

PH.D. THESIS  
DISS.ETH NO. 22667

INSTITUTE FOR PARTICLE PHYSICS, ETH ZÜRICH

**ETH**

**Differential studies of vector boson plus jet  
and Higgs production with data from the  
CMS experiment**

A thesis submitted to obtain the degree of

**Doctor of Sciences of ETH Zürich**  
(Dr. sc. ETH Zürich)

CANDIDATE:  
*Andrea Carlo Marini*

Laurea Magistrale in Fisica, Università di Pisa  
born on February 26<sup>th</sup>, 1987  
citizen of Italy

EXAMINER:  
*Prof. Günther Dissertori*

CO-EXAMINER:  
*Prof. Rainer Wallny*

CO-EXAMINER:  
*Dr. Mauro Donegà*

*20 April 2015*

## Riassunto

Questa Tesi di dottorato ripercorre il percorso di studi e i punti salienti del lavoro svolto nel gruppo ETH-IPP nell'ambito di ricerca in fisica delle alte energie presso i laboratori del Centro Europeo per la Ricerca Nucleare (CERN). Per contestualizzare le analisi all'interno del quadro teorico cui si riferiscono, una breve descrizione del Modello Standard viene fornita assieme ad una descrizione dei metodi numerici volti a dare previsione quantitative della teoria di riferimento. Segue un breve esposto su Large Hadron Collider (LHC) e su CMS, il rivelatore di particelle usato nell'ambito delle analisi presenti in questa tesi, sulla ricostruzione di oggetti di alto livello, in grado di aggregare molteplici informazioni per caratterizzare gli stati finali dei prodotti delle collisioni protone-protone in termini di particelle, dei loro proprietà elementari: impulso, carica ed energia.

Una descrizione delle correlazioni angolari e delle variabili topologiche in eventi di  $Z + \text{jet}$  in collisioni protone-protone con energia nel centro di massa di 7 TeV è presentata, partendo dalla selezione e seguendo le problematiche più salienti fino ad arrivare ai risultati. Con l'avvento di una maggiore luminosità, nonché di una maggiore esperienza, si apre la possibilità di avventurarsi in analisi più complesse, quali sono state le misure differenziali a 8 TeV del bosone di Higgs con decadimento in coppie di fotoni, e la misura del rapporto delle sezioni d'urto differenziale della produzione di  $Z/\gamma^*$  e quella di fotoni con jet. La prima utilizza le nozioni e la consapevolezza appresa durante lo svolgimento delle misure che hanno portato alla scoperta del decadimento dell'Higgs in due fotoni, ampliando ed estendendo il modello in modo tale da poter fare analisi differenziali rispetto ad un volume fiduciale nello spazio delle fasi, mentre la seconda incorpora la conoscenza sulla ricostruzione di fotoni e del bosone  $Z$  accresciuta all'interno del gruppo ETH-IPP con le misure a 7 TeV.

Infine, una limitata presentazione di studi di ricostruzione di oggetti e di ricerca e sviluppo di nuovo hardware è data negli appendici. Viene presentata la costruzione di un discriminatore in grado di distinguere statisticamente jet originati da quark da quelli originati da gluoni, unitamente allo sviluppo di un metodo per verificarne le incertezze sistematiche e agli studi relativi alle prestazioni confrontate con quanto osservato nei dati raccolti dall'esperimento. Successivamente è descritta la creazione di un sistema di acquisizione dati, utilizzato dai test-beam presso le strutture nell'area sperimentale di CERN-H4 nell'ambito di ricerca e sviluppo di nuove tecnologie adatte ad essere utilizzate in futuri calorimetri elettromagnetici.

# Abstract

This PhD thesis summarizes the work performed in the context of the ETH high-energy physics group in the CMS experiment at CERN's Large Hadron Collider. The relevant theoretical framework is briefly described, starting with an introduction to the Standard Model and to the Monte Carlo techniques used to obtain numerical results. The main aspects of the Large Hadron Collider and of the CMS experiment are discussed, together with the reconstruction of physics objects, in order to characterize the final state of proton-proton collisions in terms of types of particles produced, their energy, momenta, charges and further properties.

Then a description of the Z+jet angular correlation and event-shapes analysis at 7 TeV is presented, starting from the selection up to the extraction of the results. With the higher luminosity available at 8 TeV, the efforts then focused on the differential Z+jet over photon+jet cross-section ratio and on the differential cross-section for Higgs boson production, using the diphoton decay channel. These analyses take advantage of the knowledge learnt in the discovery of the Higgs boson, extending the extraction of the results to differential distributions, and of the expertise on Z boson and photon reconstruction developed in the 7 TeV analysis within the ETH-IPP group.

Finally, a brief presentation of object reconstruction studies and of a hardware research and development project are presented in the appendix sections. A discriminator capable of distinguishing between quark- and gluon-initiated jets, its performances in 8 TeV data and a way to evaluate systematics uncertainties are presented and the development of a new data acquisition system, used in test beam in the CERN H4 area to study new prototypes for the future upgrade of the forward electromagnetic calorimeter of CMS is described.