



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea in Fisica

Tesi di Laurea

Proprietà dei candidati Muoni del Trigger L1 di CMS

Relatore

Prof./Dr. Nome Cognome

Correlatore

Prof./Dr. Nome Cognome

Laureando

Francesco La Rovere

Anno Accademico 2023/2024



# Indice

<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>1 Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2 Il progetto LHC:</b>	<b>3</b>
2.1 Large Hadron Collider . . . . .	3
2.2 Compact Muon Solenoid . . . . .	3



# Abstract

Dalla primavera del 2024 a CMS e' in produzione un sistema per acquisire a 40 MHz (ovvero senza filtro di trigger) i dati relativi ad i candidati oggetti fisici ricostruiti dal sistema di trigger di primo livello; tale sistema e' indicato come L1 Trigger Data Scouting, L1DS. In particolare il L1DS raccoglie le informazioni dai vari passaggi della catena logica dedicata alla identificazione e misura dei muoni, sono in particolare a disposizioni i "segmenti" individuati da ciascuna stazione dello spettrometro e le tracce ottenute a partire da questi. Lo studio che si propone in questa tesi verte sull'analisi di questi dati, con l'obbiettivo di caratterizzarne le proprietà. Appurato che le performance siano compatibili con quanto atteso (sulla base del confronto con i dati sintetici prodotti con simulazioni Monte Carlo), si utilizzeranno questi dati per cercare tracce con uno sviluppo temporale piu' lungo dello standard (in particolare sviluppandosi su piu' "bunch crossing") al fine di mettere le basi per la ricerca di particelle esotiche "lente" ovvero prodotte con  $\beta$  non vicino ad 1.



# Capitolo 1

## Introduzione





## Capitolo 2

# Il progetto LHC:

### 2.1 Large Hadron Collider

Formato da un anello di circonferenza pari a 27 km, il Large Hadron Collider (LHC), situato al CERN a Ginevra, Svizzera, è il più grande acceleratore di particelle mai costruito, disegnato con lo scopo di studiare collisioni tra protoni con un'energia nel centro di massa  $\sqrt{s} = 13.6$  TeV e una luminosità istantanea nominale  $\mathcal{L} = 2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , corrispondente ad un rate di interazioni tra protoni di 40MHz, ovvero una collisione ogni 25ns. L'intervallo temporale tra le collisioni è chiamato *bunch crossing*, BX, ed è una unità di misura standardizzata: 1 BX = 25ns.

All'interno dell'LHC pacchetti, formati da  $1.1 \times 10^{11}$  protoni, circolano in due condotti differenti in direzioni opposte e collidono in quattro punti di interazione (IP) dove sono presenti i principali rivelatori dell'LHC: ATLAS (IP1), Alice (IP2), CMS (IP5) e LHCb (IP8), come mostrato in Figura 2.1

I protoni subiscono una serie di fasi di accelerazione prima di essere immessi nell'LHC [2]: una prima fase di accelerazione fino a 50MeV ad opera di un acceleratore lineare Linac, poi vengono accelerati fino a 1.4GeV dal Proton Synchrotron Booster (PSB), quindi a 28GeV dal Proton Synchrotron (PS) e infine dal Super Proton Synchrotron (SPS) a 450GeV. A questo punto i protoni sono iniettati nell'LHC dove verranno accelerati fino a 7 TeV, collidendo frontalmente nei punti di interazione con una energia nel centro di massa  $\sqrt{s} \approx 14\text{TeV}$ .

L'LHC alterna periodi di fasi di attività e di raccolta dati (Run) con fasi di arresto in cui vengono effettuate opere di upgrade e di manutenzione. Tra la Run 1, iniziata nel 2009 e finita nel 2013, e la Run 2, tra 2015 e 2018, il sistema di trigger Level-1 (L1T) del CMS ha subito importanti miglioramenti (*Phase 1*) rimpiazzando e potenziando hardware, elettronica e software del trigger permettendo, durante la Run 2, un incremento dell'energia di collisione protone protone nel centro di massa da 8 a 14 TeV [4]. E' in programma nel 2025 un ulteriore upgrade dell'LHC (*Phase 2*) che porterà un incremento della luminosità istantanea fino a  $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , aumentando quindi il numero di collisioni medio per BX da 50 a 140 [1]. In contemporanea, al fine di sfruttare appieno l'incremento della luminosità dell'LHC della Phase 2 (noto come *HL-LHC*, High Luminosity LHC), è previsto un upgrade anche del sistema di detector del CMS, ed in particolare sul sistema di trigger L1, di cui parleremo nelle prossime sezioni.

### 2.2 Compact Muon Solenoid

Il rivelatore CMS è formato da un corpo cilindrico di 15 m di diametro e 21.6 m di lunghezza, per un peso di circa 14.000 tonnellate [3]. Locato nel punto di interazione IP5 in Cessy, Francia, il programma di fisica del CMS comprende vari ambiti nella fisica delle alte energie: dopo la scoperta del bosone di Higgs, nel 2012 e delle sue validazioni sperimentali compatibili con il modello standard (SM), lo studio di particelle esotiche e supersimmetriche sono di fondamentale importanza al CMS per la ricerca di

