

106° Congresso Nazionale
Società italiana di Fisica
14 – 18 settembre 2020

Upgrade del sistema a muoni dell'esperimento CMS

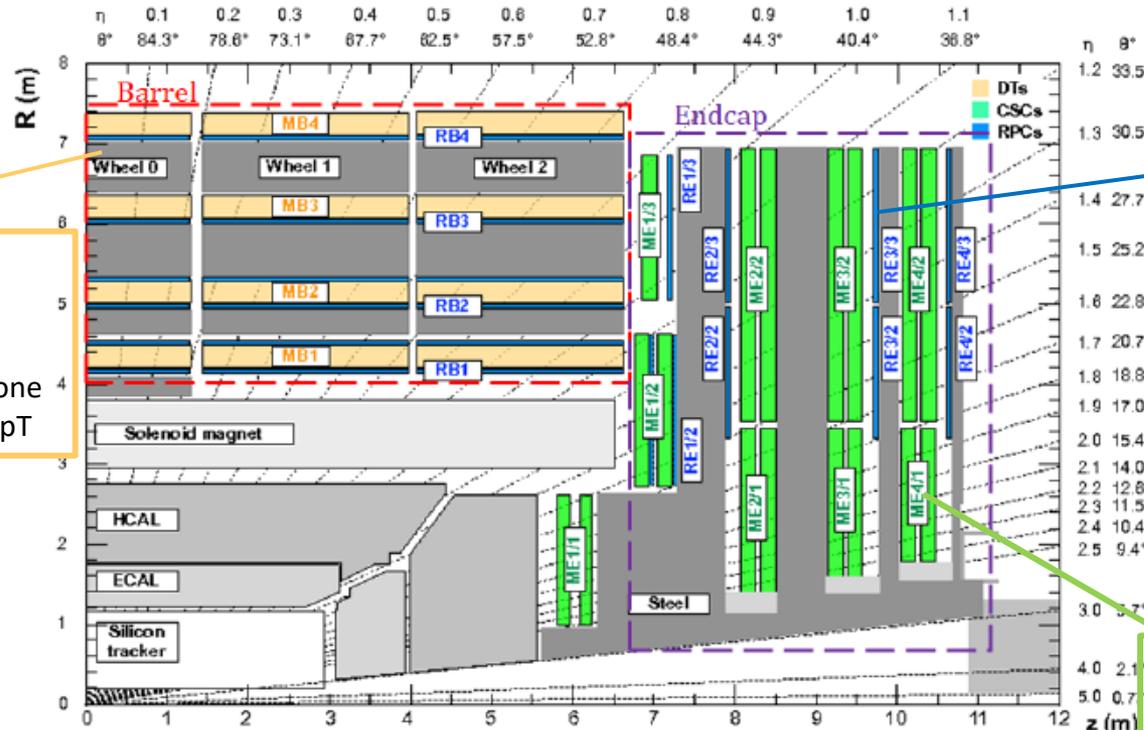
Anna Stamerra

Università di Bari

INFN, Sezione di Bari

L'attuale sistema a muoni dell'esperimento CMS

- Fa uso di 3 diverse tecnologie di rivelazione a gas garantendo **copertura** e **ridondanza** nel **barrel** e negli **endcap**.
- Ha mostrato eccellenti performance nel **trigger**, **identificazione** e **ricostruzione** dei muoni.



DT (Drift Tube)

- $|\eta| < 1.2$ (barrel)
- Veloci → trigger
- Precise → ricostruzione di traccia, misure di pT

RPC (Resistive Plate Chamber)

- $|\eta| < 1.9$ (barrel + endcap)
- Veloci → trigger, identificazione di BX

CSC (Cathode Strip Chamber)

- $0.9 < |\eta| < 1.9$ (endcap)
- Veloci → trigger
- Precise → ricostruzione di traccia, misure di pT
- Alta rate capability

- ✓ Accettanza: $|\eta| < 2.4$
- ✓ Ridondanza
- ✓ Efficiente ricostruzione di muoni
- ✓ Solido sistema di trigger

La fase ad alta luminosità a LHC (HL-LHC)

