



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI ALDO MORO

XXXII DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA

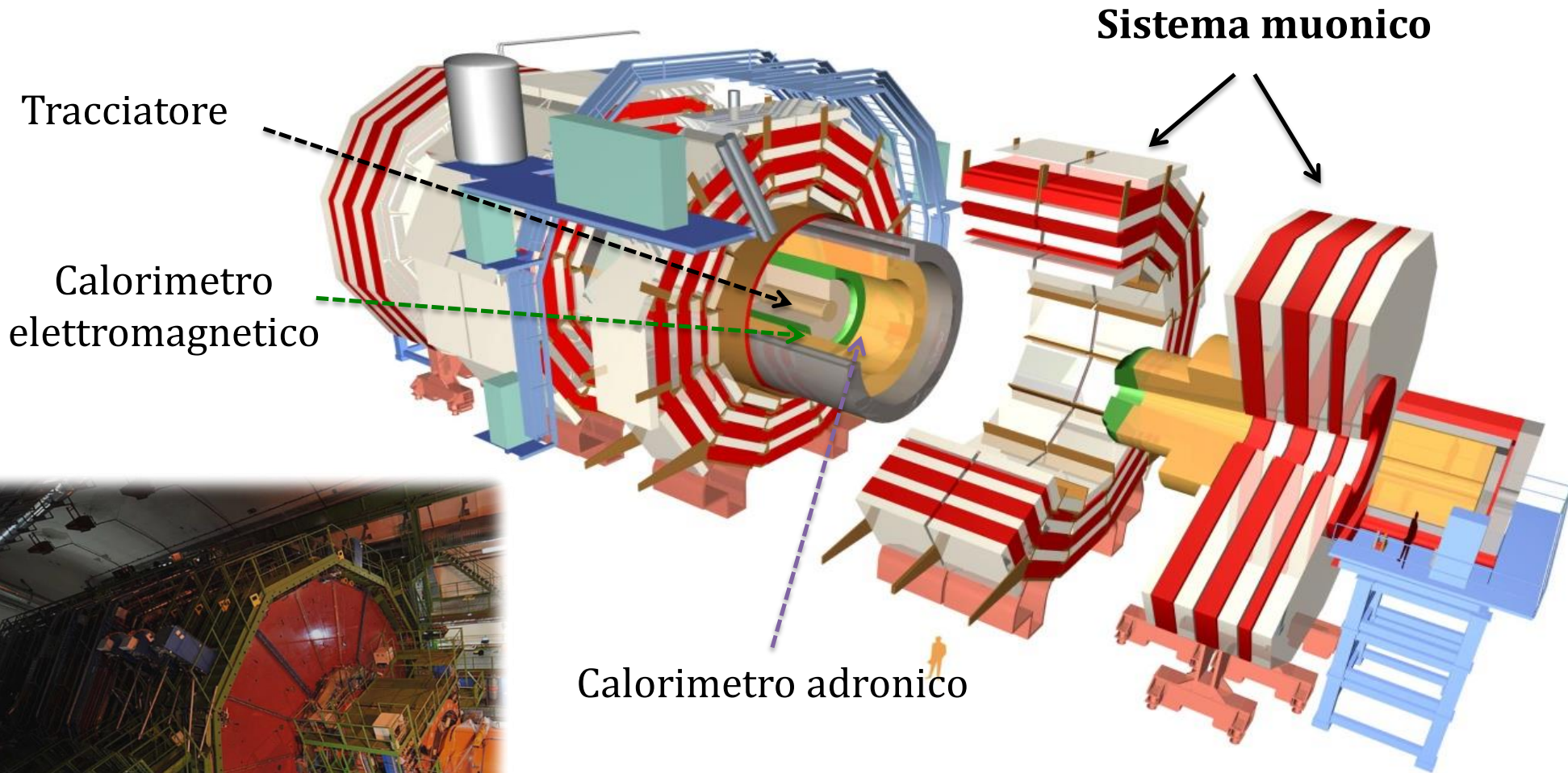
Upgrade del sistema muonico di CMS per la fase 2 di LHC

Tutor: Dr. Gabriella Pugliese

Studente: Dr Andrea Gelmi

Bari, 13 Dicembre 2016

L'esperimento CMS (Compact Muon Solenoid)



Peso: 12000 t
Lunghezza: 21.6 m
Diametro: 15 m
Campo magnetico: 3.8 T

Sistema muonico di CMS

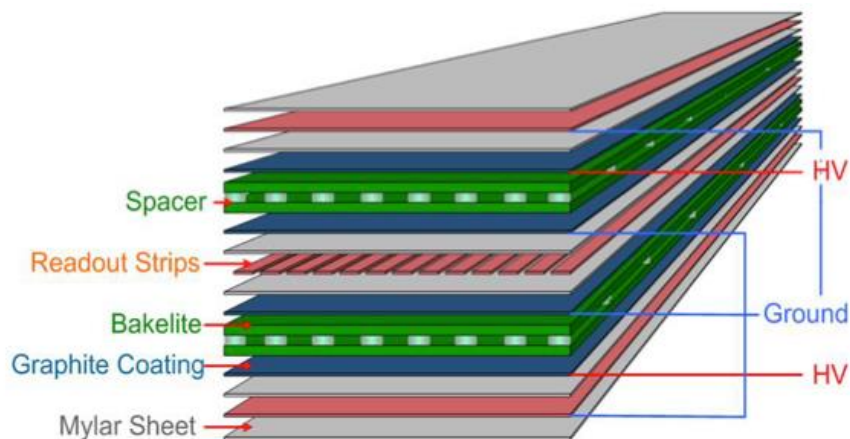
Il sistema muonico di CMS si sviluppa attorno a tre tecnologie di rivelatori a gas:

- Resistive Plate Chamber (RPC) e Tubi a Deriva (DT) nel Barrel
- RPC e Cathode Strip Chamber (CSC) nell'Endcap.

In particolare DT e CSC assicurano un'ottima risoluzione spaziale, mentre gli RPC assicurano un'ottima risoluzione temporale.

