

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

MECCANICA STATISTICA 2

Statistical Mechanics 2

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	FISICA
Codice	8068207-8066534-8068919	Canale	Unico
CFU	6	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Michele Buzzicotti

CODOCENTE

Fabio Guglietta (2 CFU)

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: Il corso è volto a fornire una preparazione avanzata nel campo della Meccanica Statistica di equilibrio e di non equilibrio, con particolare attenzione ai sistemi complessi e ai problemi di frontiera della ricerca contemporanea. Gli studenti acquisiranno conoscenza della teoria delle transizioni di fase e dei fenomeni critici, dei metodi del gruppo di rinormalizzazione, della teoria cinetica dei fluidi e dell'equazione di Boltzmann, nonché delle moderne tecniche numeriche per la simulazione di sistemi continui e multifase. Il corso si propone inoltre di sviluppare la capacità di collegare modelli microscopici e descrizioni macroscopiche, interpretando fenomeni emergenti in sistemi con molti gradi di libertà. Particolare enfasi sarà posta sull'acquisizione di strumenti teorici, matematici e computazionali utili per affrontare problemi aperti della fisica statistica contemporanea, della fluidodinamica e della turbolenza. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPRENSIONE: Gli studenti devono acquisire una comprensione approfondita dei concetti fondamentali e delle formulazioni moderne della meccanica statistica applicata ai sistemi complessi. Devono conoscere la fenomenologia e la teoria delle transizioni di fase, i concetti di universalità e invarianza di scala, i principi del gruppo di rinormalizzazione, la teoria cinetica dei gas e dei fluidi, nonché i fondamenti statistici della turbolenza. Devono inoltre comprendere il legame tra descrizioni microscopiche e comportamenti macroscopici emergenti e conoscere le principali metodologie numeriche utilizzate nella ricerca contemporanea, con particolare riferimento ai metodi Lattice Boltzmann. Gli studenti dovranno inoltre acquisire familiarità con la letteratura scientifica specialistica e con alcuni temi di ricerca attualmente oggetto di studio nella comunità internazionale. La verifica delle conoscenze e della capacità di comprensione avviene principalmente tramite prova orale. Agli studenti è inoltre data la possibilità di
----------	--

	approfondire autonomamente un argomento specialistico non trattato a lezione, discutendone criticamente i contenuti e i risultati. <i>CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRENSIONE:</i> Gli studenti devono essere in grado di identificare gli elementi essenziali di un problema fisico, anche caratterizzato da elevata complessità, e costruirne una descrizione quantitativa attraverso opportuni modelli teorici e computazionali. Devono saper applicare i metodi della meccanica statistica all'analisi di fenomeni critici, processi di trasporto, sistemi multifase e flussi turbolenti, individuando le approssimazioni più appropriate e valutandone il dominio di validità. Devono inoltre essere capaci di utilizzare strumenti matematici avanzati e metodi numerici per la soluzione di problemi rilevanti in fisica statistica e fluidodinamica, interpretando criticamente i risultati ottenuti e confrontandoli con le previsioni teoriche e con eventuali evidenze sperimentali.
English	<i>LEARNING OBJECTIVES:</i> The course aims to provide advanced training in equilibrium and non-equilibrium Statistical Mechanics, with particular emphasis on complex systems and current frontier research topics. Students will acquire knowledge of the theory of phase transitions and critical phenomena, renormalization group methods, the kinetic theory of fluids and the Boltzmann equation, as well as modern numerical techniques for the simulation of continuous and multiphase systems. The course also aims to develop the ability to connect microscopic models with macroscopic descriptions, interpreting emergent phenomena in systems with many degrees of freedom. Emphasis will be placed on the acquisition of theoretical, mathematical, and computational tools for addressing open problems in contemporary statistical physics, fluid dynamics, and turbulence. <i>KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:</i> Students are expected to acquire a thorough understanding of the fundamental concepts and modern formulations of statistical mechanics as applied to complex systems. They should become familiar with the phenomenology and theory of phase transitions, the concepts of universality and scale invariance, the principles of the renormalization group, the kinetic theory of gases and fluids, and the statistical foundations of turbulence. They should also understand the relationship between microscopic descriptions and emergent macroscopic behavior, and gain knowledge of the main numerical methodologies employed in contemporary research, with particular emphasis on Lattice Boltzmann methods. Furthermore, students are expected to develop familiarity with the specialized scientific literature and with selected research topics currently under investigation by the international scientific community. Knowledge and understanding are primarily assessed through an oral examination. Students may also choose to independently study a specialized topic not covered during the lectures and critically discuss its content and results. <i>APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:</i> Students should be able to identify the essential elements of a physical problem, even when characterized by a high degree of complexity, and construct a quantitative description through appropriate theoretical and computational models. They should be capable of applying statistical mechanics methods to

