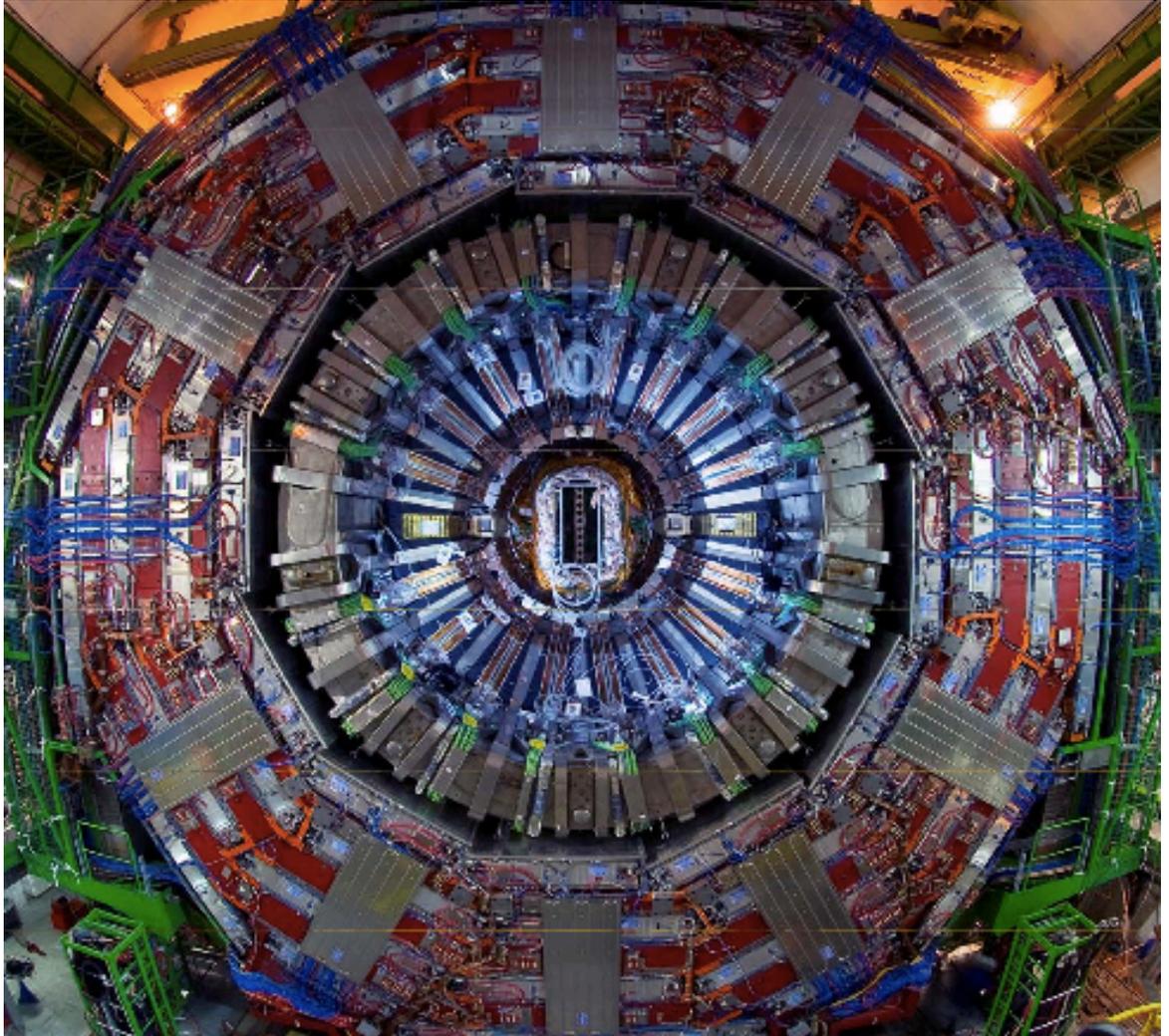


Introduzione ai rivelatori di particelle

Parte 11
Esempio di un
rivelatore (CMS)

Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS



- Esempio di un rivelatore: CMS
 - perchè CMS:
 - Rivelatore moderno ma già costruito
 - Rivelatore complesso, molte tecnologie coinvolte
 - Tipico esempio di rivelatore ai colliders
 - Padova è fortemente coinvolta
 - Rivelatore di muoni
 - Tracciatore a silicio

CMS

• Richieste

– misura dell'Higgs

- se $m_H < 2m_Z$ il canale migliore per la rivelazione è $H \rightarrow \gamma \gamma$
 - gli altri modi di decadimento (decadimenti adronici) anche se più probabili si confondono con il fondo
 - calorimetro EM
- se $2m_Z < m_H < 600 \text{ GeV}/c^2$ il canale migliore è $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\text{leptoni}$
 - ottima risoluzione per elettroni e muoni
- se $m_H > 600 \text{ GeV}/c^2$ bisogna guardare anche a tutti i decadimenti delle Z e W
 - misura dei jets adronici
 - misura di E_T^{miss}

– misura di fenomeni oltre al modello standard

- Supersimmetrie, bosoni vettori massivi
 - misura di leptoni, energia mancante

– misure di precisione

- QCD con quark b, t
 - misura di jets, vertici secondari

CMS

- **Quindi**
 - **buona identificazione muoni**
 - buon rivelatore di muoni esterno
 - trigger
 - matching in momento e posizione con rivelatore di traccia
 - ottima risoluzione del rivelatore centrale
 - distinzione carica del mu fino a $\approx 1\text{TeV}$
 - $$\frac{\Delta p}{p} \approx 10\% \text{ a } 1\text{TeV} \rightarrow \frac{\Delta p}{p} \approx 10^{-4} p[\text{GeV}]$$
 - **ottima risoluzione di energia EM**
 - risoluzione in massa di di-fotoni e di-elettroni $\approx 1\%$ a $100\text{GeV}/c^2$
 - reiezione dei π_0
 - **buona risoluzione per jets adronici e E_t^{miss}**
 - calorimetro adronico ermetico
 - buona segmentazione dei calorimetri
 - **misura di b, t, τ**
 - misura di vertici secondari, pixel detector

Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS

- Altre caratteristiche

$$\sigma_{TOT}[\sqrt{s} = 14TeV] \approx 100mb = 100 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-24} = 10^{-25} cm$$

$$L = 10^{34} [cm^{-2}s^{-1}] \quad \text{luminosità nominale di LHC}$$

$$\sigma_{TOT} \times L = 10^{-25} \times 10^{34} = 10^9 \text{ eventi/s}$$

- non più di 100 eventi/s salvati per l'analisi successiva
- trigger deve avere una reiezione di $\approx 10^7$
- interazioni (incrocio dei fasci) ogni 25ns
 - 40MHz
 - trigger deve analizzare tutti gli eventi a questa frequenza
 - circa 25 eventi sovrapposti per incrocio
 - » alla luminosità (per incrocio) nominale
 - maggior parte eventi periferici con bassa energia trasversa
 - occupazione del central detector
 - produzione di fondo di radioattività
 - servono tracciatori ed in genere tutti i rivelatori con grande granularità
 - tutti i rivelatori devono essere veloci per identificare a quale interazione appartiene l'evento
 - sfavoriti lunghi tempi di deriva, scintillatori lenti etc.

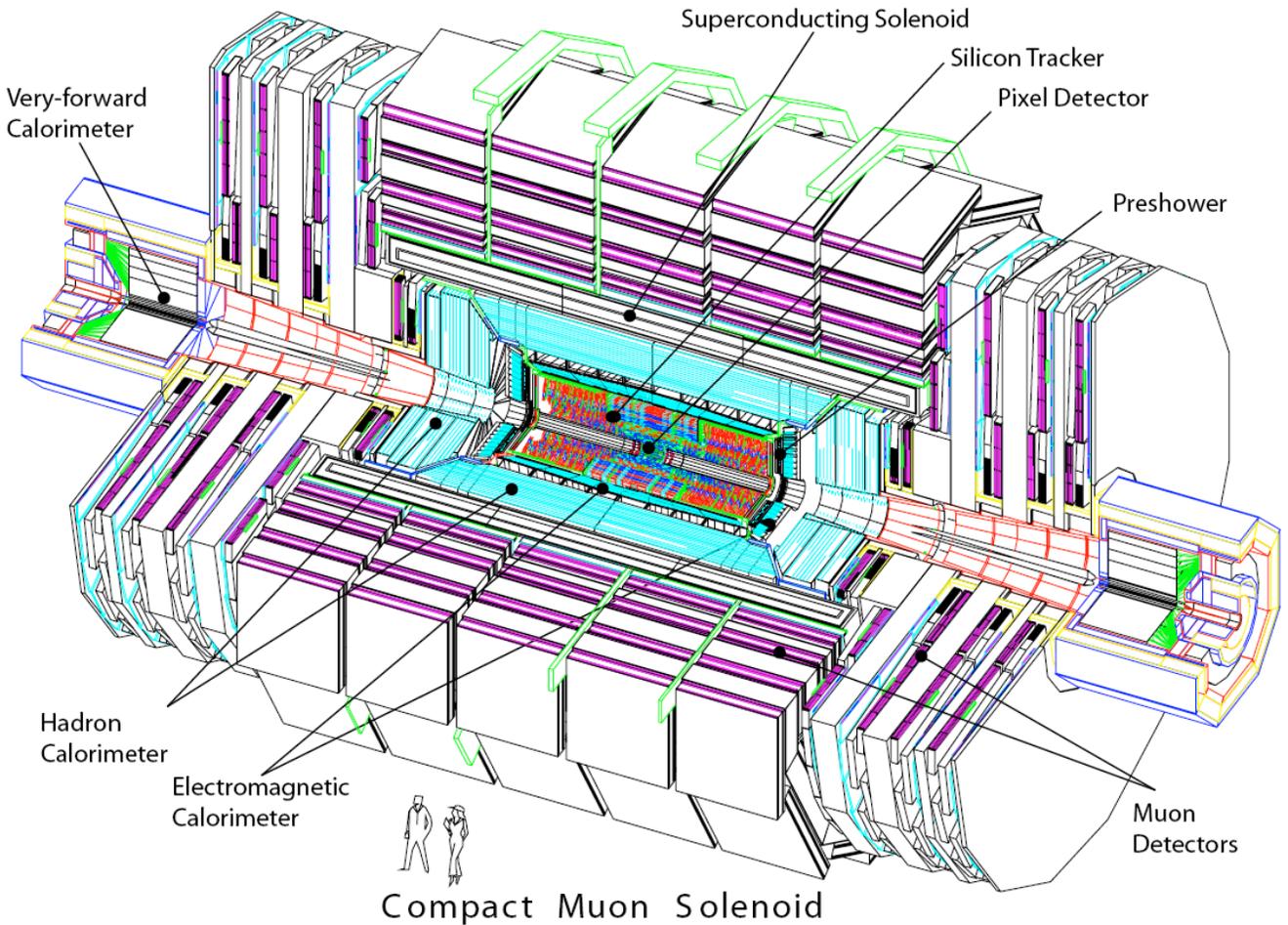
Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS

