geometria.

Abilità comunicative: capacità di usare il metodo logico deduttivo per dimostrare i teoremi fondamentali dell'algebra lineare e della geometria analitica usando un linguaggio formale appropriato, capacità di sintesi.

Capacità di apprendimento: gli studenti dovranno essere in grado di leggere testi più avanzati di algebra lineare e avranno raggiunto un livello di apprendimento tale da poter affrontare un corso introduttivo di analisi funzionale (per il quale sarà necessario aver seguito il corso di Analisi Matematica II) e un corso sulla teoria dei gruppi di Lie e Algebre di Lie di matrici.

The **Geometry for Physics** training unit aims to provide the fundamental knowledge of linear algebra and analytical geometry by emphasizing some concepts of particular

relevance to physics. At the end of the course the student will be able to master the aspects of linear algebra and analytical geometry at the basis of the study of linear physical systems, rational mechanics and more generally dynamical systems, quantum mechanics and special relativity.

EXPECTED LEARNING OUTCOMES

Knowledge and understanding: The student will be able to demonstrate the main theorems of linear algebra and analytic geometry and to recognize and analyze the vector space structure in different contexts. He will also be familiar with the concept of linear operator in real and complex spaces, he will be able to describe the fundamental properties of Euclidean spaces and Minkowski space. The student will have to be aware of the unifying power of the abstract formalism of linear algebra that leads to the concreteness of its applications in different areas of physics would not be possible. Finally, you will have to acquire an overview.

Ability to apply knowledge and understanding: the students will be able to apply the acquired knowledge for solving elementary problems of analytic geometry and systems of linear equations, for calculating eigenvalues and eigenvectors of a linear transformation in the real and complex field, for the determination of an orthonormal basis of a real and complex vector space, for the diagonalization of real and complex matrices. They will also have to be able to apply the Riesz representation theorem and to discuss the concept of orthogonality and parallelism within the Minkowski space.

	<p>Making judgments: ability to identify the theorems necessary for solving linear algebra and analytic geometry problems.</p> <p>Communication skills: ability to use the deductive logic method to prove the fundamental theorems of linear algebra and analytic geometry using an appropriate formal language, ability to synthesize</p> <p>Learning skills: students should be able to read graduate texts on linear algebra and to face an introductory course in functional analysis (for which the course of Analisi Matematica II will be necessary) and a course on Matrix Lie groups and Lie Algebras.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	INFORMATICA
SSD	INF/01
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Informatica si propone di fornire allo/a studente le conoscenze dei fondamenti teorici e metodologici relativi all'informatica, all'aritmetica degli elaboratori e al calcolo proposizionale, con particolare riguardo agli aspetti applicativi di base, approfondendo uno specifico linguaggio di programmazione. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di padroneggiare gli aspetti dell'informatica necessari per intraprendere lo studio della fisica computazionale.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: Struttura e funzionamento di un calcolatore elettronico, sistemi di rappresentazione numerica nei calcolatori elettronici, comprensione delle basi della programmazione dei calcolatori elettronici, studio della programmazione strutturata, introduzione al linguaggio di programmazione C++.</p>

	<p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: scrittura di un programma nel linguaggio di programmazione C++.</p> <p>Autonomia di giudizio: capacità di autonoma identificazione delle principali tecniche di programmazione in C++.</p> <p>Abilità comunicative: capacità di descrivere i concetti di base dell'informatica.</p> <p>Capacità di apprendimento: comprendere i meccanismi della programmazione ed essere in grado di applicarli autonomamente.</p> <hr/> <p>The teaching unit of Computer science aims at providing the student with the knowledge of the theoretical and methodological foundations related to computer science, computer arithmetic and propositional calculus, with particular regard to the basic application aspects, deepening a specific programming language. At the end of the course the student will be able to master the aspects of computer science necessary to undertake the study of computational physics.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: Structure and functioning of an electronic computer, numerical representation systems in electronic computers, understanding of the basics of programming of electronic computers, study of structured programming, introduction to the C++ programming language.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: writing a program in the C++ programming language.</p>
--	---

	<p>Indedepent judgement: ability to autonomously identify the main programming techniques in C++.</p> <p>Communication skills: ability to describe the basic concepts of computer science.</p> <p>Learning skills: understanding the mechanisms of programming and being able to apply them autonomously.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	INGLESE
SSD	L-LIN/12
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>Il corso di Inglese è principalmente un corso di Lingua per Scopi Specifici (ESP).</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione. L'obiettivo del corso è di sviluppare e potenziare abilità accademiche, essere in grado di comprendere testi autentici relativi al contesto accademico e sviluppare un lessico specialistico, mirando all' acquisizione e uso di un repertorio lessicale e terminologico pertinente al settore di studio (fisico-scientifico).</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: In particolare: individuare e capire il messaggio principale di un testo scientifico; individuare informazioni specifiche; identificare espressioni chiave e marcatori del discorso; capire le relazioni fra le diverse parti di un discorso/testo.</p> <p>Autonomia di giudizio: Il fine è quello di mettere lo/a studente in grado di poter comprendere in autonomia testi scientifici in lingua inglese, di poter svolgere attività di ricerca in laboratori internazionali e di comunicare con colleghi di altri paesi.</p>

Abilità comunicative L'obiettivo è di stimolare lo/a studente a capire e presentare in lingua i contenuti principali di un testo specialistico; esprimere la propria opinione circa un argomento, gestire i turni in un dibattito, evidenziare e riassumere le idee principali di una lezione/seminario/argomento, presentare delle idee visivamente tramite mappe concettuale/poster/infographics/power point presentations.

Capacità di apprendimento: L'obiettivo è di aiutare gli/le studente ad acquisire abilità accademiche e tecniche di apprendimento che permetteranno loro di svolgere autonomamente lo studio in lingua inglese nelle loro future esperienze in campo accademico e professionale. Gli/le studenti a fine corso dovranno raggiungere competenze pari al livello B2 (Common European Framework of Reference, Consiglio d'Europa 2001).

The course is primarily focused on English for Specific Purposes (ESP).

EXPECTED LEARNING OUTCOMES

Knowledge and comprehension abilities. The course purpose is to develop and enhance students' academic abilities, to enable students to understand authentic texts in their academic field and to develop specialized vocabulary and use of a lexical and terminological repertoire pertinent to their field of study (physics and science).

Ability to practice knowledge and understanding: Specifically: to identify and understand the main message of a scientific text; to single out specific information; to recognize key phrases and discourse markers; to understand links and connections between the different parts of a speech/text.

	<p>Independent judgment: The aim is to enable students to independently understand scientific texts in English, to be able to carry out research activities in international laboratories and to communicate with colleagues from other countries.</p> <p>Communication skills: The aim is to stimulate students to understand and present the main contents of a specialized text in English; to express their opinion on a topic, to take turns in a debate, highlight and summarize the main ideas of a lecture/seminar/topic, by visually presenting ideas via concept maps/posters/infographics/power point presentations.</p> <p>Learning abilities: The goal is to help students acquire academic skills and learning techniques that will enable them to independently study in English in their future academic and professional experiences. At the end of the course, students will have achieved language abilities corresponding to the B2 level (of Common European Framework of Reference, Council of Europe 2001).</p>
Propedeuticità	Aver frequentato la prima parte del modulo di Lingua Inglese, English for basic Academic skills.

