

**CORSO DI STUDIO *Physics (LM-17)***
**ANNO ACCADEMICO 2023-2024**
**DENOMINAZIONE DELL'INSEGNAMENTO *Elementary Particle Physics***

Principali informazioni sull'insegnamento	
Anno di corso	1°
Periodo di erogazione	2° semestre: Marzo – Maggio 2024
Crediti formativi universitari (CFU/ECTS)	6
SSD	FIS/04
Lingua di erogazione	Inglese
Modalità di frequenza	Raccomandata, non obbligatoria

Docente	
Nome e cognome	Anna Colaleo
Indirizzo mail	Anna.Colaleo@uniba.it
Telefono	080 5442358
Sede	Dipartimento Interateneo di Fisica, Via Amendola 173, 70126 Bari, stanza R16
Sede virtuale (Codice Microsoft Teams)	
Ricevimento (giorni, orari e modalità)	Gli studenti sono invitati a contattare i docenti via email per fissare un incontro

Organizzazione della didattica			
Ore			
Totali	Didattica frontale	Pratica (laboratorio, campo, esercitazione, altro)	Studio individuale
150	40	15	95
CFU/ECTS			
6	5	1	

<b>Obiettivi formativi</b>	<p>L'obiettivo del corso è quello di introdurre alla visione moderna della fisica delle particelle con l'enfasi su come i concetti teorici inferiscano da misure sperimentali. Il Modello Standard sarà derivato fondamentalmente seguendone lo sviluppo in ordine storico; ogni argomento sarà supportato dalla discussione dei principali articoli pubblicati al tempo degli esperimenti. Verranno derivate le equazioni fondamentali richieste per comprendere quegli esperimenti.</p> <p>Lo studente sarà introdotto alle nozioni di simmetria e gruppi al fine di descrivere il Modello Standard così come le sue possibili estensioni. Lo studente acquisirà familiarità con la fenomenologia delle collisioni a bassa e alta energia con riferimento agli esperimenti classici, attuali e futuri e avrà alcuni cenni sul funzionamento degli acceleratori e dei rivelatori multiuso.</p> <p>Obiettivo: alla fine del corso lo studente dovrebbe avere una buona comprensione degli aspetti teorici e sperimentali della fisica delle particelle.</p>
<b>Prerequisiti</b>	Istituzioni di fisica nucleare e subnucleare, relatività speciale, metodi matematici per la fisica, Elementi di fisica dei rivelatori di particelle, teoria quantistica dei campi

<b>Metodi didattici</b>	Le lezioni saranno tenute di persona o in streaming tramite Teams. Sarà adottato un approccio "blended learning" combinando le tradizionali lezioni frontali in classe con l'uso di tecnologie digitali. Lezioni in aula supportate da videoproiettore e con l'ausilio
-------------------------	--

	di PC in rete e, se necessario, in streaming via Teams. Fornitura di contenuti digitali e seminari mirati all'approfondimento degli argomenti trattati nel corso, seguiti da una discussione in aula.
--	---

