



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

## REGISTRO DELLE ATTIVITA' DIDATTICHE

### Dati Anagrafici

STEFANO FORTE

**Data di Nascita:** 21/06/1961 - **Codice Fiscale:** FRTSFN61H21F205Q

**Ruolo:** I FASCIA

FIS/02

DIPARTIMENTO DI FISICA

### Dati dell'insegnamento

**Anno Accademico:** 2019/2020 - **Stato del registro:** CHIUSO

**Data di chiusura:** 12/12/2019

**Corso di Studio:** FISICA (Classe LM-17)

**Insegnamento:** Fisica Teorica 2

**Forme Didattiche e Ore assegnate:**

Lezioni (42.0 ore)

### Riepilogo attività

Forma didattica	Ore registrate
Lezioni	42.0

## Dettaglio attività

Data	Ora Inizio	Ore	Aula	Sede	Forma didattica	Argomento
02/10/2019	08:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Introduzione e contenuti del corso: la teorica quantistica dei campi come teoria di interazione fondamentale. Il ruolo delle simmetrie. Analiticità ed unitarietà: poli e tagli. La formula di riduzione e i poli in un'ampiezza. Derivazione alternativa della formula di riduzione e suo significato.
03/10/2019	10:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Validità della formula di riduzione per campi interpolanti generici. Poli nelle ampiezze one-particle reducible. Tagli: il teorema ottico. Derivazione formale. Il teorema ottico per l'ampiezza. Interpretazione fisica attraverso il calcolo della sezione d'urto totale "cucendo" i propagatori. Esempio esplicito: il teorema ottico per l'ampiezza $2 \rightarrow 2$ in teoria $\phi^4$ al più basso ordine in teoria delle perturbazioni. Tagli e soglie fisiche.
09/10/2019	08:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Riassunto dell'argomento per il teorema ottico nel caso dell'ampiezza $2 \rightarrow 2$ in $\phi^4$ al primo ordine perturbativo. Stati finali con $n$ particelle. Regole di Cutkosky. La funzione di Green a due punti ed il propagatore. Ampiezza one-particle reducible: calcolo del propagatore completo come serie geometrica. Parte reale e parte immaginaria dell'ampiezza OPI. Parte reale e massa fisica. Parte immaginaria come larghezza di decadimento. Cenno sulla rinormalizzazione della funzione d'onda. Formula di Breit e Wigner: caso nonrelativistico e casi relativistico. La funzione a due punti OPI come ampiezza $1 \rightarrow 1$ . Teorema ottico e calcolo della larghezza di decadimento: analogo del fattore di flusso. Simmetrie realizzate alla Wigner Weyl. Correnti conservate ed operatori associati. Algebra delle correnti. Commutatori a tempi uguali fra cariche e fra cariche e campi.
10/10/2019	10:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Leggi di conservazione e conservazione operatoriale della corrente. L'identità di Ward in teoria dei campi. Derivazione esplicita dell'identità di Ward per una corrente ed un campo. Derivazione dell'identità di Ward generale con il formalismo funzionale: trasformazioni locali. Esempi espliciti: l'identità di Ward per il vertice ed il propagatore in elettrodinamica scalare ed in QED.
