

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

MECCANICA E TERMODINAMICA CON LABORATORIO (modulo 1)

MECHANICS AND THERMODYNAMICS WITH LABORATORY (module 1)

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	SCIENZA DEI MATERIALI (L-Sc.Mat.)
Codice	8068686	Canale	Unico
CFU	10	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Claudio Goletti

CODOCENTE

Modulo: Beatrice Bonanni (LABORATORIO DI MECCANICA, 3CFU)

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI Conoscenza e comprensione delle basi teoriche e delle evidenze sperimentali della meccanica classica (cinematica e dinamica del punto materiale, dinamica dei corpi rigidi). Il docente introduce progressivamente gli studenti al metodo scientifico che costituisce la base della fisica classica, spiegando e applicando le leggi che governano l'evoluzione dei diversi sistemi proposti, applicando le relazioni esistenti tra le grandezze fisiche misurabili, sempre evidenziando l'importanza della valutazione quantitativa, per la risoluzione di esercizi e problemi. Per la parte di laboratorio, l'insegnamento si propone di fornire le nozioni di base dei metodi statistici per il trattamento dei dati e per l'analisi degli errori. Scopo dell'insegnamento è l'introduzione degli studenti all'analisi rigorosa dei dati sperimentali mediante esperienze di laboratorio nel campo della meccanica. Obiettivo formativo dell'insegnamento è la capacità di condurre un esperimento con metodo scientifico, e di descrivere i dati sperimentali con rigore, chiarezza e senso critico. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE Gli studenti devono acquisire e sviluppare le conoscenze fondamentali nell'ambito della meccanica classica, per comprendere il significato delle diverse leggi e il loro collegamento alle evidenze sperimentali. Inoltre, gli studenti dovranno raggiungere la capacità di eseguire un esperimento di fisica di base (meccanica), di presentare e di analizzare i risultati con rigore e senso critico. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE Nell'ambito della meccanica classica, gli studenti devono essere in grado di affrontare la descrizione di sistemi fisici, comprendere le conclusioni di esperimenti, applicare semplici modelli interpretativi, risolvere problemi quantitativi di crescente complessità; per la parte di laboratorio, saper esaminare ed affrontare un problema fisico (di meccanica) con approccio sperimentale, basandosi sulle conoscenze di base fornite dal corso e applicando i metodi statistici illustrati dal docente AUTONOMIA DI GIUDIZIO
----------	---

	Gli studenti devono appropriarsi del metodo scientifico (che costituisce la base fondante di tutto il corso) per affrontare con crescente autonomia argomenti, problemi e fenomeni di meccanica e classica, comprendendone il significato e il collegamento agli esperimenti e ai modelli interpretativi. Infine, devono sviluppare la capacità di analizzare i risultati di un esperimento di laboratorio con senso critico. ABILITÀ COMUNICATIVE Gli studenti devono essere in grado di illustrare, spiegare e analizzare gli argomenti del corso, applicati a fenomeni e sistemi di varia complessità (dal punto materiale non sottoposto a forze, caso di sistema semplice, a un numero enorme di punti materiali interagenti, caso di ben maggiore complessità), chiarendo con consapevolezza il livello di approssimazione necessario. Per la parte di laboratorio, devono saper descrivere un'esperienza di laboratorio, dall'apparato sperimentale alla raccolta dati, fino alla presentazione e all'analisi dei risultati discutendone le conclusioni. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO Al termine del processo di apprendimento, gli studenti devono saper leggere autonomamente un testo di meccanica classica, pubblicazioni scientifiche di divulgazione e di ricerca (pur con i limiti in questo caso dovuti alla non ancora approfondita preparazione), analizzare (anche criticamente) il risultato di un esperimento, correlare argomenti anche in campi diversi. Sulla base del percorso svolto in laboratorio, essi devono saper progettare esperienze di laboratorio per risolvere (con approccio sperimentale e metodo scientifico) nuovi problemi relativi alla meccanica.
English	LEARNING OBJECTIVES Knowledge and understanding of the theoretical foundations and experimental evidence of classical mechanics (kinematics and dynamics of the material point, dynamics of rigid bodies). The teacher progressively introduces students to the scientific method that forms the basis of classical physics, explaining and applying the laws governing the evolution of the various proposed systems, applying the relationships existing between measurable physical quantities, always emphasizing the importance of quantitative evaluation, for solving exercises and problems. For the laboratory part, the teaching aims to provide the basics of statistical methods for data processing and 'error analysis. The purpose of teaching is to introduce students to the rigorous analysis of experimental data through laboratory experiences in the field of mechanics. Formative objective of teaching is the ability to conduct an experiment with scientific method, and to describe experimental data with rigor, clarity and critical sense. KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING Students are expected to acquire and develop fundamental knowledge in classical mechanics, to understand the meaning of different laws and their connection to experimental evidence. In addition, students should attain the ability to perform a basic physics (mechanics) experiment and to present and analyze the results with rigor and critical sense. APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING In the area of classical mechanics, students should be able to :deal with the description of physical systems, understand the conclusions of experiments, apply simple interpretive models, and solve quantitative problems of increasing complexity; for the laboratory part,