Attività formativa	INTRODUZIONE ALL'ASTROFISICA
SSD	FIS/05
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Introduzione all'astrofisica si propone di fornire allo/a studente le conoscenze dei fondamenti di base e della morfologia relative ai principali sistemi astrofisici che, essendo la base della nostra descrizione della natura, sono normalmente utilizzati in tutti i campi della fisica, costituendo quindi un bagaglio culturale fondamentale per ogni fisico.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione:</p>

è richiesta la conoscenza dei principi di base di alcuni processi fisici particolari, legati al campo dell'astrofisica.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: è richiesta la capacità di applicare la conoscenza dei processi fisici descritti, per comprendere come questi risultino decisivi nell'interpretazione di alcune osservazioni astrofisiche.

Autonomia di giudizio: è richiesta la capacità di autonoma identificazione dei principali modelli relativi ai processi fisici di base per l'astrofisica, che risultano particolarmente utili anche in altri campi della fisica.

Abilità comunicative: capacità di descrivere i principali meccanismi fisici derivanti da alcuni processi astrofisici decisivi per l'interpretazione di alcune osservazioni astrofisiche, e di far comprendere come questi siano utili anche per descrivere la nostra concezione del mondo.

Capacità di apprendimento: comprendere i meccanismi di base e le osservazioni che hanno portato allo studio di alcuni processi fisici particolari in astrofisica, e capacità di utilizzarli per l'interpretazione di fenomeni relativi ad altri campi della fisica.

The teaching unit of **Introduction to astrophysics** aims at providing the student with the knowledge of the basic fundamentals and morphology related to the main astrophysical systems which, being the basis of our description of Nature, are normally used in all fields of physics, thus constituting a fundamental cultural baggage for every physicist.

EXPECTED LEARNING OUTCOMES

Knowledge and understanding: knowledge of the basic principles of some particular

	<p>physical processes related to the field of astrophysics is required.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: the ability to apply knowledge of the physical processes described is required to understand how these are decisive in the interpretation of some astrophysical observations.</p> <p>Independent judgment: the ability to autonomously identify the main models relating to basic physical processes for astrophysics is required, which are also particularly useful in other fields of physics.</p> <p>Communication skills: ability to describe the main physical mechanisms deriving from some astrophysical processes that are decisive for the interpretation of some astrophysical observations, and to understand how these are also useful for describing our conception of the world.</p> <p>Learning skills: understand the basic mechanisms and observations that led to the study of some particular physical processes in astrophysics, and the ability to use them for the interpretation of phenomena related to other fields of physics.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	INTRODUZIONE ALLA FISICA TEORICA
SSD	FIS/02
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Introduzione alla fisica teorica si propone di approfondire la visione quantistica dei fenomeni fisici in ambito meccanico, termodinamico ed elettromagnetico, partendo dall'analisi di fatti sperimentali per arrivare alla loro modellizzazione teorica. Viene trattato il metodo delle funzioni di Green, applicato per ricavare la formulazione di Feynman della meccanica quantistica; si descrivono sistemi quantistici aperti e/o interagenti, con particolare riferimento a quelli operanti in</p>

regime coerente. Viene fornita una introduzione alla meccanica statistica quantistica, al fenomeno della decoerenza, nonché alla teoria delle correlazioni quantistiche.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione: formulazione della meccanica quantistica tramite gli integrali di cammino e tramite la matrice densità; emergenza del limite classico e applicabilità delle descrizioni classica, semi-classica e quantistica nei processi radiativi ed in meccanica statistica; rilevanza concettuale delle correlazioni quantistiche e degli effetti della coerenza quantistica, nonché della sua soppressione in sistemi aperti.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicare i metodi della meccanica quantistica e della termodinamica statistica quantistica alla descrizione quantitativa di esperimenti di interferenza quantistica e di fenomeni dovuti alla presenza di entanglement, saper risolvere semplici problemi sull'equilibrio termodinamico dei sistemi quantistici e sulla dinamica di approccio verso l'equilibrio.

Competenze trasversali: Abilità nel risolvere problemi, in particolare attraverso l'utilizzo del formalismo quantistico; capacità di collaborare in piccoli gruppi, migliorando le abilità di condivisione e presentazione del lavoro svolto.

Autonomia di giudizio: capacità di valutare criticamente la necessità di utilizzare modelli semi-classici o completamente quantistici per affrontare alcuni problemi e descrivere esperimenti riguardanti le proprietà

	<p>dinamiche e di equilibrio termico di semplici sistemi quantistici.</p> <p>Abilità comunicative: capacità di descrivere gli aspetti quantitativi salienti di fenomeni quantistici utilizzando la terminologia appropriata.</p> <p>Capacità di apprendimento: comprensione dei concetti di interferenza e correlazione quantistica e dei meccanismi di decoerenza.</p> <hr/> <p>The teaching unit of Introduction to theoretical physics aims at deepening the quantum description of physical phenomena in the mechanical, thermodynamical and electromagnetic realm. We cover Green's function and Feynman formulation of Quantum mechanics, describe open and/or interacting quantum systems, focusing of those operating in the coherent regime. An introduction is provided to quantum statistical mechanics, to the phenomenon of decoherence, to the theory of entanglement.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and Understanding:</p> <p>Principles underlying the path integral and density matrix-based formulations of quantum mechanics. A critical understanding of the emergence of the classical limit and of the applicability of the semiclassical and fully quantum description of the radiation-matter interaction and to discuss equilibrium properties of simple systems. Relevance of quantum coherence and quantum entanglement and understanding of the basic decoherence mechanisms.</p>
--	--

	<p>Applying Knowledge and Understanding: Ability to apply the methods of quantum mechanics and quantum statistical mechanics to provide a quantitative description of (and to solve simple problems related to) basic interference and correlation phenomena for atomic and spin systems. Ability to solve simple problems concerning both equilibrium properties and relaxation dynamics of quantum systems.</p> <p>Soft skills: Problem solving, in particular through the quantum formalism. Development of a critical attitude towards the modeling of physical phenomena.</p> <p>Independent judgement: ability to evaluate the type of modeling necessary for the description of experiments concerning the dynamic and thermal equilibrium properties of simple quantum systems.</p> <p>Communication skills: Ability to describe quantum coherence phenomena and experiments performed in the realm of quantum physics and to discuss them in a concise and technically-correct language.</p> <p>Learning skills: understanding of the concepts of quantum interference and correlation and decoherence mechanisms.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	INTRODUZIONE ALLE NANOSTRUTTURE E ALLE NANOTECNOLOGIE
SSD	FIS/07
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>Il corso "Introduzione alle Nanotecnologie e alla Nanoscienza" ha l'obiettivo di fornire agli studenti:</p> <p>Approfondita enfasi sui concetti e le applicazioni della Biofotonica; Una solida conoscenza delle tecniche di sintesi delle nanostrutture;</p>

