



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

101° Congresso Nazionale  
Roma, 25 Settembre 2015

# Caratterizzazione tridimensionale del GPD: un polarimetro in banda X per sorgenti astrofisiche

Buongiorno Daniele (1)

Costa Enrico (2), Del Monte Ettore (2), Fabiani Sergio (2), Muleri Fabio (2), Rubini Alda (2), Soffitta Paolo (2)

Bellazzini Ronaldo (3), Brez Alessandro (3), Miniuti Massimo (3), Pinchera Michele (3), Spandre Gloria (3)

(1) Dipartimento di Fisica, Università degli Studi Roma Tre e IAPS/INAF, Roma

(2) IAPS/INAF, Roma

(3) INFN, sezione di Pisa



# Outline

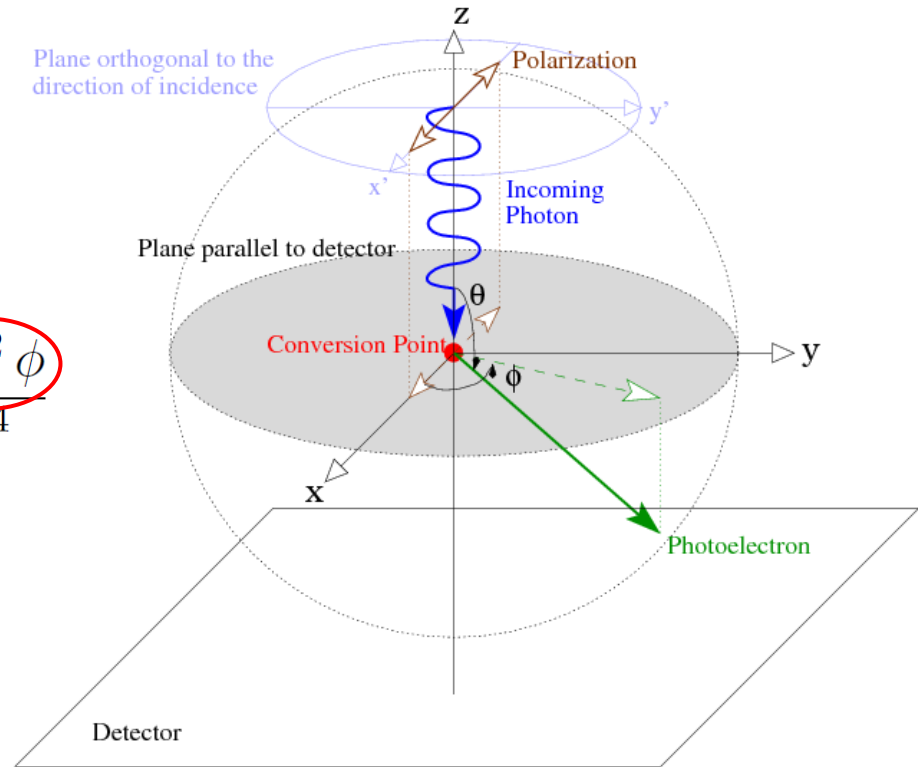
- 1) Principio di funzionamento e struttura del Gas Pixel Detector
- 2) Nuovo metodo per la misura dell'efficienza
- 3) Stabilità temporale della risoluzione energetica
- 4) Caratterizzazione qualitativa delle proprietà di diffusione
- 5) Conclusioni

# Outline

- 1) **Principio di funzionamento e struttura del Gas Pixel Detector**
- 2) Nuovo metodo per la misura dell'efficienza
- 3) Stabilità temporale della risoluzione energetica
- 4) Caratterizzazione qualitativa delle proprietà di diffusione
- 5) Conclusioni

# L'effetto fotoelettrico

$$\frac{d\sigma_{ph}^K}{d\Omega} = r_0^2 \alpha^4 Z^5 \left( \frac{m_e c^2}{E} \right)^{\frac{7}{2}} \frac{4\sqrt{2} \sin^2 \theta \cos^2 \phi}{(1 + \beta \cos \theta)^4}$$

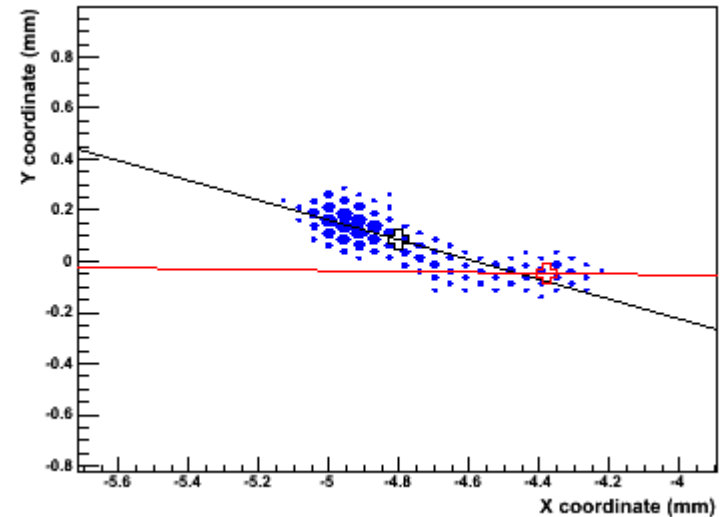
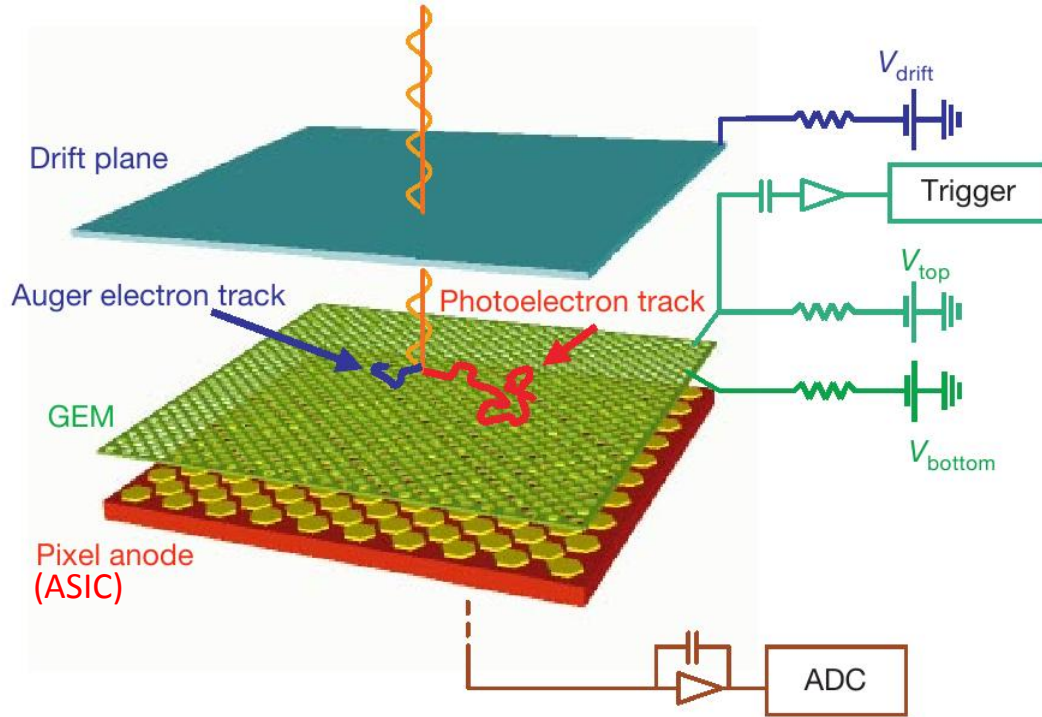


In caso di radiazione polarizzata, il numero di fotoelettroni emessi in funzione dell'angolo  $\phi$  è modulato con una funzione tipo  $\cos^2 \phi$ , il cui picco è parallelo alla direzione di polarizzazione.

La modulazione è costante se sono coinvolti orbitali sferici (shell K).

# Il Gas Pixel Detector (GPD)

Moltiplicazione e raccolta di cariche prodotte tramite ionizzazioni.



Facendo l'immagine della traccia si ricava la direzione di emissione del fotoelettrone e quindi quella di polarizzazione. Non si usa una CCD ma un ASIC.

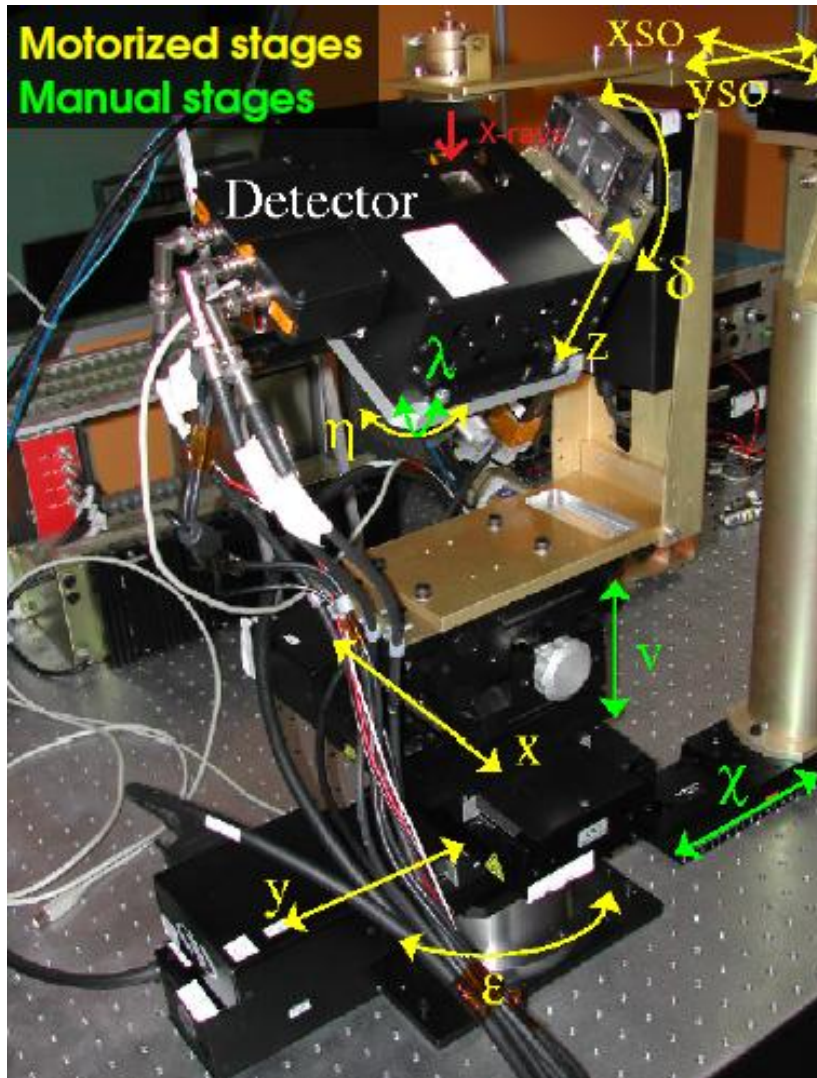
- L.E.P. (Low Energy Polarimeter)** - Miscela impiegata: He-DME 20%-80% 1 atm
- Range energetico: circa 2-10 keV

