

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI
Dipartimento Interateneo di Fisica “M. Merlin”
Scuola di dottorato di ricerca in Fisica XXXI Ciclo

Report sul I anno di dottorato

Filippo Errico

Nel corso del mio Primo Anno di Dottorato in Fisica, ho svolto diverse attività legate all’esperimento *Compact Muon Solenoid* (CMS) presente al *Large Hadron Collider* (LHC) di Ginevra. Argomento della mia attività è la ricerca di nuovi segnali ascrivibili a teorie oltre il Modello Standard con muoni nello stato finale. In particolare durante il primo anno mi sono concentrato sulla ricerca del bosone Z' con i dati del Run2 di CMS e su studi di ricostruzione e di Trigger.

1 Ricerca del bosone Z'

La scoperta fatta nel 2012 di un bosone scalare, consistente con il bosone di Higgs del Modello Standard (MS) è stata una pietra miliare per la fisica delle particelle in quanto chiude una ricerca portata avanti negli ultimi 50 anni. È anche vero però, che rimane da accertare che la particella ricercata sia effettivamente il bosone previsto dal MS.

Al contrario di quello che si potrebbe pensare, il MS stesso risulta incompleto in quanto non riesce a dare una spiegazione ad alcune problematiche:

- la forza di Gravità è l’unica forza fondamentale non inclusa nel MS;
- la materia osservabile è solo il 5% della materia e della energia dell’Universo: di questa il 70% è associata all’energia oscura, possibile responsabile dell’espansione dell’Universo stesso, il restante 30% è associato alla materia oscura di cui il MS non riesce a trovare un buon candidato;
- nel MS i neutrini sono previsti senza massa, ma recenti osservazioni hanno dimostrato l’oscillazione di sapore e questo deve comportare una differenza dei valori di massa diversa da zero;
- nel MS le costanti di accoppiamento non convergono verso un valore comune alla scala delle energie di $O(10^{16})$ GeV come mostrato in figura 1.

Nel tentativo di risolvere queste problematiche, sono stati sviluppati molti modelli che vanno oltre il Modello Standard (*Beyond Standard Model*, BSM) con la conseguente introduzione di nuovi bosoni mediatori. Nel mio caso particolare mi sono concentrato sulla possibile esistenza della Z' , bosone previsto in molte teorie, tra le quali la *Grand Unified Theory* (GUT), il *Minimal Supersymmetric Standard Model* (MSSM) e infine le *Warped Extra Dimensions* (WED).

L’analisi effettuata nel corso del primo anno ha riguardato lo studio dei primi $6.3fb^{-1}$ collezionati ad LHC dal Gennaio 2016 al Luglio 2016 e che è confluita nell’*Analysis Note - CMS EXO-16-031* approvata nel Luglio dello stesso anno.

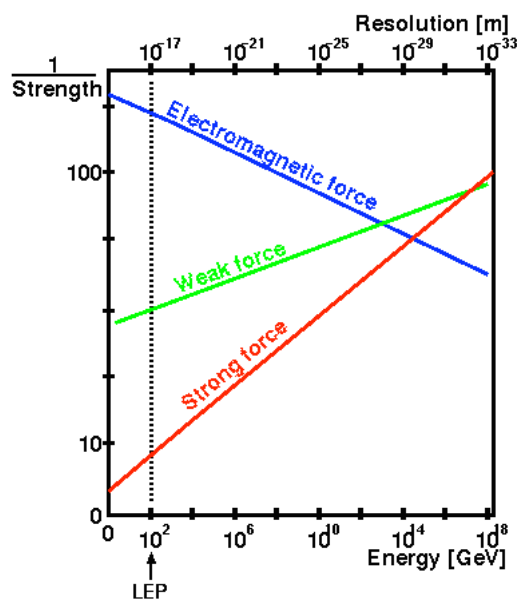


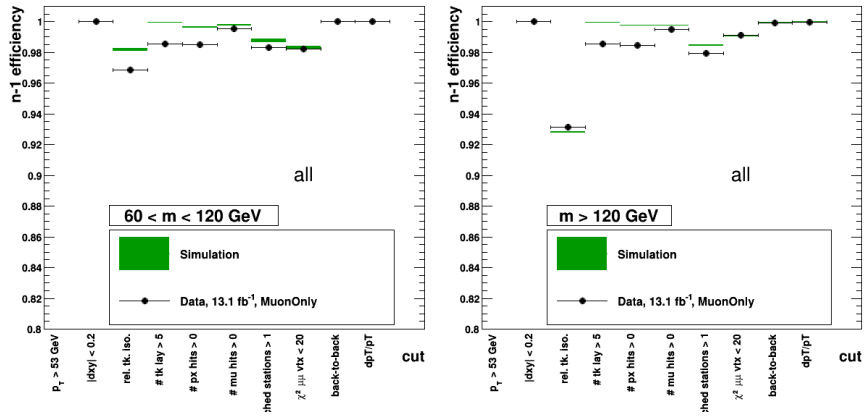
Figura 1: Andamento dell'inverso delle costanti di accoppiamento per le tre forze fondamentali previste dal Modello Standard.