	LHC	HL-LHC
Lum. istantanea ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	10^{34}	$5 \cdot 10^{34}$ ($7.5 \cdot 10^{34}$)
Lum. integrata (fb^{-1})	300	3000 (4000)
Pile up	30	140 (200)

Peggiora prestazioni a
breve termine sui
rivelatori

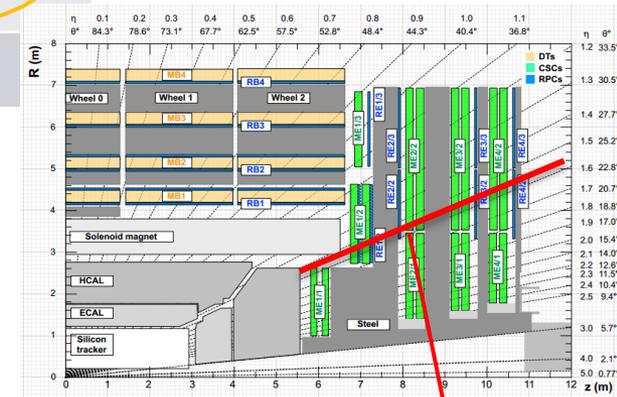
Peggiora prestazioni a
lungo termine sui
rivelatori

Peggiori condizioni di lavoro (più alta **carica integrata** e **rate di background**)

Upgrade del sistema a muoni di CMS

- Miglioramento della attuale elettronica per sostenere **alte rate** e limitare i **danni da radiazione**

- Nuovi rivelatori nella regione **$|\eta| > 1.6$** (**GEM** e **iRPC**)
per aumentare **accettanza, risoluzione e ridondanza**



OBIETTIVO: mantenere le stesse performance di trigger, identificazione e ricostruzione ottenute a LHC

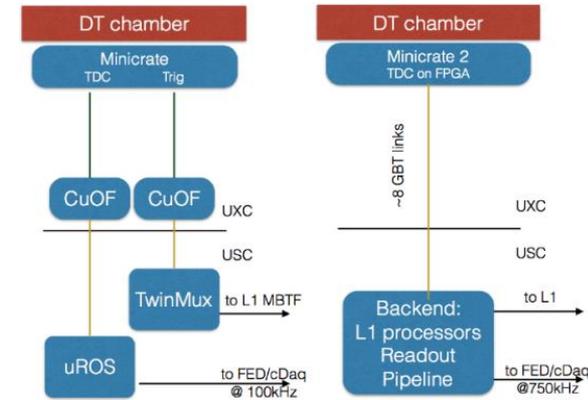
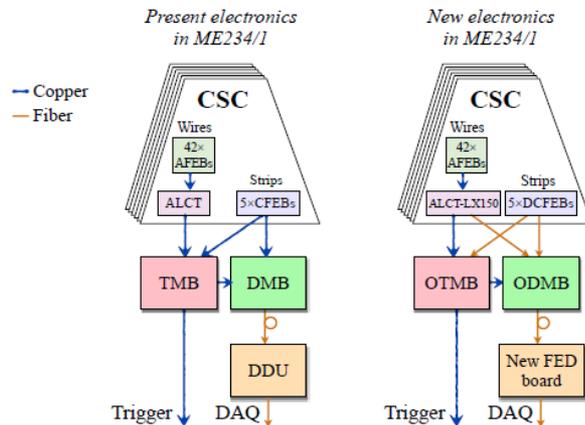
Upgrade del sistema a muoni di CMS

- **Drift Tubes (LS3, 2025-2027):**

- Nuova elettronica di readout **OBDT** (On Board electronics for Drift Tubes)
- Sistema di trigger per la combinazione delle primitive delle DT con RPC spostato al di fuori della caverna dell'esperimento

- **Cathode Strip Chamber (LS2, 2019-2021
LS3, 2025-2027)**

- Nuovi componenti **On-Chambers**, più veloci e per aumentare la memoria
- Testata nuova miscela ecologica
 - **Ar/CO₂/CF₄ → Ar/CO₂/HFO** senza perdita significativa delle prestazioni



- **Resistive Plate Chamber (LS3, 2025-2027)**

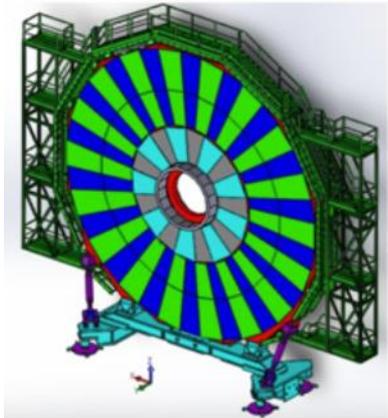
- Componenti elettronici obsoleti sostituiti con FPGA
- Upgrade del **link system** per sfruttare l'elevata risoluzione temporale intrinseca degli RPC
- Nuovo sistema di **ricircolo** e **recupero** del gas per limitare le emissioni di gas serra.

