Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

Scheda Insegnamento

Mod. Scheda Insegnamento v. 1.1 -

Docente responsabile dell'insegnamento/attività formativa

Nome	GIULIO
Cognome	CIMINI

Denominazione insegnamento/attività formativa

Italiano	MECCANICA STATISTICA ED OTTIMIZZAZIONE
Inglese	OPTIMIZATION AND STATISTICAL MECHANICS

Informazioni insegnamento/attività formativa

A.A.	2025/2026
	○ L ◉ LM ○ LM CU
CdS	FISICA (LM-17)
Codice	8067176
Canale	UNICO
CFU	8
Lingua	ENG

Docente del modulo didattico (compilare solo per attività formative articolate in moduli)

Nome	
Cognome	

Denominazione modulo didattico (compilare solo per attività formative articolate in moduli)

Italiano	
Inglese	

Obiettivi formativi e risultati di apprendimento attesi

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: L ' insegnamento mira a fornire conoscenze avanzate relative alla meccanica statistica moderna, con particolare riguardo all ' ottimizzazione vincolata, i fenomeni critici, la teoria delle reti complesse ed i processi stocastici. Il corso si propone inoltre di sviluppare le capacità di ricerca negli ambiti sopraindicati, dal punto di vista sia teorico che computazionale, attraverso lo svolgimento di progetti individuali (anche su tematiche interdisciplinari) che prevedono la realizzazione di modelli e simulazioni e l ' analisi di grandi basi dati. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPRENSIONE: Gli studenti dovranno acquisire conoscenza dei diversi strumenti analitici, computazionali e statistici che verranno illustrati nel corso, e comprenderne le modalità di utilizzo a seconda delle peculiarità dei problemi affrontati. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRENSIONE: Gli studenti dovranno saper applicare alcuni dei metodi e tecniche descritte a lezione per risolvere problemi su tematiche generali relative ai sistemi complessi. Attraverso la
Inglese	LEARNING OUTCOMES: The course aims to provide advanced knowledge of modern statistical mechanics, with particular attention to constrained optimization, critical phenomena, complex networks theory and stochastic processes. The course also aims to develop research skills in the above-mentioned areas, from both a theoretical and computational point of view, through the development of individual projects (also on interdisciplinary topics) which involve the creation of models and simulations and the analysis of large databases. KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: Students will have to acquire knowledge of the different analytical, computational and statistical tools that will be illustrated in the course, and to understand how to use them depending on the peculiarities of the problems addressed. APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: Students must be able to apply some of the methods and techniques described in class to solve problems on general topics relating to complex systems. Through the implementation of their project, students will become familiar with the planning and execution of the various phases of a research activity.

Prerequisiti

Italiano	Conoscenze generali: fisica classica, analisi matematica, algebra e geometria. Conoscenze specifiche: meccanica statistica, calcolo delle probabilità, fisica computazionale.
Inglese	General knowledge: classical physics, mathematical analysis, algebra and geometry. Specific knowledge: statistical mechanics, probability calculus, computational physics.

Programma

Italiano	- Introduzione ai sistemi complessi: definizioni, tecniche di analisi e simulazione - Elementi di Teoria dell'Informazione, relazione con la Meccanica Statistica. - Teoria delle reti, processi di crescita e Master equations. Funzioni generatrici. - Ottimizzazione vincolata e massima entropia. Grafi random-esponenziali, modelli nulli e validazione statistica. - Modelli di percolazione, epidemici e processi di contatto. Campo medio eterogeneo. Disordine quenched e annealed. - Algoritmi gerarchici di partizione. Algoritmi di ranking. Operatore Laplaciano discreto. - Passeggiate casuali. Catene di Markov in tempo discreto e continuo. PageRank e applicazioni. - Equazioni differenziali stocastiche. Equazioni di Fokker-Plank e Kolmogorov Backward e Forward. Formula di Cramer. Analisi in Componenti Principali.
Inglese	- Introduction to Complex Systems: definitions, analysis and simulation techniques - Elements of Information Theory, relationship with Statistical Mechanics. - Network theory, growth processes and Master equations. Generating functions. - Constrained optimization and maximum entropy. Exponential Random Graphs, null models and statistical validation. - Percolation, epidemic and contact process models. Heterogeneous mean field. Quenched and annealed disorder. - Hierarchical partition algorithms. Ranking algorithms. Discrete Laplacian operator. - Random walks. Markov chains in discrete and continuous time. PageRank and applications. - Stochastic differential equations. Fokker-Plank and Kolmogorov Backward and Forward equations. Cramer's formula. Principal Components Analysis.

