

## *GEMpix e sviluppi futuri*

*Gerardo Claps*

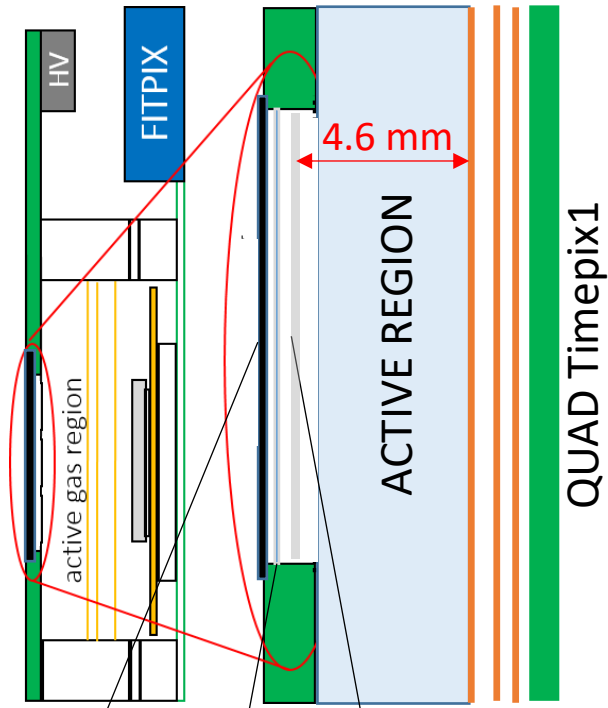
*INFN - LNF & ENEA Frascati*

*n\_TOF Italy Meeting  
BOLOGNA, 21-22 Novembre 2024*

# SOMMARIO

- *Misura dei prodotti carichi con GEMpix: calibrazione e simulazioni*
- *Stato della realizzazione del sistema telescopico con GEMpix side-on e QUAD Timepix3*
- *Primi risultati con quad Timepix3 in EAR2 con bersagli di LiF*
- *Misura della distribuzione di  $^{10}\text{B}$  con Quad Timepix3 per BNCT*
- *Attività previste per il 2025*

# GEMpix @ $n\_TOF$ per la misura dei prodotti di reazione in EAR1 (Settembre 2023)



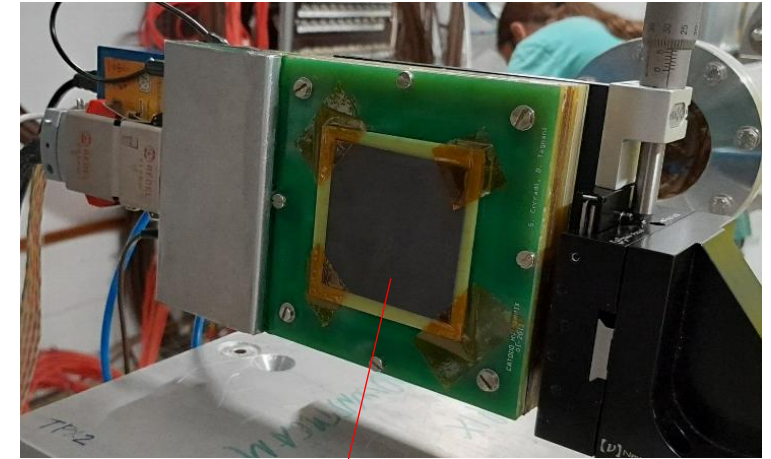
Alumina sheets

Aluminized mylar:  
15  $\mu\text{m}$  Mylar + 100 nm Al

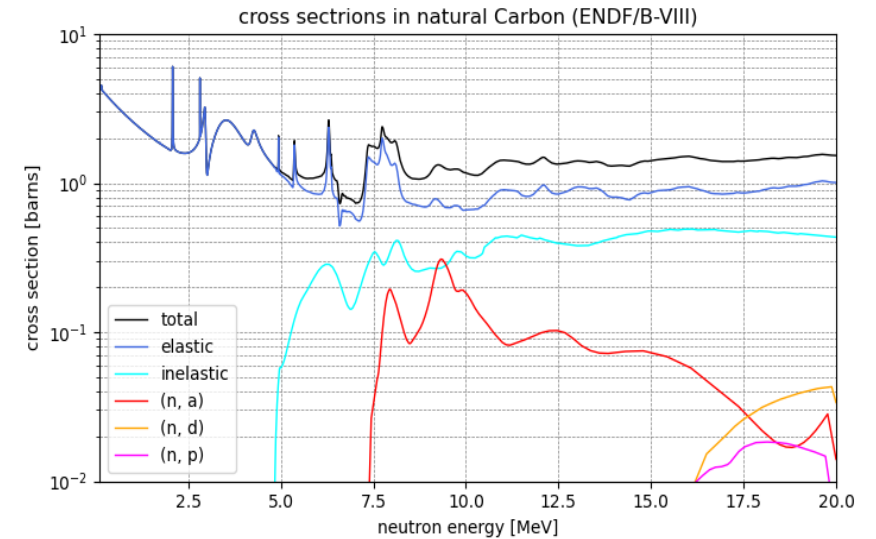
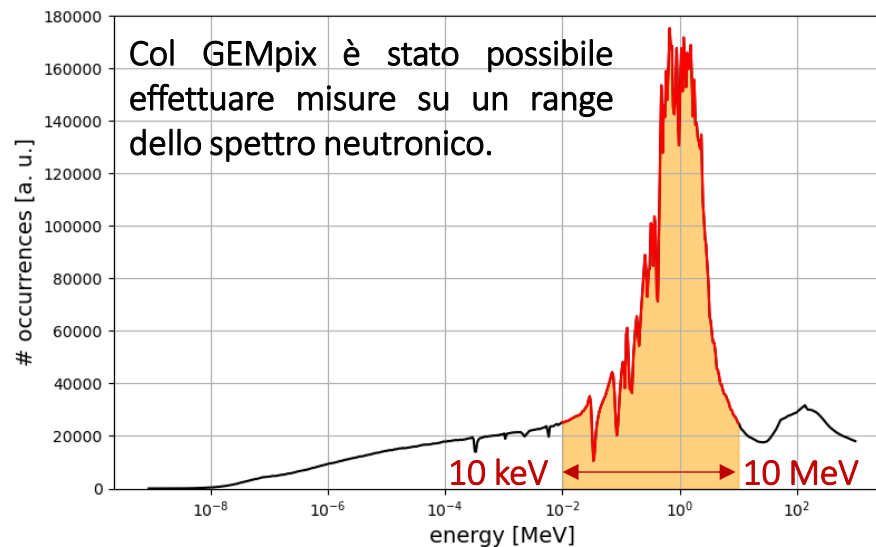
Bersaglio di Grafite: 500  $\mu\text{m}$

Risultati interessanti sono stati ottenuti nel range di energie neutroniche sotto a 10 MeV (fino a circa 10 keV).

- ✓ Le prime misure si sono effettuate con una camera GEMpix dotata di bersagli di allumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) da 400  $\mu\text{m}$  di posizionati dopo la finestra in Mylar del rivelatore all'inizio della regione di drift.
- ✓ La camera GEMpix è stata sostituita con un'altra avente la medesima geometria, ma il bersaglio di carbonio è stato posizionato prima della finestra di mylar esternamente alla camera. Non è stato più possibile inserire il bersaglio di carbonio al posto dell'allumina.

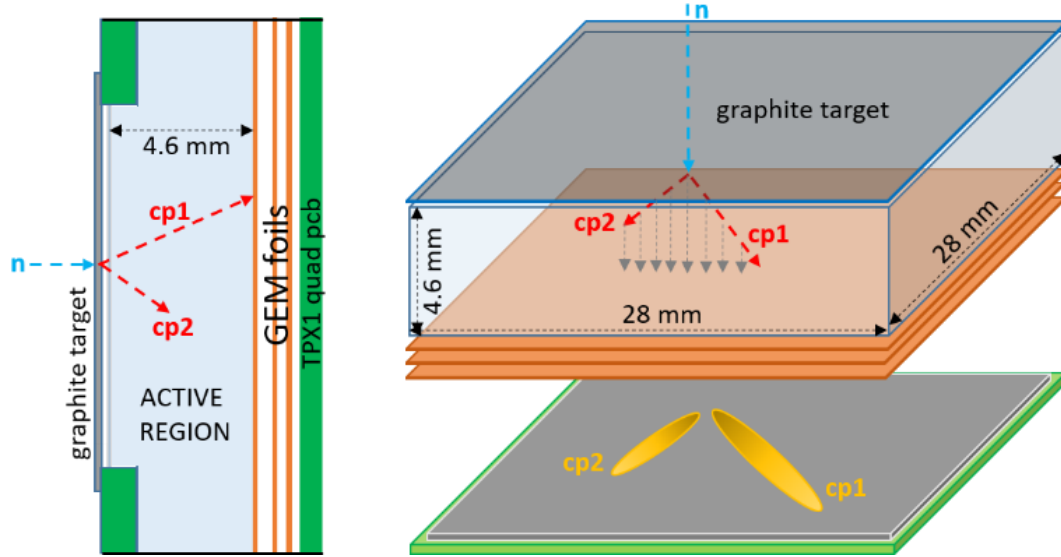


Bersaglio di Grafite da 500  $\mu\text{m}$



Il range di energie si è mantenuto sotto ai 20 MeV dello spettro neutronico per evitare l'eccessivo pile-up delle tracce osservato a energie più alte.

# GEMpix @ $n_{TOF}$ per la misura dei prodotti di reazione protoni, alpha e ioni per neutroni < 10 MeV (*Bersaglio di Carbonio*)



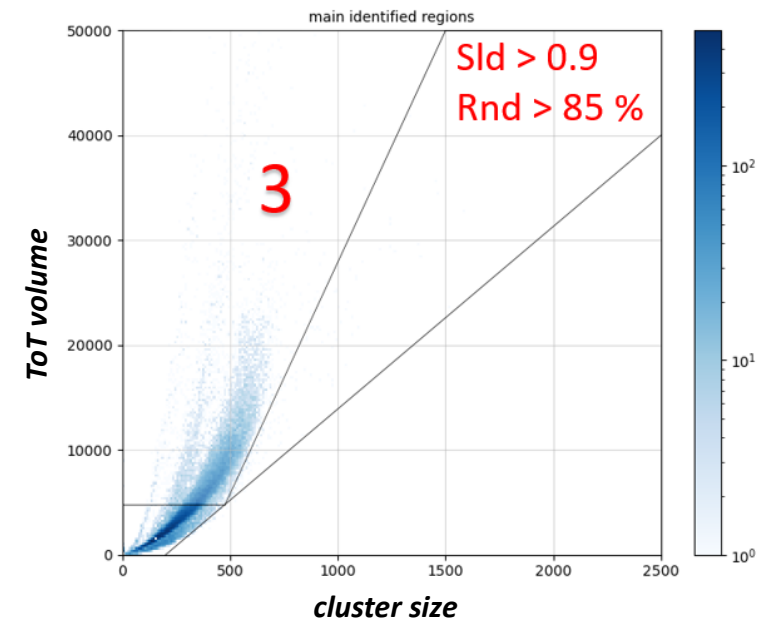
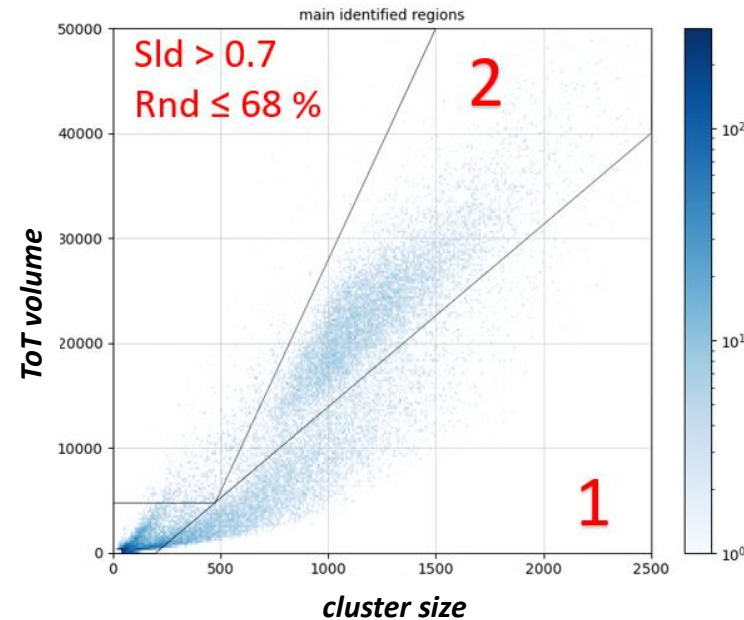
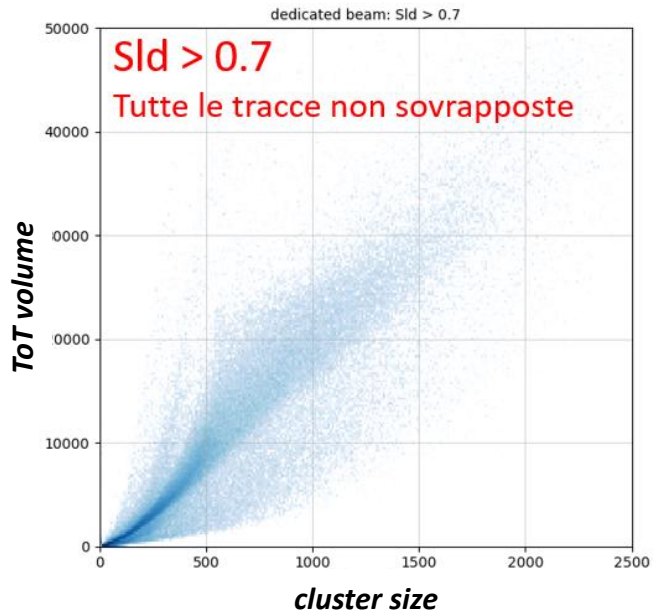
L'analisi di traccia è stata condotta tenendo conto dei seguenti parametri:

**Solidity parameter (Sld):** frazione tra cluster size e convex hull (ovvero il più piccolo insieme convesso che contiene la traccia). In questo modo le tracce sovrapposte possono essere escluse.