# Outline

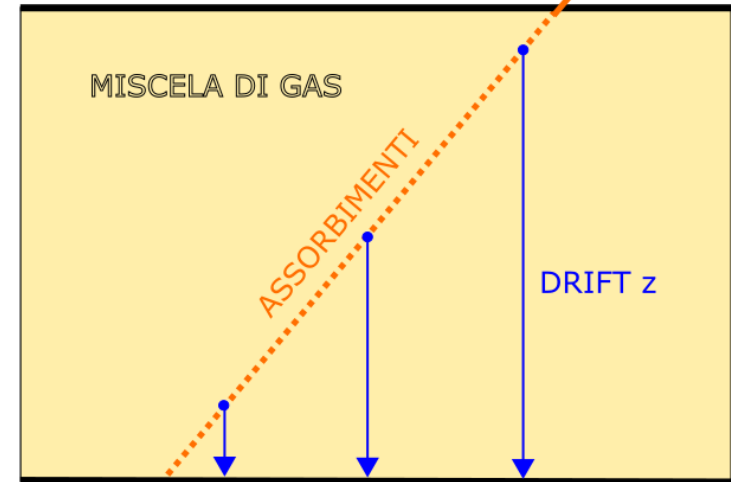
- 1) Principio di funzionamento e struttura del Gas Pixel Detector
- 2) **Nuovo metodo per la misura dell'efficienza**
- 3) Stabilità temporale della risoluzione energetica
- 4) Caratterizzazione qualitativa delle proprietà di diffusione
- 5) Conclusioni

# Impiego di fasci di raggi X inclinati

Conoscendo l'inclinazione del fascio e la proiezione sul piano di raccolta, con una semplice trasformazione trigonometrica, è semplice risalire alla profondità a cui è avvenuto l'assorbimento.

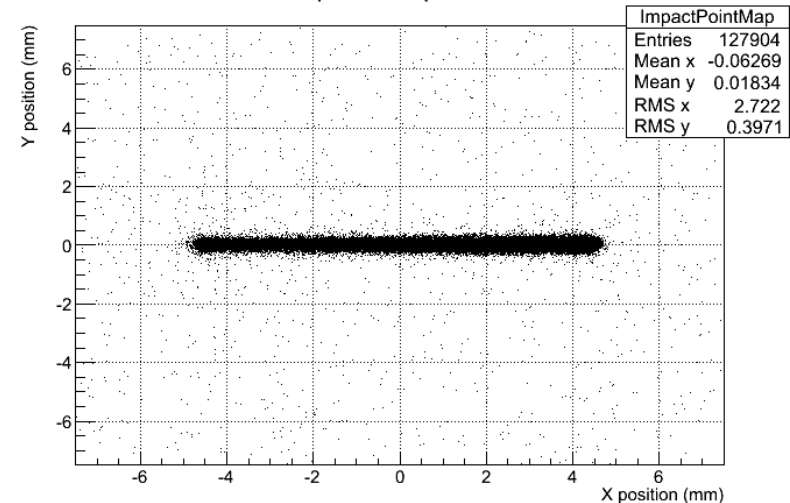


## FINESTRA



## GEM

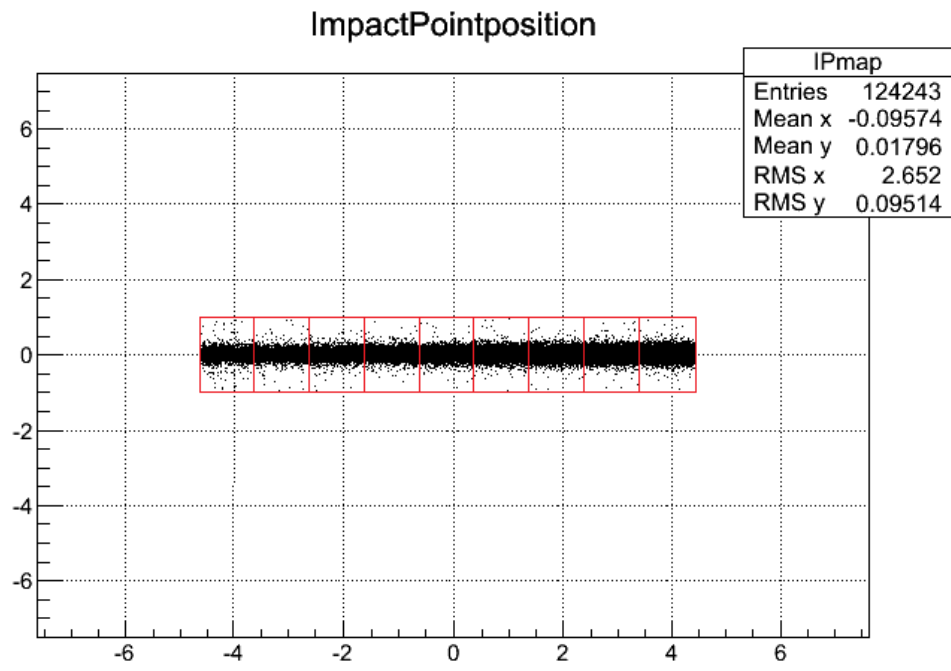
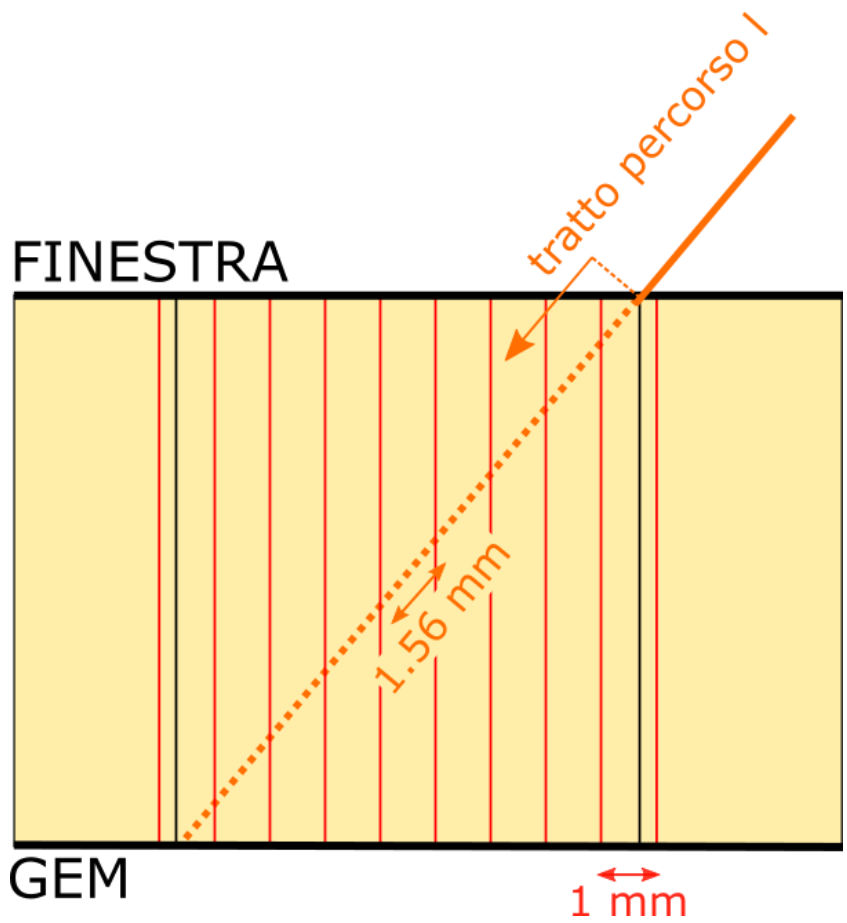
ImpactPointposition



# Definire e misurare l'efficienza

$$eff = 1 - e^{-\frac{d}{\lambda}} \quad \lambda = \frac{1}{\mu_{ph} \cdot \rho}$$

$d$ : profondità del rivelatore  
 $\lambda$ : lunghezza di attenuazione  
 $\mu_{ph}$ : coefficiente di assorbimento fotoelettrico  
 $\rho$ : densità della miscela

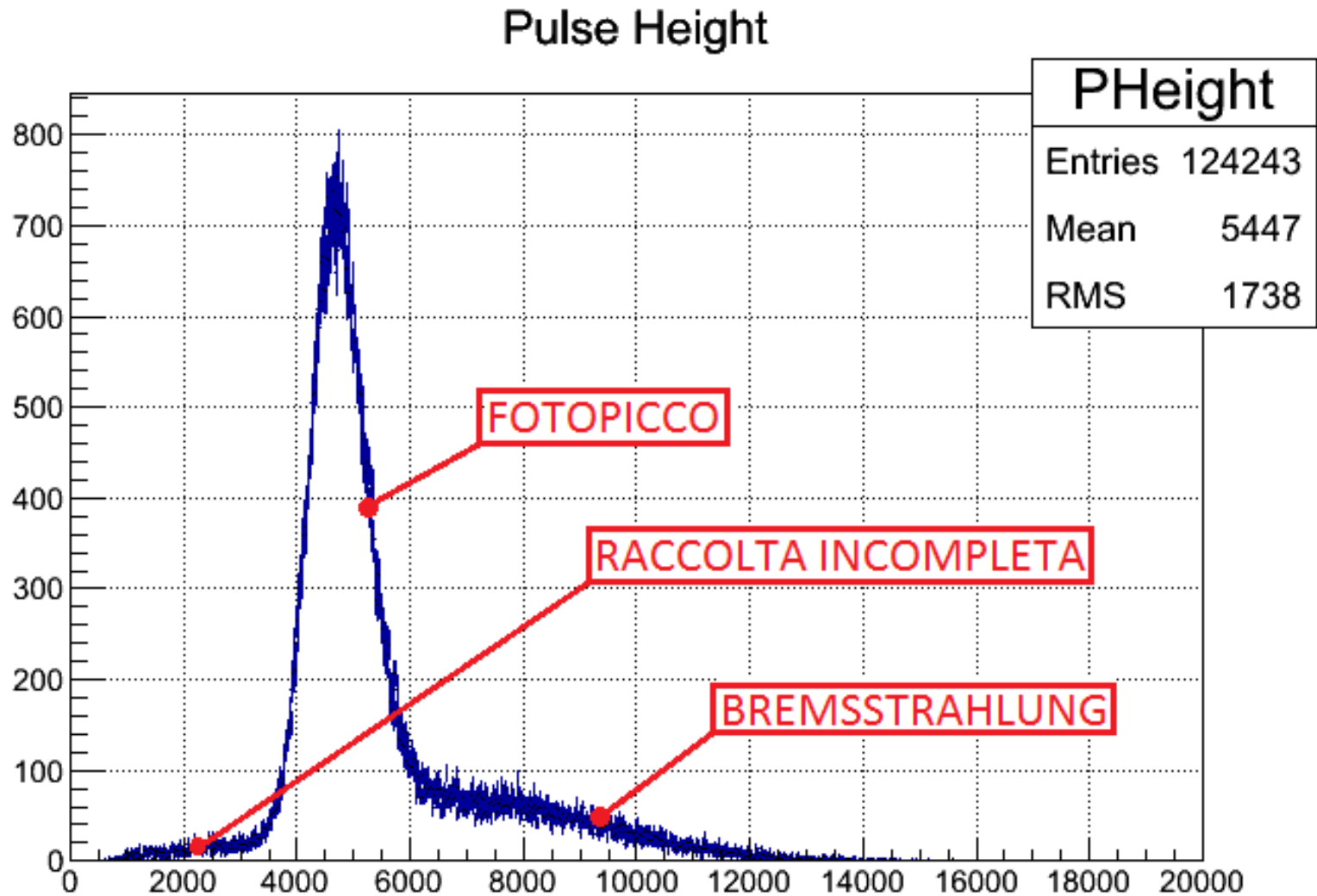


$$N(l) = N_0 \cdot (1 - e^{-\frac{l}{\lambda}}) \quad \frac{dN(l)}{dl} = \frac{N_0}{\lambda} \cdot e^{-\frac{l}{\lambda}}$$



