

Un rivelatore GEM di grande area

Test su fascio di particelle ed analisi dei risultati

Elena Graverini

Fisica e Tecnologie Avanzate

18 Aprile 2011

Relatore:
Prof. Nicola Turini



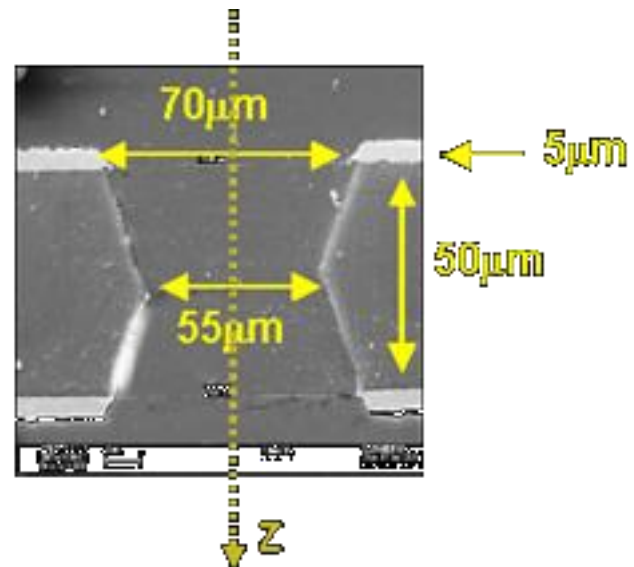
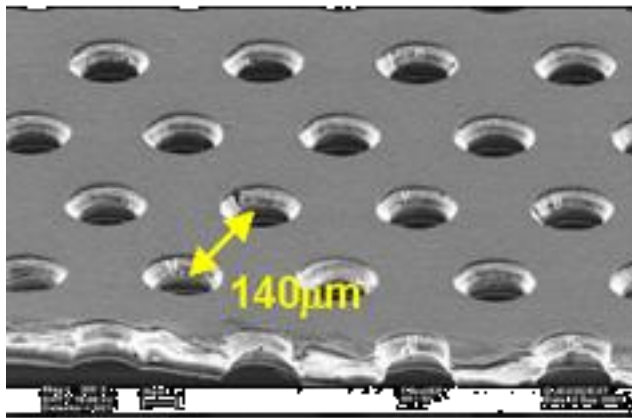


Sommario

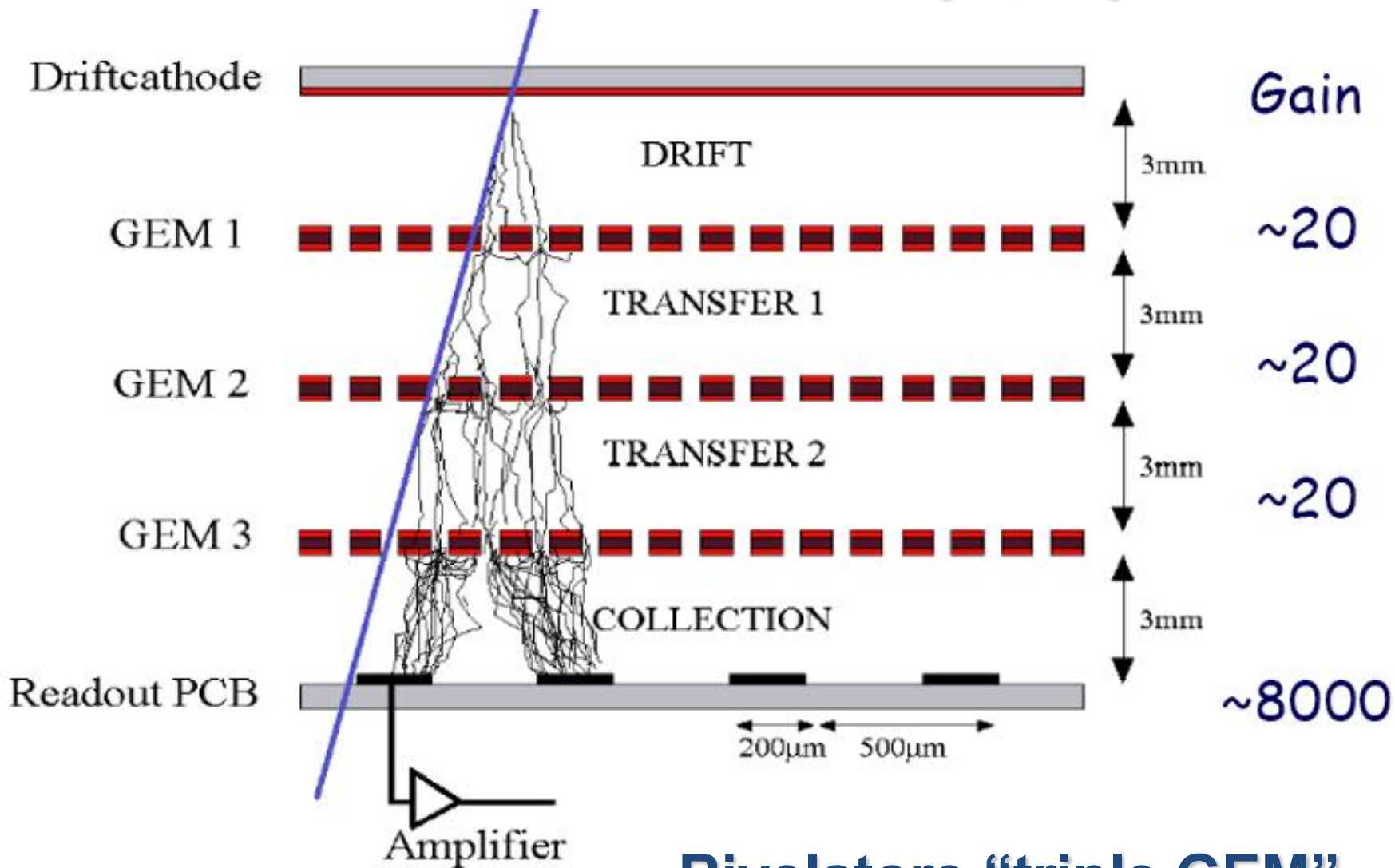
- Introduzione rivelatori GEM – descrizione del prototipo
- Descrizione del telescopio e dell’elettronica di readout
- Risultati dei test su fascio, analisi di rumore
- Finalità di utilizzo di rivelatori GEM di grande area

1 The prototype: a large GEM	11		
1.1 GEM detectors	11	4.2 High voltage scan	42
1.2 Choice of the gas	14	4.3 Threshold scan	46
1.3 A large triple GEM detector	19	4.4 Timing scan	51
1.3.1 Gain curve	22	4.5 Behaviour with hadron beam	56
2 Readout electronics	25	5 Remarks	59
2.1 VFAT2 readout chip	25	5.1 (In)homogeneity of the prototype	59
2.2 Turbo readout card	29	5.1.1 Critical chamber zones	59
2.3 Off-beam threshold scan	30	5.1.2 Effects of the different pad dimensions	63
3 Experimental setup	33	5.2 Efficiency radius lenght: noise checks	66
3.1 The test-beam facility	33	5.3 Analysis algorithms: cuts	70
3.2 The telescope	34	6 Conclusions	73
3.3 Data analysis system	35	6.1 Quality of the large GEM prototype	73
3.3.1 Hits, clusters and tracks	35	6.2 Large GEMs for TOTEM and CMS	74
3.3.2 Reconstructing the beam profile	37	Appendix A ROOT analysis routines	77
4 On-beam tests	41	A.1 Data reconstructing algorithms	77
4.1 Efficiency of the tracker	41	A.2 Scan-specific algorithms	85

- **GEM = GAS ELECTRON MULTIPLIER**
- Particelle cariche (o fotoni) ionizzano il gas all'interno del rivelatore, liberando **coppie ione-elettrone**
- Sottile foglio di materiale plastico ricoperto di rame da entrambi i lati (**GEM anode/cathode**)
- Tensione sugli elettrodi → grande campo elettrico
- Fori come **canali di amplificazione**: gli elettroni entrano nel condensatore e ne escono **accelerati**, in grado di **ionizzare** ulteriormente il gas



Rivelatori GEM (2/2)



Rivelatore "triple GEM"

- **Etching:** foratura tramite processo chimico simile a quello per la produzione di circuiti stampati
- **Superficie estesa:** difficoltà nell'allineamento delle maschere per la foratura → **single-mask!**
- Necessario **“incollare”** più fogli: difficoltà nello **stretching**
- → area di giunzione (inattiva)
- Elettrodi di readout: $16 \cdot 64 = 1024$ pads

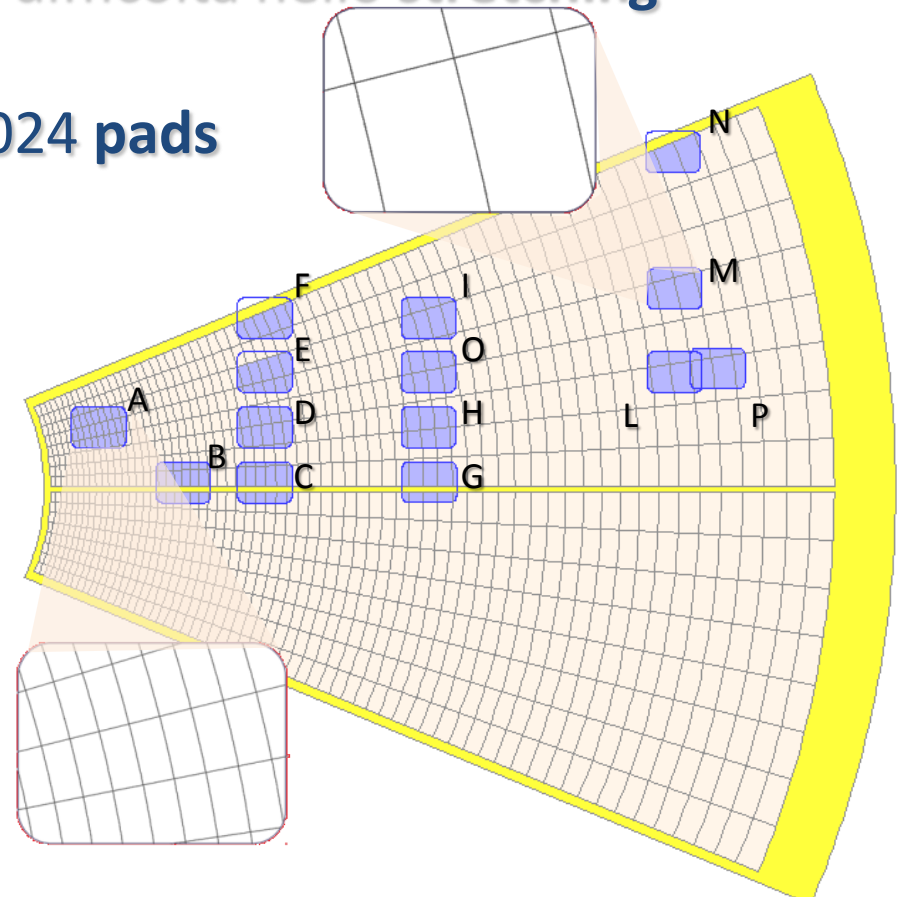
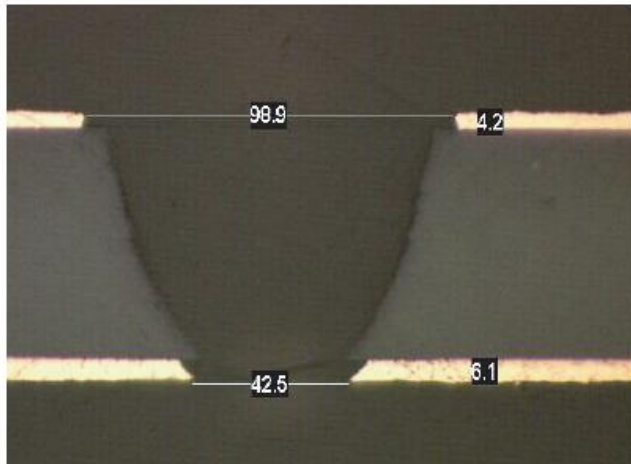
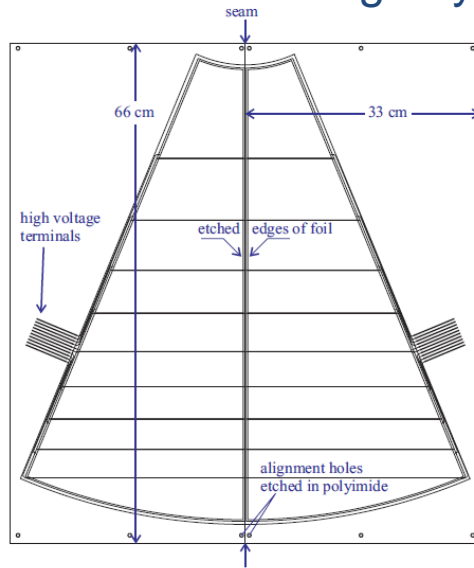
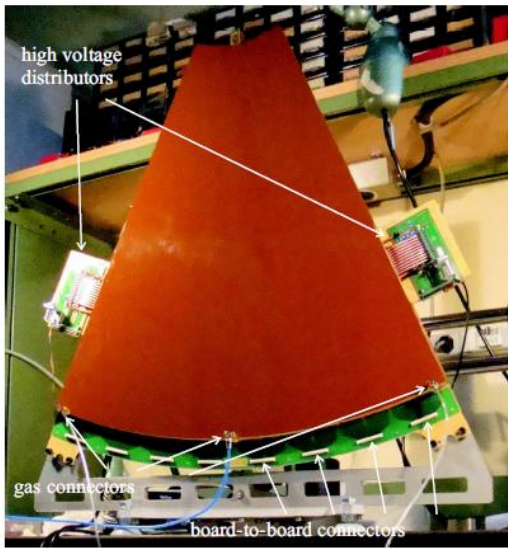