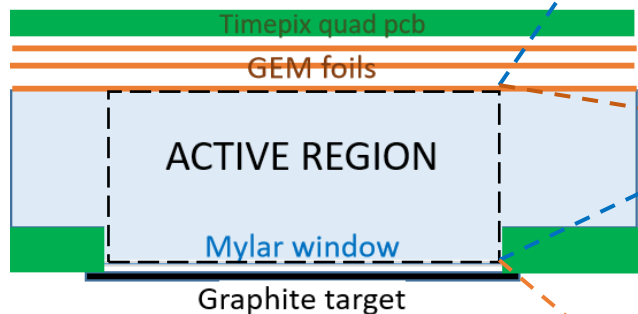
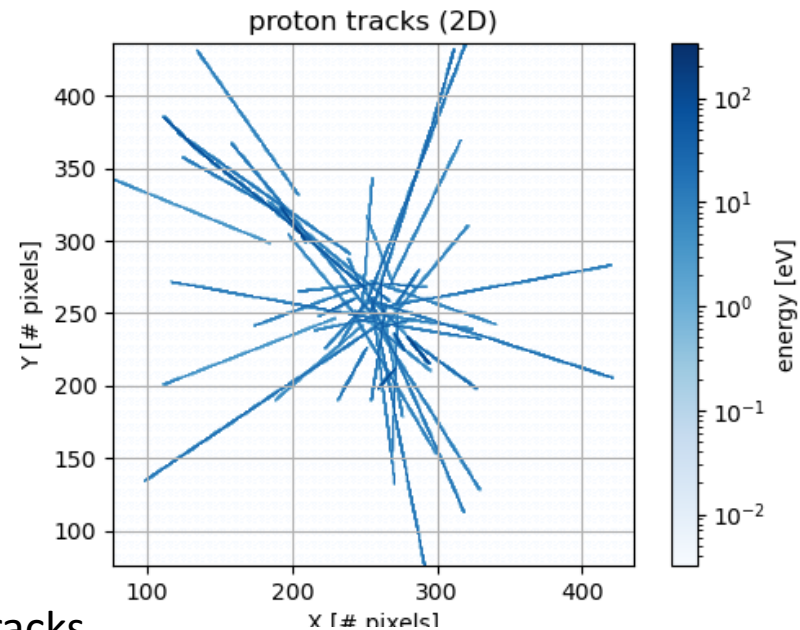
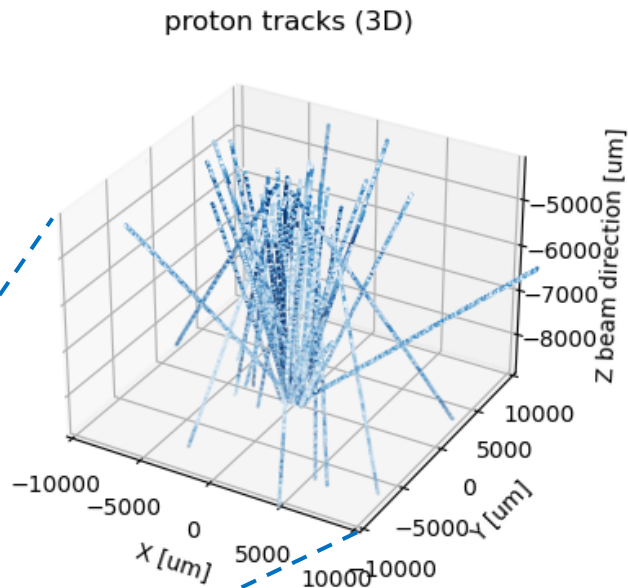
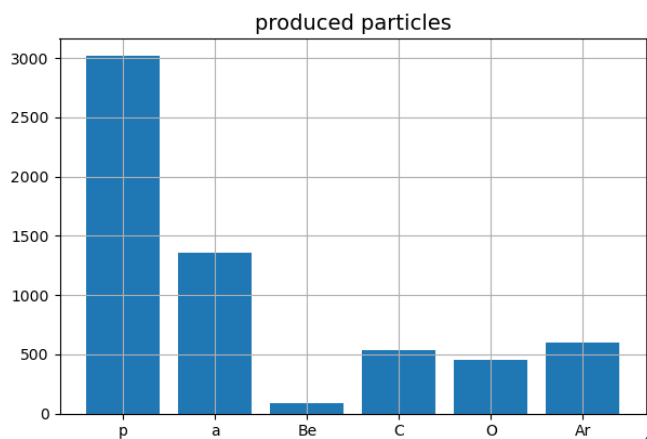
**Cluster Size:** somma dei pixel costituenti il cluster (dimensione del cluster)

**ToTv:** somma dei valori di ToT dei pixel costituenti il cluster (proporzionale alla carica rilasciata nel gas)

**Roundness (Rnd):** frazione tra Cluster Size e l'area della circonferenza di diametro pari alla distanza dei pixel più distanti nel cluster (consente di identificare i cluster di forma più circolare)



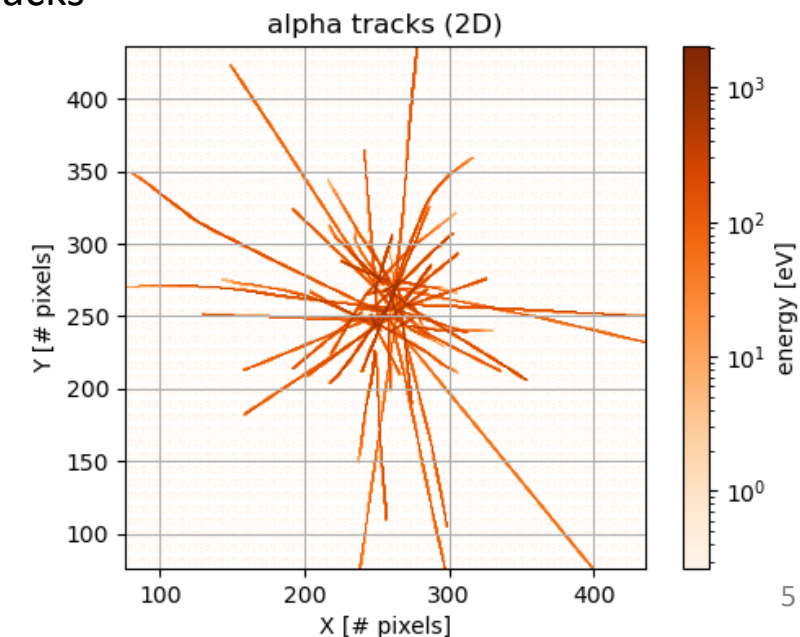
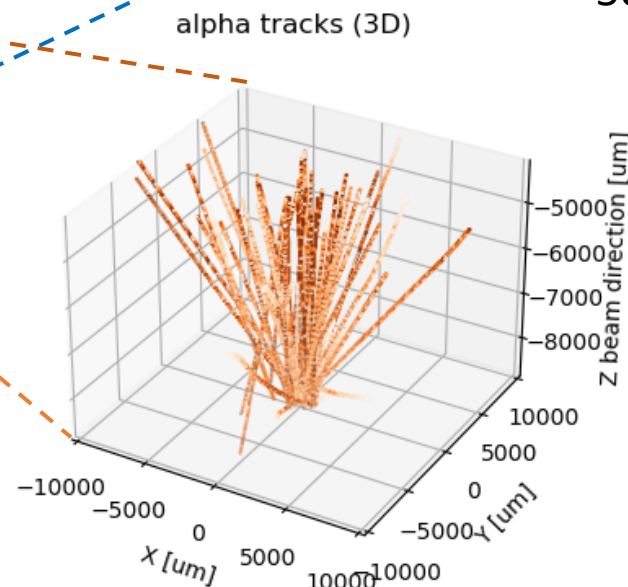
# GEMpix @ $n\_TOF$ : simulazione delle tracce e della carica rilasciata



10 MeV neutrons

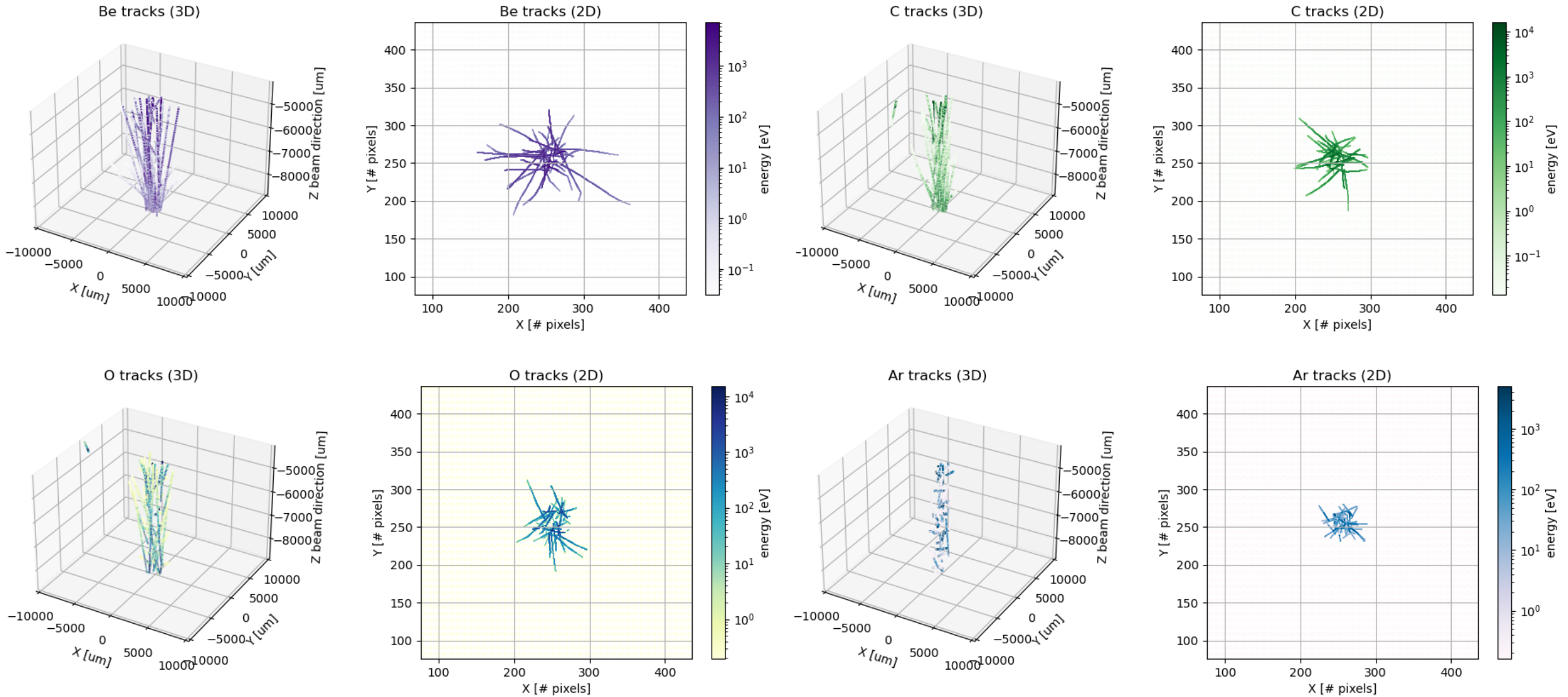
Primari  $5 \times 10^7$

50 tracks





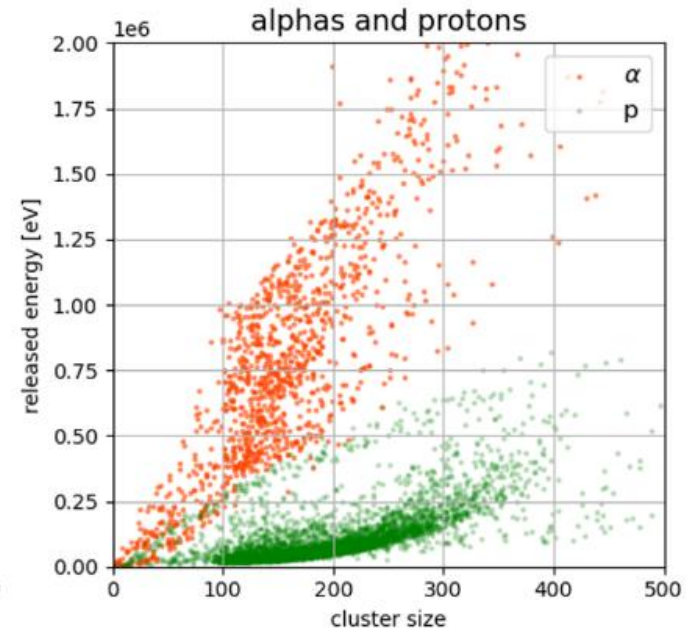
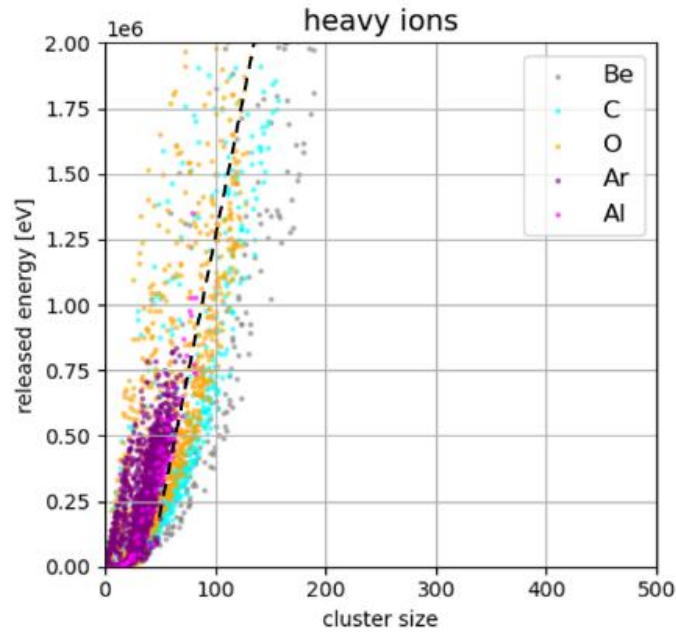
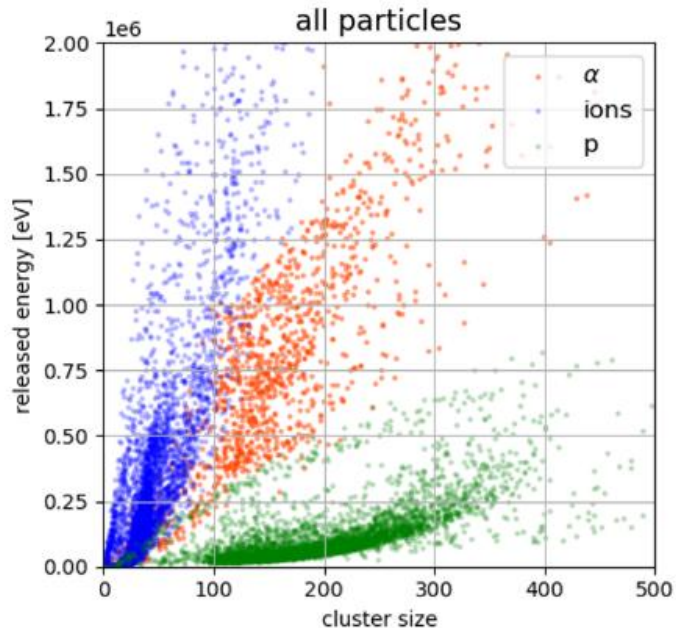
# GEMpix @ $n_{TOF}$ : simulazione delle tracce e della carica rilasciata



