

Research program proposal:

# Performance studies of the GEM detectors for muon reconstruction at the CMS experiment

Scuola di Dottorato in Fisica – XXXIV Ciclo  
Federica Maria Simone

Abstract:

La mia attività di ricerca si svolgerà nell'ambito dell'esperimento CMS (Compact Muon Solenoid) presso il Large Hadron Collider (LHC) del CERN. In vista del progressivo aumento di energia e di luminosità di LHC, l'esperimento CMS ha deciso di potenziare il sistema per muoni nella zona degli endcap con l'installazione di rivelatori a tripla-GEM (Gas Electron Multiplier) nelle stazioni GE1/1, GE2/1 e ME0.

Prima dell'installazione a CMS, i rivelatori e il sistema di acquisizione verranno validati al Cosmic Test Stand allestito al CERN. Mi occuperò dell'analisi dei dati e della ricostruzione delle tracce per la misura finale di efficienza, implementata in CMSSW.

Dopo l'installazione, si prenderanno dati da muoni cosmici nella stazione GE1/1, successivamente si integrerà il sistema nella presa dati da muoni cosmici globale, prima senza e poi con il campo magnetico.

La ricostruzione dei muoni cosmici richiede l'utilizzo di algoritmi di ricostruzione del tutto analoghi a quelli per la ricostruzione di muoni prodotti lontano dal punto di collisione ("displaced muons"), ad esempio dal decadimento di particelle a lunga vita media. Durante il dottorato mi dedicherò allo sviluppo degli algoritmi di ricostruzione, al fine di estendere e ottimizzare gli studi esistenti. Mi occuperò inoltre dell'analisi dei primi dati al fine di confermare l'impatto di GE1/1 sulle performance di ricostruzione, finora studiato a livello di simulazione Monte Carlo.

---

Dopo la scoperta del bosone di Higgs nel 2012, l'esperimento Compact Muon Solenoid (CMS) al Large Hadron Collider (LHC) del CERN ha continuato a cercare conferme della validità del Modello Standard. Le caratteristiche del bosone H, quali massa, larghezza, carica e parità, sono state misurate con alta precisione, così come l'accoppiamento con i bosoni vettori. La misura degli accoppiamenti dell'Higgs con le altre particelle fornisce informazioni importanti sul Modello Standard, il quale prevede una costante di accoppiamento proporzionale alle masse in gioco. Ad oggi è stata confermata l'aderenza al modello per gli accoppiamenti dell'Higgs con i quark e i leptoni di terza generazione, i più pesanti.

In particolare, la rivelazione dei decadimenti fermionici del bosone H fornisce una misura diretta dell'accoppiamento Yukawa; la misura dell'accoppiamento con il muone, leptone di seconda generazione con massa  $105.7 \text{ MeV}/c^2$ , tramite il decadimento  $H \rightarrow \mu\mu$  è ancora tra gli obiettivi della collaborazione CMS a causa della sua bassa *Branching Ratio* ( $10^{-4}$ ).

Nonostante si siano verificate molte previsioni del Modello Standard, questo risulta inadatto a spiegare osservazioni sperimentali quali la massa del neutrino, l'esistenza di materia altra di quella ordinaria costituente il 90% di quella presente nell'Universo e la asimmetria tra materia e anti-

materia. Lo SM non include inoltre la interazione gravitazionale. Queste ed altre domande aperte portano alla formulazione di teorie e modelli diversi dal modello standard, tra i quali si annoverano la Supersimmetria (SUSY) e gli "Hidden Sectors". La ricerca di evidenze per questi modelli richiede lo studio di interazioni tra particelle non previste dal Modello Standard. Il decadimento del leptone tau in 3 muoni, ad esempio, è previsto dal Modello Standard solo tramite diagrammi di ordine superiore e, quindi, con bassa probabilità, mentre per altri modelli è un decadimento atteso con BR significativamente maggiore. I muoni prodotti dal decadimento del tau, però, hanno basso momento trasverso e sono prodotti in avanti (ad alta pseudorapidità  $\eta$ ) e per questo risultano difficili da rivelare.

Al fine di investigare fenomeni rari e raccogliere misure più accurate, l'acceleratore LHC è in via di potenziamento: nel progetto finale, denominato *High Luminosity LHC (HL-LHC)*, la luminosità sarà fino a 7 volte quella iniziale di disegno. Una prima fase dell'*upgrade* è prevista durante il cosiddetto *Long Shutdown 2 (LS2)* nel biennio 2019-2020, dopo il quale le collisioni protone-protone forniranno una luminosità istantanea di  $2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  a 14 TeV di energia del centro di massa, mentre dopo il 2023 (LS3) l'acceleratore entrerà nella cosiddetta "Fase 2" con l'installazione di HL-LHC per una luminosità da  $5$  a  $7 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Per affrontare questa fase, CMS ha cominciato già da tempo a pianificare le nuove strategie per adattare gli apparati sperimentali alle nuove condizioni, con la costruzione di nuovi rivelatori in grado di migliorare la selezione degli eventi in condizioni di alto *pile-up*. Particolarmente critiche saranno le condizioni di background indotto da neutroni nella zona degli *endcap* che ospitano alcune stazioni di rivelatori a gas per muoni.