	<p>Comprendere le proprietà a livello nanometrico, con particolare attenzione agli effetti quantistici derivanti dal confinamento quantistico;</p> <p>Osservazione sperimentale di tali effetti mediante l'utilizzo di analogie tra l'elettromagnetismo classico e la meccanica quantistica.</p> <p>Durante le attività di laboratorio, gli studenti avranno l'opportunità di:</p> <p>Realizzare nanostrutture ottiche che riproducono configurazioni quantistiche correlate al confinamento quantistico;</p> <p>Esplorare potenziali periodici per chiarire l'emergere di bande e band-gap;</p> <p>Approfondire i concetti di Flat Optics e Metamateriali Fotonici.</p> <p>Gli studenti acquisiranno una conoscenza approfondita e competenze in:</p> <p>Tecniche di sintesi per semiconduttori di nuova generazione;</p> <p>Tecniche avanzate di microscopia e spettroscopia;</p> <p>Introduzione alle applicazioni delle nanotecnologie, inclusi semiconduttori a banda indiretta per la nano-elettronica, semiconduttori a banda diretta per la nanofotonica e l'ottica quantistica;</p> <p>Particolare enfasi sulle applicazioni della Biofotonica e la loro rilevanza.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI:</p> <p>Padronanza dell'analogia tra meccanica quantistica ed elettromagnetismo classico;</p> <p>Comprendere le strutture ottiche che simulano il confinamento quantistico;</p> <p>Acquisire una profonda conoscenza dei meccanismi fisici alla base della formazione di bande e band-gap nei semiconduttori;</p> <p>Comprendere i concetti legati al decadimento radiativo utilizzando la teoria delle perturbazioni dipendente dal tempo.</p> <p>Capacità di applicare conoscenze e comprensione:</p>
--	--

	<p>Applicare le conoscenze acquisite per la realizzazione di sistemi per la nano-fotonica, compresa la Biofotonica, e l'ottica quantistica; Utilizzare le conoscenze nella sintesi e caratterizzazione di semiconduttori di nuova generazione con rilevanza per le applicazioni della Biofotonica.</p> <p>Giudizio indipendente:</p> <p>Capacità di selezionare metodologie appropriate per l'indagine delle proprietà dei nano-materiali e dei nano-sistemi, in particolare nel contesto della Biofotonica; Comprendere il potenziale della Flat Optics e dei Metamateriali nella Biofotonica.</p> <p>Abilità di comunicazione:</p> <p>Padronanza del linguaggio tipico delle nanotecnologie, con particolare attenzione alla terminologia della Biofotonica; Presentare i fenomeni studiati durante l'esame orale e le discussioni pubbliche dei lavori di laboratorio utilizzando presentazioni PowerPoint, con un focus particolare sui concetti e le applicazioni della Biofotonica.</p> <hr/> <p>The course "Introduction to Nanotechnologies and Nano-science" aims to provide students with:</p> <p>Enhanced focus on BioPhotonics concepts and applications; Adequate knowledge of nano-structure synthesis techniques; Understanding of properties at the nano-scale, with a particular emphasis on quantum effects due to quantum confinement; Experimental observation of these effects by employing analogies between classic electromagnetism and quantum mechanics.</p> <p>During laboratory activities, students will have the opportunity to:</p>
--	---

	<p>Nano-fabricate optical systems that replicate quantum configurations associated with quantum confinement.</p> <p>Explore periodic potentials to elucidate the emergence of bands and band-gaps;</p> <p>Explore Flat Optics and Photonic Metamaterials concepts.</p> <p>Students will gain comprehensive knowledge and competence in:</p> <p>Synthesis techniques for new-generation semiconductors;</p> <p>Advanced microscopy and spectroscopic techniques;</p> <p>Introduction to nanotechnology applications, including indirect band semiconductors in nano-electronics, direct-bandgap semiconductors in nano-photonics and quantum optics;</p> <p>Special emphasis on Bio Photonics applications and their relevance.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES:</p> <p>Master the analogy between quantum mechanics and classic electromagnetism;</p> <p>Understand optical structures mimicking quantum confinement;</p> <p>Acquire in-depth knowledge of the physical mechanisms leading to the formation of bands and band-gaps in semiconductors;</p> <p>Comprehend concepts related to radiative decay using time-dependent perturbation theory;</p> <p>Capability to apply knowledge and comprehension:</p> <p>Apply acquired knowledge to fabricate systems for nano-photonics, including bio photonics, and quantum optics</p> <p>Utilize knowledge in the synthesis and characterization of new-generation semiconductors with relevance to bio photonics applications</p> <p>Independent judgment:</p>
--	--

	<p>Ability to select appropriate methodologies for investigating properties of nano-materials and nano-systems, specifically in the context of bio photonics;</p> <p>Understanding the potential of Flat Optics and Metamaterials in bio photonics applications;</p> <p>Communication skills:</p> <p>Master the typical lexicon of nanotechnologies, with an emphasis on bio photonics terminology</p> <p>Present phenomena studied during the oral examination and public discussions of laboratory papers using PowerPoint presentations, with a particular focus on bio photonics concepts and applications.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	LABORATORIO DI ELETTROMAGNETISMO E ONDE
SSD	FIS/07
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Laboratorio di Elettromagnetismo e Onde si propone di fornire allo/a studente le conoscenze delle principali pratiche di laboratorio necessarie per lo studio sperimentale dei fenomeni elettromagnetici e relativi alla propagazione ondosa. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di pianificare e realizzare indagini sperimentali relative ai fenomeni elettromagnetici e di propagazione delle onde.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: conoscenza delle principali pratiche di laboratorio necessarie per lo studio sperimentale dei fenomeni elettromagnetici e relativi alla propagazione ondosa.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: capacità di applicare le</p>

	<p>principali tecniche di laboratorio apprese alle descrizioni dei principali fenomeni elettromagnetici ed ondulatori.</p> <p>Autonomia di giudizio: capacità di autonoma identificazione dei principali aspetti che consentono l'indagine sperimentale dei fenomeni elettromagnetici e della propagazione delle onde in un sistema fisico.</p> <p>Abilità comunicative: sviluppo della capacità di comunicare in forma orale e scritta informazioni, idee, problemi e soluzioni.</p> <p>Capacità di apprendimento: capacità di comprendere l'importanza dell'approccio sperimentale nella descrizione dei fenomeni elettromagnetici ed ondulatori in natura.</p> <hr/> <p>The teaching unit of the Electromagnetism and Waves Laboratory aims at providing students with the knowledge of the main laboratory practices necessary for the experimental study of electromagnetic phenomena and related to wave propagation. At the end of the course the student will be able to plan and carry out experimental investigations related to electromagnetic phenomena and wave propagation.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding skills: knowledge of the main laboratory practices necessary for the experimental study of electromagnetic phenomena and wave propagation.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: the ability to apply the main laboratory techniques learned to the description of the main electromagnetic and wave phenomena.</p> <p>Independent judgement: the ability to independently identify the main aspects that</p>
--	--