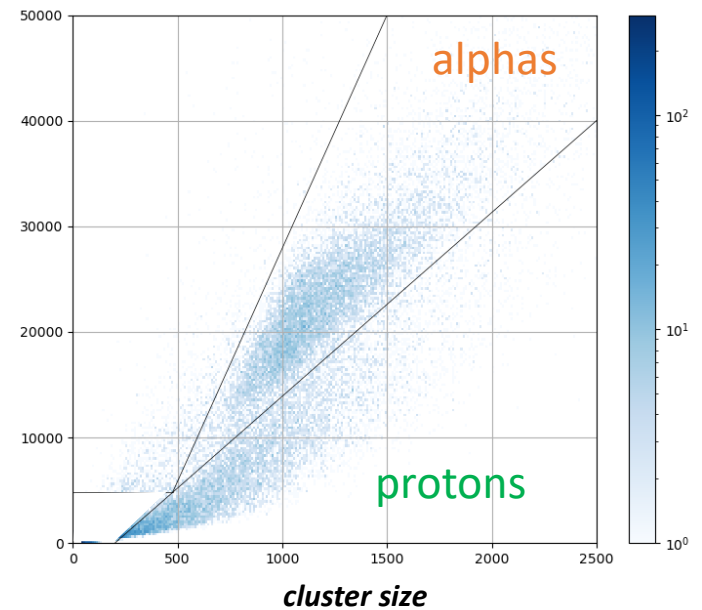
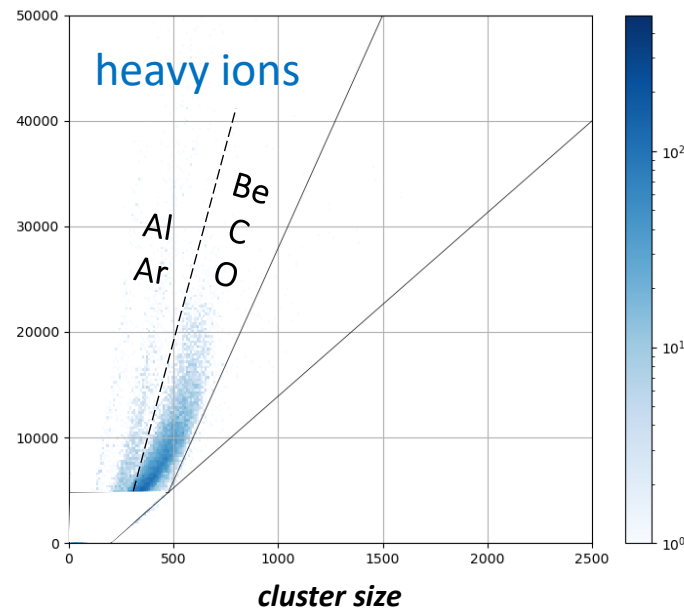
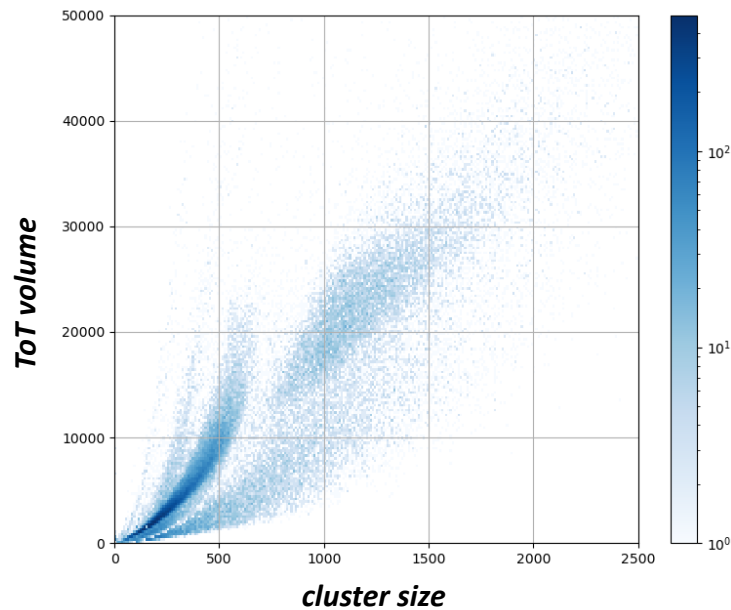
*La risoluzione spaziale delle tracce ricostruite è la stessa del quad TPX1 ( $55 \times 55 \mu\text{m}^2$ )*

*GEMpix @ n\_TOF per la misura dei prodotti di reazione  
protoni, alpha e ioni per neutroni < 10 MeV (Bersaglio di Carbonio)*

Simulazioni MC

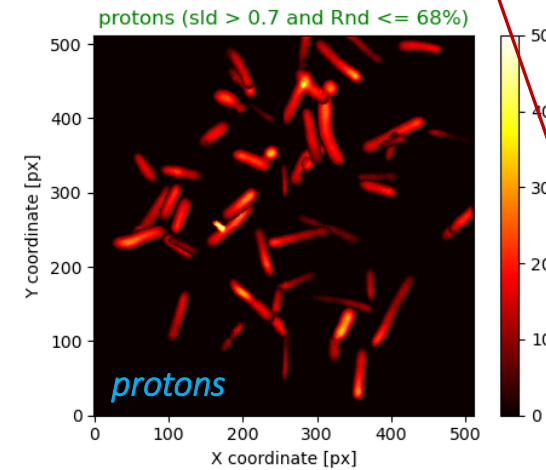
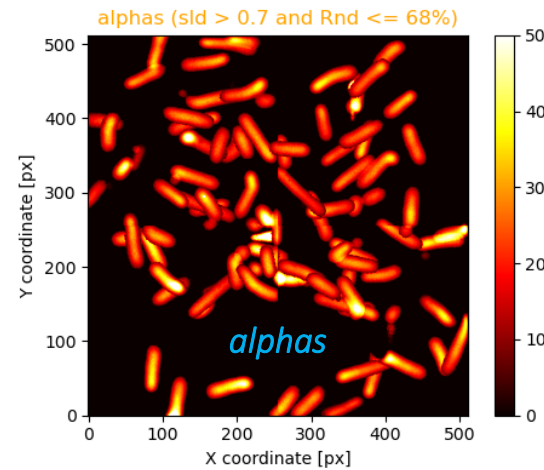
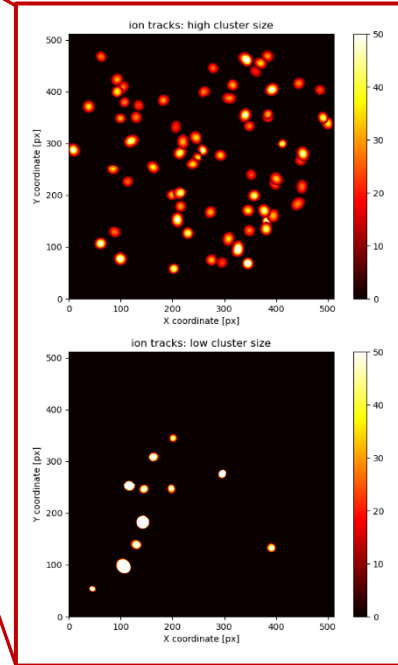
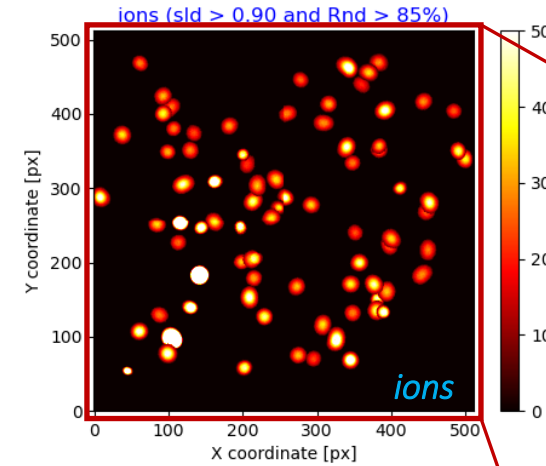
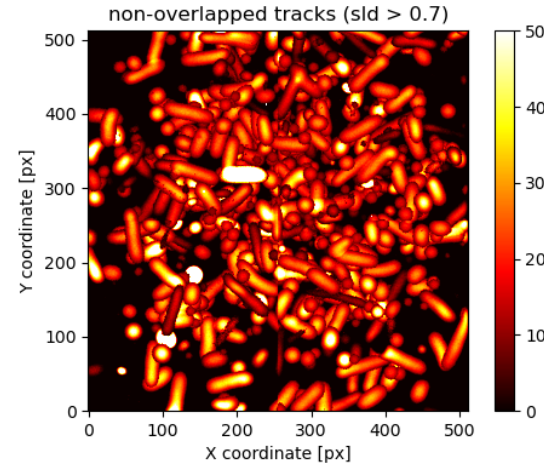
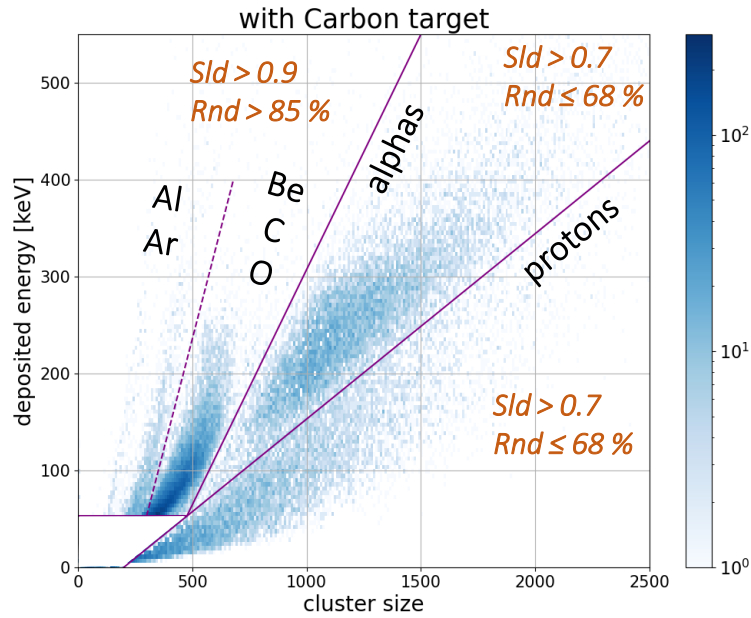


Risultati sperimentali



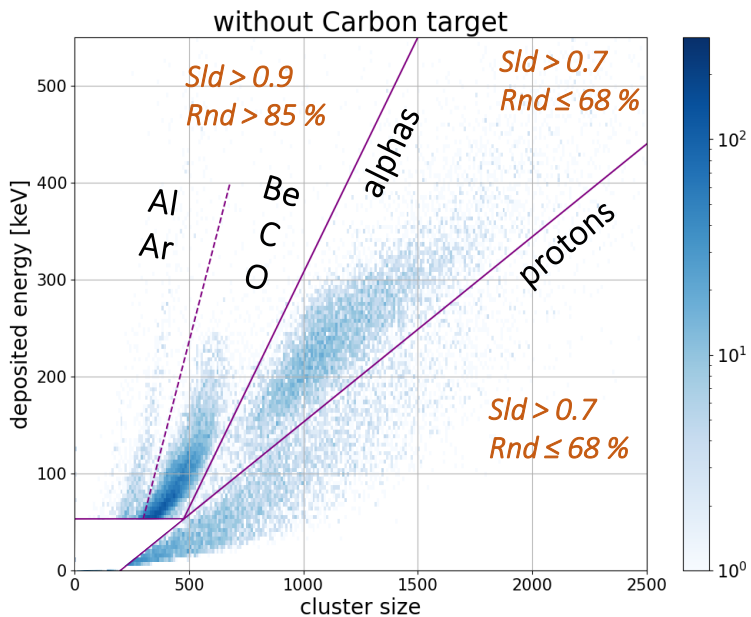
# GEMpix @ n\_TOF per la misura dei prodotti di reazione protoni, alpha e ioni per neutroni < 10 MeV (*Bersaglio di Carbonio*)

con bersaglio di Carbonio



More than one ion population can be distinguished.