Scopi del sistema muonico:

- Identificazione dei muoni
- Misura del momento trasverso
- Identificazione del bunch crossing



SISTEMA RPC

- copertura regione $0 < |\eta| < 1.6$
- 912 camere (480 nel barrel e 432 nell'endcap)
- Configurazione doppia gaps gas: 2 mm
- Resistività bakelite : $\rho = 2-5 \times 10^{10} \Omega\text{cm}$
- Spessore strip: $2 \div 4 \text{ cm}$.
- Miscela gas: $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4 + \text{isoC}_4\text{H}_{10} + \text{SF}_6$ (40% of H)

95.2%	4.5%	0.3%
-------	------	------
- Regime avalanche mode ($\approx 25 \text{ pC}$)
- Risoluzione spaziale $\approx 1 \text{ cm}$
- Risoluzione temporale $\approx 2 \text{ ns}$

La nuova sfida da LHC ad HL-LHC

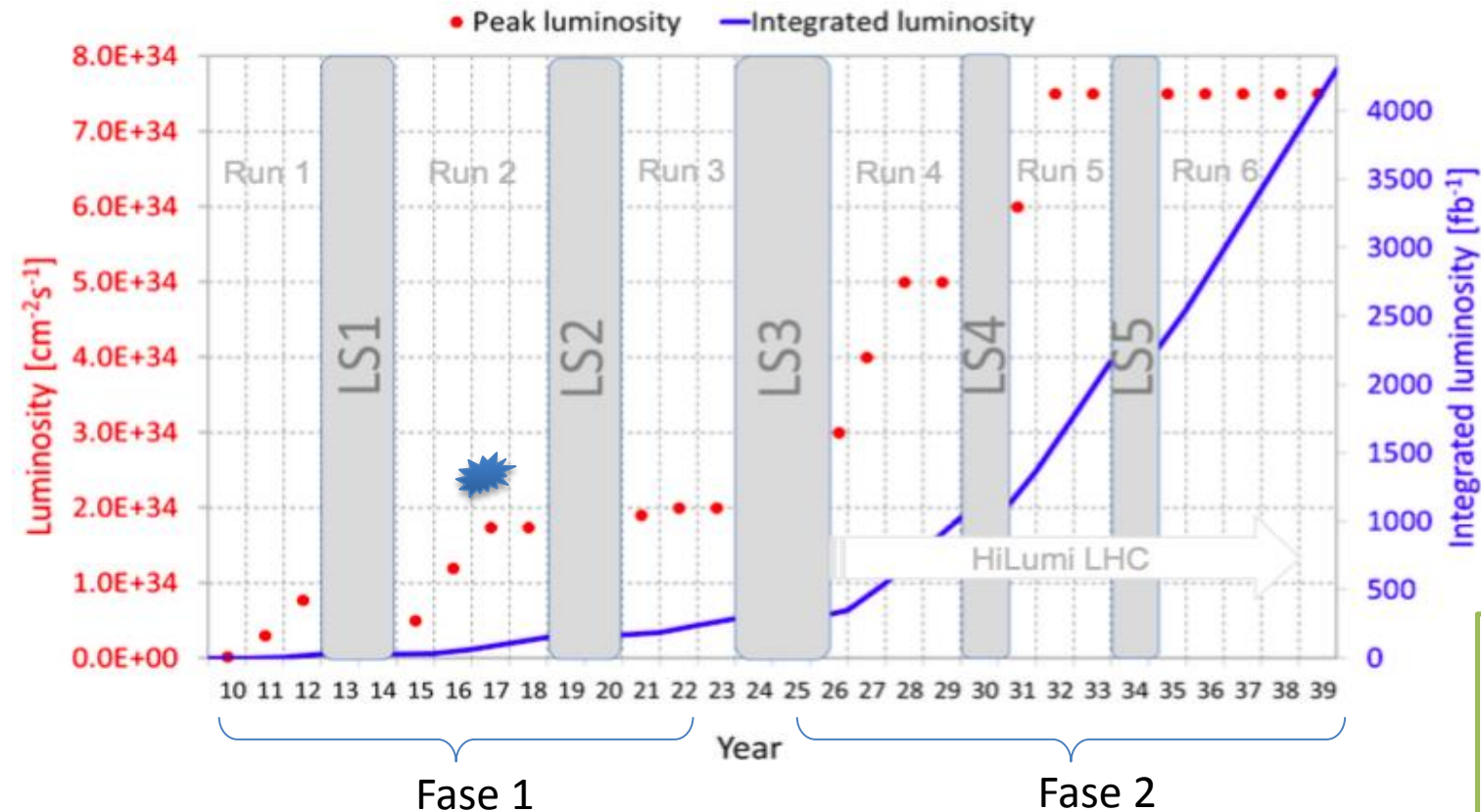
LHC:

- Luminosità istantanea = $2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Luminosità integrata = 300 fb^{-1} in 10 anni
- Energia bunch crossing $E = 7+7 = 14 \text{ TeV}$



HL-LHC:

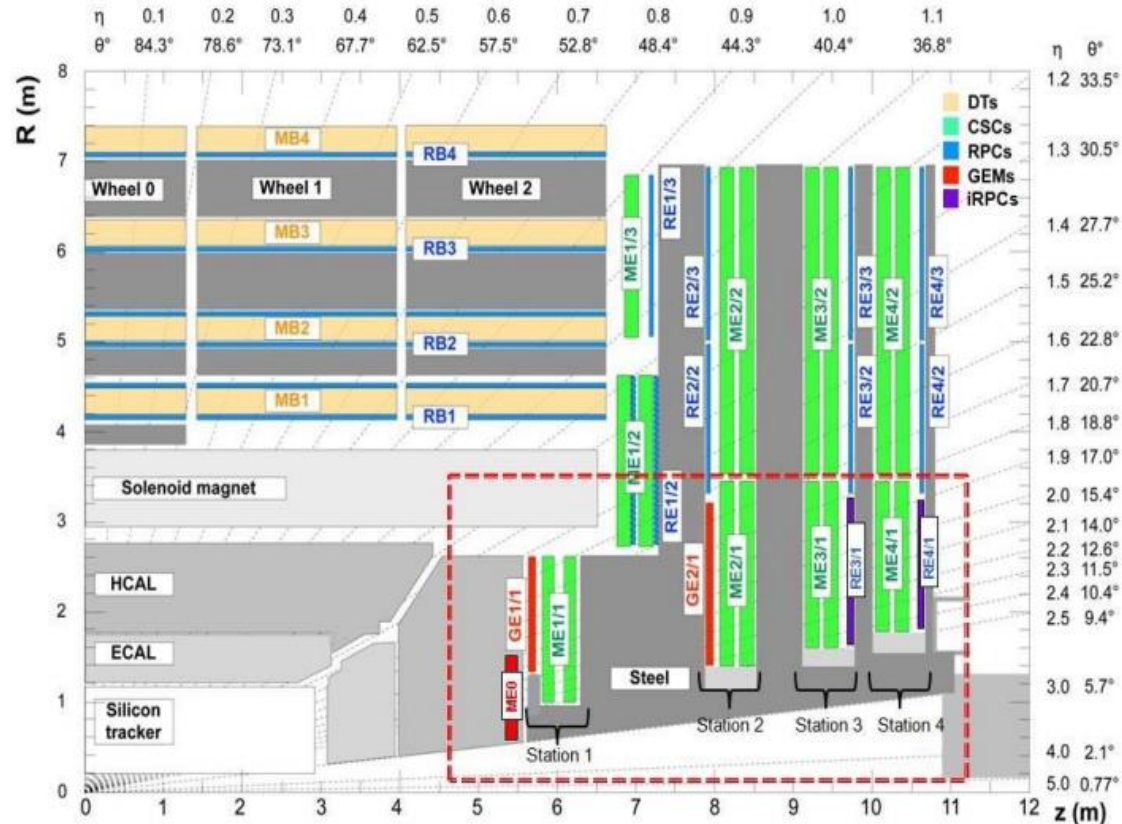
- Luminosità istantanea = $7.5 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Luminosità integrata = 4000 fb^{-1} in 10 anni
- Energia bunch crossing $E = 7+7 = 14 \text{ TeV}$



