



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

SCIENZE E TECNOLOGIE

Docente	Creazione	Stato	Chiusura
STEFANO FORTE		Da approvare	15/01/2016
Data di nascita	Codice fiscale		
21/06/1961	FRTSFN61H21F205Q		
Dipartimento di afferenza	Settore	Carriera	A.A.
DIPARTIMENTO DI FISICA	FIS/02-Fisica teorica, modelli e metodi matematici	PROFESSORE UNIVERSITARIO DI RUOLO I FASCIA	2015/16
Corso di Studio	Strutt.Responsabile	Insegnamento	Modulo
FISICA (Classe LM-17) (F95)	FISICA (Classe LM-17) (F95)	Fisica Teorica 2 (F95-60)	()

Forme didattiche previste dal Piano Didattico

- Lezioni(48 ore)

Note

Nessuna

Riepilogo Attività

Forma didattica	Stato	Numero	Ore
Lezioni	Da approvare	24	48

Dettaglio attività

Stato	Data	Ora inizio	Ore	Aula	Sede	Forma didattica	Argomento/Note
Da approvare	MER 30/09/2015	10:30	2	G	dipartimento di fisica	Lezioni	Introduzione e contenuti del corso. Il ruolo delle simmetrie in teoria quantistica dei campi. Cenni storici sullo sviluppo della teoria dei campi nel novecent: teorie di gauge, metodi per lo studio delle simmetrie quantistiche, rottura spontanea di simmetria, rottura quantistica di simmetria.
Da approvare	MER 07/10/2015	10:30	2	G	dipartimento di fisica	Lezioni	Proprieta' analitiche delle ampiezze. Poli e particelle esterne on-shell. Il teorema ottico: argomento formale. Relazione tra ampiezza in avanti e sezione d'urto totale. Interpretazione diagrammatica. Parte immaginaria e tagli dovuti a stati intermedi on-shell. Applicazione del teorema ottico al calcolo dell'ampiezza di scattering 2->2 nella teoria ϕ^4 ad un loop. Presenza di una parte immaginaria nell'ampiezza in canale s a un loop. Calcolo esplicito del contributo alla parte immaginaria.
Da approvare	VEN 09/10/2015	10:30	2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Confronto tra discontinuita' dell'ampiezza in avanti e sezione d'urto totale. Generalizzazione ad ampiezze two-particle reducible qualunque. Regole di Cutkosky. Applicazione del teorema ottico all'ampiezza 1->1. Contributi one-particle reducible ed irreducibile: propagatore generalizzato e funzione $M(p^2)$. Formula di riduzione e teorema ottico per la $M(p^2)$: parte immaginaria della massa come ampiezza di decadimento. Formula di Breit e Wigner: generalizzazione covariante e suo limite nonrelativistico. Interpretazione fisica della correzione alla massa: parte reale e massa rinormalizzata, parte immaginaria e larghezza di decadimento. Approssimazione di 'larghezza stretta'. Espressione esplicita per il tasso di decadimento, confronto con l'espressione per la sezione d'urto.
Da approvare	VEN 16/10/2015	10:30	2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Le correnti di Noether in teoria quantistica dei campi: algebra delle correnti. Commutatori tra cariche conservate e algebra del gruppo. Commutatori tra cariche e campi: le cariche come generatori delle trasformazioni quantistiche. Identita' di Ward per la funzione a due punti campo-corrente. Identita' di Ward generali: derivazione funzionale. Path integrale e trasformazioni dipendenti dalla posizione.
Da approvare	MER 21/10/2015	10:30	2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Derivazione dell'identita' di Ward generale usando il metodo del path integral. Derivata funzionale e derivata della delta. Esempi espliciti: campo scalare carico. Identita' di ward per il vertice. Espressione nello spazio degli impulsi: relazione tra vertice e propagatori. Verifica al primo ordine. Campo di Dirac: di nuovo la relazione tra vertice e propagatore, e verifica al primo ordine. Identita' di Ward in elettrodinamica e relazione tra costanti di rinormalizzazione.
Da approvare	VEN 23/10/2015	10:30	2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	La rottura spontanea di simmetria: significato ed esempi. Meccanica classica, meccanica quantistica, e teoria quantistica dei campi: analogie e differenze. Il teorema di Goldstone: dimostrazione in teoria classica dei campi. Esempio: il modello sigma (linear). Simmetria $SU(2) \times SU(2)$ left e right, oppure vettoriale ed assiale. Trasformazione dei campi fermionici e

dei campi scalari. Scelta del valor medio nel vuoto e rottura della simmetria. Riscrittura della lagrangiana in termini di campi traslati. Simmetria restante e verifica esplicita del teorema di Goldstone. Masse dei fermioni e nuove interazioni permesse ed indotte dalla rottura della simmetria.