	be able to examine and tackle a physical problem (of mechanics) with an experimental approach, building on the basic knowledge provided by the course and applying the statistical methods explained by the lecturer. AUTONOMY OF JUDGMENT Students must appropriate the scientific method (which forms the foundational basis of the entire course) to deal with mechanical and classical topics, problems and phenomena with increasing autonomy, understanding their meaning and connection to experiments and interpretive models. Finally, they must develop the ability to analyze the results of a laboratory experiment critically. COMMUNICATION SKILLS Students should be able to illustrate, explain and analyze the course topics as applied to phenomena and systems of varying complexity (from the material point not subjected to forces, case of a simple system, to a huge number of interacting material points, case of much greater complexity), clarifying with awareness the level of approximation required. For the laboratory part, they should be able to describe a laboratory experience, from the experimental apparatus to data collection to the presentation and analysis of the results by discussing the conclusions. LEARNING ABILITY At the end of the learning process, students should be able to independently read a text on classical mechanics, popular and research scientific publications (albeit with limitations in this case due to not yet thorough preparation), analyze (including critically) the result of an experiment, correlate topics even in different fields. On the basis of their laboratory course, they should be able to design laboratory experiences to solve (with experimental approach and scientific method) new problems related to mechanics.
--	--

PREREQUISITI

Italiano	Buona conoscenza degli elementi di base della matematica insegnata nelle scuole superiori. Elementi di trigonometria. Vettori. Sufficiente conoscenza dell'Analisi matematica.
English	Good knowledge of mathematics arguments taught in high schools. Trigonometry. Vectors. Sufficiently good knowledge of arguments belonging to mathematical analysis.

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Parte A: MECCANICA (7cfu) A1. Fenomeni, osservazioni, misure. I vettori. Operazioni sui vettori. Cinematica del punto materiale. Dinamica del punto materiale. Sistemi di riferimento: inerziali e non inerziali. Moti relativi. Lavoro ed energia. Momento della quantità di moto e momento angolare. Leggi di conservazione: Energia, quantità di moto e momento angolare. Moto armonico. Dinamica dei sistemi di punti materiali. Urti elastici ed anelastici. Dinamica dei corpi rigidi.
----------	---