- Soluzioni
 - solenoide (superconduttore) molto grande
 - campo magnetico intenso per massimizzare la risoluzione in momento
 - utile anche per contenere le tracce a basso momento
 - calorimetri dentro il magnete per non deteriorare la risoluzione
 - rivelatore centrale tutto in Si
 - pixels per il vertici
 - estrema granularità, capacità di pattern recognition
 - strips per il resto
 - ottima granularità e risoluzione ad alti momenti
 - “dead material” non trascurabile
 - calorimetro elettromagnetico omogeneo a cristalli
 - eccellente risoluzione e granularità
 - calorimetria (EM ed adronica) ermetica
 - calorimetri “in avanti” fino ad angoli molto piccoli
 - rivelatore di muoni con rimisura del momento
 - ferro magnetizzato dal flusso di ritorno del solenoide
 - molte stazioni di misura per poter identificare indipendentemente muoni ad alto momento
 - essenziale soprattutto per il trigger

Introduzione ai rivelatori di particelle

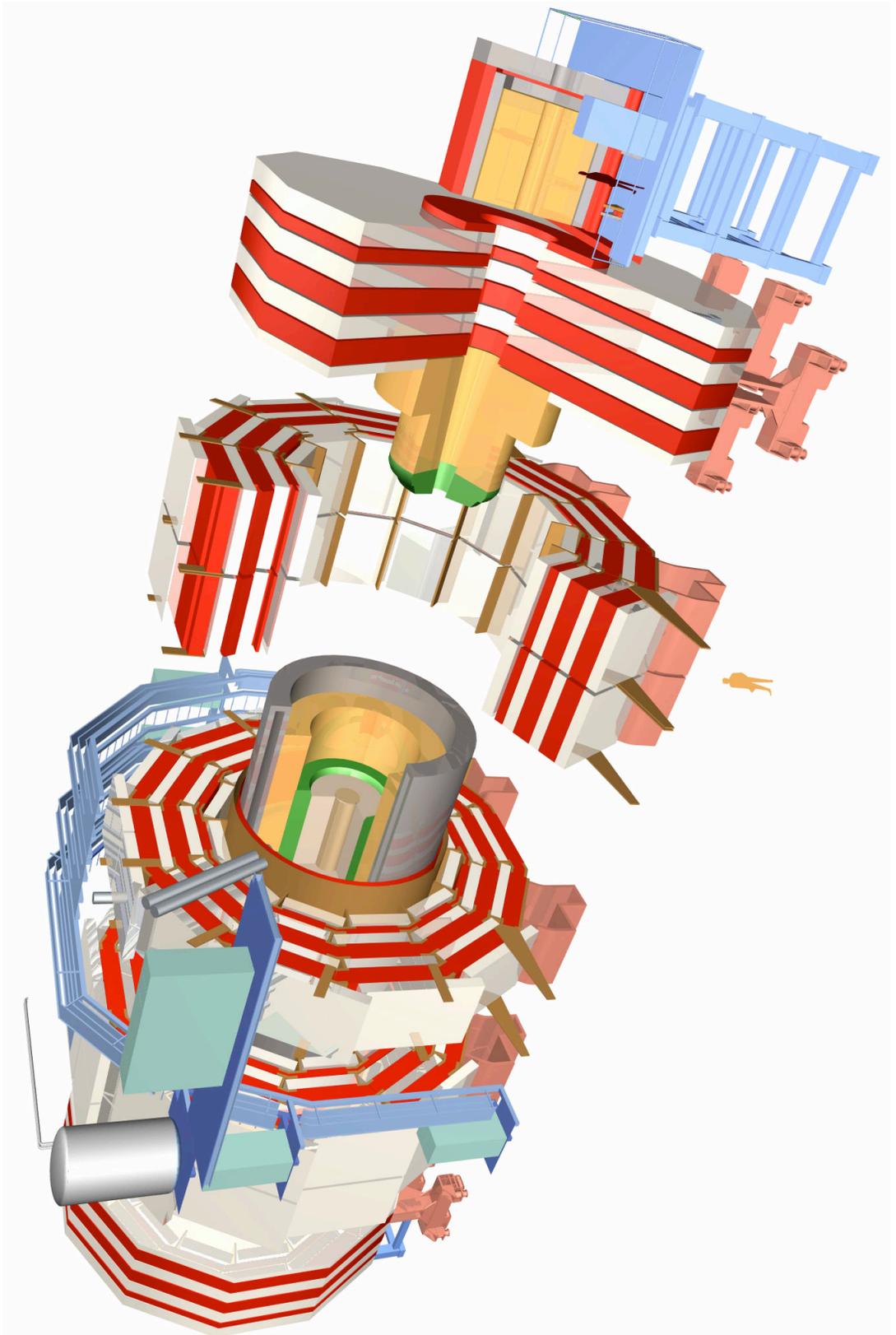
CMS



- CMS
 - lunghezza 21.6m
 - diametro 14.6m
 - peso 12500 tons

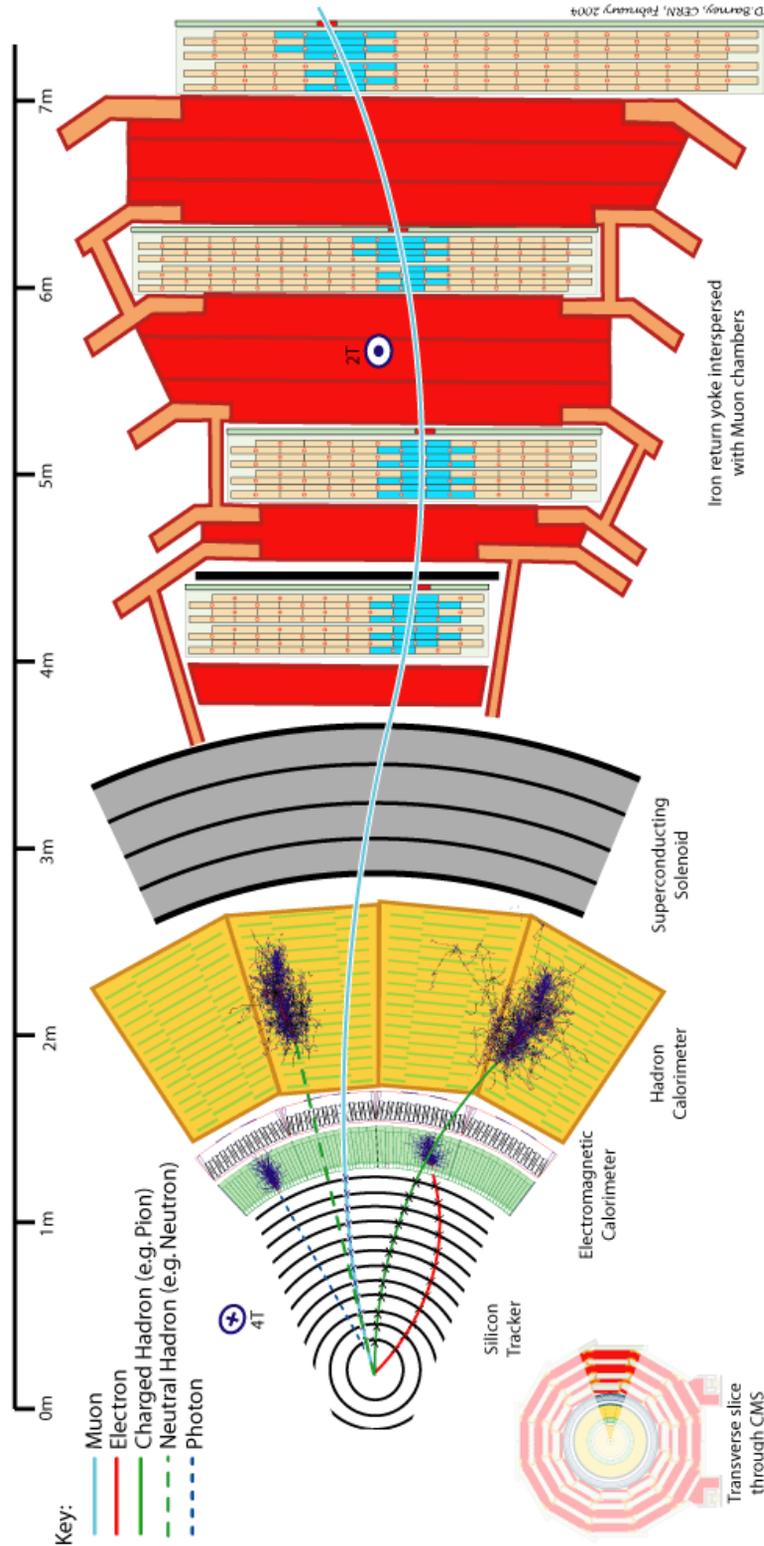
Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS



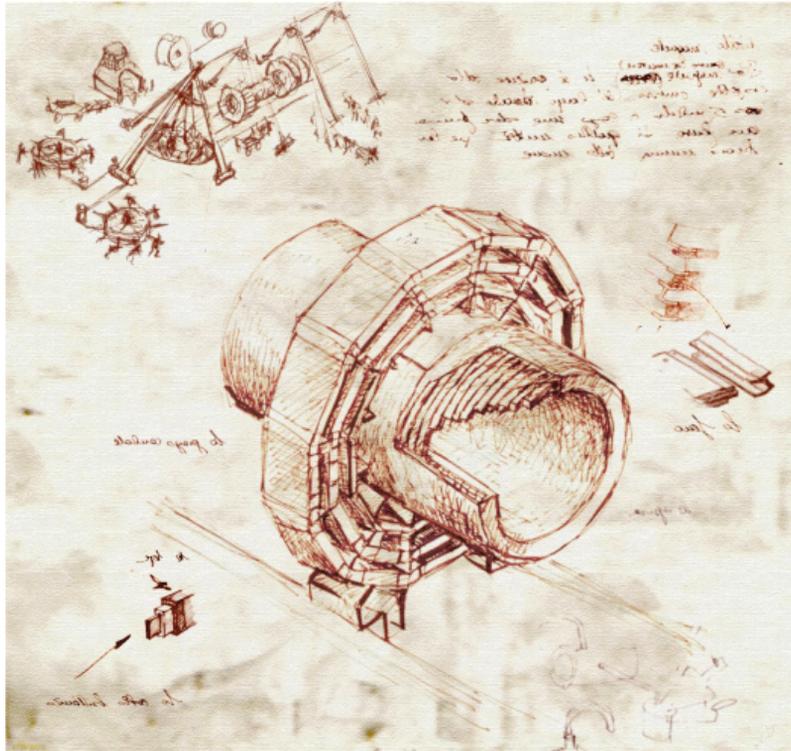
Introduzione ai rivelatori di particelle

un settore di CMS



Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS- Magnete

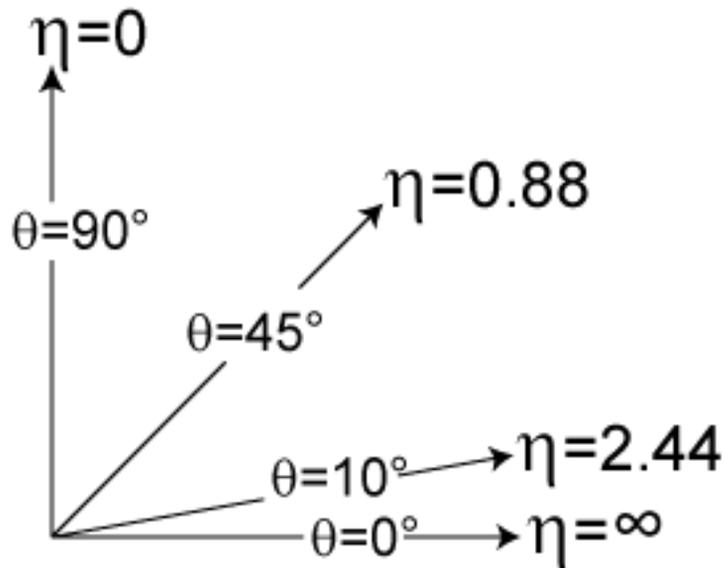


- Caratteristiche del magnete

Campo magnetico	4 T
Diametro interno	5.9 m
Lunghezza	12.9 m
Numero di spire	2168
Corrente	19.5 kA
Energia immagazzinata	2.7 GJ