- Incremento background rate
- Incremento carica integrata

*Già a fine della fase 1 la luminosità istantanea sarà pari al doppio rispetto al valore iniziale di progetto.

Upgrade del sistema muonico per la fase 2 di LHC



1. Consolidamento del sistema attuale per il suo funzionamento nelle nuove condizioni attese ad HL-LHC
2. Completamento della copertura della camere a muoni nella regione ad alto eta.

GEM regione $1.6 < \eta < 3$

-LS2 (2019) = GE1/1

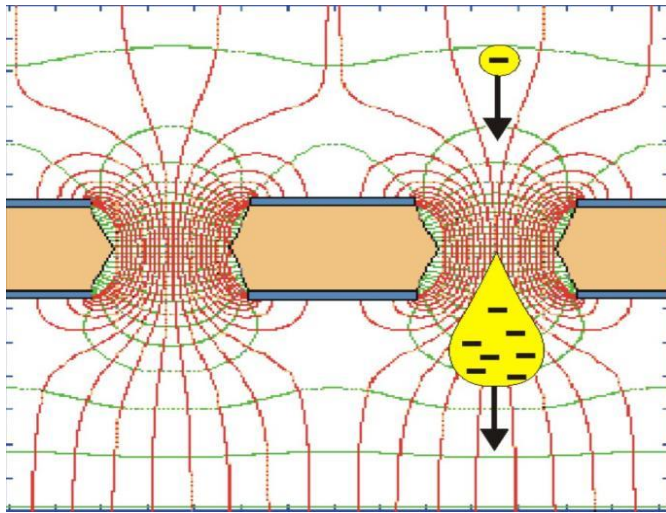
-LS3 (2023) = ME0 + GE2/1

Improved RPC (iRPC) regione $1.6 < \eta < 2.4$

RE3/1 + RE4/1 → LS3 (2023)

Gas Electron Multiplier (GEM)

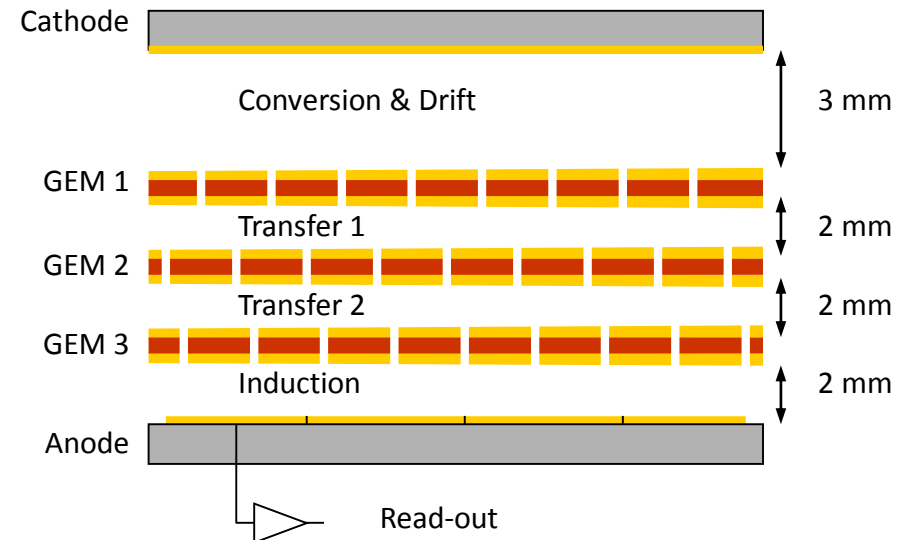
I rivelatori a GEM (**Gas Electron Multiplier**) sono rivelatori a gas. Una GEM è costituita da un sottile foglio di materiale plastico (kapton) ricoperto di Rame su entrambi i lati. Il foglio contiene tanti *piccoli fori a forma biconica* (diametro 70 μm , passo 140 μm).



Applicando una differenza di potenziale (400 V) tra le facce della GEM si crea un campo elettrico molto alto all'interno dei fori, che innesca la *moltiplicazione a valanga* degli elettroni.

Un guadagno di 10^6 si può ottenere con una **Tripla-GEM**

Un rivelatore a Tripla-GEM è composto da un *Catodo*, 3 *GEM* e un *Anodo* dove si forma il segnale.



Nuovi rivelatori iRPC

Necessità di aumentare la rate capability

Resistività degli elettrodi

Spessore elettrodi e gas-gap

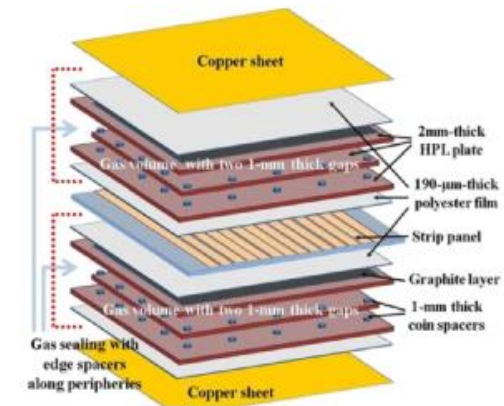
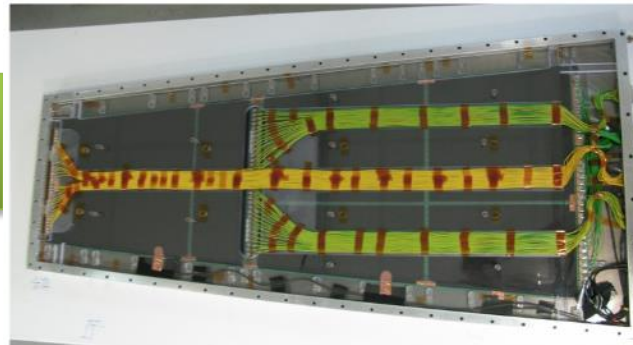
Elettronica di readout