Upgrade del sistema a muoni di CMS

- **iRPC (improved RPC)**

Occuparanno le stazioni **RE3/1** e **RE4/1**

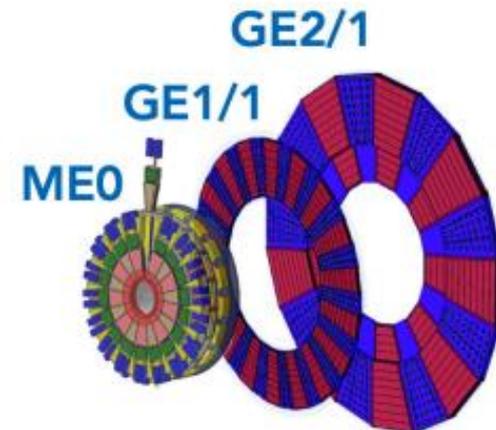
- 72 nuovi rivelatori RPC di forma **trapezoidale**
- Ciascuna camera copre 20° nella coordinata φ
- Copertura nella regione $1.9 < \eta < 2.4$



- **GEM (Gas Electron Multiplier)**

Occuparanno le stazioni **GE1/1**, **GE2/1** e **ME0**

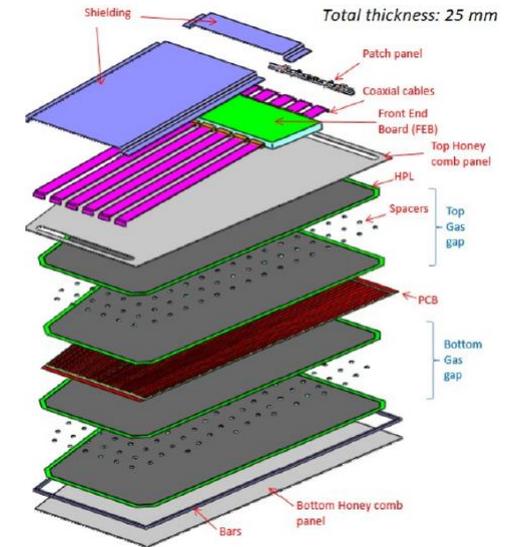
- Forma **trapezoidale**, più strati disposti a formare una **super-camera**
- Sistema di rivelatori a GEM più grande mai costruito
- Copertura complessiva nella regione $1.55 < \eta < 2.8$ e totale nella coordinata φ



Il progetto iRPC nella regione ad alta η

Motivazioni

- Aumento del **numero di hit di muoni**, migliorando la misura del momento combinando i dati da CSC
- Aumento della **risoluzione temporale** e **spaziale**, per migliorare la reiezione del background e risolvere l'ambiguità per tracce multiple
- Migliore **efficienza** nel riconoscere e scartare tracce a basso pT, che saturano la rate di trigger



Nuovo design

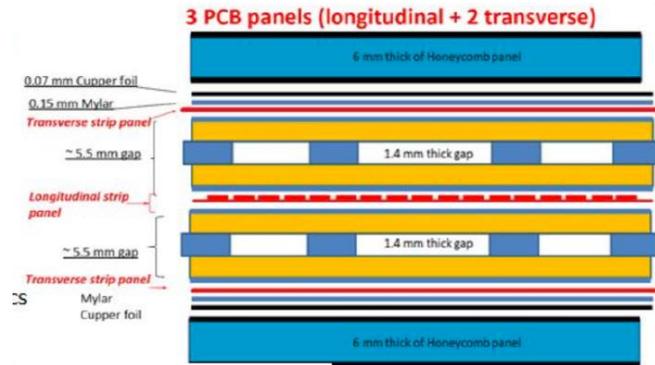
- Ridotto spessore degli elettrodi (2 mm \rightarrow 1.4 mm)
 - Riduzione del recovery time
 - Aumento dell'efficienza di estrazione della carica
 - Riduzione della probabilità di scarica
 - Possibilità di lavorare a tensioni più basse
- Ridotta resistività degli elettrodi
- Rate capability aumentata di un fattore 3 (2 kHz/cm²)

