

Sviluppi sui rivelatori a GEM

Alessandro Cardini

INFN Cagliari, Italy

Ringraziamenti

- Questa presentazione e' una mia personale selezione di alcuni degli argomenti riguardanti i rivelatori a GEM presentati recentemente a Conferenze Internazionali ed a Workshop dedicati
- Ringrazio quindi tutti gli autori per il materiale messo a disposizione



Napoli, 11 aprile 2007

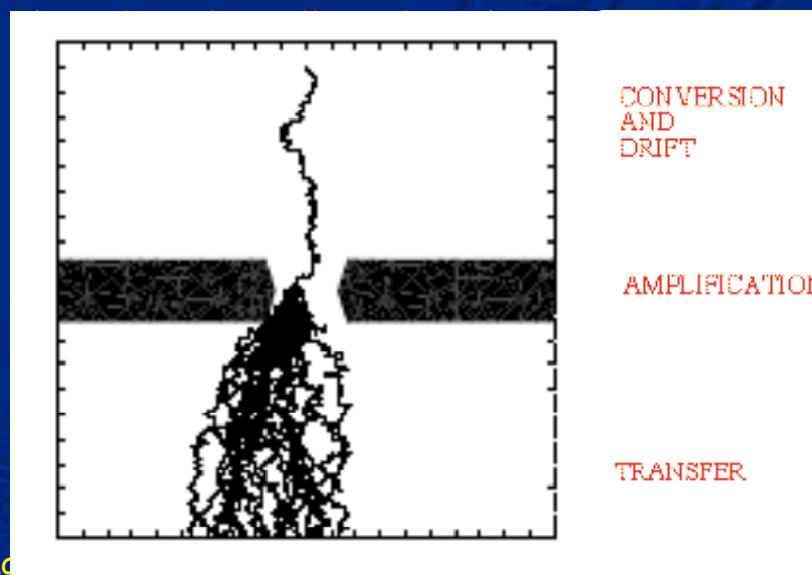
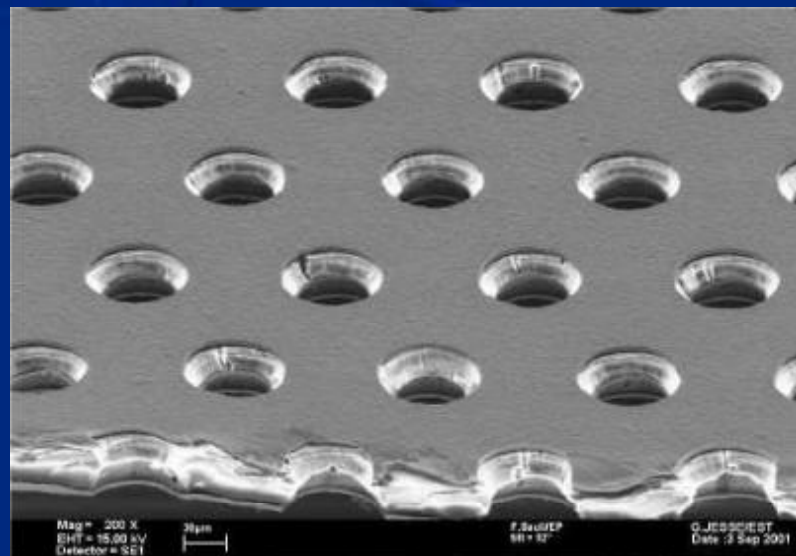
A. Cardini / INFN Cagliari

Outline

- Generalita'
- Caratteristiche
- Applicazioni in HEP
- Rivelatori di fotoni
- Applicazioni criogeniche
- Altre applicazioni
- Conclusioni

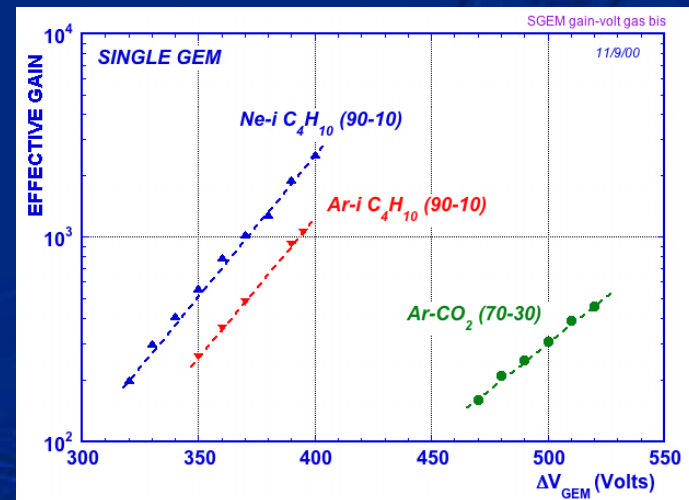
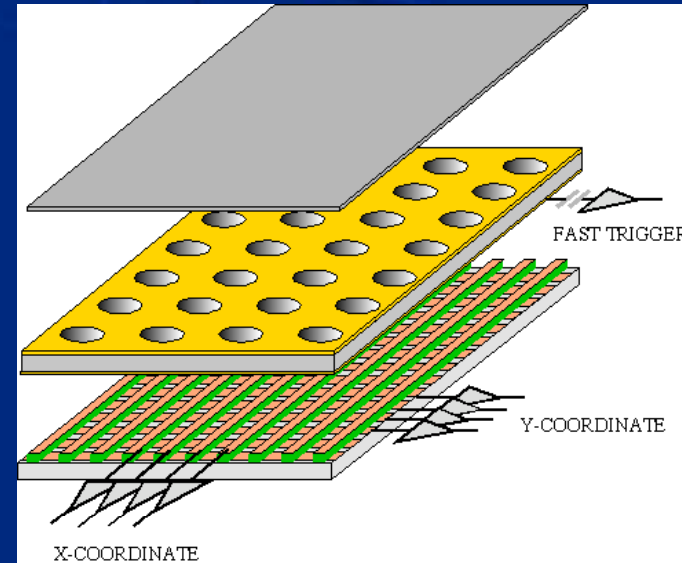
Generalita'

- La GEM (F. Sauli, 1997) e' un sottile foglio di poliammide (Kapton) ramato su entrambi i lati e forato chimicamente con una densita' di buchi di di $50\text{-}100\text{ mm}^{-2}$
- Parametri standard:
 - Spessore poliammide $50\text{ }\mu\text{m}$
 - Spessore rame $5\text{ }\mu\text{m}$
 - \varnothing buco $70\text{ }\mu\text{m}$
 - Passo $140\text{ }\mu\text{m}$
- Applicando una differenza di potenziale tra i due lati del foglio si creano all'interno dei buchi dei campi sufficienti a realizzare una moltiplicazione degli elettroni a valanga



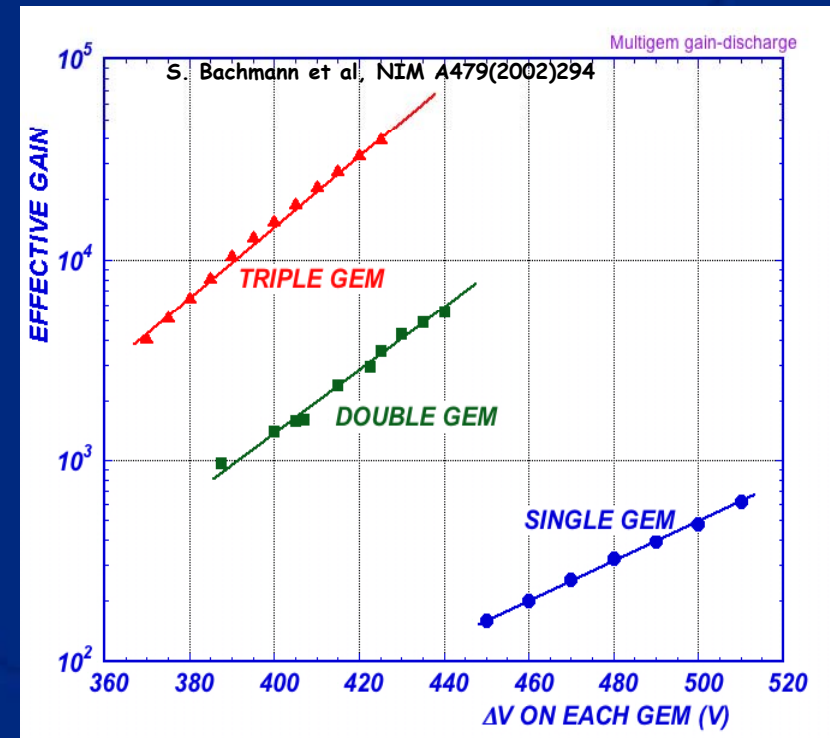
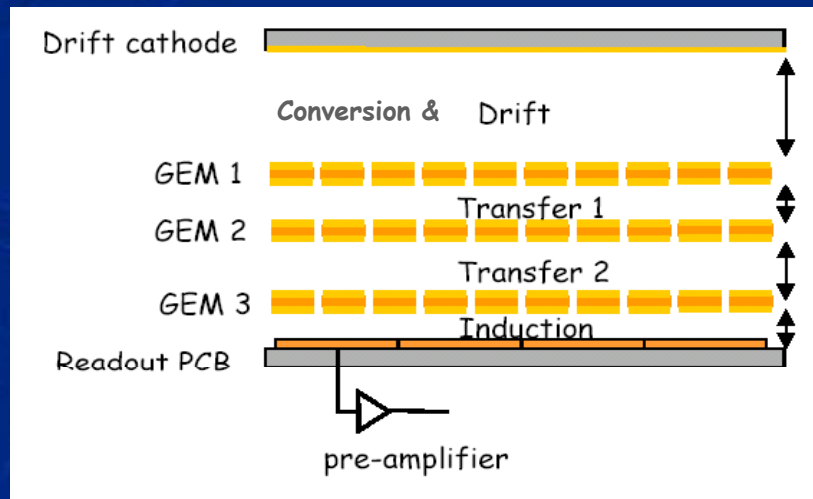
Rivelatori a GEM

- La caratteristica principale dei rivelatori a GEM e' la separazione tra gli stadi di amplificazione e di raccolta della carica, che puo' essere realizzata a pad, strip, ...
- Il guadagno di un singolo stadio e' limitato a $\sim 10^3$, per cui sono tipicamente utilizzate piu' GEM in cascata
- Il segnale indotto sugli elettrodi di lettura e' dovuto solamente agli elettroni



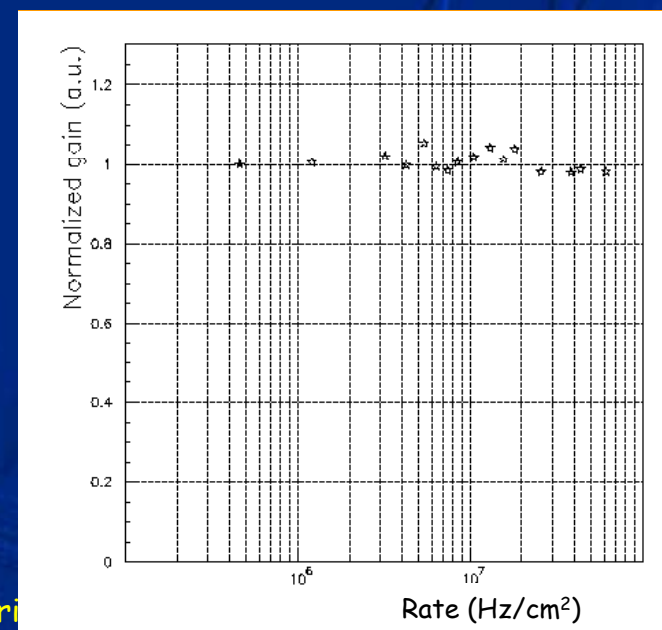
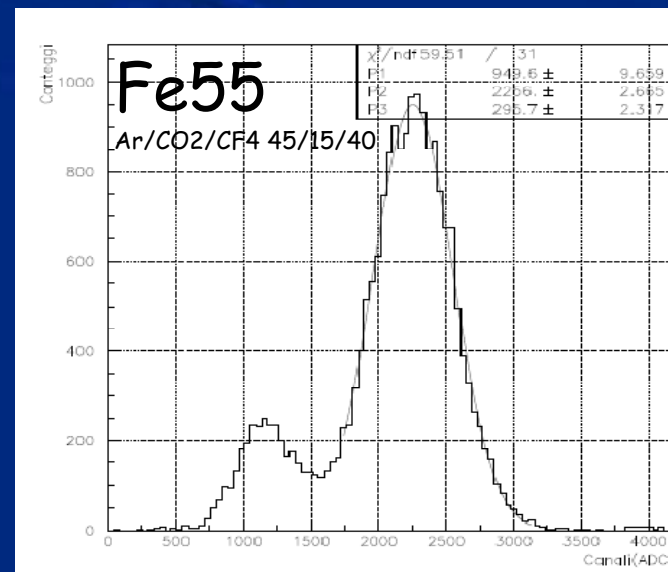
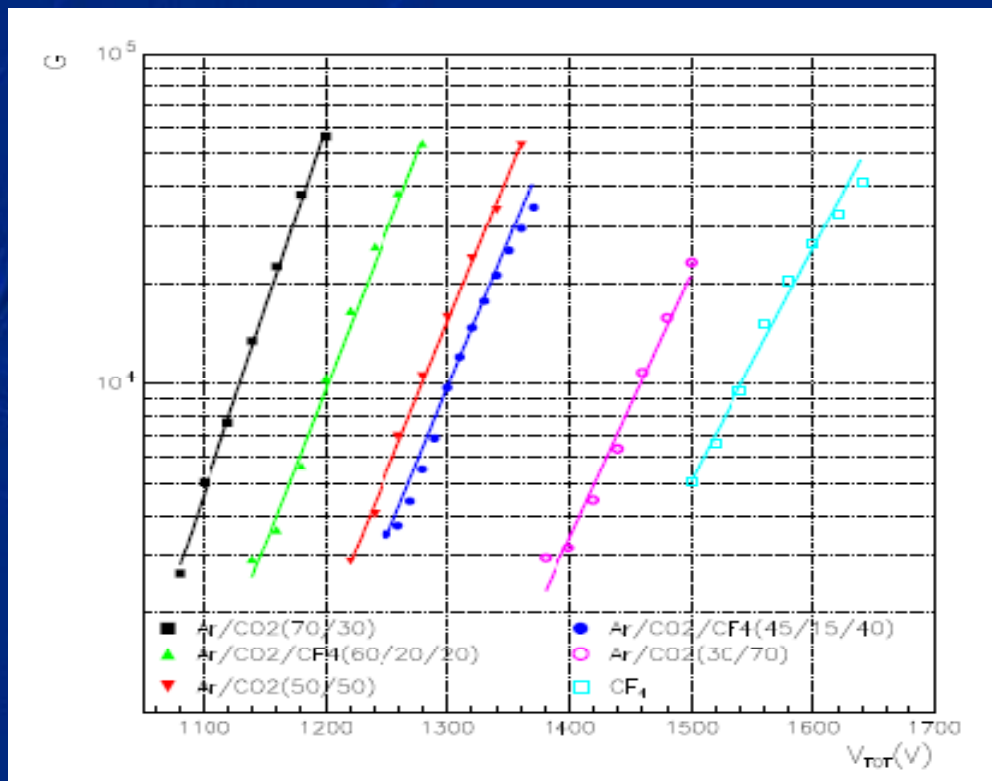
Rivelatori a multi-GEM

I rivelatori a multi-gem permettono di ottenere guadagni più elevati in condizioni di funzionamento più sicure, riducendo il problema delle scariche, sempre presenti nei rivelatori a microstrutture



Caratteristiche (R&D per LHCb)

- Rivelatori tripla-GEM
- Risoluzione energia $\sim 25\%$
- A $G \sim 20k$, guadagno stabile fino a $\sim 50 \text{ MHz/cm}^2$



Napoli, 11 aprile 2007

A. Cardini / INFN Cagliari

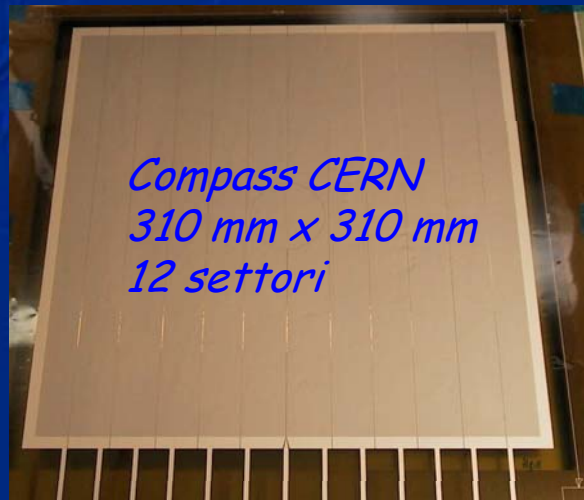
Varie forme possibili!



