

Modello Standard delle Interazioni Fondamentali

David Marzocca (INFN)

2024

PREREQUISITI

- Fondamenti della teoria quantistica dei campi (Teoria dei Campi 1):
 - regole di Feynman, ampiezze di scattering
 - campi scalare, vettore, fermione (di Dirac)
 - QED a livello albero
- Simmetrie ed interazioni fondamentali
 - Basi di teoria dei gruppi di Lie, rappresentazioni
 - gruppi $U(1)$, $SO(3)$, $SU(2)$, $SU(3)$: rappresentazioni
 - gruppo di Poincaré e algebra di Lorentz
 - fermioni di Weyl.

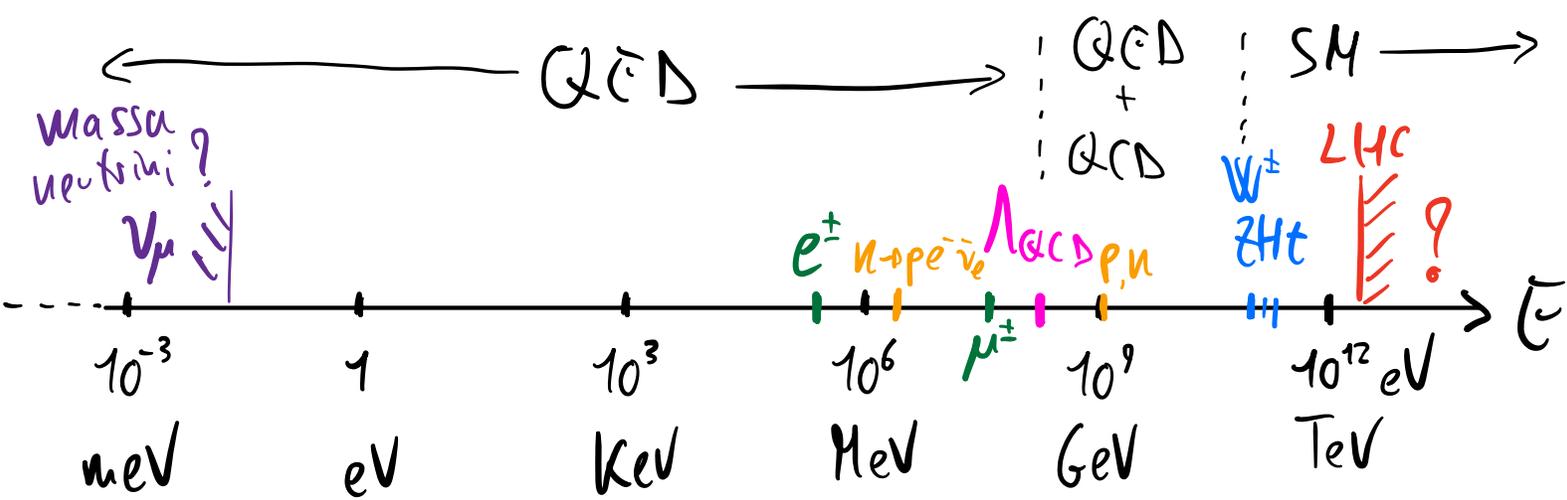
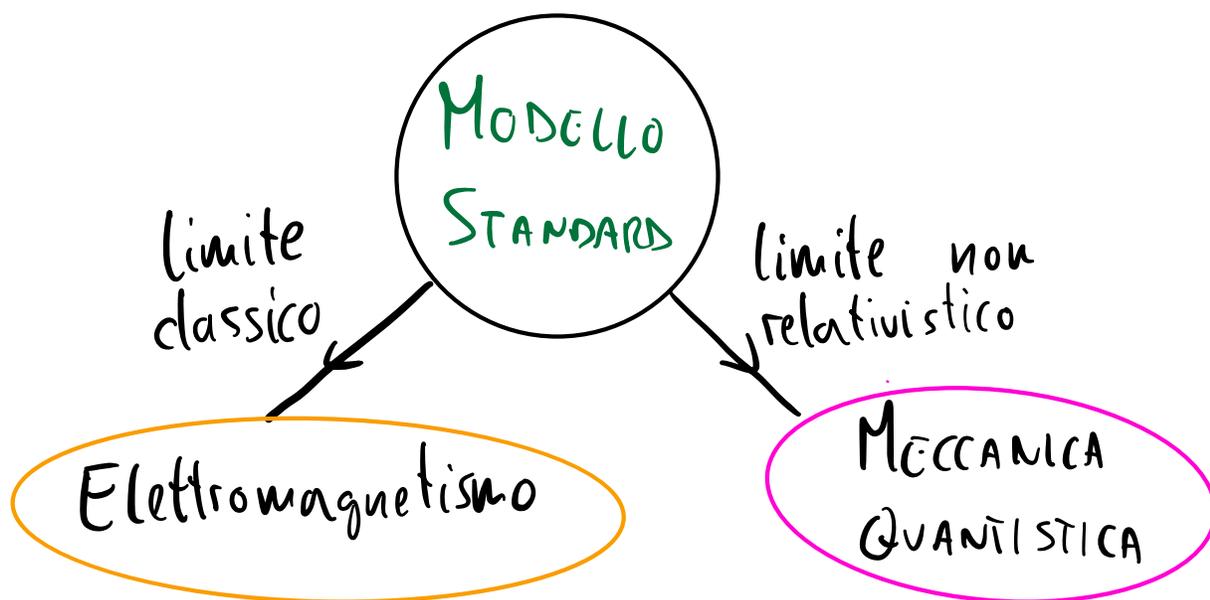
TESTI DI RIFERIMENTO