	<p>allow the experimental investigation of electromagnetic phenomena and wave propagation in a physical system.</p> <p>Communication skills: development of the ability to communicate information, ideas, problems and solutions in oral and written form.</p> <p>Learning skills: the ability to understand the importance of the experimental approach in the description of electromagnetic and wave phenomena in Nature.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	LABORATORIO DI FISICA MODERNA
SSD	FIS/07
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Laboratorio di Fisica Moderna ha lo scopo di fornire allo/a studente una descrizione dettagliata della fenomenologia che ha segnato la crisi della fisica classica ed il passaggio alla fisica quantistica all'inizio del XX secolo. Ciascuno dei fenomeni trattati viene verificato sperimentalmente in laboratorio.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: Acquisire nozioni fondamentali relative ai fenomeni che hanno portato alla crisi della fisica classica.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: essere in grado di utilizzare in maniera corretta la strumentazione di laboratorio.</p> <p>Autonomia di giudizio: interpretare in maniera critica i risultati degli esperimenti eseguiti in laboratorio.</p> <p>Abilità comunicative: capacità di descrivere le conseguenze la necessità dell'introduzione della descrizione quantistica della natura.</p>

	<p>Capacità di apprendimento: comprendere i motivi dell'inadeguatezza dei modelli della fisica classica nella descrizione teorica di alcuni esperimenti relativi al mondo microscopico.</p> <hr/> <p>The teaching unit of Modern Physics Laboratory aims at providing the student with a detailed description of the phenomenology that marked the crisis in classical physics and the transition to quantum physics at the beginning of the twentieth century. Each of the phenomena treated is experimentally verified in the laboratory.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: Acquire fundamental notions relating to the phenomena that led to the crisis of classical physics.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: to be able to use laboratory equipment correctly.</p> <p>Independent judgment: critically interpret the results of the experiments performed in the laboratory.</p> <p>Communication skills: ability to describe the consequences of the need for the introduction of the quantum description of nature.</p> <p>Learning skills: understand the reasons for the inadequacy of classical physics models in the theoretical description of some experiments related to the microscopic world.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	LABORATORIO DI MECCANICA E TERMODINAMICA
SSD	FIS/07

CFU	9
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Laboratorio di Meccanica e Termodinamica si propone di fornire allo/a studente le conoscenze dei fondamenti del metodo sperimentale e della valutazione dei dati, da applicare in laboratorio a sistemi fisici, prevalentemente nell'ambito della meccanica e termodinamica. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di effettuare misure di laboratorio e di valutarne l'attendibilità.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: principi di base del metodo sperimentale e della propagazione degli errori.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicare i principi di base del metodo sperimentale agli esperimenti di laboratorio di meccanica e termodinamica.</p> <p>Autonomia di giudizio: capacità di estrarre in modo autonomo le informazioni fondamentali dai risultati sperimentali</p> <p>Abilità comunicative: capacità di descrivere la fenomenologia che sottende alla dinamica di un sistema fisico sul quale si siano effettuate delle misure.</p> <p>Capacità di apprendimento: capacità di comprendere le migliori tecniche di misura e di calcolo degli errori nelle varie situazioni sperimentali.</p> <hr/> <p>The teaching unit of Mechanics and Thermodynamics Laboratory aims at providing the student with the knowledge of the fundamentals of the experimental method and of data evaluation, to be applied in the laboratory to physical systems, mainly in the field of mechanics and thermodynamics. At the end of the course the student will be able</p>

	<p>to perform laboratory measurements and to assess their reliability.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: basic principles of the experimental method and the propagation of errors.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: apply the basic principles of the experimental method to the mechanical and thermodynamic laboratory experiments.</p> <p>Independent judgment: ability to independently extract fundamental information from experimental results.</p> <p>Communication skills: ability to describe the phenomenology that underlies the dynamics of a physical system on which measurements have been made.</p> <p>Learning skills: ability to understand the best measurement techniques and calculation of errors in various experimental situations.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	MATEMATICA APPLICATA
SSD	FIS/02
CFU	9
Obiettivi formativi	<p>L'obiettivo del corso di Matematica applicata è di fornire allo/a studente alcuni strumenti matematici necessari per lo studio dei fenomeni fisici fondamentali e per la risoluzione di problemi applicativi di diversa natura. In particolare verranno trattati: elementi di analisi complessa e analisi funzionale applicati in vari ambiti della fisica; strumenti matematici per lo studio dei sistemi dinamici e della teoria della complessità. Verranno anche richiamati alcuni dei concetti fondamentali dell'analisi</p>

matematica e dell'algebra lineare che sono propedeutici per l'analisi funzionale. Il corso sarà basato su un approccio prevalentemente applicativo, mantenendo il rigore tipico della matematica.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione: Gli/le studenti devono impadronirsi dei principali strumenti dell'analisi complessa e funzionale, nonché delle tecniche analitiche e numeriche per lo studio dei sistemi dinamici e della complessità.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: Gli/le studenti saranno in grado di usare funzioni analitiche, calcolo dei residui, trasformate integrali, teoria degli operatori su uno spazio di Hilbert, saranno in grado di studiare i punti critici e gli attrattori di un sistema dinamico e di caratterizzare la transizione al caos calcolando quantità quali l'esponente di Lyapunov, la dimensione di un attrattore e l'entropia generata dalla dinamica.

Autonomia di giudizio: capacità di identificare gli strumenti matematici necessari per affrontare un problema applicativo proveniente dalla fisica. Abilità comunicative: capacità di descrivere in modo adeguato quanto appreso nel corso, mettendone in evidenza la portata applicativa.

Capacità di apprendimento: Sviluppo di pensiero critico, capacità di riflettere sugli aspetti matematici soggiacenti la descrizione di un fenomeno fisico, e attenzione ai dettagli formali.

The aim of the teaching unit of **Applied mathematics** is to provide the student with

some mathematical tools necessary for the study of fundamental physical phenomena and for solving applied problems of various kinds. In particular, the following topics will be covered: elements of complex analysis and functional analysis applied in various areas of physics; mathematical tools for the study of dynamical systems and complexity theory. Some of the fundamental concepts of mathematical analysis and linear algebra that are preparatory to functional analysis will also be recalled. The course will be based on a predominantly applied approach while maintaining the rigor typical of mathematics.

EXPECTED LEARNING OUTCOMES

Knowledge and ability to understand: Students should master the main tools of complex and functional analysis, as well as analytical and numerical techniques for the study of dynamical systems and complexity.

Ability to apply knowledge and understanding: Students will be able to use analytic functions, calculus of residuals, integral transforms, theory of operators on a Hilbert space, be able to study critical points and attractors of a dynamical system, and be able to characterize the transition to chaos by calculating quantities such as the Lyapunov exponent, the size of an attractor, and the entropy generated by the dynamics.

Independent judgment: ability to identify the mathematical tools needed to address an application problem from physics.

Communication skills: ability to adequately describe what has been learned in the course, highlighting its applicative scope.

Learning skills: development of critical thinking, ability to reflect on the mathematical aspects underlying the description of a physical phenomenon, and attention to formal details.