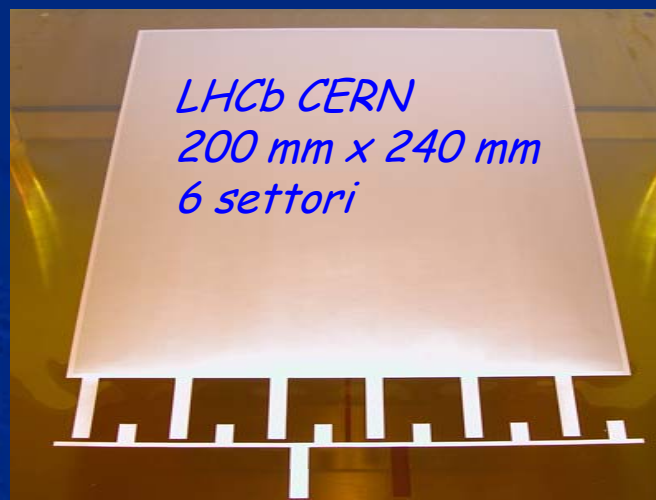
*Standard CERN
100 mm x 100 mm*



*Osaka magnetic spectrometer
Approx. 200 mm x 50 mm
2 settori*



*Compass CERN
310 mm x 310 mm
12 settori*



*LHCb CERN
200 mm x 240 mm
6 settori*

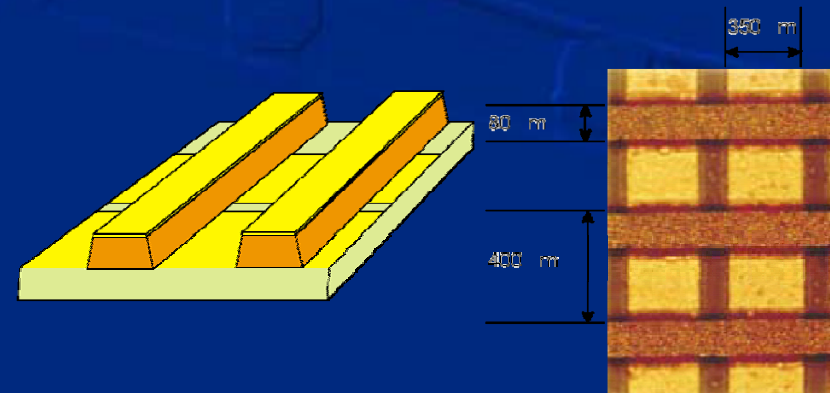
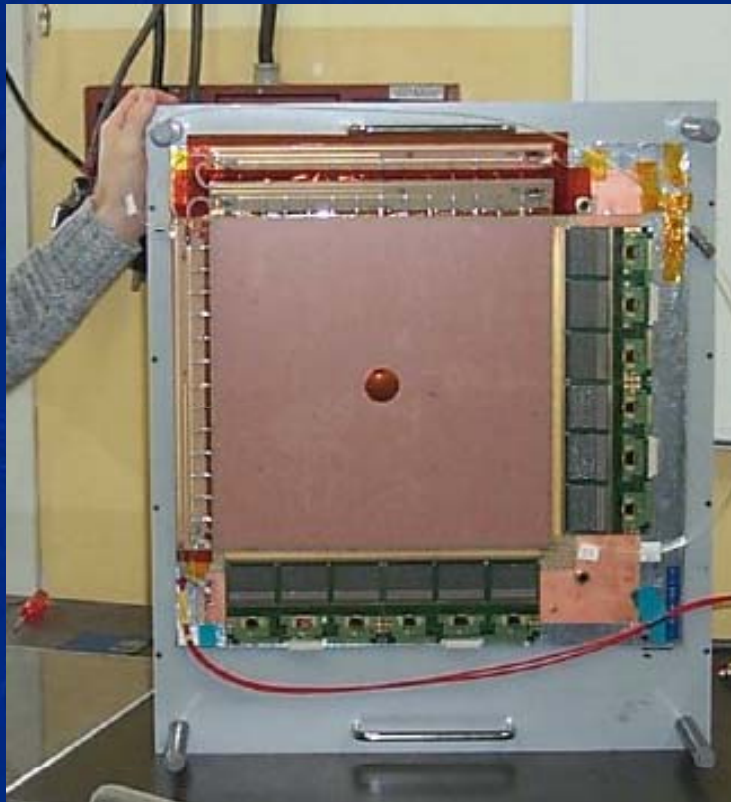
Queste sono GEM prodotte al CERN, massima dimensione zona attiva approx. 400 mm x 400 mm

Altri produttori stanno entrando nel business: 3M, TechEtch

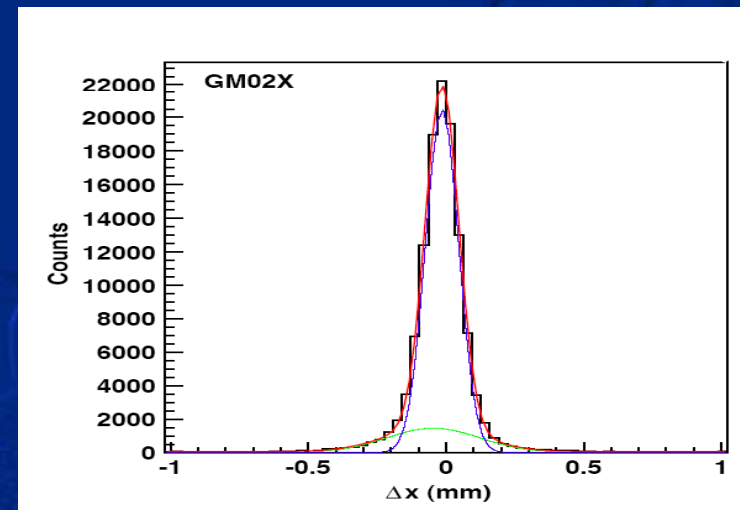
Per il momento domina ancora la fabbricazione "artigianale" del CERN

Il Tracker di Compass

22 rivelatori a tripla GEM, 310 mm x 310 mm area attiva, lettura analogica su strip 2D con passo di 400 μm



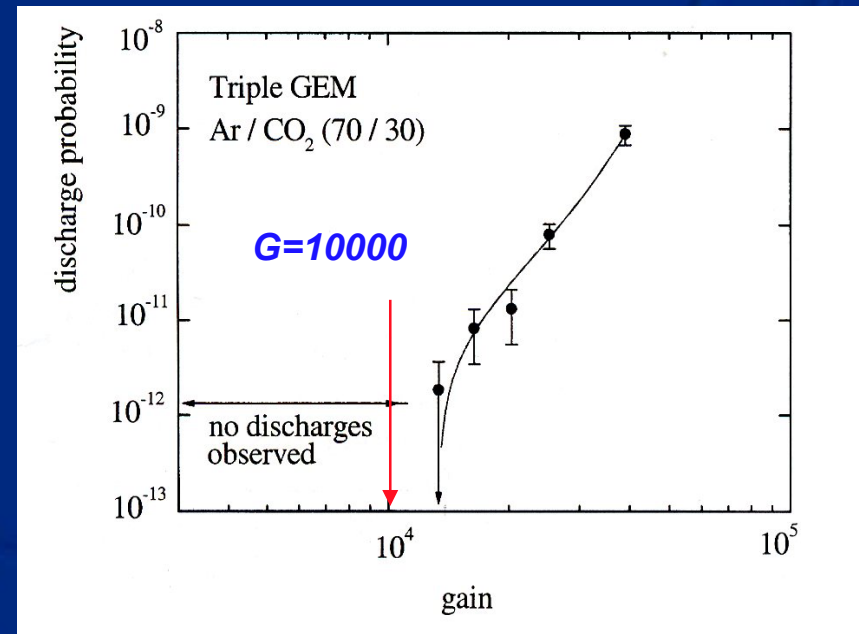
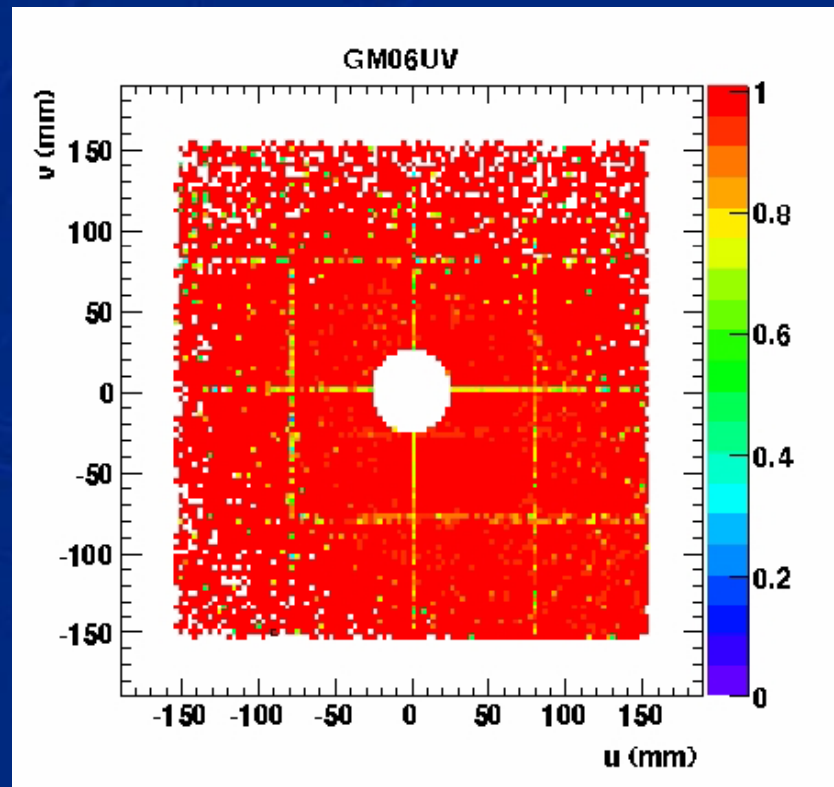
Distribuzione della carica sulle strip:
65 μm RMS su entrambe le coordinate



Il Tracker di Compass

Efficienza pari a 97.2% per MIP
Inefficienze dovute all'utilizzo di spaziatori

Compass lavora ad un guadagno di circa 10k, per una probabilita' di scarica inferiore a 10^{-12} per particella incidente



S. Bachmann et al, NIM A470(2001)548

B. Ketzer et al, NIM A535(2004)314

Napoli, 11 aprile 2007

A. Cardini / INFN Cagliari

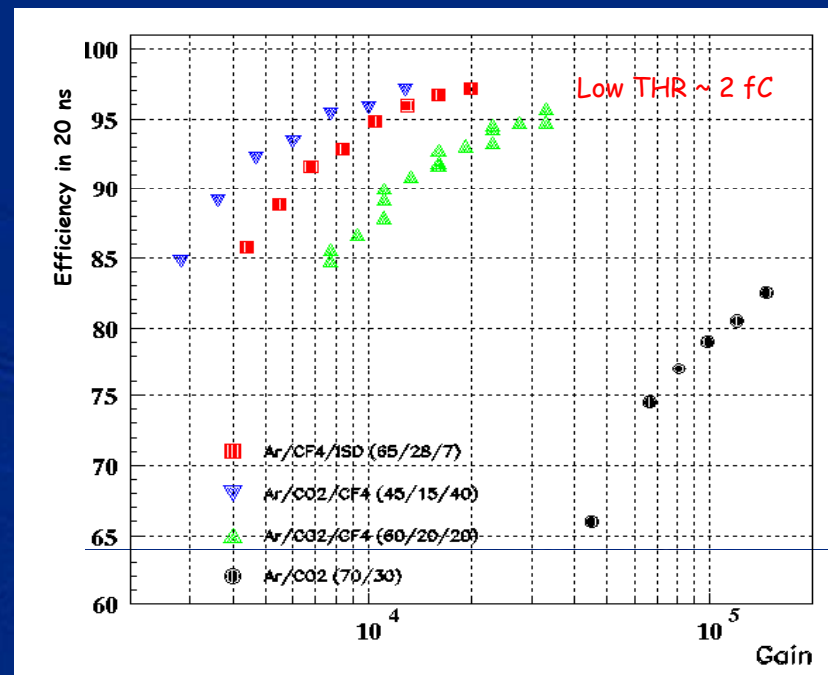
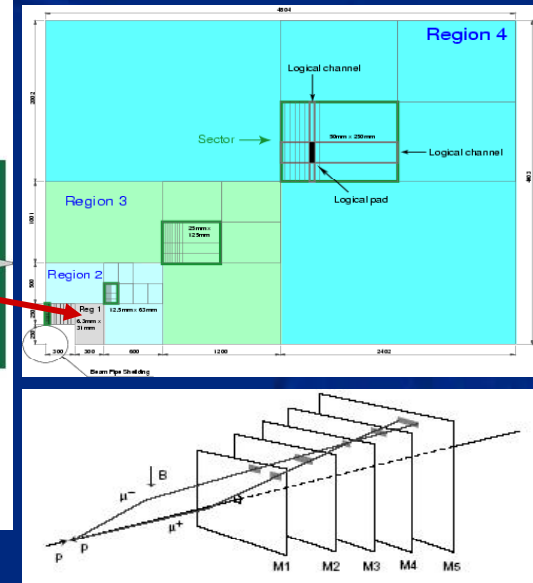
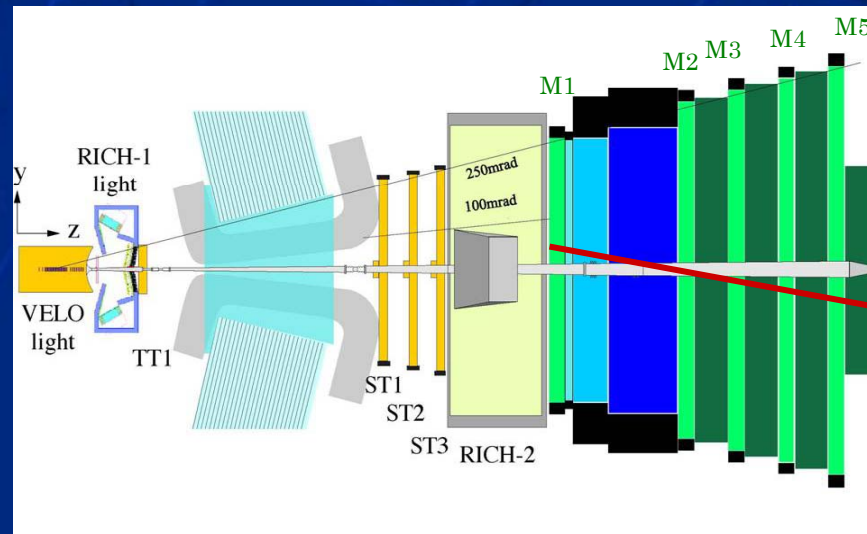
10