Figure 7. Cross section view of a hole, representative of the foils used for making the prototype. Indicated dimensions are in microns.

Costruito nel laboratorio di RD51 – design by Serge Duarte Pinto (CERN)



“A large area gem detector”, Serge Duarte Pinto et al., 2008 IEEE Nuclear Science Symposium Conference

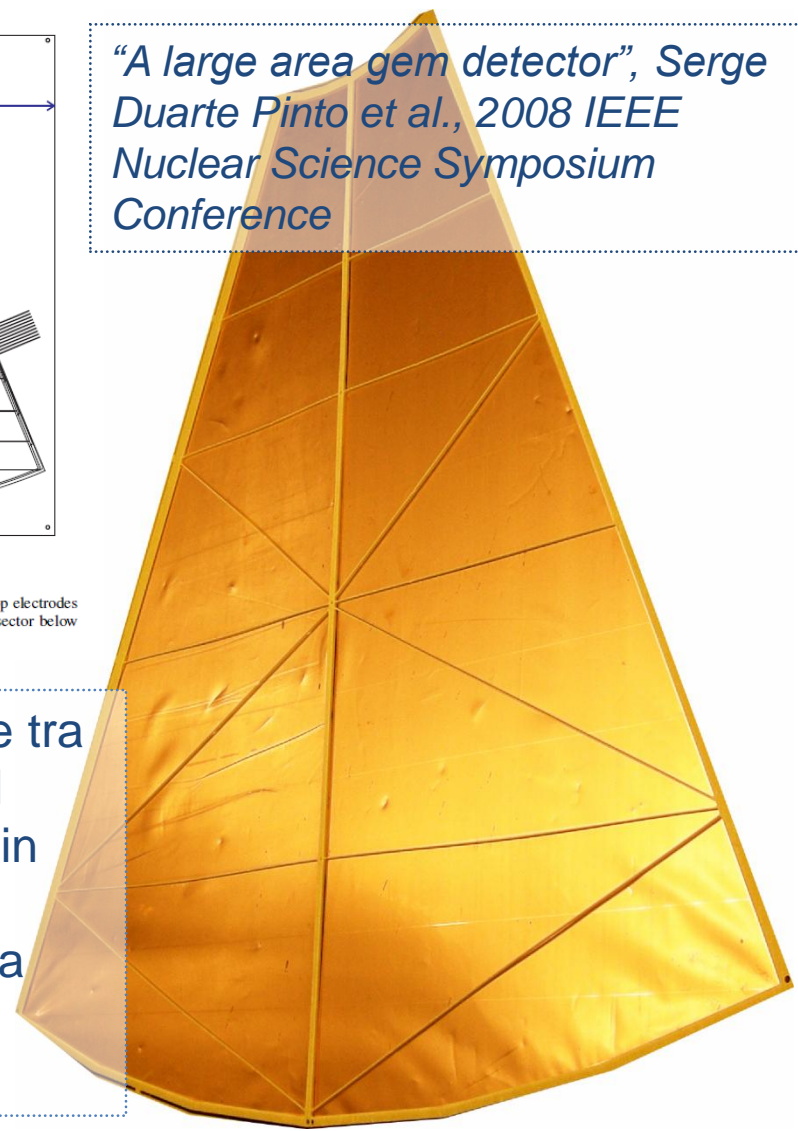
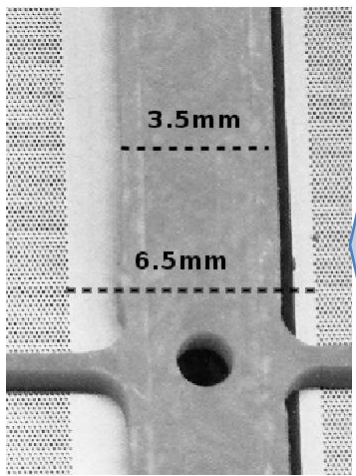


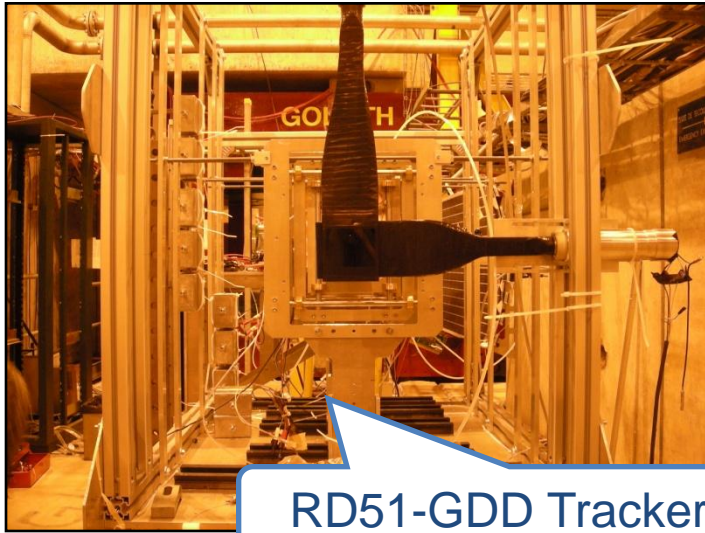
Figure 14. Layout of the GEM foils used for the prototype. The top electrodes are divided in sectors of $\leq 100 \text{ cm}^2$ to keep the capacitance per sector below 1 nF .

Figure 12. The prototype large area triple GEM detector, mounted on its support.



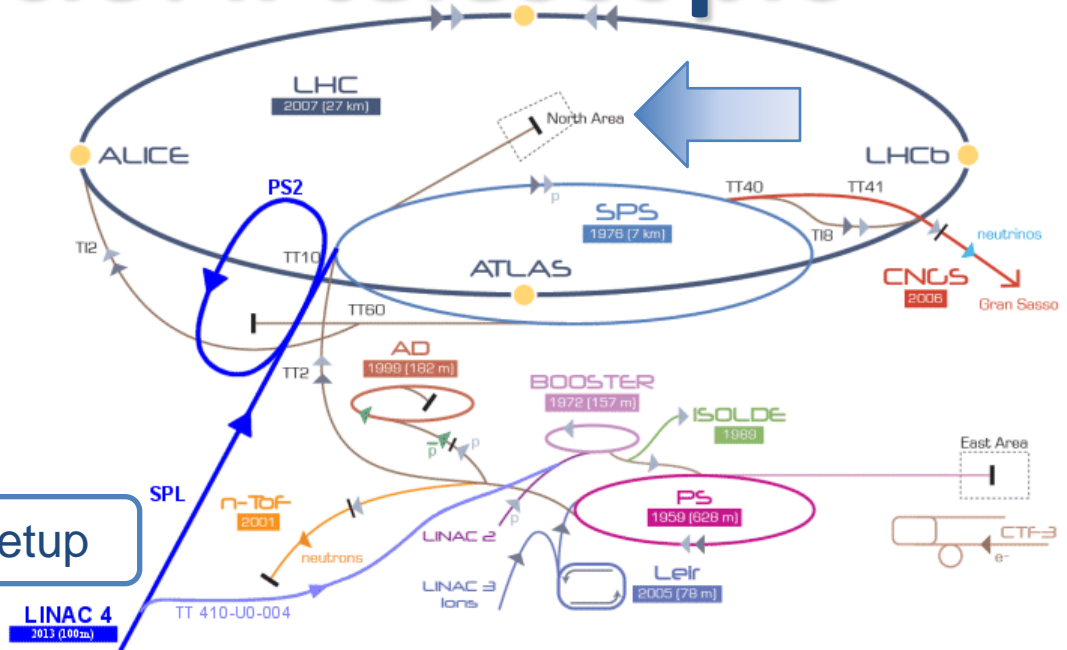
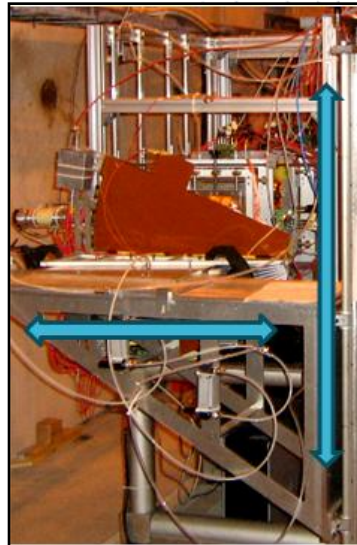
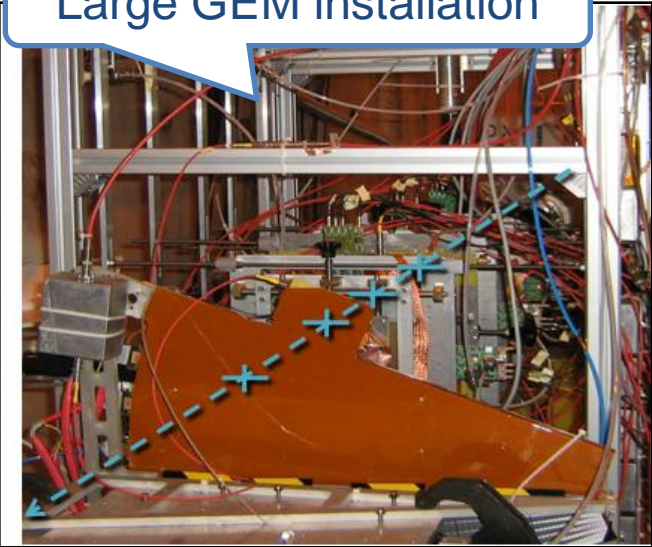
La zona della giunzione tra i fogli GEM si trova, nel prototipo, esattamente in corrispondenza di uno *spacer* (distanziatore tra fogli all'interno del rivelatore)