In particolare, dopo aver ottimizzato il codice, mi sono occupato dello studio dell'efficienza dei tagli della selezione di base: le efficienze sono state valutate come rapporto fra il numero dei muoni che passano tutta la selezione e quelli che passano tutti i tagli meno quello di cui si vuole valutare l'efficienza. Questo studio è stato effettuato in tre regioni di massa (intorno al picco della Z, per masse superiori a $120 \text{ GeV}/c^2$ e per masse superiori a $500 \text{ GeV}/c^2$) e in tre regioni di η :

- eventi con almeno un muone nell'endcap negativo ($E^- E^+ + E^- B$)
- eventi con almeno un muone nell'endcap positivo se il secondo non è in quello negativo ($E^+ B$)
- eventi con entrambi i muoni nel barrel (BB)

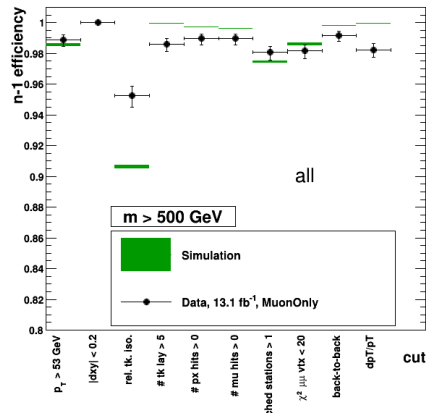
Dividere l'analisi in tre regioni di η permette di isolare problemi o misurazioni errate che possono minare l'intera analisi: la regione del barrel per esempio ha la migliore risoluzione in massa e il miglior fattore di scala del momento laddove la regione con l'endcap positivo è affetto da problemi legati all'allineamento e alla rotazione dei detector essendo stato aperto per operazioni di manutenzione. Questo stesso studio è stato poi aggiornato usando i dati raccolti fino a fine agosto per un totale di 13.1 fb^{-1} i cui risultati sono riportati in figura 2 (senza divisione in η) e in figura 3 (con la categorizzazione in η).

Una parte fondamentale degli studi e prestazione dell'analisi con muoni nello stato finale e per la mia analisi è legata alle eccellenti prestazione del Trigger. Nel corso del 2016 il sistema di trigger di L1 dei muoni è stato notevolmente



(a)

(b)



(c)

Figura 2: Efficienze dei tagli della selezione di base senza categorizzazione, nei tre regioni di massa: (a) picco della Z, (b) massa > 120 GeV/ c^2 , (c) massa > 500 GeV/ c^2 .