senza bersaglio di Carbonio

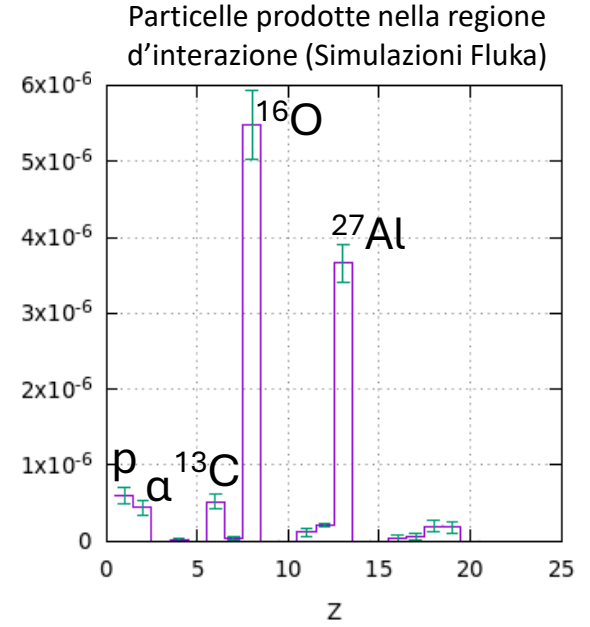
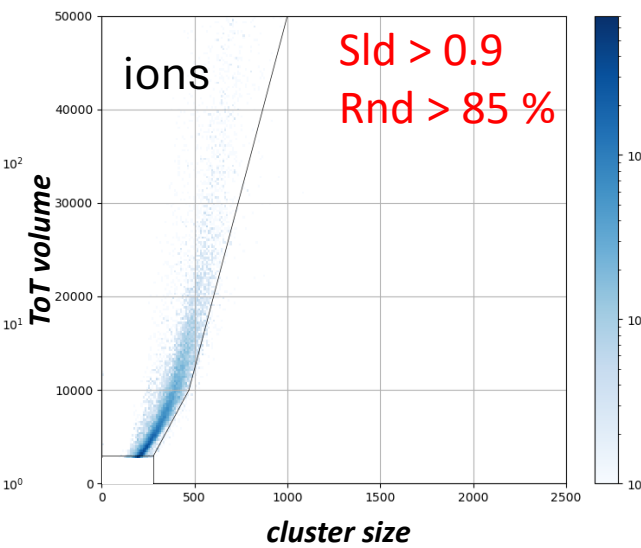
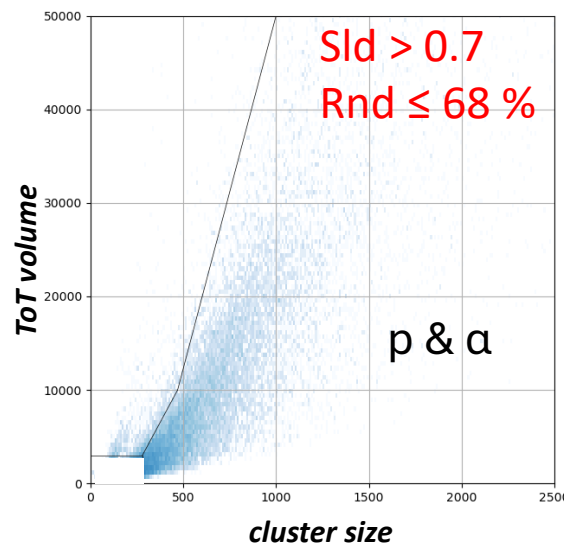
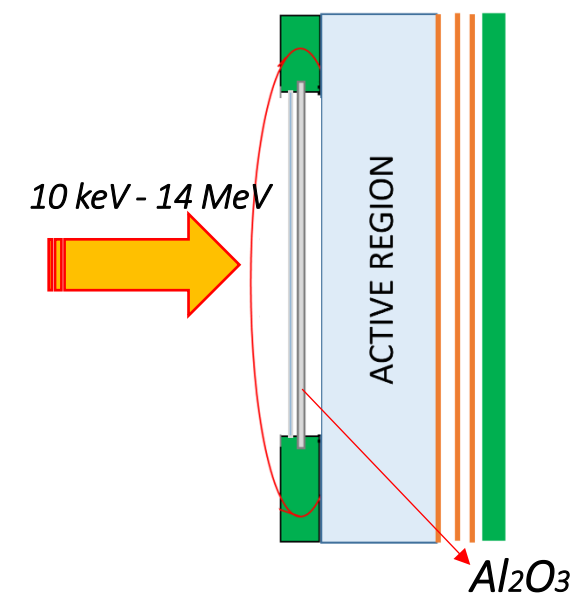
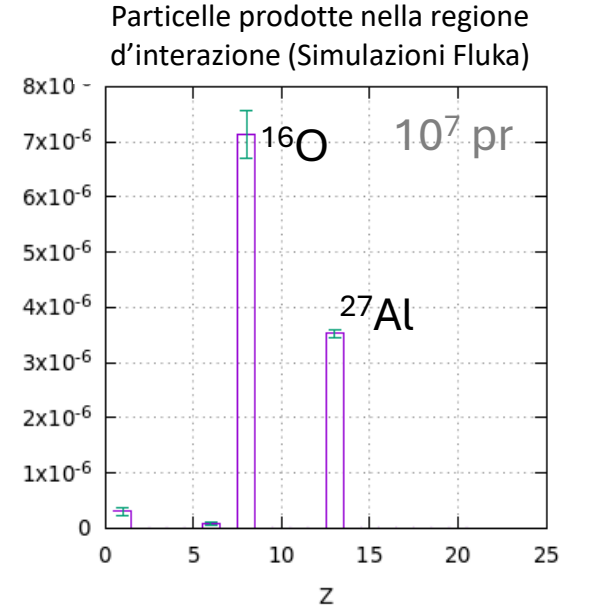
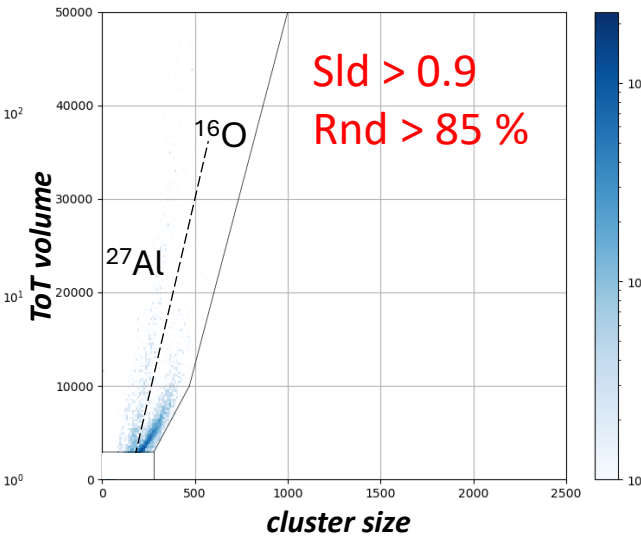
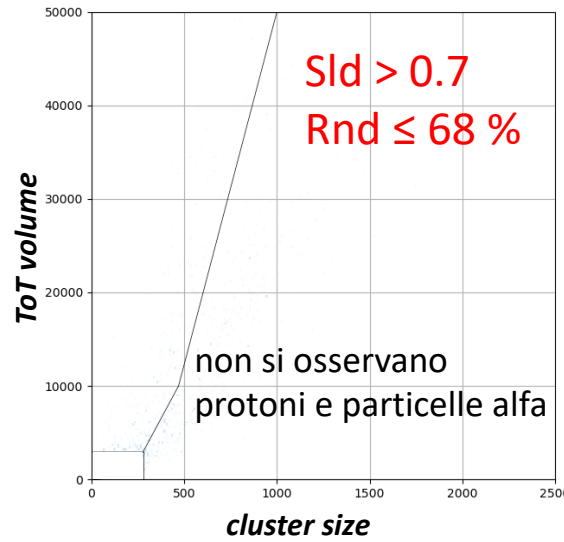
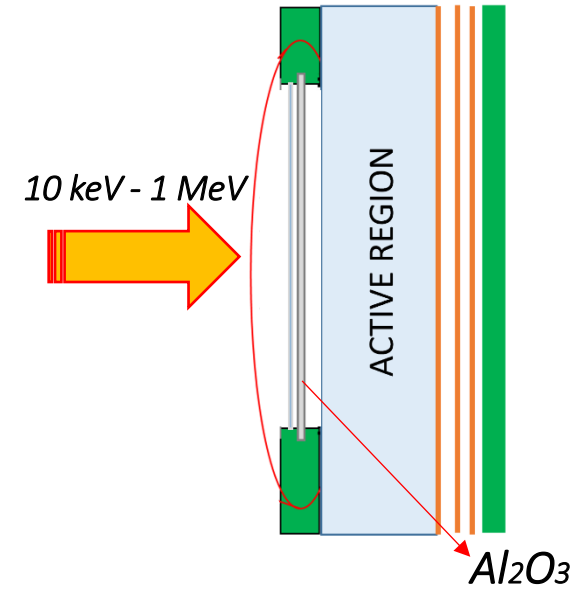


graphite	protons [ $\times 10^3$ ]	alphas [ $\times 10^3$ ]	heavy ions [ $\times 10^3$ ]	Total [ $\times 10^3$ ]
with target	$8.98 \pm 0.09$	$12.2 \pm 0.1$	$14.4 \pm 0.1$	$35.6 \pm 0.2$
without target	$8.52 \pm 0.09$	$11.2 \pm 0.1$	$13.3 \pm 0.1$	$33.0 \pm 0.2$

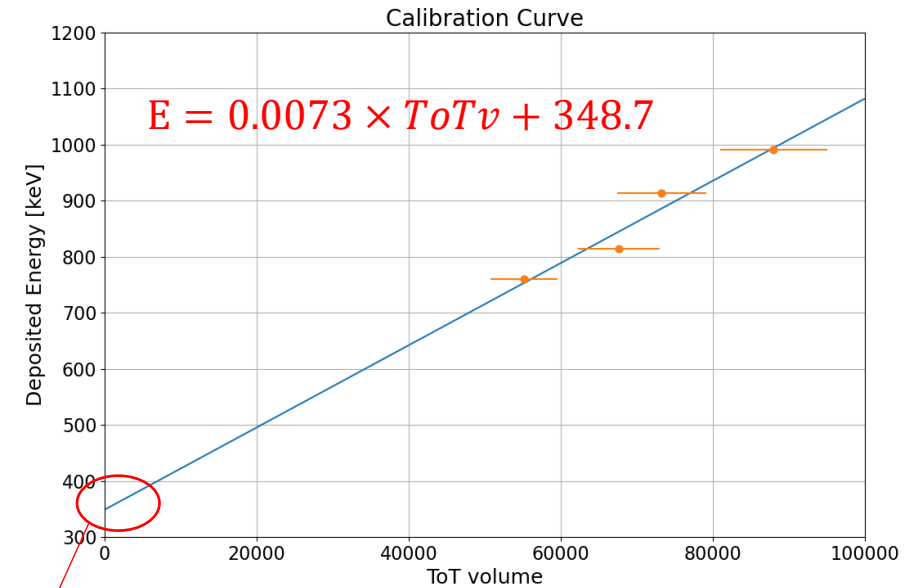
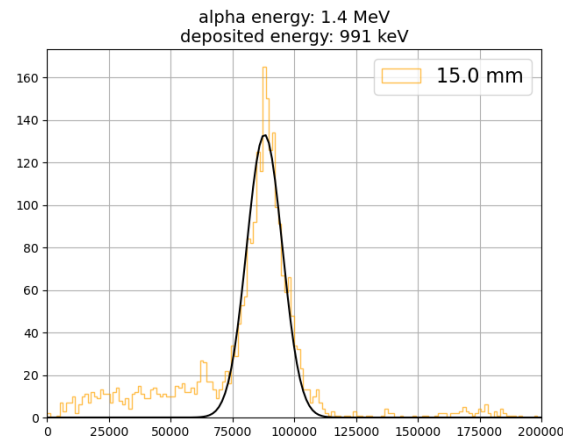
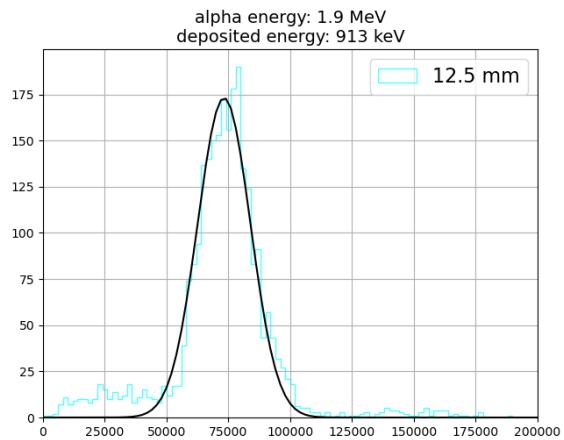
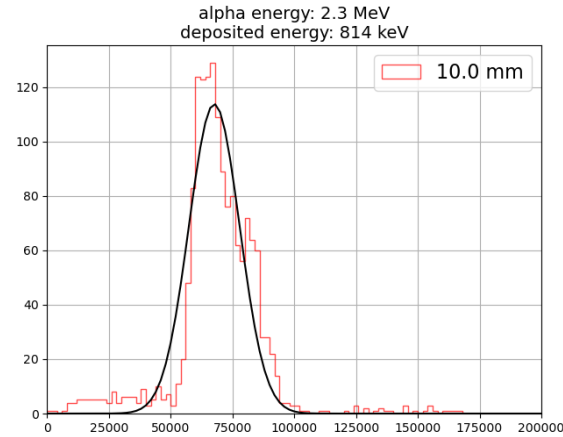
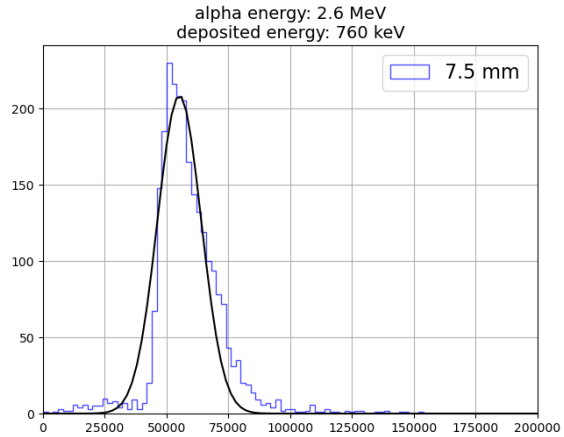
Con il target di carbonio, il **numero di particelle stimate** aumenta di circa **8%** rispetto al background e l'energia minima stimata raggiunge valori inferiori a **0.1 MeV**.