Test su fascio: il telescopio



RD51-GDD Tracker setup

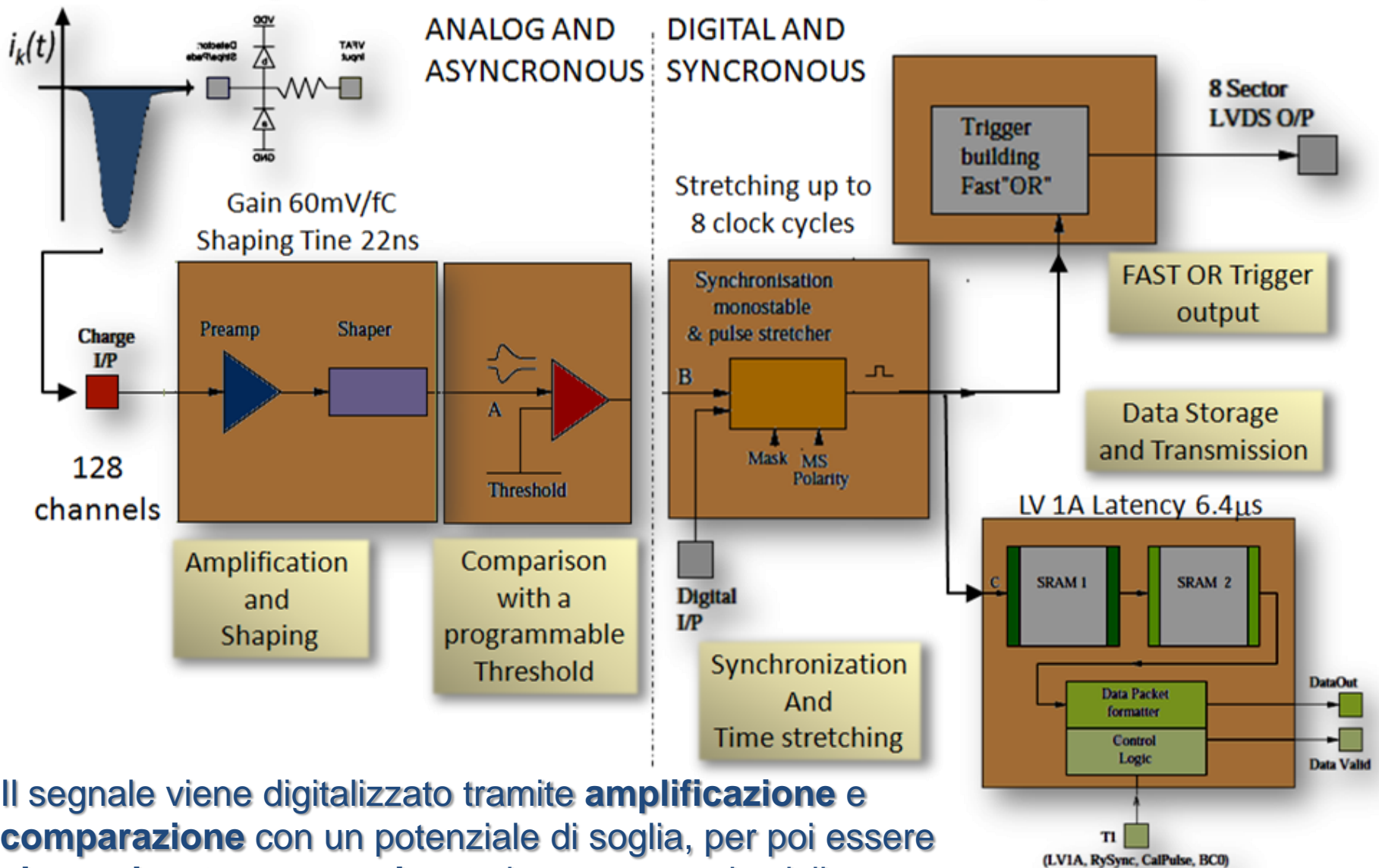
Large GEM installation



Organizzazione del *test-beam*:

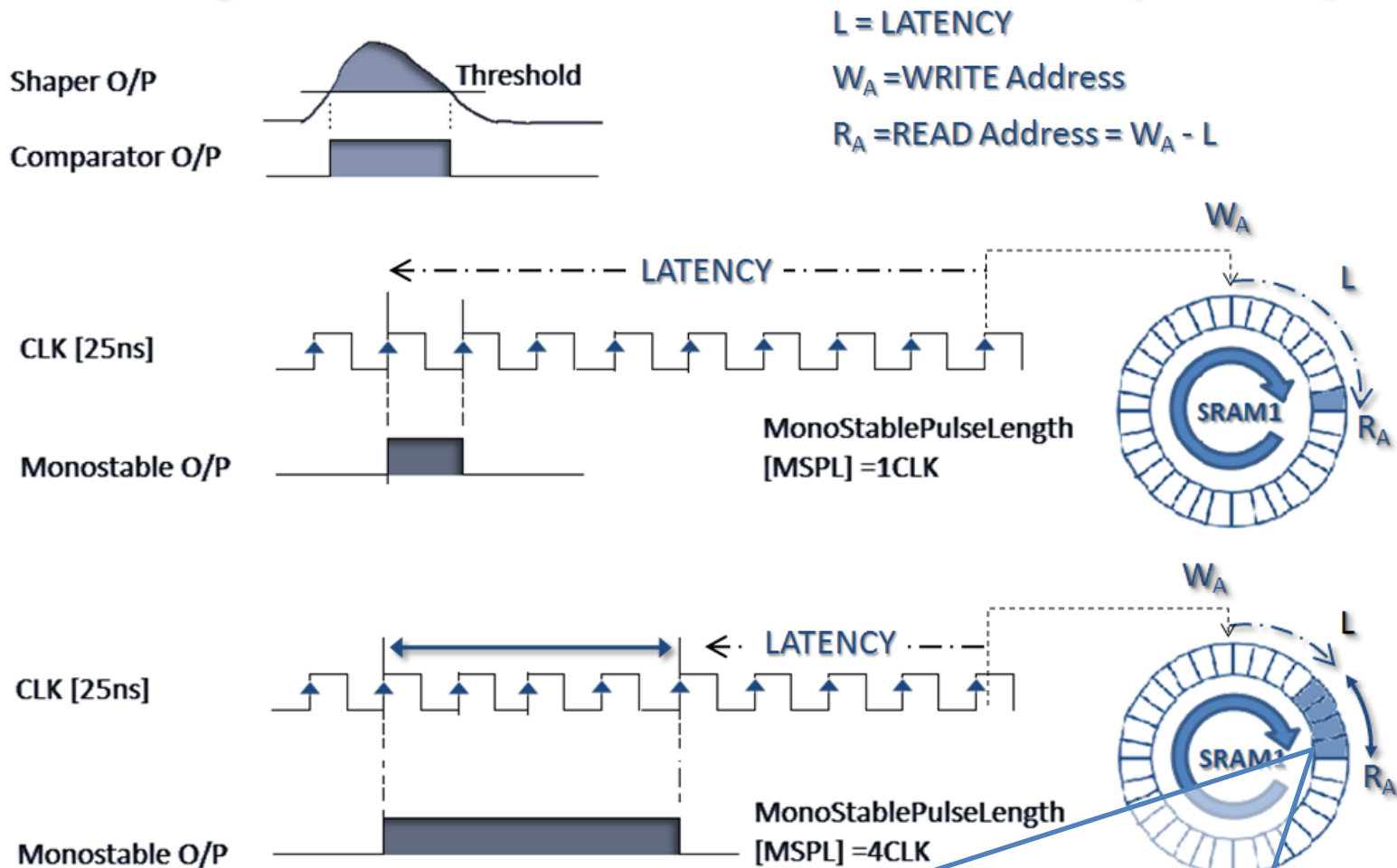
- 3 scintillatori → trigger
- 3 piccoli rivelatori GEM (10·10cm²) → ricostruzione tracce
- Chip di readout → VFAT2
- Schede di lettura VFAT2 → “Turbo” (design by Dr. R. Cecchi and Dr. M.G. Bagliesi)

Chip di lettura: VFAT2 (1/3)



Il segnale viene digitalizzato tramite **amplificazione e comparazione** con un potenziale di soglia, per poi essere **sincronizzato e memorizzato** in una memoria ciclica.

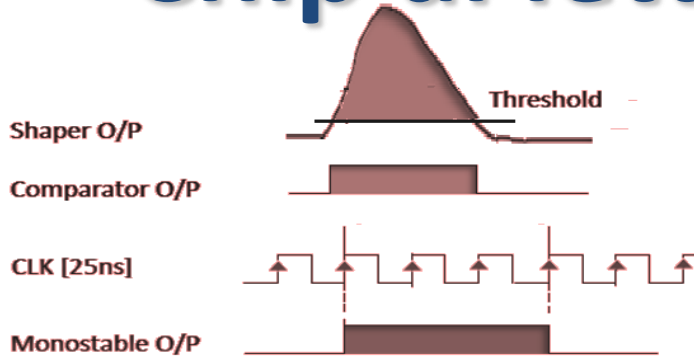
Chip di lettura: VFAT2 (2/3)



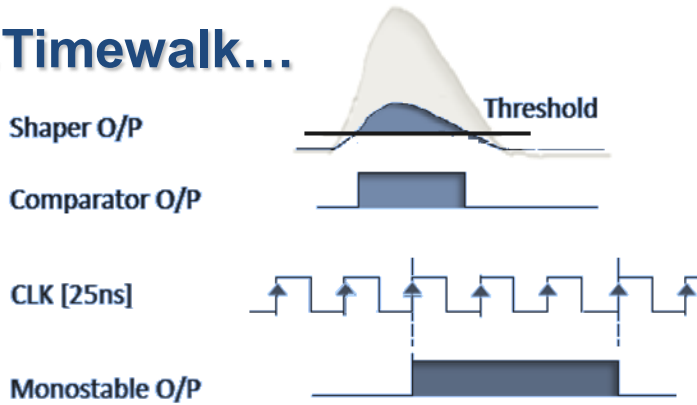
E' possibile prolungare l'impulso in uscita dal monostabile. Questo serve per **allargare il range di latenze** presso le quali troviamo memorizzate le informazioni relative all'evento richiesto.