Necessità di migliorare la risoluzione temporale e spaziale

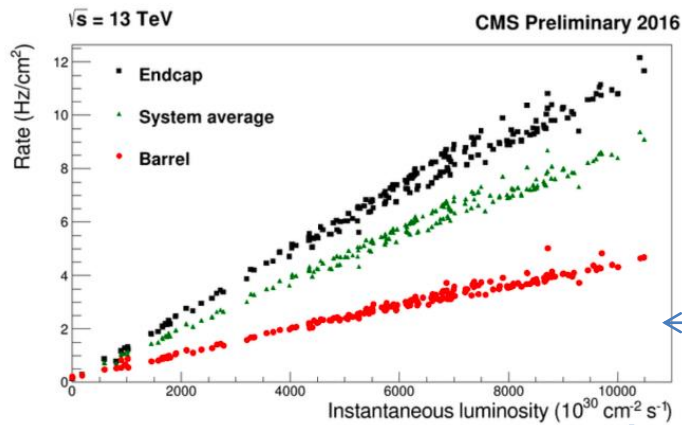
Configurazione a multi-gap

Doppia gap $t=1$ ns \rightarrow Multi-gap $t=100$ ps

Studio dell'uso di nuovi materiali come elettrodi (vetri a bassa resistività)



Condizioni di fondo attesi per la fase 2 di HL-LHC



LHC

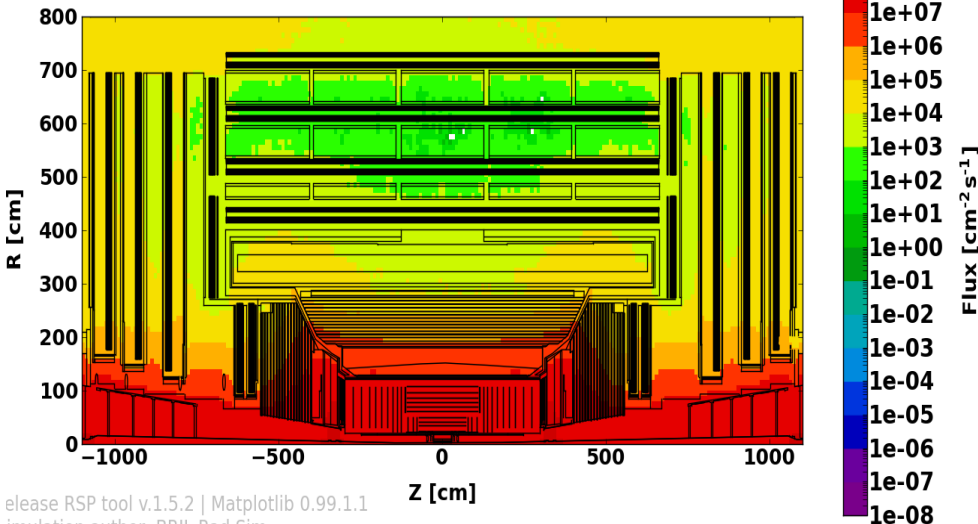
1. Consolidamento: è necessario verificare le prestazioni dei rivelatori attualmente installati in CMS nelle nuove condizioni HL-LHC.

Stima del valore del rate atteso durante la fase 2 nel sistema muonico attuale attraverso estrapolazione lineare dai dati relativi ai run precedenti.

- $R_{MAX} \approx 900 \text{ Hz}/\text{cm}^2$
- $Q_{MAX} \approx 2 \text{ C}/\text{cm}^2$


CMS pp / 13 TeV v3.0.0.0 FLUKA:
Neutrons (Full CMS & Cavern, with Phi Binning)
 $75000.0 [\mu\text{b}^{-1} \text{ s}^{-1}] \quad -3.14159 \leq \Phi \leq 3.14159$

or internal CMS use only



2. Il flusso atteso in CMS durante Phase II e' stato simulato utilizzando metodi montecarlo (Fluka). Nella regione ad alto eta risulta un fattore 10 più alto rispetto a quello del sistema attuale. È importante studiare la risposta dei nuovi rivelatori ai gamma e neutroni per stimare il **FONDO ATTESO** nella regione ad alto eta dove verranno installati i nuovi rivelatori.

Studio della sensitività dei nuovi rivelatori



Effettuerò una nuova simulazione con il software GEANT con metodi montecarlo per verificare le prestazioni dei nuovi prototipi di rivelatore e calcolarne la sensitività rispetto alle particelle che costituiscono la radiazione di fondo.


$$S = \frac{N_e}{N_\gamma}$$

N_e numero di elettroni sul gas ($e=100\%$)

N_γ numero di gamma sulla camera



Requisiti minimi
per i nuovi prototipi di rivelatori



Rate capability
 $R = \phi \times s$



Longevity
 $Q_{int_CMS} = Q_{dep} \times R \times T_{eff}$

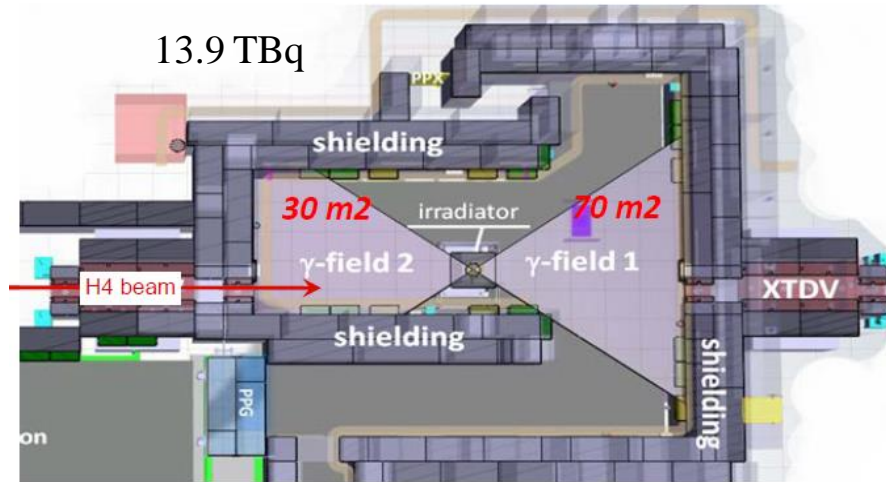
Misura sperimentale della sensitività

Gamma Irradiation Facility (GIF++)