Introduzione ai rivelatori di particelle

pseudorapidità

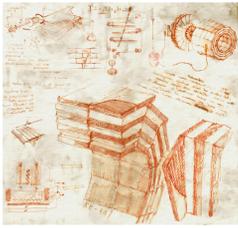


$$\eta = -\ln \left[\tan \left(\frac{\theta}{2} \right) \right]$$

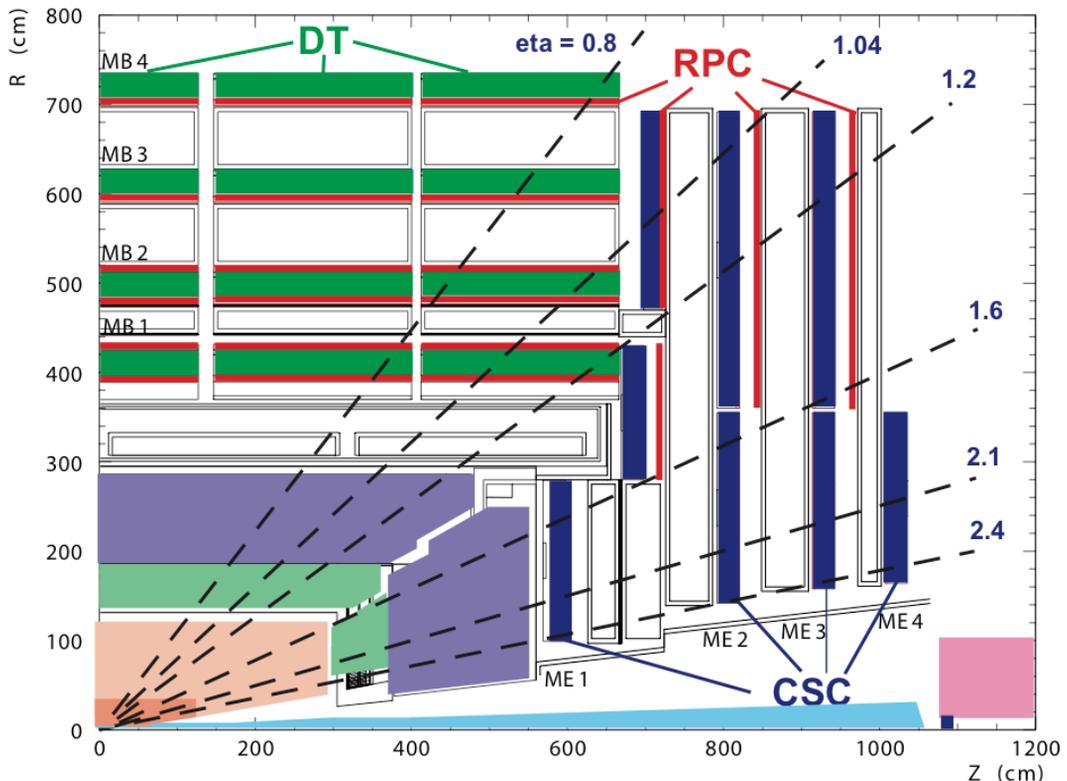
$$\eta \approx y = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{E + p_L}{E - p_L} \right) \quad \text{per particelle relativistiche}$$

nella descrizione dell'angolo polare nei colliders si usa spesso la rapidità o la pseudorapidità in quanto la produzione di particelle è circa costante per unità di rapidità

Introduzione ai rivelatori di particelle



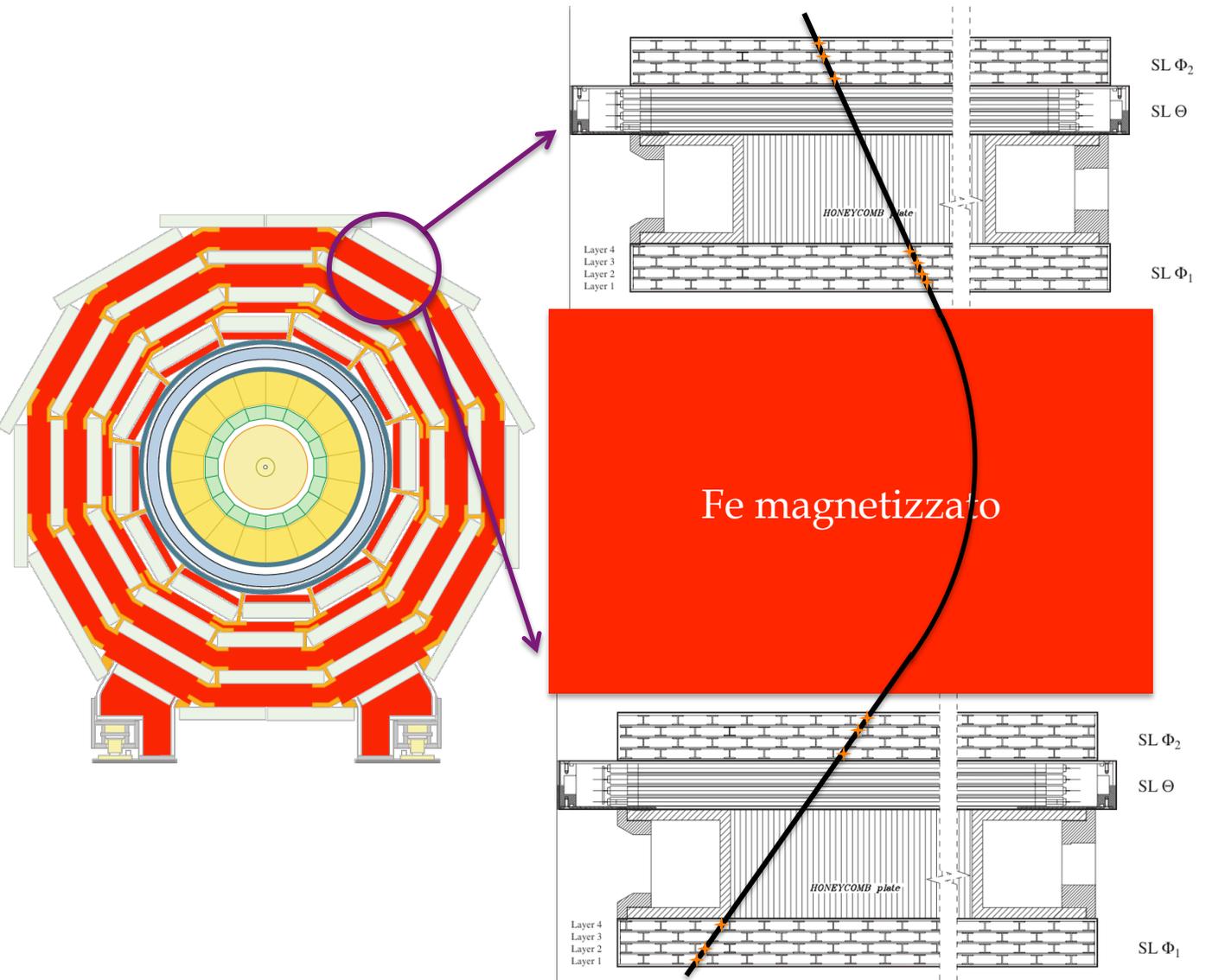
CMS – rivelatore di muoni



- Barrel
 - 4 stazioni di camere a deriva
 - 6 piani di RPC (doppia gap)
- Wheels
 - 4 stazioni di camere a fili a lettura catodica
 - 3 piani di RPC
- **Motivazioni**
 - nel barrel la densità di tracce e di radiazione non altissima
 - si possono usare camere a deriva (~ 400 ns) senza troppe sovrapposizioni
 - in avanti la densità è più alta \Rightarrow meglio usare camere MWPC
 - RPC solo per il trigger, forniscono un trigger veloce (entro i 25ns) e ridondante