Modalità di valutazione

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

Descrizione delle modalità e dei criteri di verifica dell'apprendimento

Italiano	La valutazione dello studente prevede la realizzazione un progetto individuale di approfondimento su uno degli argomenti trattati nel corso (da concordare preventivamente con il docente). L ' esame consiste nella presentazione del lavoro svolto utilizzando delle diapositive e altro materiale multimediale, a cui seguiranno le domande del docente inerenti alla tematica del progetto. Lo studente dovrà dimostrare di aver acquisito conoscenze adeguate nell ' argomento affrontato, padronanza delle tecniche analitiche, numeriche e statistiche utilizzate, contezza dei risultati ottenuti, capacità di inquadramento della tematica di ricerca (stato dell ' arte, domande aperte, potenziali applicazioni e limitazioni), capacità di sintesi e chiarezza espositiva.
Inglese	The student's evaluation involves the realization of an individual project to deepen one of the topics covered in the course (to be agreed in advance with the teacher). The exam consists of the presentation of the work done using slides and other multimedia material, followed by the teacher's questions relating to the topic of the project. The student must demonstrate to have acquired adequate knowledge in the topic addressed, mastery of the analytical, numerical and statistical techniques used, knowledge of the results obtained, ability to frame the research topic (state of the art, open questions, potential applications and limitations), ability to summarize and clarity of presentation. The score of the exam is attributed by means of a mark expressed out of thirty. The examination will be evaluated according to the following criteria: Ineligible: major deficiencies and/or inaccuracy in knowledge and understanding of topics;

Testi adottati

Italiano	Il materiale verrà indicato dal docente nel corso delle lezioni. Slides, dispense e articoli di ricerca su specifici argomenti saranno condivisi nella classe Teams del corso.
Inglese	The material will be indicated by the teacher during the lessons. Slides, lecture notes and research articles on specific topics will be shared in the Teams class of the course.

Bibliografia di riferimento

Italiano	C Gardiner. "Stochastic Methods: A Handbook for the Natural and Social Sciences". Springer (2009) M Newman. "Networks". Oxford University Press (2018) H J Jensen. "Complexity Science: The Study of Emergence". Cambridge University Press (2022)
Inglese	C Gardiner. "Stochastic Methods: A Handbook for the Natural and Social Sciences". Springer (2009) M Newman. "Networks". Oxford University Press (2018) H J Jensen. "Complexity Science: The Study of Emergence". Cambridge University Press (2022)

Modalità di svolgimento

☒ Modalità in presenza
☐ Modalità a distanza

Descrizione della modalità di svolgimento e metodi didattici adottati

Italiano	Il corso si svolge principalmente con lezioni frontali. Alcuni seminari specifici sono previsti nella parte finale del corso. Nello svolgimento del progetto individuale sono previsti incontri con il docente per valutare lo stato di avanzamento e le modalità di analisi adottate.
Inglese	The course takes place mainly with frontal lessons. Some specific seminars are scheduled in the final part of the course. During the development of the individual project, meetings with the teacher are scheduled to evaluate the state of progress and the analysis methods adopted.

Modalità di frequenza

◉ Frequenza facoltativa
○ Frequenza obbligatoria

Descrizione della modalità di frequenza

Italiano	Lezioni di 2 ore, 3 volte alla settimana
Inglese	2 hours lectures, 3 times a week