<p><b>Risultati di apprendimento previsti</b></p> <p><b>DD1 Conoscenza e capacità di comprensione</b></p> <p><b>DD2 Conoscenza e capacità di comprensione applicate</b></p> <p><b>DD3-5 Competenze trasversali</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Comprensione del metodo scientifico, della natura e delle modalità della ricerca in Fisica</li> <li>o Conoscenze di fisica delle particelle elementari</li> <li>o Conoscenza sulla base del quadro teorico del Modello Standard (teoria quantistica dei campi e relatività speciale);</li> <li>o Comprensione degli aspetti fenomenologici della fisica delle particelle elementari e capacità di contestualizzare la fenomenologia dei processi elementari all'interno del modello teorico;</li> <li>o Conoscenza degli osservabili sperimentali per le misure di fisica e comprensione dei metodi sperimentali per implementare le misure;</li> <li>o Comprensione dei limiti e delle questioni aperte nella descrizione attuale delle interazioni fondamentali.</li> <li>o Attraverso lo sviluppo storico del Modello Standard lo studente imparerà come nascono le teorie scientifiche, dall'osservazione scientifica di un fenomeno allo sviluppo di ipotesi attraverso il formalismo dei modelli teorici, al rigoroso processo di verifica delle ipotesi attraverso test sperimentali e analisi dei dati.</li> <li>o Lo studente acquisirà pensiero critico, creatività e capacità di analisi.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Capacità di identificare gli elementi essenziali di un fenomeno</li> <li>o Capacità di utilizzare lo strumento dell'analogia per applicare soluzioni conosciute a problemi nuovi (problem solving)</li> <li>o Capacità di utilizzo di strumenti di calcolo matematico analitico e numerico</li> <li>o Lo studente acquisirà il know-how per applicare le conoscenze in diversi contesti e sarà in grado di percepire il valore interdisciplinare delle teorie e delle metodologie sperimentali apprese.</li> <li>o Lo studente acquisirà conoscenza e comprensione dei metodi e delle tecniche sperimentali per fare ricerca di alto livello in qualsiasi campo, in un contesto internazionale.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Autonomia di giudizio</b></li> <li>o Capacità di lavorare con crescenti gradi di autonomia, anche assumendo responsabilità nella programmazione di progetti e nella gestione di strutture</li> <li>o Lo studente svilupperà la capacità di analizzare la fenomenologia con un atteggiamento critico, avendo gli strumenti teorici per verificare le proprietà e i fondamenti delle teorie e dei modelli proposti. Lo studente imparerà ad analizzare i problemi e i risultati, e svilupperà capacità critiche per arrivare autonomamente alle conclusioni, evidenziando, ove possibile, le approssimazioni e le ipotesi e gli eventuali punti deboli del ragionamento.</li> <li>● <b>Abilità comunicative</b></li> <li>o Competenze nella comunicazione in lingua italiana e in lingua inglese nei settori avanzati della Fisica</li> <li>o Lo studente acquisirà competenze su come presentare concetti e risultati scientifici in modo preciso, attento e diretto. Svilupperà un'attitudine al confronto e a lavorare in gruppo per la comprensione delle problematiche e a inferire soluzioni e strategie di ricerca attraverso la discussione scientifica</li> <li>● <b>Capacità di apprendere in modo autonomo</b></li> <li>o Acquisizione di strumenti conoscitivi di base per l'aggiornamento continuo delle conoscenze</li> </ul>
--	--