	A2. Elementi di relatività ristretta. Esperimento di Michelson-Morley. Trasformazioni di Lorentz. Dilatazione dei tempi e contrazione delle lunghezze. Quadri vettori. Energia e massa. Parte B: LABORATORIO DI MECCANICA E METODI STATISTICI PER TRATTAMENTO DEI DATI ED ANALISI DEGLI ERRORI (3 cfu, dott.ssa Bonanni) B1. Errori di misura ed incertezze sperimentali. Inevitabilità dell'incertezza in una misura sperimentale. Stima delle incertezze: nella lettura della scala di uno strumento di misura, nella ripetizione di una misura. Migliore stima di una grandezza. Cifre significative. Confronto tra misure. Incertezze relative. Propagazione delle incertezze sperimentali. Misurazione diretta e valutazione indiretta di grandezze fisiche. Propagazione degli errori per misure affette da incertezze casuali ed indipendenti. Propagazione degli errori massimi. B2. Analisi statistica dei dati sperimentali. Errori casuali ed errori sistematici. Media e deviazione standard. Deviazione standard per una singola misura. Deviazione standard della media. b. La distribuzione di Gauss. Istogrammi e distribuzioni. Distribuzioni limite. La distribuzione normale. Deviazione standard e limite di confidenza. Il valor medio come miglior stima della misura di una grandezza. Deviazione standard della media. c. Rigetto dei dati sperimentali. Criterio di Chauvenet. d. La media pesata. Il problema della combinazione di misure diverse per una stessa grandezza. e. Il metodo dei minimi quadrati. Analisi della dipendenza lineare di dati sperimentali in un grafico: $y=A+Bx$. Valutazione dei coefficienti A e B della retta, e della loro incertezza. Minimi quadrati pesati. f. Covarianza e correlazione. Nuove considerazioni sulla propagazione degli errori. Il coefficiente di correlazione lineare r di Pearson. B3. Descrizione teorica semplificata delle esperienze di laboratorio di meccanica. B4. Utilizzo della relativa strumentazione e metodologia di misura. Una serie di esperimenti condotti in laboratorio addestreranno lo studente all'utilizzo della strumentazione e delle tecniche illustrate nelle lezioni, e alla elaborazione di una relazione di quanto ottenuto durante l'esperimento svolto.
English	Part A: MECHANICS (7cfu) A1. Phenomena, observations, measurements. Vectors. Operations on vectors. Kinematics of the material point. Dynamics of the material point. Reference systems: inertial and non-inertial. Relative motions. Work and energy. Momentum of momentum and angular momentum. Conservation laws: energy, momentum and angular momentum. Harmonic motion. Dynamics of systems of material points. Elastic and inelastic shocks. Dynamics of rigid bodies. A2. Elements of special relativity. Michelson-Morley experiment. Lorentz transformations. Dilation of times and contraction of lengths. Quadri vectors. Energy and mass.

	Part B: LABORATORY OF MECHANICS AND STATISTICAL METHODS FOR DATA PROCESSING AND ERROR ANALYSIS (3 cfu, B.Bonanni) B1. Measurement errors and experimental uncertainties. Inevitability of uncertainty in an experimental measurement. Estimation of uncertainties: in reading the scale of a measuring instrument, in the repetition of a measurement. Best estimate of a quantity. Significant figures. Comparison of measurements. Relative uncertainties. Propagation of experimental uncertainties. Direct measurement and indirect estimation of physical quantities. Propagation of errors for measurements affected by random and independent uncertainties. Propagation of maximum errors. B2. Statistical analysis of experimental data. Random errors and systematic errors. Mean and standard deviation. Standard deviation for a single measure. Standard deviation of the mean. b. Gauss distribution. Histograms and distributions. Limit distributions. The normal distribution. Standard deviation and confidence limit. The mean value as the best estimate of the measure of a quantity. Standard deviation of the mean. c. Rejection of experimental data. Chauvenet's criterion. d. The weighted mean. The problem of combining different measures for the same quantity. e. The method of least squares. Analysis of the linear dependence of experimental data in a graph: $y=A+Bx$. Evaluation of the coefficients A and B of the line, and their uncertainty. Weighted least squares. f. Covariance and correlation. New considerations on error propagation. Pearson's linear correlation coefficient r. B3. Simplified theoretical description of mechanics laboratory experiences. B4. Use of relevant instrumentation and measurement methodology. A series of experiments conducted in the laboratory will train the student in the use of the instrumentation and techniques explained in the lectures, and in the preparation of a report of what was obtained during the experiment.
--	--

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	P. Mazzoldi - M. Nigro - C. Voci , Fisica Vol. I - Meccanica e termodinamica; EdiSes E. Fermi, Termodinamica, Bollati Boringhieri John R. Taylor, Introduzione all'analisi degli errori. Lo studio delle incertezze nelle misure fisiche. (Zanichelli).
----------	--

	Durante le lezioni, il docente darà agli studenti indicazioni su libri, articoli e altre pubblicazioni utili ad approfondire i contenuti presentati. 1. Metodologie sperimentali in Fisica. Introduzione al metodo scientifico. di Gaetano Cannelli Editore: Edises 2. Introduzione alla sperimentazione fisica di Marco Severi Editore: Zanichelli
English	P. Mazzoldi - M. Nigro - C. Voci , Fisica Vol. I - Meccanica e termodinamica; Edises E. Fermi, Termodinamica, Bollati Boringhieri John R. Taylor, Introduzione all'analisi degli errori. Lo studio delle incertezze nelle misure fisiche. (Zanichelli). During and at the end of each lesson, the teacher will give informations to students concerning textbooks, papers and other publications useful to make deeper the knowledge about the presented topics. 1. Metodologie sperimentali in Fisica. Introduzione al metodo scientifico. di Gaetano Cannelli Editore: Edises 2. Introduzione alla sperimentazione fisica di Marco Severi Editore: Zanichelli