- [DGH] Donoghue - Golowich - Holstein "Dynamics of the Standard Model"
- [PS] Peskin - Schroeder "An introduction to Quantum Field Theory"
- [S] Schwartz "Quantum Field Theory and the Standard Model"

INTRODUZIONE

Il **MODELLO STANDARD** (SM) è la teoria che descrive la fenomenologia delle particelle elementari e le loro interazioni.

Ha un campo di applicazione enorme:



- A bassissime energie (grandi distanze) deve essere accoppiato alla teoria della gravitazione classica (relatività generale) per poter spiegare ciò che osserviamo (gravità, cosmologia).
- A scale $\sim \text{meV}$ occorre una descrizione delle **masse dei neutrini**. Tutta la meccanica quantistica però è parte dello SM.
- Fino a $E \sim 300 \text{ MeV}$ l'interazione principale è la **QED** (fotone).
- A quel punto occorre introdurre la **QCD**, che inizialmente è non-perturbativa ma poi diminuisce di intensità con l'energia.
- Alla **SCALA ELETTRODEBOLE** ($m_W = 80.4 \text{ GeV}$, $m_Z = 91.2 \text{ GeV}$, $m_H = 125 \text{ GeV}$, $m_t = 173 \text{ GeV}$) inizia il regime del Modello Standard nella sua interezza.
Può essere estrapolato anche fino alla scala di Planck ($M_P \sim 10^{19} \text{ GeV}$), dove la gravità quantistica diventa importante.
- Ad alte energie è testato fino a circa $\sim 1 \text{ TeV}$ dagli esperimenti a **LHC**.

In questo grande range di energie lo SM riesce a spiegare con precisione tutte le osservazioni sperimentali (*).

Un esempio è la predizione più precisa in tutta la scienza: il **MOMENTO MAGNETICO ANOMALO** dell'elettrone:
 $g = 2 + 2a_e$.

Presentato per la prima volta da Schwinger, Feynman e Tomonaga nel 1948:

$$a_e \approx \frac{\alpha}{2\pi} + \text{ordini superiori}$$

Adesso abbiamo:

$$a_e^{\text{th}} = 0.001159625181643(764)$$

$$a_e^{\text{exp}} = 0.00115962518073(28)$$

a_e è noto a 1 parte su 10^9 .

Per ottenere ciò, g_e è stato misurato con precisione di 10^{-12} .

I fenomeni non spiegati dallo SM, ma osservati sperimentalmente sono:

- **MASSA DEI NEUTRINI**

Trovano però una spiegazione nell'interpretazione più moderna dello SM come teoria effettiva.

- **MATERIA OSCURA**

Necessaria per spiegare fenomeni astrofisici e cosmologici.

- **BARIOGENESI**

Anche questo serve per la cosmologia, per spiegare l'asimmetria osservata fra materia e antimateria

- **INFLAZIONE**

Non è osservata direttamente ma è di gran lunga la spiegazione più plausibile di tante osservazioni cosmologiche (omogeneità, piattezza, spettro delle perturbazioni)

- **GRAVITA' QUANTISTICA**

Ovvero predire lo scattering di gravitoni a $E \geq M_{\text{Planck}}$.

Il Modello Standard è una teoria quantistica di campo Lorentz-invariante che descrive le interazioni delle particelle elementari.

È basato su una simmetria di gauge chirale con gruppo $G_{SM} = SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$, rotta spontaneamente al sottogruppo $U(1)_{em}$ dal bosone di Higgs.

Dato il contenuto di campi, la Lagrangiana del Modello Standard è la più generale sotto le condizioni di rinormalizzabilità ed invarianza sotto G_{SM} .

In questo corso, dopo una introduzione ai concetti evidenziati in alto, costruiremo il Modello Standard (SM) e studieremo alcuni degli aspetti fenomenologici più importanti.

Per costruire lo SM seguiremo un approccio bottom-up, partendo dalla teoria di bassa energia basata su $QED + QCD$, aggiungendo le interazioni deboli come interazioni di Fermi, e da qui costruendo lo SM come completamente ultravioletto.

Questo NON riflette l'evoluzione storica, che è molto più caotica, ma preferisce un approccio più moderno e logico.

Studieremo quindi gli aspetti più importanti della fenomenologia dello SM.

PROGRAMMA