Specification	RPC	iRPC
$ \eta $ coverage	0-1.8	1.9-2.4
Max. expected rate (safety factor 3 included)	600 Hz/cm ²	2 kHz/cm ²
Max. Integrated charge (safety factor 3 included)	~ 0.8 C/cm ²	~ 1 C/cm ²
High Pressure Laminate thickness	2 mm	1.4 mm
Number and thickness of gas gap	2 and 2 mm	2 and 1.4 mm
Resistivity (Ω cm)	$1 - 6 \times 10^{10}$	$0.9 - 3 \times 10^{10}$
Charge threshold	150 fC	50 fC

Il progetto iRPC nella regione ad alta η

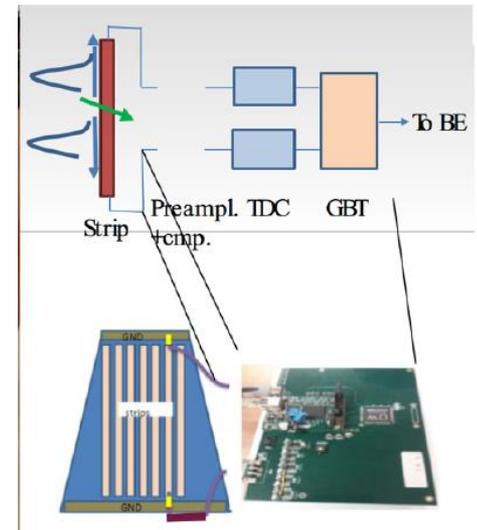
Nuova elettronica di front-end (FEB)

- Basata su ASIC a 48 strips apposta per CMS su PCB
- Strip lette da entrambe le estremità per misura della coordinata lungo la strip (**readout 2D**)
- 3 PCB per ogni camera, con strip ortogonali tra loro
- Ridotta soglia in carica (50 fC) per compensare operazioni a più basso guadagno



Sistema del gas: la miscela di gas fa uso del gas serra $C_2H_2F_4$

- Necessario a garantire la stabilità operativa
- Necessarie soluzioni per limitarne l'emissione
 - **Sistema di ricircolo** per usare una piccola frazione di gas «fresco»
 - **Sistema di recupero** per recuperare i gas serra dai gas di scarico