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza

☐ A distanza

Italiano	Parte A del Programma: Lezioni frontali. Esercitazioni. Agli studenti vengono anche forniti numerosi esercizi e problemi, inclusi esempi di esami di anni passati. Alla conclusione di argomenti quali la meccanica del punto e la meccanica dei corpi rigidi, si svolgeranno lezioni specifiche nella aula attrezzata T1 con il supporto di esperimenti significativi. Parte B del Programma: Questa parte del corso si articola in lezioni frontali e in sessioni di laboratorio. Le lezioni frontali sono dedicate (i) all'insegnamento dei metodi statistici per il trattamento dei dati e per l'analisi degli errori e (ii) alla descrizione delle esperienze di laboratorio con cenni ai principi della meccanica alla base dell'esperimento.
----------	---

	Le sessioni di laboratorio sono dedicate allo svolgimento di esperienze di meccanica. Per ogni esperienza lo studente deve redigere una relazione su cui il docente esprime un giudizio.
English	Part A of the Program: The course is articulated in frontal lessons (when the topics present in the program are presented and discussed), and exercitations (when exercises and quantitative problems connected to the classical mechanics are explained and solved). When significant milestones (mechanics of the material point, mechanics of the rigid bodies, etc.) are reached, particular lessons with presentation of real significant experiments are conducted in Room T1, expressly dedicated to this activity. Part B of the Program: The course is divided into lectures and laboratory sessions. The lectures are dedicated (i) to the teaching of statistical methods for data processing and for the analysis of errors and (ii) to the description of laboratory experiences with references to the principles of mechanics underlying the experiment. The laboratory sessions are dedicated to mechanical experiments. For each experience the student must prepare a report on which the teacher gives a mark.

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Le lezioni frontali e le esercitazioni relative alla parte A del programma non hanno obbligo di frequenza (per quanto la frequenza sia fortemente consigliata). Lo studente è inoltre invitato a frequentare lezioni frontali relative alla parte B, e a partecipare attivamente alle sessioni di laboratorio. La frequenza delle sessioni di laboratorio (con giudizio positivo) esonera dalla prova pratica finale.
English	The lectures and tutorials related to Part A of the program are not compulsory (although attendance is strongly recommended). The student is also encouraged to attend lectures related to Part B, and to actively participate in laboratory sessions. Attendance at the laboratory sessions (with passing grade) exempts from the final practical test.

MODALITÀ DI VALUTAZIONE

- ☐ x Prova scritta pratica
 ☒ Prova orale
 ☒ x Prova di laboratorio
 ☐ Prova pratica
- ☐ Valutazione in itinere
 ☐ Valutazione di progetto
 ☐ Valutazione di tirocinio