Propedeuticità	Nessuna
----------------	---------

Attività formativa	MECCANICA E TERMODINAMICA
SSD	FIS/01
CFU	12
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Meccanica e termodinamica si propone di fornire allo/a studente le conoscenze fondamentali della fisica classica, per quanto attiene alla dinamica del punto materiale, alla dinamica dei sistemi di punti materiali e alla termodinamica. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di descrivere quantitativamente semplici fenomeni relativi i) al movimento dei corpi (applicando i principi di Newton), ii) alla propagazione del calore e alla sua conversione in lavoro (applicando i principi della termodinamica).</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: descrizione, modellizzazione e principi di base della dinamica, classica e relativistica, e della termodinamica.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicare i principi di base della dinamica e della termodinamica, per un approccio quantitativo alla descrizione dei fenomeni naturali descritti nell'ambito della fisica classica.</p> <p>Autonomia di giudizio: capacità di autonoma identificazione dei principali aspetti fenomenologici che consentono la descrizione della dinamica classica di un sistema fisico.</p> <p>Abilità comunicative: capacità di descrivere la fenomenologia e la modellizzazione che sottende alla dinamica classica di un sistema fisico.</p> <p>Capacità di apprendimento: capacità di comprendere i meccanismi di base che</p>

	<p>sottendono alla dinamica classica di un sistema fisico.</p> <hr/> <p>The teaching unit of Mechanics and Thermodynamics aims at providing the student with the fundamental knowledge of classical physics, as regards the dynamics of the material point, the dynamics of systems of material points and thermodynamics. At the end of the course the student will be able to quantitatively describe simple phenomena relating i) to the movement of bodies (applying Newton's principles), ii) to the propagation of heat and its conversion into work (applying the principles of thermodynamics).</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: description, modeling and basic principles of classical dynamics and of thermodynamics.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: apply the basic principles of dynamics and thermodynamics, for a quantitative approach to the description of natural phenomena described in the context of classical physics.</p> <p>Independent judgment: ability to autonomously identify the main phenomenological aspects that allow the description of the classical dynamics of a physical system.</p> <p>Communication skills: ability to describe the phenomenology and modeling that underlies the classical dynamics of a physical system.</p> <p>Learning skills: ability to understand the basic mechanisms underlying the classical dynamics of a physical system.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	MECCANICA QUANTISTICA I
SSD	FIS/02
CFU	12
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Meccanica Quantistica I ha lo scopo di fornire una descrizione dettagliata dei principi e del formalismo della meccanica quantistica non-relativistica e della loro applicazione allo studio della dinamica di sistemi semplici, suscettibili di trattazione esatta o approssimata mediante tecniche perturbative o variazionali. Il corso discute inoltre la teoria del momento angolare e introduce il tema delle particelle identiche in fisica quantistica.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: Acquisire nozioni fondamentali della meccanica Quantistica non-relativistica: stati quantistici, operatori e leggi fondamentali della dinamica.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicare i principi di base alla soluzione di semplici problemi di fisica quantistica, assimilando alcune tecniche di calcolo basilari.</p> <p>Autonomia di giudizio: meccanismi di base che sottendono ai fenomeni quantistici in natura e necessità dell'approccio quantistico.</p> <p>Abilità comunicative: capacità di descrivere le conseguenze dei postulati della fisica quantistica e la difficoltà di un'interpretazione classica della natura.</p> <p>Capacità di apprendimento: comprendere la portata e le conseguenze del principio di sovrapposizione e del principio di indeterminazione.</p> <hr/> <p>The teaching unit of Quantum Mechanics I aims at providing with a detailed description of the principles and formalism of non-relativistic quantum mechanics and their</p>

	<p>application to the study of the dynamics of simple systems, susceptible to exact or approximate treatment by means of perturbation or variational techniques. The course also discusses the theory of angular momentum and introduces the topics of identical particles in quantum physics.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: Acquire fundamental notions of non-relativistic quantum mechanics: quantum states, operators and fundamental laws of dynamics.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: applying the basic principles to the solution of simple quantum physics problems, assimilating some basic calculation techniques.</p> <p>Independent judgment: basic mechanisms underlying quantum phenomena in nature and the need for the quantum approach.</p> <p>Communication skills: ability to describe the consequences of the postulates of quantum physics and the difficulty of a classical interpretation of nature.</p> <p>Learning skills: understanding the scope and consequences of the superposition principle and the uncertainty principle.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	MECCANICA SUPERIORE
SSD	FIS/03
CFU	12
Obiettivi formativi	L'unità formativa di Meccanica Superiore si propone di fornire allo/a studente le conoscenze dei fondamenti della meccanica analitica, della meccanica statistica e della meccanica dei fluidi, da applicare per la soluzione di sistemi fisici a pochi o a molti gradi di libertà, ovvero richiedenti una descrizione come mezzo continuo. Al termine

del corso lo/a studente sarà in grado di ottenere una soluzione analitica di problemi di meccanica analitica, statistica e dei fluidi di media difficoltà.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione: principi di base e metodologia della meccanica classica, della statistica classica e della meccanica dei fluidi a livello elementare.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicare i principi di base della meccanica classica, statistica e dei fluidi per ottenere soluzioni analitiche per sistemi non complicati.

Autonomia di giudizio: capacità di estrarre in modo autonomo le informazioni fondamentali sulla soluzione di problemi di meccanica analitica, statistica e dei fluidi.

Abilità comunicative: capacità di descrivere la fenomenologia che sottende alla dinamica di un sistema meccanico, statistico o fluido.

Capacità di apprendimento: capacità di comprendere le migliori tecniche teoriche per lo studio di un sistema meccanico non quantistico.

The course of **Advanced Mechanics** aims at giving students the fundamental knowledge of analytical mechanics, statistical mechanics, and of fluid mechanics, in order to apply this knowledge to the study of physical systems with few or many degrees of freedom, or even requiring the description as a continuous medium. At the end of the course the student will be able to find analytical solutions to medium difficulty problems of analytical mechanics, statistical mechanics, and fluid mechanics.

EXPECTED LEARNING OUTCOMES

	<p>Knowledge and understanding: basic principles and methodology of analytical mechanics, statistical mechanics, and fluid mechanics at an introductory level.</p> <p>Capability to apply knowledge and understanding: ability to apply the basic principles and methods of analytical mechanics, statistical mechanics, and fluid mechanics to obtain the solutions for non complex systems.</p> <p>Independent judgment: capability to identify in an autonomous way the basic information on the solutions of problems of analytical, statistical, and of fluid mechanics.</p> <p>Presenting capability: ability to describe the phenomena underlying the dynamics of a mechanical, statistical or fluid system.</p> <p>Learning capability: ability to understand what are the best theoretical methods to study a non-quantum mechanical system.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	METODI MATEMATICI DELLA FISICA
SSD	FIS/02
CFU	9
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Metodi Matematici della Fisica si propone di fornire allo/a studente elementi di analisi complessa ed elementi basilari di analisi funzionale. Si tratta dei metodi matematici standard che sono applicati in vari ambiti della fisica. Vengono discussi sia i fondamenti teorici delle varie tecniche presentate che alcuni esempi della loro applicazione.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI Conoscenza e capacità di comprensione: principi di base e principali teoremi dell'analisi complessa e dell'analisi funzionale (ad un livello introduttivo).</p>