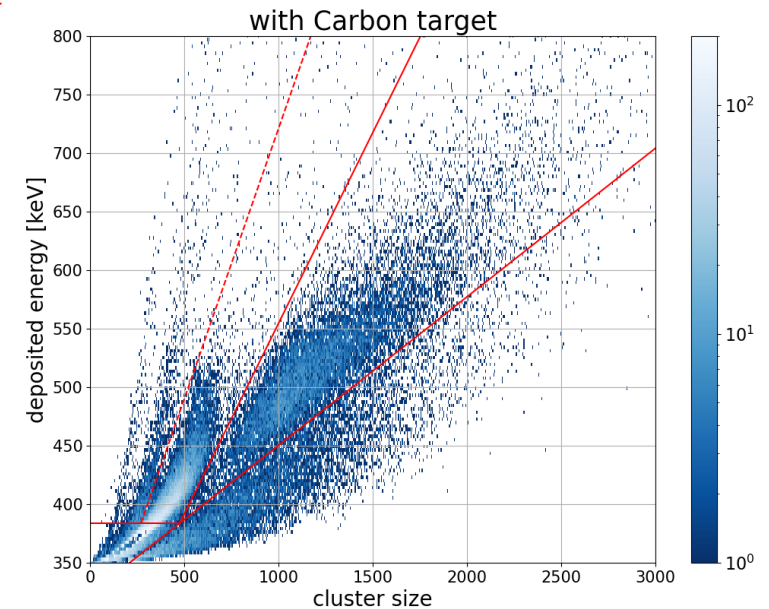
# GEMpix @ n\_TOF per la misura dei prodotti di reazione bersaglio di Allumina ( $Al_2O_3$ )



# GEMpix: calibrazione in carica con sorgente di $^{210}\text{Po}$



$\sim 350 \text{ keV}$

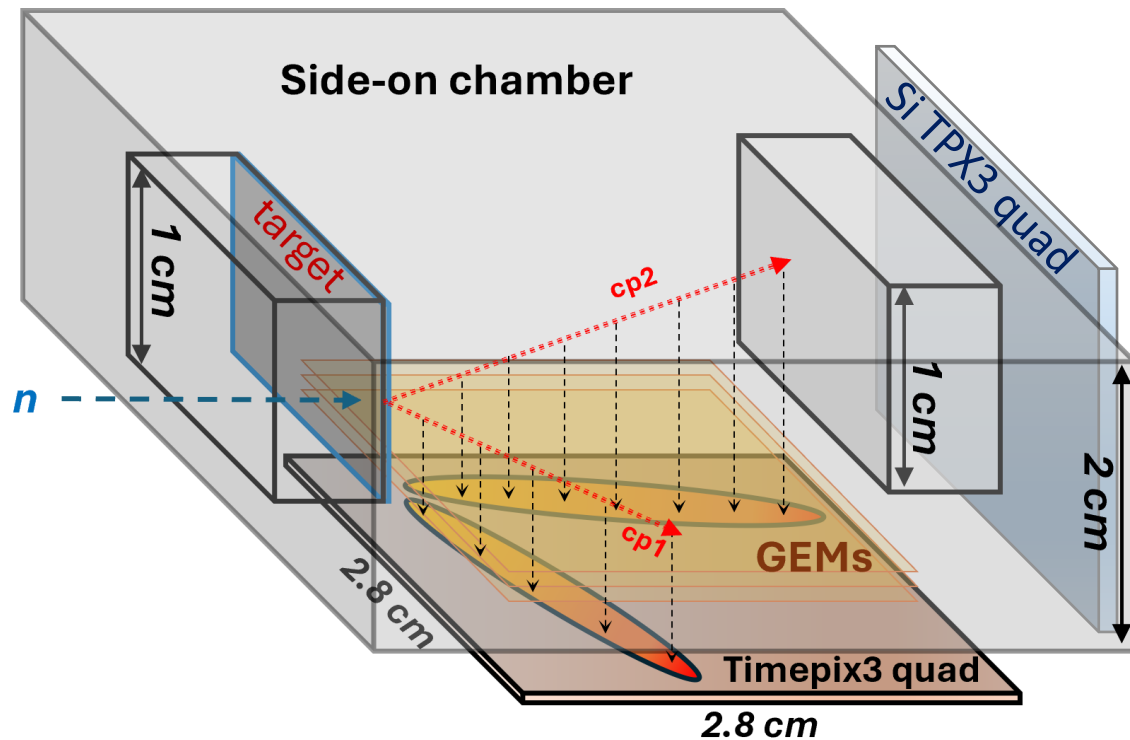


La calibrazione effettuata tramite sorgente di  $^{210}\text{Po}$  posizionata a varie distanze in aria e simulando l'energia depositata dalle alfa nella regione attiva.

La retta di calibrazione ottenuta mostra un minimo di energie misurabili a 350 keV, valore più alto di quello ottenuto dal confronto con le simulazioni.

Le simulazione andranno riviste applicando un taglio sulla minima energia misurabile.

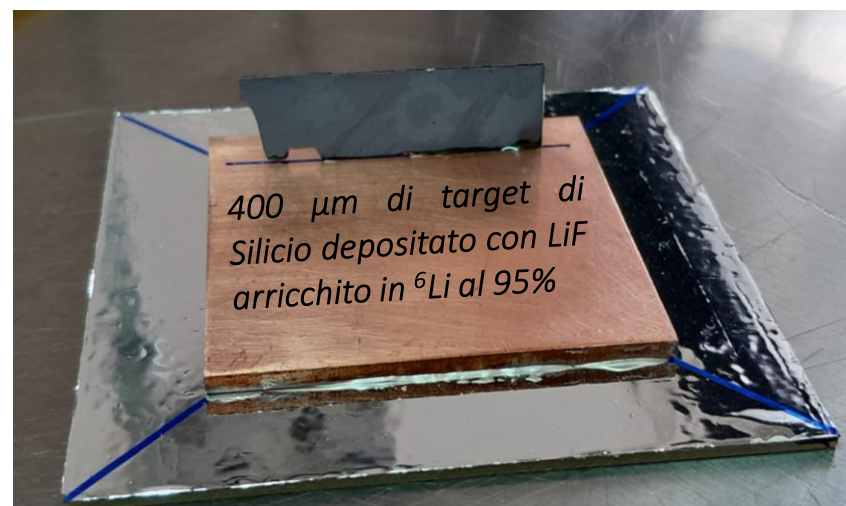
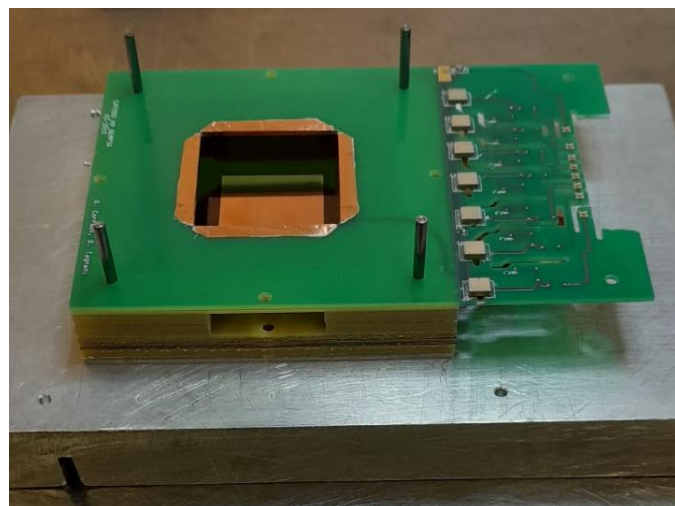
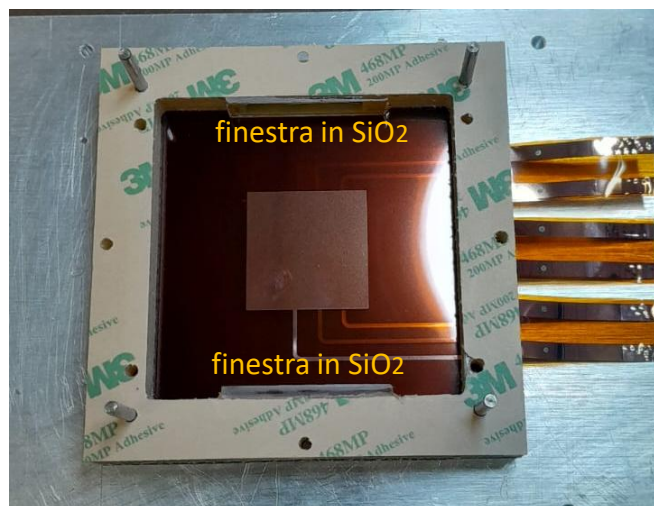
## Stato realizzazione del sistema telescopico con GEMpix side-on e quad Timepix3



Al momento si dispone di un QUAD Timepix3 al Silicio spesso  $500\ \mu\text{m}$  che è stato recentemente testato in EAR2.

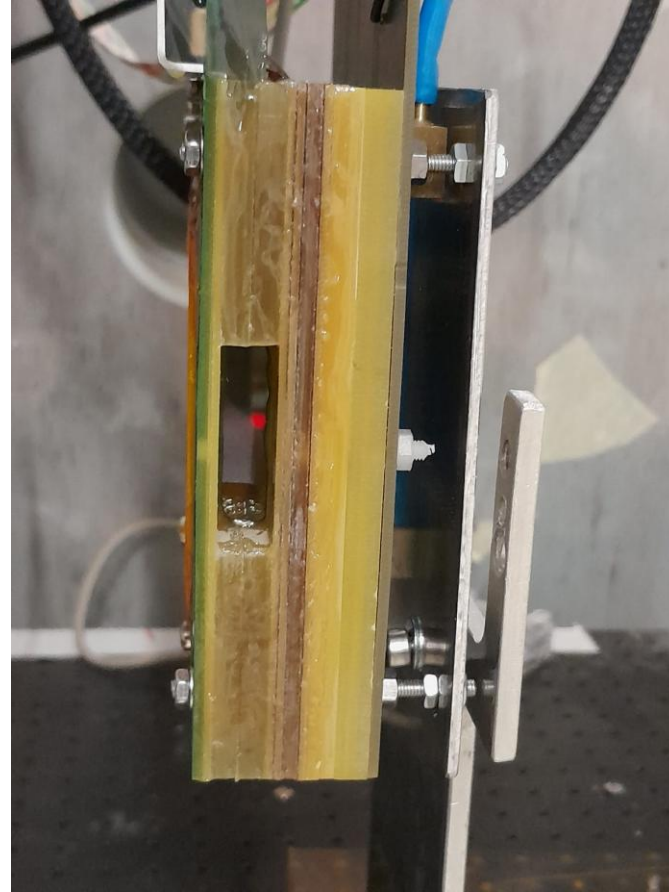
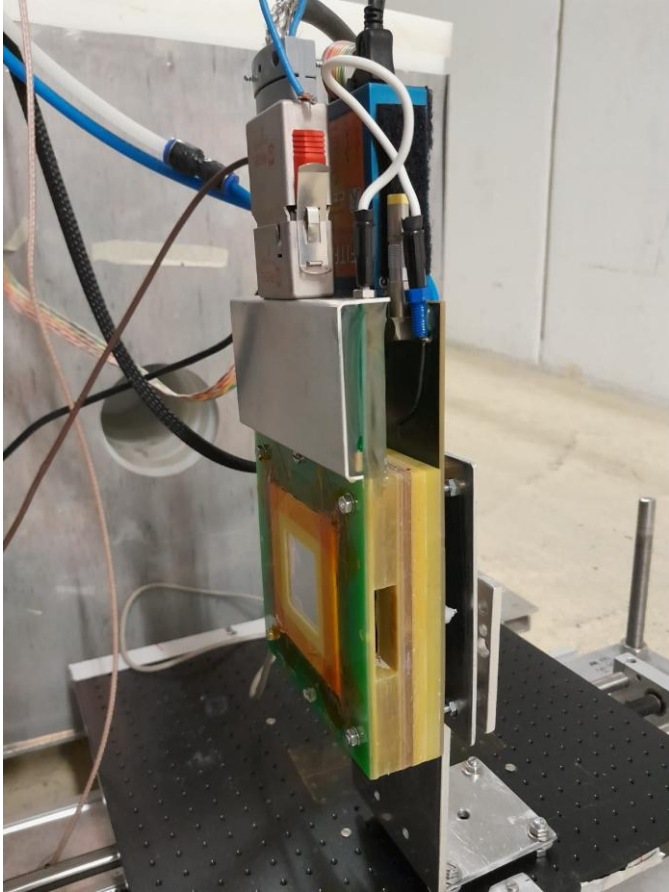
La scheda con QUAD TPX3 senza silicio per la lettura della camera GEMpix side-on è in fase di progettazione.

Nel frattempo si è realizzata una camera GEMpix side-on di prova con lettura TPX1.