	<i>the analysis of critical phenomena, transport processes, multiphase systems, and turbulent flows, identifying the most appropriate approximations and assessing their range of validity. In addition, students should be able to employ advanced mathematical tools and numerical methods to solve relevant problems in statistical physics and fluid dynamics, critically interpreting the results obtained and comparing them with theoretical predictions and, when available, experimental evidence.</i>
--	---

PREREQUISITI

Italiano	Conoscenza di elementi di base della meccanica statistica: Teoria Degli Ensembles, Limite Termodinamico, Potenziali Termodinamici, Conoscenze Elementari Di Teoria Della Probabilità.
English	<i>Knowledge of elements of statistical mechanics: Ensembles, Thermodynamic Limit, Thermodynamic Potentials, Elements of Probability Theory.</i>

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Il corso si apre con un richiamo ai concetti fondamentali della Meccanica Statistica e con l'introduzione alla teoria delle transizioni di fase attraverso lo studio del modello di Ising in una e due dimensioni, del modello di campo medio e dei fenomeni critici. Successivamente vengono introdotti i concetti fondamentali della teoria del gruppo di rinormalizzazione, con particolare attenzione all'universalità, all'invarianza di scala e alla descrizione dei fenomeni critici. La parte centrale del corso è dedicata alla fluidodinamica e alla teoria cinetica dei fluidi. Verranno discussi le equazioni di Navier-Stokes, l'equazione di Boltzmann e i fondamenti teorici e numerici dei metodi Lattice Boltzmann, inclusi gli sviluppi necessari per il recupero delle equazioni idrodinamiche macroscopiche. Si passerà quindi allo studio dei sistemi multifase e multicomponente, introducendo la fisica delle interfacce, la tensione superficiale e i principali metodi Lattice Boltzmann per la simulazione di sistemi complessi. Il corso si conclude con un'introduzione alla teoria statistica della turbolenza, comprendente la formulazione delle equazioni di Navier-Stokes nello spazio di Fourier, la cascata energetica, la teoria di Kolmogorov, l'intermittenza e le descrizioni multi-frattali dei flussi turbolenti.
English	<i>The course begins with a review of the fundamental concepts of Statistical Mechanics and an introduction to the theory of phase transitions through the study of the Ising model in one and two dimensions, mean-field theory, and critical phenomena. It then introduces the fundamental concepts of renormalization group theory, with particular emphasis on universality, scale invariance, and the description of critical phenomena. The central part of the course is devoted to fluid dynamics and the kinetic theory of fluids. Topics include the Navier-Stokes equations, the Boltzmann equation, and the theoretical and numerical foundations of Lattice Boltzmann methods, including the derivation of macroscopic hydrodynamic equations. The course then addresses multiphase and multicomponent systems, introducing interfacial physics, surface tension, and the main Lattice Boltzmann approaches for the simulation of complex fluid systems. The course concludes with an</i>

	<i>introduction to the statistical theory of turbulence, including the formulation of the Navier–Stokes equations in Fourier space, the energy cascade, Kolmogorov's theory, intermittency, and multifractal descriptions of turbulent flows.</i>
--	---

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	[1] C. Cercignani. The Boltzmann equation and its applications Springer-Verlag (1988) [2] K. Huang, Statistical Mechanics John Wiley & Sons, New York (1963) [3] Sethna, J. P. (2021). <i>Statistical mechanics: entropy, order parameters, and complexity</i> (Vol. 14). Oxford University Press. [4] A. Alexakis & L. Biferale Cascades and transitions in turbulent flows, Phys Rep, 2018. [5] T. Krüger et al., The lattice Boltzmann methods: principles and practice, Springer
English	[1] C. Cercignani. The Boltzmann equation and its applications Springer-Verlag (1988) [2] K. Huang, Statistical Mechanics John Wiley & Sons, New York (1963) [3] Sethna, J. P. (2021). <i>Statistical mechanics: entropy, order parameters, and complexity</i> (Vol. 14). Oxford University Press. [4] A. Alexakis & L. Biferale Cascades and transitions in turbulent flows, Phys Rep, 2018. [5] T. Krüger et al., The lattice Boltzmann methods: principles and practice, Springer