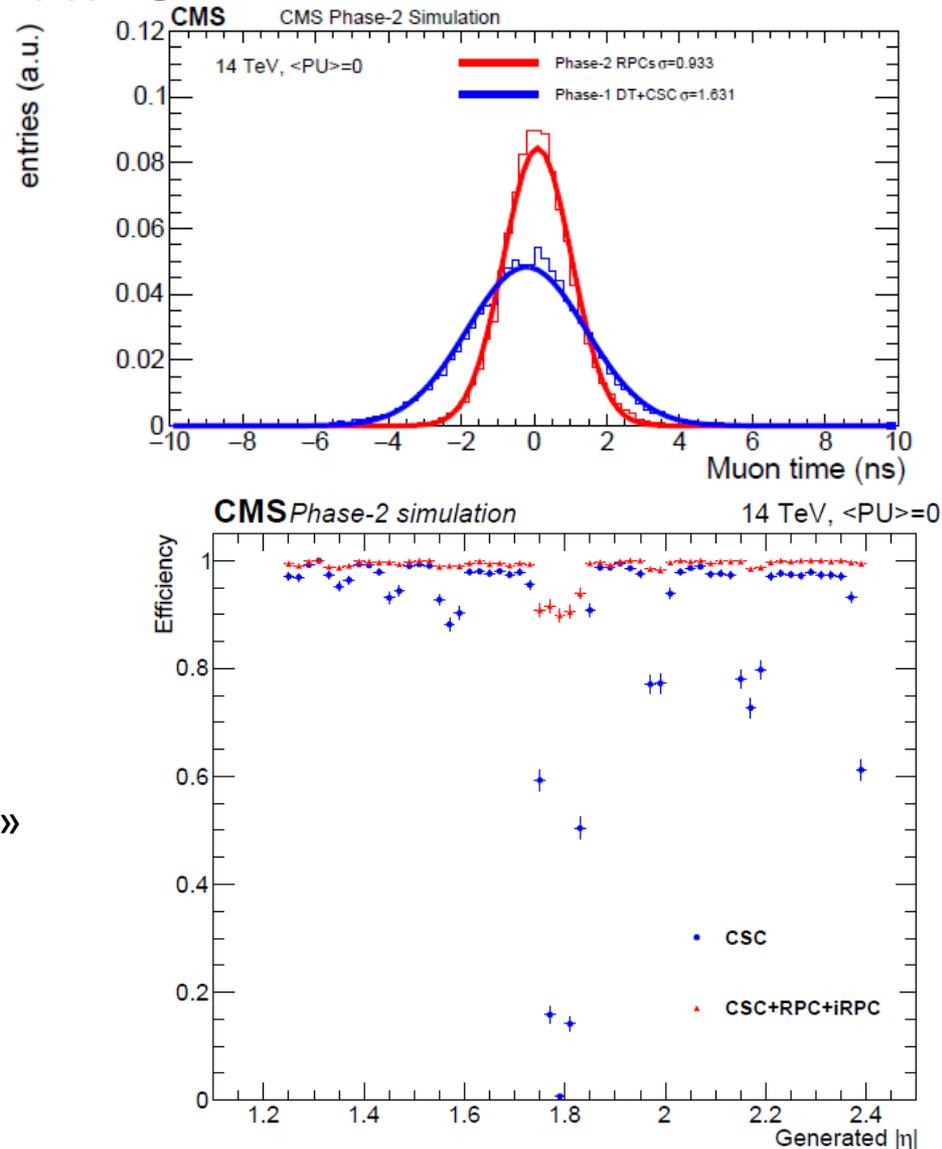
Impatto sul trigger di livello 1 degli upgrade sugli RPC

Nuovo link system permette misure più affidabili → sfruttando le eccellenti proprietà temporali degli RPC

- Frequenza di campionamento da 40 MHz a **640 MHz** → risoluzione temporale da 25 ns a **1.56 ns**

Nuove stazioni iRPC per combinare le informazioni provenienti da CSC + iRPC →

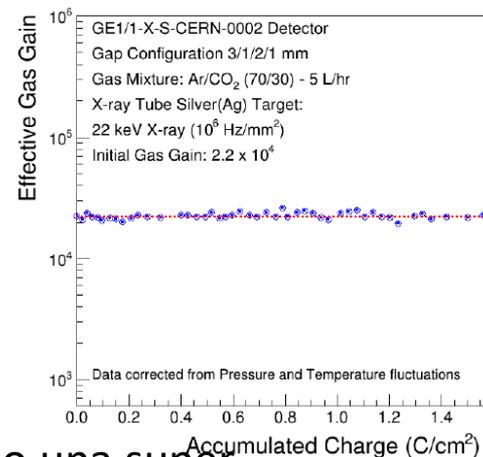
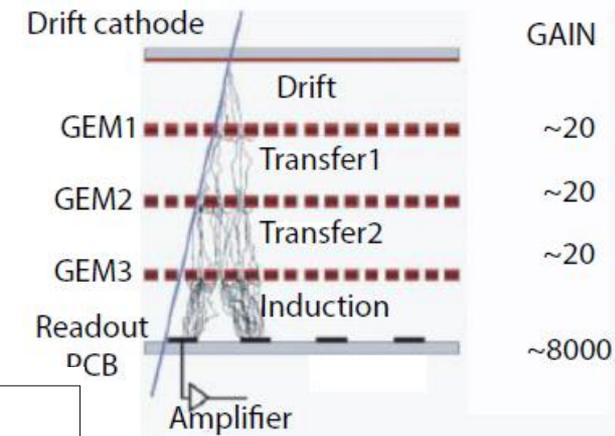
- Trigger più efficiente
- Minore rate grazie alla riduzione dell'ambiguità dovuta a tracce «ghost» nelle CSC