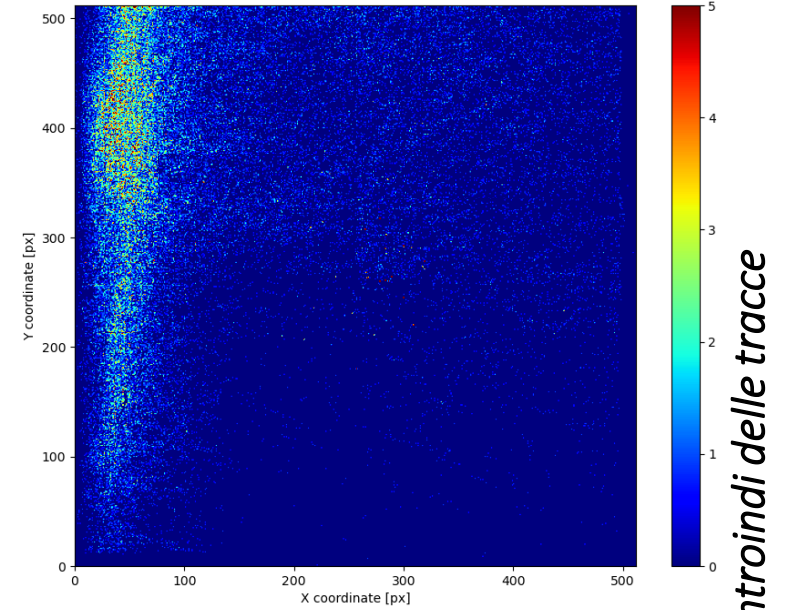
## Misure col GEMpix side-on nella DUMP AREA (3 – 11 Novembre 2024)



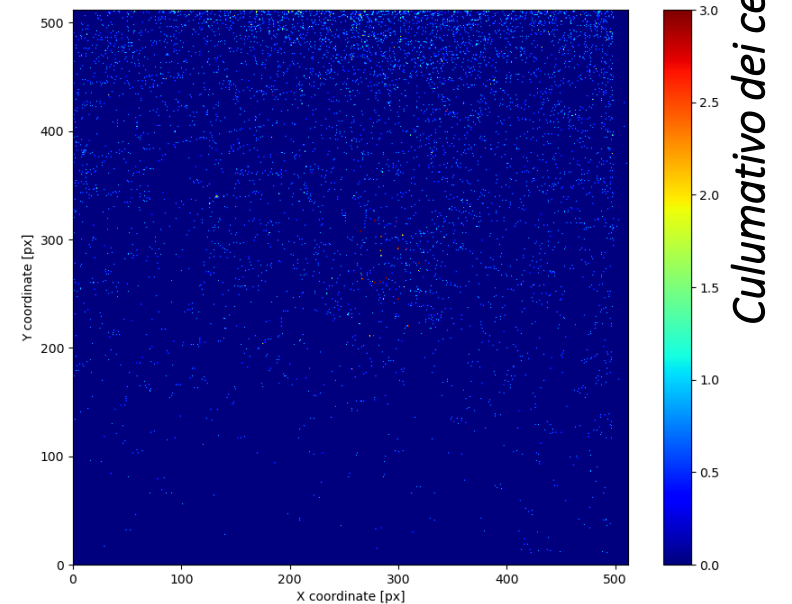
*Nonostante il detector abbia funzionato col campo residuo della prima GEM, si potuto verificare l'effetto della presenza del target rispetto al fondo.*

*I dati presi andranno valutati attentamente viste le condizioni operative insolite legate probabilmente alla tensione del drift.*

*con bersaglio di LiF*



*senza bersaglio di LiF*

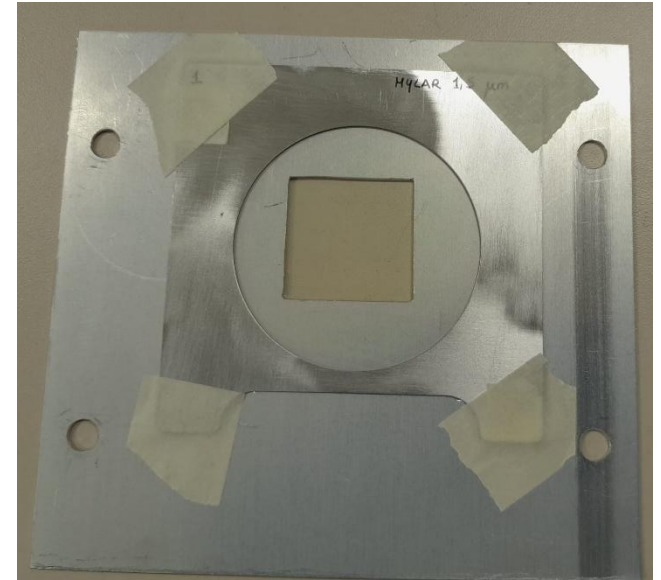
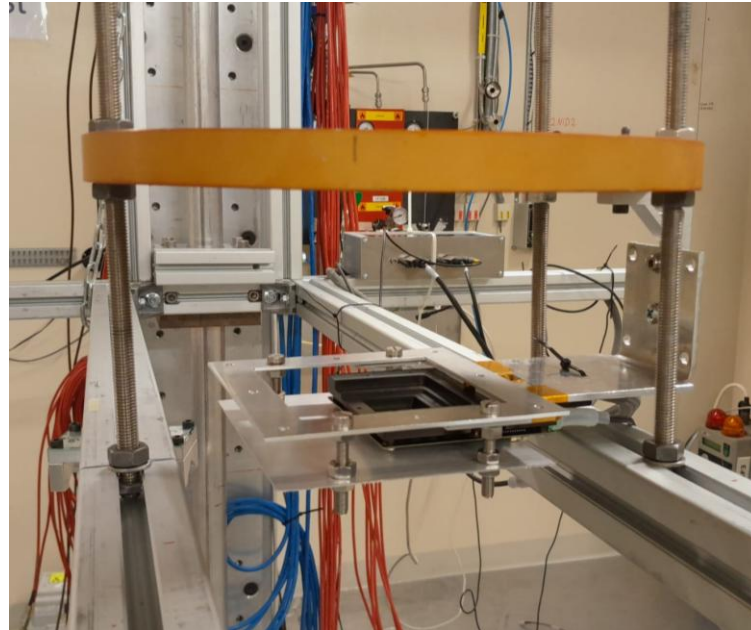




## Primi risultati col QUAD TPX3 in EAR2 (31 Ottobre – 11 Novembre 2024)



Il QUAD è stato posizionato a circa 3 m dal pavimento dopo il rivelatore anulare in EAR2.

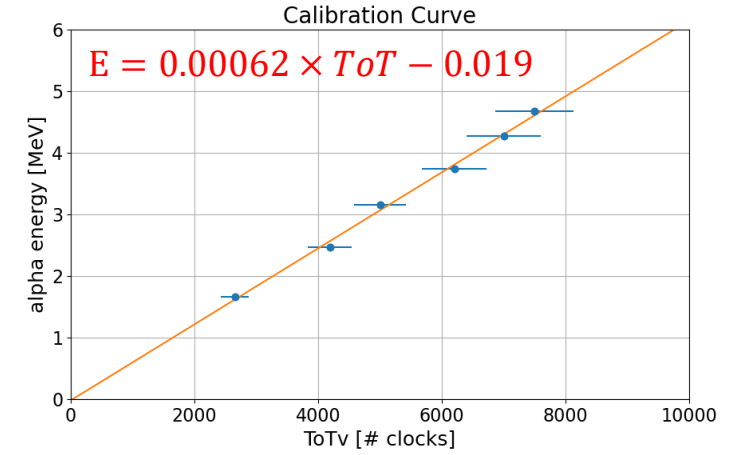
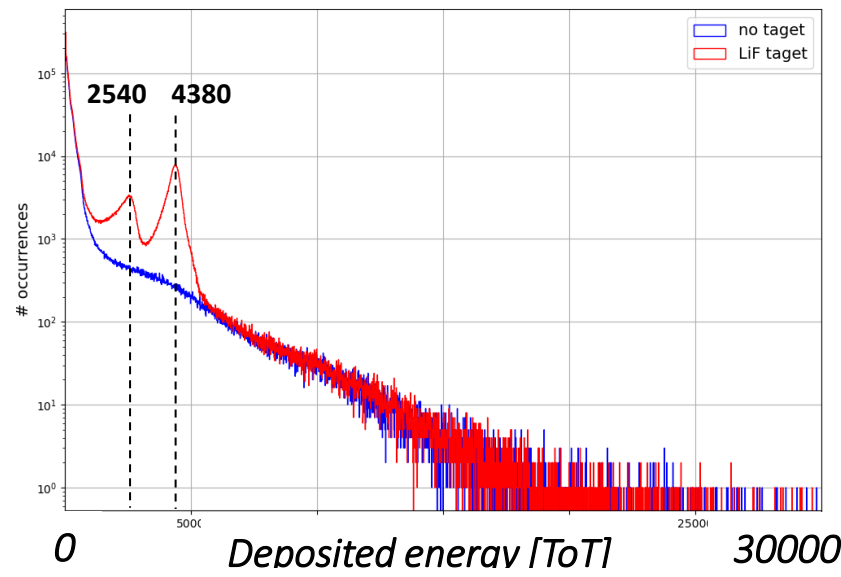
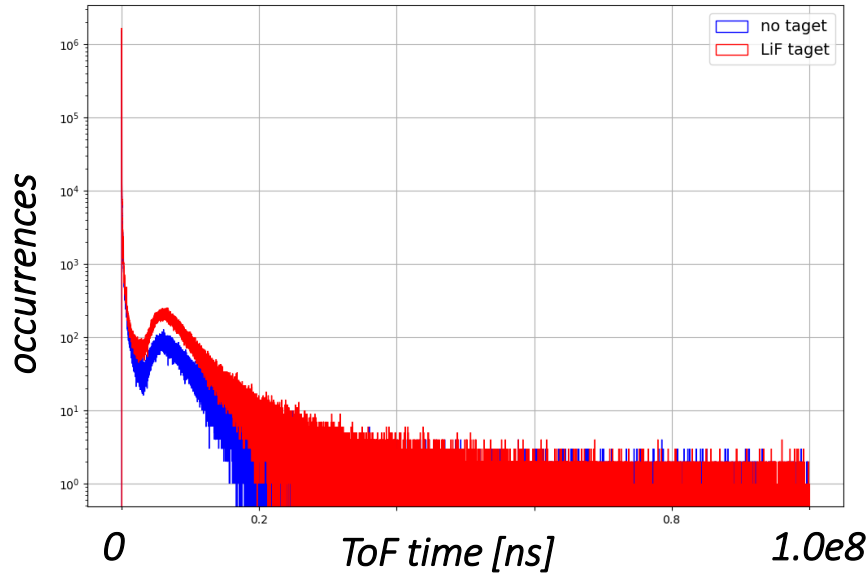


Il test è stato effettuato utilizzando campioni di mylar ( $1.6 \mu\text{m}$ ) depositati con LiF arricchito al 95% di  ${}^6\text{Li}$  ( $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) spesso  $400 \text{ nm}$ .

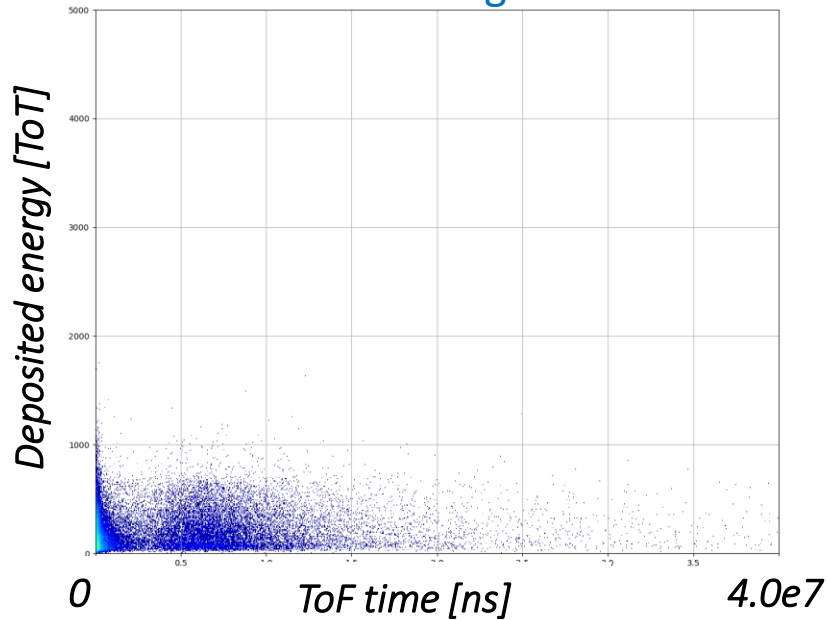
Il corretto funzionamento del QUAD si è ottenuto applicando un delay hardware di  $2.5 \mu\text{s}$  rispetto al gamma flash e decentrando il detector rispetto al fascio.

# Primi risultati col QUAD TPX3 in EAR2 (31 Ottobre – 11 Novembre 2024)

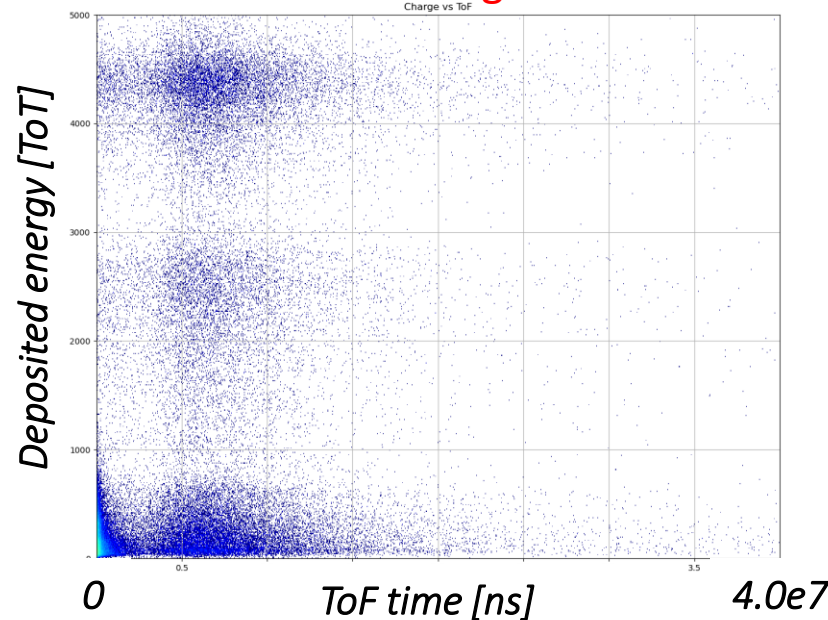
## 4000 Triggers, campione di LiF su tutta la superficie



senza LiF target



con LiF target



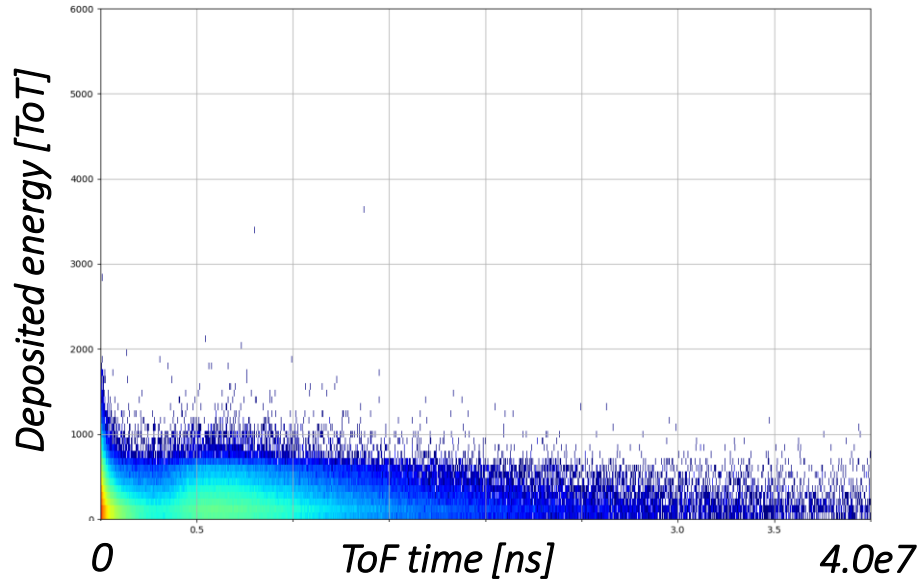
Si evidenzia chiaramente la presenza dei contributi di alfa e tritoni dovuti al LiF

In più, applicando la retta di calibrations, i valore delle energie stimate in corrispondenza dei picchi risultano sono circa 1.5 e 2.7 MeV, compatibili con le energie dei prodotti del  ${}^6\text{Li}$ .