Da approvare	MER 28/10/2015 10:30 2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	La rottura spontanea di simmetria in teoria quantistica dei campi. Operatori non invariati con valor medio nel vuoto (VEV) diverso da zero. Identita' di Ward per la funzione a due punti con l'operatore non-invariante e l'operatore corrente generatore della trasformazione di simmetria. Digressione sulla formula di riduzione: formula di riduzione con campi interpolanti generici. Dimostrazione del teorema di Goldstone in QFT: 'saturazione' dell'identita' di Ward con uno stato intermedio a massa nulla, e relativo polo nel propagatore. Esempio: il modello sigma lineare. Costruzione della corrente assiale. Commutatore della corrente con l'operatore di campo. Stato intermedio di pioni. I "soft pion theorems": relazione di Goldberger-Treiman. Elemento di matrice della corrente assiale tra stati di nucleone. Derivata della corrente, sua conservazione, relazione tra fattore di forma assiale e pseudoscalare.
Da approvare	VEN 30/10/2015 10:30 2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Forma finale della relazione di Goldberger Treiman: identificazione dei parametri nel modello sigma lineare. Funzionale generatore e valor medio del campo nel vuoto. Trasformata di Legendre: il funzionale di Jona-Lasinio ed il potenziale efficace. Interpretazione fisica. Funzionale generatore delle funzioni di Green connesse. Calcolo della derivata funzionale del funzionale di Jona-Lasinio.
Da approvare	MER 04/11/2015 10:30 2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Il funzionale di Jona-Lasinio come generatore delle funzioni di Green one-particle irreducibile. Sviluppo in loop dei funzionali W e Gamma: lo sviluppo in loop come sviluppo in serie di \hbar . Determinazione dell'azione efficace ad un loop. Rottura spontanea di simmetria e rinormalizzabilita'. Invarianza di gauge: perche' non e' una simmetria. Riassunto dell'invarianza di gauge in QED. Cenno sulla relazione tra le teorie di Yang-Mills e la relativita' generale. Derivata covariante: definizione.
Da approvare	VEN 06/11/2015 10:30 2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Calcolo della derivata covariante e definizione della connessione (potenziale, o campo di gauge). Legge di trasformazione del potenziale. Termine cinetico per i potenziali di gauge: tensore intensita' di campo come curvatura (commutatore di due derivate covarianti). Generalizzazione al caso nonabeliano: potenziale e sua legge di trasformazione nel caso nonabeliano. Trasformazione finita, trasformazione infinitesima, trasformazione in componenti. Tensore intensita' di campo come commutatore di derivate covarianti: espressione esplicita in componenti e legge di trasformazione. Derivata covariante di una quantita' che si trasforma nella rappresentazione aggiunta. Equazioni classiche del moto. Identita' di Bianchi. Cenno sugli istantoni.
Da approvare	MER 11/11/2015 10:30 2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Proprieta' della derivata covariante. Cariche di Noether associate all'invarianza di gauge.