Introduzione ai rivelatori di particelle

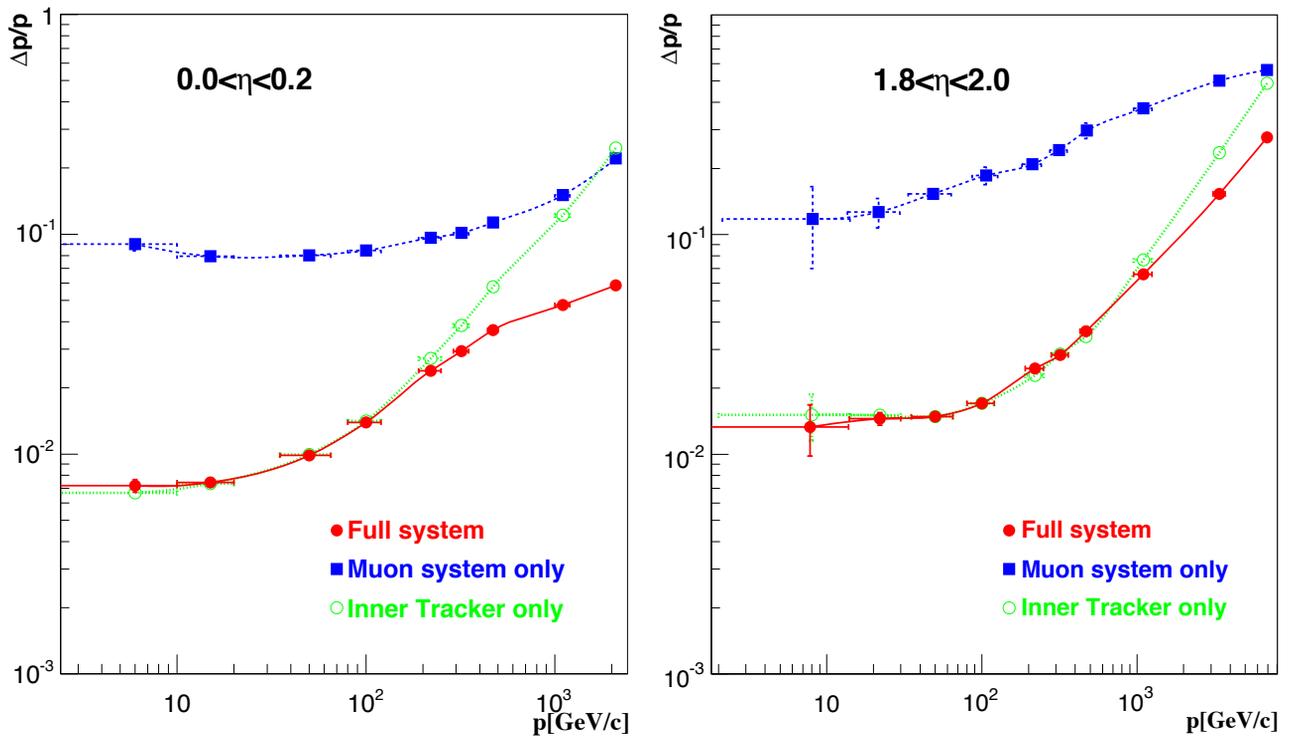
CMS – rivelatore di muoni



- DT
 - ogni stazione misura l'angolo prima e dopo il ferro magnetizzato
 - 4 punti più 4 punti, con un braccio di leva di 28cm
 - le 4 misure con camere "staggered" permettono di avere buone efficienze e di ricostruire efficacemente il tempo del segnale nonostante il tempo di deriva lungo
 - un altro strato di 4 punti nell'altra direzione misura la coordinata "z" (dove non c'è bending dovuto a campo magnetico)

Introduzione ai rivelatori di particelle

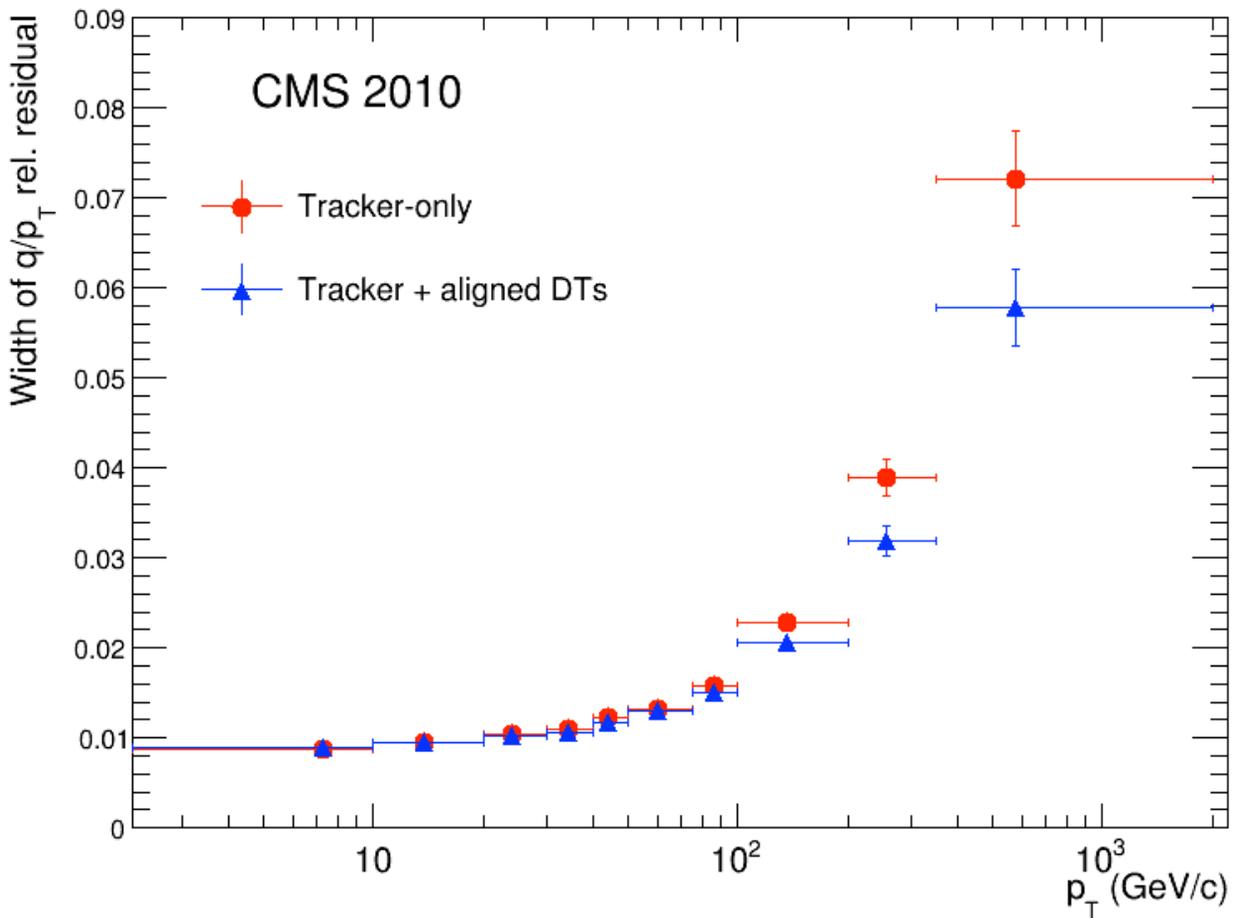
CMS rivelatore di muoni



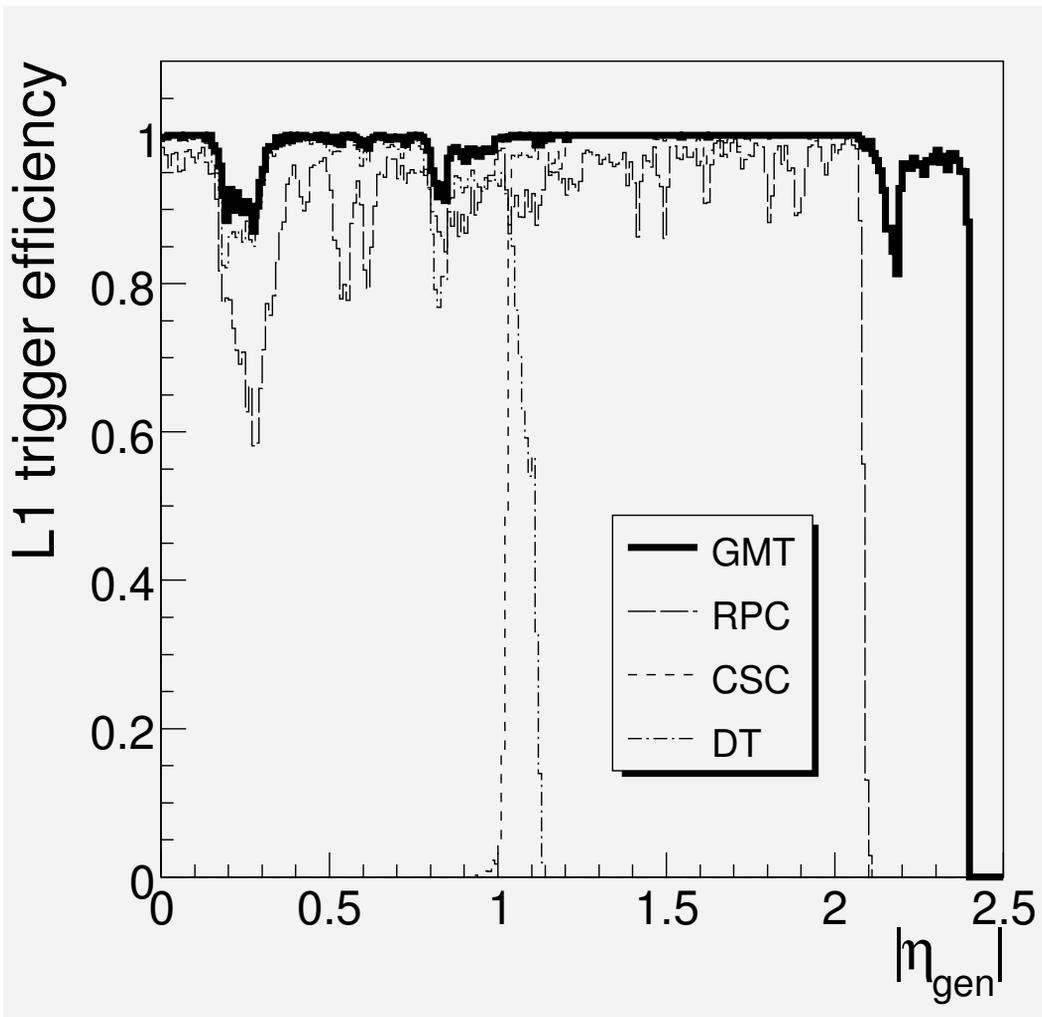
- Risoluzione $\Delta p/p$ nella regione centrale ed in avanti
 - la risoluzione è determinata dal rivelatore centrale
 - per momenti molto alti la doppia misura (correlata) migliora la risoluzione
- Il rivelatore esterno di muoni è comunque essenziale per
 - identificazione del muone
 - produzione di un trigger veloce
 - numero di muoni con momento maggiore di una soglia definita (~ 10 GeV)