Triggering @ LHCb

Copertura di 0.6 m^2
della zona centrale
della prima stazione
del rivelatore di muoni

GEM $20 \times 24 \text{ cm}^2$
Pad $10 \times 25 \text{ mm}^2$
Lettura digitale
 0.5 MHz/cm^2
Eff. $> 96\%$ in 25 ns
10 anni $\rightarrow \sim 2 \text{ C/cm}^2$

Importante studio
sulle miscele con CF_4 ,
indispensabili per
aumentare la velocità
di deriva degli
elettroni

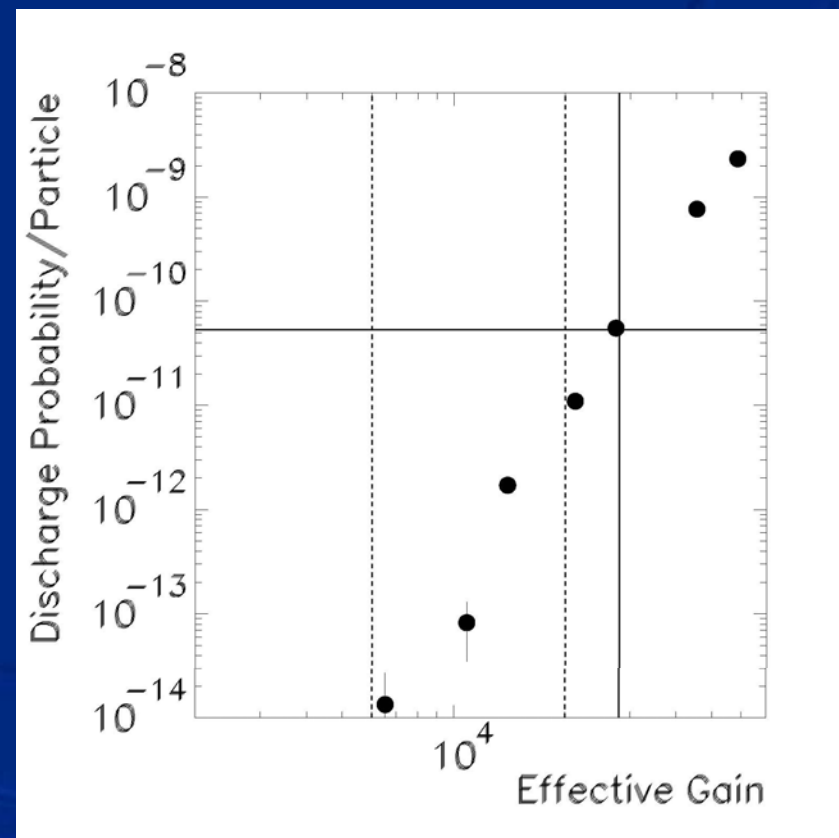
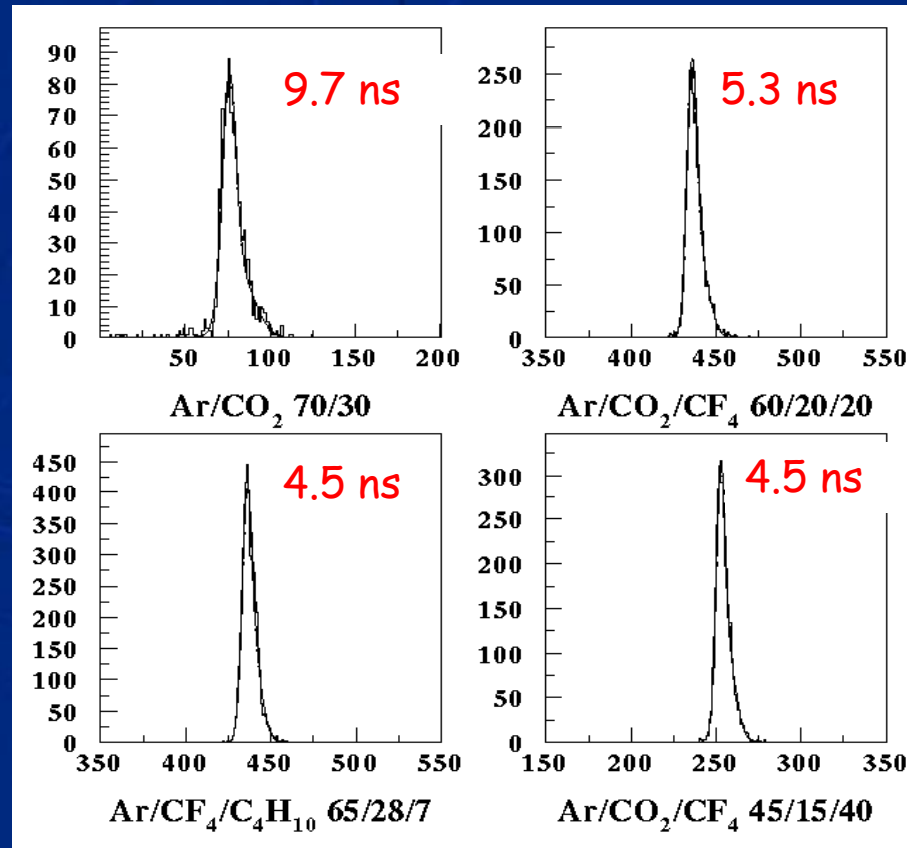


Primo rivelatore a
GEM adottato da un
esperimento ad LHC

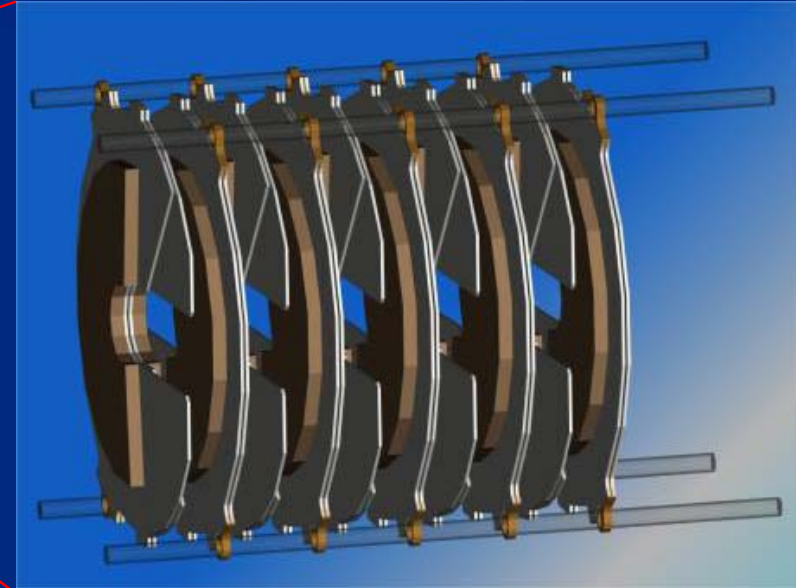
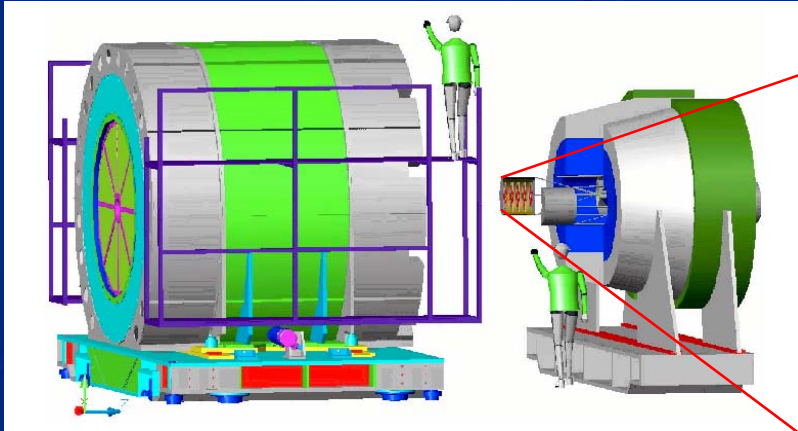
Triggering @ LHCb

Risoluzioni temporali idonee per fare per il triggering LO @ LHC

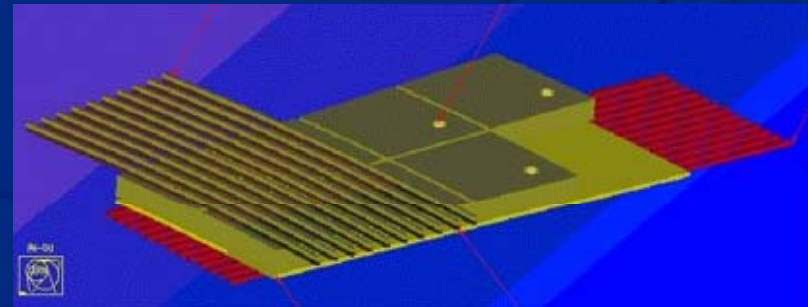
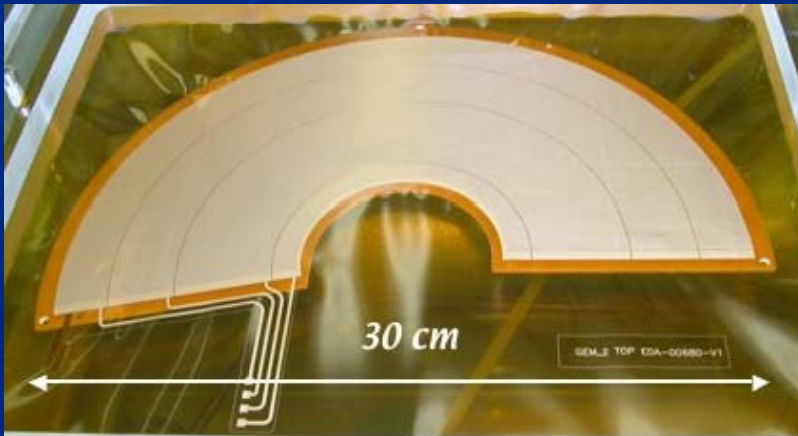
Ridottissime probabilita' di scarica a $G \sim 6000$



Il tracker di TOTEM

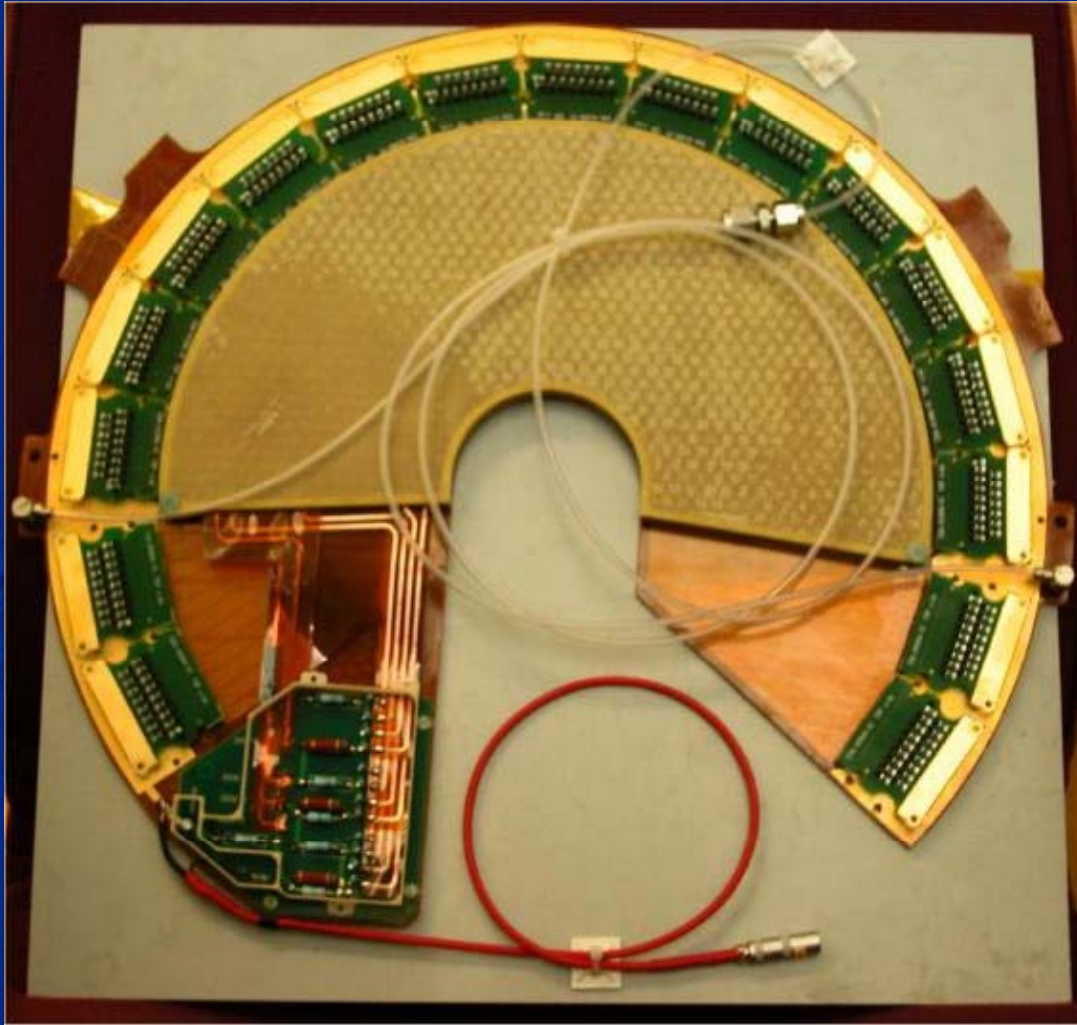


40 rivelatori semicircolari con diametro esterno di 300 mm attualmente in costruzione



Circuito di lettura con strip radiali e pad (3 strati)

Il tracker di TOTEM



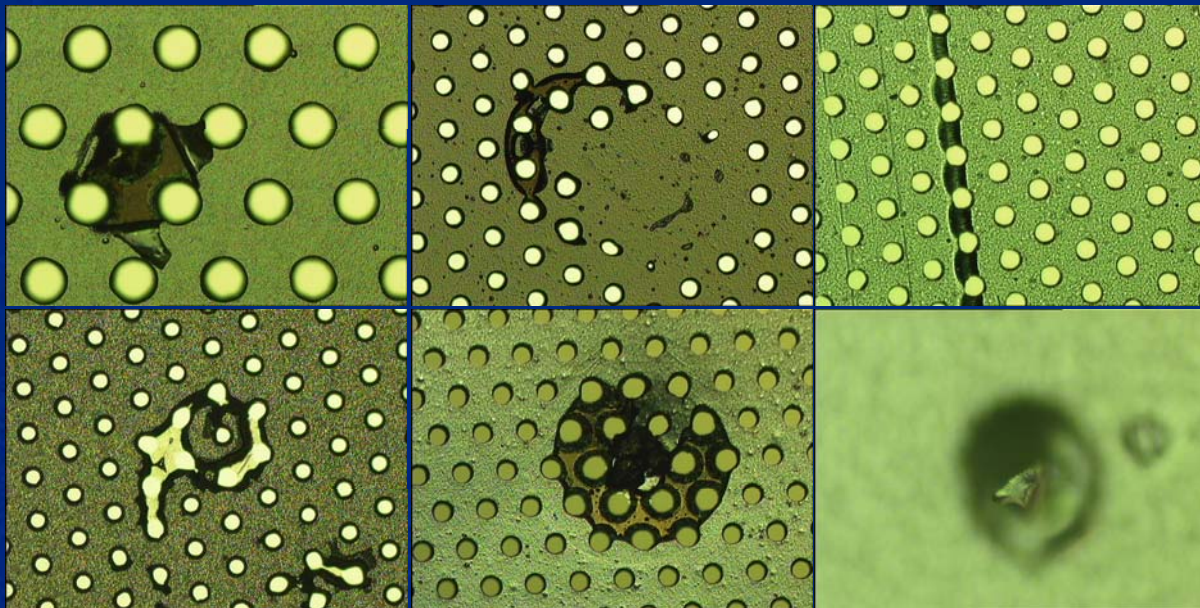
40 rivelatori come questo a fianco!