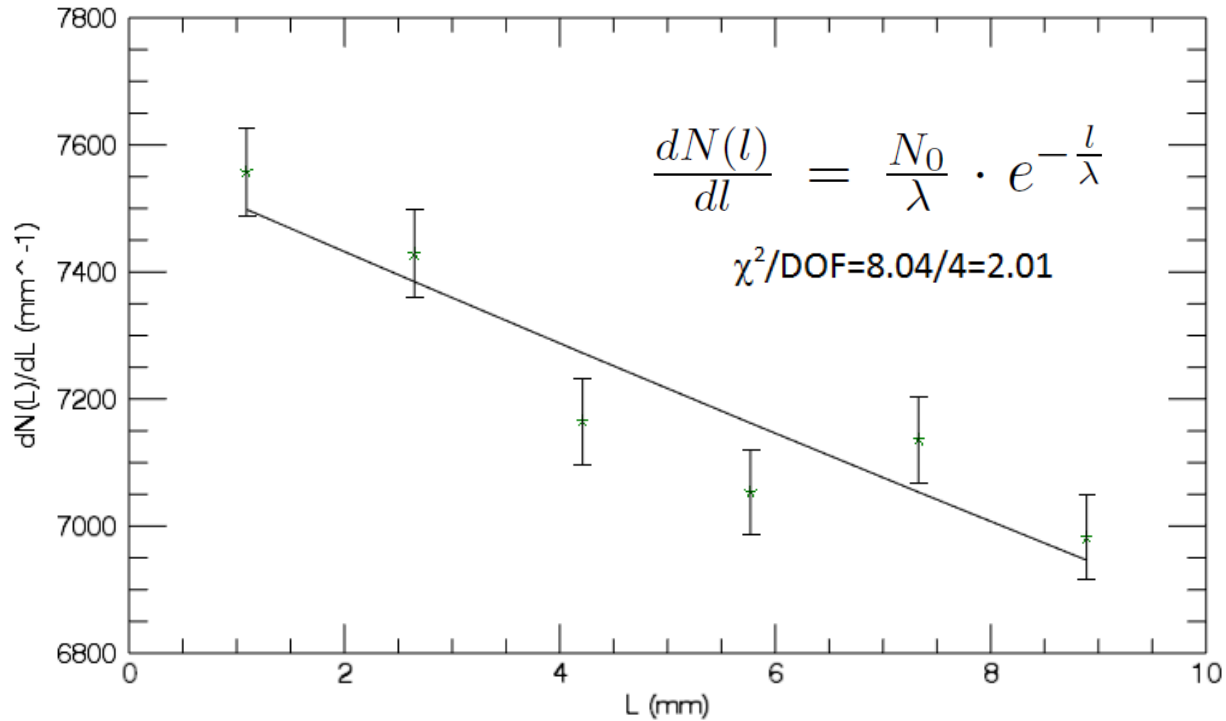
# Quali eventi considerare?

Misure @3.7 keV



# Risultati del fit

Misure @3.7 keV



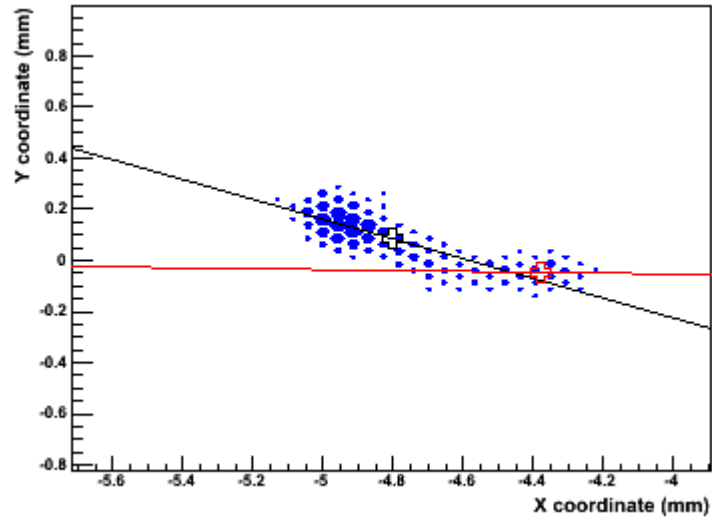
$\lambda_{\text{att}} = 93 \text{ mm}$   
 $\lambda_{\text{fit}} = (102.0 \pm 15.1) \text{ mm}$   
↓  
 $\text{eff}_{\text{att}} = 10\%$   
 $\text{eff}_{\text{fit}} = (9 \pm 1)\%$

Misure @4.5 keV: risultati in accordo con quanto aspettato entro  $2\sigma$ .

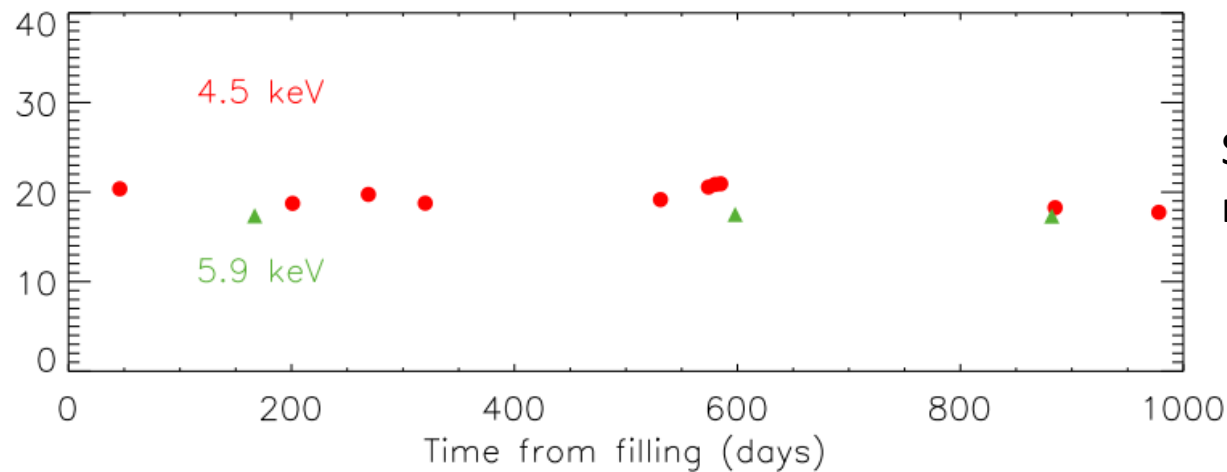
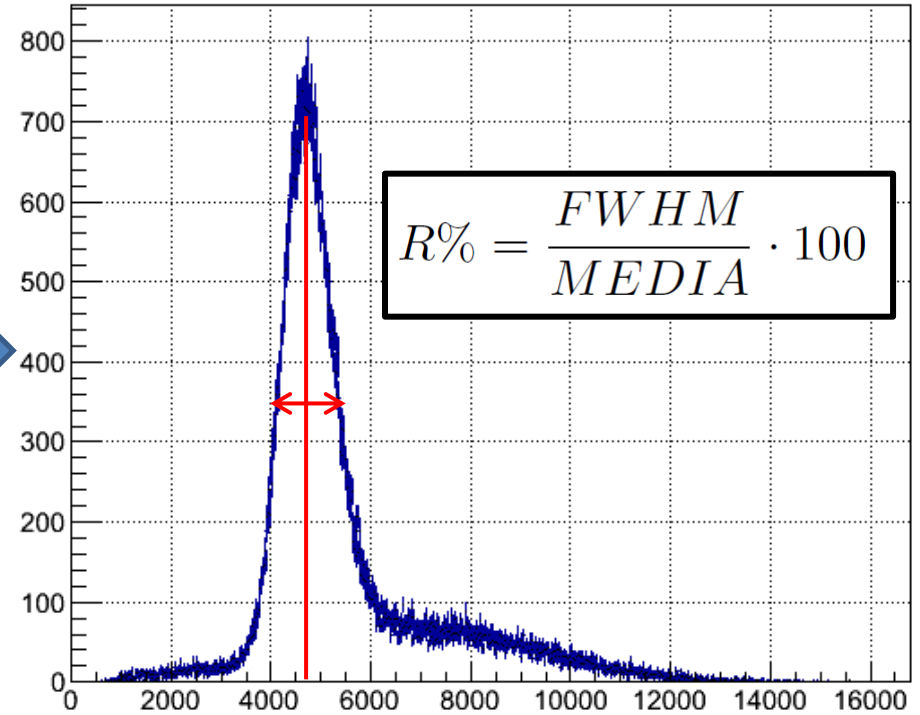
# Outline

- 1) Principio di funzionamento e struttura del Gas Pixel Detector
- 2) Nuovo metodo per la misura dell'efficienza
- 3) **Stabilità temporale della risoluzione energetica**
- 4) Caratterizzazione qualitativa delle proprietà di diffusione
- 5) Conclusioni

# Risoluzione energetica del rivelatore



Pulse Height



Sperimentalmente la risoluzione si mantiene stabile in circa tre anni.