Introduzione ai rivelatori di particelle

Risoluzione misurata

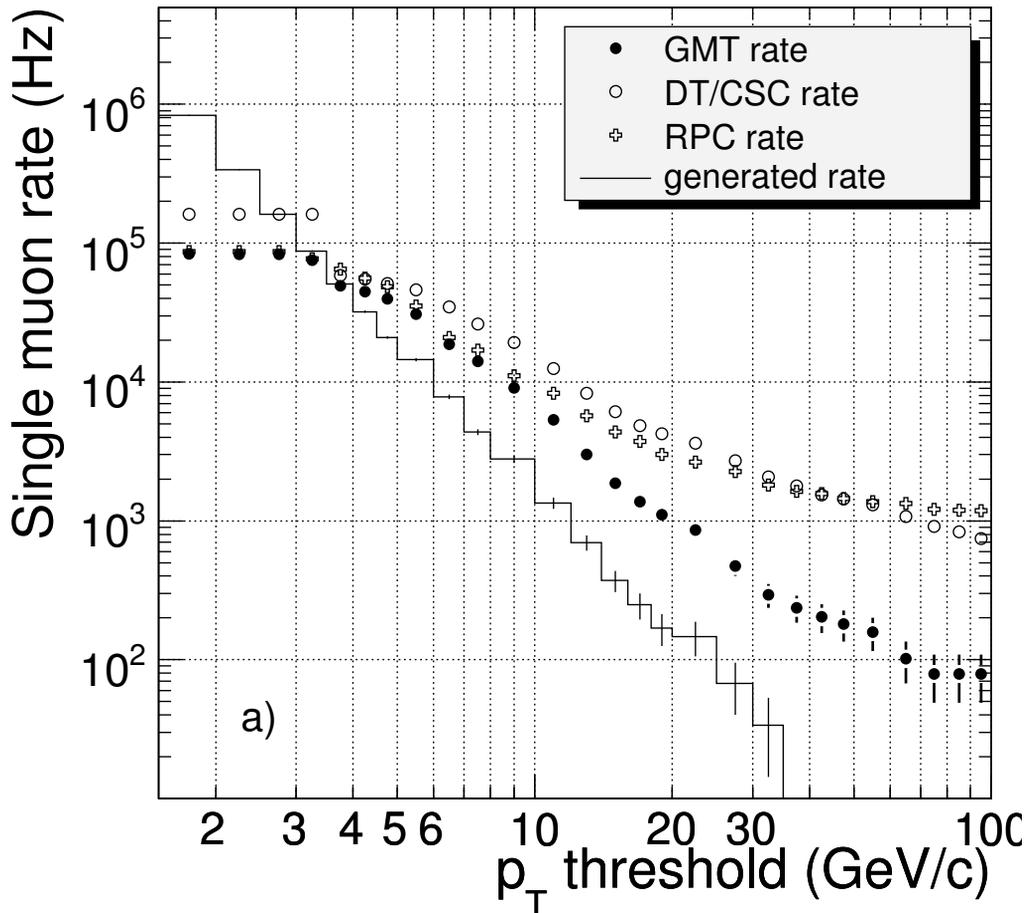


CMS trigger di muoni



- Efficienza del trigger combinato dei muoni in funzione dell'angolo
 - si nota che la presenza di diversi rivelatori garantisce una accettazione geometrica ottimale
 - avere rivelatori ridondanti è molto utile
 - calibrazioni e calcoli di efficienza misurando le prestazioni di uno rispetto all'altro

CMS - trigger di muoni

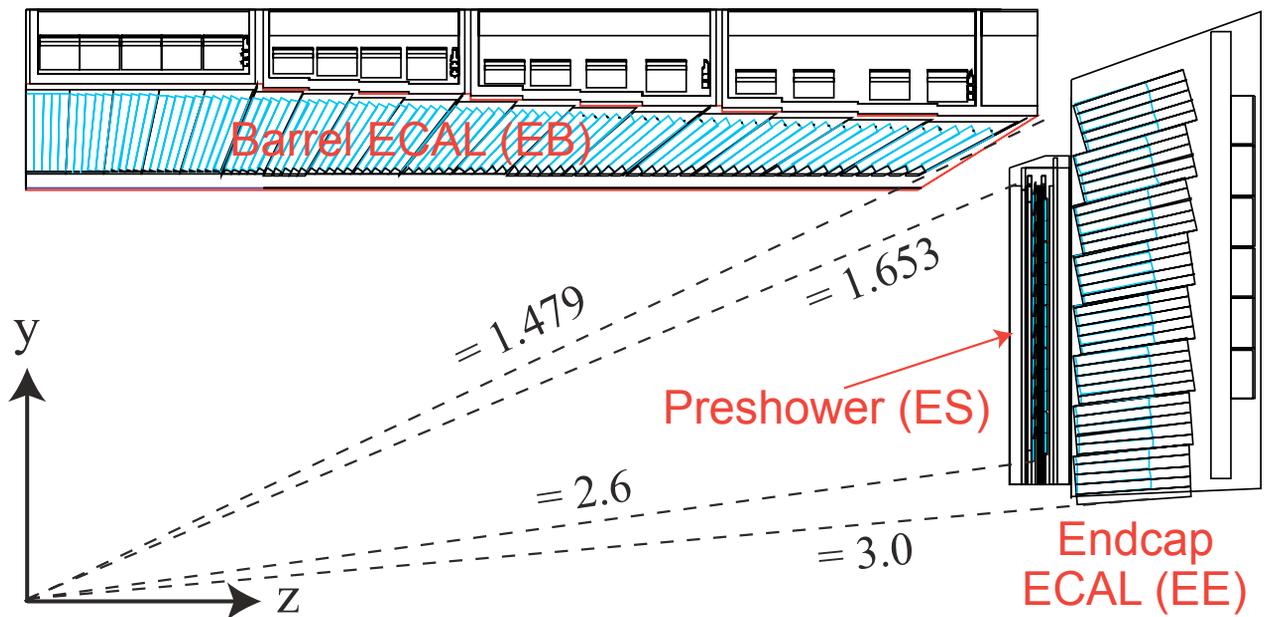


- Frequenza del trigger di muone singolo
 - al primo livello
 - simulata a $L = 2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - si nota l'effetto del trigger combinato
 - dovuto al matching dei parametri misurati dai vari sistemi ed all'eliminazione di tracce doppie nelle regioni di confine (ghosts)
 - notare la migrazione da eventi con basso momento (vedi spettro generato) ad alto momento dovuto agli errori di ricostruzione ed allo scattering multiplo

Introduzione ai rivelatori di particelle



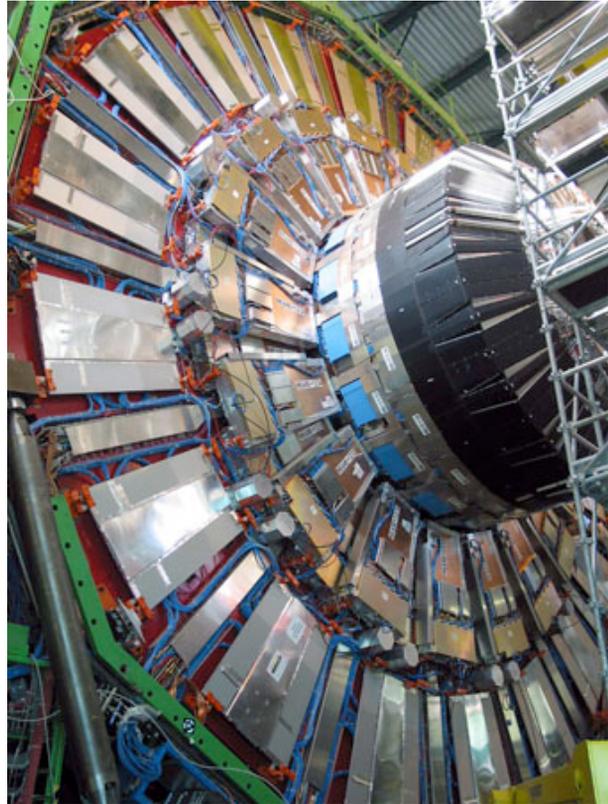
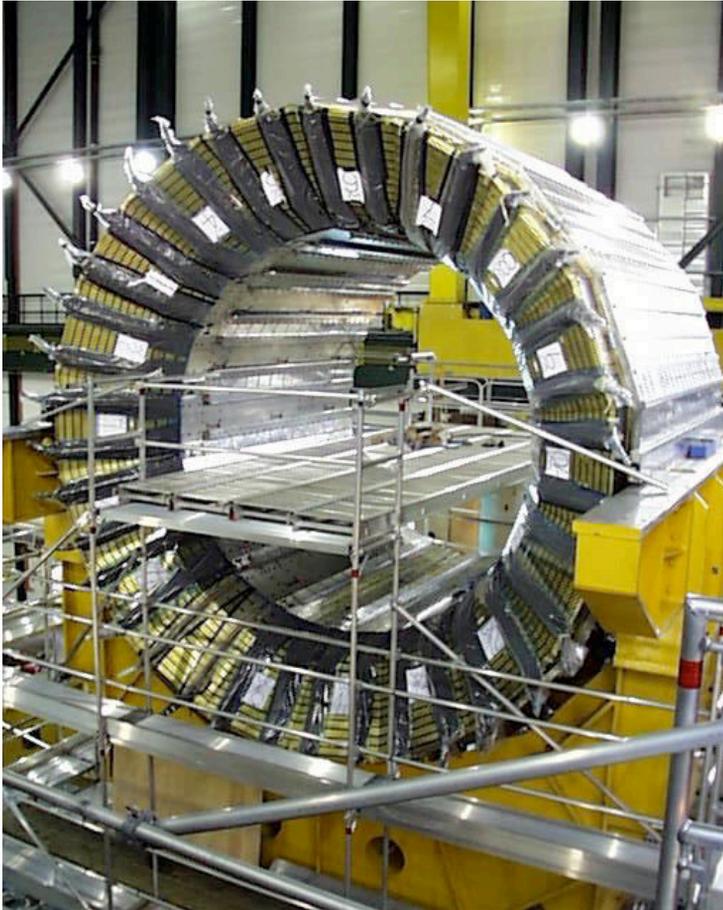
CMS – calorimetro elettromagnetico



- CMS ECAL
 - già descritto nella sezione dei calorimetri EM
 - strumento estremamente preciso
 - necessita di un'accuratissima calibrazione

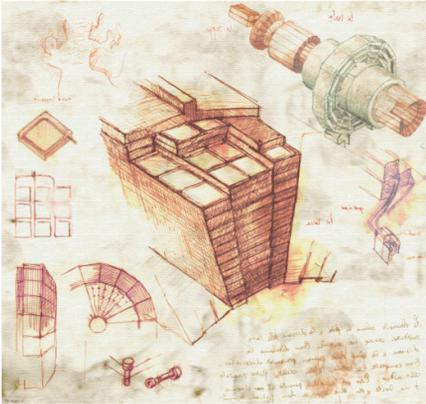
Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS - calorimetro adronico



- HCAL
 - 3 parti
 - Barrel
 - Endcap
 - Forward
 - per garantire la massima ermeticità
 - circa 10λ