Cs-137

Sistema di filtri per variare il flusso di fotoni

Fascio di muoni: 10^4 muoni per spills

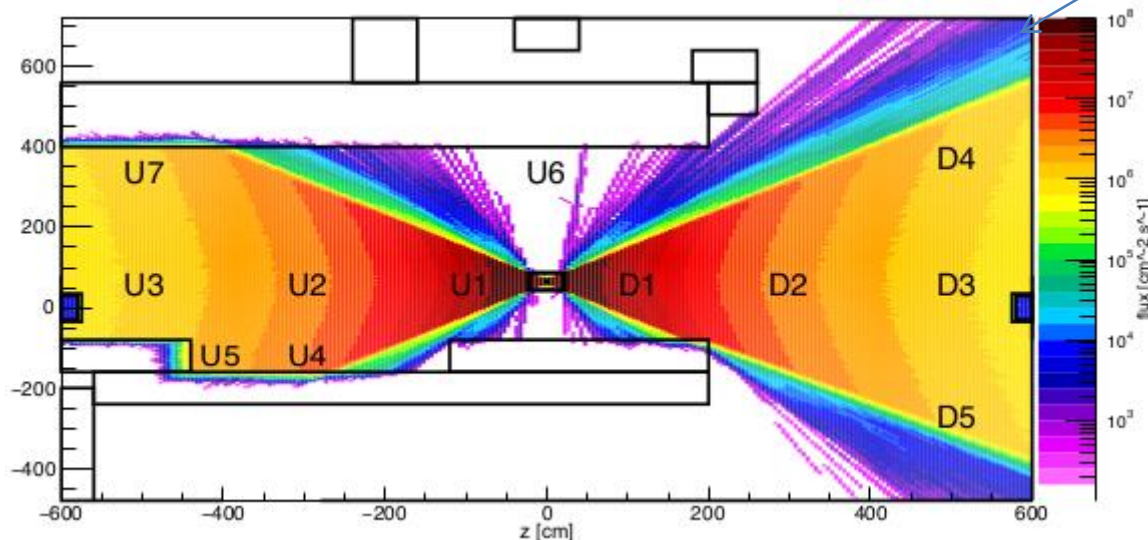


Permette di studiare le prestazioni dei rivelatori nelle condizioni di background simili a quelle attese in CMS

Simulazione con metodi montecarlo della distribuzione del flusso all'interno del bunker della GIF++

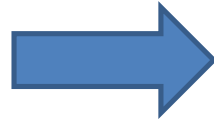
Studierò la risposta dei nuovi prototipi di rivelatore ai gamma all'interno della GIF++ effettuando una simulazione.

Il confronto dei risultati ottenuti dalla simulazione con i dati ottenuti sperimentalmente permette di validare la simulazione stessa.



Test dei nuovi rivelatori

Caratterizzazione e studio delle prestazioni dei rivelatori



STUDI DI LONGEVITÀ (studio delle prestazioni nel tempo):

Monitorerò le prestazioni dei rivelatori testati alla GIF++ in funzione della **carica integrata**, fino al raggiungimento del valore di carica integrata stimata per la fase 2.

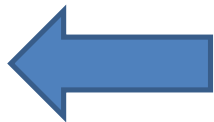
$$C_{\text{int_CMS}} = \langle q \rangle \times R \times T_{\text{eff}}$$

$$C_{\text{int_GIF++}} = \langle q \rangle \times R \times AF \times T_{\text{irr}}$$

$$T_{\text{irr}} = \frac{T_{\text{eff}}}{AF}$$

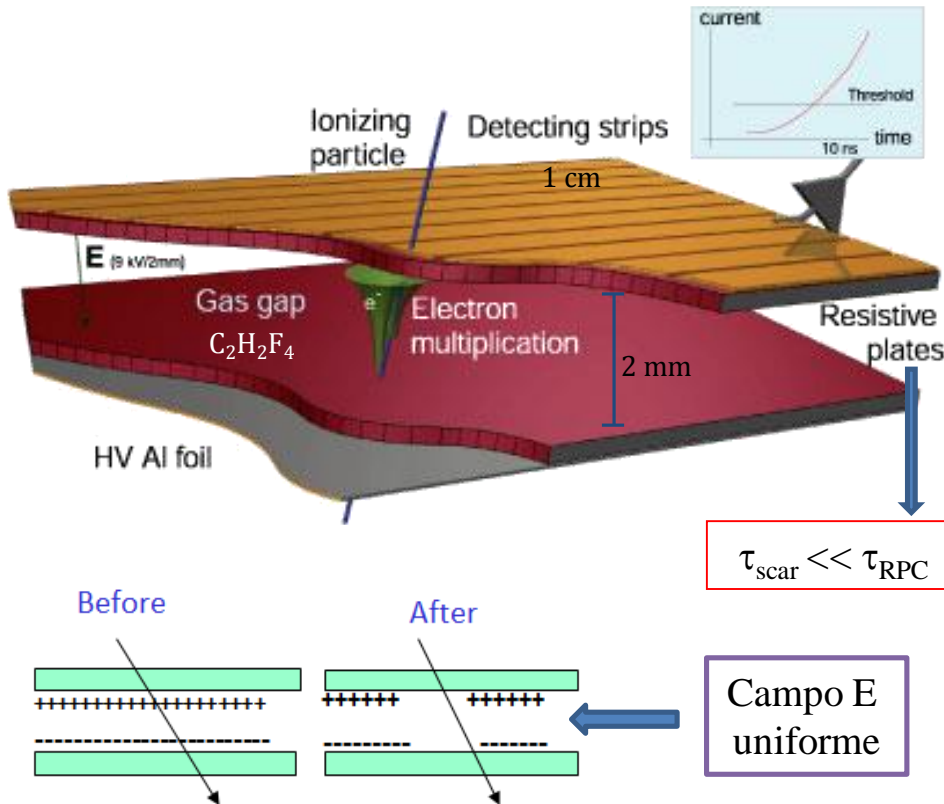
Con un fattore di accelerazione uguale a 2 (AF=2) il tempo necessario ad integrare la carica equivalente a 4000 fb^{-1} prevista al termine della fase 2 è circa **2 anni**. I possibili effetti di aging sono studiati monitorando la stabilità dell'efficienza, corrente, rate, resistività etc, in modo particolare nei periodi di Test Beam alla GIF++.