# Definire e misurare il coefficiente di attachment

$$Q(z) = Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot z}$$

$$PH(z)/PH(0) = e^{-\alpha \cdot z}$$

$Q_0$ : carica totale prodotta dall'evento

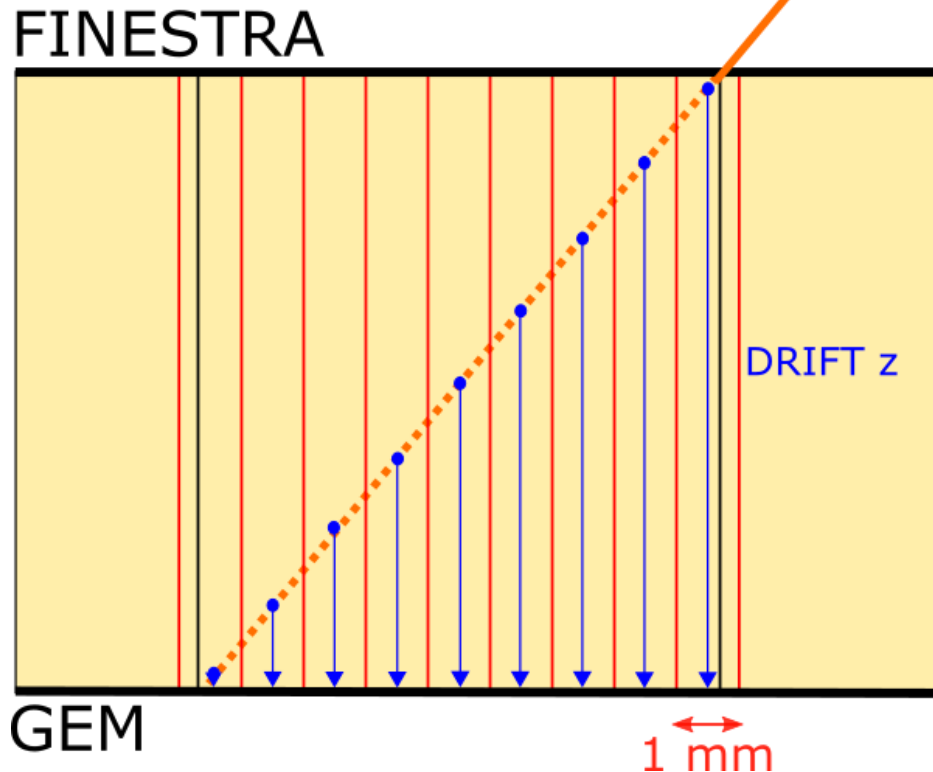
$Q(z)$ : carica rivelata

$\alpha$ : coefficiente di attachment

$z$ : distanza tra l'evento e il GEM

$PH(z)$ : posizione rivelata del fotopicco

$PH(0)$ : posizione rivelata del fotopicco in assenza di attachment

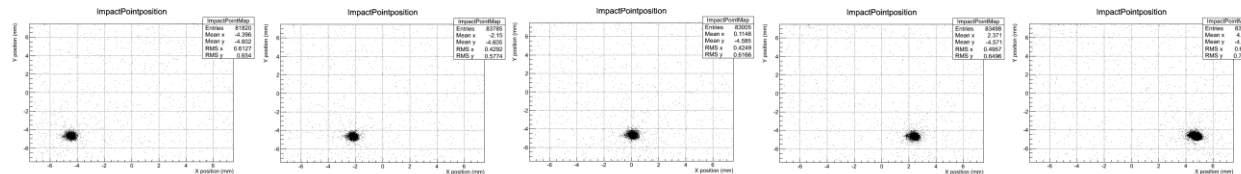
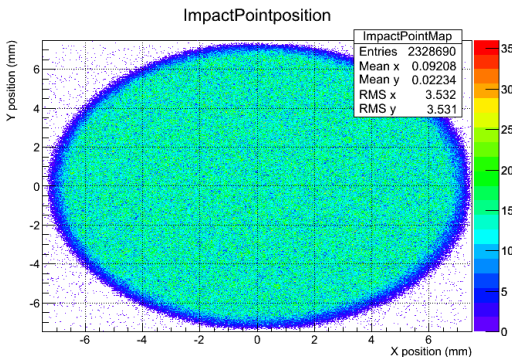
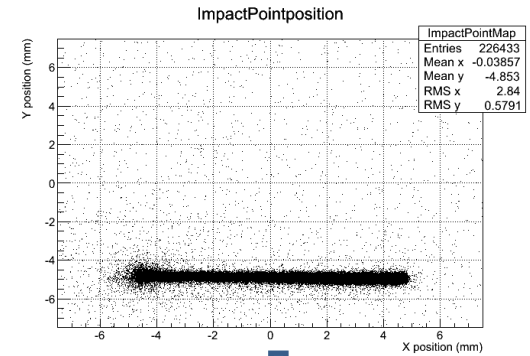
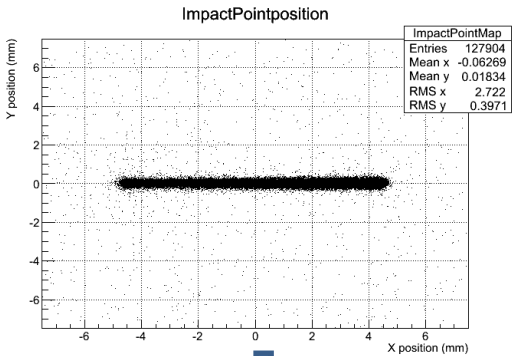
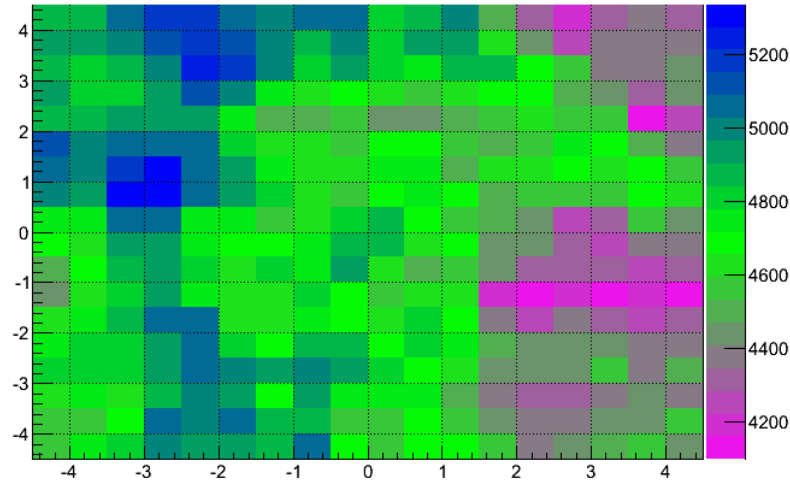


# Necessità di normalizzare al guadagno spaziale del GEM

3.7 keV, agosto 2014

4.5 keV, marzo 2012

PH plot ClustersData\_2701

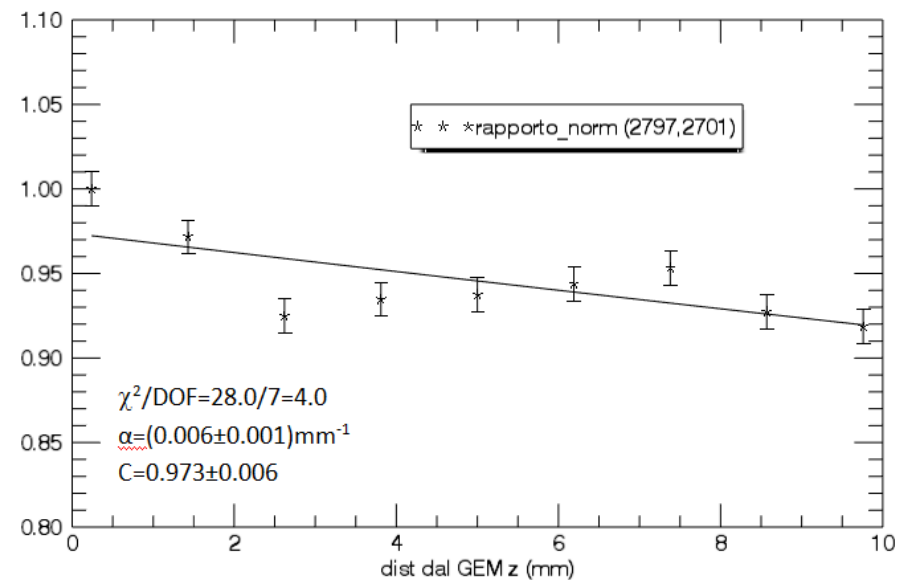
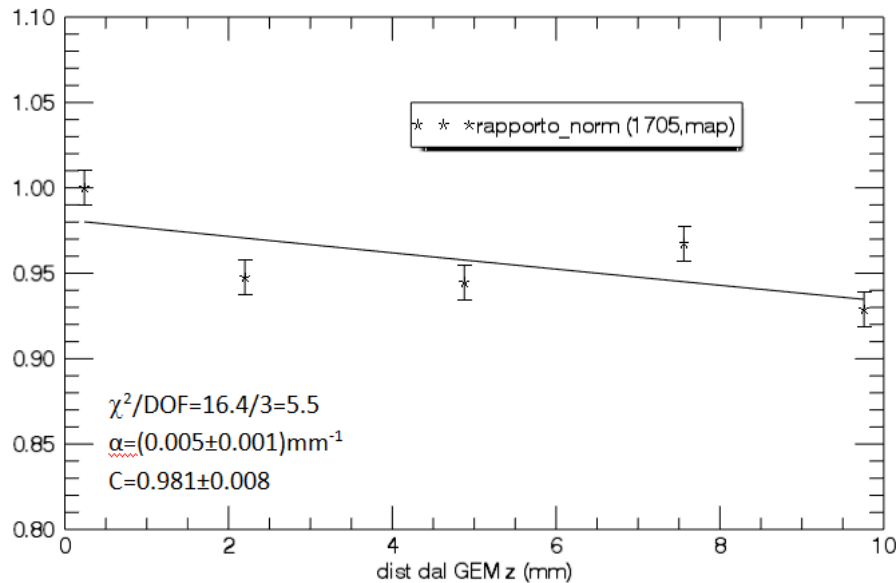


# Misura del parametro $\alpha$ tramite fit

$$y = PH(z)/PH(0) = C \cdot e^{-\alpha \cdot z}$$

4.5 keV, marzo 2012

3.7 keV, agosto 2014



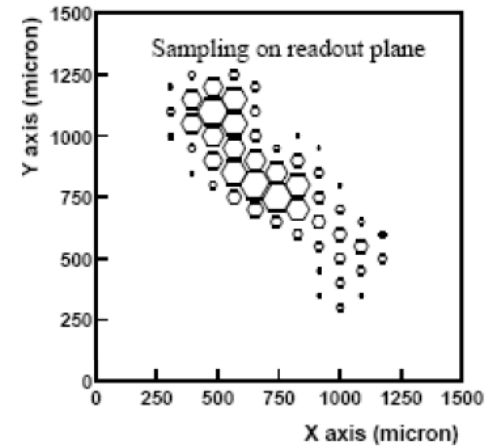
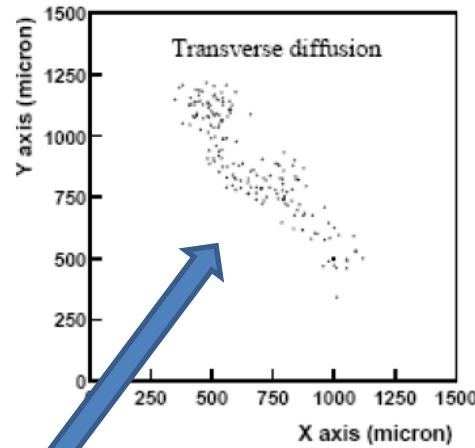
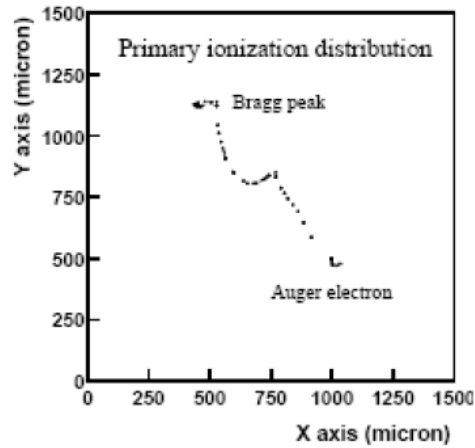
Data	$\alpha(\text{mm}^{-1})$
12/3/2012	$0.005 \pm 0.001$
6/8/2014	$0.006 \pm 0.001$