COMPOSIZIONE DELLA COMMISSIONE VALUTATRICE

Claudio Goletti, Beatrice Bonanni, Anna Sgarlata, Luca Persichetti, Luca Camilli

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	L'esame consiste in: i) una prova scritta finalizzata ad accertare la conoscenza e la comprensione dei principali concetti della Meccanica classica, articolata sulla soluzione di esercizi; ii) una prova orale con argomento la discussione di argomenti scientifici propri della Meccanica classica, eventuale revisione ed analisi della prova scritta, discussione di una esperienza di laboratorio con attenzione particolare alla analisi dei dati sperimentali, degli errori di misura e dei metodi sperimentali con cui i dati sono stati acquisiti. Nel corso della prova scritta saranno valutate: - la capacità di utilizzare le leggi fisiche introdotte e discusse nel corso per risolvere gli esercizi proposti; - la capacità di collegare formalismo matematico e interpretazione fisica. Nel corso della prova orale saranno valutate: - la capacità di utilizzare le leggi fisiche introdotte e discusse nel corso per interpretare il comportamento dei sistemi meccanici, dal punto materiale ai sistemi di punti; - la capacità di progettare un'esperienza di laboratorio, di presentare e discutere i risultati sperimentali, di analizzarli e di valutare l'esito dell'esperimento; - la capacità di collegare formalismo matematico e interpretazione fisica; - l'autonomia di giudizio nell'analisi dei fenomeni trattati; - la chiarezza espositiva e l'uso appropriato del linguaggio scientifico. Per il superamento dell'esame è richiesto un voto non inferiore a 18/30, risultato della media tra il voto riportato nello scritto e quello riportato nell'orale. Per essere ammessi all'orale è necessario riportare nello scritto un voto non inferiore a 15/30. La valutazione sarà effettuata secondo i seguenti criteri: Non idoneo: conoscenza insufficiente degli argomenti fondamentali dell'insegnamento, limitata capacità di interpretazione delle proprietà fisiche dei sistemi meccanici, insufficiente discussione di un esperimento e dei dati ottenuti. 18-20: conoscenza essenziale dei contenuti dell'insegnamento; comprensione sufficiente dei principali concetti relativi alla meccanica pur in presenza di imprecisioni espositive e limitata autonomia nell'applicazione dei modelli teorici. 21-23: conoscenza adeguata degli argomenti trattati; capacità di descrivere correttamente i principali argomenti della meccanica e di applicarli a sistemi semplici. 24-26: buona conoscenza dei contenuti dell'insegnamento e buona capacità di analisi e sintesi; uso corretto del formalismo teorico e adeguata capacità di collegare le leggi della meccanica alla discussione del risultato di un esperimento.
----------	--

	• 27-29: conoscenza completa e approfondita degli argomenti; buona autonomia nell'analisi critica delle leggi della meccanica, buona capacità di presentare, analizzare e discutere il risultato di un esperimento di meccanica. • 30-30 e lode: eccellente padronanza degli argomenti trattati, elevata capacità di rielaborazione critica e autonoma dei contenuti, esposizione rigorosa e utilizzo appropriato del linguaggio scientifico, con piena comprensione delle relazioni tra leggi della meccanica ed esperimenti.
English	The exam consists of: i) a written exam designed to assess knowledge and understanding of the main concepts of classical mechanics, based on the solution of problems; ii) an oral exam involving the discussion of scientific topics specific to classical mechanics, a possible review and analysis of the written exam, and a discussion of a laboratory experiment with particular attention to the analysis of experimental data, measurement errors, and the experimental methods used to acquire the data. During the written exam, the following will be assessed: • the ability to apply the physical laws introduced and discussed in the course to solve the proposed exercises; • the ability to connect mathematical formalism with physical interpretation. The following will be assessed during the oral exam: • the ability to use the physical laws introduced and discussed in the course to interpret the behavior of mechanical systems, from material points to systems of points; • the ability to design a laboratory experiment, present and discuss the experimental results, analyze them, and evaluate the outcome of the experiment; • the ability to connect mathematical formalism with physical interpretation; • the ability to exercise independent judgment in analyzing the phenomena covered; • clarity of presentation and appropriate use of scientific language. To pass the exam, a grade of at least 18/30 is required, calculated as the average of the written and oral exam scores. To be admitted to the oral exam, a score of at least 15/30 must be obtained on the written exam. Assessment will be based on the following criteria: • Fail: insufficient knowledge of the course's fundamental topics; limited ability to interpret the physical properties of mechanical systems; insufficient discussion of an experiment and the data obtained. • 18–20: essential knowledge of the course content; sufficient understanding of the main concepts related to mechanics, though with some inaccuracies in presentation and limited autonomy in applying theoretical models. • 21–23: adequate knowledge of the topics covered; ability to correctly describe the main topics of mechanics and apply them to simple systems. • 24–26: good knowledge of the course content and good analytical and synthesis skills; correct use of theoretical formalism and adequate ability to relate the laws of mechanics to the discussion of experimental results. • 27–29: comprehensive and in-depth knowledge of the topics; good ability to independently analyze the laws of mechanics; good ability to present, analyze, and discuss the results of a mechanics experiment. • 30–30 with honors: excellent command of the topics covered, high ability to critically and independently rework the content, rigorous presentation and appropriate use of scientific language, with a full understanding of the relationships between the laws of mechanics and experiments.