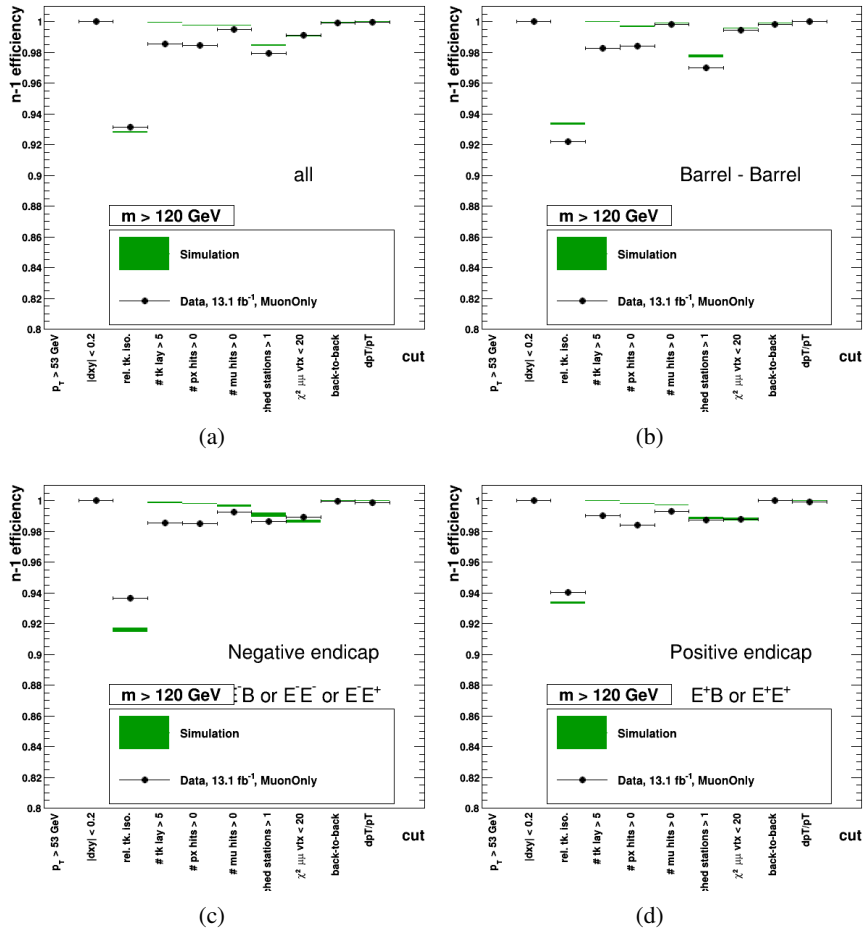


Figura 3: Efficienze dei tagli della selezione di base nella regione di massa subito sopra il picco della Z: (a) senza categorizzazione (b) BB, (c) $E^-E^+ + E^-B$, (d) E^+B .

modificato ed io mi sono occupato della verifica delle prestazioni.

Il sistema del L1 Trigger dei muoni nel barrel attualmente prende informazioni in maniera separata dalle *Drift Tube* (DT) e dalle *Resistive Plate Chamber* (RPC): le prime però hanno il problema di avere una scarsa risoluzione temporale con il problema di selezionare informazioni sbagliate; le seconde invece hanno una scarsa risoluzione spaziale. L'upgrade del Trigger prevede l'uso di una scheda, il *TwinMux*, che invece combina le informazioni provenienti dalle DT e dalle RPC per ottenere un segmento che ha la risoluzione spaziale delle DT (migliore di quella delle RPC) e la risoluzione temporale delle RPC (migliore di quella delle DT): i segmenti vengono combinati nel *Barrel Muon Track Finder* (BMTF) che da come output i muoni di L1. Studi preliminari relativi alle efficienze in funzione della pseudorapidità e dell'impulso trasverso sono riportati in figura 4.

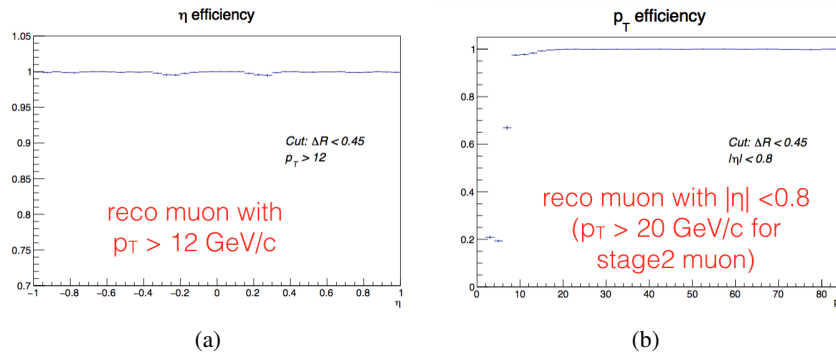


Figura 4: Efficienze della scheda TwinMux: (a) in funzione di η , (b) in funzione del p_T .

Per quel che concerne invece la ricostruzione dei muoni, parte integrante dell'analisi, durante il Long Shutdown del 2019, negli endcap di CMS verranno installati dei nuovi rivelatori a gas, le GEM (*Gas Electron Multiplier*) nella prima stazione (GE1/1) coprendo la regione $1.55 < |\eta| < 2.1$ con lo scopo di diminuire la quantità di fondo del trigger mantenendo allo stesso tempo un'alta efficienza per il trigger dei muoni con basso momento trasverso. In questo contesto, il mio lavoro ha riguardato lo studio di efficienze e del tasso del fondo considerando la combinazione delle *Cathode Strip Chambers* (CSC) e delle GEM al fine di migliorare la risoluzione della componente trasversa del momento tenendo sotto controllo la *rate* del background. In questo studio, considero un possibile scenario del 2023 in cui si vorrebbero montare altre due stazioni di GEM e due stazioni di RPC. La prima stazione GEM, ME0, sarebbe installata davanti alla prima stazione delle CSC coprendo la regione da alto η ($[1.9, 2.8]$), la seconda, GE2/1, sarebbe montata in corrispondenza della seconda stazione estendendo la copertura offerta da GE1/1 fino a $\eta = 2.5$ ($[1.55, 2.5]$). La stazione ME0, sfruttando l'alta risoluzione temporale delle GEM, potrebbe essere utile a migliorare il trigger nella regione dell'endcap, mentre la stazione GE2/1, aggiungendo altri due punti nella ricostruzione del muone, aumenterebbe il braccio e quindi la stima del calcolo del momento trasverso. In figura 5 si possono osservare le efficienze di identificazione dei muoni usando

ME0 e la risoluzione della misura del rapporto $\frac{q}{p_T}$ (carica su momento trasverso) per vari scenari relativi alla geometria delle camere GE2/1 e scenari di inefficienza delle camere CSC nella seconda stazione dell'endcap (ME2/1).