Introduzione ai rivelatori di particelle



CMS – calorimetro adronico

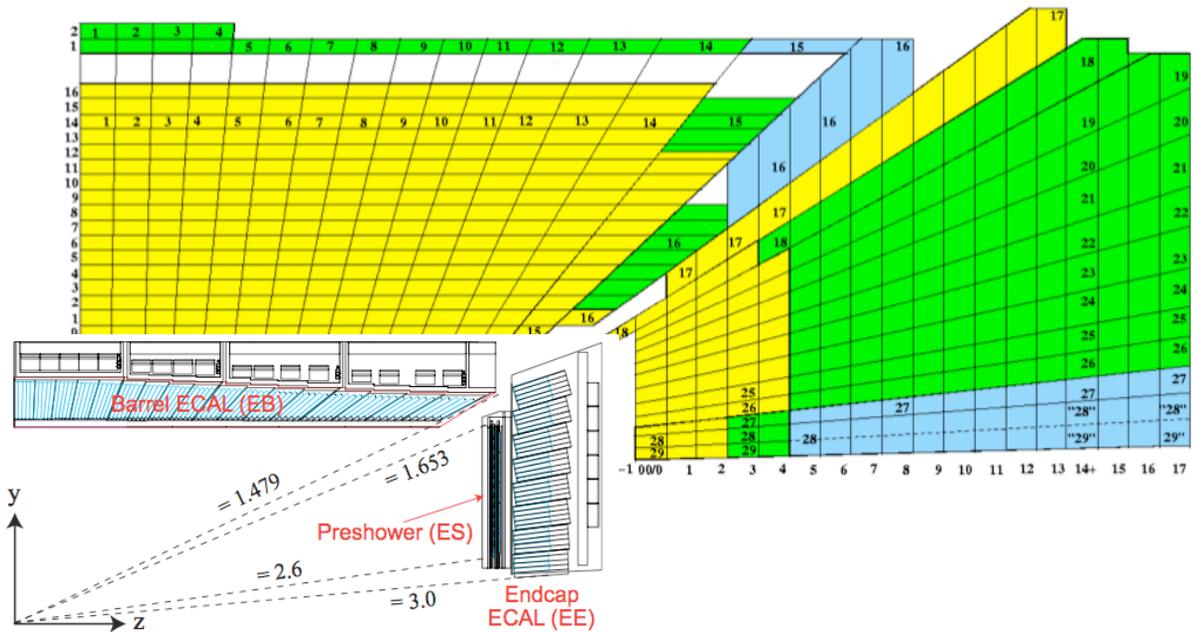
- Barrel
 - calorimetro sampling

	Scintillatore	Assorbitore
Layer 0	9 mm	61 mm acciaio
Layers 1-8	3.7 mm	50.5 mm ottone
Layers 9-14	3.7 mm	56.5 mm ottone
Layer 15-16	3.7 mm	75 mm acciaio

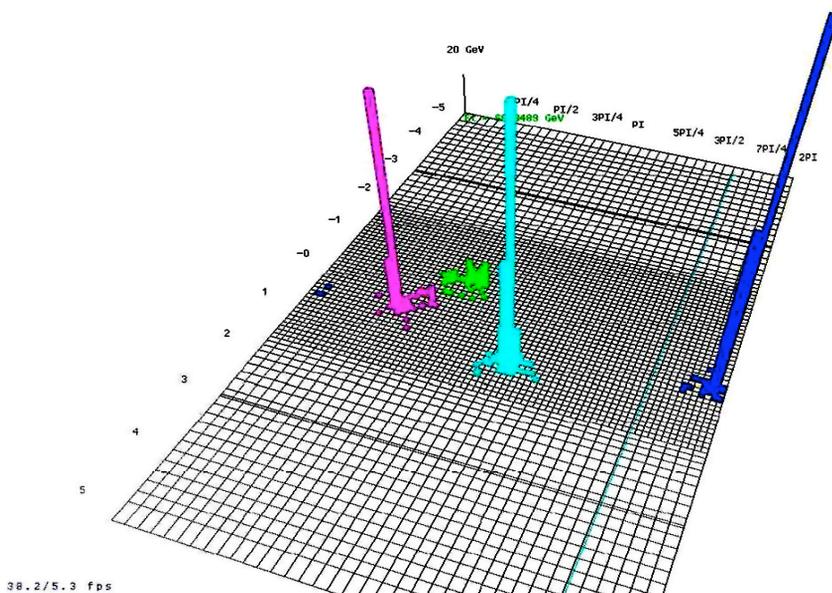
- il primo strato di scintillatore misura gli sciame generati nel magnete
 - la lettura è fatta con fibre di WLS
 - senza segmentazione longitudinale
 - le fibre sono lette da HPD
- Endcap
 - simile al barrel
 - tutti layers di ottone da 78mm
- Forward
 - non si usa scintillatore ma fibre di quarzo
 - producono segnale via Cherenkov
 - molto più resistenti alla radiazione
 - lette da fotomoltiplicatori
 - zona con campo magnetico limitato

Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS – calorimetro adronico

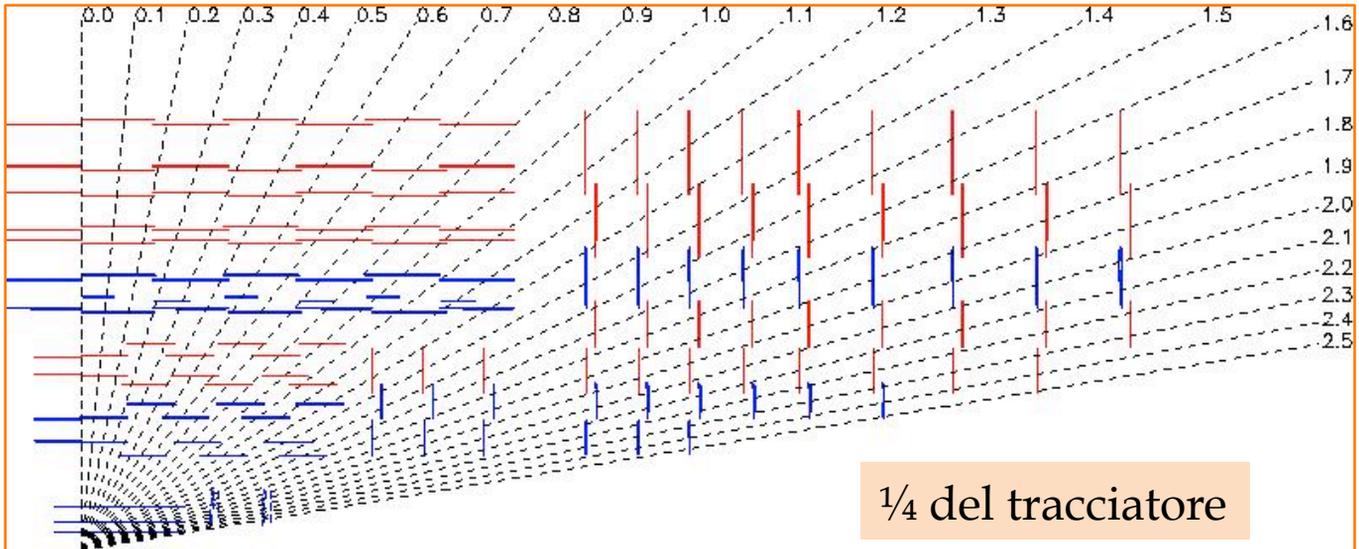


notare la segmentazione trasversale e la definizione di un evento con 3 jets



Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS - tracciatore

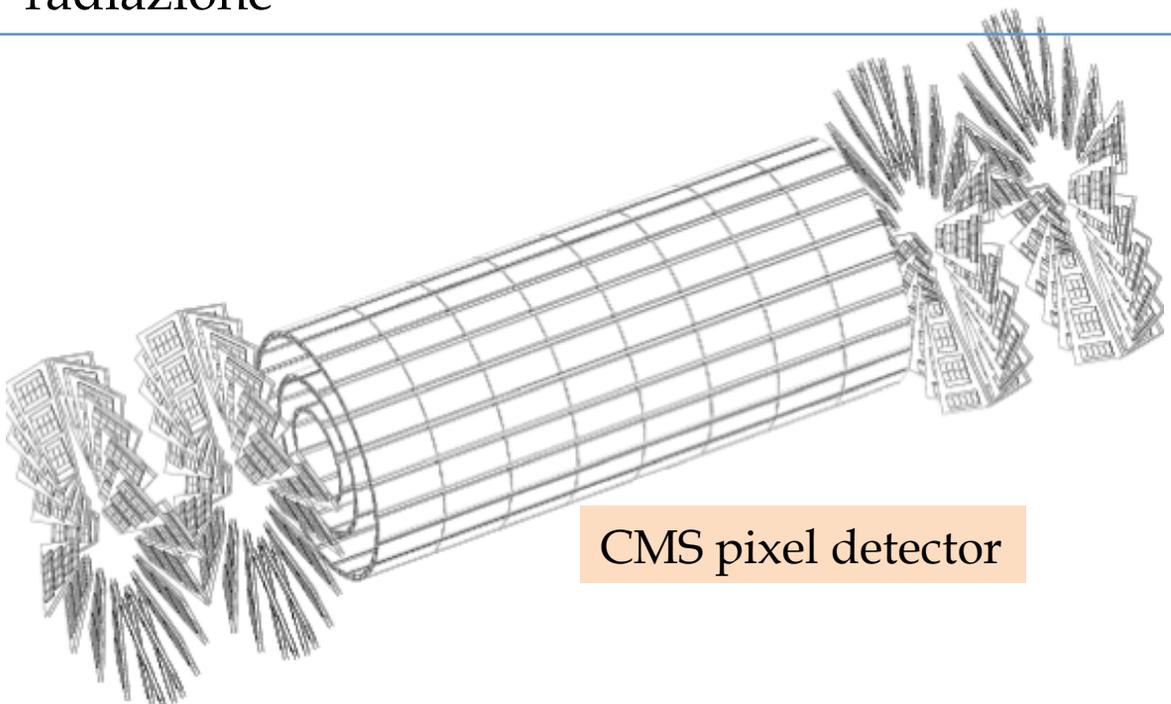


- **Struttura del barrel**
 - vicino al vertice rivelatore a pixels
 - alti flussi di particelle ($\approx 10^7/s$ a $r=10\text{cm}$)
 - dimensione del pixel $100 \times 150 \mu\text{m}^2$
 - $20 < r < 55\text{cm}$ (TIB)
 - microstrips di silicio
 - celle di 10cm con passo $80 \mu\text{m}$
 - $r > 55\text{cm}$ (TOB)
 - microstrips di silicio
 - celle fino a 25cm con passo $180 \mu\text{m}$
 - silici da $500 \mu\text{m}$ di spessore per migliorare il rapporto segnale rumore nonostante le strips ampie
- **Struttura analoga in avanti**
 - TID e TEC (Disk e EndCap)
 - **Totale**
 - 66 milioni di pixels, 1m^2
 - 9.6 milioni di strips, 200m^2

Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS - tracciatore

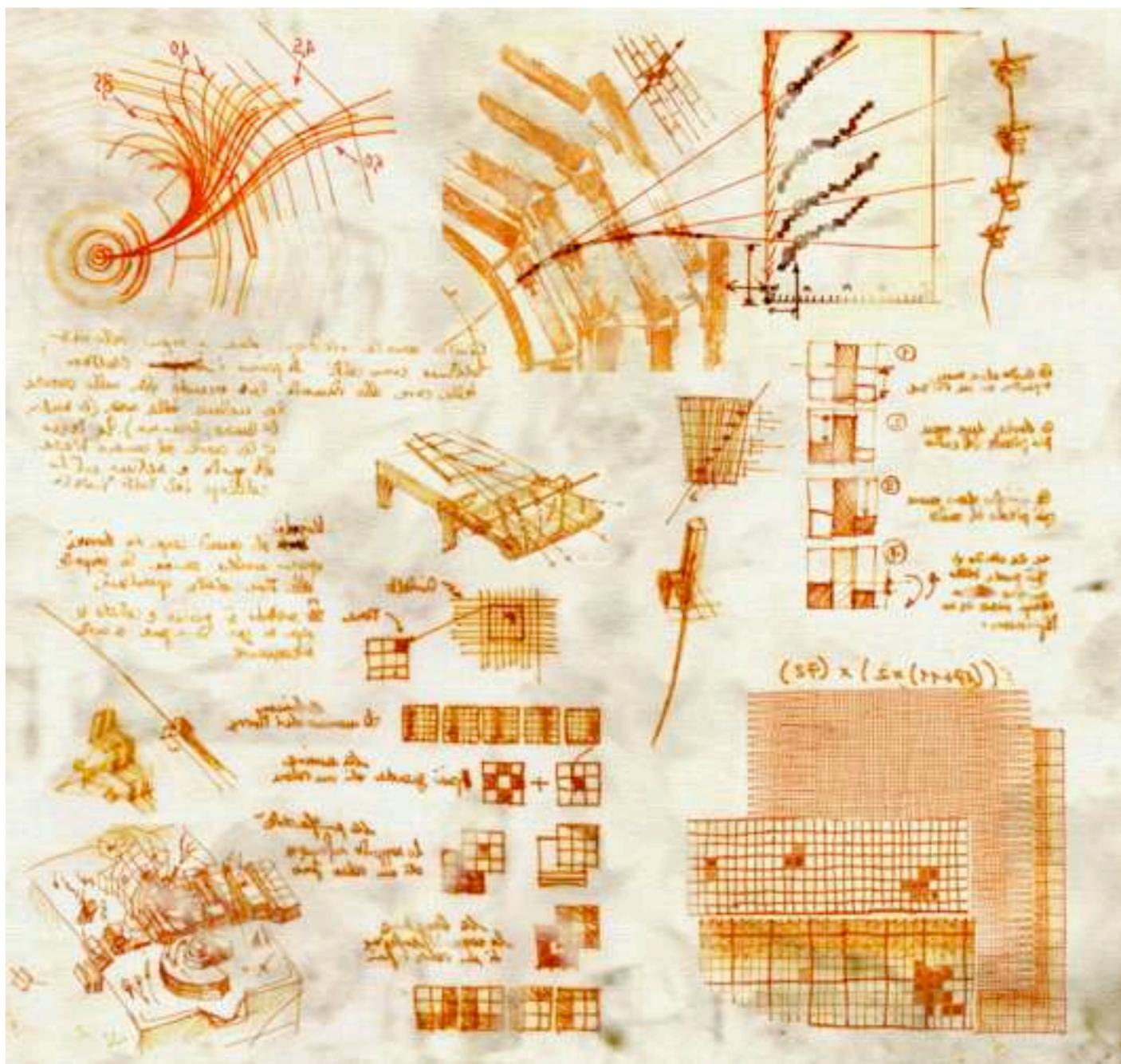
- Pixels
 - risoluzione $10 \mu\text{m}$ in $r-\phi$ e $20 \mu\text{m}$ in z
- nel TIB e TOB i primi due strati sono doppia faccia
 - TIB lettura stereo a 100 mrad
 - risoluzione $23\div 34 \mu\text{m}$ in $r-\phi$, $230 \mu\text{m}$ in z
 - TOB lettura stereo a 100 mrad
 - risoluzione $35\div 52 \mu\text{m}$ in $r-\phi$, $530 \mu\text{m}$ in z
- anche nelle parti in avanti i primi due strati di ciascun sistema sono stereo
- Tutto il sistema verrà operato a -20C per minimizzare gli effetti di danneggiamento da radiazione



CMS pixel detector

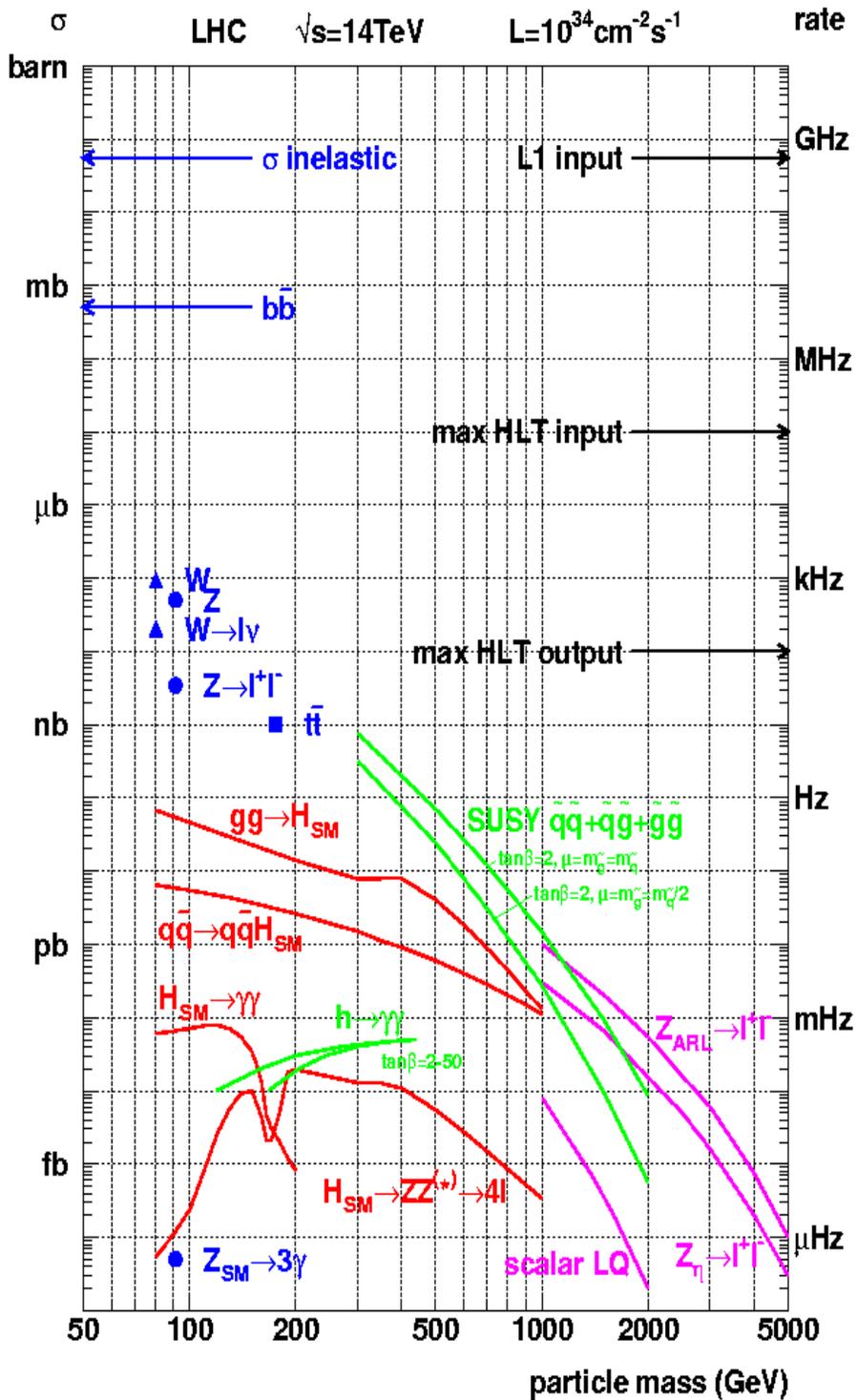
Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS -Trigger



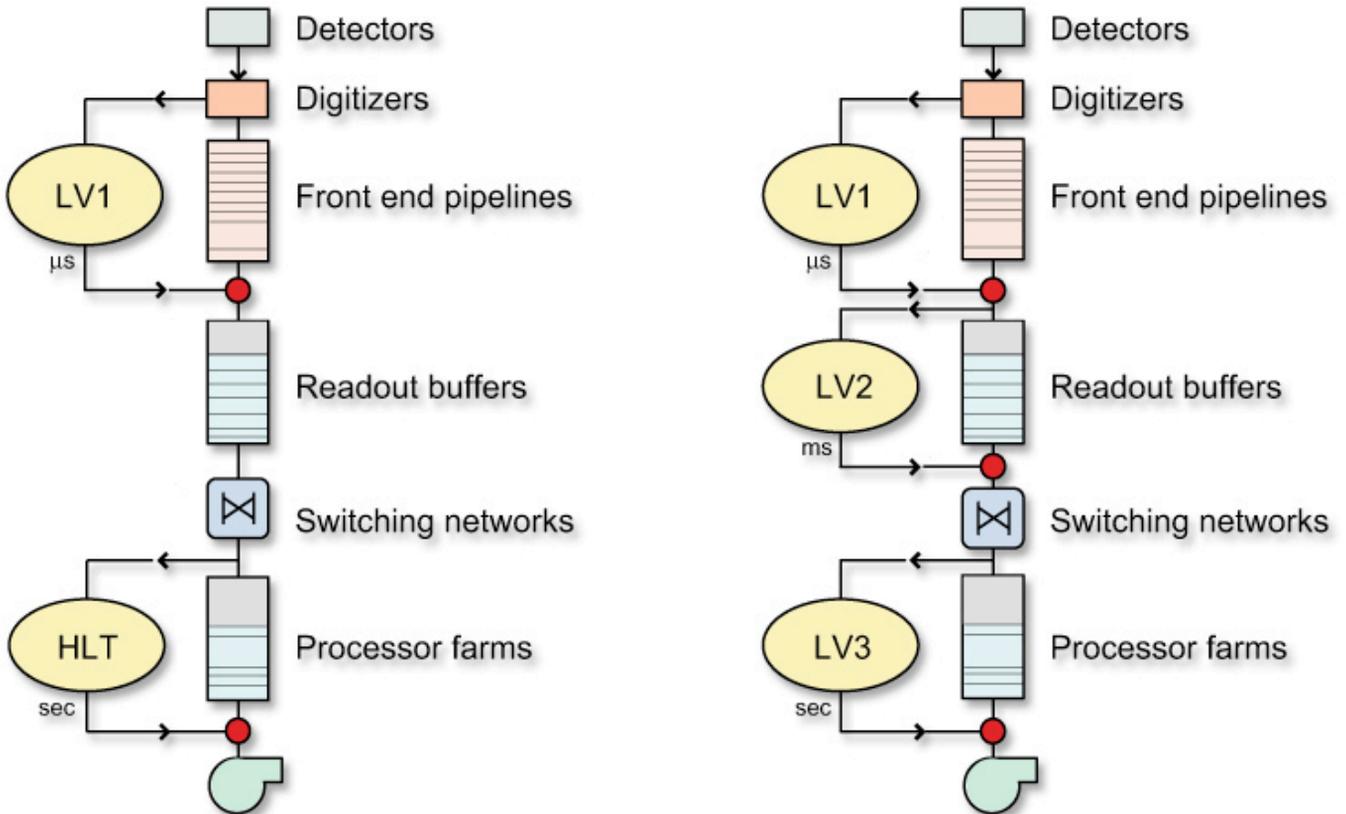
Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS - trigger



