



Doctoral Thesis

## Measurement of differential cross sections for diphoton production in pp collisions with the CMS experiment

**Author(s):**

Peruzzi, Marco

**Publication Date:**

2015

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010558087> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 22691

**MEASUREMENT OF DIFFERENTIAL CROSS SECTIONS  
FOR DIPHOTON PRODUCTION IN PP COLLISIONS  
WITH THE CMS EXPERIMENT**

A thesis submitted to attain the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH  
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

**Marco Peruzzi**

Laurea Magistrale in Fisica, Università di Pisa

born on 17.09.1987

citizen of Italy

accepted on the recommendation of

Prof. Günther Dissertori, examiner

Prof. Rainer Wallny, co-examiner

Prof. Luigi Rolandi, co-examiner

2015

# Abstract

A measurement of differential cross sections for diphoton production in proton-proton collisions using data collected by the CMS experiment at the LHC is presented. This analysis represents a stringent test of quantum chromodynamics, the theory of strong interactions, because the cross section is sensitive to next-to-next-to-leading order corrections in restricted regions of the phase space. Moreover, diphoton production represents the major source of background to the study of the Higgs boson in the diphoton decay channel, as well as to searches for several new physics models. Models used for background predictions in these analyses are thus validated.

The measurement is based on the statistical separation of the diphoton signal from the jet background by means of a template fit. The photon isolation is used as the discriminating variable. A detailed understanding of the photon reconstruction and identification is therefore an essential prerequisite.

After an illustration of the main features of the CMS electromagnetic calorimeter, a study of the effect of out-of-time pileup and electronic noise on photon observables is presented. This work has led to a more accurate simulation of these phenomena, with important benefits to all photon analyses.

The performance of the photon isolation variable in the particle-flow approach to event reconstruction is then illustrated. A novel technique used to avoid double counting of the photon energy deposit and the energy flow associated to other particles in the vicinity of the photon is presented. This method allows building the isolation templates entirely from data, to perform the measurement with small systematic uncertainty.

The analysis is then extended to final states where the photon pair is produced in association with at least one or two jets. In particular, the cross section is studied as a function of the variables commonly used to select the Higgs boson produced through vector boson fusion and decaying to a photon pair.

Finally, performance evolution studies of the electromagnetic calorimeter are presented. An enduring performance of the calorimeter is required for studying several physics processes during the high-luminosity running of the LHC. As the current detector was not designed to withstand the radiation levels expected in that period, an upgrade of the most affected parts is envisaged. Beam tests of a sampling calorimeter prototype channel based on radiation-hard  $\text{CeF}_3$  scintillating crystals are illustrated. Measurements of response linearity, uniformity and energy resolution demonstrate that this is a promising upgrade design.

# Riassunto

Si presenta una misura di sezioni d'urto differenziali per la produzione di coppie di fotoni in collisioni protone-protone, utilizzando i dati registrati dall'esperimento CMS all'LHC. Questa analisi rappresenta un test stringente della cromodinamica quantistica, la teoria delle interazioni forti, perché la sezione d'urto è sensibile a correzioni del second'ordine in alcune regioni dello spazio delle fasi. Inoltre, la produzione di coppie di fotoni rappresenta la maggior fonte di fondo per lo studio del bosone di Higgs nel canale di decadimento in due fotoni e per varie ricerche di nuova fisica. I modelli usati per predire il fondo in queste analisi vengono così verificati.

La misura si basa sulla separazione statistica del segnale di coppie di fotoni dal fondo di getti adronici, ottenuta per mezzo di un fit templato. L'isolamento del fotone è usato quale variabile discriminante. Una comprensione dettagliata della ricostruzione e identificazione dei fotoni è quindi un prerequisito essenziale.

Dopo un'illustrazione delle principali caratteristiche del calorimetro elettromagnetico di CMS, si presenta uno studio dell'effetto del pileup fuori tempo e del rumore elettronico sulle osservabili dei fotoni. Questo lavoro ha portato ad una simulazione più accurata di questi fenomeni, con importanti benefici per tutte le analisi su fotoni.

Si illustra poi il rendimento della variabile di isolamento dei fotoni nell'approccio particle-flow alla ricostruzione degli eventi. Si utilizza una nuova tecnica per evitare di conteggiare il deposito di energia del fotone nel flusso di energia associato ad altre particelle prodotte in prossimità di esso. Questo metodo permette di costruire le distribuzioni dell'isolamento interamente dai dati, e di effettuare la misura con una bassa incertezza sistematica.

L'analisi è poi estesa a stati finali in cui la coppia di fotoni è prodotta in associazione con almeno uno o due getti adronici. In particolare, la sezione d'urto è misurata in funzione delle variabili comunemente usate per la selezione del bosone di Higgs prodotto per fusione di bosoni vettori e decaduto in due fotoni.

Infine si presentano studi relativi all'evoluzione delle performance del calorimetro elettromagnetico. Un rendimento duraturo del calorimetro è necessario per studiare svariati processi di fisica durante la presa dati di LHC ad alta luminosità. Dato che il rivelatore attuale non è stato progettato per sopportare i livelli di radiazione attesi per quel periodo, è previsto un aggiornamento delle sue parti più degradate. Si illustrano i test su fascio di un canale prototipo di un calorimetro a campionamento basato su cristalli scintillanti di  $\text{CeF}_3$ . Misure di linearità, uniformità di risposta e risoluzione in energia dimostrano che questo è un progetto di aggiornamento promettente.