

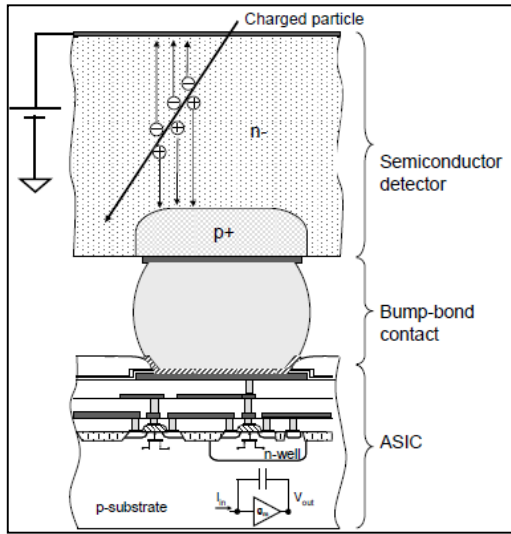
*GEMpix e QUAD Timepix3:  
discriminazione di particelle per misure di sezioni d'urto e  
imaging della distribuzione di  $^{10}\text{B}$  per la BNCT*

*Gerardo Claps & Antonella Tamburrino*

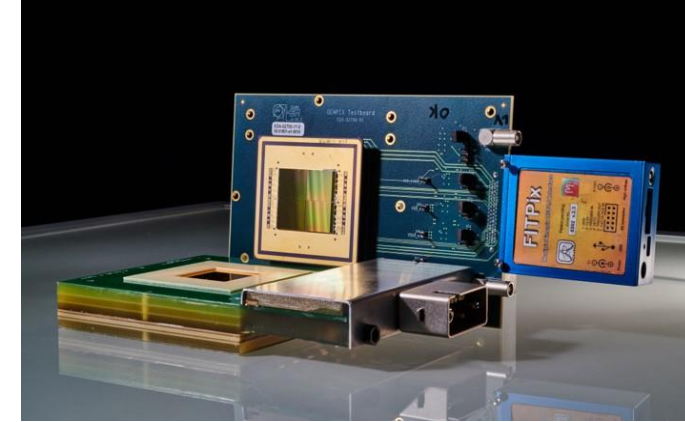
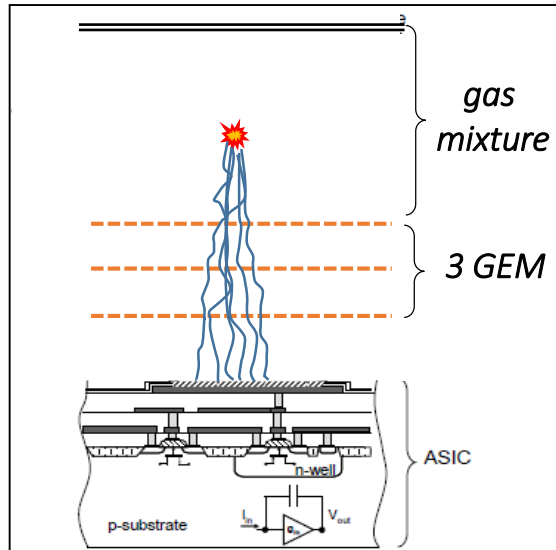
*INFN - LNF & ENEA Frascati*

*n\_TOF Italy Meeting  
CATANIA, 29 Maggio 2024*

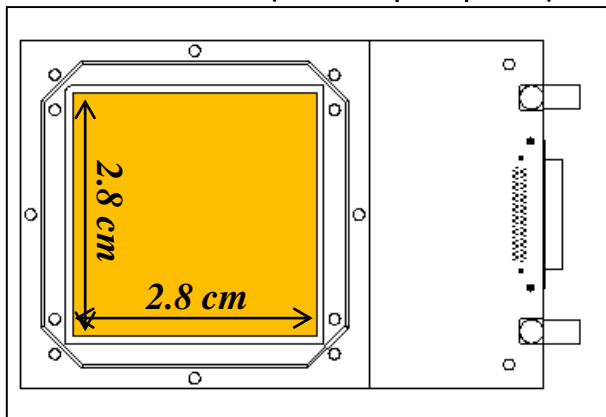
# GEMpix @ n\_TOF per la misura dei prodotti di reazione: detector layout e modalità di acquisizione



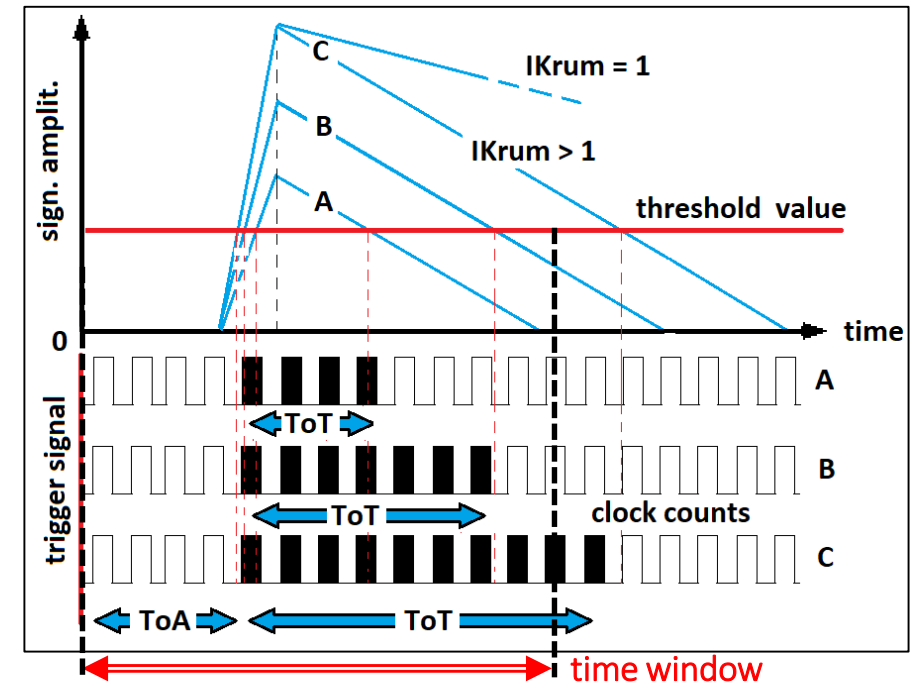
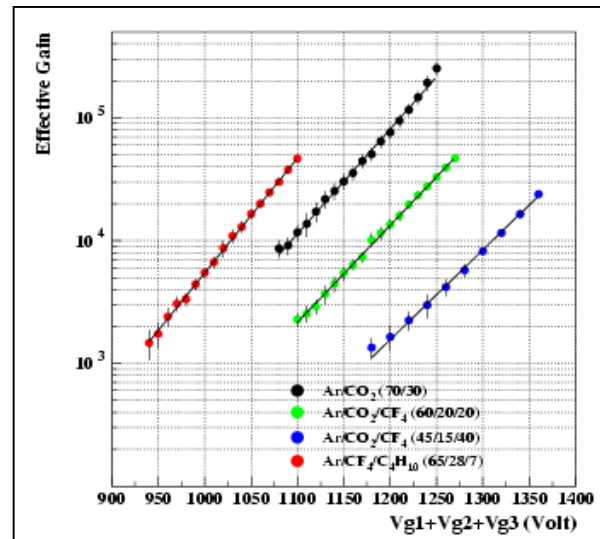
from Silicon  
to Triple-GEM