Chip di lettura: VFAT2 (3/3)

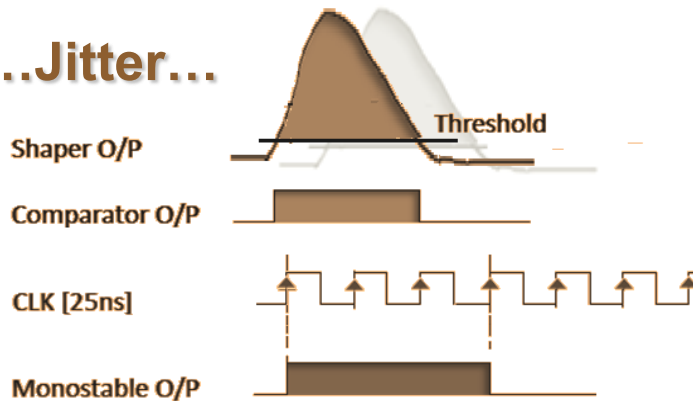
Il segnale può avere infatti diverse forme, a seconda di **dove** sono stati rilasciati gli elettroni primari e della **quantità di carica** raccolta dal singolo elettrodo di lettura.



...Timewalk...



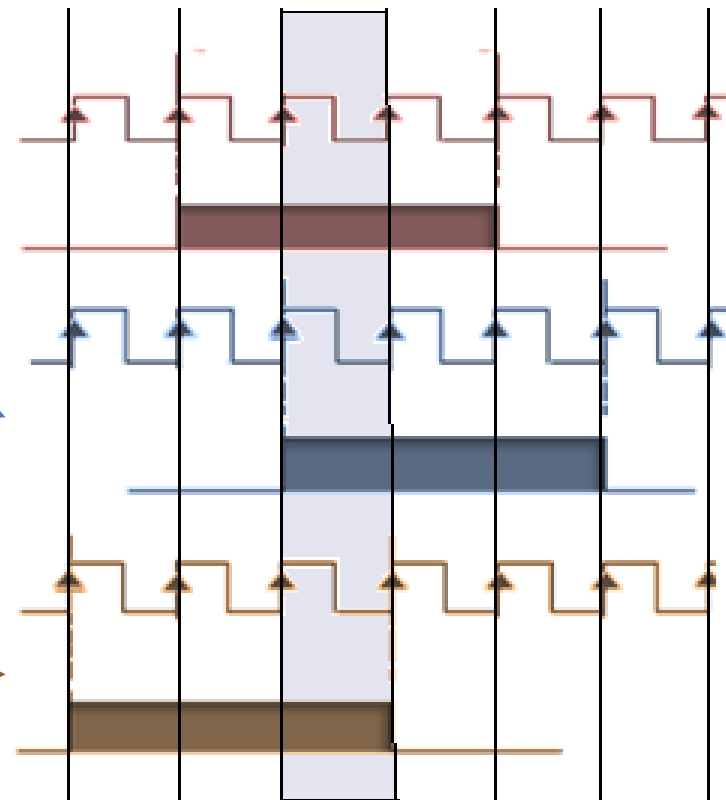
...Jitter...



Monostable O/P

Monostable O/P

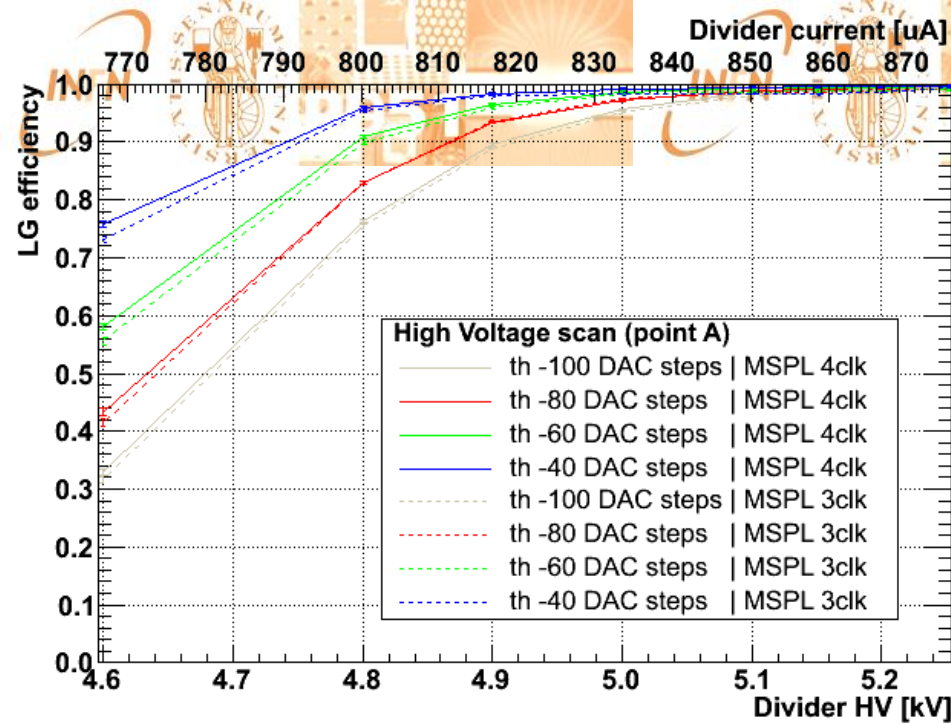
Monostable O/P



A photograph of a complex particle detector assembly, possibly a calorimeter, with a semi-transparent blue overlay. The assembly consists of multiple layers of grey, rectangular modules. A dense network of black, red, and blue cables is connected to the modules. A green printed circuit board (PCB) is visible on top of one of the modules. The background is a brightly lit laboratory environment with various equipment and cables.

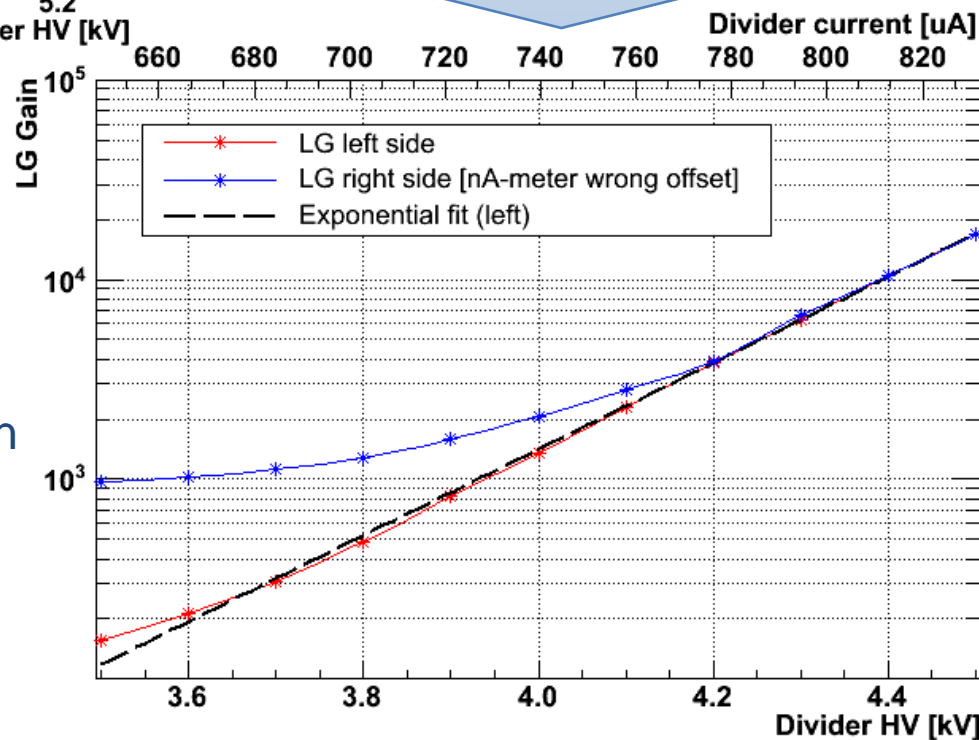
Risultati del test su fascio di particelle

12 – 22 Agosto 2010



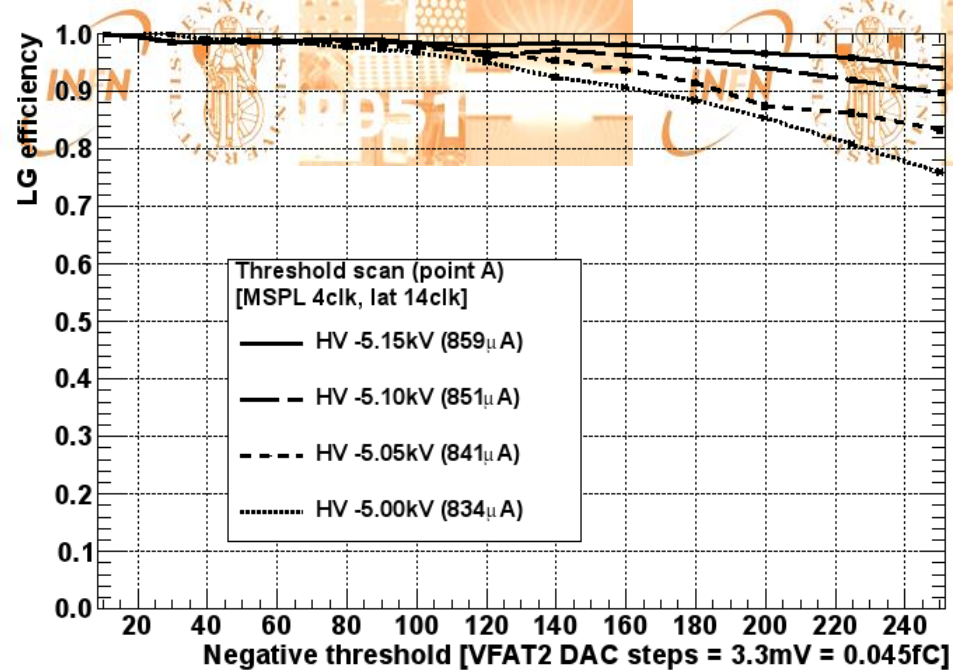
Efficienza in funzione del guadagno

Curva di guadagno



Algoritmo di calcolo dell'efficienza:

- ricostruzione traccia (RD51 tracker)
- proiezione traccia su Large GEM
- verifica presenza di hit sulla LG in un intorno d'efficienza di raggio r_{eff} a partire dalla proiezione della traccia

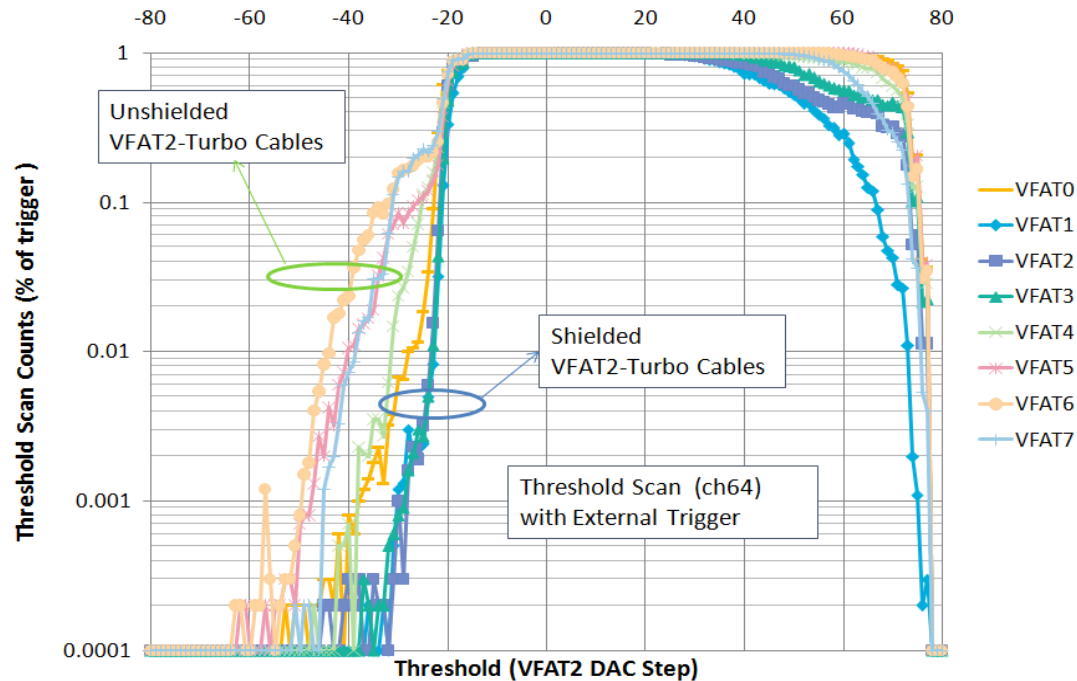


Efficienza in funzione della threshold impostata sui VFAT2

Scansioni in threshold preliminari effettuate in laboratorio hanno indicato 40 DAC steps come limite inferiore da impostare.