16/10/2019	08:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	La rottura spontanea di simmetria: esempi classici. Dimostrazione del teorema di Goldstone nel caso classico. Generatori rotti e non rotti. Il modello sigma lineare. Simmetrie della teoria: legge di trasformazione dei campi fermionici e dei campi scalari. Correnti di Noether, Rottura spontanea della simmetria chirale. I pioni come bosoni di Goldstone. Generazione della massa del nucleone. Perché i campi di Goldstone sono scalari.
17/10/2019	10:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Identità di Ward per la funzione a due punti fra la corrente conservata e l'operatore non-invariante: polo nell'origine. Conteggio dei bosoni di Goldstone: interpretazione in termini della formula di riduzione. L'operatore non-invariante come campo interpolante. Esempio esplicito: il modello sigma. Corrente assiale e "costante di decadimento" $f_\pi$ . Soft pion theorems: la relazione di Goldberger-Treiman. Decomposizione generale dell'elemento di matrice della corrente. Verifica esplicita nel modello sigma. Il formalismo dell'azione efficace. Funzione di partizione e funzionale generatore. Valor medio del campo in presenza di sorgenti: il "campo classico". L'azione efficace come trasformata di Legendre. Stazionarietà dell'azione efficace e valor medio fisico del campo. L'azione efficace e la densità di energia nel vuoto. Invarianza per traslazioni: azione efficace e potenziale efficace.
23/10/2019	08:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Path integral, funzionale generatore e azione efficace: significato in termini di diagrammi di Feynman. Funzionale generatore e diagrammi di Feynman connessi. Azione efficace e diagrammi di Feynman one-particle irreducible. Sviluppo in loop del path integral ed approssimazione semiclassica. Calcolo dell'azione efficace ad un loop. Azione efficace e rinormalizzabilità.
24/10/2019	10:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	La funzione a due punti nel formalismo dell'azione efficace. Autovalori dell'inverso del propagatore e spettro di massa. Caso di simmetrie spontaneamente rotte: autovalori della matrice hessiana dell'azione efficace. Campi costanti e autovalori a massa nulla. Confronto fra la dimostrazione del teorema di Goldstone con l'azione efficace e con le identità di Ward. Le teorie di gauge: simmetria e invarianza. Interpretazione geometrica e interpretazione grupale per l'invarianza di gauge. Costruzione geometrica delle teorie di gauge abeliane. Trasporto parallelo, derivata covariante e connessione. Cenno sulle teorie di gauge sugli spazi di fibra. Azione per il campo di gauge (ossia la connessione): commutatore di derivate covarianti e curvatura. Invarianza di gauge nel caso nonabeliano.