High Dynamic Range and high spatial resolution ( $55 \times 55 \mu\text{m}^2$  pixels)



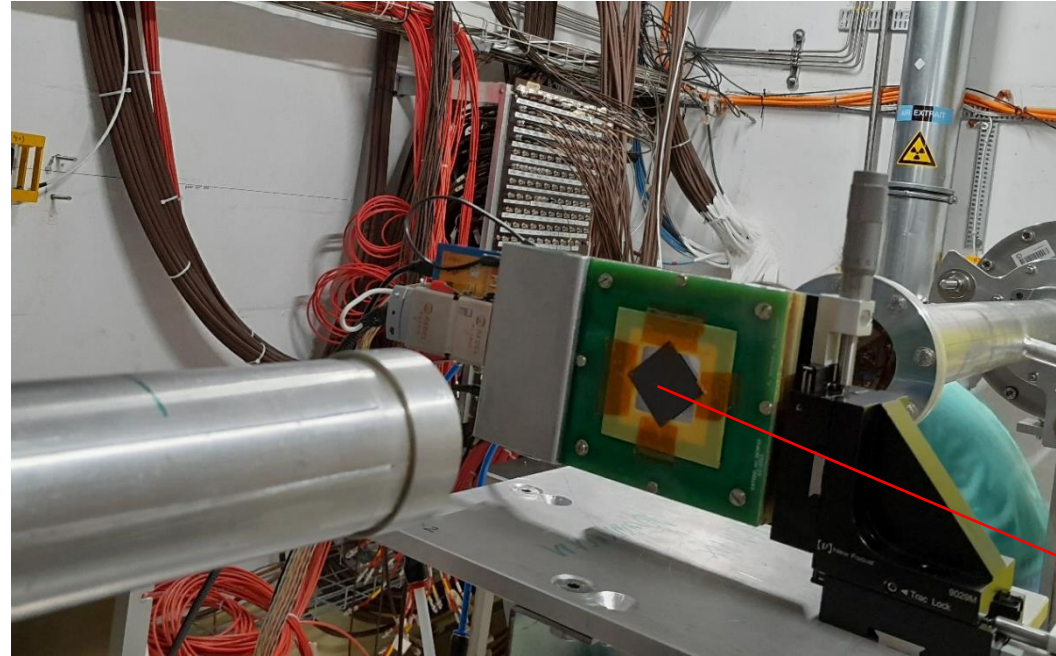
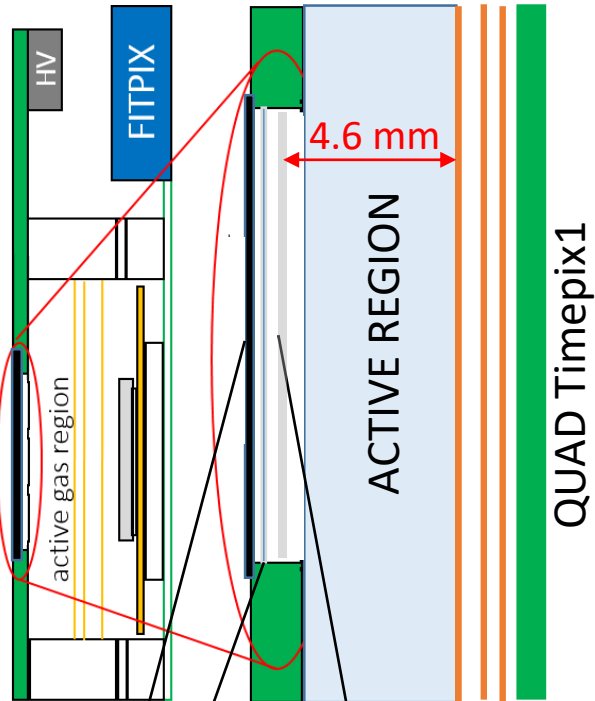
Quad Medipix is made of 4 medipix chip hold together ( $512 \times 512$  pixles).



**Il GEMpix può acquisire in counting, ToT o ToA!**

**La finestra di acquisizione limita le misure in ToT!**

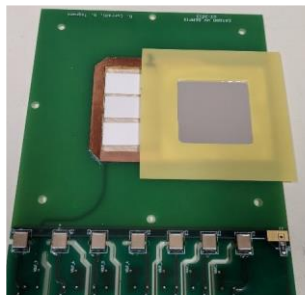
# GEMpix @ $n_{TOF}$ per la misura dei prodotti di reazione in EAR1



GEMpix parametri di acquisizione:

- Finestra temporale 120  $\mu$ s
- ArCO<sub>2</sub> (70/30) miscela di gas
- HVGEM 870 V
- Drift 900 V