Un VFAT2 DAC step $\approx 3,3\text{mV}$ a livello del comparatore. Per tipici segnali prodotti da rivelatori a GEM, ciò equivale a circa 400 elettroni raccolti dall'elettrodo di lettura.

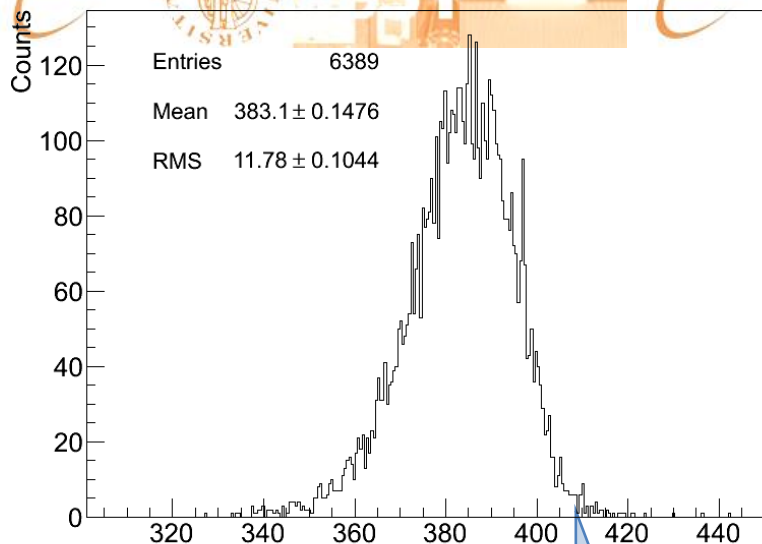
Threshold Scan [Laboratory Measurement]



LargeGEM: TDC Measurements

Gas Mixture: Ar/CO₂ 70/30, H.V.= -5.25kV, 875uA

Pad Type: Larger, VFAT2 MSPL=4clk, Threshold = -40 DAC step



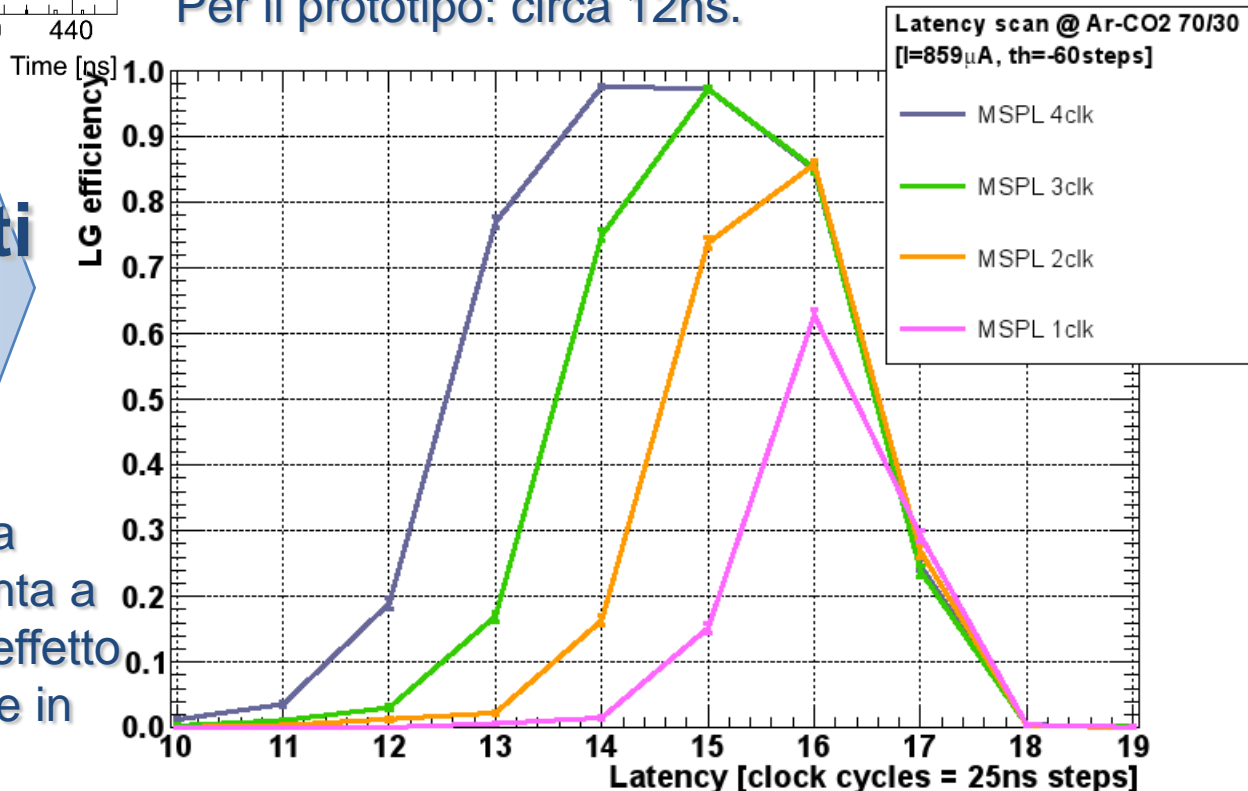
Risoluzione temporale

Una misura della risoluzione temporale può essere effettuata valutando la deviazione standard della distribuzione del **gap temporale** tra il segnale di **trigger fisico** dato dagli scintillatori e quello dato dal **Fast-OR** del VFAT2.

Per il prototipo: circa 12ns.

Scansione in latenza a differenti lunghezze di monostabile

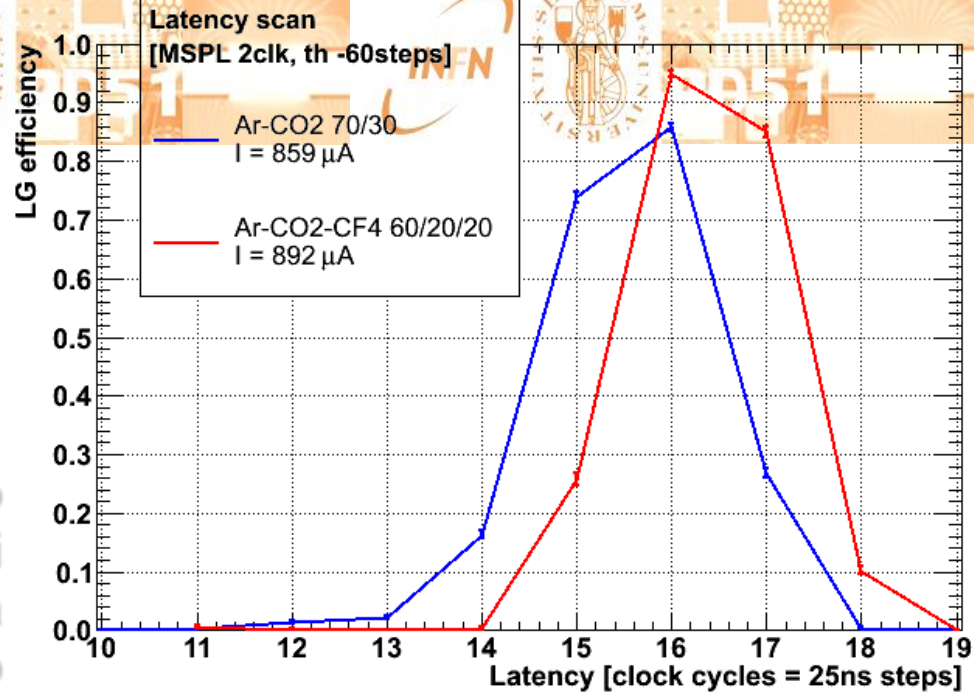
Usando il gas Ar/CO₂ 70/30, la **massima efficienza** è raggiunta a **MSPL=3-4clk**. Il plot mostra l'effetto dell'**allungamento** del segnale in uscita dal monostabile.



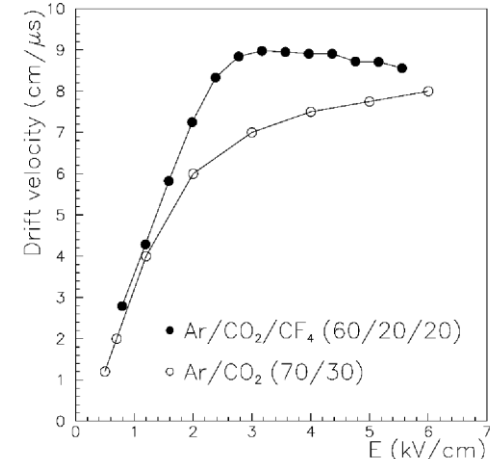
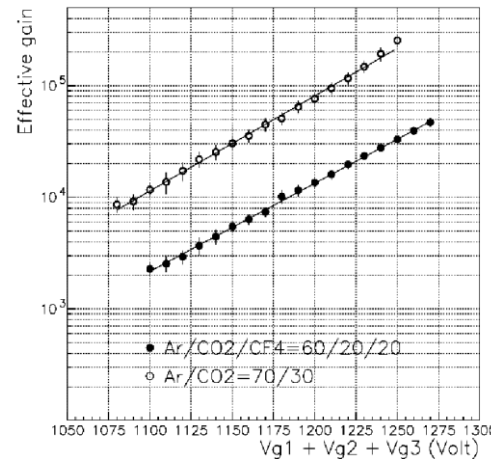
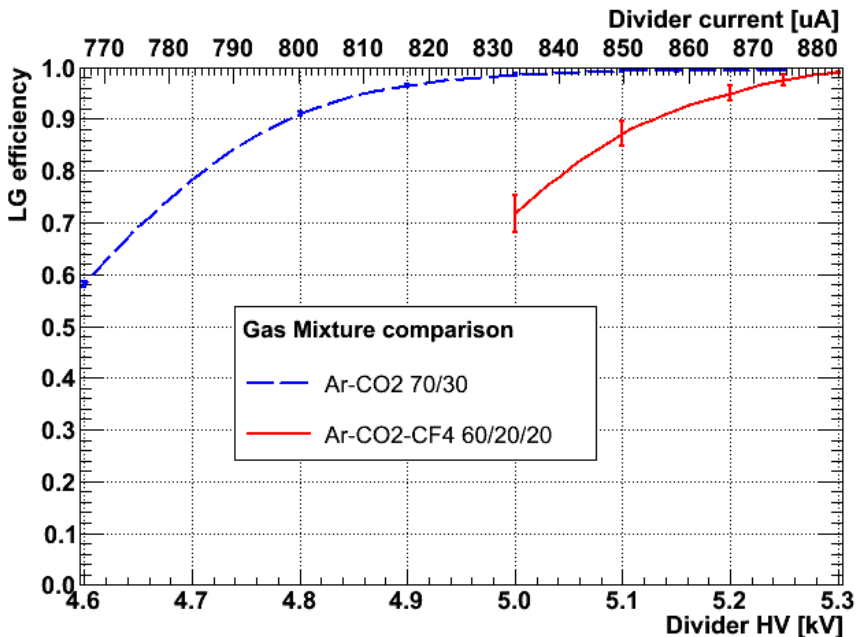
Guardando verso LHC: collisioni ogni 25ns

