

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

ELEMENTI DI QCD NON PERTURBATIVA

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	FISICA (LM-17)
Codice	8067637-8068876	Canale	Unico
CFU	6	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Giulia Maria de Divitiis

CODOCENTE

Nazario Tantalo

Modulo:

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: Gli studenti devono acquisire una conoscenza approfondita della QCD e dei suoi fondamenti. In particolare, alla fine del corso dovranno avere familiarità con: 1) il modello a quark e le simmetrie di flavour e chirali, 2) la formulazione della QCD su reticolo, 3) il confinamento e la libertà asintotica, 4) i metodi Monte Carlo e le tecniche numeriche per il calcolo di osservabili adroniche. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE: Oltre a conoscere gli argomenti elencati, gli studenti dovranno comprendere come questi si costruiscono a partire dai principi della teoria dei campi e dai dati sperimentali sulla struttura adronica. La verifica avverrà tramite una prova orale. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: Gli studenti acquisiranno la capacità di applicare il formalismo della QCD su reticolo per calcolare osservabili adroniche, costruire funzioni di correlazione per stati mesonici e barionici e utilizzare metodi Monte Carlo valutando correttamente gli errori statistici e sistematici. Acquisiranno inoltre la capacità di leggere e comprendere articoli scientifici recenti sull'argomento. AUTONOMIA DI GIUDIZIO: Lo studente sarà capace di valutare criticamente le approssimazioni introdotte dalla discretizzazione, discutere la scelta delle azioni di gauge e fermioniche, e interpretare i risultati delle simulazioni confrontandoli con le predizioni teoriche. Sarà inoltre capace di eseguire ricerche bibliografiche autonome sugli argomenti del corso. ABILITÀ COMUNICATIVE: Lo studente sarà in grado di esporre con chiarezza e rigore i contenuti del corso, padroneggiando la terminologia tecnica specifica e sapendo presentare e discutere risultati. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Lo studente avrà acquisito le basi per affrontare autonomamente argomenti avanzati di QCD perturbativa e non perturbativa e per consultare letteratura scientifica specializzata.
----------	--

<i>English</i>	LEARNING OUTCOMES: Students are expected to acquire an in-depth knowledge of QCD and its foundations. By the end of the course they should be familiar with: 1) the quark model and flavour and chiral symmetries, 2) the lattice formulation of QCD, 3) confinement and asymptotic freedom, 4) Monte Carlo methods and numerical techniques for the calculation of hadronic observables. KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: In addition to knowing the topics listed above, students should understand how these are built from the principles of quantum field theory and experimental data on hadronic structure. Assessment will be carried out through oral examination. APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: Students will develop the ability to apply the lattice QCD formalism to calculate hadronic observables, construct correlation functions for mesonic and baryonic states, and use Monte Carlo methods while correctly assessing statistical and systematic errors. They will also acquire the ability to read and understand recent scientific articles on the subject. MAKING JUDGEMENTS: Students will be able to critically evaluate the approximations introduced by discretization, discuss the choice of gauge and fermionic actions, and interpret simulation results by comparing them with theoretical predictions. They will also be able to independently perform bibliographic searches on the course topics. COMMUNICATION SKILLS: Students will be able to clearly and rigorously present the course content, mastering the specific technical terminology and discussing and presenting numerical results in oral form. LEARNING SKILLS: Students will have acquired the foundations to independently study advanced topics in perturbative and non-perturbative QCD and to consult specialist scientific literature.

PREREQUISITI

Italiano	Conoscenza di base della meccanica quantistica relativistica e della teoria quantistica dei campi
<i>English</i>	Basic knowledge of relativistic quantum mechanics and quantum field theory

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Modello a Quark. Parametrizzazione degli elementi di matrice adronici. Simmetrie Globali di Flavour. Simmetria Chirale, Algebra delle Currenti. CromoDinamica Quantistica, Lagrangiana di QCD. La costante di accoppiamento delle interazioni forti, funzione Beta, Libertà Asintotica. (16 ore) Spazio e tempo discretizzati. Teorie di Gauge su Reticolo. Campi Fermionici e di gauge. Simmetrie Discrete e Simmetria Locale di Gauge. Formulazione dell'azione di QCD su reticolo: Azioni di Gauge e Fermionica. Confinamento, Loop di Wilson.(16 ore) Algoritmi Numerici, Metodi Monte Carlo, Catene di Markov. Errori Statistici e Sistemati. Funzioni di Correlazione reticolari e operatori Interpolanti per stati mesonici e barionici, Decomposizione Spettrale. (16 ore)
<i>English</i>	Quark model. Parametrization of Hadronic Matrix Elements. Global Flavour Symmetries. Chiral Symmetry, Current Algebra.

	Quantum ChromoDynamics, QCD Lagrangian. The strong Coupling Constant, Beta function, Asymptotic Freedom. (16 hours) Lattice Gauge Theories. Discrete space-time lattice. Fermion and gauge fields. Discrete Symmetries and Local Gauge Symmetry. Formulation of the Lattice QCD Actions: Gauge and Fermion Action. Confinement, Wilson Loops.(16 hours) Numerical algorithms, Monte Carlo methods, Markov Chain. Statistical and Systematic Errors Lattice Correlation functions and Interpolating operators for mesons and baryons, Spectral Decomposition. (16 hours)
--	--

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	-C. Gattringer and Ch. Lang, Quantum Chromodynamics on the Lattice: An Introductory Presentation Series: Lecture Notes in Physics, Vol. 788 -I. Montvay and G. Münster, Quantum Fields on a Lattice, Cambridge Monographs on Mathematical Physics, Cambridge University Press 1994 -H.J. Rothe, Lattice Gauge Theories: An Introduction, World Scientific, (2005)
<i>English</i>	-C. Gattringer and Ch. Lang, Quantum Chromodynamics on the Lattice: An Introductory Presentation Series: Lecture Notes in Physics, Vol. 788 -I. Montvay and G. Münster, Quantum Fields on a Lattice, Cambridge Monographs on Mathematical Physics, Cambridge University Press 1994 -H.J. Rothe, Lattice Gauge Theories: An Introduction, World Scientific, (2005)

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	Lezioni frontali in aula ed esercitazioni.
<i>English</i>	Classroom lessons and exercises.

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Sebbene facoltativa è altamente consigliata la frequenza delle lezioni e l'interazione con i docenti.
<i>English</i>	Although optional, it is highly recommended to attend the classes and interact with the teachers.

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

Giulia Maria de Divitiis, Nazario Tantalo, ...

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	La prova di esame sarà valutata secondo i seguenti criteri: 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	The examination will be evaluated according to the following criteria: 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