Alumina sheets

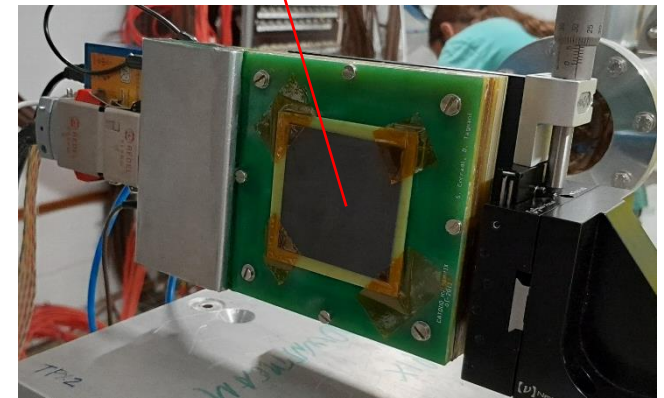


Aluminized mylar:  
15  $\mu$ m Mylar + 100 nm Al

Bersaglio di Grafite: 500  $\mu$ m

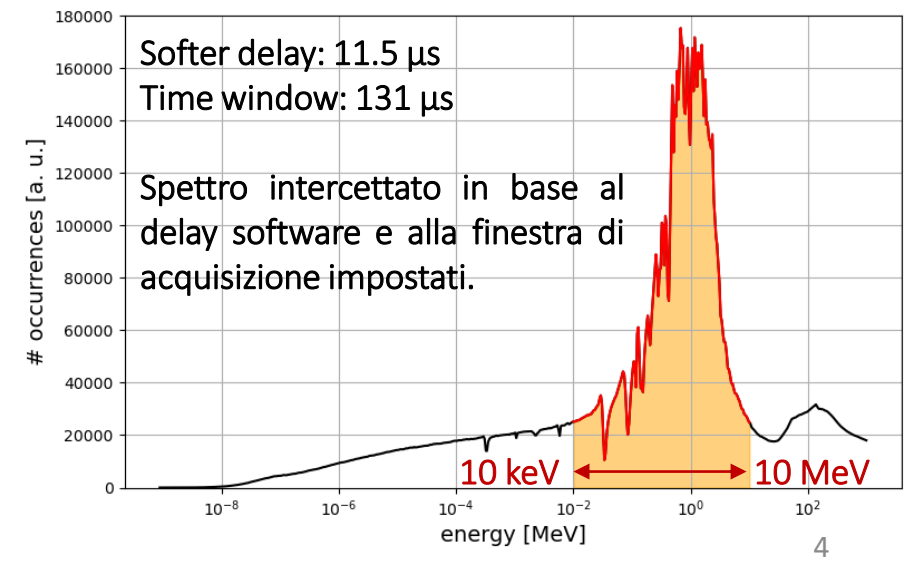
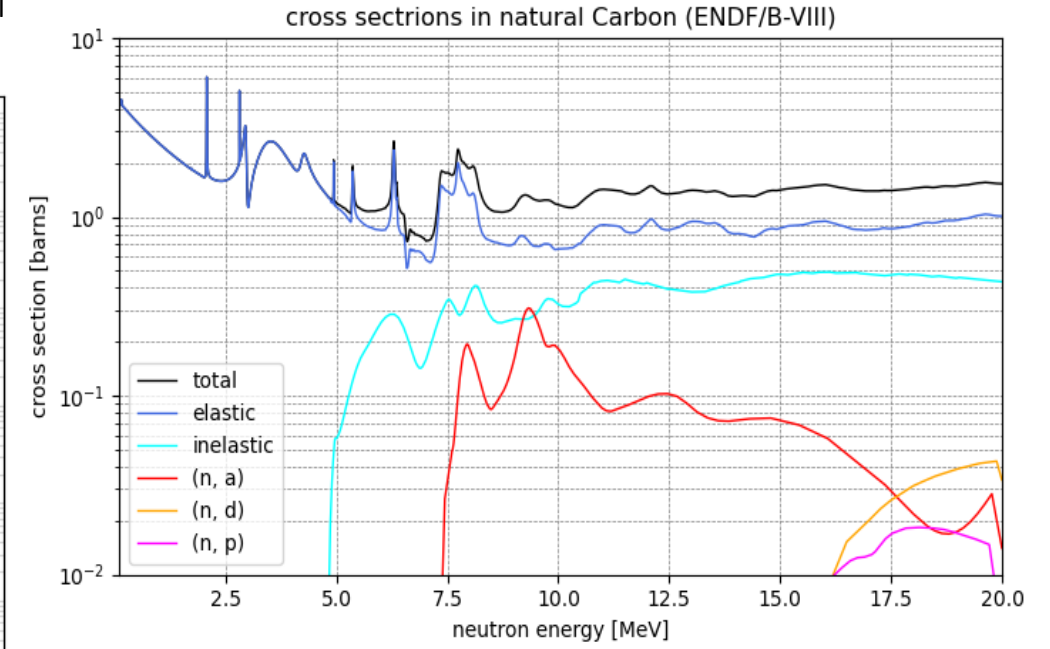
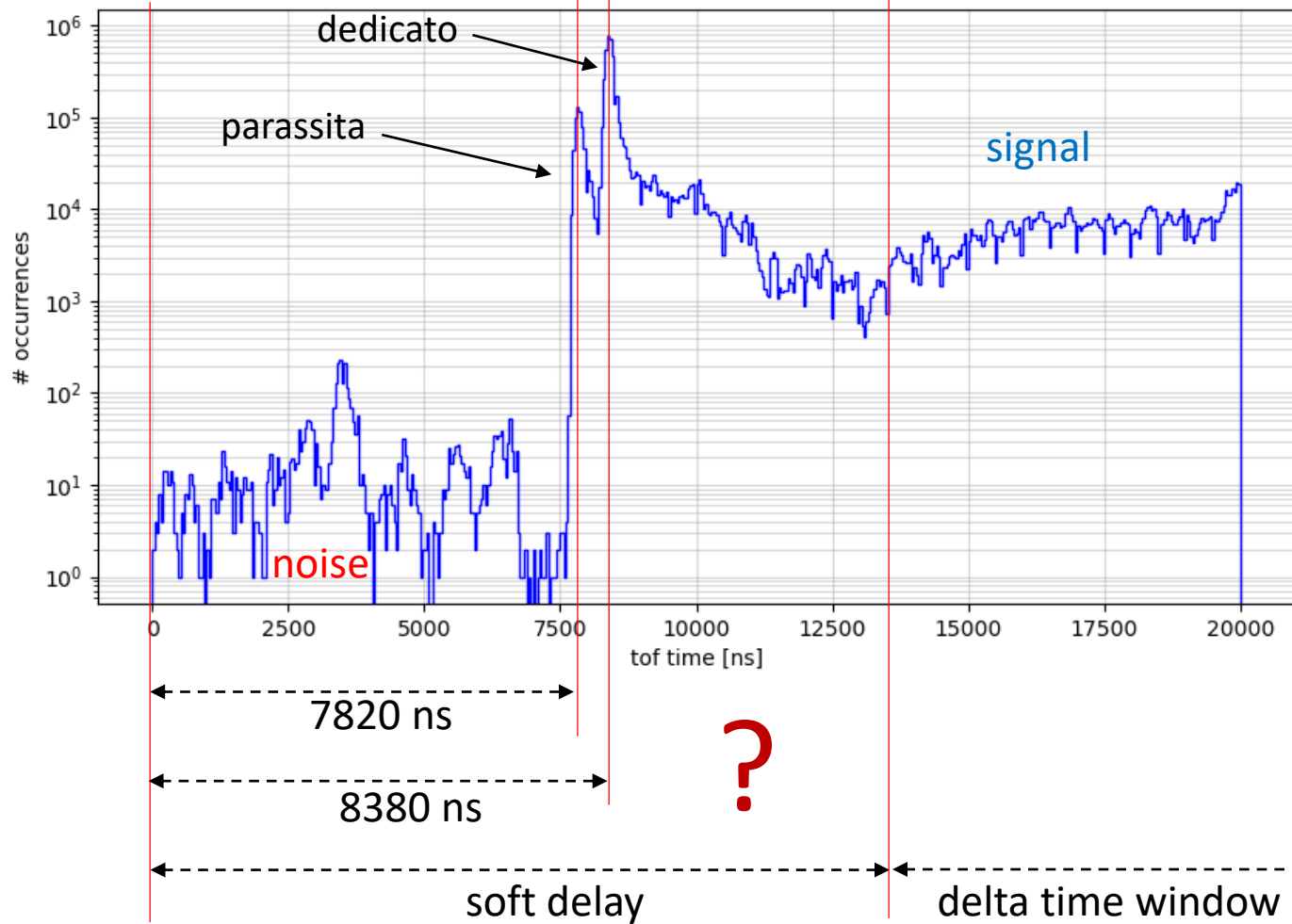
- ✓ Le prime misure si sono effettuate con una camera GEMpix dotata di bersagli di alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) da 400  $\mu$ m di posizionati dopo la finestra in Mylar del rivelatore all'inizio della regione di drift.
- ✓ La sostituzione delle lamelle di alumina con il bersaglio di carbonio ha causato il danneggiamento della finestra di Mylar.
- ✓ La camera GEMpix è stata sostituita con un'altra avante la medesima geometria, ma il bersaglio di carbonio è stato posizionato prima della finestra di mylar esternamente alla camera.
- ✓ Le condizioni operative (flusso gas, alte tensioni e modulo di controllo) di acquisizione del nuovo GEMpix sono le stesse del primo rivelatore.