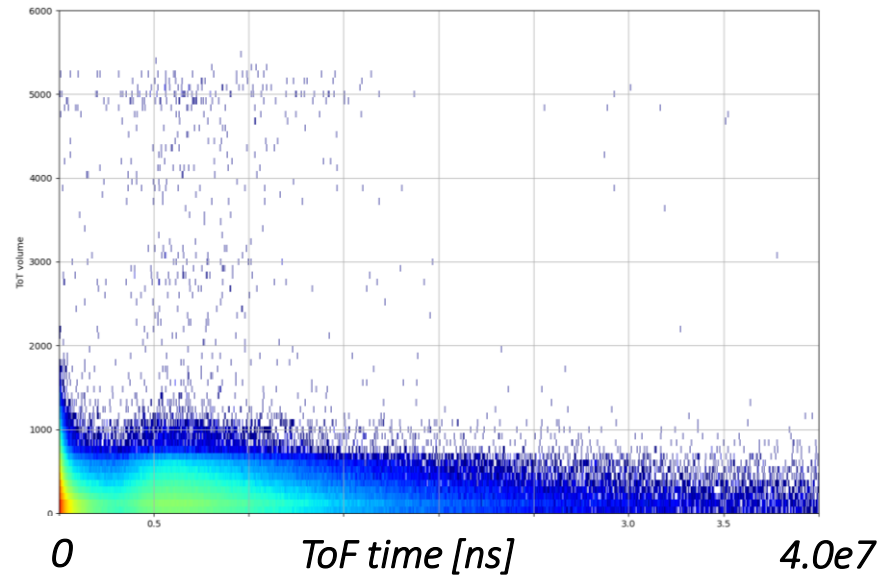
# Primi risultati col QUAD TPX3 in EAR2 (31 Ottobre – 11 Novembre 2024)

7000 Triggers, campione di LiF su area circolare da 3 mm

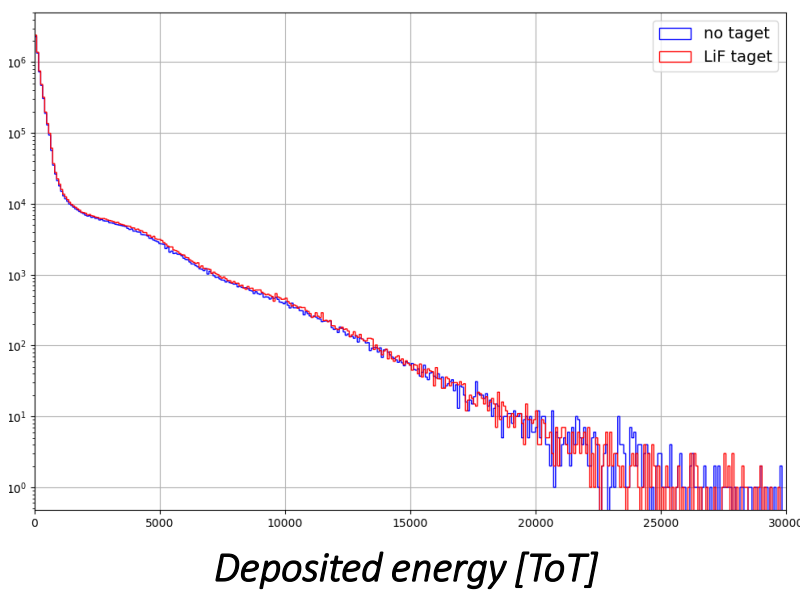
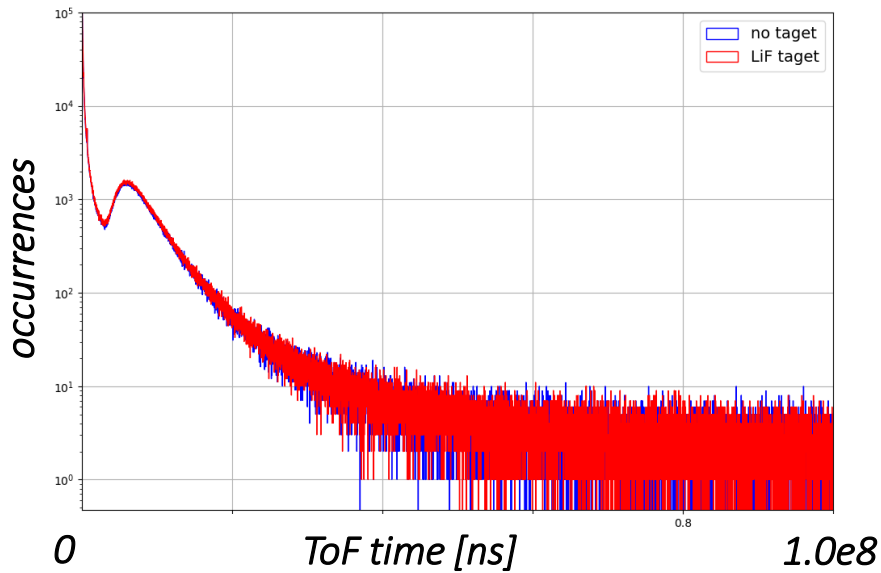
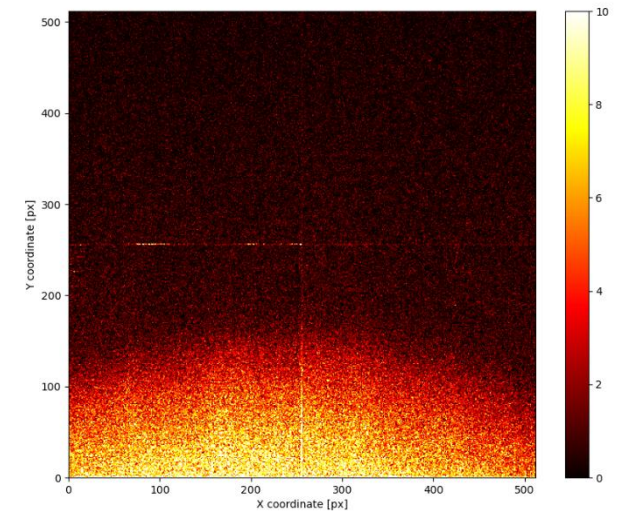
senza LiF target



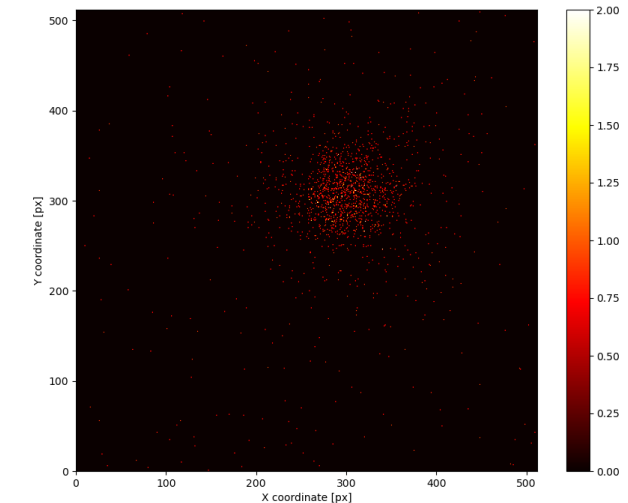
con LiF target



Cumulativo centroidi tracce

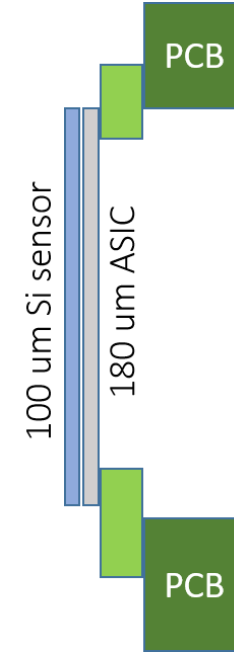
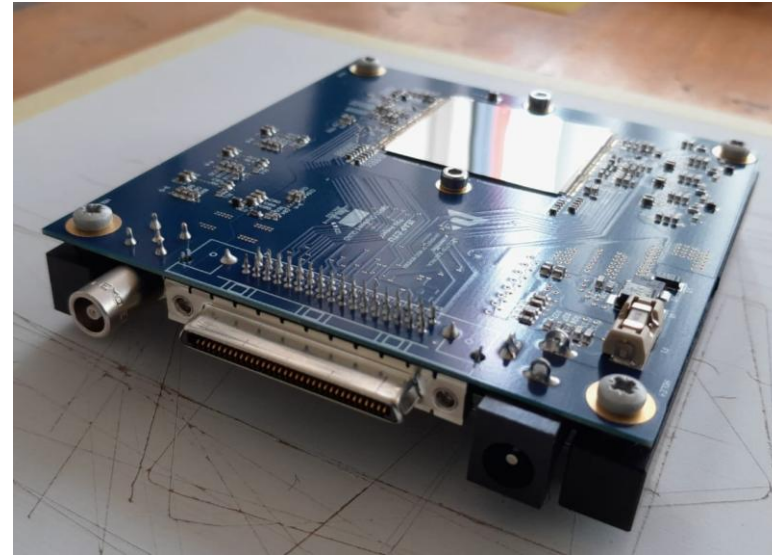
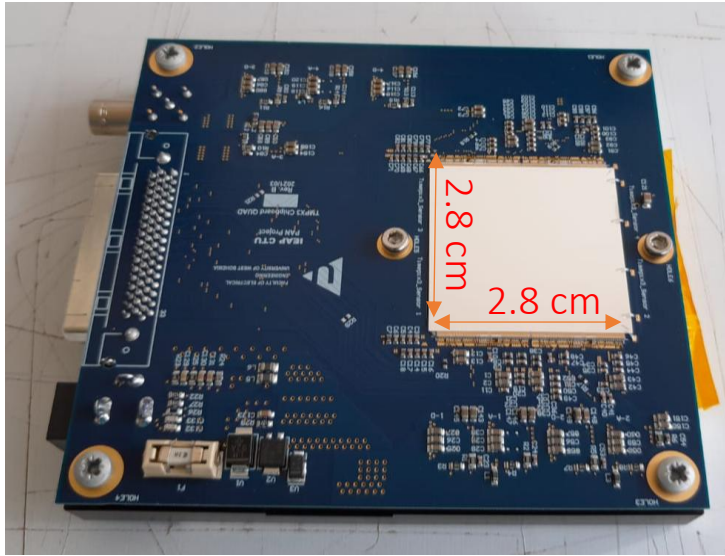


Cumulativo centroidi tracce

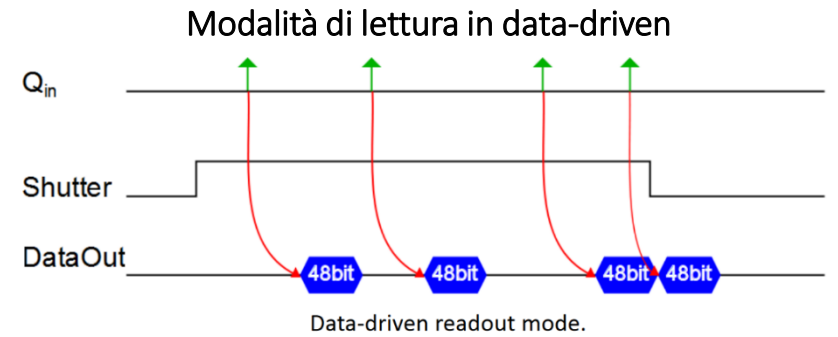
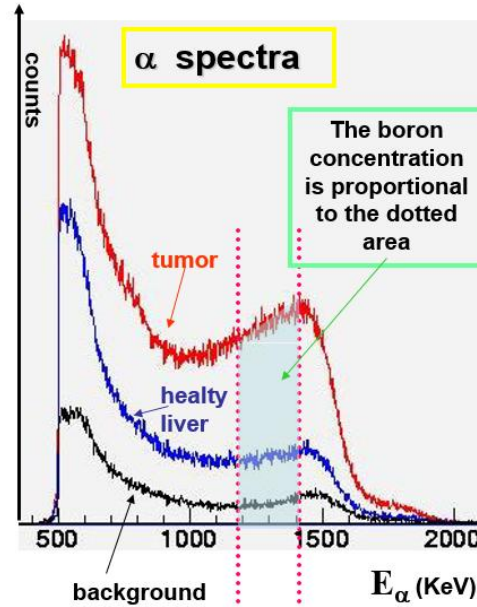
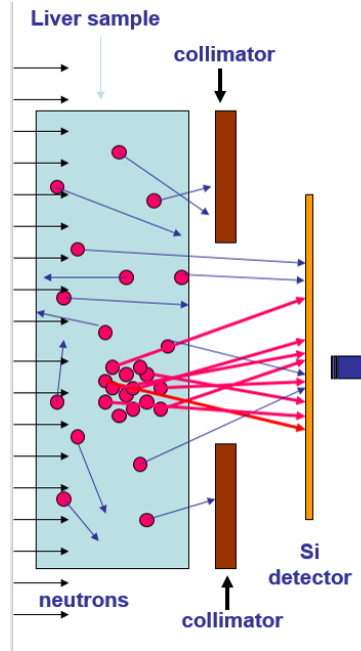




# QUAD TIMEPIX3 CON SILICIO DA 100 $\mu\text{m}$ per misure di concentrazione di Boro su tessuti per BNCT



Al momento si dispone di un QUAD Timepix3 con Si da 100  $\mu\text{m}$ , il quad è stato montato su una scheda "forata" per cui si riduce l'effetto del background proveniente dal PCB