Durante LS2 nella prima stazione degli *endcap* (la più vicina al vertice di collisione) verrà installato un sistema di 72 camere costituite da coppie di rivelatori a tripla-GEM. La tecnologia *Gas Electron Multiplier* risulta adatta alle condizioni di alta luminosità grazie alla alta *rate capability* e alla buona risoluzione temporale ( $\approx 4 \text{ ns}$ ) [1]. L'ottima risoluzione spaziale ( $< 300 \mu\text{m}$ ), inoltre, fornirà una misura precisa delle coordinate spaziali dei muoni. La stazione, denominata GE1/1, coprirà l'intervallo in pseudorapidità  $1.6 < |\eta| < 2.2$ , regione in cui la rivelazione delle tracce muoniche era affidata alle sole *Cathode Strip Chambers (CSC)*. La stazione GE1/1 fornirà ridondanza per la rivelazione dei muoni in una parte dell'esperimento caratterizzata da alto campo magnetico e, quindi, importante per la misura del momento. Il fondo atteso durante RUN3 è stato stimato attraverso simulazioni ed estrapolazioni dai dati raccolti durante RUN1 e 2 e con esso è stato simulato l'impatto della stazione GE11 sulla risoluzione nella misura del momento, sulla capacità di mantenere una accettabile frequenza di trigger di primo livello in funzione del taglio sul momento dei muoni e sulla efficienza di ricostruzione [2].

Durante LS3, invece, il sistema per muoni di CMS sarà potenziato con l'aggiunta delle stazioni GE2/1 ( $1.6 < |\eta| < 2.4$ ) e ME0 ( $2 < |\eta| < 2.8$ ), entrambe costituite di rivelatori GEM. La stazione ME0 estenderà l'accettazione geometrica dell'*endcap* permettendo di rivelare muoni prodotti "in avanti", importanti ad esempio per lo studio del decadimento del tau in 3 mu. L'*upgrade* del sistema muonico consentirà quindi di mantenere un sistema di trigger e di ricostruzione efficiente e ridondante anche nelle nuove condizioni di luminosità [3].

Prima dell'installazione dei 144 rivelatori GEM, da assemblarsi in 72 camere, è necessario verificare il funzionamento delle camere e dell'elettronica di lettura in tutte le loro componenti finali. A tal fine, al laboratorio GEM del CERN è stato allestito un Cosmic Ray Test Stand in grado di ospitare sino a 15 camere su una struttura a 5 livelli dove tutti i servizi (alta e bassa tensione, raffreddamento, gas) e il sistema di acquisizione sono vicini a quelli che si avranno in CMS. Il sistema di trigger è affidato all'AND tra due sistemi di scintillatori posti sopra e sotto la struttura e il sistema di lettura è basato sul VFAT3. Obiettivo finale del test è la misura di

efficienza delle camere, ma esso consentirà anche di verificare tutti i collegamenti e il funzionamento dell'acquisizione dati. La misura di efficienza è basata sulla ricostruzione dei muoni, implementata nell'ambito del framework CMSSW assieme alla geometria del Cosmic Stand.

Dopo l'installazione della stazione GE1/1, sarà necessario lavorare alla messa in esercizio del sistema e alla sua integrazione nell'esperimento. La verifica del funzionamento della stazione, allineamento e calibrazioni saranno effettuate prendendo dati da muoni cosmici ("Local Cosmic Run") già durante LS2. Per il 2020 è prevista la presa dati con muoni cosmici in concerto con l'intero esperimento ("Global Cosmic Run"), da ripetersi dopo la fine di LS2 in presenza di campo magnetico a 4 Tesla.

L'inserimento di GE1/1 nel sistema muoni di CMS si aspetta abbia un impatto sulle performance sia in termini di selezione degli eventi sia in termini di ricostruzione. Gli algoritmi di ricostruzione si distinguono in base ai sottosistemi impiegati e ad eventuali vincoli: è chiamata "Muon Track" la traccia di un muone ricostruito facendo uso del solo tracciatore, "StandAlone Muon" la ricostruzione eseguita nel sistema muoni, "Global Muon" la ricostruzione che combina le precedenti informazioni. Gli algoritmi StandAlone Muon standard fanno uso di un vincolo al vertice di interazione, per ricostruire muoni prodotti tramite interazione elettrodebole. La ricostruzione dei muoni cosmici, così come lo studio di muoni prodotti da decadimenti di particelle a lunga vita media, richiede invece lo sviluppo di algoritmi dedicati che non facciano uso del vincolo al vertice. L'impatto di GE11 sull'efficienza di questi algoritmi di ricostruzione è stato studiato a livello di simulazione e sarà necessario confermarlo con i primi dati da muoni cosmici (LS2) e da collisioni protone-protone (RUN3).

Durante il dottorato mi dedicherò allo sviluppo degli algoritmi di ricostruzione, al fine di estendere e ottimizzare gli studi esistenti. Mi occuperò inoltre dell'analisi dei dati presi al Cosmic Stand per la misura di efficienza dei rivelatori GE1/1. Successivamente mi dedicherò all'analisi dei dati da cosmici per la ricostruzione delle tracce, e all'analisi dei primi dati da collisioni pp al fine di confermare l'impatto di GE1/1 sulle performance di ricostruzione, finora studiato a livello di simulazione Monte Carlo.

[1] F. Sauli, GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors, Nucl. Instrum. Meth., A 386, 531, 1997.

[2] A. Colaleo et al., CMS Technical Design Report for the Muon Endcap GEM Upgrade, <https://cds.cern.ch/record/2021453>, 2015.

[3] The CMS Collaboration, The Phase-2 Upgrade of the CMS Muon Detectors, <https://cds.cern.ch/record/2283189>, 2017.