Bersaglio di Grafite: 500  $\mu$ m



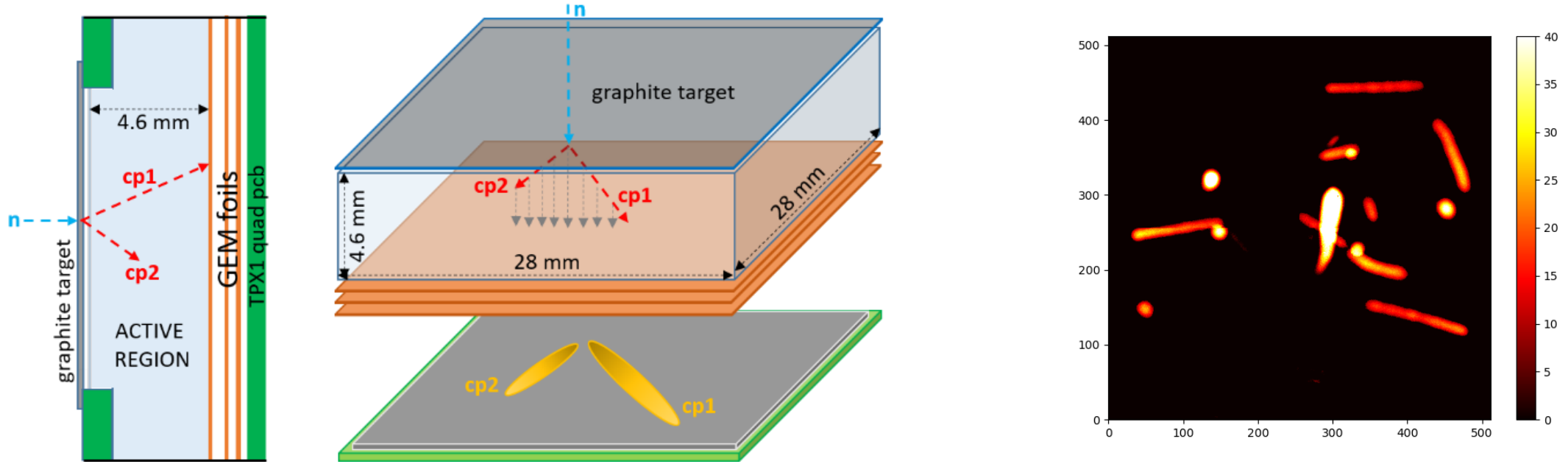
# GEMpix @ n\_TOF per la misura dei prodotti di reazione

Misura del gamma flash con il GEMpix in modalità ToA (Time-of-Arrival). Il rivelatore è posto a circa 187 m dalla sorgente di neutroni.



La finestra temporale di acquisizione è stata impostata ad un valore maggiore di 100  $\mu$ s per evitare la saturazione del ToT nella misura della carica. Il ToT lavorava ad una frequenza di clock di 48 MHz.

## GEMpix @ n\_TOF per la misura dei prodotti di reazione



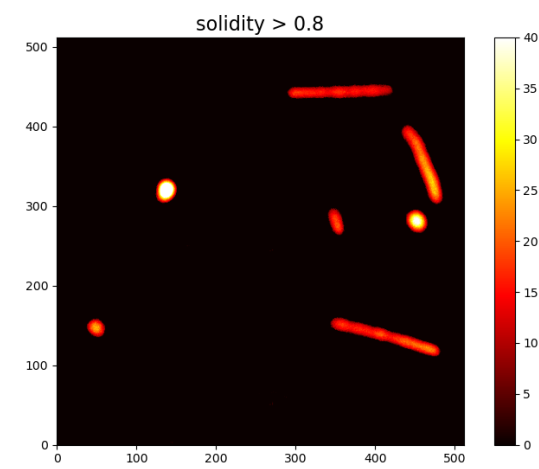
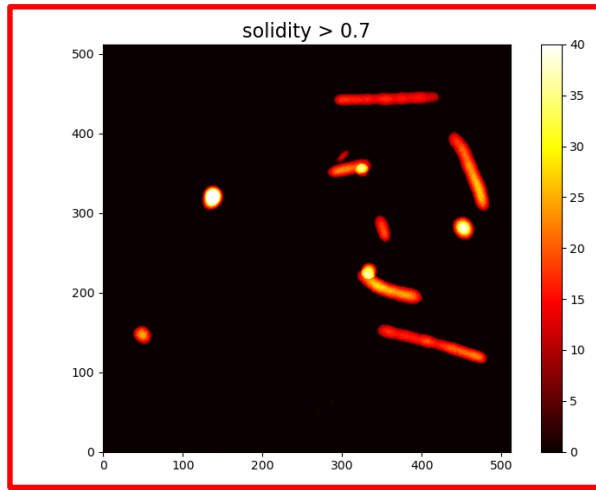
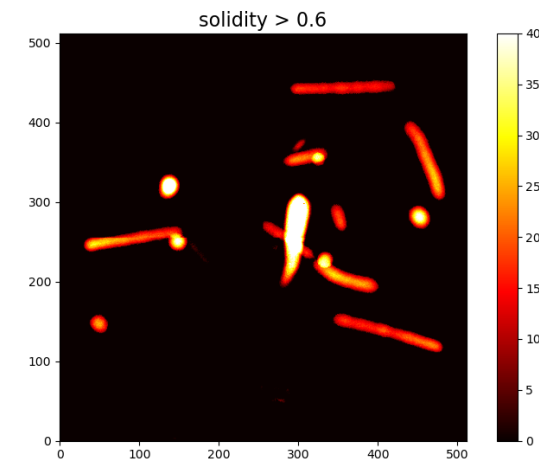
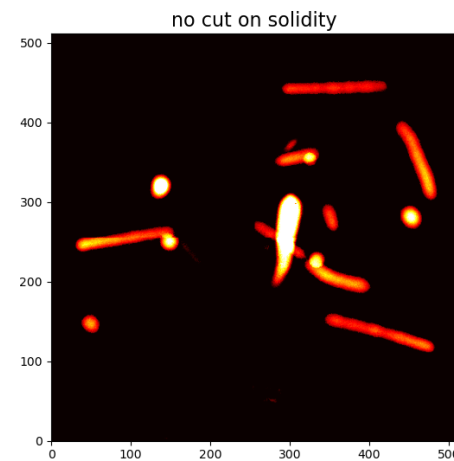
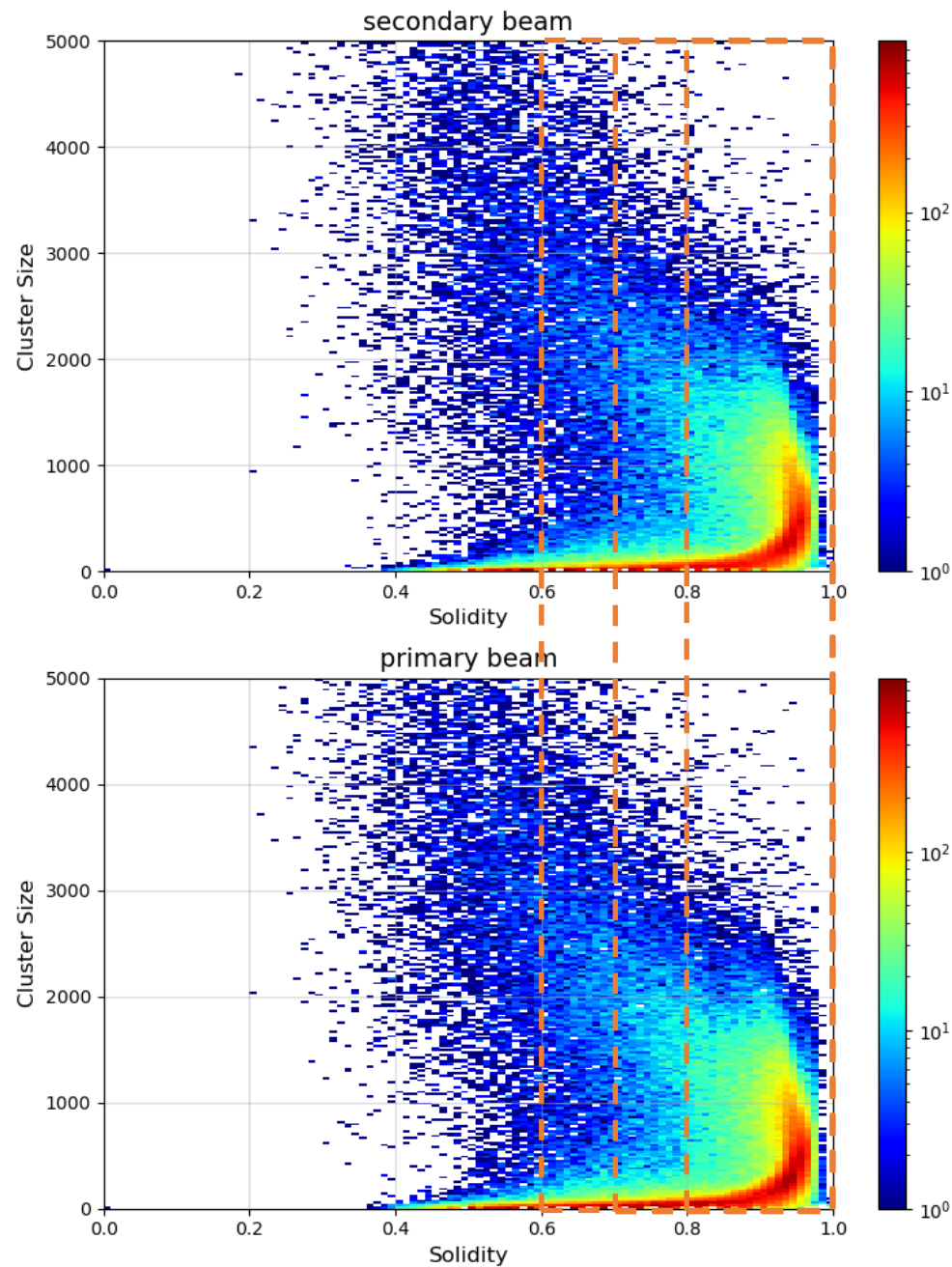
**Solidity parameter:** frazione tra cluster size ratio e convex hull (ovvero il più piccolo insieme convesso che contiene la traccia). In questo modo le tracce sovrapposte possono essere escluse.