- Efficienza
- Rate capability
- Noise
- Cluster size
- Risoluzione temporale
- Risoluzione spaziale

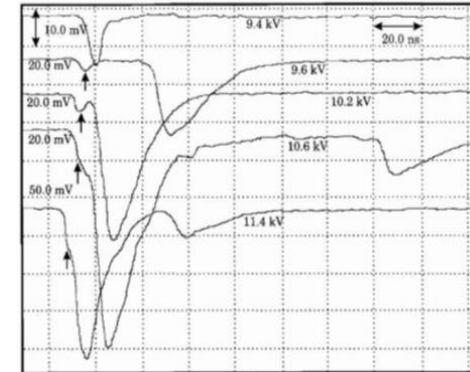
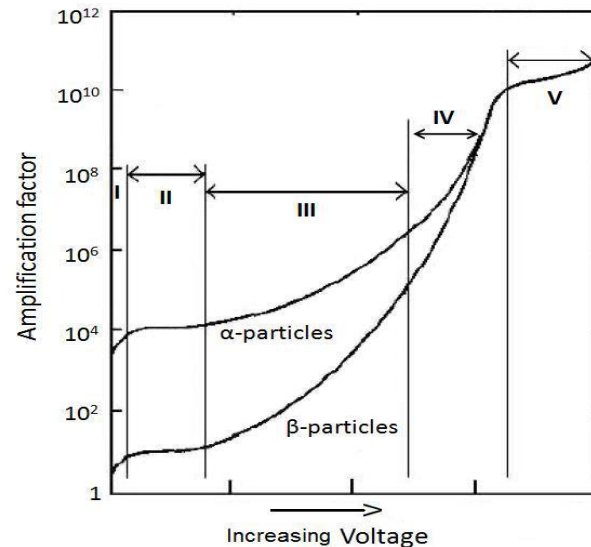


Back-up

Resistive Plate Chamber (RPC)



$$S = \left(-\frac{dE}{dx} \right) = \frac{4\pi N_A}{m_e c^2} \rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \ln \left[\left(\frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{I} \right) - \beta^2 - \frac{\delta}{2} - \frac{C}{Z} \right]$$



Gli RPC Sfruttano la **ionizzazione** prodotta dal passaggio di una particella carica in una gas. Il numero (n) di coppie ione-elettrone creato è proporzionale all'energia depositata nel dispositivo (ΔE), (W_i è l'energia media necessaria per produrre una coppia).

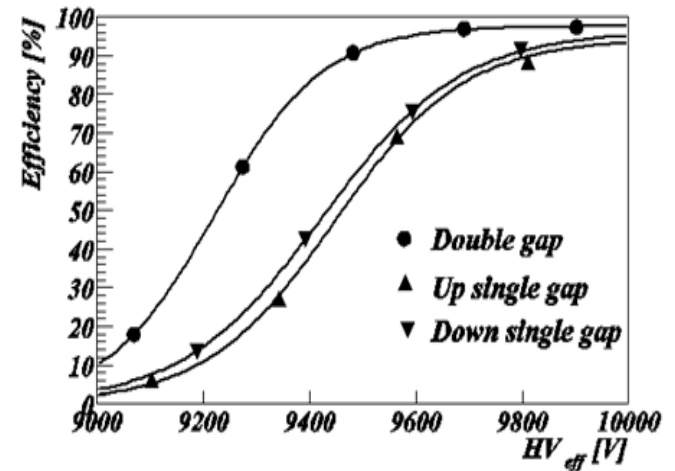
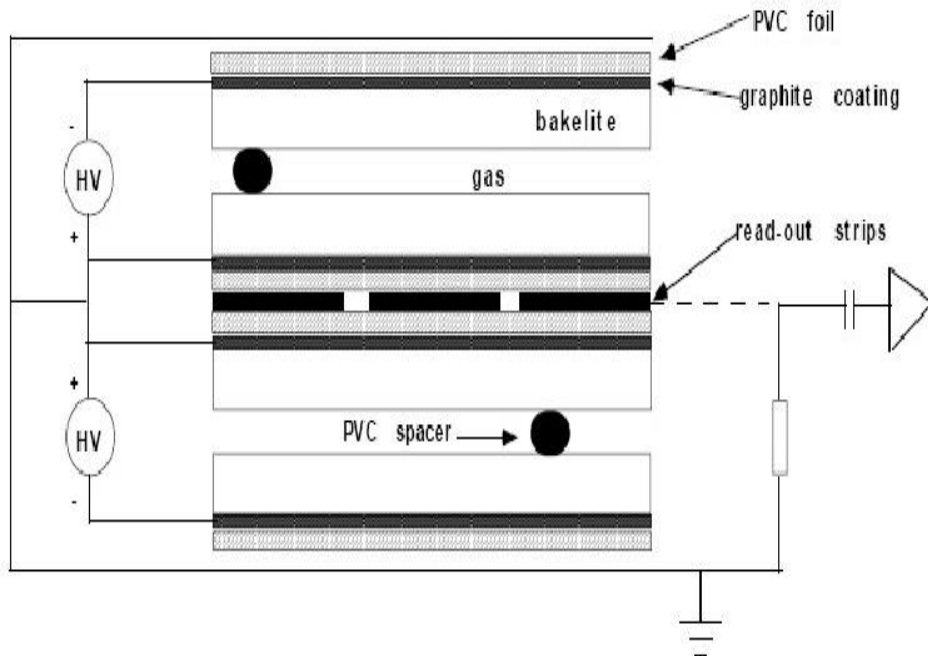
$$n = \frac{\Delta E}{W_i} \longrightarrow \text{Moltiplicazione: } n = n_0 e^{\alpha(x-x_0)}$$

- Regime *Streamer* ($M = 10^8$): segnale da 100 pC
- Regime *Avalanche* ($M < 10^8$): segnale da 25 pC

Il regime di funzionamento avalanche produce segnali di intensità minori, che vengono poi amplificati, conferendo una maggiore stabilità al rivelatore, e soprattutto permette di diminuire l'area interessata dalla scarica in modo da sostenere valori di rate maggiori.