Introduzione ai rivelatori di particelle

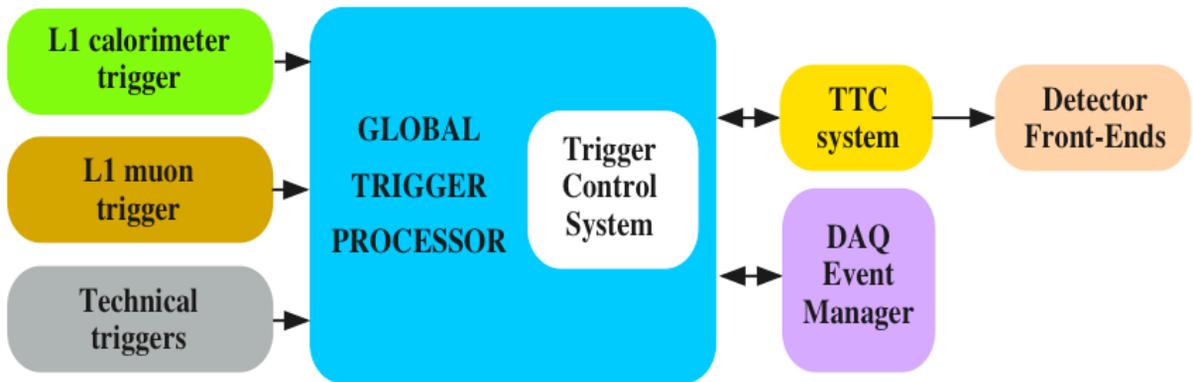
trigger e acquisizione dati



- Trigger CMS su due livelli
 - Atlas su 3
 - LV1:
 - input 40 MHz, output max 100 kHz
 - Basato su processori “custom”
 - HLT
 - output max 100 Hz
 - farm di PC

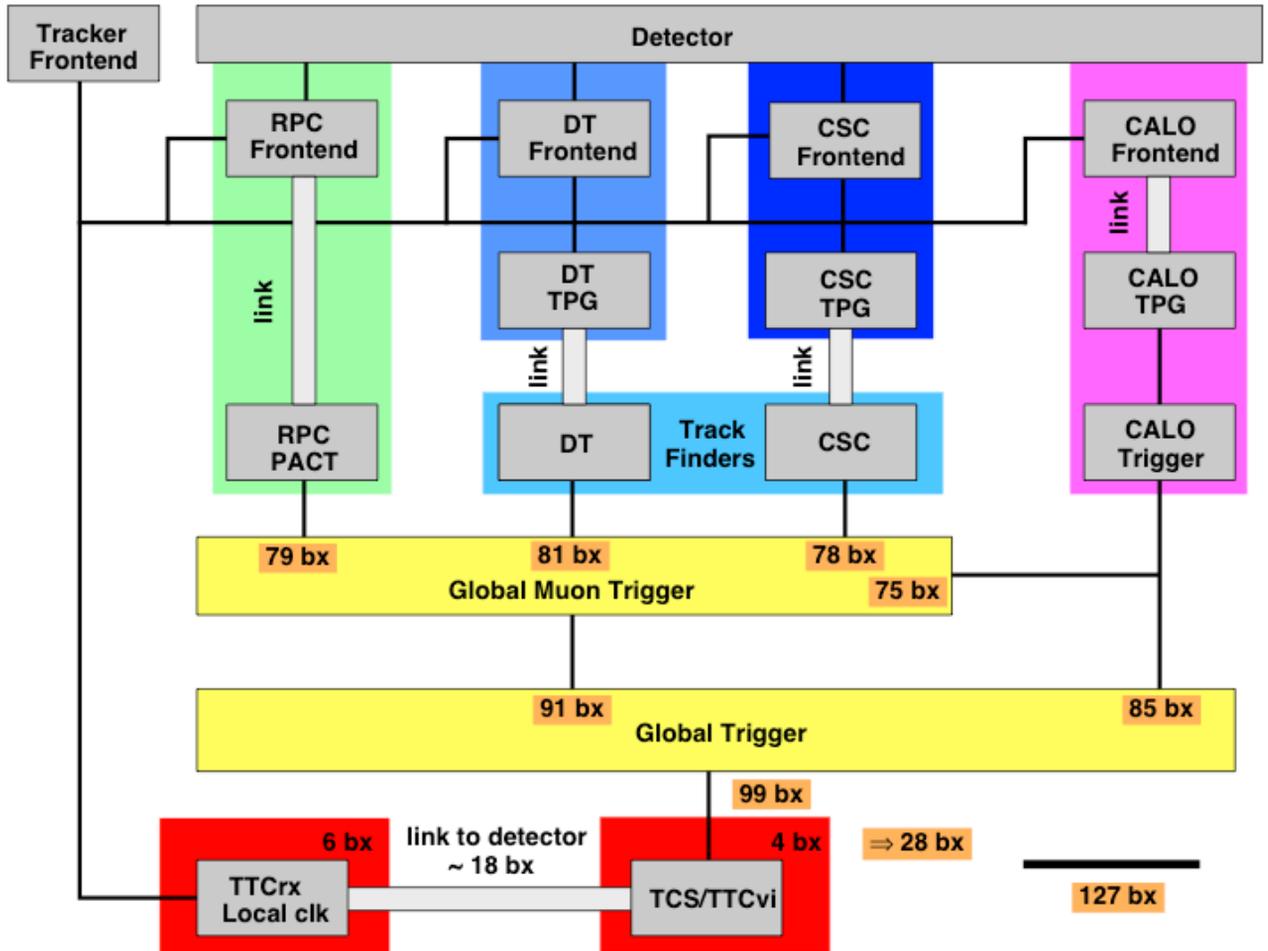
Introduzione ai rivelatori di particelle

CMS – LV1



- LV1
 - processori dei singoli detectors
 - muoni, CAL forniscono informazioni
 - numero di muoni sopra una certa soglia di momento trasverso
 - energia, energia mancante nel calorimetro
 - presenza di “jets”
 - ...
 - processore centrale
 - mette insieme le informazioni e decide se accettare l’evento
 - tutto “pipelined”
 - una decisione ogni bunch crossing
 - senza tempo morto

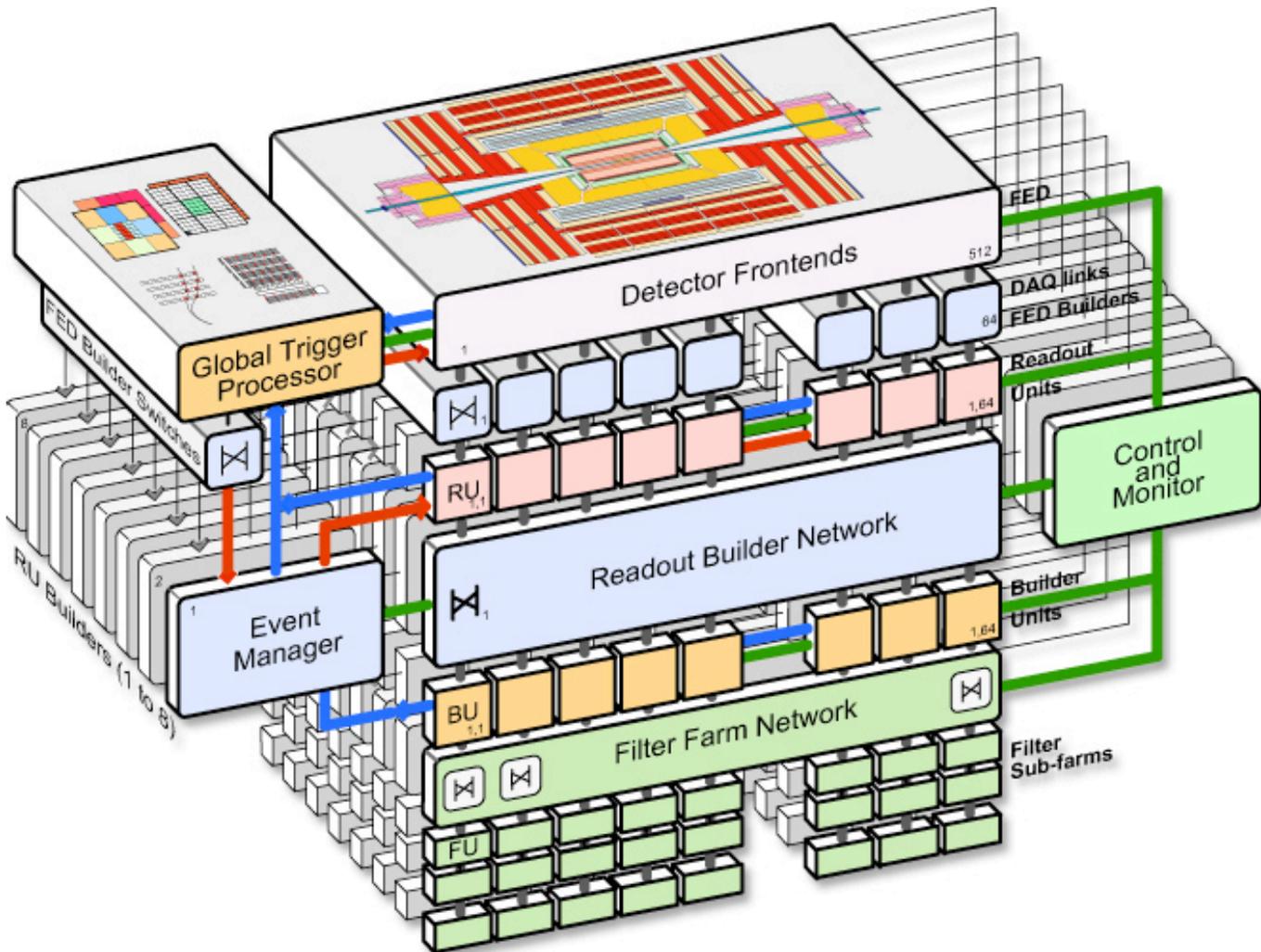
Introduzione ai rivelatori di particelle



- Tempo di processamento fisso
 - $127 \text{ bx} \approx 3 \mu\text{s}$
 - le pipelines dei dati in attesa devono essere adattate a questo tempo

Introduzione ai rivelatori di particelle

HLT



- HLT
 - “filter farm”: batteria di computer commerciali
 - circa 2000 CPU
 - ad ogni computer viene assegnato un evento da analizzare
 - versione ridotta del software “off-line”
 - una frazione (1/1000) di eventi viene accettata e mandata su disco per l’analisi off-line
 - circa 1.5 MB/evento prima della ricostruzione off-line