# Outline

- 1) Principio di funzionamento e struttura del Gas Pixel Detector
- 2) Nuovo metodo per la misura dell'efficienza
- 3) Stabilità temporale della risoluzione energetica
- 4) **Caratterizzazione qualitativa delle proprietà di diffusione**
- 5) Conclusioni



# Definire il coefficiente di diffusione e la “cluster size”



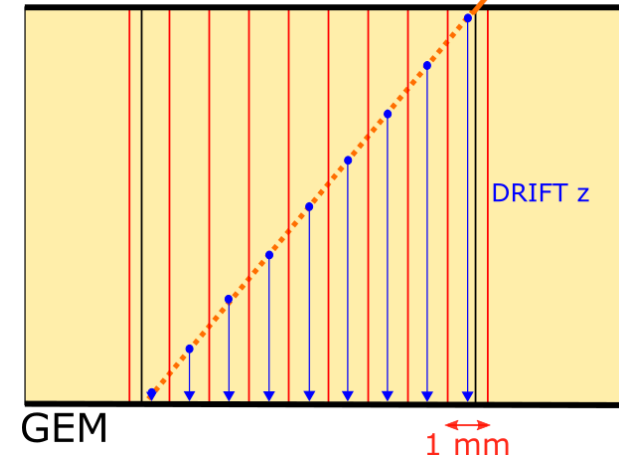
$$\frac{dN}{N} = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \cdot e^{-\left(\frac{z^2}{4Dt}\right)} \cdot dz$$

$$\sigma_{\perp} = \sqrt{2D_{\perp}t} = \sqrt{2D_{\perp} \frac{z}{w}} \equiv \delta \sqrt{z}$$

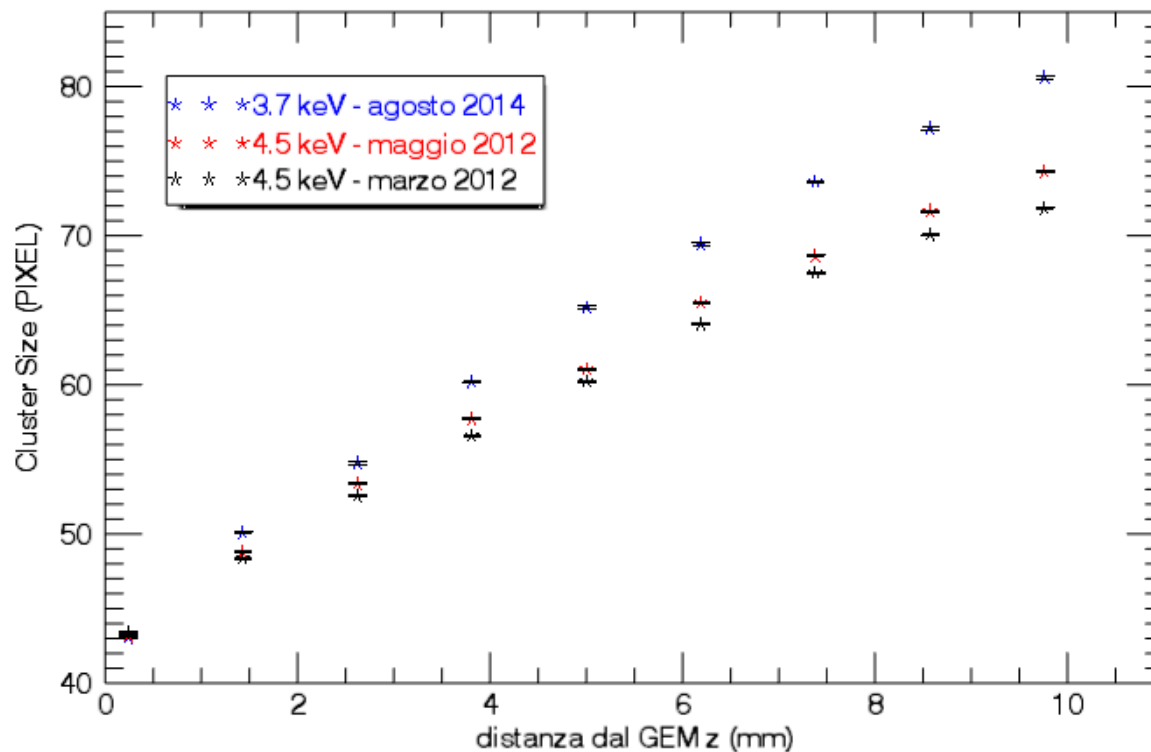
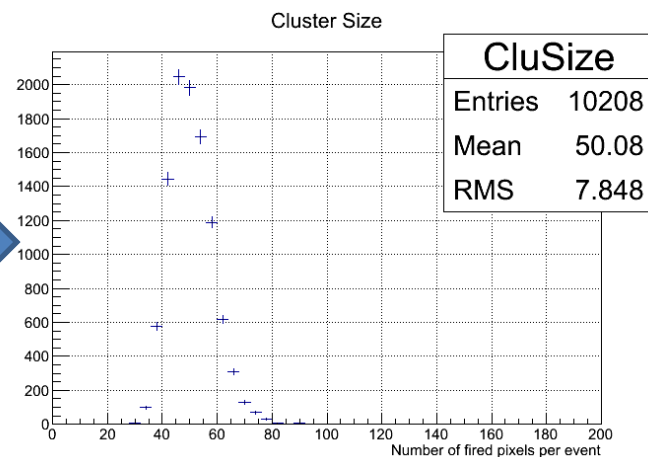
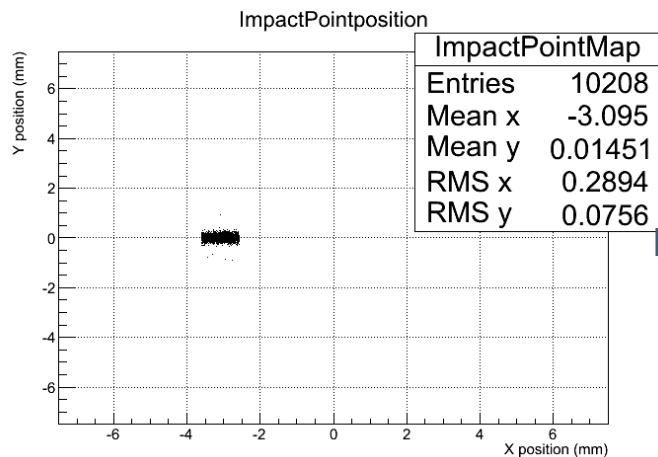
$$\delta = 67 \mu\text{m}/\text{cm}^{1/2}$$

Il numero di pixel che vengono interessati da un evento è chiamato “cluster size”.

FINESTRA

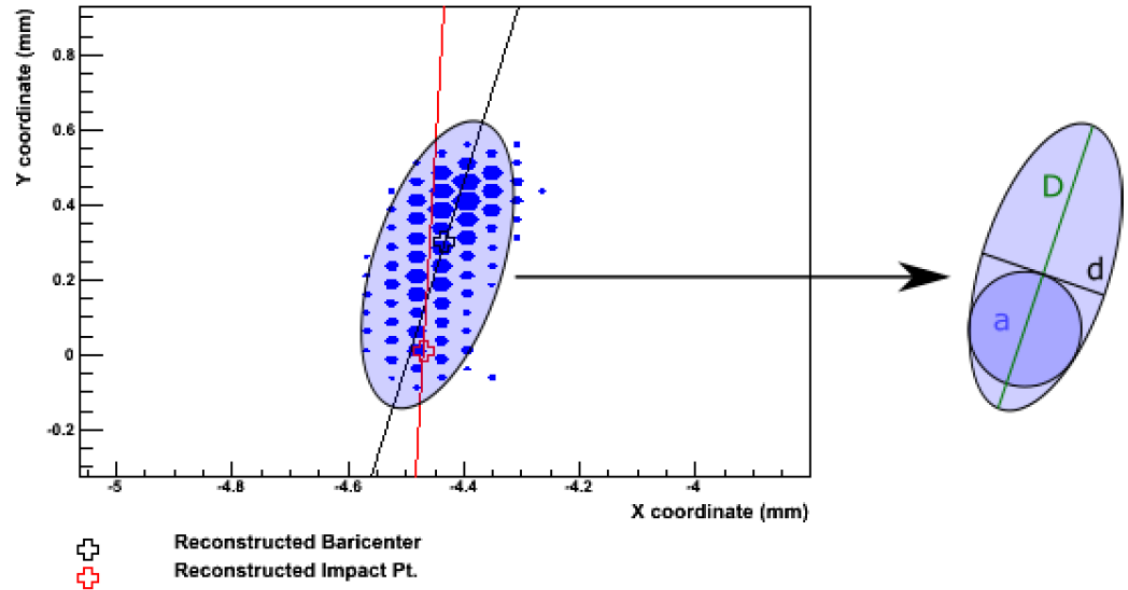
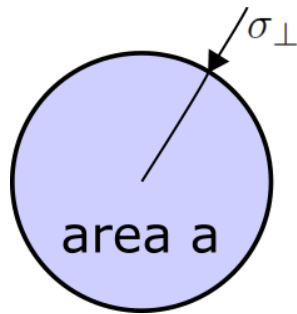