	<p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: utilizzo delle funzioni analitiche, del calcolo dei residui e delle trasformate integrali. Utilizzo del teorema spettrale per operatori su uno spazio di Hilbert.</p> <p>Autonomia di giudizio: capacità di autonoma identificazione delle principali tecniche di soluzione e degli aspetti del calcolo applicato ai problemi con variabili complesse. Consapevolezza dell'interesse delle metodologie dell'analisi funzionale nell'ambito della modellizzazione dei sistemi fisici.</p> <p>Abilità comunicative: capacità di descrivere i principi di base, la struttura teorica fondamentale e l'utilità in fisica degli spazi funzionali. Capacità di apprendimento: comprendere i principi dell'analisi complessa e le basi della teoria degli spazi di Hilbert, con particolare riguardo a quelli funzionali.</p> <hr/> <p>The teaching unit of Mathematical methods of physics is expected to provide students with basic elements of complex and functional analysis, which are largely used in Physics in many different fields. Those methods are discussed both for what concerns their theoretical foundation (including most important theorems), as well as regarding their practical application to solving concrete problems.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: Basic principles and basic theorems in complex analysis and in functional analysis.</p> <p>Applying knowledge and understanding: use of complex variable functions, residue calculus, integral transforms. Use of spectral theorem for operators on Hilbert space.</p> <p>Independent judgement: identification of the main techniques for solving specific problems with complex analysis methods. Identification</p>
--	---

	<p>of the main techniques for solving specific problems and modelling physical systems with functional analysis methods.</p> <p>Communication skills: describing the basic principles, the fundamental theoretical structures and the applications in physics of the functional spaces.</p> <p>Learning skills: understanding the principles of complex analysis and the of the theory of Hilbert spaces.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	NUCLEI E PARTICELLE
SSD	FIS/01
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Nuclei e Particelle si propone di fornire le conoscenze di base della Fisica Nucleare (e delle sue applicazioni) e della fisica subnucleare con particolare riferimento al Modello Standard delle interazioni fondamentali delle particelle elementari. Sono inoltre fornite le conoscenze di base relative alle leggi di simmetria, ai processi di interazione radiazione-materia ed alle principali tecniche utilizzate nella costruzione di rivelatori di particelle.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Capacità di interpretare ed analizzare i principali risultati della Fisica Nucleare e della Fisica delle Particelle elementari.</p> <p>Comprensione dell'importante delle leggi di simmetria in generale ed in ambito subnucleare in particolare.</p> <p>Conoscenza ad un livello medio delle principali applicazioni della Fisica nucleare e delle tecniche di rivelazione delle particelle elementari.</p> <hr/>

	<p>The teaching unit of Nuclei and Particles aims at providing with the basic knowledge of Nuclear Physics (and its applications) and Subnuclear Physics, with particular emphasis on the Standard Model of elementary particle interactions. Basic knowledge related to the laws of symmetry, radiation-matter interaction processes, and the main techniques used in the construction of particle detectors are also provided.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Ability to interpret and analyze the main results of Nuclear Physics and Elementary Particle Physics.</p> <p>Understanding of the importance of symmetry laws in general and within the subnuclear context in particular.</p> <p>Knowledge at an intermediate level of the main applications of Nuclear Physics and of the techniques for detecting elementary particles.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	OTTICA E LABORATORIO
SSD	FIS/03
CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Ottica e laboratorio si propone di fornire allo/a studente le conoscenze degli aspetti principali dell'ottica fisica classica. Partendo da una introduzione generale sui fenomeni ondulatori e le onde elettromagnetiche il corso fornirà allo/a studente competenze su descrizione teorica e sperimentale dell'ottica e della propagazione della luce nella materia. Il corso prevede inoltre lo studio di questi fenomeni in laboratorio con l'utilizzo di avanzata strumentazione scientifica e didattica. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di descrivere 1) i fenomeni di interferenza e</p>

diffrazione; 2) le interazioni delle onde elettromagnetiche con la materia; 3) la propagazione della luce in mezzi otticamente isotropi e anisotropi.

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione: capacità di comprendere le principali proprietà delle onde elettromagnetiche; capacità di comprendere i principali fenomeni dell'ottica fisica classica e delle proprietà ottiche di mezzi isotropi e anisotropi.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: capacità di impostare progettare e realizzare esperimenti sui principali fenomeni ottici e misure delle proprietà ottiche di mezzi isotropi e anisotropi.

Autonomia di giudizio: capacità di identificare in modo autonomo i principali aspetti della propagazione delle onde elettromagnetiche nei materiali e dell'ottica fisica classica; interpretazione dei risultati di misure delle proprietà ottiche dei materiali.

Abilità comunicative: sviluppo della capacità di comunicare in forma orale e scritta le conoscenze acquisite, capacità di scrivere una relazione su attività sperimentali riguardanti l'ottica.

Capacità di apprendimento: capacità di comprendere i concetti di base dei fenomeni ottici e delle proprietà ottiche dei materiali.

The teaching unit of **Optics and laboratory** aims at providing the student with knowledge of the main aspects of the classical physical optics. Starting from a general introduction on wave phenomena and electromagnetic waves, the course will provide the student with skills on the

	<p>theoretical and experimental description of optics and on the propagation of light in matter. The course also includes the study of these phenomena in the laboratory with the use of advanced scientific and didactic instruments. At the end of the course the student will be able to describe 1) the interference and diffraction phenomena; 2) the interactions of electromagnetic waves (optical frequencies) with matter; 3) the propagation of light in optically isotropic, and anisotropic media.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: ability to understand the main properties of the electromagnetic waves, the main phenomena of classical optics and the optical properties of isotropic and anisotropic media. Ability to apply knowledge and understanding: ability to set up, design and carry out experiments on the main optical phenomena and measurements of the optical properties of isotropic and anisotropic media.</p> <p>Independent judgment: ability to autonomously identify the main aspects of the electromagnetic waves propagation in materials and classical physical optics; interpretation of the results of measurements of the optical properties of materials.</p> <p>Communication skills: development of the ability to communicate acquired knowledge in oral and written form, ability to write a report on experimental activities on optics.</p> <p>Learning skills: ability to understand the basic concepts of optical phenomena and optical properties of materials.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	RELATIVITÀ GENERALE
SSD	FIS/02

CFU	6
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Relatività generale si propone di fornire allo/a studente le conoscenze dei fondamenti alla base del modello geometrico della Gravitazione e della capacità di risolvere in maniera quantitativa problemi in cui intervenga il formalismo della Relatività Generale. Al termine del corso lo/a studente sarà in grado di ottenere una soluzione per il campo gravitazionale di corpi collassati.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p> <p>Conoscenza e capacità di comprensione: principi di base e metodologia della relatività generale.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione: applicare i principi di base della relatività generale per ottenere una soluzione in forma analitica di problemi selezionati.</p> <p>Autonomia di giudizio: capacità di estrarre in modo autonomo le informazioni fondamentali sulla struttura del campo gravitazionale.</p> <p>Abilità comunicative: capacità di descrivere la fenomenologia che sottende alla dinamica di un sistema gravitazionale in base alla relatività generale.</p> <p>Capacità di apprendimento: capacità di comprendere l'importanza di selezionare il migliore sistema di riferimento.</p> <hr/> <p>The teaching unit of General Relativity aims at providing the student with the knowledge of the fundamentals of the geometric model of Gravitation and the ability to quantitatively solve problems in which the formalism of General Relativity intervenes. At the end of the course the student will be able to obtain a</p>

