DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

NUCLEAR AND HADRONIC PHYSICS – FISICA NUCLEARE ED ADRONICA

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	**CdS**	FISICA (LM-17)
Codice	8067391 (ENG) - 8066203 (ITA)	**Canale**	Unico
CFU	6	**Lingua**	Inglese

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Annalisa D'Angelo

CODOCENTE

Modulo:

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: L'insegnamento si svolge tramite lezioni frontali ed è volto a fornire nozioni avanzate di fisica nucleare. Sono illustrati i fondamenti sperimentali e teorici delle interazioni forti, operanti sia nella costituzione dei nuclei che nello studio degli stati eccitati e della struttura interna dei nucleoni. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPRENSIONE: Attraverso il corso gli studenti acquisiranno conoscenza approfondita della fisica nucleare ed adronica. Gli studenti saranno in grado di comprendere la natura dell'interazione forte agente tra i nucleoni e tra i loro componenti: i quark. Conosceranno le proprietà dell'interazione Nucleone-Nucleone, lo spettro delle risonanze barioniche e la struttura interna dei nucleoni. Capiranno come utilizzare le diverse sonde elettromagnetiche ed adroniche per studiare le proprietà dell'interazione forte. Apprenderanno come lo studio della diffusione profondamente anelastica di leptoni su nucleoni permette di ottenere le evidenze sperimentali dell'esistenza dei quark e dei gluoni nei nucleoni e la loro distribuzione di impulso. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPRENSIONE: Al termine del corso gli studenti saranno in grado di applicare le loro conoscenze e capacità di comprensione in maniera da dimostrare un approccio professionale nel campo della fisica nucleare ed adronica ed alle loro applicazioni. Gli studenti saranno inoltre in grado di collegare le formulazioni teoriche con le misurazioni sperimentali anche di ultima generazione. AUTONOMIA DI GIUDIZIO: Alla fine del corso gli studenti avranno imparato essere rigorosi nella trattazione di problemi legati alla fisica del nucleo, alla formulazione di nuove ipotesi e critici nell'analisi dei dati

	sperimentali. Gli studenti devono essere in grado di effettuare autonomamente ricerche bibliografiche collegando le attività sperimentali con le problematiche teoriche. ABILITÀ COMUNICATIVE: Lo studente deve essere in grado di illustrare in modo analitico il ruolo che i processi di diffusione di sonde adroniche ed elettromagnetiche hanno nella definizione dello spettro degli adroni e della loro struttura interna. Saranno in grado di collegare l'interpretazione dei dati sperimentali alla descrizione dei processi tramite modelli teorici. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Al termine del corso, lo studente deve essere in grado di orientarsi in maniera autonoma verso lo studio approfondito di nuovi campi. Deve acquisire la capacità di proseguire gli studi in un dottorato di ricerca o altre scuole di specializzazione.
English	*LEARNING OUTCOMES:* *The class is organized in lessons with the aim of providing advanced knowledge in nuclear physics. The experimental and theoretical notions of strong interactions that act inside nuclei and are at the base nucleons' spectrum and structure, are illustrated.* *KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:* *Through the course students will acquire advanced knowledge of nuclear and hadronic physics. Students will be able to understand the nature of the strong interaction acting among nucleons and among their constituents: the quarks. Students will understand the properties of the nuclei, the baryons excited states and the internal structure of the nucleons. They will know how to use different electromagnetic and hadronic probes to study the working of strong interactions. They will understand how the study of deep inelastic scattering of leptonic probes on nucleons provides the evidence of the existence of quarks and gluons as elementary constituents of the matter and allows to determine their momentum distribution.* *APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING:* *Students at the end of the course will be able to apply their knowledge and understanding to demonstrate a professional approach in the field of nuclear and hadronic physics and their applications. They will be able to connect the theoretical formulation of an interaction with the experimental measurements, including results from latest generation experiments.* *MAKING JUDGEMENTS:* *At the end of the course the students will have a rigorous approach in addressing nuclear physics problems, in formulating new hypotheses and will be critical in the analysis of experimental data. The students will be able to independently perform bibliographic searches, connecting the experimental activities with the theoretical frameworks.* *COMMUNICATION SKILLS:* *Students shall be able to explain analytically and with scientific rigor both theoretical approaches ad experimental observations that lead to the understanding of strong interactions and nuclear and hadronic physics. They should be able to summarize the most recent experimental results in a quantitative way.* *LEARNING SKILLS:*

	Students will be able to perform autonomous bibliographic searches using specialized books and journals. The student will acquire the elements needed to continue their studies at doctoral level or further specialisation Master level.