Questo è il più esteso rivelatore - attualmente in costruzione - ad utilizzare la tecnica della tripla GEM

Si tratta quindi di una produzione industriale con criteri di controllo qualità adeguati

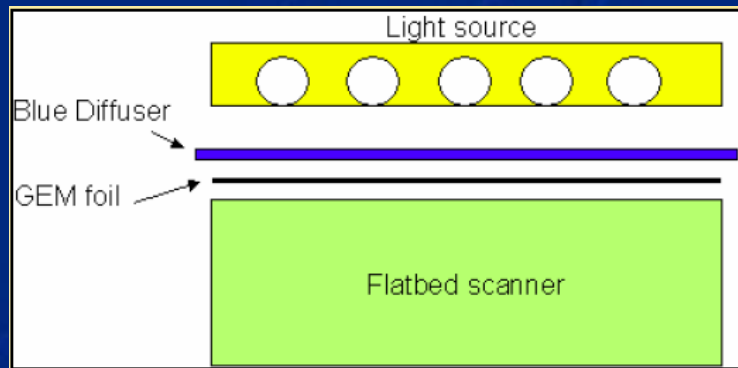
Quality Control @ LHCb

- Il controllo qualità delle GEM e' fondamentale per garantire le performance del rivelatore finale
- I fogli di GEM sono osservati in controluce - notare che a occhio anche l'assenza di un singolo buco e' ben visibile - e tutti i difetti visibili vengono osservati al microscopio ottico per valutare il problema



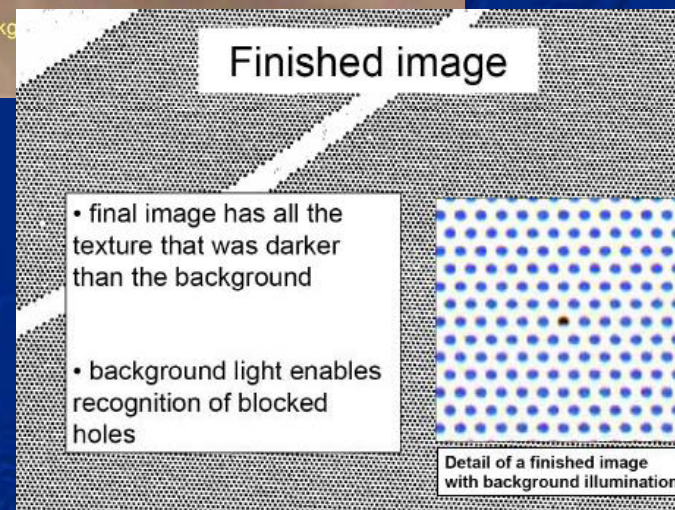
- Questa procedura e' accettabile per produzioni relativamente limitate

Quality Control @ Helsinki (Totem)

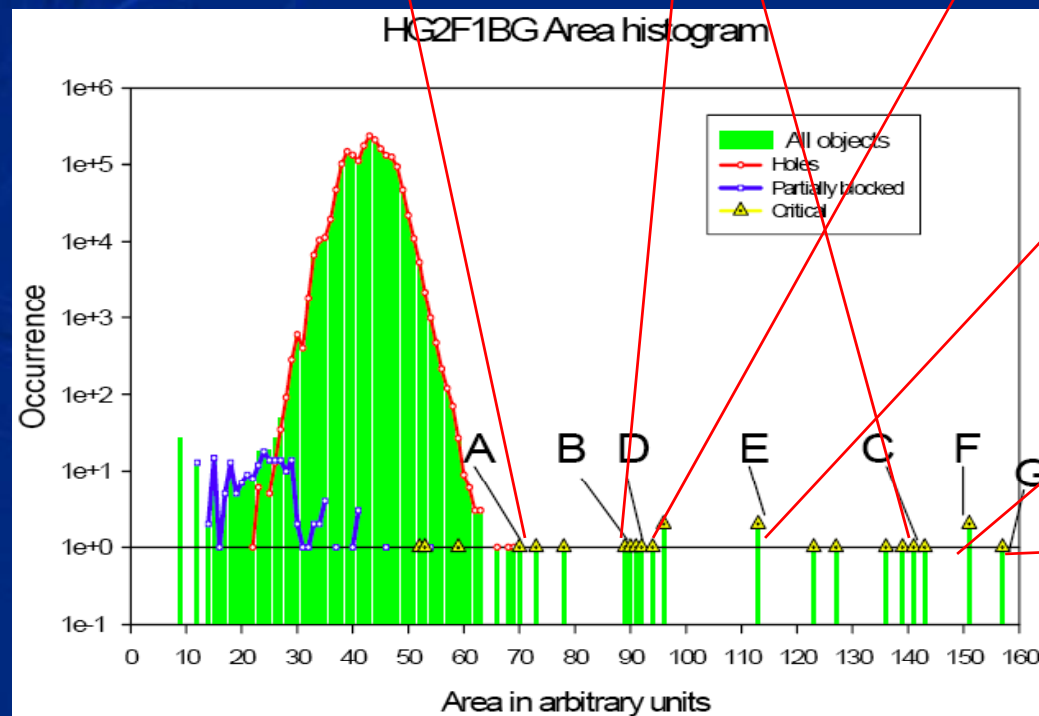
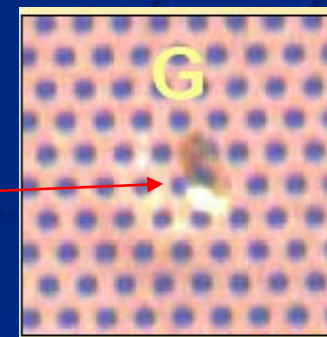
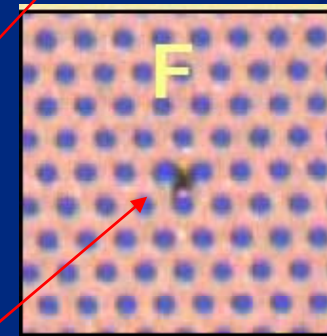
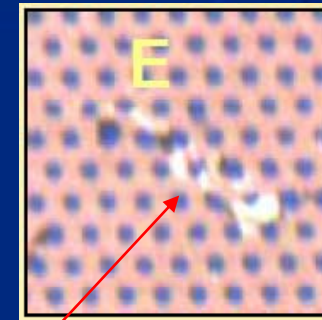
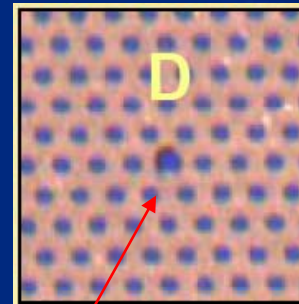
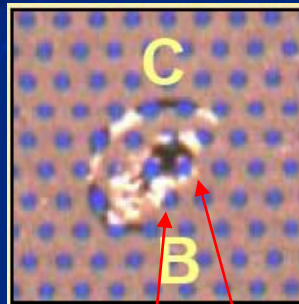
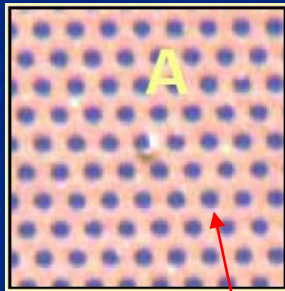


Realizzazione di un sistema semiautomatico per il controllo della qualità dei fogli di GEM

T. Hilden, Helsinki



Quality Control @ Helsinki (Totem)



Napoli, 11 aprile 2007

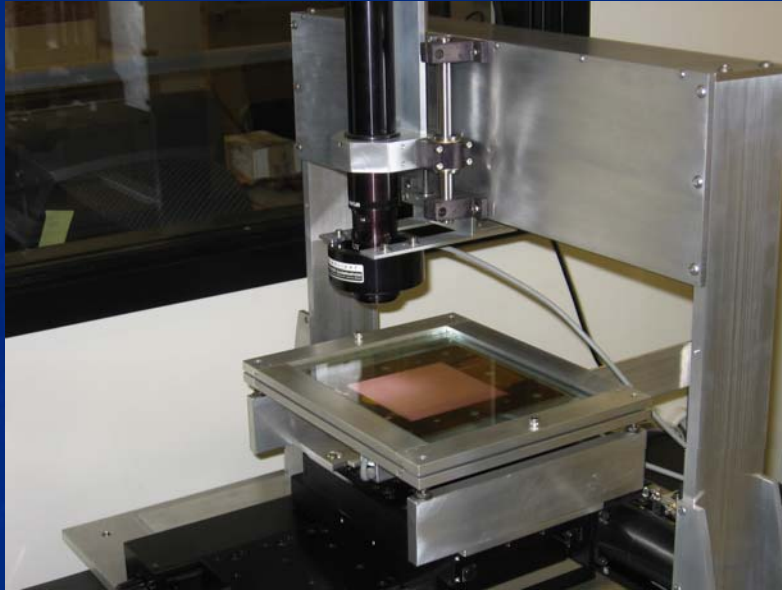
A. Cardini / INFN Cagliari

T. Hilden, Helsinki

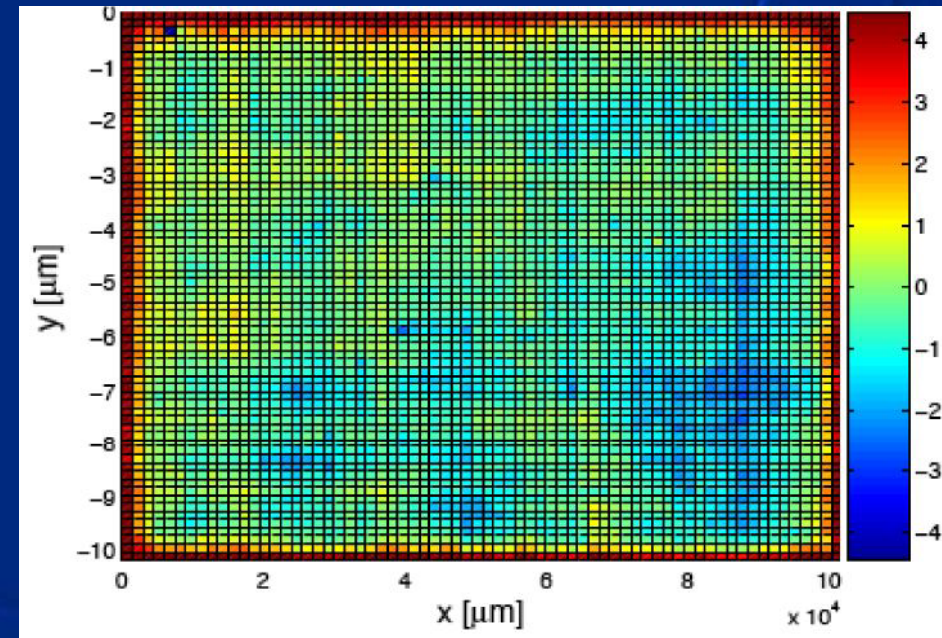
17

Quality control @ MIT

F. Simon, B. Surrrow



Sviluppo di un sistema di
Scanner Ottico Automatico



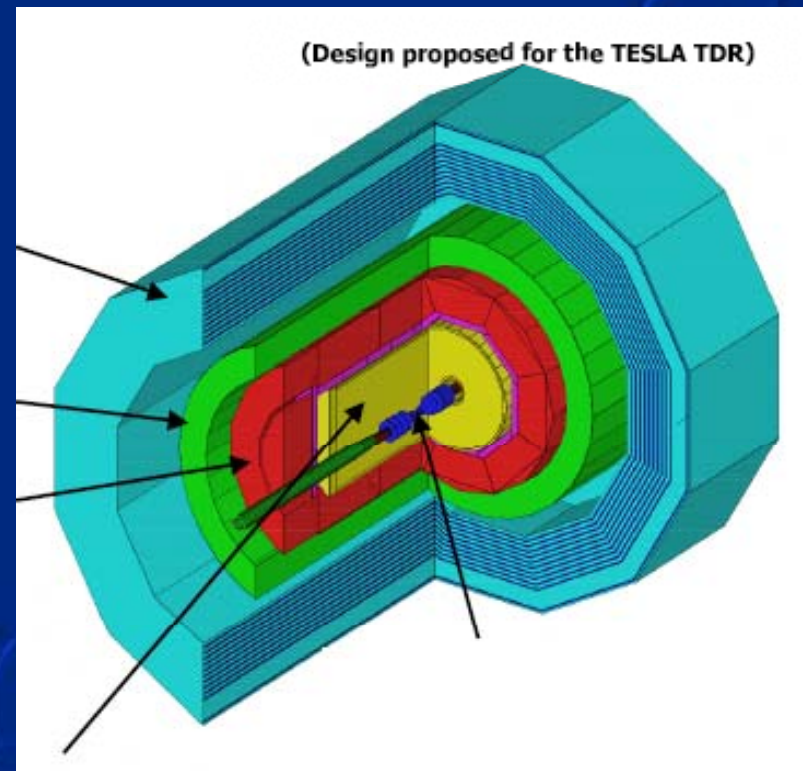
Mapa dei diametri dei buchi per GEM
prodotte dalla TechEtch

GEM e TPC

Sono state proposte TPC con readout a GEM. I vantaggi rispetto ad una lettura con multi-wire sono:

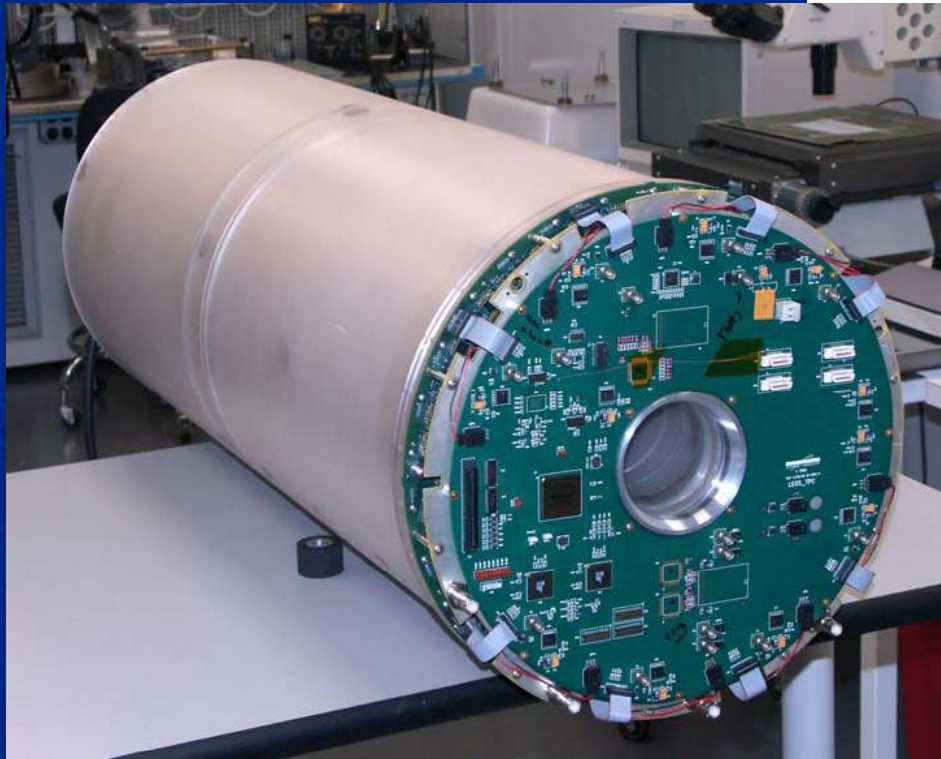
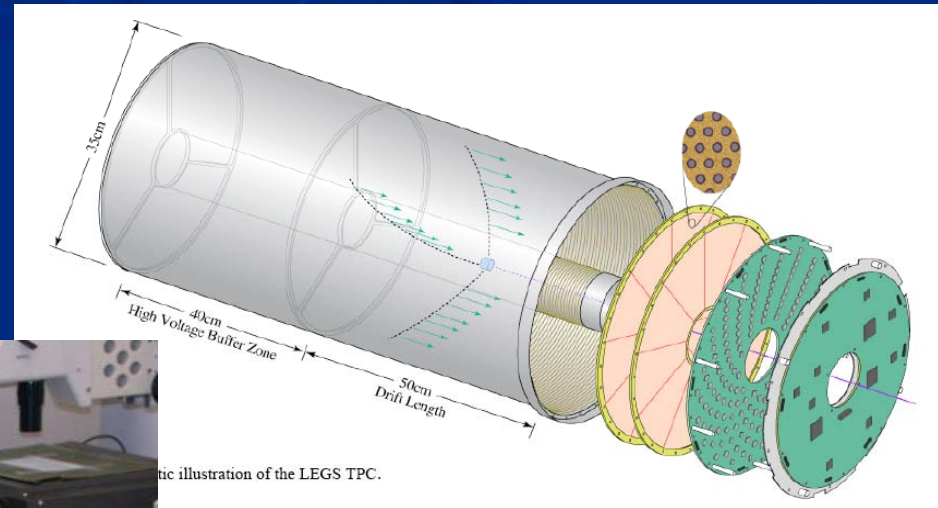
- Pad response function piu' stretta, $\Delta s \sim 1$ mm
- Segnali piu' rapidi in quanto non c'e' la coda ionica, $\Delta t \sim 20$ ns
- Buona risoluzione multi-traccia, $\Delta V \sim 1$ mm³
- Ottima riduzione del feedback ionico
- Robustezza, basso costo, design