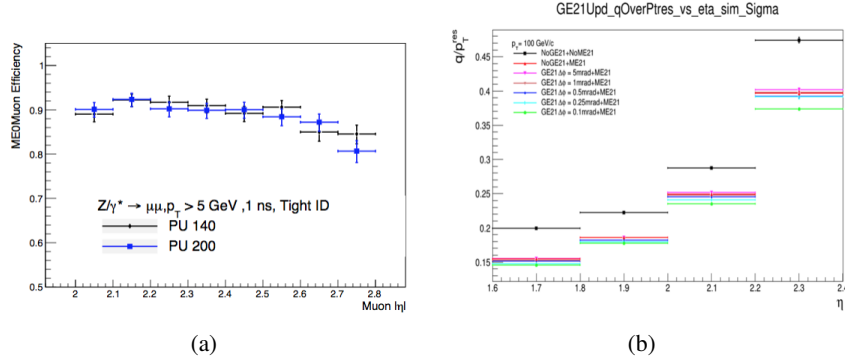


Figura 5: (a) Efficienza di identificazione dei muoni nella regione di pseudorapidità sottesa dalla stazione ME0, (b) risoluzione del $\frac{q}{p_T}$ nella regione sottesa dalla stazione GE2/1 per vari scenari geometrici.

2 Studi futuri

Obiettivo del prossimo anno sarà quello di estendere l'analisi all'intero dataset del 2016 in modo da poter estrapolare i limiti finali in previsione delle conferenze invernali. In parallelo continuerò ad occuparmi di Fisica BSM iniziando lo studio dei *displaced muons* cioè muoni, prodotti lontano dal vertice primario di interazione, da particelle esotiche con un lungo tempo di vita medio. Infatti possibili conferme alle SuperSimmetrie (SUSY) o alle WED possono provenire dalla scoperta di queste particelle massime stabili che decadono in nano o pico secondi.

3 Scuole

- *XXVIII Scuola di Otranto*, 04-11 Giugno 2016, INFN e Dipartimento di Fisica di Bari, Otranto (Italy).

4 CMS Analysis Notes

- “*Search for High-Mass Resonances Decaying to Muon Pairs in pp Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with 2016 data.*” The Zprime-dileptons Group, CMS AN-2016/197

5 Insegnamento

5.1 Corsi seguiti durante il Primo Anno di Dottorato

In tabella 1, l'elenco dei corsi che ho seguito durante il Primo Anno con il relativo numero di crediti. Il numero di corsi da conseguire è pari a 16.

Nome	Corsi seguiti	
	Crediti	Esati
Management and knowledge of European research model and promotion of research results	2	Superato
How to prepare a technical speech in English	2	Superato
Python course	2	Superato
Standard model and beyond	2	Superato
Experimental Data Analysis and Comparisons to Theoretical Models	2	consegnato
Innovative Particle detectors	2	Superato
Fundamentals in advanced programming	4	consegnato
Gaseous Detectors	2	(15/12/2016)

Tabella 1: Elenco dei corsi seguiti.

5.2 Corsi tenuti

Durante il Primo Anno, ho svolto esercitazioni di Fisica I, in collaborazione con il Prof. Giorgio Pietro Maggi, presso le facoltà di Ingegneria Edile ed Edile-Architettura del Politecnico di Bari per un totale di 40 ore.

6 Pubblicazioni

1. **“Physics Studies for the CMS muon system upgrade with triple-GEM detectors”**
NIMA, Volume 824, 11 Luglio 2016, Pagine 521-525
2. **“Fiber Bragg Grating (FBG) sensors as flatness and mechanical stretching sensors”**
NIMA, Volume 824, 11 Luglio 2016, Pagine 493-495
3. **“Development and performance of triple-gem detectors for the upgrade of the muon system of the CMS experiment”**
Nuovo Cimento della Società Italiana di Fisica C, Volume 39, Issue 1, Gennaio-Febbraio 2016.
4. **“Impact of the GE1/1 upgrade on CMS muon system performance”**
Nuovo Cimento della Società Italiana di Fisica C, Volume 39, Issue 1, Gennaio-Febbraio 2016.

5. **“Design of a constant fraction discriminator for the VFAT3 front-end ASIC of the CMS GEM detector”**
Journal of Instrumentation, Volume 11, Issue 1, 14 Gennaio 2016
6. **“Physics motivations and expected performance of the CMS muon system upgrade with triple-GEM detectors”** [CMS Collaboration].
The European Physical Society Conference on High Energy Physics - Vienna
22-29 July 2015