	<p>o Lo studente imparerà a consultare materiale bibliografico, banche dati e letteratura scientifica, al fine di continuare i suoi studi nel campo della fisica sperimentale, teorica delle particelle e di qualsiasi altra disciplina con un approccio aperto e interdisciplinare.</p>
<p><b>Contenuti di insegnamento (Programma)</b></p>	<p><b>Introduzione:</b> La struttura del Modello Standard, Unità naturali, Simmetrie e leggi di conservazione, Cinematica relativistica, Proprietà delle particelle, Decadimenti, Sezioni d'urto, Scattering e Risonanze.</p> <p><b>Fisica dei collisionatori:</b> Acceleratori, Interazioni tra la radiazione e la materia, rivelazione di particelle e grandi rivelatori nei moderni collisori.</p> <p><b>Equazioni d'onda relativistiche:</b> L'equazione di Klein-Gordon; spin ed elicità; l'equazione di Dirac e gli spinori di Dirac. Antimateria, interazione attraverso lo scambio di particelle, particelle virtuali, diagrammi di Feynman.</p> <p><b>QED:</b> invarianza di gauge; scattering e+e- e annichilazione in QED; scattering elettrone-protone; processo Drell-Yan; test sperimentali; "running" di alfa; Scattering Rutherford e Mott; Scattering elastico da protone di dimensioni finite; il ruolo di spin ed elicità in QED.</p> <p><b>Modello a quark:</b> deep inelastic scattering e funzioni di struttura; Bjorken scaling e la relazione Callan-Gross; il fattore di forma del protone; modello a Quark-Partoni; collisionatore e+p HERA e collisionatore pp LHC; Simmetria, isospin, mesoni e barioni;</p> <p><b>QCD:</b> dalla QED alla QCD; Colore e gluoni; il potenziale a lungo raggio, confinamento, running dell'accoppiamento e libertà asintotica; produzione di adroni; produzione di jet; evidenza sperimentale della QCD, simmetria SU (3).</p> <p><b>Interazioni deboli:</b> teoria V-A e violazione della parità, evidenza sperimentale di V-A, interazione di corrente carica; connessione con la teoria di Fermi; interazione debole leptonica e deep inelastic scattering dei neutrini: decadimento del muone e universalità dei leptoni, elicità dei neutrini, scattering di fasci di neutrini, (anti)neutrino-(anti)quark scattering, funzioni di struttura; esperimento CDHS; interazione di corrente debole neutra.</p> <p><b>Fisica dei neutrini:</b> esperimenti di neutrini: long baseline, neutrini solari, esperimenti ai reattori, neutrini atmosferici.</p> <p><b>Interazione debole dei quark:</b> meccanismo GIM e matrice CKM; il sistema dei kaoni neutri e autostati di CP; oscillazioni di stranezza; violazione CP e il teorema CPT. violazione CP diretta e indiretta; mesoni neutri B, violazione CP nel settore B.</p> <p><b>Unificazione elettrodebole:</b> Interazioni deboli; isospin debole e correnti deboli neutre; i bosoni W e Z e teoria elettrodebole unificata; il meccanismo di Higgs, rottura spontanea della simmetria, generazione delle masse di bosoni vettoriali; Test della teoria elettrodebole ai collider e+e-.</p> <p><b>Ricerca del bosone di Higgs al Tevatron e LHC:</b> accoppiamenti di Higgs e modalità di decadimento, sezioni d'urto di produzione, analisi dei dati per le ricerche di Higgs, ultimi risultati.</p> <p><b>Oltre il Modello Standard:</b> Problemi con il Modello Standard e possibili soluzioni; il problema della naturalezza e del fine tuning; Supersimmetria e dimensioni extra; firme sperimentali di particelle supersimmetriche, l'asimmetria dei barioni nell'universo e la materia oscura; esperimenti futuri, il Large Hadron Collider, i futuri collisori di leptoni e adroni.</p>

<b>Testi di riferimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• F. Halzen, A.D. Martin, Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics (John Wiley &amp; Sons Particle Physics, Martin B R and Shaw G (2nd edn Wiley 1997).</li> <li>• Introduction to High Energy Physics, Perkins D H (4th edn CUP 2000).</li> <li>• Introduction to Elementary Particles, Griffiths D (Harper &amp; Row 1987)</li> <li>• Cahn &amp; Goldhaber, The experimental foundations of particle physics, ed. Cambridge University press</li> </ul>
<b>Note ai testi di riferimento</b>	Dispense del professore e altro materiale su internet
<b>Materiali didattici</b>	