Proposta per ILC



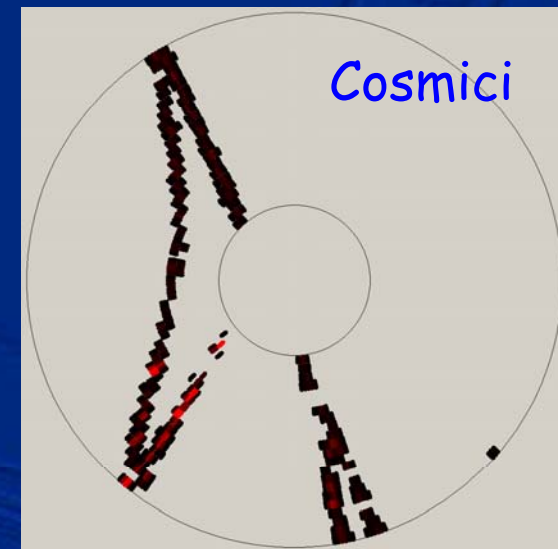
GEM e TPC

Rivelatore GEM-TPC per LEGS (Laser Electron Gamma Source) @ BNL



Schematic illustration of the LEGS TPC.

B. Yu, LBL TPC Workshop, April 2006

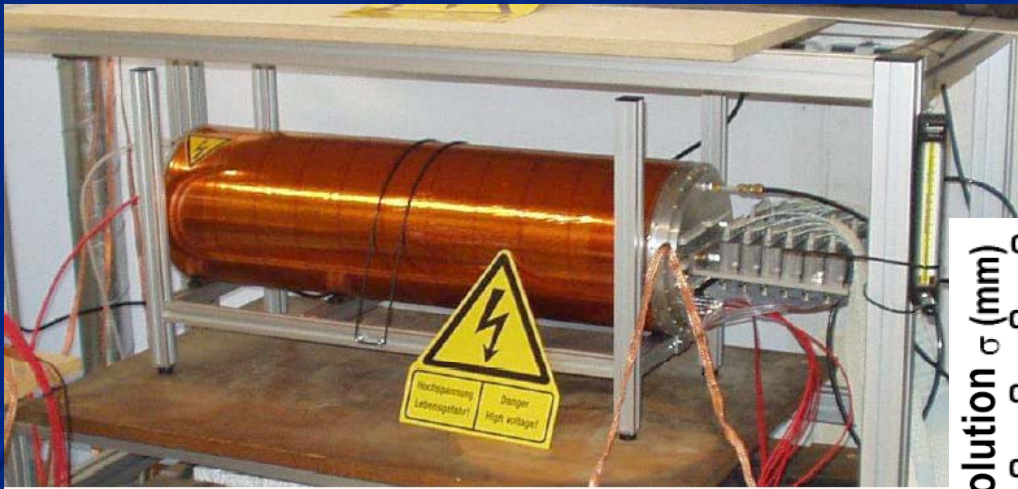


Napoli, 11 aprile 2007

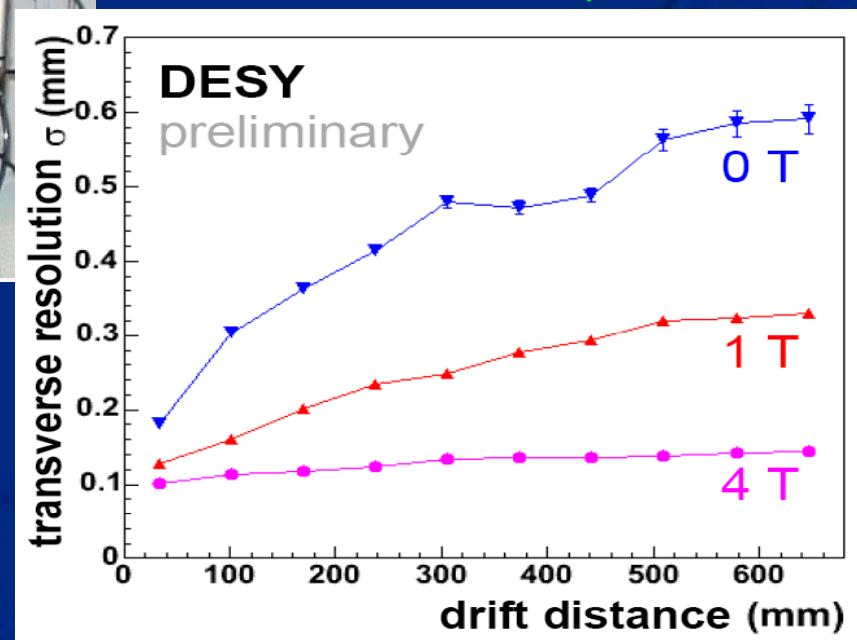
A. Cardini / INFN Cagliari

GEM e TPC

GEM-TPC per l'International Linear Collider: il prototipo di Desy-Aachen

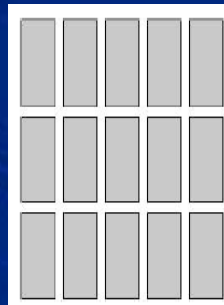


Risoluzione Spaziale



M. Killenberg et al, NIM A530(2004)251

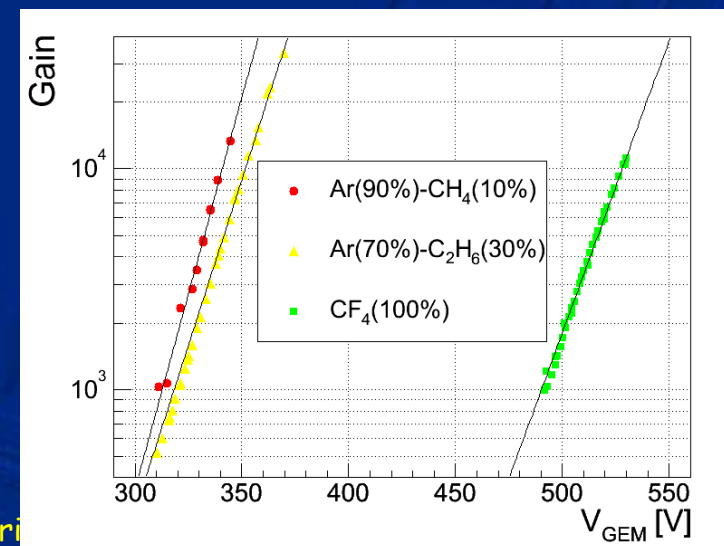
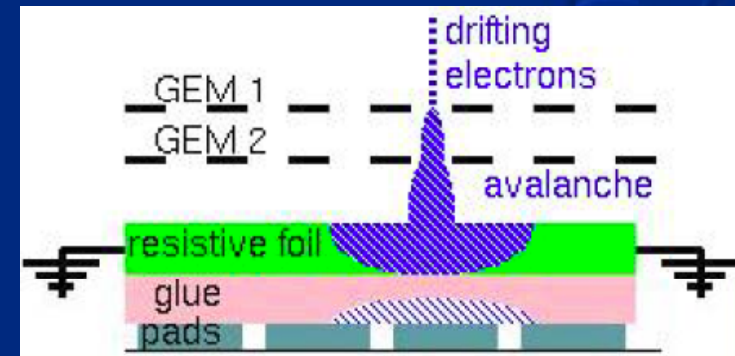
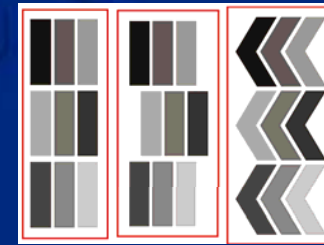
Pad: $2.2 \times 6.2 \text{ mm}^2$



Sviluppi sulle TPC

F. Sauli, NSS2006

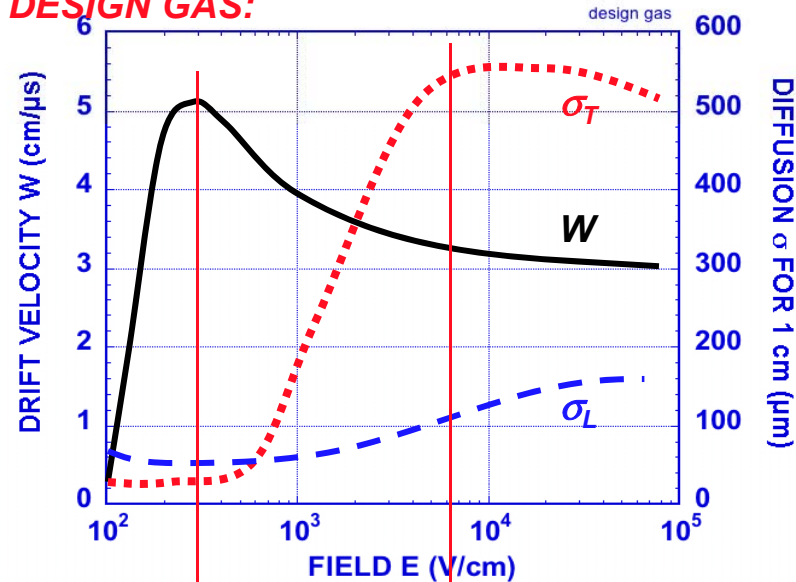
- TPC dilemma: piccola diffusione trasversa fornisce una migliore accuratezza ma necessita di pad di lettura piu' piccole → esplosione del numero dei canali
- L'utilizzo di una tripla-GEM per l'amplificazione della carica fornisce un contributo aggiuntivo di diffusione trasversa $\sigma_{GEM} \sim 400 \mu\text{m}$
- Molto lavoro sull'ottimizzazione del design delle pad di lettura
- Nuove tecniche di charge spreading, come l'utilizzo di un anodo resistivo
- Utilizzo di gas come il CF_4 a bassissima diffusione, con il quale le GEM operano correttamente
- Utilizzo della prima GEM come gate per gli ioni



The "Ultimate TPC"

F. Sauli, NSS2006

DESIGN GAS:



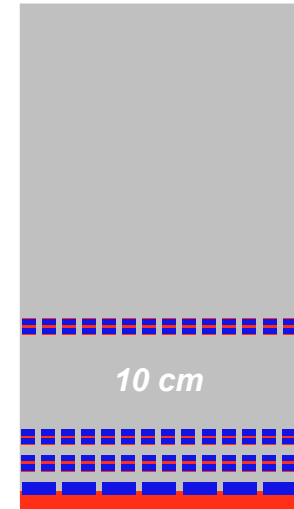
DRIFT:

$w \sim 5$ cm/ μ s
 $\sigma_T \sim 20$ μ m $\sqrt{\text{cm}}$
 $\sigma_L \sim 50$ μ m $\sqrt{\text{cm}}$

TRANSFER:

$\sigma_T \sim 600$ μ m $\sqrt{\text{cm}}$
 $\sigma_L \sim 100$ μ m $\sqrt{\text{cm}}$

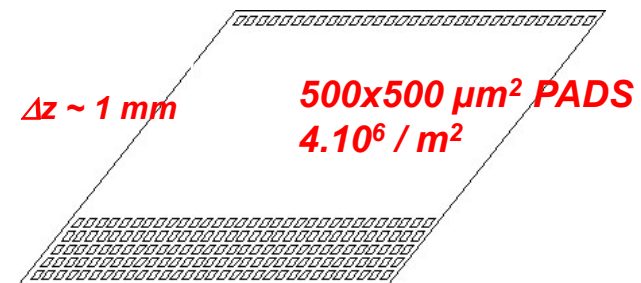
IMPROVED GEM END-CAP:



DRIFT VOLUME
LOW DIFFUSION

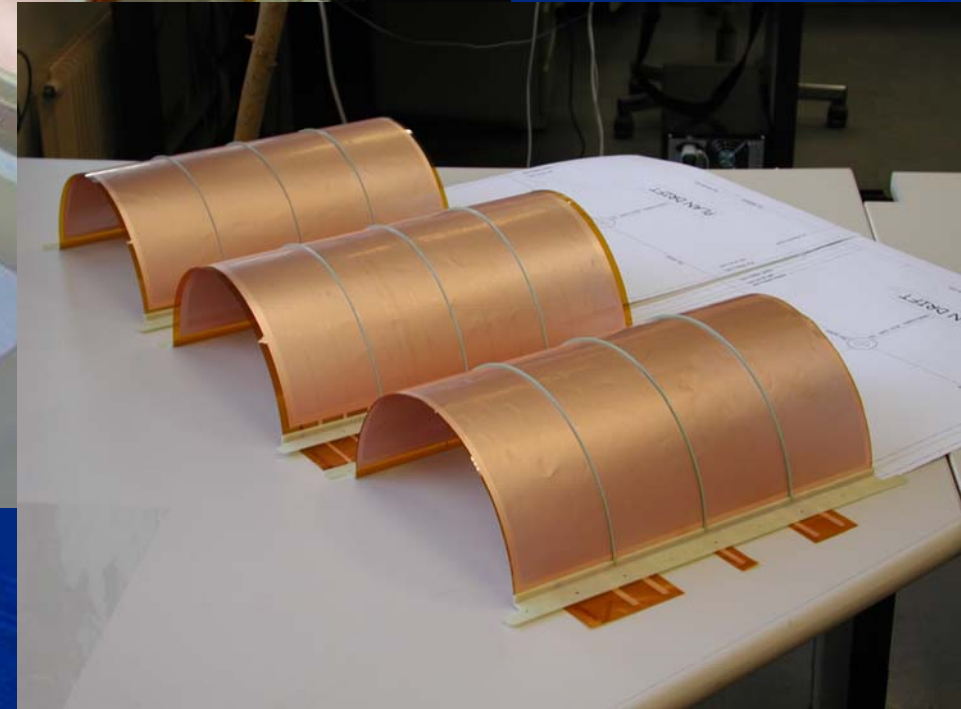
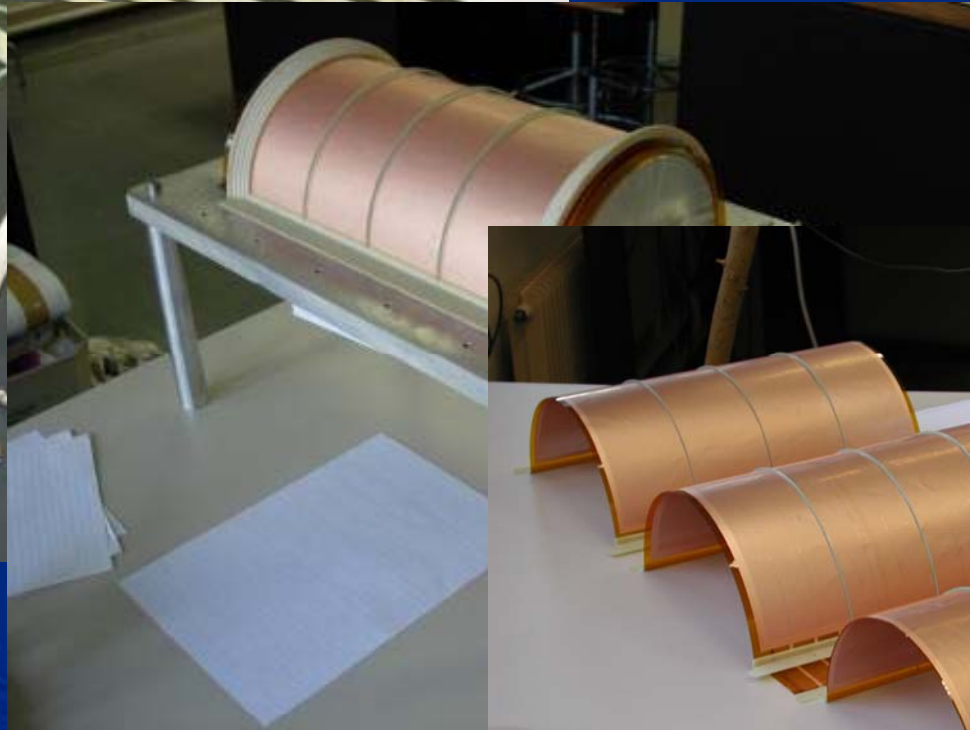
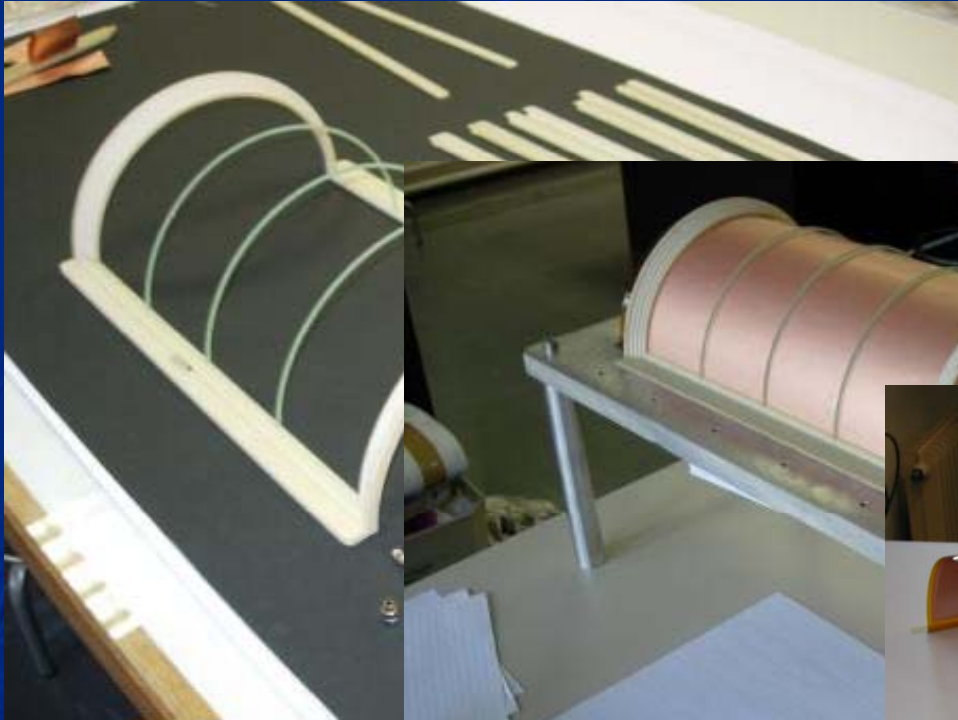
GEM1 GATING
CHARGE SPREAD
& IONS DRIFT
GEM2
GEM3

HIGH DENSITY PIXEL READOUT:



1 m³ TPC: $\sim 4.10^9$ VOXELS

Prototipo per NA49



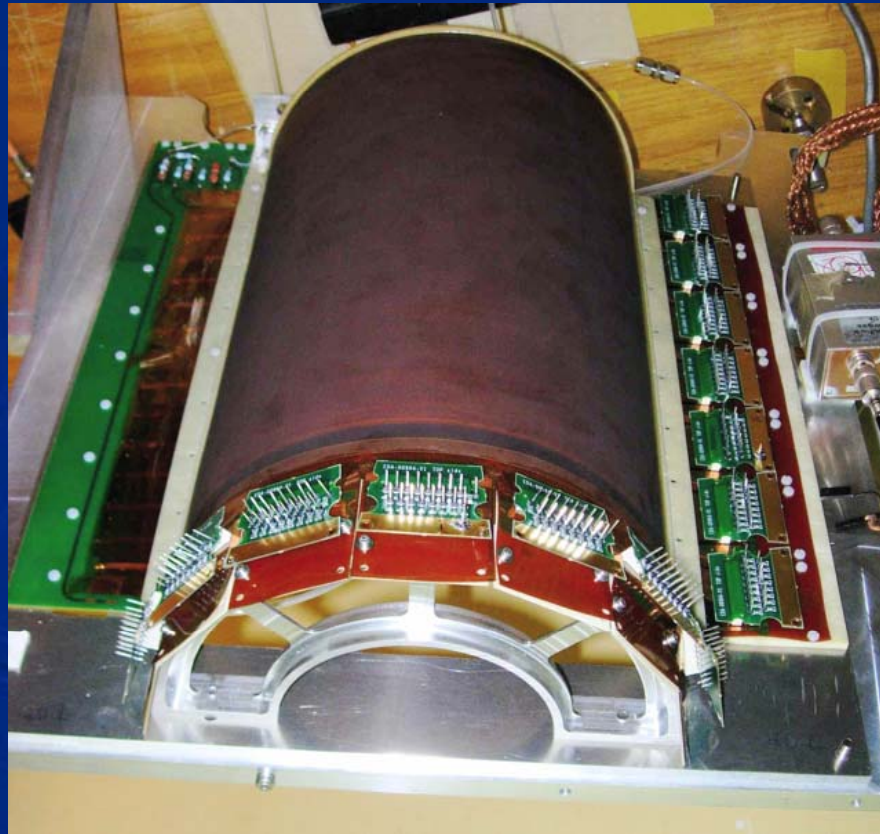
*Sviluppo di GEM
semicilindriche al
CERN - Sauli et al.*

Napoli, 11 aprile 2007

A. Cardini / INFN Cagliari

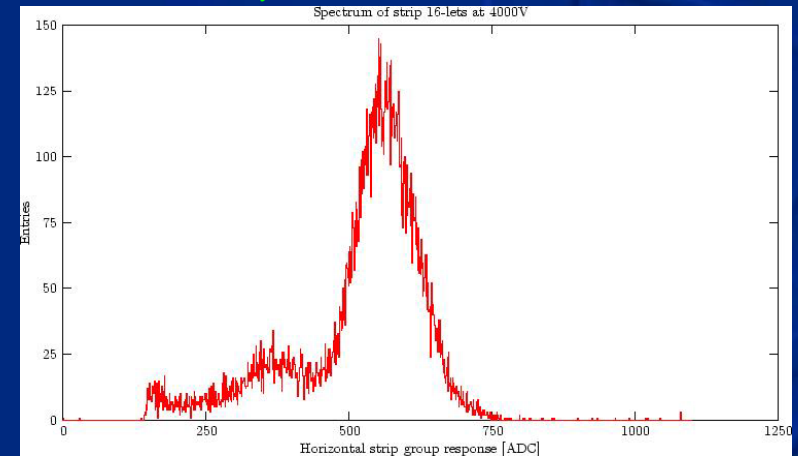
24

Prototipo per NA49

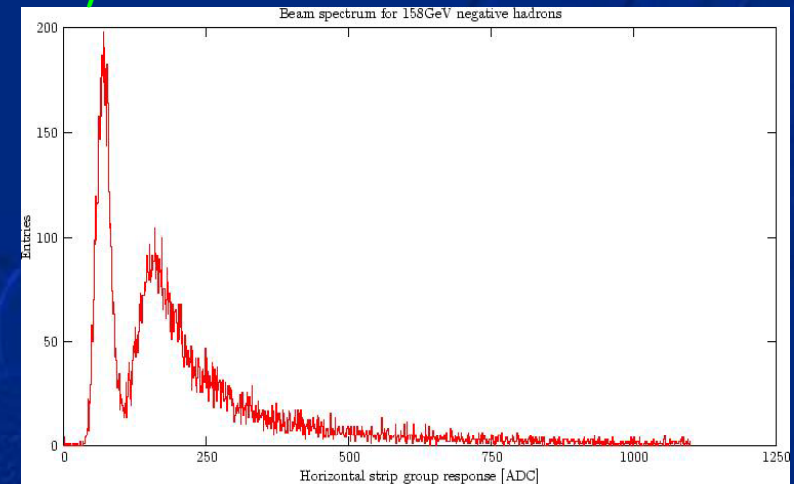


Lettura con circuito 2D a strip

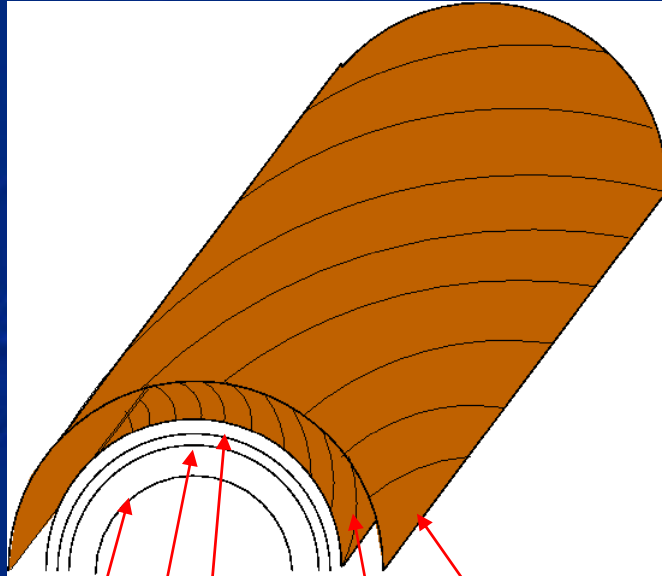
Spettro del ^{55}Fe



Spettro di MIP ad un beam test



Prototipo per KLOE2



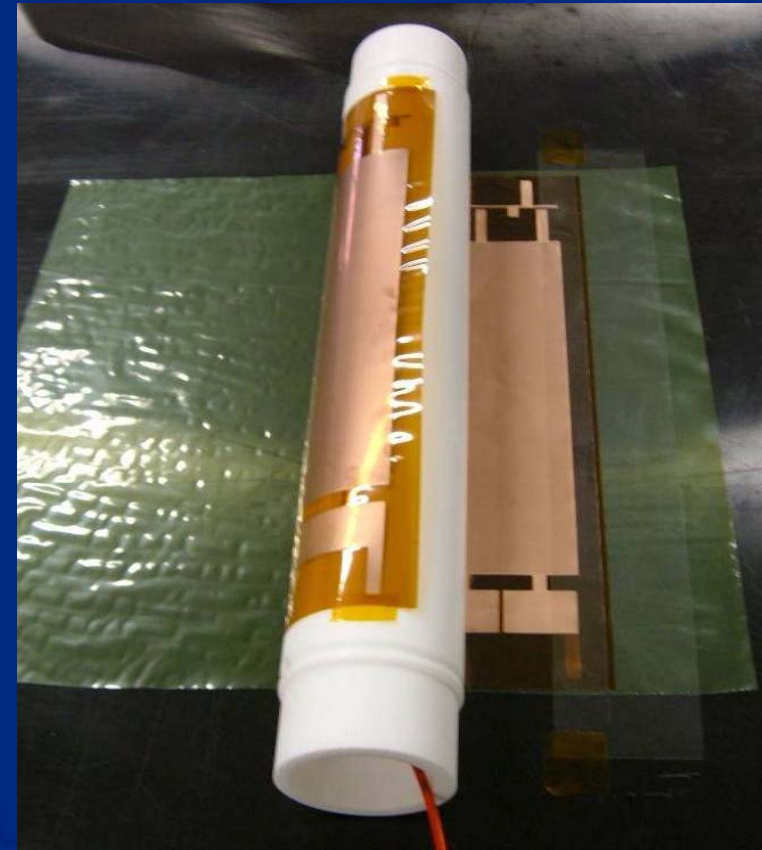
cathode

gem1

gem2

anode - V strips

gem3 - U strips

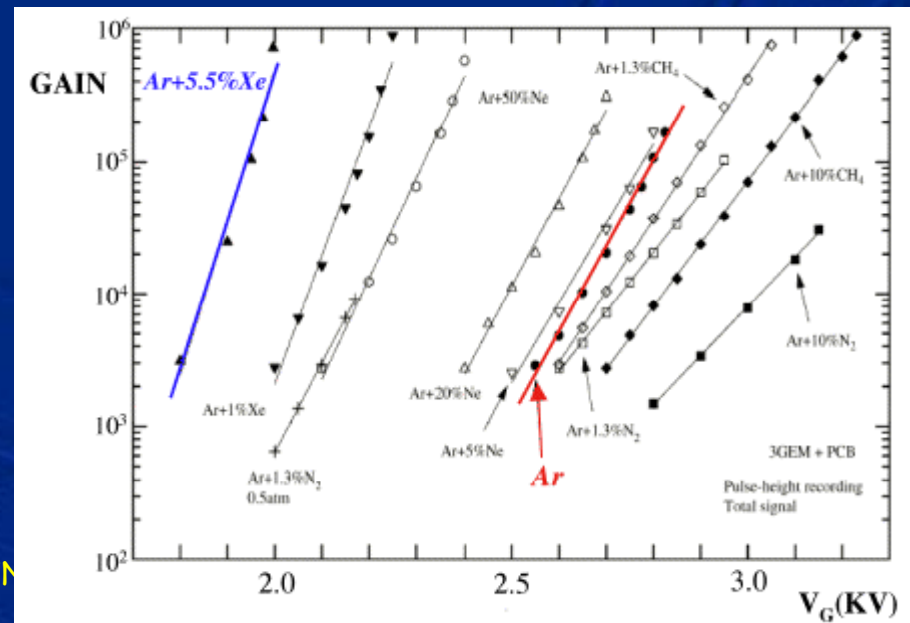
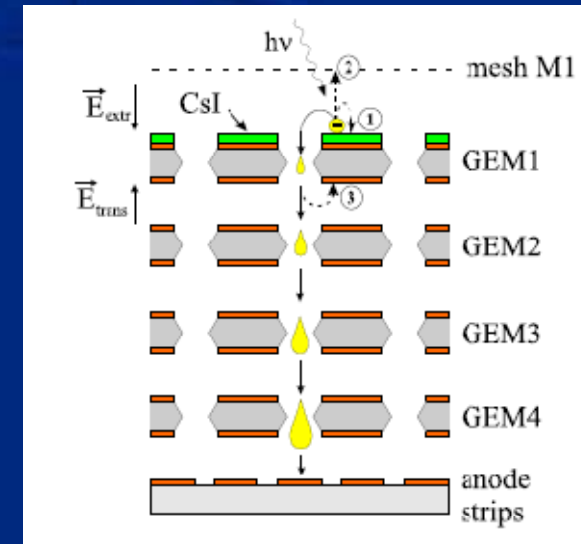


