

Ricerca di un bosone di Higgs di alta massa prodotto tramite fusione di bosoni vettori nel canale di decadimento $H \rightarrow ZZ \rightarrow 2l2q$ con il rivelatore CMS

Candidato: *Andrea Puggelli* andrea.puggelli@stud.unifi.it
Relatore: *Dott. Piergiulio Lenzi* piergiulio.lenzi@cern.ch
Correlatore: *Prof. Vitaliano Ciulli* vitaliano.ciulli@unifi.it

Il Modello Standard è la teoria che ad oggi meglio descrive la fisica delle particelle elementari conosciute. A partire dalla sua prima formulazione negli anni '70 le sue predizioni sono state verificate da numerosi esperimenti con elevata precisione. Una delle sue componenti teoriche fondamentali, il meccanismo che permette a *quark*, leptoni ed ai bosoni W e Z di acquisire massa, è connessa all'esistenza del bosone di Higgs: una particella di massa circa 125 GeV con caratteristiche compatibili con quelle del bosone di Higgs è stata osservata nel luglio 2012 dagli esperimenti Atlas e CMS in collisioni protone-protone presso l'acceleratore LHC al CERN di Ginevra.

Con la scoperta del bosone di Higgs tutte le particelle fondamentali previste dal Modello Standard sono state osservate; non per questo sono risolti gli interrogativi che lo riguardano: ad esempio la sua massa relativamente leggera, senza ragioni evidenti se paragonata alla scala di energia fino alla quale dovrebbe valere il Modello Standard.

Allo stato attuale delle conoscenze sulla nuova particella, è possibile includere scenari alternativi in cui la rottura della simmetria elettrodebole è legata ad una fisica più ricca rispetto a quella del Modello Standard, contenente oltre al bosone di Higgs particelle addizionali. L'estensione minima è data dall'inclusione di un singoletto elettrodebole: il doppietto di Higgs ed il nuovo singoletto sarebbero mescolati e darebbero luogo a due nuovi campi fisici h e H . In questo schema la particella osservata da ATLAS e CMS sarebbe una delle due; l'altra possiede una massa diversa ma interazioni simili al bosone di Higgs del Modello Standard.

Ci sono due possibili strade per la ricerca del nuovo bosone di Higgs: la ricerca indiretta tramite la misura delle proprietà del bosone già osservato e la ricerca diretta; quest'ultima può essere compiuta basandosi sulla ricerca effettuata per il bosone di Higgs come modello di partenza, per poi estendere le tecniche sviluppate al caso della ricerca del singoletto.

Un bosone di Higgs di alta massa può essere prodotto attraverso vari canali: il principale risulta la fusione di due gluoni, il secondo per importanza è il processo di *Vector Boson Fusion* (VBF), oggetto di questo lavoro di tesi. L'interesse per il processo VBF deriva sia dalla firma sperimentale che lo caratterizza, un bosone di Higgs viene prodotto in associazione a due *quark* diretti preferenzialmente nella direzione avanti-indietro rispetto al fascio di protoni, sia dal fatto che il suo contributo relativo alla sezione d'urto di produzione cresce con la massa.

Questo lavoro di tesi è stato svolto nell'ambito della ricerca di una risonanza del tipo bosone di Higgs prodotto tramite VBF per massa compresa tra 200 GeV e 1000 GeV nel canale di decadimento $H \rightarrow ZZ \rightarrow l^+l^-q\bar{q}$, utilizzando un campione di 19.7 fb^{-1} di dati raccolti dall'esperimento CMS da collisioni protone-protone prodotte ad LHC a una energia nel centro di massa di 8 TeV. L'esperimento *Compact Muon Solenoid* (CMS) è uno dei quattro esperimenti principali che studiano le collisioni prodotte al Large Hadron Collider. È un rivelatore ad uso generale: progettato per massimizzare le proprie prestazioni nella ricerca del bosone di Higgs ma capace di studiare in generale i risultati delle interazioni tra particelle ad alta energia, anche se inaspettati.

In questo lavoro di tesi è stata sviluppata la metodologia utilizzata per selezionare il segnale prodotto tramite meccanismo VBF dai processi di fondo. Allo scopo di sopprimere l'abbondante fondo dovuto alla presenza di *jet* provenienti prevalentemente da processi di QCD, sono state investigate le peculiarità topologiche dei *jet* prodotti in associazione al bosone di Higgs. In questo lavoro è stata calcolata la sezione d'urto differenziale del processo di produzione al *leading order* e sono state giustificate dal punto di vista teorico le distribuzioni cinematiche rilevanti dei due *quark* prodotti in associazione al bosone di Higgs.

Per sfruttare al massimo le informazioni cinematiche peculiari del meccanismo di produzione studiato è stata utilizzata una tecnica di analisi multivariata, che permette di utilizzare anche le correlazioni non lineari tra le variabili. La tecnica utilizzata, il *boosted decision tree* (BDT), costruisce un classificatore, ovvero una funzione delle variabili discriminanti, costruita in maniera tale da massimizzare la separazione tra segnale e fondo. È stata verificata la buona modellizzazione dei campioni simulati di segnale e di fondo ed il classificatore prodotto è stato utilizzato nella selezione degli eventi per l'analisi.

Come *benchmark* è stato riportato il limite di esclusione per la produzione di un bosone di Higgs del Modello Standard nell'intervallo di massa da 200 GeV a 1000 GeV. L'analisi è stata reinterpretata in termini del modello ad un singoletto elettrodebole, che prevede l'esistenza di un secondo bosone di Higgs ad alta massa oltre a quello scoperto recentemente di massa 125 GeV, e sono stati prodotti i limiti di esclusione per un *set* di punti dello spazio dei parametri.

Il canale studiato non consente se preso singolarmente l'esclusione di questi modelli, ma contribuisce in modo significativo alla combinazione, attualmente in corso, con i risultati delle analisi per diversi meccanismi di produzione e decadimento. Il contributo è rilevante soprattutto ad alta massa, sopra 600 GeV, dove il rapporto tra sezione d'urto di produzione VBF e *gluon fusion* cresce.