30/10/2019	08:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Costruzione della derivata covariante, della connessione e della curvatura nel caso nonabeliano. Derivata covariante di quantita' che si trasformano in rappresentazione aggiunta. Lagrangiana invariante nel caso nonabeliano. Equazioni classiche del moto. Identita' di Bianchi. Cenno sugli istantoni come soluzioni classiche. Correnti di Noether associate all'invarianza di gauge e nullita' delle cariche associate.
31/10/2019	10:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Quantizzazione di sistemi vincolati. Esempio in 0+1 dimensioni: il problema dei due corpi con potenziali centrali. Stati fisici vincolati: il vincolo come restrizione sullo spazio di Hilbert. Formulazione funzionale. Delta funzionale. Delta funzionale di un funzionale e jacobiano della trasformazione. Forma generale della restrizione dello spazio di Hilbert attraverso una funzione di "gauge fixing". Il vincolo come equazione del moto: campo moltiplicatore di Lagrange. La formula di Faddeev-Popov in meccanica quantistica. Quantizzazione canonica dell'elettrodinamica: caso classico. Equazioni del moto in gauge di Weyl. Quantizzazione canonica. Il generatore delle trasformazioni di gauge: suo commutatore con i campi.
06/11/2019	08:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Condizione di invarianza del funzionale di stato sotto trasformazioni di gauge: caso nonabeliano e caso abeliano. Soluzione del vincolo nel caso abeliano: proiettore trasverso e decomposizione del campo in componente longitudinale e componente trasversa. Equazione di Schrodinger funzionale per la componente trasversa. Soluzione in presenza di cariche: prefattore di onda piana ed energia coulombiana. Formula di Faddeev per le teorie di gauge: caso generale e caso abeliano. Scelte di gauge comuni (Weyl, Lorentz, gauge lineari). Riscrittura della formula di Faddeev in termini di un parametro di gauge $\xi$ . Limite $\xi \rightarrow 0$ . Interpretazione fisica della formula di Faddeev: non-invertibilita' dell'operatore cinetico.
07/11/2019	10:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Derivazione veloce della formula di Faddeev e sua interpretazione fisica: integrazione sul gruppo di gauge. Caso abeliano: le regole di Feynman in gauge di Lorentz ed in gauge lineari. Calcolo del determinante e sua indipendenza dal campo. Inversione dell'operatore cinetico. Gauge di Feynman e di Landau. Limite $\xi \rightarrow 0$ e disaccoppiamento dei gradi di liberta' non fissici. Indipendenza da $\xi$ ed identita' di Ward. Somme sulle polarizzazioni degli stati fisici. Caso non-abeliano: calcolo del determinante. Campi di ghost e regole di Feynman. Cenno sull'invarianza di gauge delle ampiezze nel caso nonabeliano. Introduzione al meccanismo di Higgs.
13/11/2019	08:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Il modello di Higgs abeliano. Rottura spontanea di simmetria. Settore scalare: campi shiftati e bosone di Goldstone. Settore di gauge: nuove interazioni e massa per il campo di gauge a livello classico. Il propagatore del campo di gauge e la self-energia del fotone. Vincolo imposto dall'identita' di Ward sulla forma della self-energia. Condizione sulla self-energia scalare perche' il campo di gauge acquisti massa. Regole di Feynman per il campo di gauge dopo la rottura spontanea di simmetria. Calcolo della self-energia scalare e contributo del bosone di Goldstone. Il bosone di Goldstone come polarizzazione longitudinale: gauge unitaria. Argomento generale basato sulle identita' di Ward sulla struttura dell'interazione campo di gauge corrente e sul contributo dei bosoni di Goldstone alla self-energia del campo di gauge in caso di simmetrie rotte spontaneamente. Teorema di equivalenza.
14/11/2019	10:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	La rinormalizzazione dell'elettrodinamica. Lagrangiana rinormalizzata: relazioni fra campi e cariche rinormalizzati e bare. Controtermini. Condizioni di rinormalizzazione: condizione sul propagatore del fotone, sul propagatore del fermione e sul vertice. Relazione fra la rinormalizzazione del vertice e quella del campo fermionico. Universalita' della carica elettrica. Calcolo della self-energia del fotone. Regolarizzazione dimensionale. Denominatori e parametri di Feynman. Tracce di matrici gamma in d dimensioni.
20/11/2019	08:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Calcolo del numeratore della self-energia. Rotazione di Wick. Integrali d-dimensionali. Espressione finale per la self-energia: cancellazione delle divergenze quadratiche e della dipendenza dalla massa, struttura fissata dall'identita' di Ward. Self-energia scalare in d-dimensioni. Condizione di rinormalizzazione: differenza fra sottrazione fisica e sottrazione minimale. Determinazione del controtermine e della self-energia rinormalizzata. Rinormalizzazione della carica. Cenno sulla relazione di unitarieta' fra la self-energia e la sezione d'urto di produzione di una coppia $e^+e^-$ in QED.