**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)

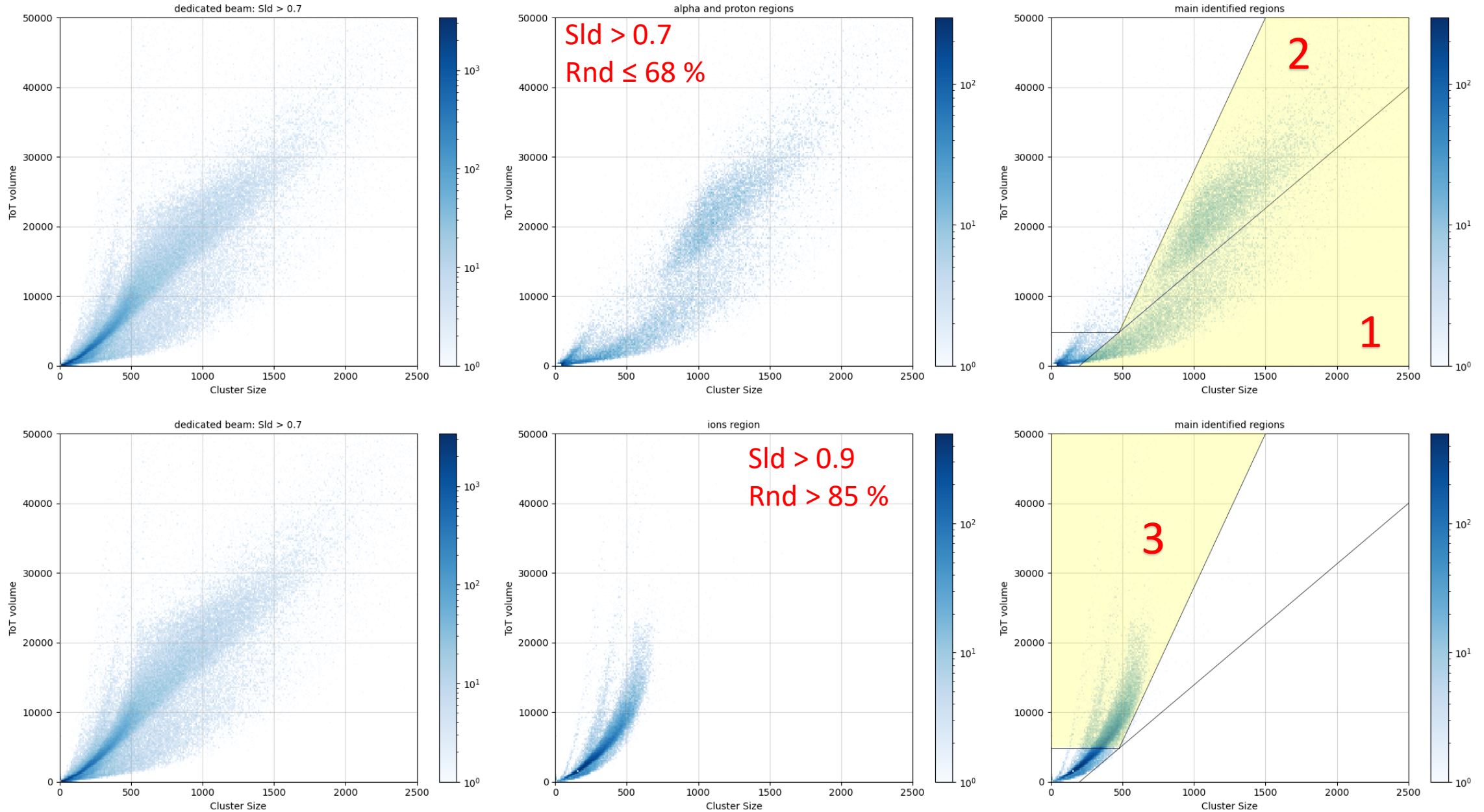
**Roundness:** frazione tra Cluster Size e l'area della circonferenza di diametro pari alla distanza dei pixel più distanti nel cluster (consente di indentificare i cluster di forma più circolare)