G. Bencivenni et al., LNF

Rivelatore estremamente leggero

Fotomoltiplicatori a GEM

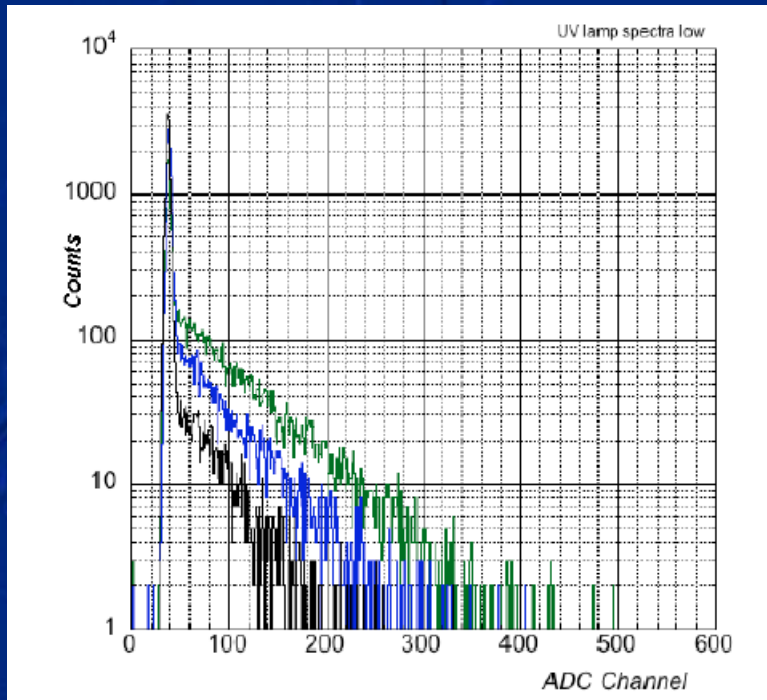
- La particolare struttura della GEM, con canali di moltiplicazione stretti ed indipendenti, e l'opacita' della GEM ai fotoni e al feedback ionico permette di raggiungere elevati guadagni in gas nobili puri o loro miscele
- Strutture multi-gem che utilizzano fino a 4 GEM in cascata sono state studiate al CERN, al Weizemmann e a Novosibirsk
- In particolare sono stati studiati fotocatodi in trasparenza o in riflessione - in questo ultimo caso il fotocatodo e' depositato sulla prima GEM



Fotomoltiplicatori a GEM

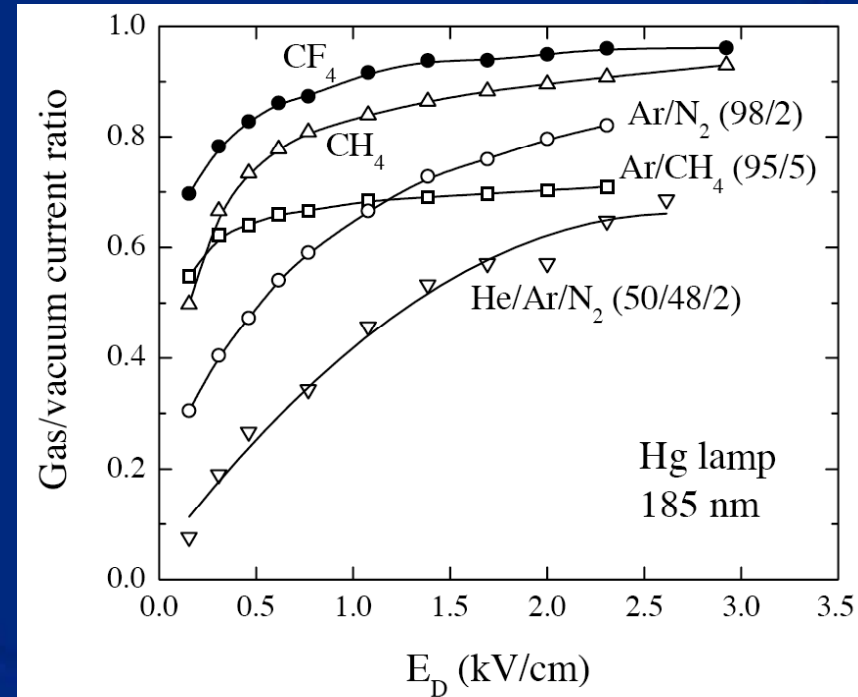
Triple-GEM detector with
CsI-coated first GEM

Amplitude spectrum



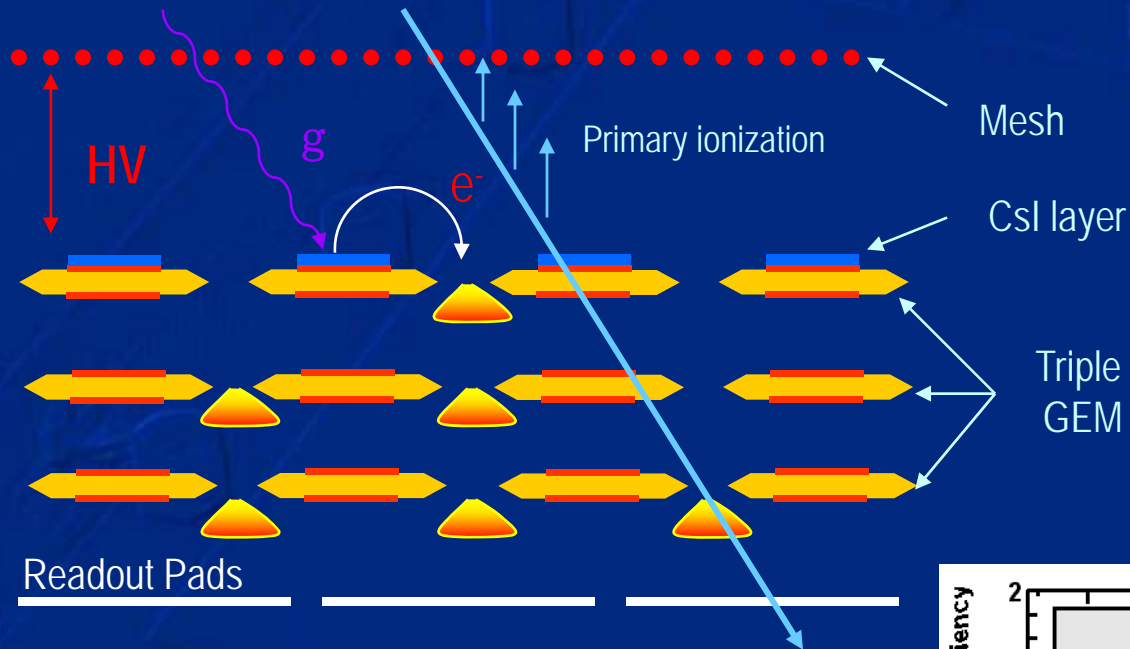
*T. Meinschad, L. Ropelewski and F. Sauli,
NIMA 435 (2004) 324*

Q.E. at 185 nm vs. field (relative to vacuum)



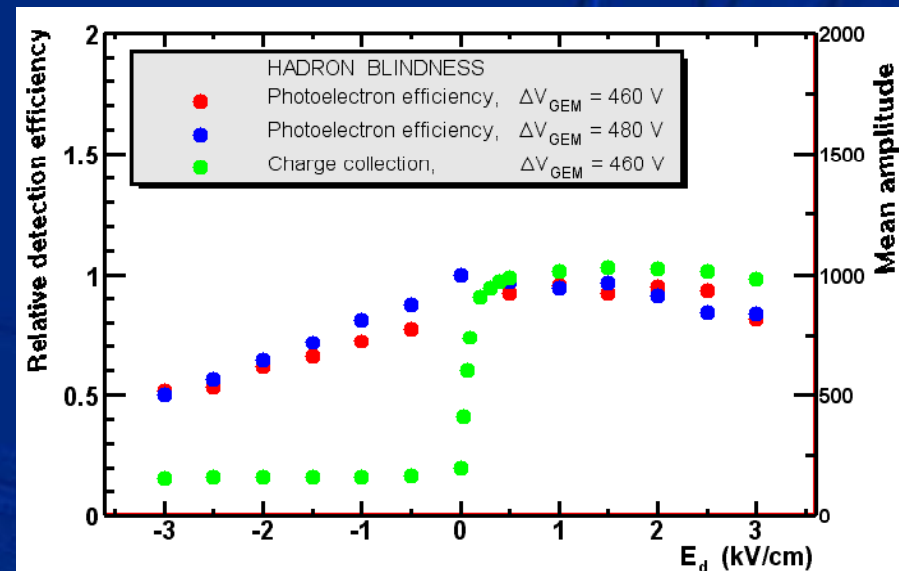
A. Breskin et al., NIM A483 (2001) 670

Rivelatore Hadron-Blind



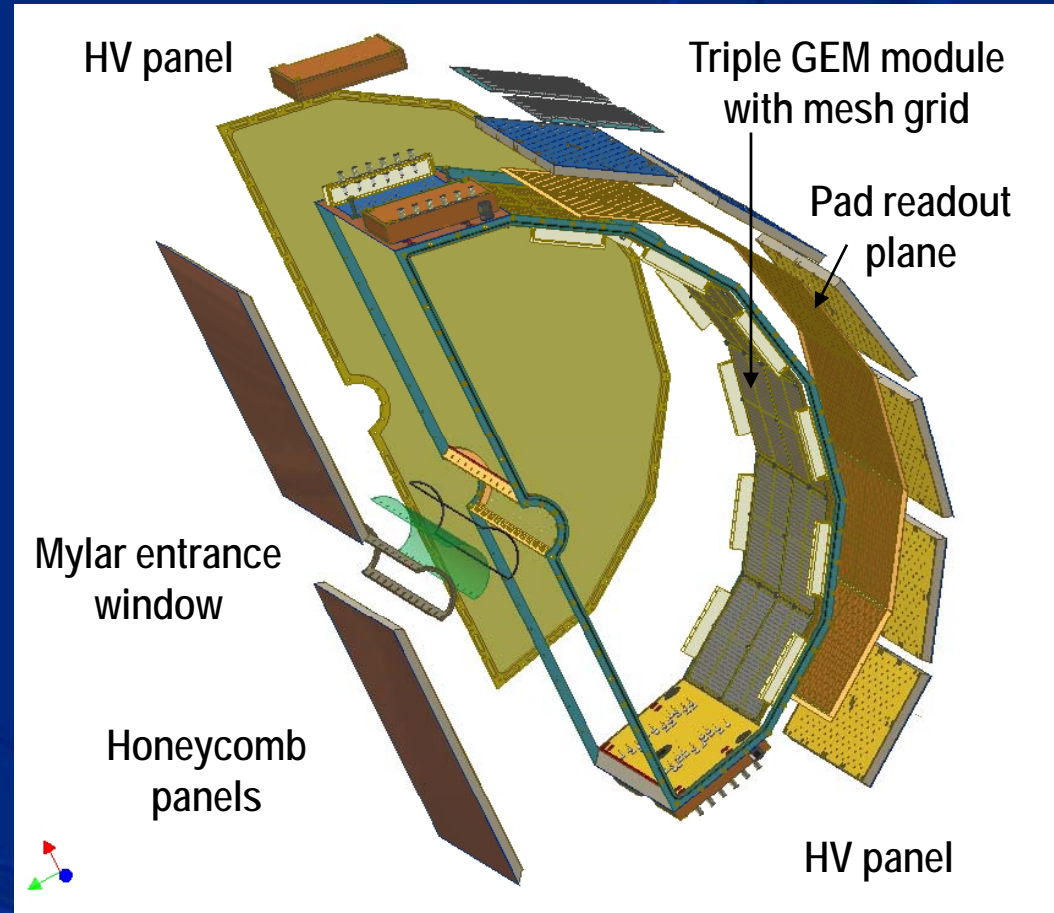
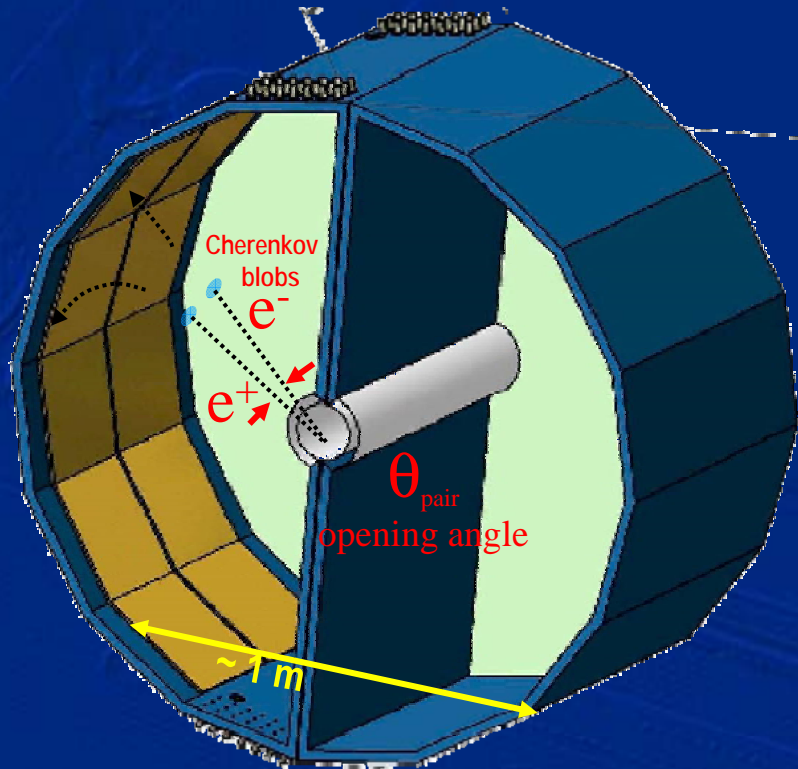
C. Woody, NSS2006

Idea: un piccolo campo di deriva opposto riduce notevolmente la ionizzazione primaria pur non cambiando apprezzabilmente il segnale dovuto ai fotoelettroni emessi dal fotocatodo



HBD @ Phenix (RHIC)

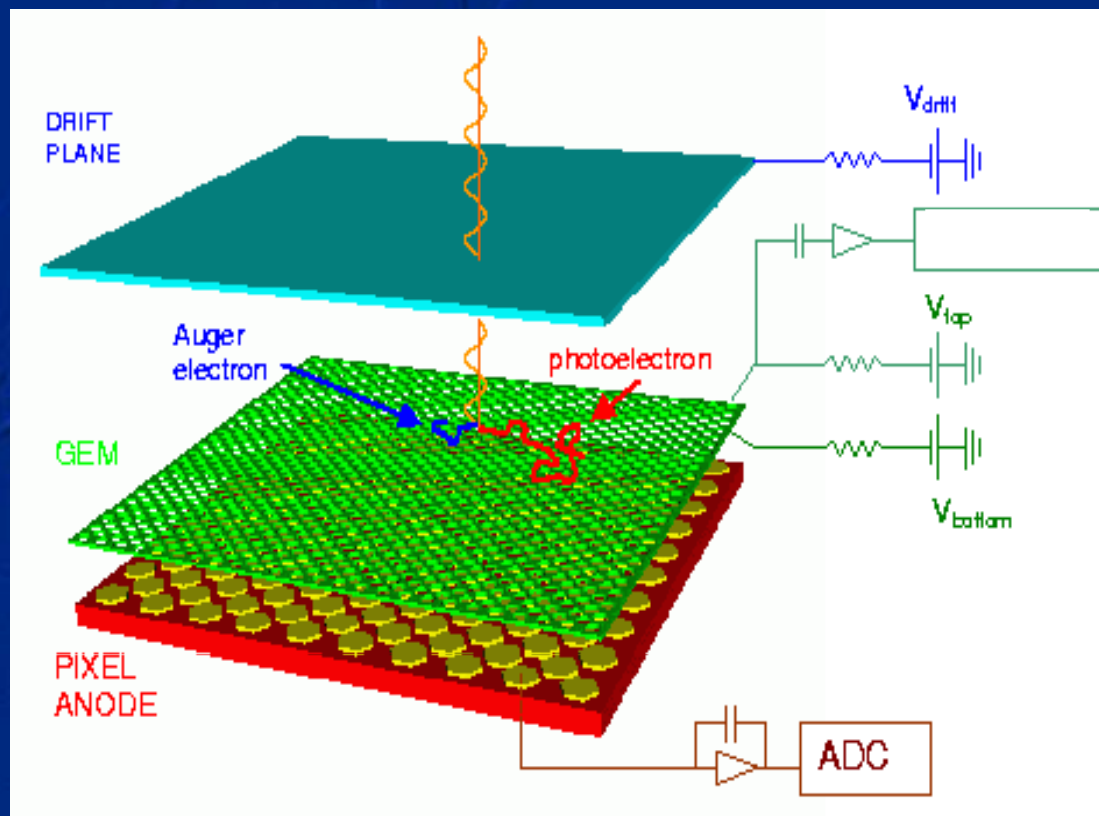
Proximity Focused Windowless Cherenkov Counter funzionante in CF_4 puro, utilizzato sia come radiatore che come gas del rivelatore