		istituto	Quantizzazione di sistemi vincolati: esempio del sistema dei due corpi. Vincoli sugli stati fisici e restrizione dello spazio di Hilbert. Versione hamiltoniana dell'integrale funzionale. IIntegrale funzionale vincolato: la delta di Dirac funzionale. Restrizione sullo spazio di Hilbert: delta funzionale e sua rappresentazione attraverso il determinante di Faddeev. Realizzazione del vincolo sul moto del baricentro attraverso una delta funzionale esplicita. Costruzione della lagrangiana. Interpretazione classica: il vincolo sul moto del baricentro come equazione del moto per un campo di gauge. Interpretazione quantistica: formula di Faddeev per il sistema vincolato.
Da approvare	MER 18/11/2015 10:30 2	auletta dipartimento ex- di fisica istituto	Lezioni Quantizzazione canonica delle teorie di gauge in gauges di Weyl. Coordinate canoniche. Relazioni di commutazione. Lagrangiana, hamiltoniana, ed equazioni operatoriali di Hamilton. Generatore delle trasformazioni di gauge e suo commutatore con i campi. Equazione di Schroedinger funzionale e legge di Gauss nel formalismo alla Schroedinger funzionale. Caso abeliano: risoluzione del vincolo., Proiettore sulle componenti trasverse e decomposizione del campo i componente longitudinale e trasversa. Caso di sorgente nonnulla: onda piana e contributo coulombiano all'energia. Integrale funzionale e delta funzionale sulla coordinata coniugata al vincolo. Rappresentazione di Fadeev e contributo all'azione. Path-integral per l'elettrodinamica: difficolta' nell'inversione del propagatore.
Da approvare	VEN 20/11/2015 10:30 2	auletta dipartimento ex- di fisica istituto	Lezioni Derivazione rapida della formula di Fadeev e sua interpretazione in termini di integrazione sul volume del gruppo di gauge. Gauge di Lorent e gauge lineari in QED. Caocolo del determinante e sua indipendenza dal campo. Calcolo del contributo del vincolo all'azione. Inverutibilita' del propagatore. Gauge di Feynman. Gauge $\xi \rightarrow 0$ (gauge di Landau): inversione del termine cinetico nel sottospazio ortogonale al vincolo. Invarianza di gauge dei propagatori ed identita' di Ward. Caso non-abeliano: espressione per il determinante. Camp di "ghost".
Da approvare	MER 25/11/2015 10:30 2	auletta dipartimento ex- di fisica istituto	Lezioni Regole di Feynman per i ghost. Somme sulle polarizzazioni: caso abeliano e caso nonabeliano. Ruolo delle identita' di Ward. Calcolo di elementi di matrice S: caso abeliano e caso nonabeliano: cenno sulle identita' di Ward nel caso nonabeliano e sul formalismo BRS. Il meccanismo di Higgs. Rottura spontanea di simmetria in presenza di invarianza di gauge. Il modello di Higgs abeliano. Caso classico: rottura della simmetria, bosoni di Goldstone, termine di massa per i campi di gauge. Caso quantistico: struttura del propagatore per il campo di gauge. Self-energia e massa del campo di gauge.
Da approvare	VEN 27/11/2015 10:30 2	auletta dipartimento ex- di fisica istituto	Lezioni Calcolo della self-energia del fotone nel modello di Higgs abeliano: contributo del termine di massa e contributo del bosone di goldstone. Massa del fotone e sua compatibilita' con l'identita' di Ward. Trasformazione di una simmetria globale in simmetria di gauge attraverso l'aggiunta di un termine di accoppiamento minimale. Corrente conservata

come campo interpolante per il bosone di Goldstone, e contributo di quest'ultimo alla funzione a due punti per il campo di gauge. Identita' di Ward per la corrente della simmetria rotta spontaneamente nel caso di invarianza di gauge: il teorema di equivalenza. Interpretazione delle polarizzazioni longitudinali. La rinormalizzazione e l'invarianza per dilatazioni. Rinormalizzazione della QED: campi e costanti bare e rinormalizzate. Costanti di rinormalizzazione.

Da approvare	MER 02/12/2015 10:30 2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Rinormalizzazione della carica e della massa. Lagrangiana rinormalizzata e controtermini. Condizioni di rinormalizzazione. Non-rinormalizzazione della massa del fotone e identita' di Ward. Regole di Feynman per i controtermini. Identita' di Ward, relazione tra Z2 e Z1 e rinormalizzazione della carica: universality della carica elettrica. Calcolo della polarizzazione del vuoto del fotone a un loop. Regolarizzazione dimensionale. Denominatori e parametri di Feynman. Numeratore e calcolo della traccia.
Da approvare	VEN 04/12/2015 10:30 2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Calcolo dell'integrale di loop: rotazione di Wick, riduzione del numeratore ad integrali scalari. Calcolo degli integrali scalari e cancellazione della divergenza quadratica. Calcolo del controtermine. Rinormalizzazione della carica. Self-energia rinormalizzata. Self-energia e teorema ottico: calcolo della parte immaginaria della self-energia. Relazione tra la self-energia e la sezione d'urto $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$
Da approvare	MER 09/12/2015 10:30 2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Sommario della verifica del teorema ottico per la self energia del fotone. Dilatazioni: trasformazione di campi e coordinate, corrente di Noether, invarianza per dilatazioni e traccia del tensore energia-impulso. Identita' di Ward per dilatazioni per teorie rinormalizzabili nel limite di alta energia. Identita' di Ward, analisi dimensionale, e suo fallimento. Dipendenza delle costanti di accoppiamento dalla scala. Equazione del gruppo di rinormalizzazione per osservabili fisiche. Funzione beta.
Da approvare	VEN 11/12/2015 10:30 2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Soluzione dell'equazione del gruppo di rinormalizzazione per osservabili fisiche. Costante d'accoppiamento "running". Calcolo della funzione beta nella teoria ϕ^4 e in QED. Dipendenza dallo schema di rinormalizzazione e di regolarizzazione. Sezione d'urto "renormalization-group improved" e confronto con il risultato esatto a un loop nel caso dello scattering elastico $\phi\phi$ nella teoria ϕ^4 .
Da approvare	MER 16/12/2015 10:30 2	auletta ex-istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Significato della costante di accoppiamento running: renormalization group improvement. Confronto tra lo sviluppo perturbativo ad ordine fisso (LO, NLO, NNLO,...) e lo sviluppo risommato (leading log, Nleading log,...). Utilita' del renormalization group improvement. Diversi andamenti per la costante di accoppiamento. QED e teoria ϕ^4 : costante di accoppiamento che cresce con la scala. Possibili andamenti della costante d'accoppiamento: andamento perturbativo e possibili punti fissi nonperturbativi. Il problema del polo di Landau e il problema della "banalita'" (triviality). Possibile soluzione: il decoupling di campi pesanti. Interpretazione fisica della costante d'accoppiamento che cresce con l'energia: il vuoto come mezzo dielettrico.