RPC di CMS

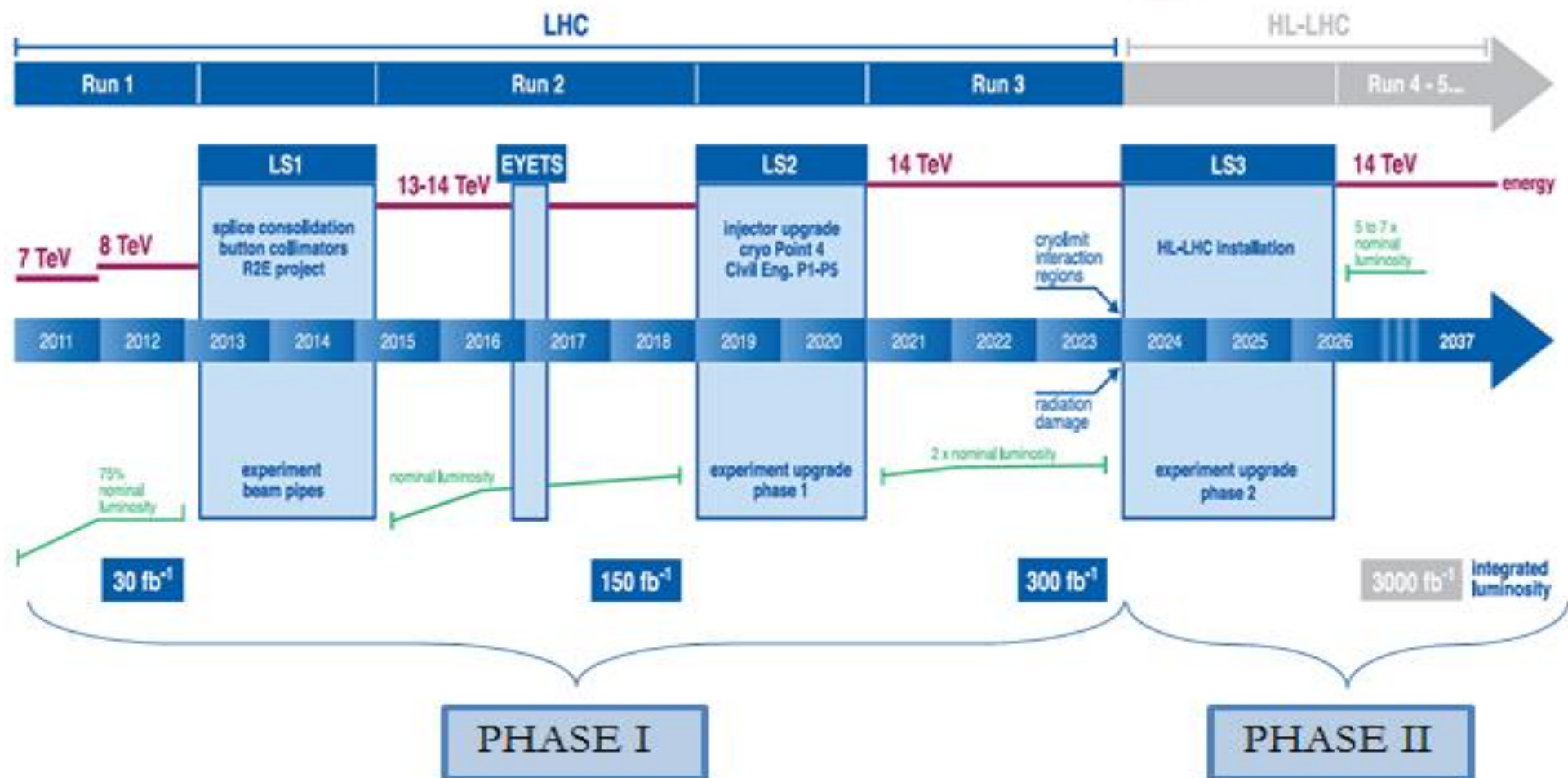
Gli RPC di CMS fanno parte del sistema muonico per la rivelazione dei muoni (la presenza di muoni caratterizza molta della “nuova fisica” che si ricerca a LHC), ed utilizzano la configurazione a **doppia gap**: due rivelatori sovrapposti uno sull'altro con gli elettrodi di lettura del segnale posti tra le due gap. Il segnale indotto è la somma dei segnali prodotti nelle due gap: il rivelatore è efficiente a valori di tensioni più basse.



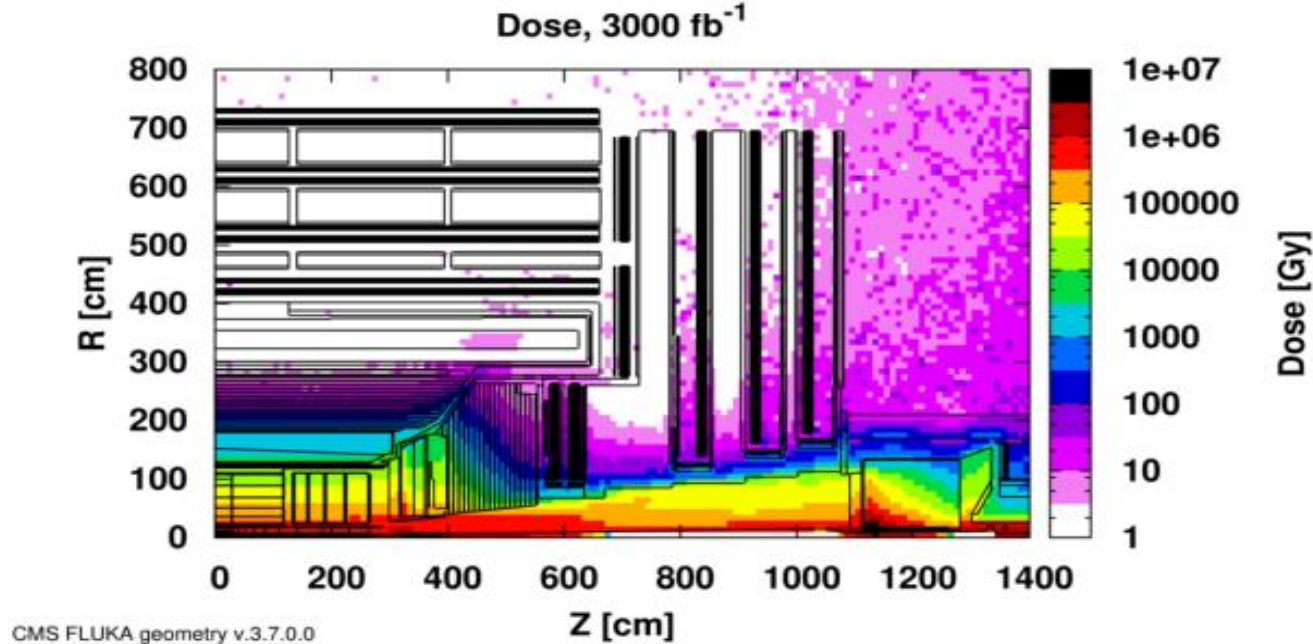
Prestazioni RPC di CMS

Cluster size	< 2 strisce
Noise	< 10 Hz/cm ²
Efficienza	≅ 95%
Risoluzione temporale	≅ 2.5 ns