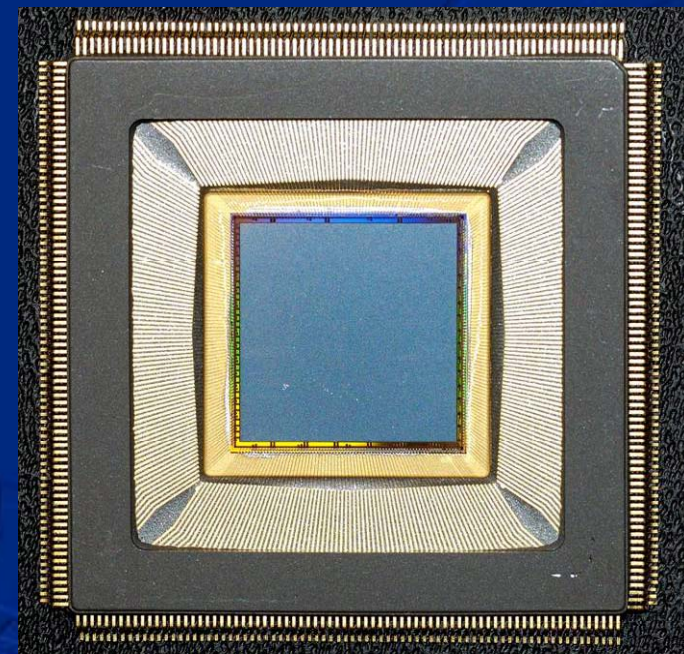
Readout con ASIC

"Ultimate granularity"

Un rivelatore a singola GEM con lettura a micro-PAD ha una buona efficienza di rivelazione di raggi X morbidi attraverso la rivelazione del fotoelettrone e la misura dell'angolo medio di emissione



ASIC readout chip
105600 canali
470 pixel/mm²
15 mm x 15 mm active area

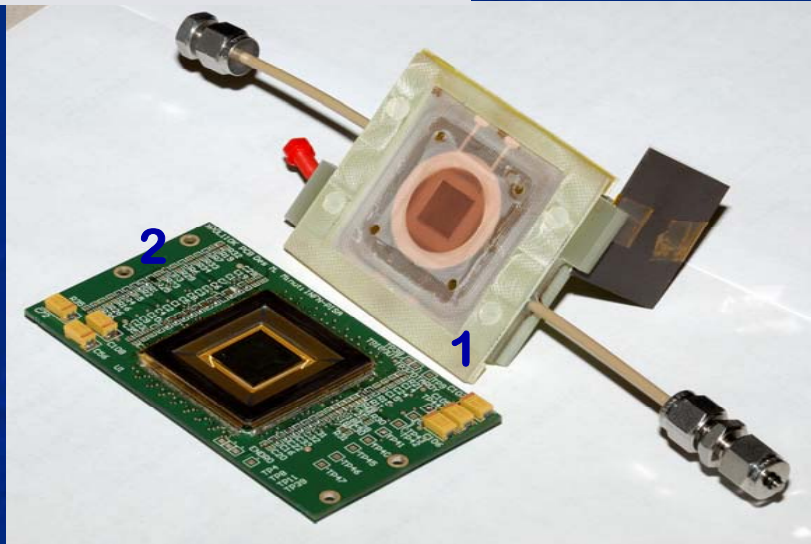


R. Bellazzini et al., NIM A435 (2004) 477

- GEM pitch: 50 μm
- GEM holes diameters: 33 μm , 15 μm
- Read out pitch: 50 μm
- Absorption gap thickness: 10 mm
- Collection gap thickness: 1 mm

X-Ray Polarimeter

R. Bellazzini, Imaging 2006

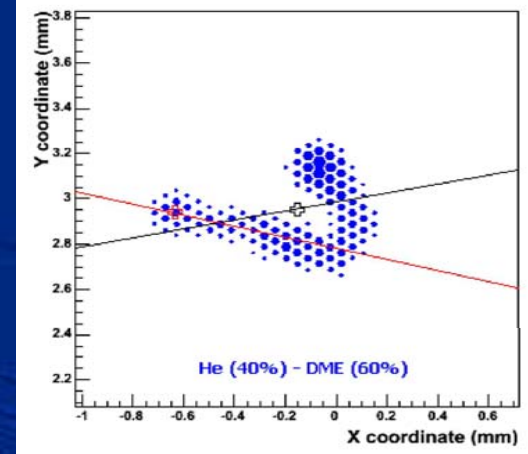
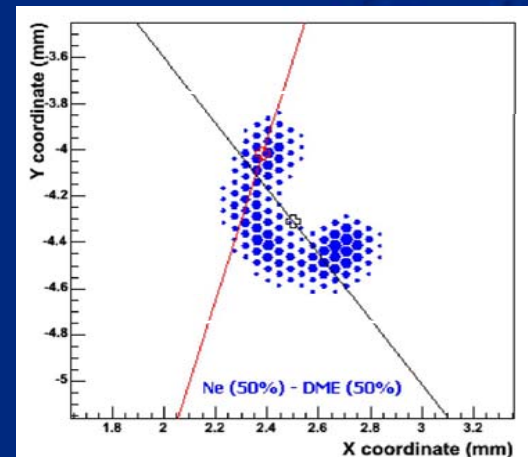
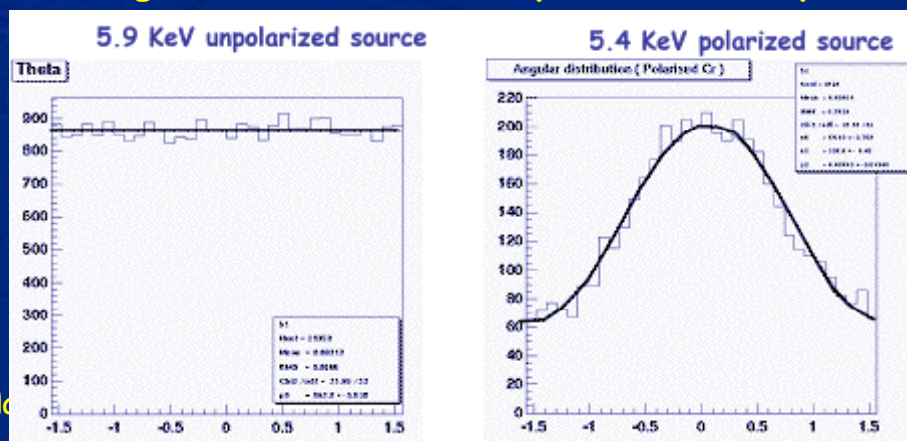


G~1000 @450V
Ne/DME 50/50

5.4 keV photoelectrons

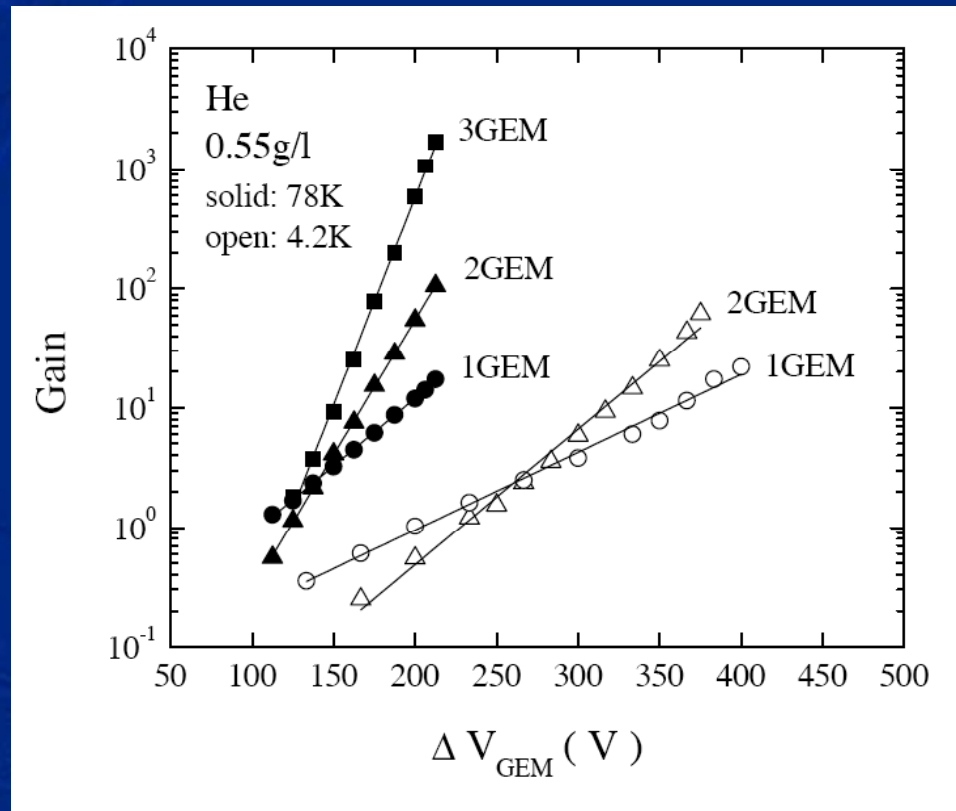
- 1 - The GEM glued to the bottom of the gas-tight enclosure
- 2 - The large area ASIC mounted on the control motherboard

Angular distribution for polarized x-rays



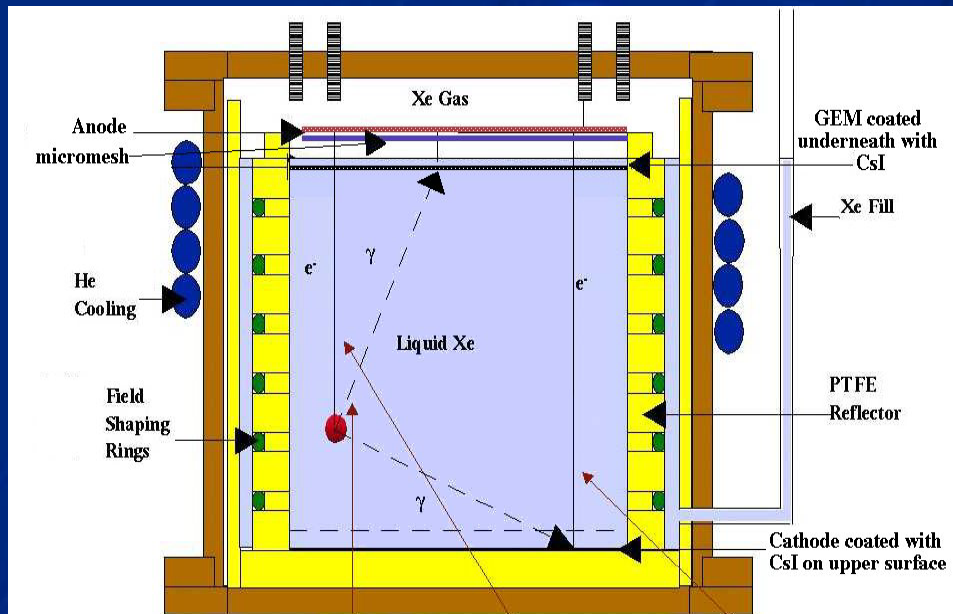
Rivelatori Criogenici a GEM

Sono stati studiati i meccanismi di amplificazione delle GEM anche a temperature criogeniche



A. Buzulutskov et al, NIM A548 (2005) 487

Rivelatori a doppia fase



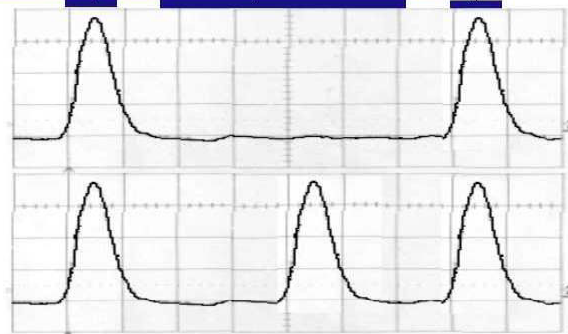
Rivelatore a Xe a doppia fase per la ricerca di materia oscura

P.K. Lightfoot, NIM A554 (2005) 266

“Nuclear recoil signal events contain no (for low drift field) primary ionization between these two pulses”

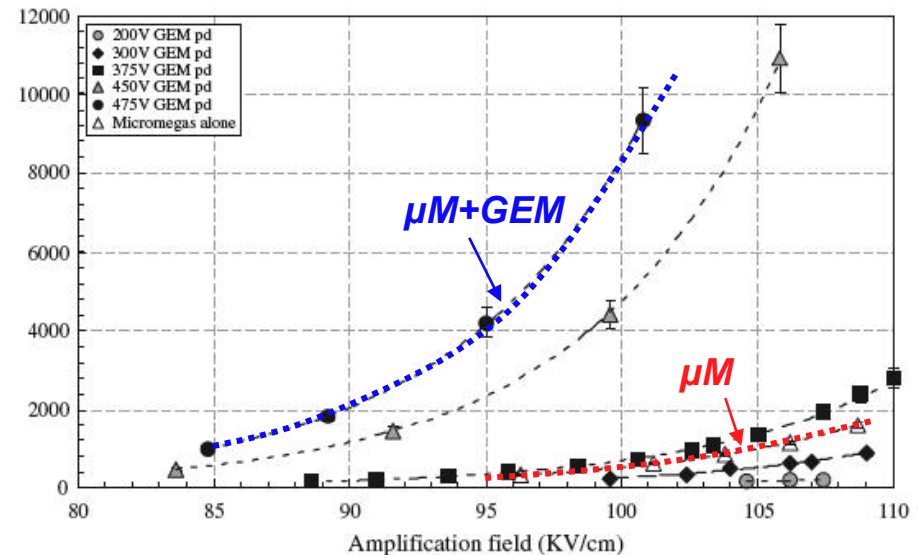
Nuclear recoil

Electron recoil



Anode output pulses

Curva di guadagno per LXe (171 K) + 2% CH₄



Conclusioni

- Caratteristiche principali dei rivelatori a GEM:
 - Separazione degli stadi di moltiplicazione e raccolta della carica
 - Localizzazione 2D
 - Accuratezza nella posizione di $\sim 50 \mu\text{m}$
 - Rate capability in eccesso di 1 MHz/mm^2
 - Alti guadagni possibili ($>10^5$) con rivelatori a multi-gem
 - Single-electron sensitivity
 - Vari design possibili per i fogli di GEM
 - Possibile realizzare rivelatori non planari
 - Utilizzo criogenico e/o in doppia fase
- Un panorama di applicazioni estremamente vario!