	<p>solution for the gravitational field of collapsed bodies.</p> <p>EXPECTED LEARNING OUTCOMES</p> <p>Knowledge and understanding: basic principles and methodology of general relativity.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: apply the basic principles of general relativity to obtain an analytical solution of selected problems.</p> <p>Independent judgment: ability to autonomously extract fundamental information on the structure of the gravitational field.</p> <p>Communication skills: ability to describe the phenomenology underlying the dynamics of a gravitational system based on general relativity.</p> <p>Learning skills: ability to understand the importance of selecting the best reference system.</p>
Propedeuticità	Nessuna

Attività formativa	STRUTTURA DELLA MATERIA
SSD	FIS/03
CFU	12
Obiettivi formativi	<p>L'unità formativa di Struttura della materia si propone di fornire una descrizione avanzata della moderna fisica atomica, molecolare e dello stato solido, effettuata utilizzando i principi e i risultati della meccanica quantistica e della meccanica statistica dei fermioni. Il corso fornirà anche un'introduzione ad alcune delle più importanti metodologie sperimentali (in particolare spettroscopiche) adottate nel campo della fisica della materia.</p> <p>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</p>

Conoscenza e capacità di comprensione: comprensione dei concetti alla base della Fisica della materia e acquisizione dei modelli fisici che permettono una adeguata interpretazione di fenomeni riguardanti atomi, molecole e sistemi solidi.

Comprensione delle conseguenze delle statistiche quantistiche nella fisica della materia. Comprensione di alcune delle principali tecniche spettroscopiche per lo studio della struttura della materia.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione: capacità di applicare i modelli fisici fondamentali all'interpretazione dei fenomeni su scala atomica, molecolare e nella fisica dei solidi.

Autonomia di giudizio: capacità di valutazione del tipo di modellizzazione necessaria alla descrizione di esperimenti di fisica della materia e delle informazioni deducibili da esperimenti di spettroscopia degli stati condensati.

Abilità comunicative: capacità di descrivere gli aspetti quantitativi salienti della fenomenologia e della modellizzazione teorica della fisica della materia.

Capacità di apprendimento: comprensione della natura quantistica della materia; comprensione dei concetti della meccanica statistica quantistica e delle conseguenze del principio di Pauli sulla fisica della materia.

The teaching unit of **Structure of matter** provides a theoretical and experimental overview of some basic issues of physics of matter, providing elements of atomic, molecular and crystalline solids physics. The program includes the treatment of some experimental aspects in the study of the physics of matter, together with elements of statistical mechanics and theoretical simulation tools.

	<p>EXPECTED LEARNING RESULTS</p> <p>Knowledge and understanding: electronic structure of atoms with one and more electrons; formation of molecular orbitals, electronic bands, vibrational properties of molecules and solids; how they interact with electromagnetic radiation and respond to thermal excitation; understanding the consequences of quantum statistics in the physics of matter; understanding selected spectroscopic techniques employed for the study of the structure of matter.</p> <p>Ability to apply knowledge and understanding: ability to describe and understand energetic diagrams and vibrational spectra acquired through experimental observations, capturing salient aspects described by the theoretical modeling.</p> <p>Independent judgment: ability to evaluate the type of theoretical modeling necessary for describing experiments in physics of matter, and to evaluate information deducible from experiments of condensed matter physics.</p> <p>Communication skills: ability to expose the arguments through a precise and quantitative description, at the same time capturing more qualitative and phenomenological aspects.</p> <p>Learning skills: ability to synthesize and link the topics with aspects of classical physics and quantum mechanics treated in previous courses; understanding the quantum nature of matter; understanding the concepts of quantum statistical mechanics and the consequences of the Pauli principle on the physics of matter.</p>
Propedeuticit�	Nessuna

Mappatura delle competenze

		Laboratorio di meccanica e termodinamica	Meccanica e termodinamica	Elettromagnetismo	Meccanica superiore <i>Fisica dei fluidi</i>	Fenomeni ondulatori <i>Ottica e laboratorio</i>	Fisica computazionale	Laboratorio di elettromagnetismo e onde	Metodi matematici della fisica <i>Matematica applicata</i>	Elettronica	Laboratorio di fisica moderna <i>Fisica e tecnologia dei materiali</i>	Meccanica quantistica I <i>Fisica quantistica dei materiali con laboratorio</i>	Struttura della materia	
OBIETTIVI FORMATIVI DEL CDS IN TERMINI DI RISULTATI DI APPRENDIMENTO DEL CDS	COMPETENZE SPECIFICHE													
	Conoscenza e capacità di comprensione													
	AREA DELLA FISICA													
	Il laureato in Fisica dovrà: - conoscere e comprendere i più rilevanti fenomeni e leggi della fisica classica (formulazione Newtoniana della meccanica classica, termodinamica, meccanica analitica e statistica, onde e oscillazioni, elettromagnetismo e ottica, elettronica);	X	X	X	X	X		X	X					
	- conoscere e comprendere gli elementi di base della fisica quantistica (meccanica quantistica, struttura della materia);								X	X	X	X	X	X
- conoscere e comprendere il metodo sperimentale (teoria della misura e trattamento degli errori, elementi di statistica, strumentazione fisica);	X							X		X	X			

- conoscere e comprendere elementi di calcolo numerico per le applicazioni allo studio di sistemi fisici.							X						
Capacità di applicare conoscenza e comprensione													
Il laureato in Fisica dovrà essere in grado di: - progettare e mettere a punto semplici esperimenti di Fisica, individuando le variabili rilevanti per il processo fisico da studiare, elaborando la metodologia più efficace per la loro misura e tenendo sotto controllo l'effetto delle approssimazioni adottate;	X							X		X	X		
- elaborare e analizzare statisticamente i risultati delle misure e trovare le relazioni matematiche che legano tra loro le misure delle variabili dinamiche del processo fisico studiato;	X							X		X	X		
- confrontare i risultati delle misure con le predizioni di teorie e modelli pre-esistenti ovvero elaborare nuove modellizzazioni del sistema fisico in esame;	X							X		X	X		
- eseguire in modo autonomo calcolo analitico e/o numerico per la soluzione di problemi formali posti nell'ambito della fisica teorica e della fisica matematica;				X			X		X		X		
- eseguire in modo autonomo calcolo analitico e/o numerico per la determinazione delle predizioni teoriche a partire da un modello nuovo o pre-esistente.							X		X				X
COMPETENZE TRASVERSALI													
Autonomia di giudizio													
Il laureato in Fisica sarà in grado di: - analizzare criticamente le modalità di raccolta, di analisi e di interpretazione dei dati sperimentali;	X							X		X	X		
- analizzare criticamente i modelli teorici per la descrizione dei fenomeni, individuandone	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

precisamente il dominio di applicabilità e le approssimazioni sottostanti;													
- introdurre creativamente elementi innovativi in modellizzazioni preesistenti;	X	X	X	X			X		X	X			X
- adattare con flessibilità soluzioni e modellizzazioni note a problemi nuovi;	X						X		X	X	X		X
- utilizzare con indipendenza di giudizio la bibliografia scientifica rilevante per un determinato problema.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Abilità comunicative													
Il laureato in Fisica sarà in grado di: - presentare con chiarezza, sia in forma orale che scritta, quanto appreso nei vari insegnamenti e attraverso la bibliografia scientifica;	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
- utilizzare con appropriatezza il linguaggio tecnico-scientifico; - presentare in maniera adeguata i risultati delle attività di laboratorio;	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
- padroneggiare gli strumenti informatici e/o multimediali per comunicare con efficacia e incisività le conoscenze apprese e, in particolare, i risultati dell'attività svolta per la prova finale.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Capacità di apprendimento													
Il laureato in Fisica sarà in grado di apprendere gli argomenti di base della Fisica e della Matematica, di valutare le proprie conoscenze e di maturare la consapevolezza del loro aggiornamento, di individuare libri di testo, riviste e altri materiali utili agli approfondimenti.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