PREREQUISITI

Italiano	Meccanica Quantistica. Relatività Speciale. Elementi di Fisica Nucleare e Subnucleare
English	*Quantum Mechanics. Special Relativity. Introductory Particle and Nuclear Physics*

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Adroni e Forze Nucleari. Interazione Nucleone-Nucleone, operatori di scambio ed il nucleo di Deuterio. Operatore di interazione tensoriale. Momento di dipolo magnetico e momento di quadrupolo elettrico del deutone e funzione d'onda del deuterio. Teoria della diffusione. Sviluppo in onde parziali. Diffusione Nucleone-Nucleone a basse energie. Lunghezza di diffusione e teoria del raggio efficace. Spettroscopia adronica: diffusione pione-nucleone. Diagrammi di Argand e risonanze. Esempi di risonanze barioniche. Dalitz plot e formazione di risonanze mesoniche. I quark costituenti. SU(3) e modello a quark. La struttura interna dei nucleoni: I fattori di forma. Deflessione elastica ed anelastica degli elettroni su nuclei e nucleoni. Deflessione profondamente anelastica e funzioni di struttura dei nucleoni. Modello a partoni. Diffusione profondamente anelastica dei neutrini. Funzioni di distribuzione dei quark e degli anti-quark. Diffusione profondamente anelastica di sonde polarizzate su bersagli polarizzati. Asimmetrie e funzioni di struttura g1 e g2.
English	*Hadrons and Nuclear Forces. Nucleon-Nucleon interactions, Exchange operators. Tensor operator and the Deuteron wave-function. Dipole magnetic moment a quadrupole electromagnetic moment of the deuteron. Scattering theory. Partial wave expansion. Nucleon-nucleon scattering at low energies. Scattering length and theory of effective radius. Hadron spectroscopy: partial wave amplitudes and pion-nucleon scattering cross sections. Argand plots and resonances. Examples of baryonic resonances. Dalitz plots and meson resonance formation. Constituent quarks. SU(3) and quark models. Internal nucleon structure: form factors. Elastic and inelastic electron scattering on nucleons and nuclei. Deep inelastic scattering and nucleon structure functions. Parton model. Neutrinos deep inelastic scattering. Quark and anti-quark distribution functions. Longitudinally polarized deep inelastic scattering. Asymmetries and g1 and g2 polarized structure functions.*

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	"Nuclear Physics in a Nutshell" Carlos A. Bertulani. Princeton University Press. "Nuclear and Particle Physics" W.E. Burcham and M. Jobs. Longman Scientific & Technical. "The Structure of the Nucleon" Anthony W. Thomas and Wolfram Weise. Wiley-VCH.

	Si suggerisce inoltre: F. Halzen & A. Martin: "Quarks and Leptons";
English	"Nuclear Physics in a Nutshell" Carlos A. Bertulani. Princeton University Press. “Nuclear and Particle Physics” W.E. Burcham and M. Jobs. Longman Scientific & Technical. “The Structure of the Nucleon” Anthony W. Thomas and Wolfram Weise. Wiley-VCH. *Suggested additional reading:* *F. Halzen & A. Martin: "Quarks and Leptons";*

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☒ A distanza

Italiano	L’insegnamento si articola su lezioni frontali, registrate sulla piattaforma Teams. La lezione viene spiegata attraverso slides proiettate in classe, con l'ausilio della lavagna ove interessa sviluppare alcuni calcoli particolari. In classe vengono anche distribuite le stampe delle slides prima della lezione, per consentire agli studenti di seguire meglio e prendere appunti. Le slides vengono prontamente rese disponibili sulla piattaforma Teams.
English	*The teaching consists of lectures, also registered on via Teams.* *The lesson is explained through slides projected in the classroom, with the help of the blackboard where it is interesting to develop some calculations.* *In the classroom, printouts of the slides are distributed to ease the taking of notes.* *All the material is available on Teams, where the slides are promptly uploaded.*

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	La frequenza delle lezioni è fortemente consigliata
English	*Attendance to lectures is strongly encouraged*

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

Docente responsabile del corso e docenti del medesimo settore scientifico-disciplinare

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	La prova orale 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 oral 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*