Il progetto GEM nella regione ad alta η

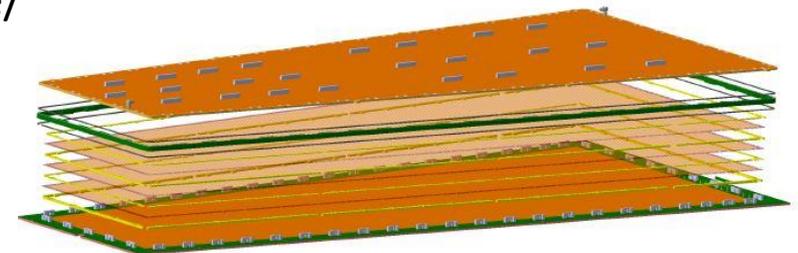
Vantaggi della tecnologia GEM:

- Alta **rate capability** (qualche MHz/cm²)
- Alta resistenza a fenomeni di ageing
 - Tecnologia validata al GIF++ con fattore di sicurezza > 5.5
- Alta risoluzione spaziale (100 μ m) e temporale (5 ns)
- Efficienza per singola camera > 97% per MIP



Stazione GE1/1

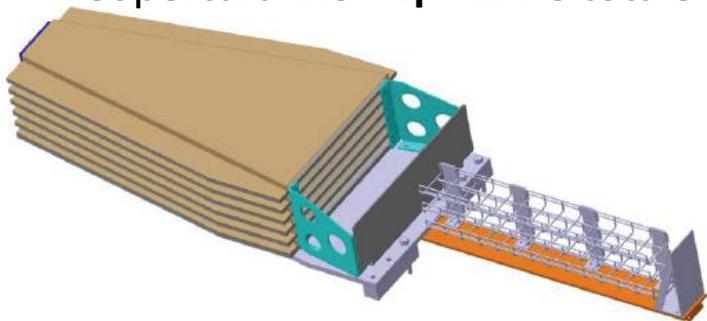
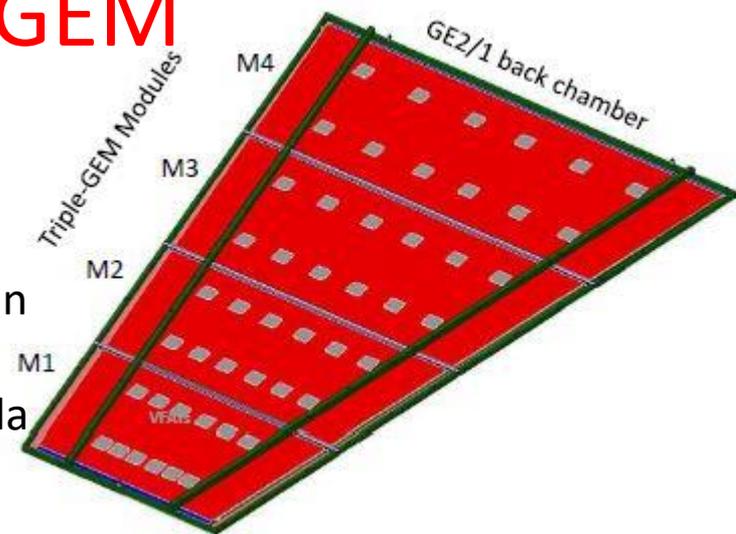
- ✓ 2 strati di rivelatori (*short* e *long*) formano una super-camera (10° in φ), per un totale di 36 super-camere/end-cap
- ✓ In totale 144 rivelatori trapezoidali a tripla GEM
- ✓ Copertura $1.55 < \eta < 2.18$ e totale sull'angolo φ
- ✓ Installazione completata nel 2020



Nuove stazioni GEM

Stazione GE2/1

- ✓ 2 strati di rivelatori formano una super-camera trapezoidale (20° in φ), per un totale di 18 super-camere/ end-cap
- ✓ Ogni camera segmentata in 4 moduli (M1 – M4), per un totale di 288 singoli moduli
- ✓ I moduli differiscono solo per le dimensioni e non per la struttura interna (tripla GEM)
- ✓ Copertura $1.6 < \eta < 2.4$ e totale sull'angolo φ