# GEMpix con bersaglio di carbonio: trattamento delle tracce sovrapposte

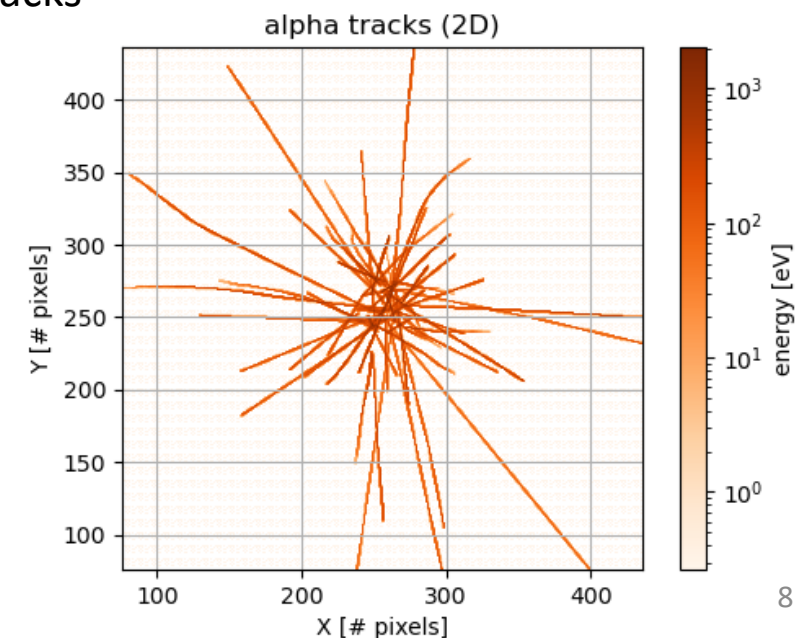
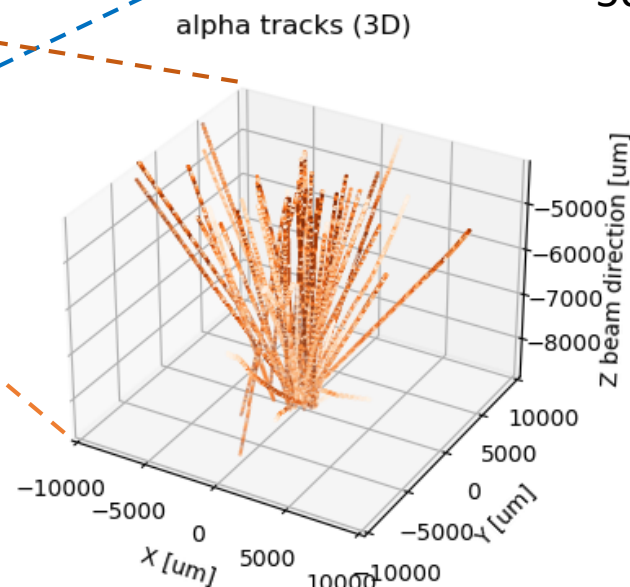
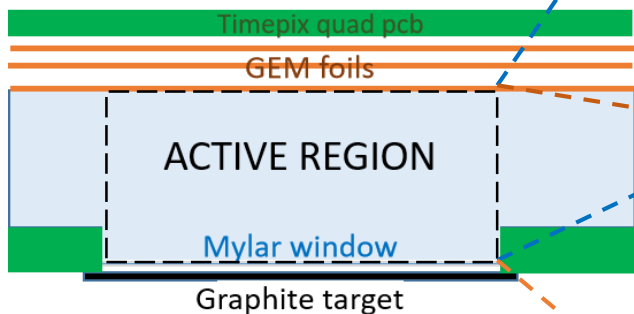
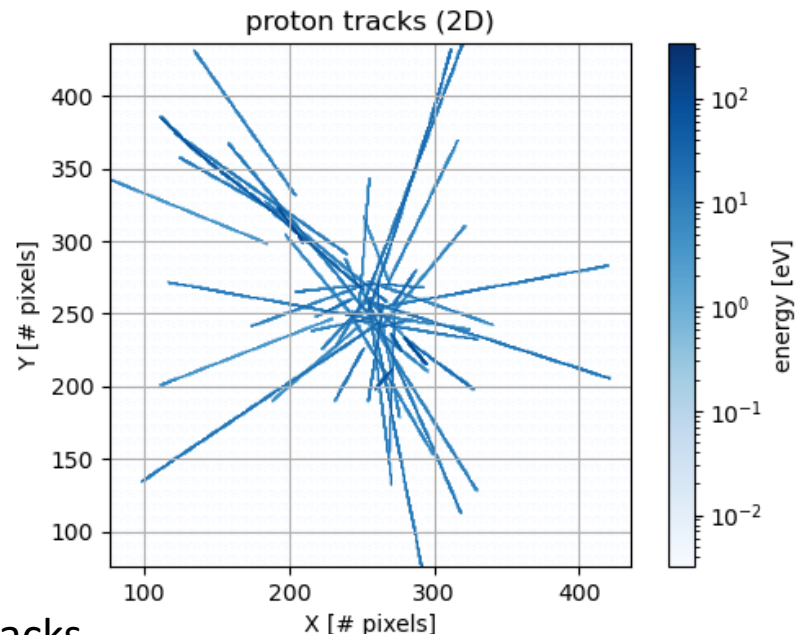
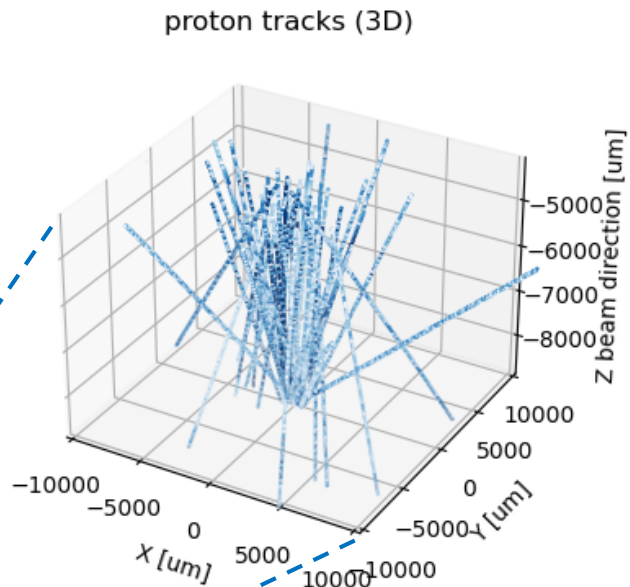
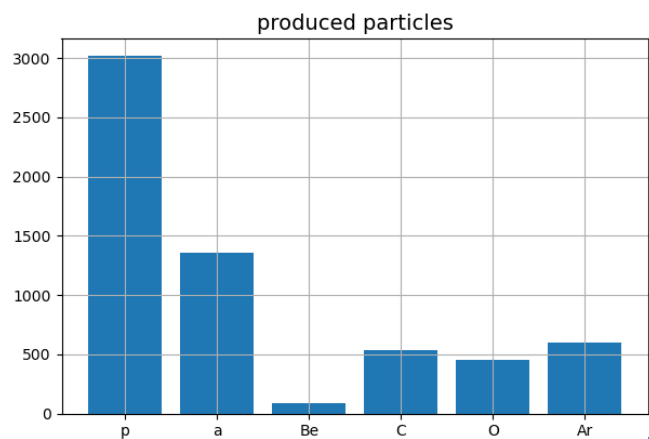