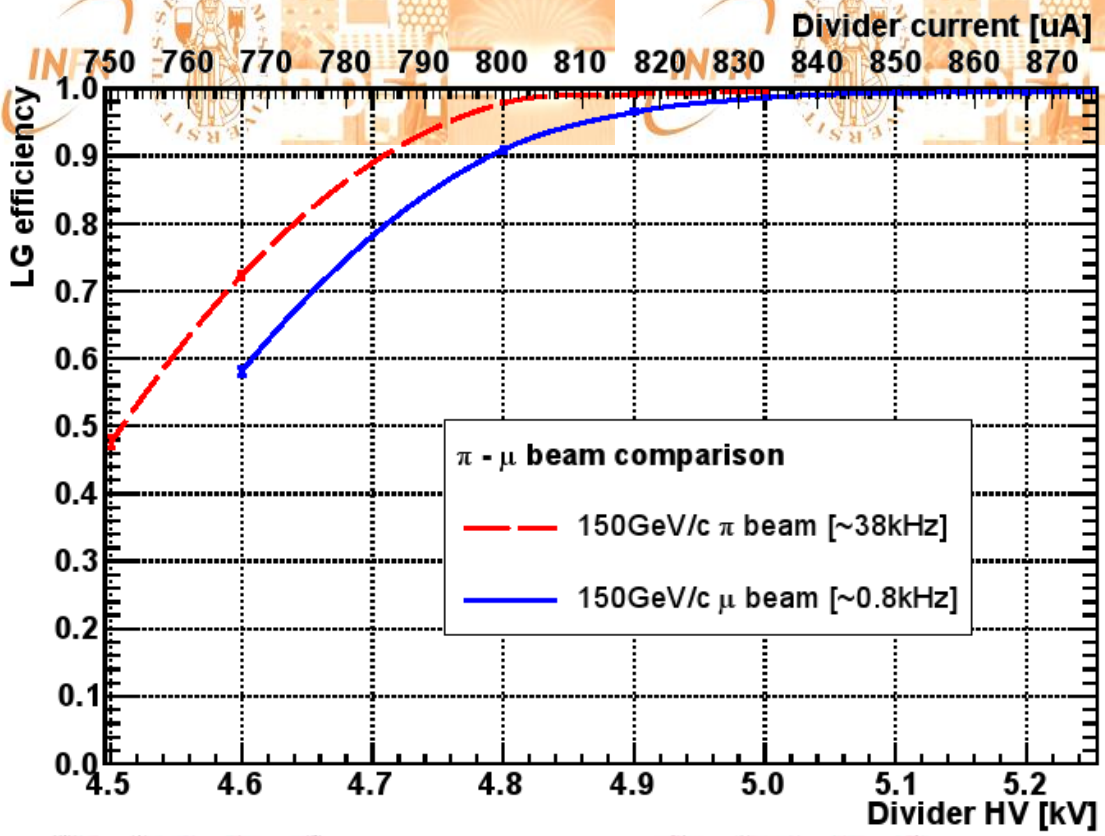
Segnali lunghi 4clk (100ns) causerebbero sovrapposizione di eventi. Occorre passare a $MSPL=1clk$.

Abbiamo aggiunto **tetrafluorometano** (CF_4) alla mistura di gas. Il guadagno si abbassa, ma la caratteristica alta velocità di **drift** del CF_4 e la riduzione dell'effetto **Jitter** (più ionizzazioni primarie) fanno sì che i segnali prodotti mandino il canale **sopra soglia** in un tempo mediamente più **breve**, aumentando l'**efficienza** del sistema a basse lunghezze di monostabile.



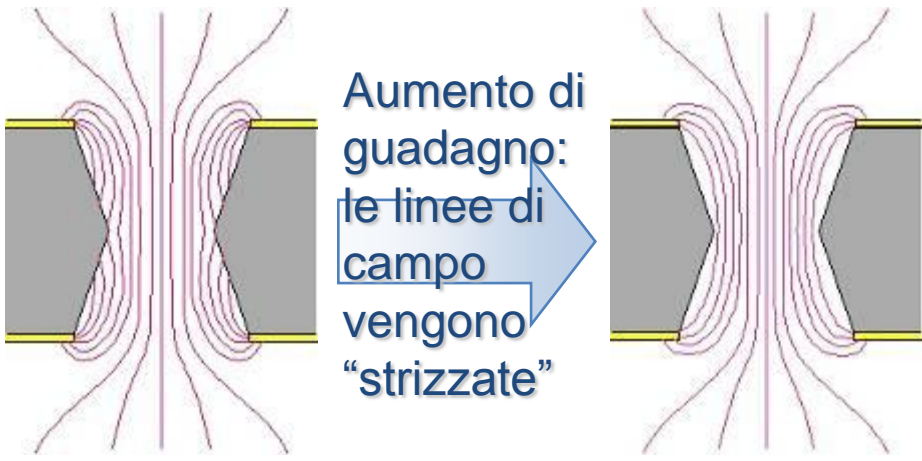
che i segnali prodotti mandino il canale **sopra soglia** in un tempo mediamente più **breve**, aumentando l'**efficienza** del sistema a basse lunghezze di monostabile.





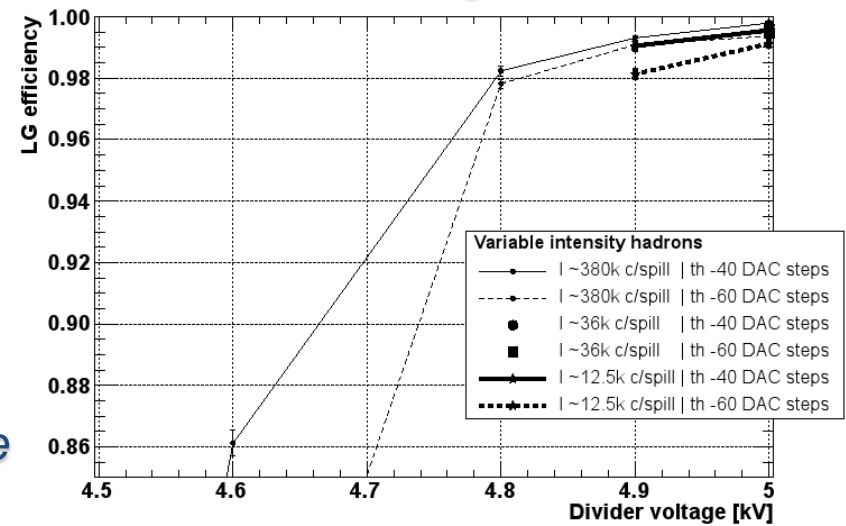
Fascio di μ^- contro fascio di π^-

- utilizzato un fascio muonico per la maggior parte dei test
- muoni ottenuti dal decadimento di pioni \rightarrow aprendo i collimatori è possibile ottenere un fascio di pioni (alta intensità)
- test su pioni mostrano un innalzamento di efficienza...
- **charging up** dell'isolante all'interno dei fogli GEM?



GEM (biconical hole)

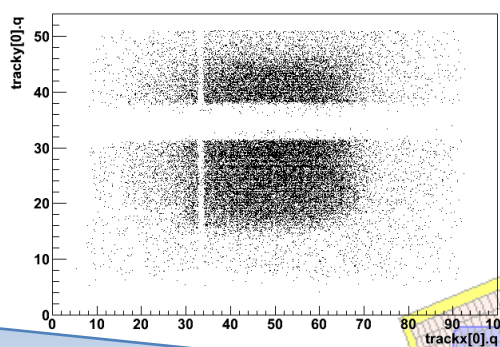
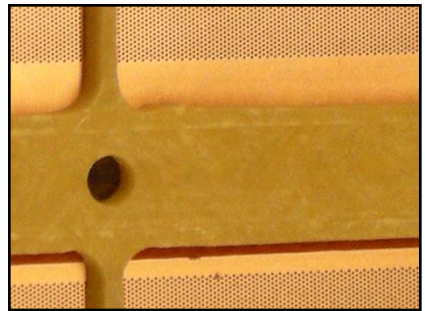
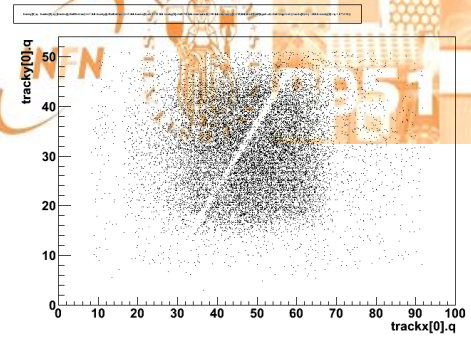
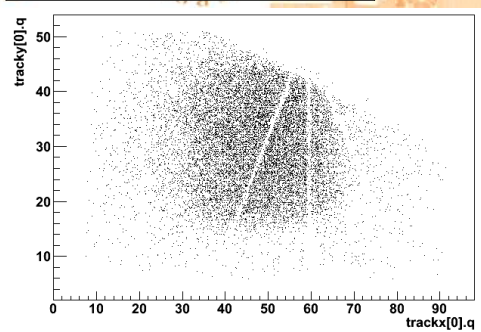
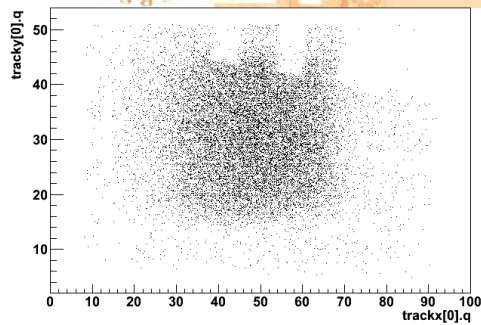
Charged up GEM hole