Stazione ME0

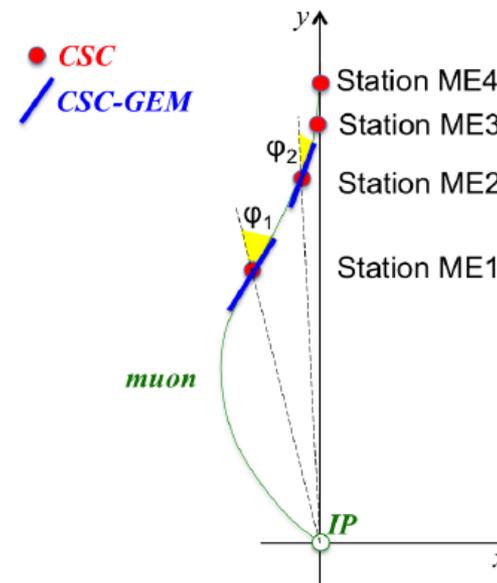
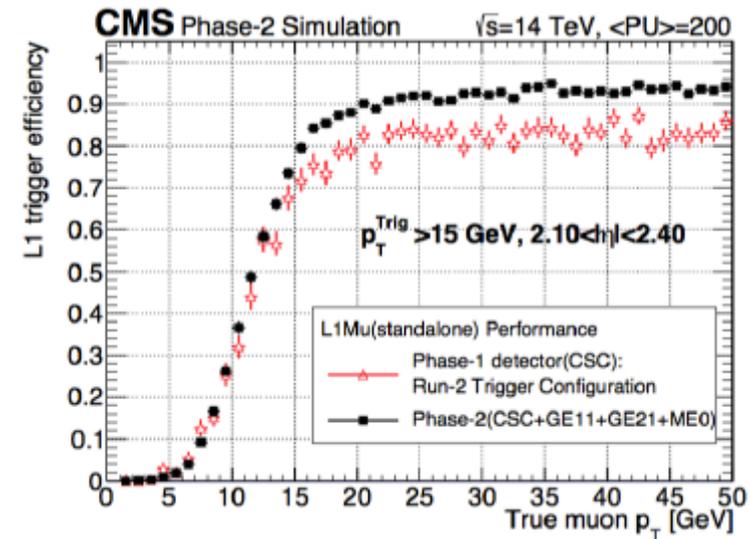
- ✓ 6 strati di rivelatori di forma trapezoidale formano uno stack (20° in φ), per un totale di 18 stack/ end-cap
- ✓ In totale 266 rivelatori a tripla GEM
- ✓ Copertura $2 < \eta < 2.8$

Elettronica e sistema di acquisizione

- Readout divisi in partizioni (verso η) e in strip (verso φ) raccolte in gruppi di 128
- Front-end ottimizzato con circuiti di protezione (VFAT3 hybrid) per operazioni stabili alle rate attese
- Dati inviati a FPGA (GEB + OH), processati, compressi e trasferiti ai moduli off-detector

Impatto sul trigger di livello 1 delle nuove stazioni GEM

- Significativo aumento dell'**efficienza** nella ricostruzione «standalone» dei muoni → da 80% a 90% nel plateau con l'introduzione delle nuove stazioni
- Combinazione delle informazioni di CSC e GEM per formare «**super-primitive**»
- Misura più precisa di p_T → rate del trigger L1 diminuisce di un fattore 10
 - CSC da soli forniscono segmenti corti con scarsa informazione sulla direzione
 - **CSC + GEM danno informazioni più accurate sulla direzione «locale» del muone**



Conclusioni

Lo spettrometro a muoni andrà incontro a importanti modifiche per far fronte alla fase HL-LHC

- **Modifica dei detector esistenti**

- ❑ Aggiornamento dell'elettronica per soddisfare le nuove richieste di trigger
- ❑ Studio su nuove miscele ecologiche

- **Aggiunta di nuove stazioni di rivelazione**

(GE1/1, GE2/1, ME0, RE3/1, RE4/1)

- ❑ Estensione della copertura in η
- ❑ Ridondanza
- ❑ Maggiore precisione nelle misure di pT