# Rilevazioni effettuate su tre acquisizioni



# Stima del parametro $\delta$ analizzando le sole tracce elongate

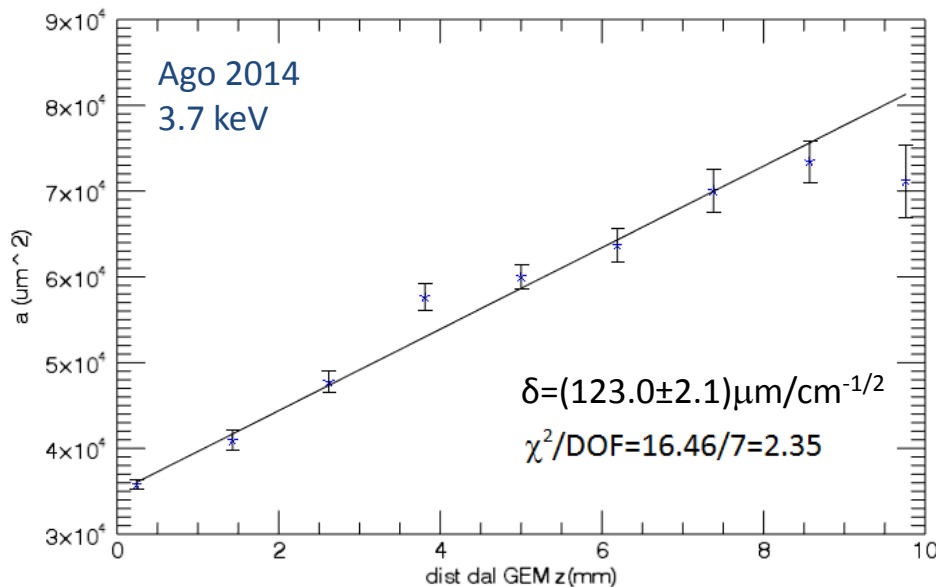
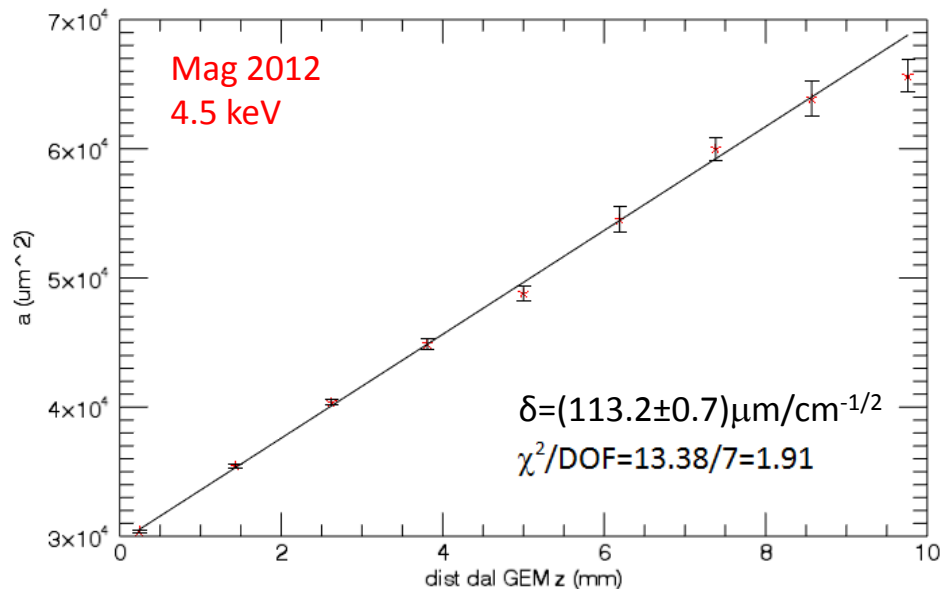
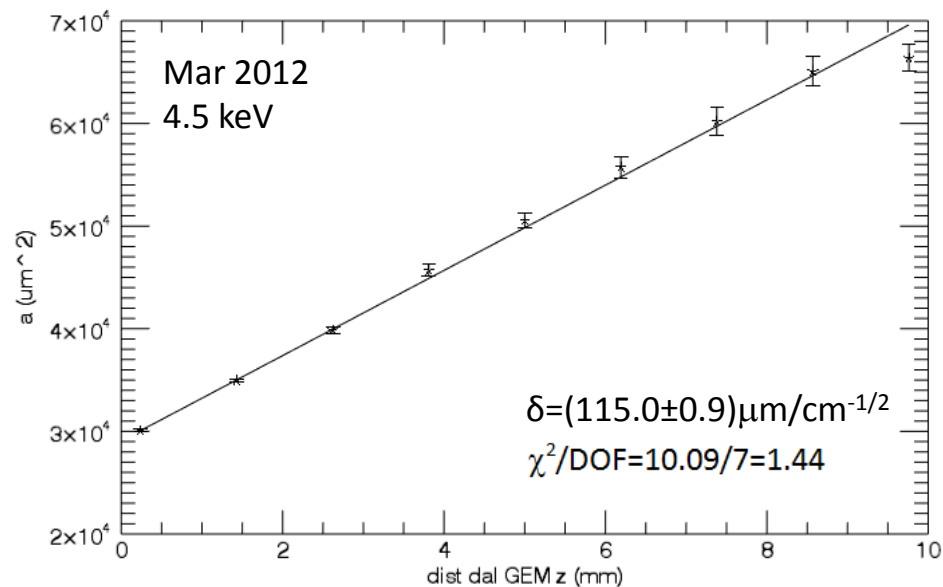
L'allargamento associato ad una singola ionizzazione è un'area circolare indicata con "a".



$$shape = \frac{M_2^{MAX}}{M_2^{min}} = \frac{D^2}{d^2}$$

L'area  $a$  è dipendente dalla profondità  $z$ ; affinché risulti  $\delta = \text{cost}$ , è necessario che  $a = cz + d$ . Il coefficiente  $\delta$  è legato al coefficiente angolare  $c$ .

# Stima del parametro $\delta$ analizzando le sole tracce elongate



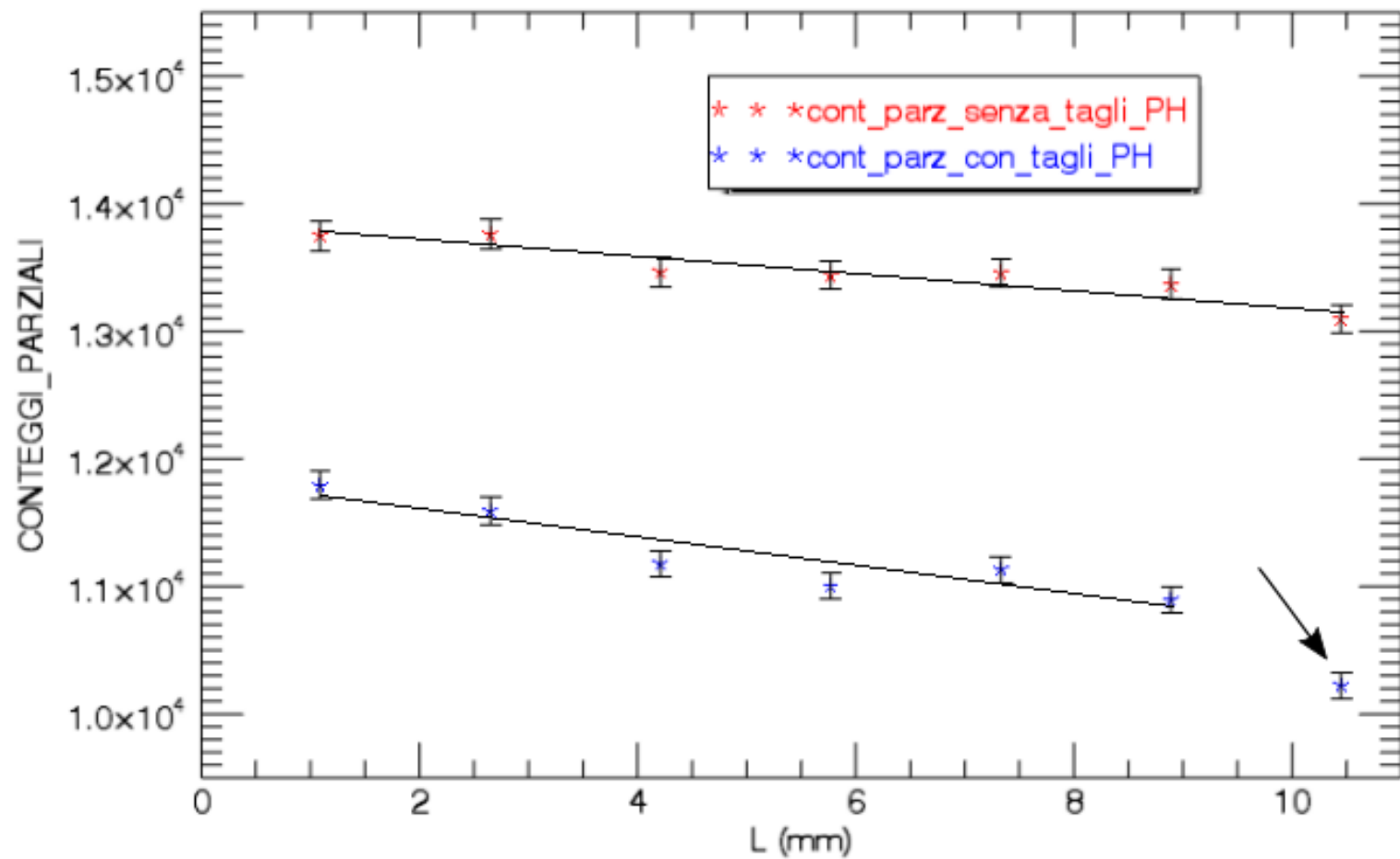
$(\delta=67 \mu\text{m}/\text{cm}^{1/2})$

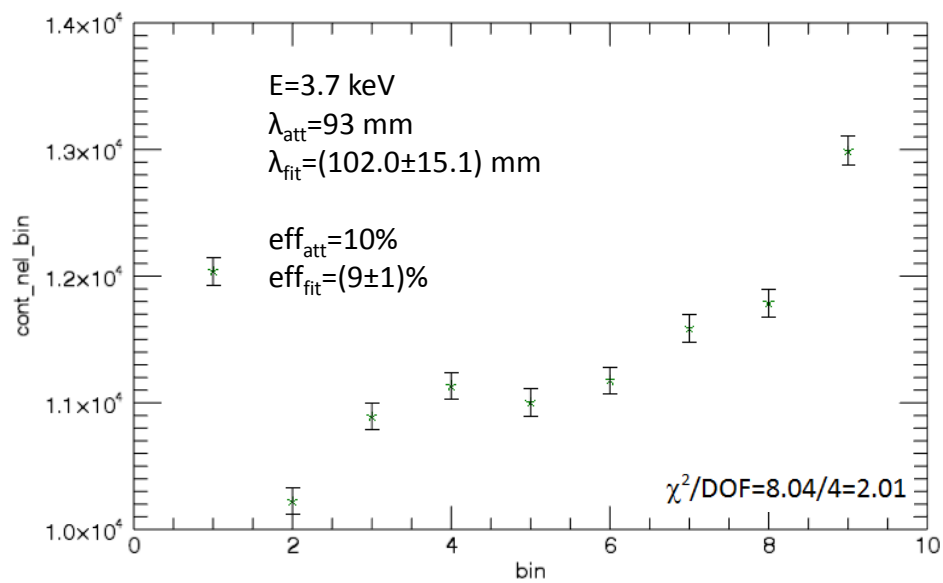
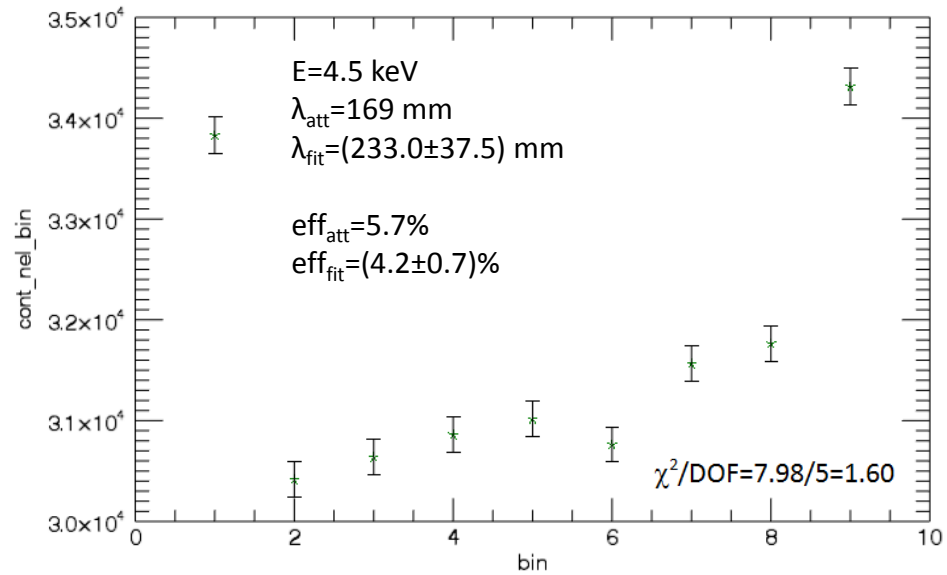
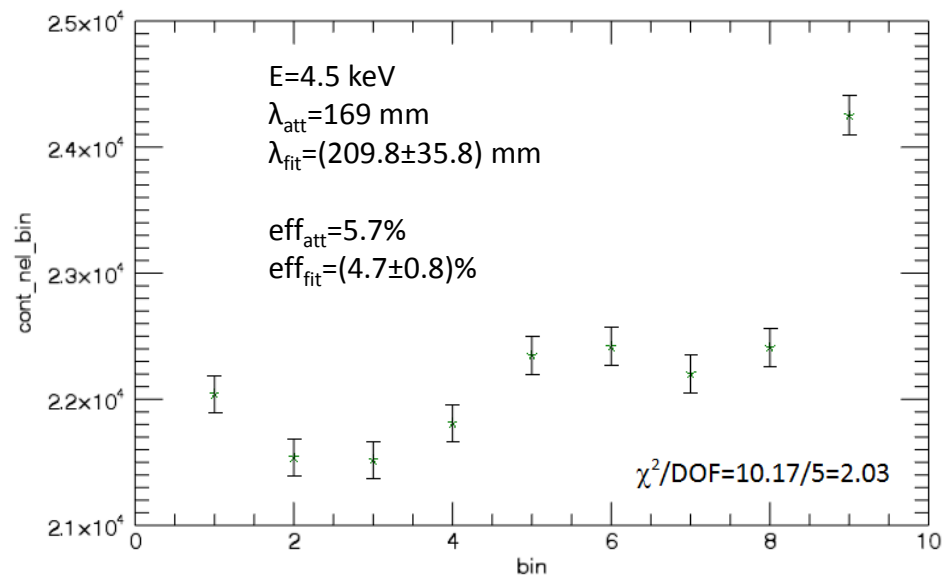
# Conclusioni