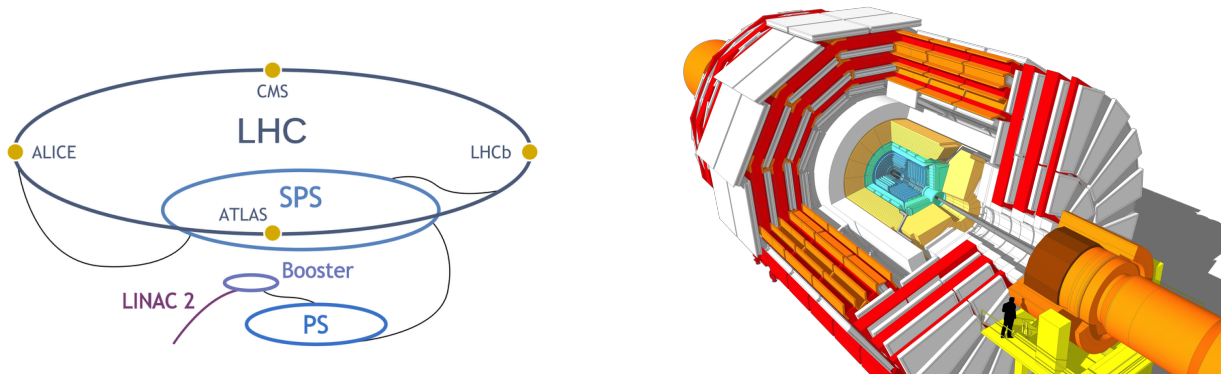


Figura 2.1: Struttura dell'LHC e dei suoi rivelatori nei punti di interazione (sinistra), CMS (destra)

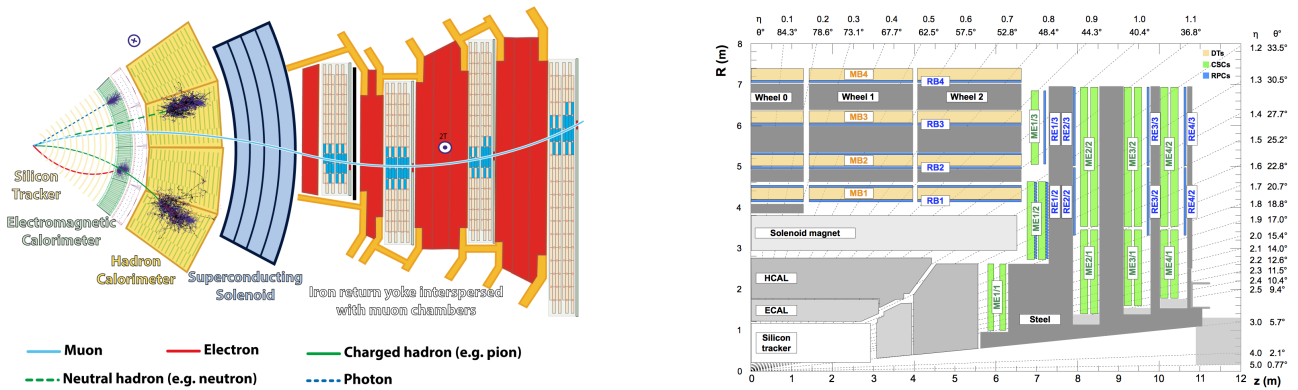


Figura 2.2: Settore di CMS comprendente tutte le componenti (sinistra), vista nella variabile  $\eta$  di CMS

Nuova Fisica, ovvero eventi non predetti dalle attuali teorie. Al fine di identificare questi eventi è necessario un sistema di trigger molto performante [4] e a questo scopo in gioco il nuovo sistema di trigger che verrà implementato nella *Phase 2*, che permetterà quindi di osservare fenomeni esotici con una risoluzione migliore (assieme ad un nuovo sistema di analisi dati, *Data Scouting*, di cui discuteremo maggiormente dopo aver introdotto il sistema di trigger del CMS (??))

Di seguito una panoramica della struttura del CMS, dalle componenti più interne fino a quelle più esterne [3](Figura 2.1):

- **Silicon Strip Tracker (SST):** Esegue una ricostruzione delle tracce e misurazione del momento trasverso di particelle originate da processi di interazione.
- **Electromagnetic Calorimeter (ECAL):** Misure di energia di fotoni ed elettroni vengono eseguite grazie al tungstato di piombo ( $\text{PbWO}_4$ ), materiale scintillante di cui è costituito l'ECAL.
- **Hadronic Calorimeter (HCAL):** Permette la misurazione delle energie degli adroni grazie al fenomeno della *cascata adronica*, indotta dai materiali di cui è costituito l'HCAL e rivelata da materiali scintillatori plastici.
- **Solenioide superconduttore:** Formato dal superconduttore Niobio-Titanio (NbTi), produce un campo magnetico di intensità 3.8T nel nucleo. Un campo magnetico così elevato è fondamentale per permettere la curvatura di particelle cariche prodotte dalle collisioni, la cui rivelazione di tale curvatura permette di risalire a momento e carica delle stesse.
- **Camere muoniche:**

# Bibliografia

- [1] CMS Collaboration. The phase-2 upgrade of the cms data acquisition and high level trigger. Technical report, 2021.
- [2] Lyndon Evans and Philip Bryant. Lhc machine. *Journal of instrumentation*, 3(08):S08001, 2008.
- [3] Nicolò Lai. Anomaly detection on trigger-less muon data streams. 2023.
- [4] Albert M Sirunyan, Armen Tumasyan, Wolfgang Adam, Federico Ambroggi, Bernhard Arnold, Herbert Bergauer, Thomas Bergauer, Marko Dragicevic, J Ero, A Escalante Del Valle, et al. Performance of the cms level-1 trigger in proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=13$  tev. *Journal of Instrumentation*, 15(10), 2020.