



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

## COURSE SYLLABUS

### Theory and Phenomenology of Fundamental Interactions

2324-1-F1701Q128

---

#### Obiettivi

- Studio degli aspetti teorici alla base del Modello Standard (nei suoi settori elettrodebole e forte).
- Apprendimento di tecniche di calcolo per sezioni d'urto e larghezze di decadimento.
- Approfondimento della fenomenologia delle interazioni fondamentali.

#### Contenuti sintetici

Introduzione al Modello Standard delle interazioni elettrodeboli e forti: il modello  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ . La rottura della simmetria elettrodebole, il bosone di Higgs e la fenomenologia delle interazioni forti ed elettrodeboli

#### Programma esteso

##### Richiami vari:

- rappresentazioni del gruppo di Lorentz (in particolare spinori e loro proprietà di trasformazione)
- Teorie di gauge abeliane.
- Teorie di gauge non abeliane
- cinematica e spazio delle fasi (in 4 e in  $d$  dimensioni)
- regole di calcolo per sezioni d'urto e larghezze di decadimento
- teorema ottico

##### Costruzione della Lagrangiana del Modello Standard:

- Algebra di  $SU(N)$ . Considerazioni su  $SU(2)$  e  $SU(3)$ .

- Il settore elettrodebole del Modello Standard
  - Evidenze sperimentali
  - Rottura spontanea della simmetria, potenziale di Higgs, masse dei bosoni vettori W e Z
  - Potenziale di Yukawa e masse dei quark e dei leptoni carichi; matrice di Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM), violazione di CP, unitary triangle
  - vertici del settore elettrodebole
  - commenti vari (Landau-Yang theorem, propagatore di un bosone vettore massivo e Breit-Wigner distribution,...)
- Il settore forte (cromodinamica quantistica - QCD)
  - Evidenze sperimentali (modello a quark, naive parton model, necessita' del colore: R-ratio, Delta++,...)
  - Lagrangiana e vertici del settore forte
  - algebra di colore
  - somma sulle polarizzazioni (qqbar->gamma gamma vs qqbar -> gluon gluon), scelta del gauge
  - commenti vari (confinamento,...)

### **Calcolo di sezioni d'urto e larghezze di decadimento:**

- larghezza di decadimento dei bosoni Z, W, H
- $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$ : forward-backward asymmetry
- vincoli di unitarieta': esempi di violazione dell'unitarieta' in teoria di Fermi e nello scattering di bosoni vettori longitudinali
- dal LEP alla fenomenologia del bosone di Higgs a LHC

### **Richiami di rinormalizzazione:**

- La rinormalizzazione dell'accoppiamento elettromagnetico e forte
- La scala di rinormalizzazione e la  $\beta$ -function in QED e QCD
- La liberta' asintotica in QCD
- Le equazioni del gruppo di rinormalizzazione (+)

### **Annichilazione elettrone-positrone in adroni al Next-to-Leading Order (NLO):**

- Analisi preliminare delle possibili divergenze
- Calcolo dei contributi Born, reali e virtuali in regolarizzazione dimensionale (+)
- Spazio delle fasi
- Sezione d'urto totale e cancellazione delle divergenze (teorema KLN)

### **Singularità soffici e collineari di stato finale:**

- Approssimazione iconale e fattorizzazione soffice
- Fattorizzazione collineare di stato finale (FSR)
- Jet di Serman-Weinberg come esempio di quantita' infrared-safe
- Proprieta' delle quantita' infrared-safe, cenni alle variabili di forma (shape variables)

### **Adroni in stato iniziale:**

- Deep-Inelastic Scattering (DIS) e funzioni di struttura, Bjorken scaling e "naive" parton model
- Teorema di fattorizzazione e funzioni di distribuzione partoniche (PDF)
- Singularità soffici e collineari di stato iniziale (ISR)
- Altarelli-Parisi splitting functions
- "Improved" parton model, scala di fattorizzazione
- Le equazioni di evoluzione di Dokshitzer-Gribov-Lipatov-Altarelli-Parisi (DGLAP): interpretazione e conseguenze fenomenologiche

(+) = in funzione del tempo a disposizione e dell'interesse degli studenti, alcuni di questi argomenti potrebbero essere saltati o discussi solo parzialmente.

In funzione degli interessi degli studenti, alcuni argomenti supplementari, da non portare all'esame, possono essere discussi. Esempi tipici:

- Masse dei neutrini, matrice di Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata (PMNS), fermioni di Dirac e di Majorana
- Cinematica e fenomenologia ai collisori adronici
- Aspetti di Fisica oltre il Modello Standard (BSM)

## Prerequisiti

Conoscenze base della teoria quantistica dei campi.

Familiarità con le manipolazioni necessarie per il calcolo di ampiezze e sezioni d'urto per semplici processi in QED (matrici di Dirac, somma su polarizzazioni e tracce,...).

## Modalità didattica

Lezioni frontali.

## Materiale didattico

Note e lezioni varie possono essere trovate a: <https://virgilio.mib.infn.it/~re>

### EW part: main references:

- C. Becchi and G. Ridolfi: *An Introduction to Relativistic Processes and the Standard Model of Electroweak Interactions*
- lezioni e review varie (disponibili su elearning e/o sulla pagina del docente)

### QCD part: main references:

- lezioni di P. Nason, M. Mangano e altri (disponibili su elearning e/o sulla pagina del docente)
- note di alcune parti del corso prese in anni passati (disponibili su elearning e/o sulla pagina del docente)

### Very useful textbooks:

- Peskin, Schroeder: *An Introduction To Quantum Field Theory*
- Schwartz: *Quantum Field Theory and the Standard Model*
- Ellis, Stirling, Webber: *QCD and collider Physics*
- Cheng, Li: *Gauge theory of elementary particle physics*
- Dissertori, Knowles, Schmelling: *Quantum Chromodynamics. High Energy Experiments and Theory*

### Other references:

- T. Muta: *Foundations of Quantum Chromodynamics*

- R. D. Field: *Applications of Perturbative QCD*

Temi d'esame degli anni passati sono disponibili alla pagina web: <https://virgilio.mib.infn.it/~re>

## **Periodo di erogazione dell'insegnamento**

Secondo semestre.

## **Modalità di verifica del profitto e valutazione**

L'esame consiste in una prova scritta e una prova orale. Di norma la prova orale segue di qualche giorno la prova scritta.

- Prova scritta: risoluzione di problemi inerenti agli argomenti del corso, simili a quelli dati negli anni scorsi e di complessità simile ai casi discussi durante il corso. In pratica, si richiede
  - familiarità nel calcolo di una sezione d'urto (o larghezza) in tutti gli step (passare dalle regole di Feynman al calcolo dell'ampiezza quadra, calcolare lo spazio delle fasi, esprimere la cinematica usando invarianti relativistici)
  - capacità di commentare i risultati ottenuti.
- Prova orale: colloquio sugli argomenti svolti a lezione (e breve discussione dello scritto dove necessario)

Nel corso dell'anno sono previsti almeno cinque appelli d'esame, tipicamente nei seguenti periodi: gennaio, febbraio, giugno, luglio, settembre.

## **Orario di ricevimento**

Previo appuntamento via email col docente.

## **Sustainable Development Goals**

ISTRUZIONE DI QUALITÀ

---