L'impiego di fasci inclinati nel GPD permette di:

- 1) Misurare l'efficienza dello strumento: buoni risultati a 3.7 keV e 4.5 keV
- 2) Misurare la contaminazione nella miscela e la sua stabilità temporale: buona risoluzione energetica, stabile nell'arco di 2 anni
- 3) Caratterizzare le proprietà di diffusione: discreti risultati a 3.7 keV e 4.5 keV

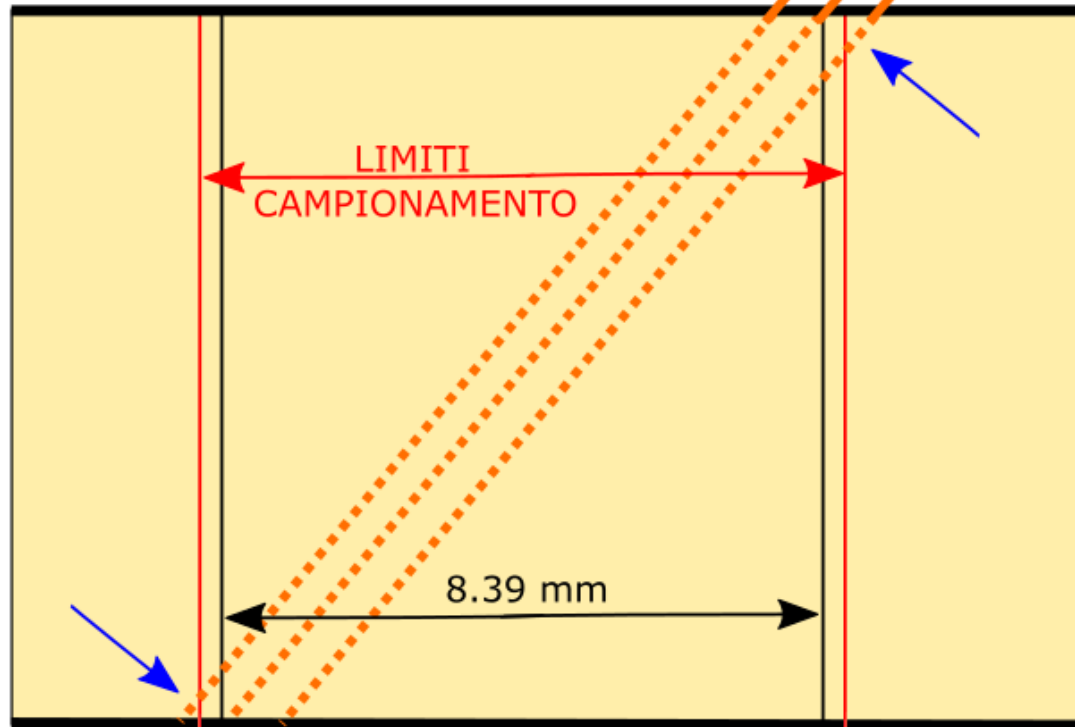
Extra slides



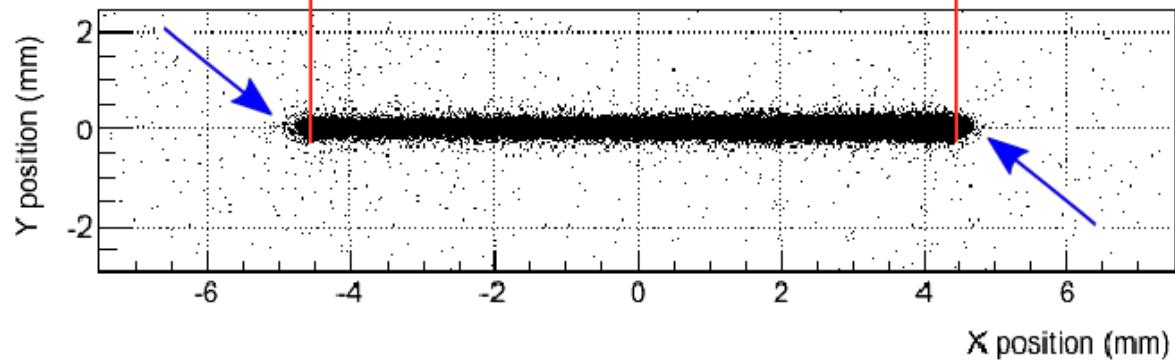




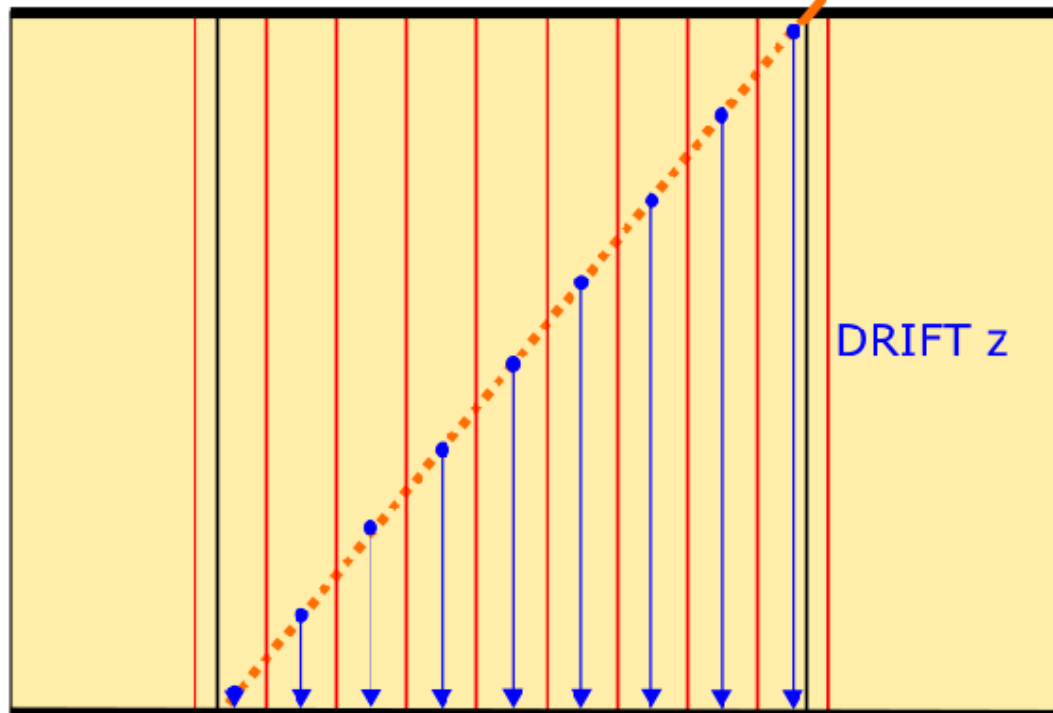
# FINESTRA



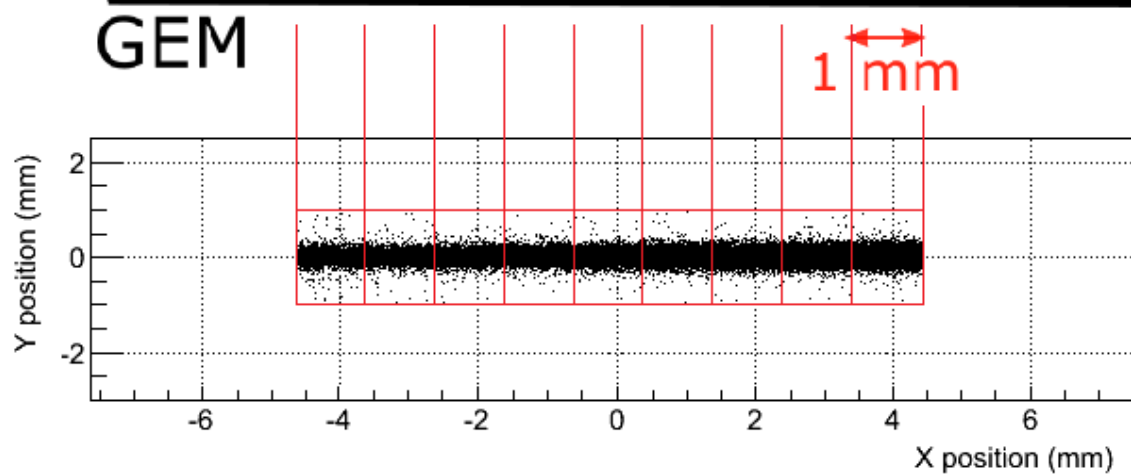
# GEM



# FINESTRA

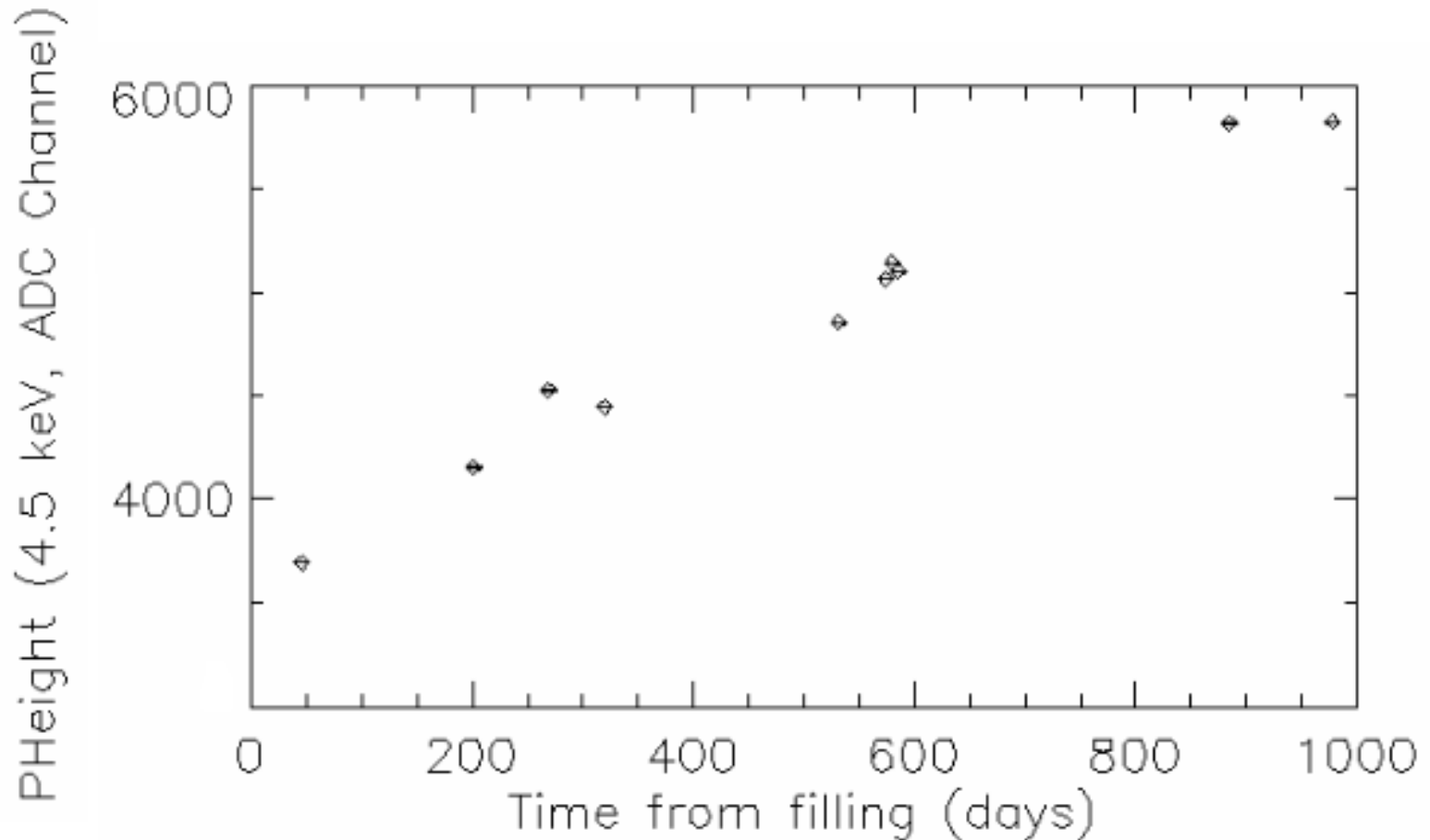


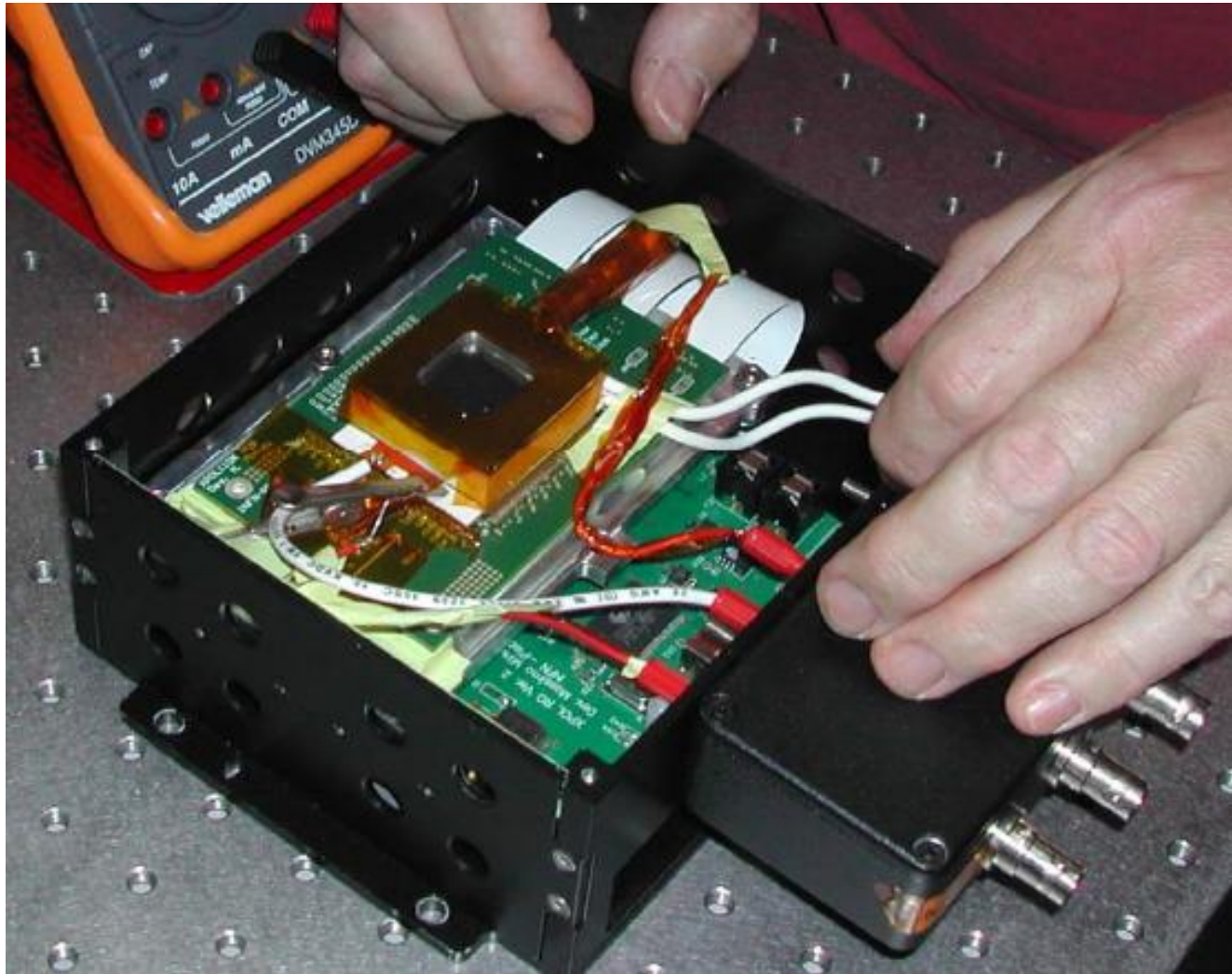
# GEM

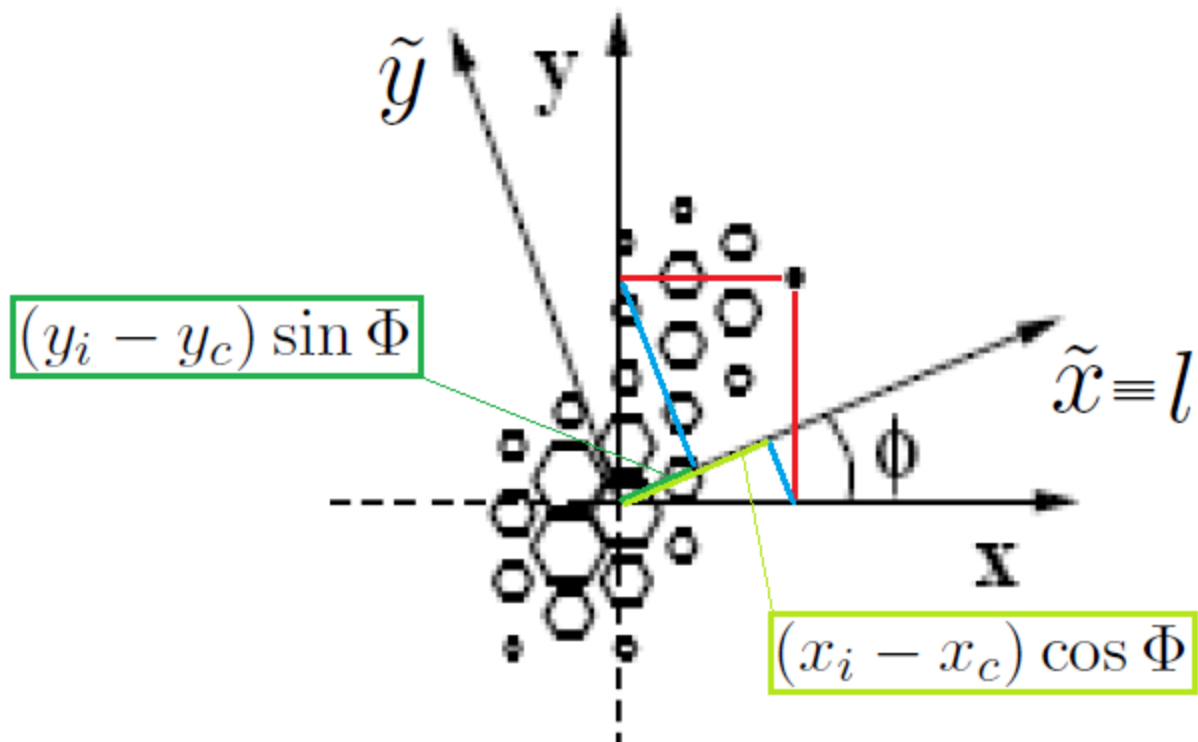


## Stabilità di guadagno del GEM

$$\frac{G_{corr}}{G_{mis}} = \frac{1}{\exp \left[ C \cdot \left( \frac{1}{P/T} - \frac{1}{2.533} \right) \right]}$$







# Obiettivi scientifici della polarimetria X

La polarizzazione lineare è la più comune; può essere prodotta quando nel sistema è presente una “direzione preferenziale”:

- 1) Scattering in geometrie non sferiche (colonne, dischi di accrescimento, SgrB2...)
- 2) Emissione intrinsecamente polarizzata (sincrotrone, ciclotrone...)
- 3) Trasferimento radiativo in forti campi magnetici

(SNR, PWN, pulsar, stelle di neutroni, binarie X, microquasar, AGN...)

La polarimetria X è l'ultimo settore largamente inesplorato dell'astrofisica delle alte energie. Le osservazioni tradizionali (*imaging*, spettroscopia e *timing*) si possono migliorare solo con missioni spaziali di alto costo; viceversa, anche una missione di polarimetria “*MEDIUM*” o “*SMALL*” rappresenterebbe un enorme passo in avanti per aiutare la comprensione dei fenomeni coinvolti.