Andamento della costante di accoppiamento in teorie di gauge non abeliane: antiscreening e costante di accoppiamento che decresce con l'energia. Possibili punti fissi IR stabili e loro assenza in 4 dimensioni. Libertà asintotica. Scala della teoria e trasmutazione dimensionale. Proprietà di scala delle funzioni di Green.

Da approvare	VEN 18/12/2015 10:30 2	auletta ex- istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Equazione di gruppo di rinormalizzazione per funzioni di Green. Funzioni di Green rinormalizzate e funzione di Green bare. Dimensione anomala: sua finitezza, dipendenza dalla costante d'accoppiamento. L'equazione di Callan-Symanzik. Soluzione dell'equazione: costante d'accoppiamento running. Struttura generale della soluzione e sua forma esplicita per teorie con funzione beta quadratica. Assenza di dimensione anomala per operatori associati ad osservabili.
Da approvare	VEN 08/01/2016 10:30 2	auletta ex- istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Richiamo della soluzione dell'equazione del gruppo di rinormalizzazione per funzioni di Green, e sua interpretazione: limite di costante di accoppiamento fissa (funzione beta nulla). Lo sviluppo di Wilson (Operator-Product Expansion): enunciato e dimostrazione con il metodo dell'integrale funzionale. Equazioni del gruppo di rinormalizzazione per i coefficienti di Wilson. Dominanza degli operatori di dimensione minima (in unità di impulso). Soluzione delle equazioni; ridefinizione degli elementi di matrice alla scala fisica.
Da approvare	MAR 12/01/2016 10:30 2	auletta ex- istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Applicazione dello sviluppo di Wilson alla sezione d'urto totale e^+e^- . Uso del teorema ottico e relazione della sezione d'urto con la self-energia espressa come prodotto di correnti. Sviluppo di Wilson del prodotto di correnti: operatori di dimensione fino a quattro. Operatore identità e suo valore medio nel vuoto. Metodo per il calcolo dei coefficienti di Wilson, e sua utilità quando gli elementi di matrice degli operatori non siano calcolabili. Calcolo del coefficiente di Wilson a partire dalla dimensione anomala, e calcolo di quest'ultima dalla costante di rinormalizzazione Z_3 . L'anomalia chirale: identità di Ward per una corrente assiale e due correnti vettoriali in una teoria con simmetria chirali e fermioni accoppiati ad un campo di gauge. Esempio del modello sigma accoppiato all'elettrodinamica. Diagrammi di Feynman che contribuiscono all'identità di Ward e condizione che devono soddisfare affinché l'identità valga. Contributi di superficie agli integrali, e noninvarianza per traslazioni della variabile di loop.
Da approvare	VEN 15/01/2016 10:30 2	auletta ex- istituto	dipartimento di fisica	Lezioni	Forma esplicita del termine di superficie nel diagramma di Feynman per l'identità di Ward assiale-vettoriale-vettoriale: forma generale per scelte generali dell'impulso di loop. Conservazione della corrente vettoriale e condizione sulla scelta della variabile di loop: non-conservazione della corrente assiale. Regolarizzazioni invarianti di gauge e non conservazione della corrente assiale. Cenni sulla derivazione della corrente assiale con il metodo del point-splitting e con il metodo dell'integrale funzionale. Anomalie non abeliane: correnti assiali e correnti chirali. Cancellazione delle anomalie e condizioni di 't Hooft. L'anomalia come derivata totale. Carica

conservata associata alla corrente anomala.
Carica conservata valutata per campi di pura gauge: termine di Chern-Simons e indice di avvolgimento, Non-invarianza di gauge della carica conservata sotto trasformazioni di gauge disconnesse dall'identità. Noninvarianza della carica e invarianza di gauge dell'azione: cenno sugli istantoni. Degenerazione degli stati fisici e vuoto theta. Regola di superselezione tra vuoti theta. L'angolo del vuoto come parametro fisico.