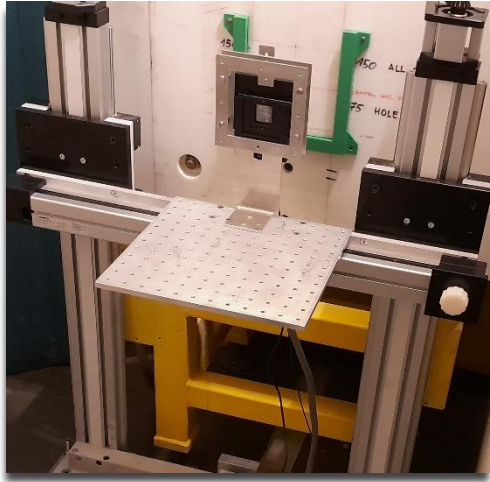


Il Timepix3 può acquisire *simultaneamente* in:

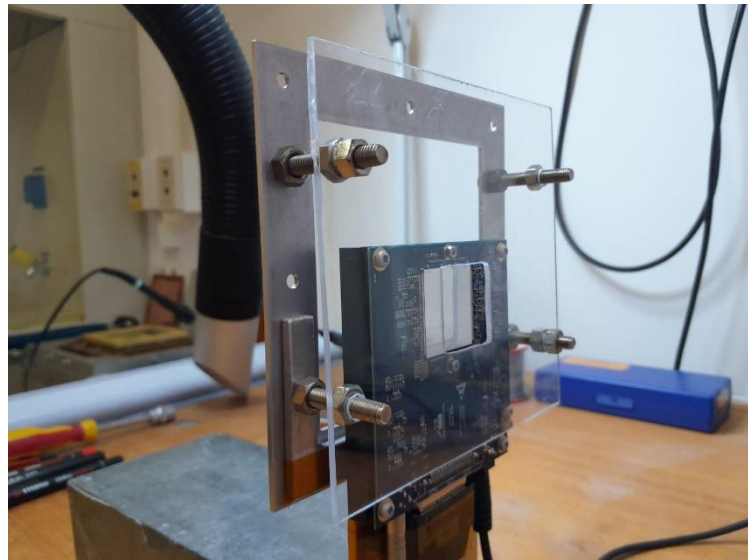
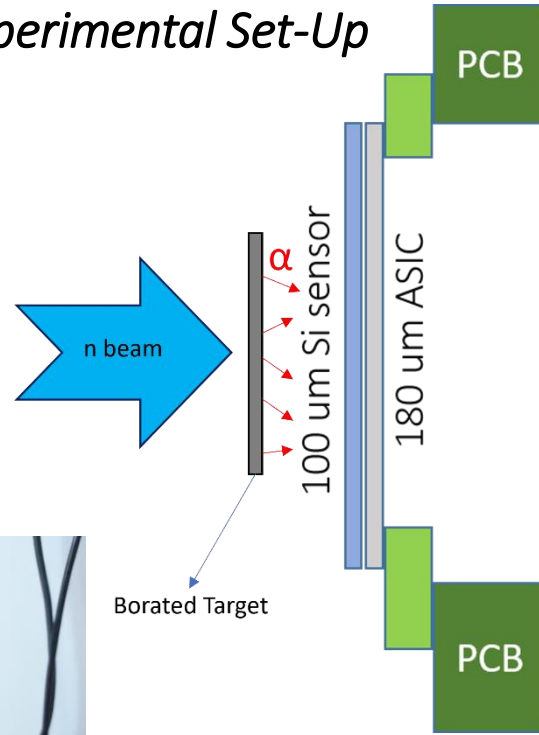
- ✓ Counting (medipix mode)
- ✓ Carica (Time over Threshold mode)
- ✓ Tempo (Time of Arrival mode), risoluzione 1.6 ns



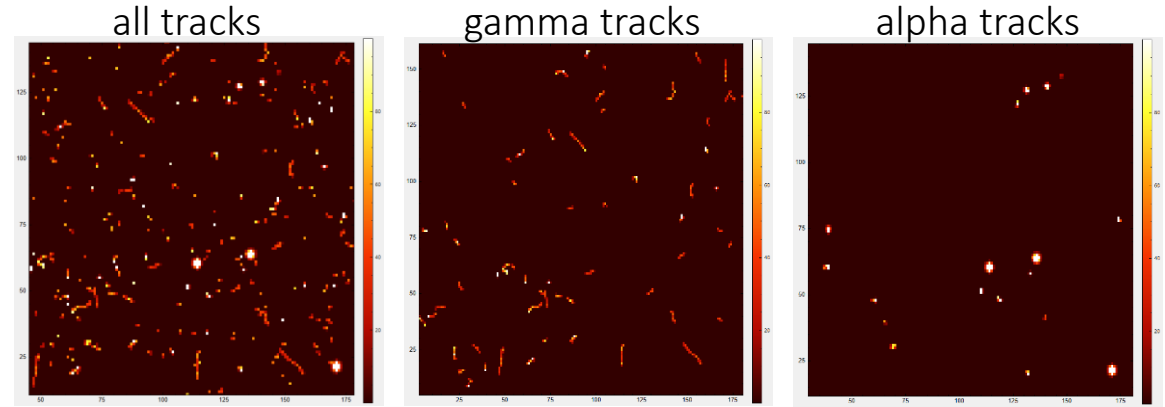
# QUAD TIMEPIX3 CON SILICIO DA 100 $\mu\text{m}$ per misure di concentrazione di Boro su tessuti per BNCT



Experimental Set-Up



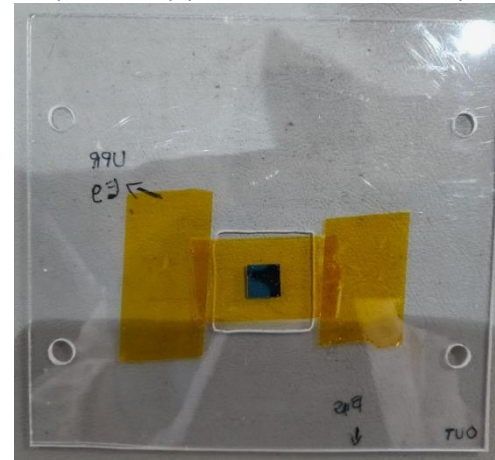
NIST SAMPLE  
( $10^{15}$  atoms/cm<sup>2</sup>)



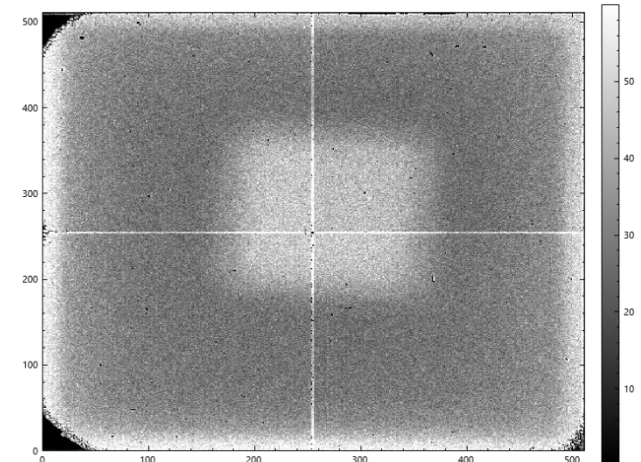
Analisi di traccia e imaging

Applicando un taglio sui parametri morfologici e sulla carica, è possibile identificare le tracce da particelle alfa. Selezionando le particelle alfa con energia minore di circa 0.8 MeV, è stato possibile realizzare una immagine del campione certificato NIST, plottando il cumulative dei centroidi delle tracce così selezionate

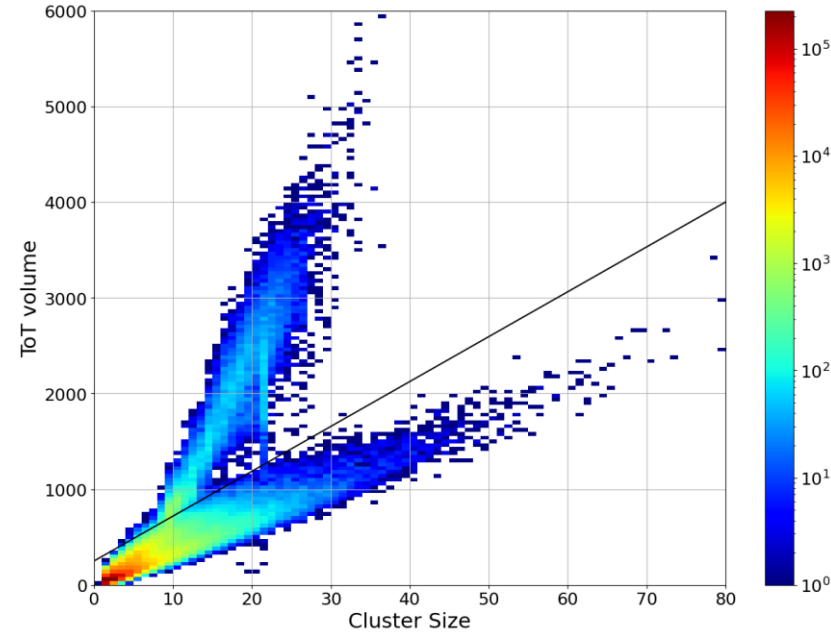
Kapton support with nist samples



n beam with nist sample

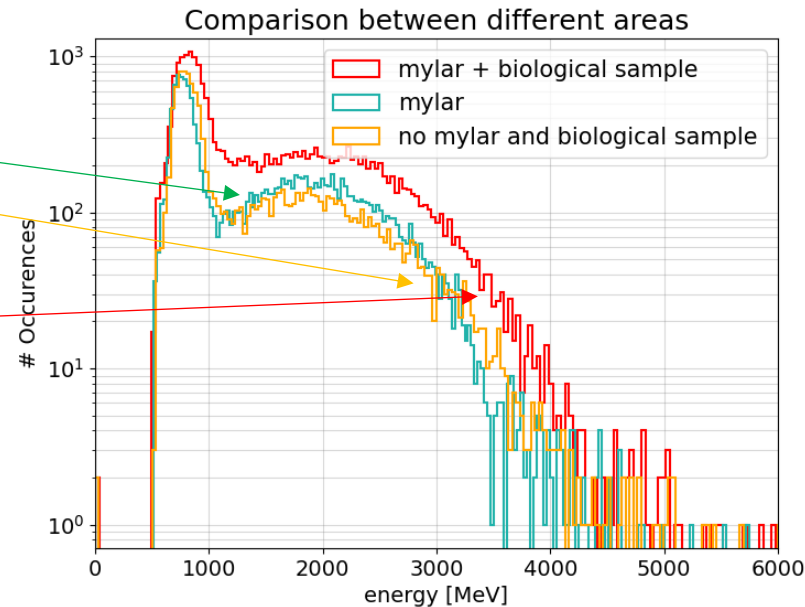
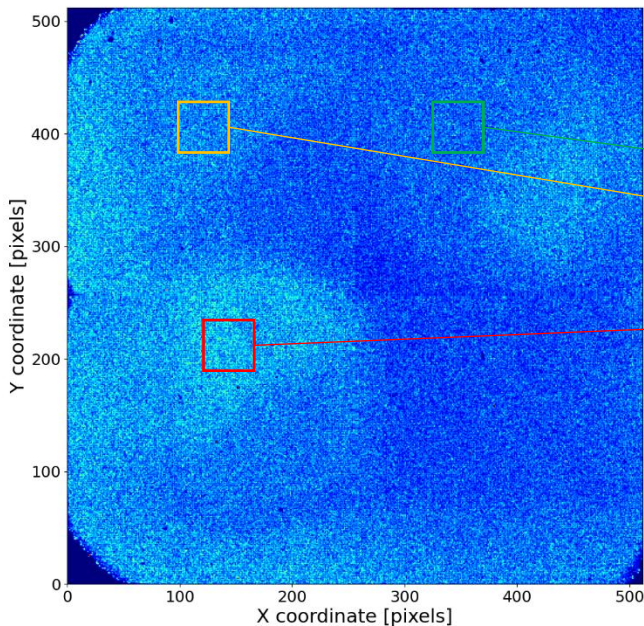


# QUAD TPX3 CON SILICIO DA 100 $\mu\text{m}$ per misure di concentrazione di Boro su tessuti per BNCT (Aprile 2024)



Selezionando le tracce con  $CS > 5$ , è stato possibile individuare nel piano ToT vs CS un semipiano dove si osserva chiaramente il contributo di protoni, alfa e ioni dal background dovuto soprattutto ai gamma.

L'immagine dei centroidi delle particelle del semipiano "campioni" evidenzia la presenza delle zone ricoperte dai campioni biologici (tessuti di fegato) spessi da 60 a 100  $\mu\text{m}$  e aventi una concentrazione di  $^{10}\text{B}$  di 50 ppm.



Il confronto delle distribuzioni di energia rilasciata (in ToT) su 3 diverse aree mostra il contributo dovuto alla presenza del campione. La differenza rispetto all'area col mylar fornisce una misura della concentrazione.

## *Attività previste per il 2025*

- ✓ Le misure effettuate col GEMpix head-on del 2023 verranno validate con ulteriori simulazioni in seguito alle calibrazioni effettuate in laboratorio. Questo permetterà di fornire valori più accurate soprattutto nella misura dell'energia e ottimizzare il modello utilizzato per le misure sui prodotti carichi.
- ✓ Al fine di validare correttamente il GEMpix side-on, sarà necessario ripetere il prima possibile le misure. I test verranno effettuati presso la facility HOTNES dell'ENEA di Frascati (neutroni termici) per poi rifare le misure nella DUMP area appena ci sarà disponibilità.
- ✓ Nel frattempo è in fase di costruzione la nuova camera che ospiterà la scheda quad TPX3. La sua realizzazione è prevista entro la prima metà del 2025.
- ✓ Allo scopo di ottimizzare le misure effettuate col QUAD TPX3 al silicio, stiamo valutando la possibilità di utilizzare quello con spessore da 100  $\mu\text{m}$  che potrebbe lavorare direttamente sul fascio in EAR2. Test effettuati a giugno nel DUMP hanno dimostrato che lavora correttamente sul fascio.
- ✓ In aggiunta QUAD TPX3 stiamo valutando anche la possibilità di utilizzarlo in camera da vuoto in modo da poterlo posizionare fuori fascio senza perdita di efficienza.
- ✓ Le misure presso il LENA di Pavia verranno completate in modo da effettuare una calibrazione in concentrazione con tessuti aventi quantità note di  $^{10}\text{B}$ . I risultati potrebbero essere oggetto di un proposal su n\_TOF nell'ambito BNCT e non solo.