		Analisi matematica I	Geometria per la fisica	Analisi matematica II	Metodi matematici della fisica
OBIETTIVI FORMATIVI DEL CDS IN TERMINI DI RISULTATI DI APPRENDIMENTO DEL CDS	COMPETENZE SPECIFICHE				
	<i>Conoscenza e capacità di comprensione</i>				
	AREA DELLA MATEMATICA				
	Il laureato in Fisica dovrà: - conoscere e comprendere i fondamenti dell'analisi matematica (calcolo differenziale e integrale in una e più variabili);	X		X	
	- conoscere e comprendere i fondamenti dell'algebra lineare e della geometria;		X		X
	- conoscere e comprendere le proprietà delle funzioni di variabile complessa e delle tecniche di integrazione di funzioni analitiche sul piano complesso; - conoscere e comprendere gli spazi infinito-dimensionali, in particolare spazi di funzioni, e la teoria degli operatori lineari				X
	<i>Capacità di applicare conoscenza e comprensione</i>				
	Il laureato in Fisica dovrà essere in grado di: - risolvere problemi di calcolo differenziali e integrale di moderata difficoltà in modo autonomo;	X		X	X
	- risolvere equazioni differenziali rilevanti per la descrizione di sistemi fisici, anche con l'ausilio di tecniche di tipo numerico;	X		X	X
	- utilizzare la conoscenza delle tecniche di integrazione sul piano complesso per risolvere problemi di calcolo integrale non elementare;				X
- utilizzare la conoscenza degli spazi di funzioni e della teoria degli operatori lineari per affrontare problemi				X	

semplici della fisica matematica e della meccanica quantistica;				
- saper elaborare un modello matematico per la descrizione di un fenomeno fisico, utilizzando eventualmente elementi di calcolo numerico, valutando le metodologie matematiche adatte e le approssimazioni da effettuare				X
COMPETENZE TRASVERSALI				
Autonomia di giudizio				
Il laureato in Fisica sarà in grado di:				
- analizzare criticamente le modalità di raccolta, di analisi e di interpretazione dei dati sperimentali;				
- analizzare criticamente i modelli teorici per la descrizione dei fenomeni, individuandone precisamente il dominio di applicabilità e le approssimazioni sottostanti;	X	X	X	X
- introdurre creativamente elementi innovativi in modellizzazioni preesistenti.	X	X	X	X
- adattare con flessibilità soluzioni e modellizzazioni note a problemi nuovi;	X	X	X	X
- utilizzare con indipendenza di giudizio la bibliografia scientifica rilevante per un determinato problema	X	X	X	X
Abilità comunicative				
Il laureato in Fisica sarà in grado di:	X	X	X	X
- presentare con chiarezza, sia in forma orale che scritta, quanto appreso nei vari insegnamenti e attraverso la bibliografia scientifica;				
- utilizzare con appropriatezza il linguaggio tecnico-scientifico;	X	X	X	X
- presentare in maniera adeguata i risultati delle attività di laboratorio;	X	X	X	X
- padroneggiare gli strumenti informatici e/o multimediali per comunicare con efficacia e incisività le conoscenze apprese e, in particolare, i risultati dell'attività svolta per la prova finale	X	X	X	X
Capacità di apprendimento				

	Il laureato in Fisica sarà in grado di apprendere gli argomenti di base della Fisica e della Matematica, di valutare le proprie conoscenze e di maturare la consapevolezza del loro aggiornamento, di individuare libri di testo, riviste e altri materiali utili agli approfondimenti.	X	X	X	X
--	---	---	---	---	---

		Chimica Generale	Informatica	Inglese	Tirocinio
OBIETTIVI FORMATIVI DEL CDS IN TERMINI DI	COMPETENZE SPECIFICHE				
	<i>Conoscenza e capacità di comprensione</i>				
	<i>Area delle Discipline Complementari</i>				

Il laureato in Fisica dovrà: - conoscere e comprendere gli aspetti di base, teorici e sperimentali, della chimica generale, organica e inorganica;	X			
- conoscere e comprendere elementi di informatica, inclusi linguaggi di programmazione e software specifici;		X		
- conoscenza la lingua inglese al livello di competenza B2-lower, in base al Quadro di Riferimento Europeo.			X	
Capacità di applicare conoscenza e comprensione				
Il laureato in Fisica dovrà essere in grado di: - applicare le conoscenze della chimica di base per una descrizione più completa dei sistemi fisici e delle loro interazioni;	X			
- utilizzare codici numerici per l'elaborazione dei dati ed il controllo di semplici strumenti di misura;		X		
- utilizzare strumenti informatici e computazionali a supporto delle tecniche di modellizzazione e simulazione;		X		
- utilizzare la conoscenza della lingua inglese per leggere e comprendere semplici testi scientifici.			X	
COMPETENZE TRASVERSALI				
Autonomia di giudizio				
Il laureato in Fisica sarà in grado di: - analizzare criticamente le modalità di raccolta, di analisi e di interpretazione dei dati sperimentali;	X			X
- analizzare criticamente i modelli teorici per la descrizione dei fenomeni, individuandone precisamente il dominio di applicabilità e le approssimazioni sottostanti;				X
- introdurre creativamente elementi innovativi in modellizzazioni preesistenti;				X
- adattare con flessibilità soluzioni e modellizzazioni note a problemi nuovi;				X

	- utilizzare con indipendenza di giudizio la bibliografia scientifica rilevante per un determinato problema.	X	X	X	X
	Abilità comunicative				
	Il laureato in Fisica sarà in grado di: - presentare con chiarezza, sia in forma orale che scritta, quanto appreso nei vari insegnamenti e attraverso la bibliografia scientifica;	X	X	X	X
	- utilizzare con appropriatezza il linguaggio tecnico-scientifico;	X	X	X	X
	- presentare in maniera adeguata i risultati delle attività di laboratorio;	X			X
	- padroneggiare gli strumenti informatici e/o multimediali per comunicare con efficacia e incisività le conoscenze apprese e, in particolare, i risultati dell'attività svolta per la prova finale.	X	X	X	X
	Capacità di apprendimento				
	Il laureato in Fisica sarà in grado di apprendere gli argomenti di base della Fisica e della Matematica, di valutare le proprie conoscenze e di maturare la consapevolezza del loro aggiornamento, di individuare libri di testo, riviste e altri materiali utili agli approfondimenti.				X