27/11/2019	08:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	L'invarianza di scala. Trasformazioni di scala delle coordinate canoniche e dei campi. Corrente di Noether associata all'invarianza di scala: traccia del tensore energia-impulso. Termini di massa e rottura dell'invarianza di scala a bassa energia. Teorie rinormalizzabili come teorie invarianti di scala. Identita' di Ward associate all'invarianza di scala. Spazio delle posizioni e spazio degli impulsi. Identita' di Ward ed analisi dimensionale. Fallimento dell'invarianza di scala in una teoria quantizzata: dipendenza dalla scala degli accoppiamenti e dei campi in conseguenza della rinormalizzazione. Caso di osservabili fisiche. Equazione per l'invarianza di scala ingenua (errata) ed equazione del gruppo di rinormalizzazione (corretta) per osservabili fisiche. Soluzione dell'equazione del gruppo di rinormalizzazione. Funzione beta e sue proprieta'. Costante di accoppiamento "running".
28/11/2019	10:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Soluzione dell'equazione del gruppo di rinormalizzazione per osservabili fisiche. Sviluppo perturbativo in termini della costante di accoppiamento running. Caoclo della funzione beta per la teoria $\phi^4$ : regolarizzazione con cutoff+schema fisico, regolarizzazione dimensionale e schema MSbar. Finitezza ed indipendenza dalla scelta di schema di rinormalizzazione del coefficiente $\beta_0$ . Calcolo della funzione beta per la QED. Soluzione e forma esplicita della costante di accoppiamento running per funzioni beta quadratiche. Confronto fra l'espressione della sezione d'urto elastico $\phi\text{-}\phi$ in teoria $\phi^4$ calcolata a NLO o espressa in termini di costante di accoppiamento running. Sviluppo leading (next-to leading, next-to-next-to leading) log e confronto con lo sviluppo "ad ordine fisso". Costante di accoppiamento crescente e polo di Landau in QED. Liberta' asintotica.
04/12/2019	08:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Uso della costante di accoppiamento running: sezioni d'urto totali, differenziali, e multiscala. Sviluppo perturbativo renormalization-group improved: contributi al di la' del leading log. Funzione beta per teorie di gauge. Screening e antiscreening: interpretazione fisica dei diversi andamenti della costante di accoppiamento. Punti fissi UV e IR stabili. Polo di Landau e "trivialita'> Decoupling. Liberta' asintotica e "trasmutazione dimensionale". Equazione del gruppo di rinormalizzazione per funzioni di green. Dimensione anomala e sue proprieta'. Equazione di Callan-Symanzik.
05/12/2019	10:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Significato della dimensione anomala: leggi di scala canoniche e modificate. Dimensione anomala nel caso di teorie con funzione beta nulla. Forma generale dell'equazione di Callan-Symanzik. Soluzione dell'equazione di Callan-Symanzik: costante d'accoppiamento running come variabile di scala. Verifica esplicita del fatto che la soluzione soddisfa l'equazione. Forma esplicita della soluzione al piu' basso ordine perturbativo per teorie di gauge (o teorie con funzione beta quadratica). La soluzione come soluzione leading-log. Dimensione anomala di operatori conservati.
11/12/2019	08:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Lo sviluppo di Wilson. Dimostrazione con tecniche funzionali. Scaling dei coefficienti di Wilson. Equazioni del gruppo di rinormalizzazione per i coefficienti di Wilson e loro soluzione. Operatori dipendenti dalla scala e loro elementi di matrice. Esempio di applicazione: la sezione d'urto $e^+e^-$ in adroni.
12/12/2019	10:30	2.0	E	Dipartimento di Fisica	Lezioni	L'anomalia chirale. Il decadimento del pione in due fotoni. Il calcolo nel modello sigma: integrali linearmente divergenti e violazione dell'identita' di Ward per la funzione a tre punti AVV. Nonconservazione della corrente assiale: metodo del point-splitting di Adler e metodo funzionale alla Fujikawa. Anomalie nel caso generale non-abeliano. Cancellazione delle anomalie: condizioni di 't Hooft. Ruolo della cancellazione delle anomalie nella costruzione di teorie di interazione fondamentale. Il problema U(1): la simmetria chirale in una teoria di gauge non-abeliana. Carica chirale e carica anomala. Il termine di Chern-Simons. Numero di avvolgimento e trasformazioni di gauge topologicamente non banali. Istantoni e soluzioni semiclassiche. Algebra delle cariche: trasformazioni di gauge, carica chirale, hamiltoniana. I vuoti theta. Non-invarianza chirale del vuoto theta e soluzione del problema U(1). Regola di super-selezione: i vuoti theta come teorie distinte. Violazione di CP forte. Cenno sul meccanismo di peccei-Quinn e sull'assione.