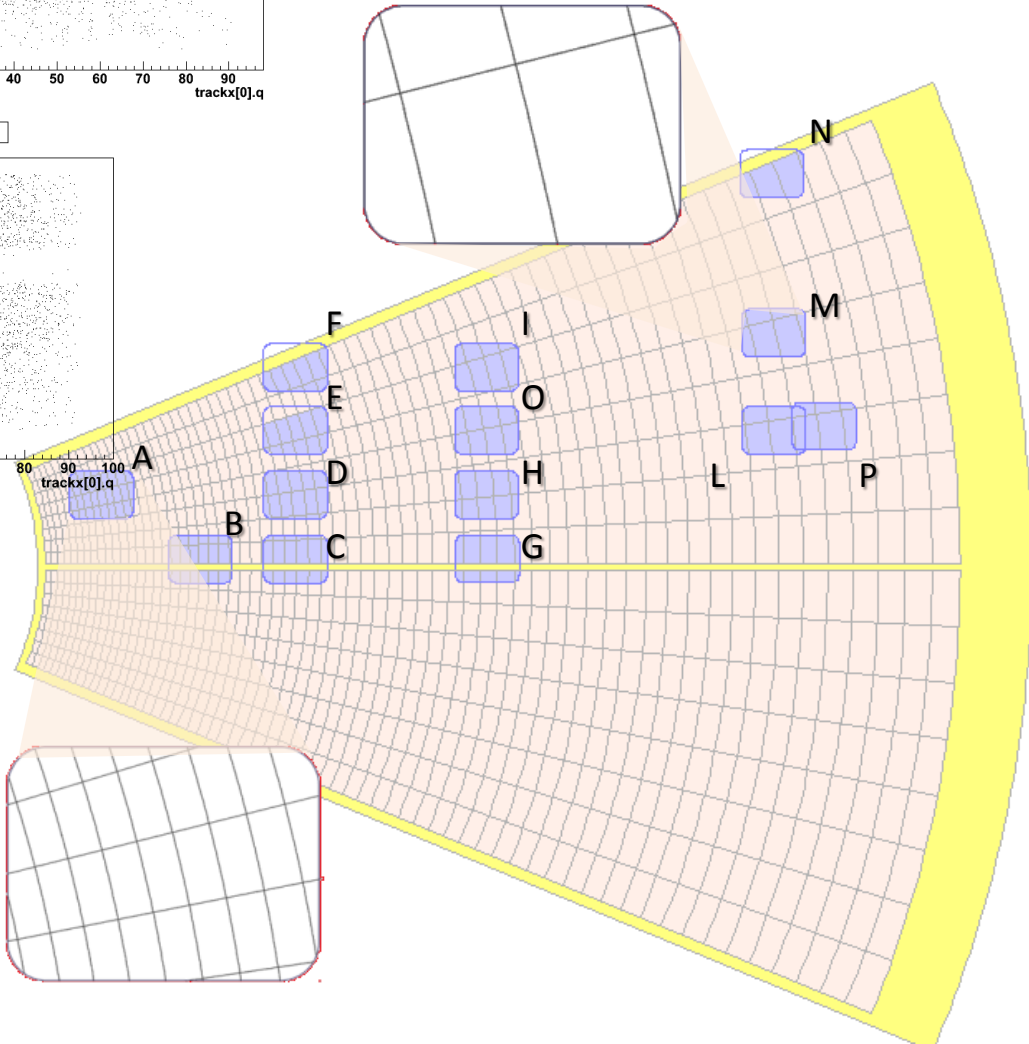
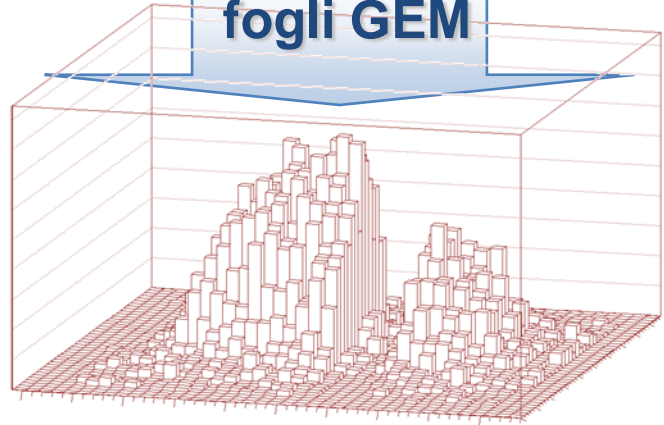
A photograph of a complex electronic test setup. A laptop is open on a desk, displaying a graph on its screen. The desk is cluttered with numerous cables, some connected to a large, dark-colored electronic device. The background is a brightly lit room with a window. The text "Uniformità di risposta e test di rumore" is overlaid on the image in a bold, dark blue font.

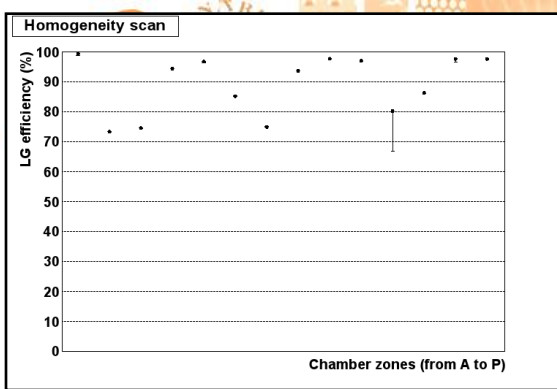
Uniformità di risposta e test di rumore

“Radiografia” del prototipo!



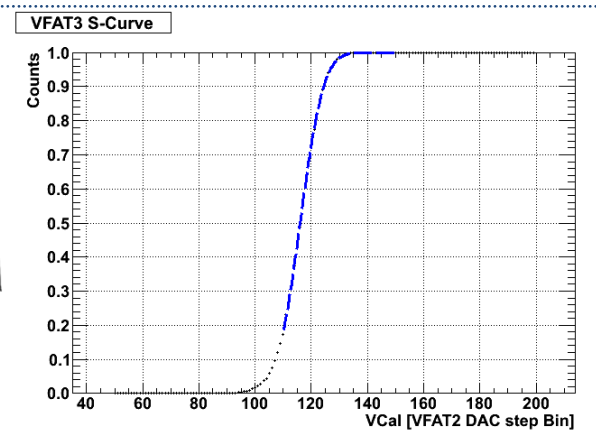
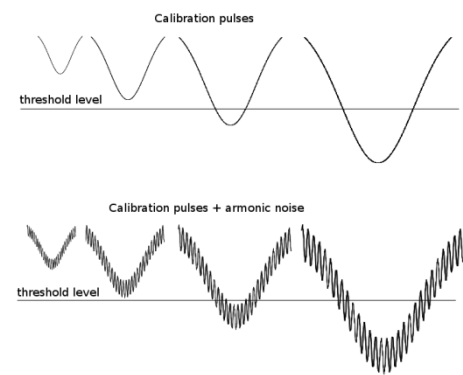
Zona di giunzione tra i fogli GEM



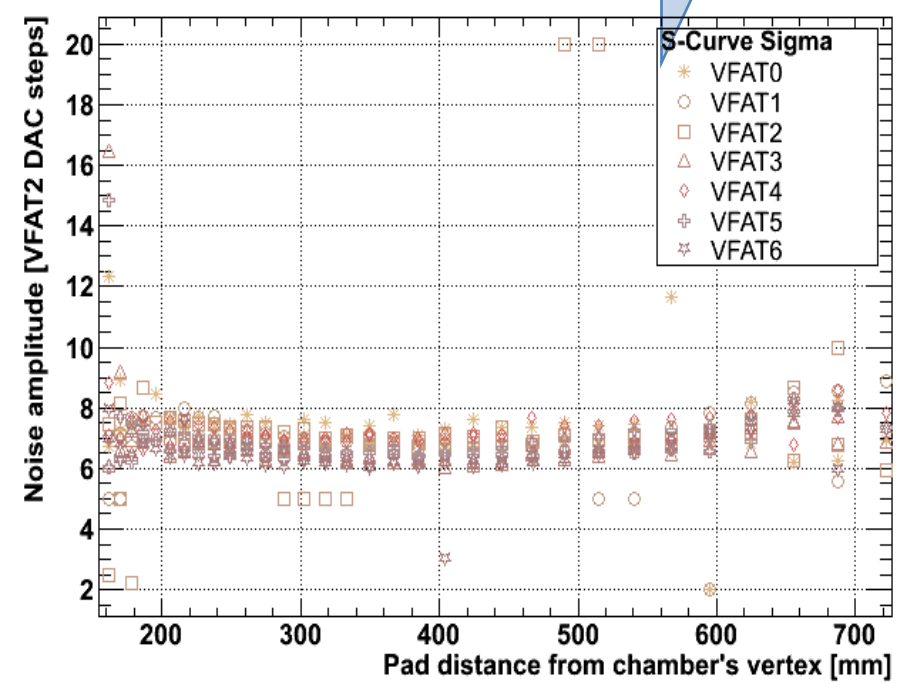


Abbiamo volutamente testato l'uniformità di risposta del rivelatore in alcune zone critiche. In più, abbiamo trovato alcuni **difetti geometrici** (spacers disallineati) e nel piano di **readout** (alcuni pad disconnessi, qualche pad rumoroso)

Analisi di rumore: impulsi di calibrazione



E' possibile iniettare impulsi di calibrazione di carica crescente nei canali di readout. Dato il contributo del **rumore**, i canali passano sopra soglia secondo una *distribuzione gaussiana* centrata nel valore di threshold impostato. Il conteggio degli hit avrà quindi la forma di una **error function**, integrale di una gaussiana, la cui sigma corrisponde al livello medio di rumore espresso in *VFAT2 DAC steps*.



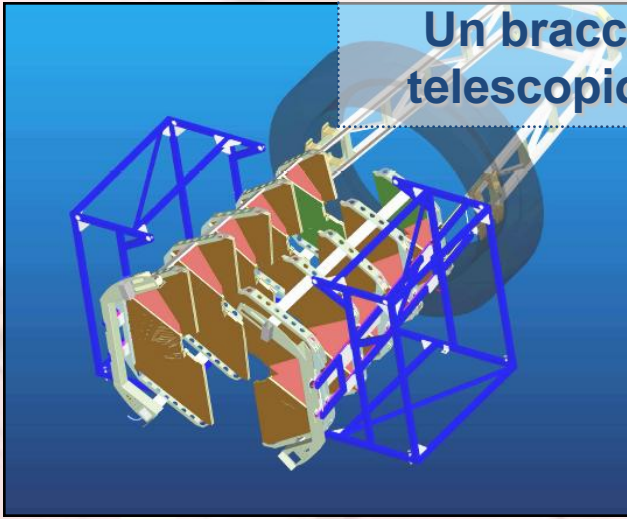
$$Q_{noise}^{EQ} = 400e^- + 50 \frac{e^-}{pF} \quad C \approx 48pF$$

Possibilità di utilizzo nell'esperimento TOTEM

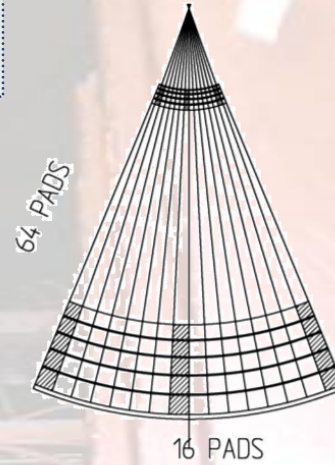
*L'attuale telescopio T1 di TOTEM, attivo nella regione di pseudorapidità $3,1 \leq |\eta| \leq 4,7$, è costituito di "cathode strip chambers", rivelatori a fili che potrebbero venire danneggiati dai run ad **alta luminosità** di LHC previsti dal 2011.*

*Un telescopio di rivelatori GEM può garantire maggiore **resistenza** e limitate probabilità di scarica, assieme ad alta **efficienza** e buona **risoluzione temporale**.*

