



## UNIVERSITÀ DI PISA

# NONPERTURBATIVE APPROACHES TO QUANTUM FIELD THEORIES / ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE

### ETTORE VICARI

Anno accademico	2023/24
CdS	FISICA
Codice	358BB
CFU	9

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
ASPETTI NON PERTURBATIVI DELLE TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE	FIS/02	LEZIONI	54	VINCENZO ALBA STEFANO BOLOGNESI MASSIMO D'ELIA ETTORE VICARI ALESSANDRO VICHI

#### Obiettivi di apprendimento

##### *Conoscenze*

Il corso "Aspetti non perturbativi delle teorie di campo quantistiche" intende approfondire gli approcci più importanti che vengono utilizzati nella fisica teorica per ottenere informazioni fisiche in teorie interagenti dove gli accoppiamenti non sono deboli, quindi la teoria delle perturbazioni non fornisce risultati affidabili. Nel contesto della teoria delle interazioni fondamentali, questo succede per la teoria delle interazioni forti (Cromodinamica Quantistica) dove l'accoppiamento è grande alle energie tipiche della fisica degli adroni. Analogamente, approcci non-perturbativi sono richiesti nell'ambito della teoria dello stato condensato e dei fenomeni critici, dove i sistemi sono generalmente fortemente accoppiati.

##### *Modalità di verifica delle conoscenze*

L'accertamento delle conoscenze sarà basato su una discussione critica con il candidato riguardante gli argomenti del corso.

##### *Capacità*

Al termine del corso lo studente avrà acquisito conoscenze approfondite su alcuni argomenti avanzati di fisica teorica e padronanza di alcune tecniche utilizzate negli approcci non-perturbativi.

##### *Modalità di verifica delle capacità*

L'accertamento sarà basato su una discussione critica con il candidato riguardante gli argomenti del corso.

##### *Comportamenti*

NA

##### *Modalità di verifica dei comportamenti*

NA

##### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

Teoria quantistica dei campi.

##### *Indicazioni metodologiche*

Lezioni frontali



## UNIVERSITÀ DI PISA

Appunti dei docenti e/o articoli di rassegna resi disponibili su elearning  
Supporto diretto agli studenti tramite ricevimenti e per email

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

Il corso è diviso in 4 parti, ognuna corrispondente a 3 CFU, che sono legate fra loro dal linguaggio, dagli strumenti e da vari altri aspetti comuni, ma sono comunque autoconsistenti.

#### (1) SOLITONI TOPOLOGICI NELLE TEORIE DI CAMPO (Stefano Bolognesi)

Vengono discusse varie soluzioni di teorie di campo con topologia non banale, i loro aspetti matematici e la loro importanza in vari fenomeni fisici di tipo non-perturbativo. Una lista più specifica degli argomenti trattati è la seguente:

- Domain walls and Bogomolny equation
- Elements of topology and homotopy groups
- Sigma models and Skyrme model
- Dirac and Wu-Yang monopoles
- Abrikosov-Nielsen-Olesen vortices
- t Hooft-Polyakov monopole
- BPS solutions and moduli spaces
- Instantons in quantum mechanics
- Instantons in Yang-Mills Theories

#### (2) LATTICE FIELD THEORY (Massimo D'Elia)

Si approfondiscono le formulazioni non-perturbative delle teorie di campo quantistiche in D dimensioni spaziali basate su regolarizzazioni in uno spazio-tempo discretizzato (reticolo), dove il limite del continuo si realizza nel limite critico di teorie statistiche in D+1 dimensioni euclidee. Siamo nell'ambito delle cosiddette Lattice Field Theories. In particolare, viene presentata la formulazione su reticolo della QCD, che permette di ottenere risultati non-perturbativi utilizzando tecniche numeriche tipiche delle teorie statistiche.

Vengono approfondite, in particolare, le seguenti problematiche:

- i) formulazione di teorie con fermioni e realizzazione della simmetria chirale su reticolo;
- ii) aspetti non-perturbativi del vuoto di QCD (proprietà topologiche e confinanti);
- iii) studio del diagramma di fase della QCD.

(n.b.: non verranno discussi gli aspetti più propriamente algoritmici e numerici legati alla simulazione delle lattice field theories, che sono trattati in altri corsi (Metodi Numerici della Fisica))

#### (3a) RENORMALIZATION GROUP THEORY (Ettore Vicari)

Viene sviluppata la teoria del gruppo di rinormalizzazione alla Wilson, si presentano i paradigmi fondamentali, quali i concetti di universalità, di flusso del gruppo di rinormalizzazione nello spazio delle Hamiltoniane e dei suoi punti fissi che descrivono molte proprietà generali delle teorie. Vengono illustrate le applicazioni nell'ambito dei fenomeni critici e delle formulazioni delle teorie di campo quantistiche nel continuo, vengono anche approfondite le relazioni le teorie di campo effettive nell'ambito delle interazioni fondamentali.

#### (3b) LARGE N EXPANSION (Ettore Vicari)

Un approccio non-perturbativo molto utilizzato nell'ambito delle teorie di campo fortemente interagenti è quello dello sviluppo rispetto all'inverso del numero di componenti del campo fondamentale. Questo approccio permette di ottenere risultati analitici basati sullo sviluppo del punto sella. Viene sviluppata in dettaglio la soluzione per le teorie con simmetrie  $O(N)$  i cui campi fondamentali sono scalari con N componenti, incluse le teorie di campo nonlineari. Vengono illustrate le applicazioni ai fenomeni critici. Inoltre si mostra come argomenti dello stesso tipo si applichino alla teorie delle interazioni forti, fornendo informazioni semiquantitative sulla fisica adronica, nonostante il limite di grande N non sia stato analiticamente risolto.

(4a) ANOMALIE. In alcuni casi una simmetria della Lagrangiana presente a livello classico è rotta dal processo di quantizzazione. Quando questo accade si parla di una anomalia. In questo modulo vengono discusse le seguenti tematiche:

- i) Path Integral e identità di Ward;



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

ii) Anomalie (chirale, di simmetria globale, di gauge); 't Hooft anomaly matching;

iii) Anomalia di traccia e simmetria di scala.

(4b) CONFORMAL FIELD THEORY (Alessandro Vichi)

Un punto fisso del gruppo di rinormalizzazione

possiede per definizione una simmetria di scala, in aggiunta alle solite simmetrie spaziali.

Queste simmetrie possono essere ulteriormente estese al gruppo di simmetria conforme,

ovvero l'insieme di trasformazioni che preserva gli angoli ma non le distanze.

Sfruttando a pieno questa proprietà si possono estrarre informazioni generali sulle teorie di campo

che descrivono fenomeni critici e più in generale sul

comportamento a grandi o basse energie di una teoria di campo.

In alcuni casi è anche possibile risolvere esattamente la teoria.

In questo modulo vengono affrontati i seguenti argomenti:

- i) definizione di simmetria conforme;
- ii) proprietà delle teorie di campo conformi: ingredienti e condizioni di consistenza;
- iii) esempi di teorie conformi: teorie di campo medio, teorie perturbative, teorie esattamente solubili in  $1+1$  dimensioni;
- iv) metodi numerici e analitici per estrarre informazioni: conformal bootstrap.

### Indicazioni per non frequentanti

NA

### Modalità d'esame

Prova orale conclusiva consistente in una discussione critica riguardante gli argomenti del corso, inclusa la soluzione di uno o più problemi a scelta fra quelli assegnati durante il corso. Nella versione da 9 CFU (6 CFU) lo studente potrà selezionare 3 (2) parti di suo interesse.

*Ultimo aggiornamento 12/09/2023 22:46*