

# Classificazione degli adroni mediante le rappresentazioni irriducibili di $SU(N_f)$

**Candidato:** Gabriele Gotti

**Relatore:** Dott. Dimitri Colferai colferai@fi.infn.it

In questo lavoro di tesi andiamo a studiare le simmetrie che caratterizzano l'interazione forte. Nel primo capitolo si dà una panoramica dello strumento matematico utilizzato per la trattazione successiva: la teoria dei gruppi e delle rappresentazioni, sottolineandone la potenza per la descrizione delle simmetrie in fisica. L'obiettivo che ci prefiggiamo è quello di classificare gli adroni sfruttando la decomposizione in rappresentazioni irriducibili dei prodotti tensoriali delle rappresentazioni fondamentali di  $SU(N_f)$ , ovvero il gruppo speciale unitario di grado  $n$ , che individuiamo come gruppo di simmetria associato all'interazione forte. L'altro strumento matematico di cui ci avvaliamo sono le tabelle di Young, ovvero diagrammi che permettono di costruire le rappresentazioni irriducibili dei gruppi di permutazione  $S_n$ . Notando il fatto che  $S_n$  commuta con il gruppo di simmetria di un sistema, si sfruttano le tabelle di Young per trovare anche le rappresentazioni irriducibili dei prodotti diretti delle rappresentazioni fondamentali di  $SU(N_f)$ .

Inizialmente andiamo a studiare la simmetria dei nucleoni, introducendo il concetto di *isospin* o *spin isobarico*, il cui gruppo di simmetria è  $SU(2)$ . Studiando l'algebra di tale gruppo, che è la medesima del momento angolare, si costruiscono multipletti barionici decomponendo il prodotto tensoriale  $2 \otimes 2 \otimes 2$ , dove con 2 si indica la rappresentazione fondamentale di  $SU(2)$ , nella somma delle rappresentazioni irriducibili 2 e 4. Dopo aver studiato anche lo spin degli stati di tali multipletti, si riconosce in 2 la rappresentazione di protone e neutrone e in 4 quella delle quattro varietà di barioni  $\Delta$ . In seguito costruiamo anche le rappresentazioni irriducibili in cui si decompone il prodotto tensoriale della rappresentazione fondamentale 2 e della sua coniugata, riconoscendovi gli stati mesonici. Infine spieghiamo che la simmetria studiata è più profonda e legata al fatto che gli adroni non sono particelle elementari, ma costituite a loro volta da particelle dette *quark*.

Nel terzo capitolo si introduce una nuova grandezza: l'*ipercarica*, anch'essa conservata dall'interazione forte e si considera, dunque, come un nuovo numero quantico che caratterizza gli autostati dell'hamiltoniana di tale interazione. Facendo quest'ultima richiesta, siamo portati ad allargare il gruppo di simmetria dell'interazione forte passando da  $SU(2)$  a  $SU(3)$ . Si studia dunque il gruppo  $SU(3)$  e in particolare tre delle sue subalgebre isomorfe a  $SU(2)$ , che chiamiamo *T-Spin* (che è l'isospin), *U-Spin* e *V-Spin*. Si costruiscono le due rappresentazioni fondamentali di  $SU(3)$ : il tripletto, che indichiamo con 3 e fisicamente corrisponde ai tre sapori *up*, *down* e *strange* di quark, e la rappresentazione coniugata, cioè l'antitripletto, che indichiamo con  $\bar{3}$  e corrisponde ai tre antiquark. Si costruiscono i multipletti barionici, decomponendo il prodotto tensoriale  $3 \otimes 3 \otimes 3$ , cioè stati legati di tre quark, e i multipletti mesonici, andando invece a decomporre il prodotto  $3 \otimes \bar{3}$ , cioè stati legati quark-antiquark.

Nell'ultimo capitolo si studia la violazione della simmetria  $SU(3)$ . Infatti tale simmetria non è perfetta; se così fosse, gli stati appartenenti ad uno stesso multipletto dovrebbero essere energeticamente degeneri, cioè rappresentare particelle con masse identiche. Si trova, invece, sperimentalmente uno splitting delle masse di circa il 10%. Tale fatto ci porta a dividere il termine dell'hamiltoniana di interazione forte in due parti: una invariante rispetto al gruppo di simmetria  $SU(3)$  ed un'altra, che chiamiamo  $H_{ms}$ , responsabile dello splitting di masse. Andando a studiare  $H_{ms}$ , si ricava la formula di Gell'Mann-Okubo per le masse degli adroni.