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	La scelta del corso è privilegiare l'ampiezza di visione concettuale e metodologica piuttosto che il dettaglio delle tecniche, che possono poi essere sempre approfondite all'occorrenza. Durante le lezioni in aula si vuole stimolare la curiosità e lo spirito critico, l'interesse verso gli argomenti trattati, l'iniziativa e la partecipazione attiva, l'attitudine a lavorare in gruppo.
English	<i>It is a precise choice to favour a broad conceptual and methodological vision to favour a broad conceptual and methodological vision rather than the detail of the techniques. During the classroom lessons, we want to stimulate the curiosity and the critical spirit, the interest in the topics dealt with, the initiative and active participation, the ability to work in a group.</i>

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Lezioni in aula. Frequenza facoltativa anche se fortemente consigliata.
English	<i>Class lectures. Attendance is optional but students are strongly encouraged to attend lectures.</i>

MODALITÀ DI VALUTAZIONE

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

COMPOSIZIONE DELLA COMMISSIONE VALUTATRICE

Prof. Michele Buzzicotti, Dott. Fabio Guglietta

Membri Supplenti: Prof. Mauro Sbragaglia, Prof. Luca Biferale

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	La valutazione dello studente prevede una prova orale. Lo studente dovrà dimostrare una preparazione di base sulle nozioni fondamentali della Meccanica Statistica, essendo capace di applicare metodi e procedure descritte a lezione utilizzando un approccio professionale, con abilità comunicative ed autonomia di giudizio. Le abilità/competenze di cui si tiene conto nella valutazione dell'esame sono la correttezza della procedura individuata per la soluzione dei quesiti, l'adeguatezza della soluzione proposta in relazione alle competenze che lo studente si presuppone abbia acquisito alla fine del corso; l'utilizzo competente di un linguaggio tecnico, la capacità di sintesi, la chiarezza espositiva. Il punteggio della prova d'esame è attribuito mediante un voto espresso in trentesimi. Criteri per la formulazione del giudizio espresso in trentesimi: Non idoneo: importanti carenze e/o inaccuratezza nella conoscenza e comprensione degli argomenti; limitate capacità di analisi e sintesi, frequenti generalizzazioni. 18-20: conoscenza e comprensione degli argomenti appena sufficiente con possibili imperfezioni; capacità di analisi, sintesi e autonomia di giudizio sufficienti. 21-23: Conoscenza e comprensione degli argomenti routinaria; capacità di analisi e sintesi corrette con argomentazione logica coerente. 24-26: Discreta conoscenza e comprensione degli argomenti; buone capacità di analisi e sintesi con argomentazioni espresse in modo rigoroso. 27-29: Conoscenza e comprensione degli argomenti completa; notevoli capacità di analisi, sintesi. Buona autonomia di giudizio. 30-30L: Ottimo livello di conoscenza e comprensione degli argomenti. Notevoli capacità di analisi e di sintesi e di autonomia di giudizio. Argomentazioni espresse in modo originale.
English	<i>The student's evaluation is based on an oral exam.</i>

The student must demonstrate a basic preparation on the fundamental notions on the theory of Statistical Mechanics, being able to apply methods and procedures described during the lectures using a professional approach, with communication skills and autonomy of judgment.

The skills/competencies taken into account in the evaluation of the exam are the correctness of the procedure identified for the solution of the problems, the adequacy of the proposed solution in relation to the skills that the student is assumed to have acquired at the end of the course; the competent use of technical language, the ability to summarize, clarity of exposition. The grade of the exam is assigned through a grade expressed in thirtieths.

Criteria for the determination of the final grade:

Ineligible: major deficiencies and/or inaccuracy in knowledge and understanding of topics; limited analytical and synthesis skills, frequent generalizations.

18-20: knowledge and understanding of topics only sufficient with possible imperfections; analytical skills, synthesis and judgment autonomy just sufficient.

21-23: knowledge and understanding of topics at a basic level; correct analysis and synthesis skills with consistent logical reasoning.

24-26: Fair knowledge and understanding of the topics; good analytical and synthesis skills with rigorous arguments.

27-29: Complete knowledge and understanding of the topics; remarkable ability of analysis, synthesis. Good autonomy of judgment.

30-30L: Excellent level of knowledge and understanding of topics. Remarkable ability of analysis and synthesis and autonomy of judgment. Arguments expressed in an original way