LHC / HL-LHC Plan



Nuovi rivelatori iRPC



- Resistività, spessore e materiale degli elettrodi:

Studio di rivelatori con elettrodi di resistività inferiore in modo da ottenere un tempo di ricarica inferiore permettendo di ottenere valori di rate capability maggiori. Studio inoltre dell'utilizzo di elettrodi di spessore inferiore ed in materiale diverso dalla bachelite come il vetro, con l'obiettivo di ottenere rivelatori più performanti, resistenti, compatti, leggeri, e meno costosi.

- Configurazione e spessore gas-gap:

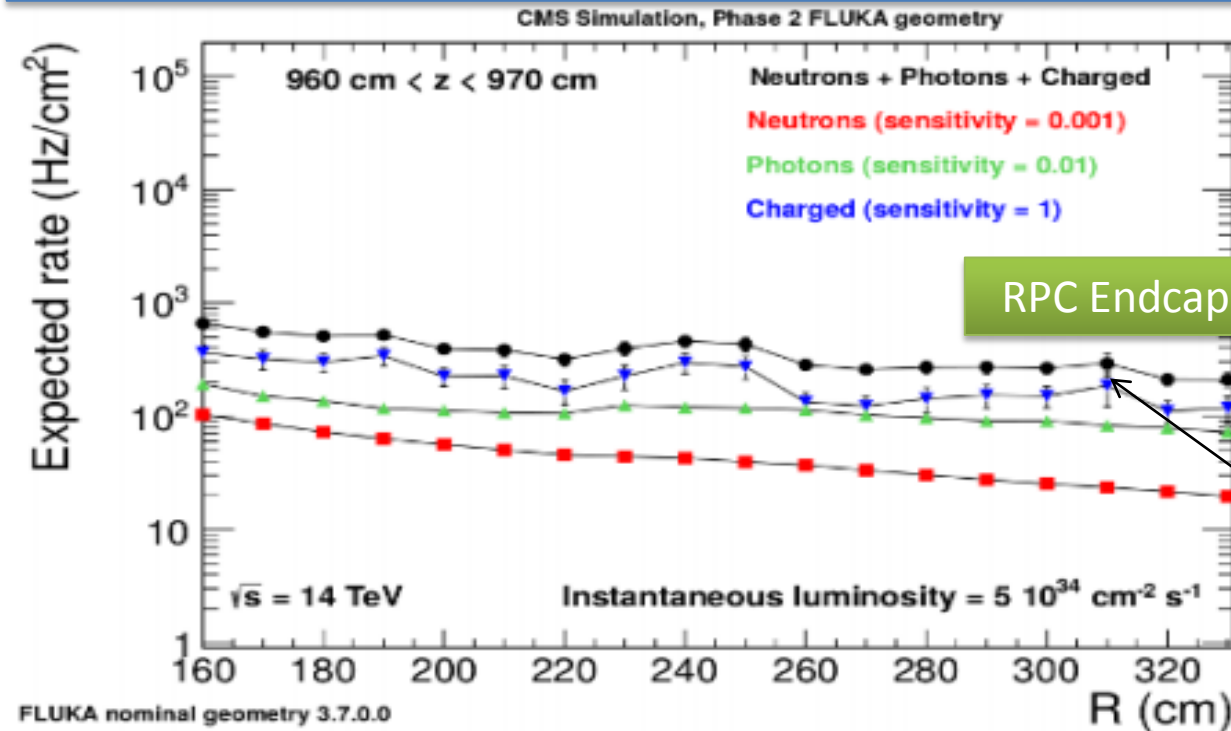
Studio di rivelatori con una nuova geometria per migliorare la risoluzione temporale:

➤ Configurazione a doppia gap

Studio inoltre di rivelatori con gas-gap inferiori che permettono di ottenere una miglior risoluzione spaziale e temporale, valori di corrente inferiori e quindi maggior stabilità del rivelatore, e valori di carica depositata inferiori rallentando l'effetto aging. Necessitano di un'elettronica migliore per amplificare il segnale.

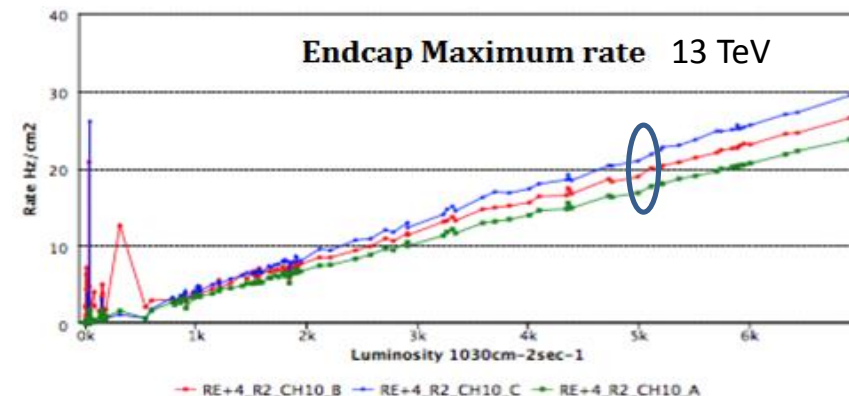
Upgrade dell'attuale sistema RPC

Simulazione della rate atteso durante la Phase II NELL'ATTUALE SISTEMA RPC



Verifica delle prestazioni nelle nuove condizioni operative e studi di aging.

$$R = 300 \text{ Hz/cm}^2 \times 3 = 900 \text{ Hz/cm}^2$$



Dai dati sperimentali ottenuti dai run 1 e run 2 è possibile estrapolare il massimo valore di rate atteso nell'Endcap in funzione della luminosità. Al valore trovato va aggiunto un fattore correttivo di 1.5 per tener conto dell'aumento di energia, ed un fattore di sicurezza pari a 3.

$$R = 200 \times 1.5 \times 3 = 900 \text{ Hz/cm}^2$$