Un braccio dell'attuale telescopio T1 di TOTEM

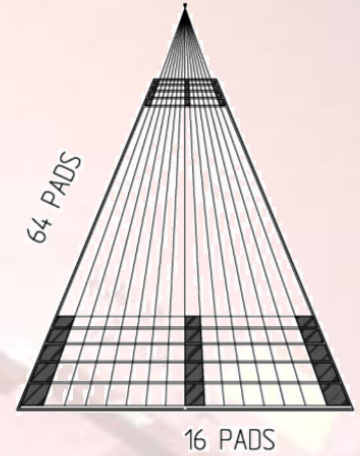


OPTION 1



$$64 \times 16 = 1024 \text{ pads}$$

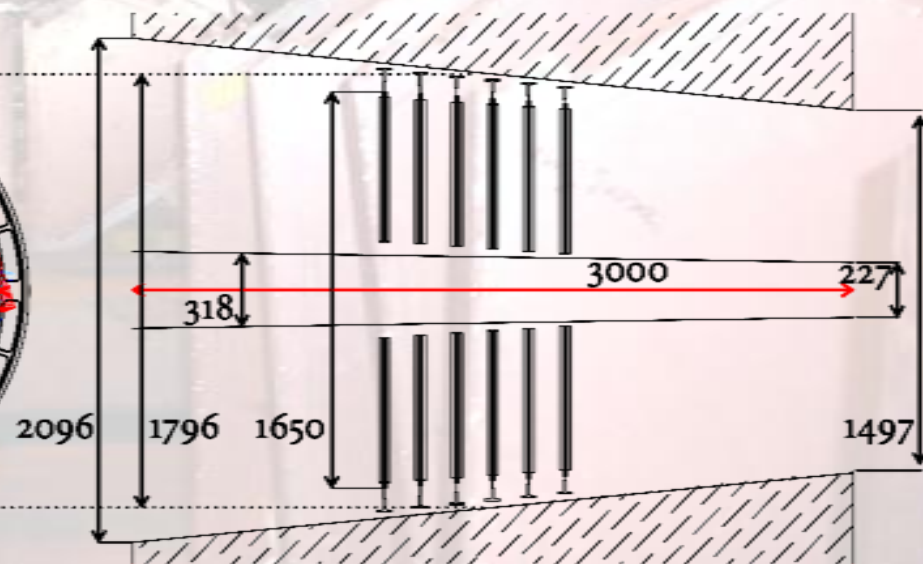
OPTION 2



$$64 \times 16 = 1024 \text{ pads}$$

Anche il **piano di readout** composto di pad di diverse dimensioni ha dimostrato un **buon accordo con l'elettronica di front-end** già in uso a TOTEM. Un piano di lettura composto di $16 \cdot 64 = 1024$ pads, come quello del prototipo, potrebbe essere un buon candidato per il rimpiazzo a GEM di T1.

Una idea per una possibile configurazione di grandi rivelatori GEM che offrano la **stessa copertura in pseudorapidità** di T1





Grazie!

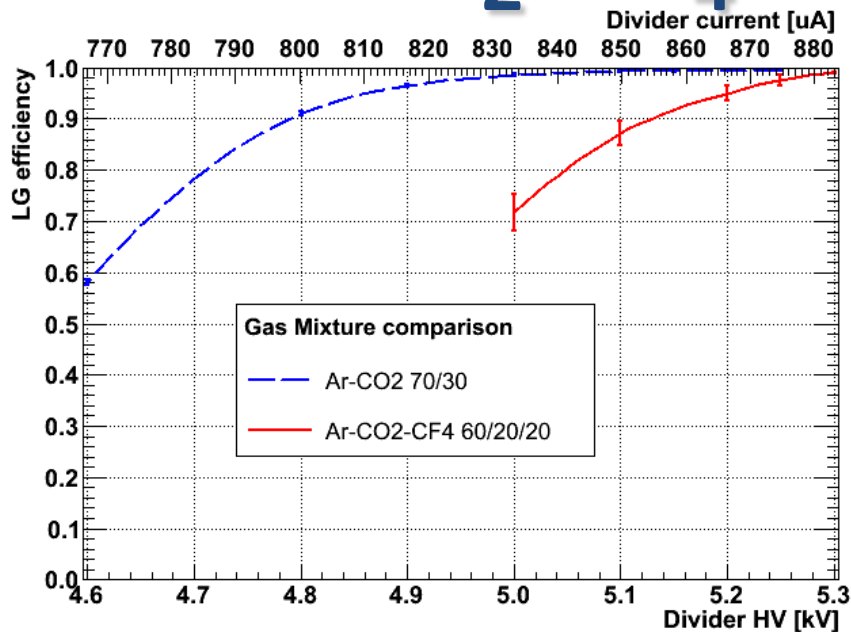
A photograph of a server rack in a data center. The rack is filled with server units, and a dense network of cables is visible. A semi-transparent blue box is overlaid on the center of the image, containing the word 'Backup' in a bold, dark blue font. The background shows other server racks and a red fire safety barrier.

Backup

GEM – Applicazioni

- Telescopio → ricostruzione tracce
- Monitoring (fisica medica): ricostruzione vertici a partire dai prodotti di collisioni
- Bassi costi di produzione (processi simili a produzione PCB)
- Possibilità di produzione “di massa”
- Buona resistenza alle radiazioni rispetto ad altri tipi di rivelatori

Ar-CO₂-CF₄ – Proprietà (1/2)



Il partitore non era ottimizzato per far lavorare il rivelatore con CF₄. Tuttavia le prestazioni osservate suggeriscono già una possibilità di utilizzo in telescopi come **T2** (telescopio GEM, TOTEM) per aumentarne la risoluzione temporale.

Gas Mixture	Drift velocity (drift field)	< Clusters/mm >	Intrinsic time resolution
Ar/CO ₂ (70/30)	7 cm/μs (@3 kV/cm)	3.3	4.7 ns (@3 kV/cm)
Ar/CO ₂ /CF ₄ (60/20/20)	9 cm/μs (@3 kV/cm)	5	2.3 ns (@3 kV/cm)
Ar/CO ₂ /CF ₄ (45/15/40)	10.5cm/μs (@3.5 kV/cm)	5.5	1.7 ns (@3.5 kV/cm)
Ar/CF ₄ /iso-C ₄ H ₁₀ (65/28/7)	11.5 cm/μs (@2kV/cm)	5.7	1.5 ns (@2 kV/cm)

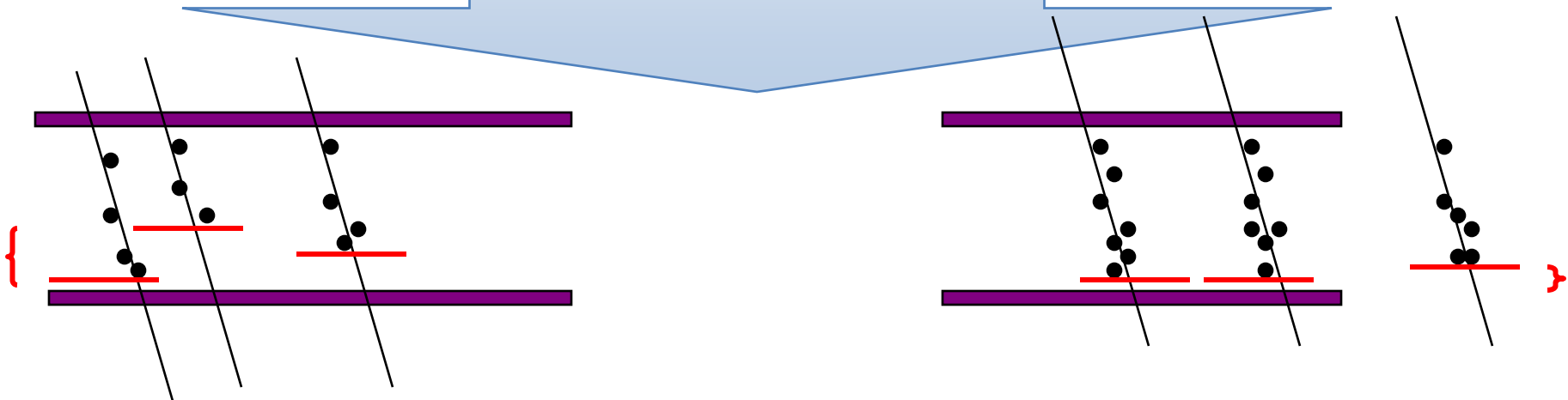
Table 3.1: Summary table of the gas mixture properties: optimized drift velocity and average cluster yield. The relative *intrinsic* time resolution is also reported.

Ar-CO₂-CF₄ – Proprietà (2/2)

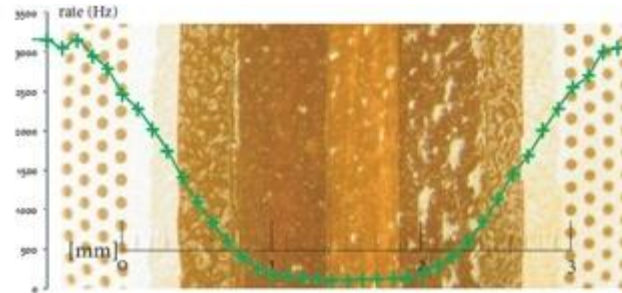
Distribuzione spaziale del cluster primario di ionizzazione più vicino al primo foglio GEM: *poissoniana*, $P(x) = n \cdot e^{-nx}$

- Sigma spaziale: $\sigma(x)=1/n$
- Sigma temporale: $\sigma(t)= 1/(n \cdot v_{\text{drift}})$

Maggiore è il numero di clusters primari di ionizzazione prodotti, più precisa la risoluzione temporale del rivelatore: l'effetto Jitter si riduce.

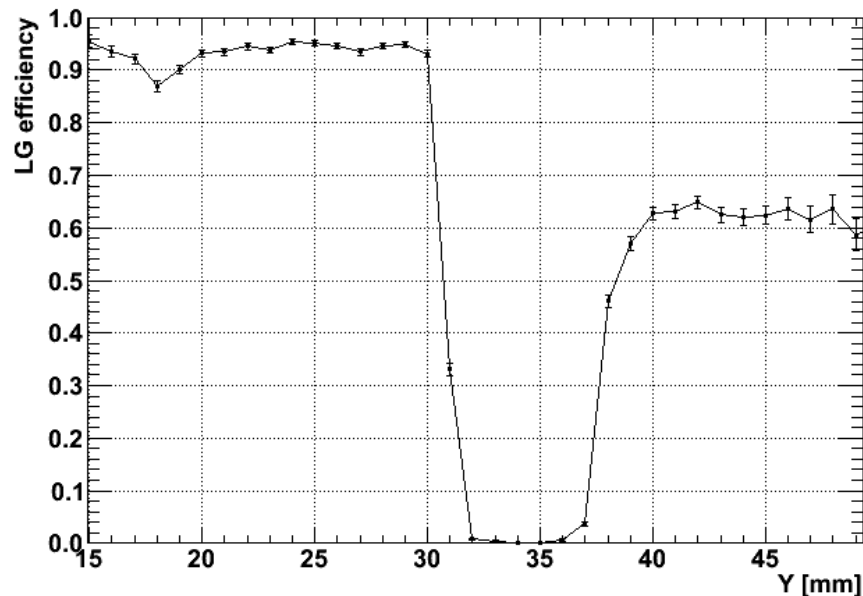


Giunzione tra fogli GEM: problematiche



Una misura del “counting rate”
effettuata nella zona di giunzione
tra fogli GEM

LG efficiency over GEM foils junction - point B



Ci siamo accorti, dopo il test-beam, che una metà del prototipo ha perso efficienza (→ c'è stato un evento che ha causato un calo del guadagno). Per stabilire a cosa sia dovuto è necessario effettuare una nuova misura di guadagno (Raggi X).

Improbabile che ci sia un cortocircuito interno: sono state testate zone di giunzione in tre diversi punti (settori diversi)

Scheda per gestione VFAT2: Turbo

Allo stato attuale può gestire in parallelo fino ad 8 VFAT2.

Al test-beam abbiamo usato 3 turbo, per controllare fino ad un totale di 24 VFAT2.