<b>Valutazione</b>	
Modalità di verifica dell'apprendimento	L'esame orale consisterà in un colloquio tipicamente intorno ad argomenti trattati durante il corso e in una domanda su aspetti applicati degli argomenti trattati nel corso.
Criteria di valutazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Conoscenza e capacità di comprensione</b> Alla fine del corso lo studente dovrà avere: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conoscenza di base degli aspetti teorici e la comprensione degli aspetti sperimentali del Modello Standard.</li> <li>• Comprensione degli aspetti fenomenologici della fisica delle particelle elementari e capacità di contestualizzare la fenomenologia dei processi elementari all'interno del modello teorico.</li> <li>• Conoscenza delle osservabili sperimentali per le misure di fisica e comprensione dei metodi sperimentali per implementare le misure.</li> <li>• Comprensione dei limiti e delle questioni aperte nella descrizione attuale delle interazioni fondamentali.</li> </ul> </li> <li>• <b>Conoscenza e capacità di comprensione applicate</b> Lo studente dovrà dimostrare la capacità di applicare le conoscenze acquisite per risolvere problemi tipici in fisica delle particelle, come la produzione e il decadimento di particelle elementari utilizzando la cinematica relativistica, calcoli di sezioni d'urto, descrizione dei processi attraverso i diagrammi di Feynman. Dovrà essere in grado di applicare le regole di composizione dei momenti angolari e dell'isospin in Meccanica Quantistica e le proprietà della fenomenologia discussa durante il corso. Lo studente dovrà conoscere le teorie alla base dei moderni esperimenti e dovrà avere appreso gli strumenti per applicare queste teorie per calcolare le osservabili misurate sperimentalmente. Lo studente dovrà avere acquisito le competenze per svolgere autonomamente il lavoro di ricerca in fisica delle particelle. Lo studente dovrà avere la conoscenza e la comprensione dei metodi e delle tecniche sperimentali per fare ricerca di alto livello in qualunque campo, anche in un contesto internazionale.</li> <li>• <b>Autonomia di giudizio</b> Lo studente dovrà avere acquisito la capacità di identificare i problemi facendo osservazioni qualitative e quantitative e analizzandole criticamente. Dovrà essere in grado di identificare misure rilevanti per verificare proprietà e modelli. Dovrà dimostrare di saper effettuare ricerche scientifiche in qualsiasi campo e di trarre conclusioni in modo indipendente attraverso l'analisi e l'interpretazione dei dati sperimentali.</li> <li>• <b>Abilità comunicative</b> Lo studente deve esprimersi utilizzando la lingua inglese in modo chiaro e la terminologia scientifica appropriata, comunemente usata nella fisica delle alte energie e delle particelle elementari. Lo studente dovrà saper lavorare in gruppo per sviluppare strategie comuni per la risoluzione dei problemi, confrontandosi con i colleghi e con l'insegnante.</li> </ul>

	<p>Dovrà essere in grado di analizzare pubblicamente un esperimento, valutarne le tecniche sperimentali e i risultati e dedurre possibili sviluppi futuri, sostenendo una discussione scientifica utilizzando gli argomenti appresi durante il corso.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Capacità di apprendere</b> Lo studente dovrà avere acquisito la capacità di consultare efficacemente il materiale bibliografico, le banche dati e il materiale su internet. Lo studente dovrà essere in grado di studiare autonomamente, selezionando correttamente le fonti, i testi e la letteratura scientifica e le risorse web, con un approccio aperto e interdisciplinare. Al fine di ampliare le conoscenze dovrà essere in grado di selezionare argomenti interessanti, di affrontare e risolvere nuovi problemi, e di acquisire nuovi strumenti.</li> </ul>
<p>Criteria di misurazione dell'apprendimento e di attribuzione del voto finale</p>	<p>Esame orale composto da domande generali su aspetti applicati degli argomenti trattati nel corso. Saranno valutati i seguenti aspetti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Acquisizione delle conoscenze e comprensione dei concetti. Il punteggio massimo può essere raggiunto se si dimostra una conoscenza molto ampia, completa e approfondita dei contenuti.</li> <li>● Capacità di mettere in relazione i concetti e le loro implicazioni e capacità di applicare i contenuti. Il punteggio massimo può essere raggiunto se si dimostra un'eccellente capacità di analisi, di sintesi e di collegamenti interdisciplinari.</li> <li>● Uso di un linguaggio e di una terminologia appropriati</li> <li>● Capacità espositiva e padronanza dell'esposizione.</li> </ul>
<p>Altro</p>	