Un taglio sul parametro Solidity (Sld) permette di escludere le tracce sovrapposte. Si è osservato che un buon compromesso tra si ottiene per  $Sld > 0.7$ . Con i range di energia esplorati in queste misure (con valori massimi da 1 a 20 MeV), il numero delle tracce utili per l'analisi si riduce dal **60 al 50 % del totale**.

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



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

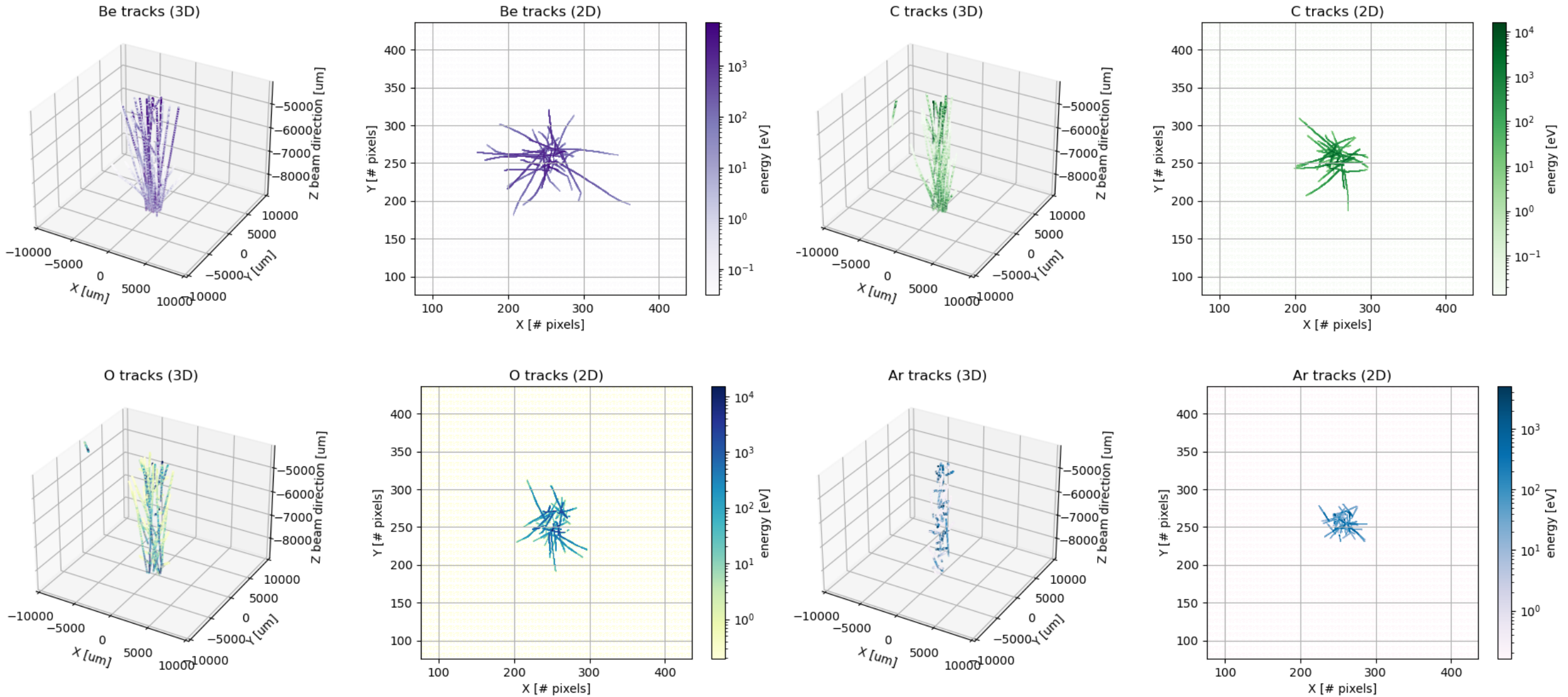


10 MeV neutrons

Primari  $5 \times 10^7$

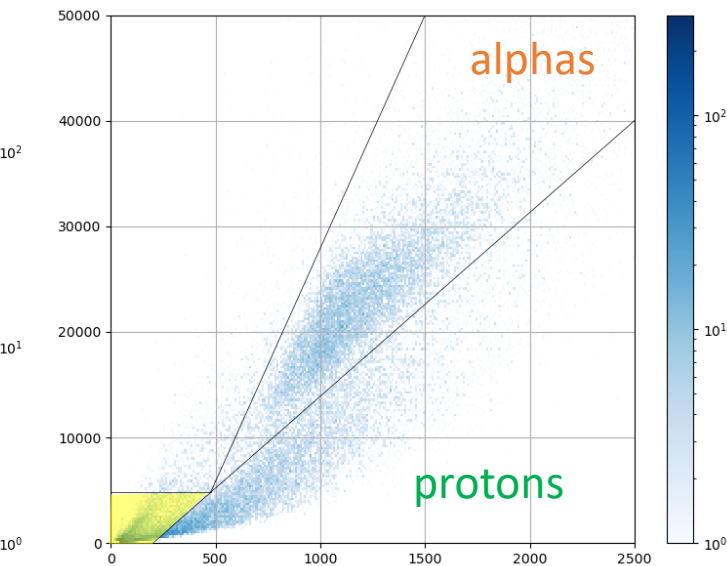
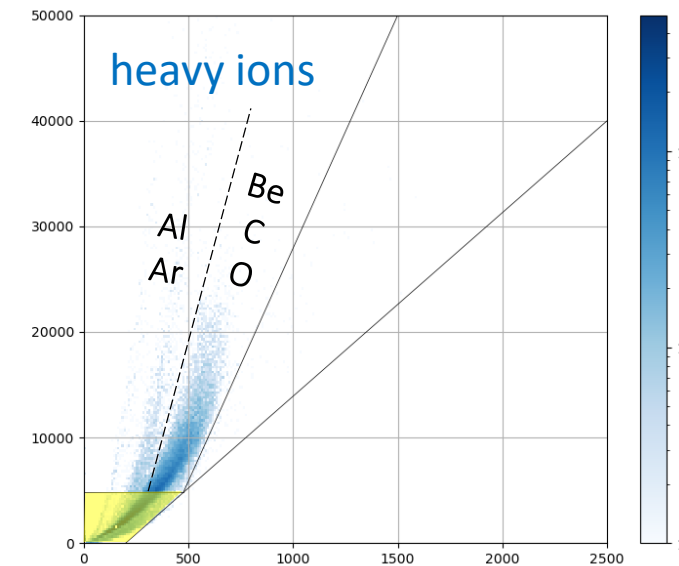
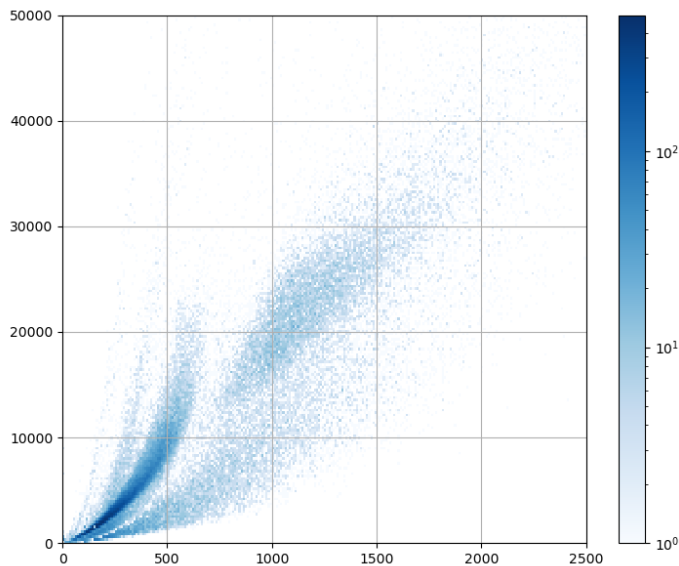
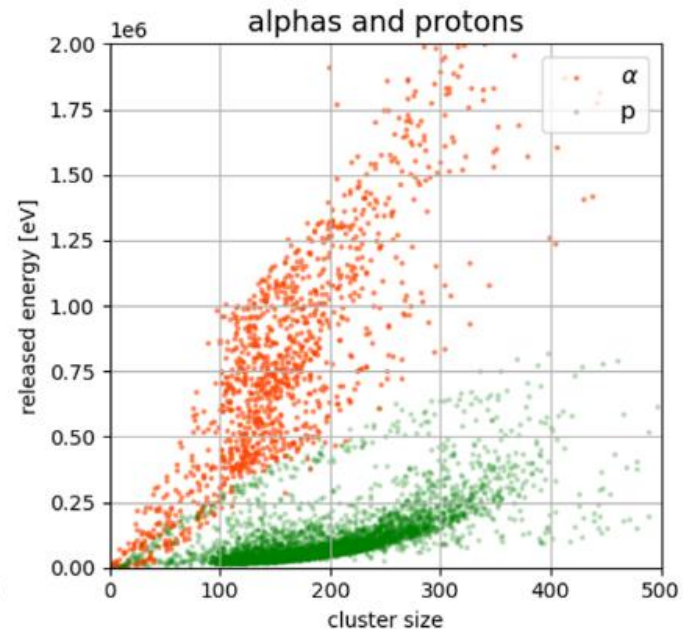
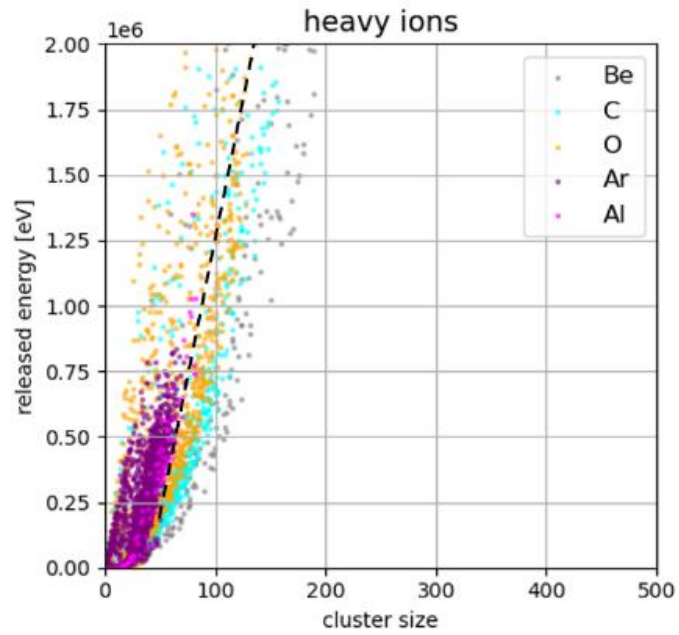
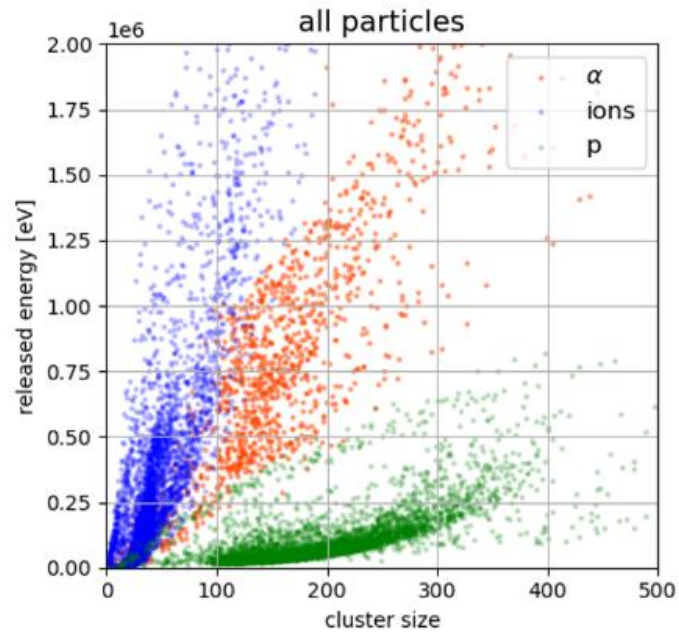


# GEMpix @ $n_{TOF}$ : simulazione delle tracce e della carica rilasciata



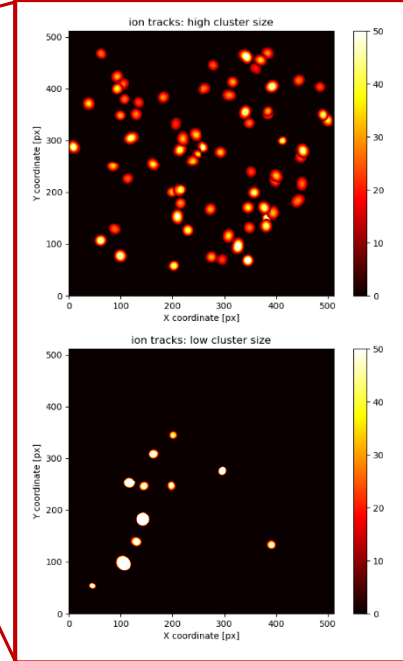
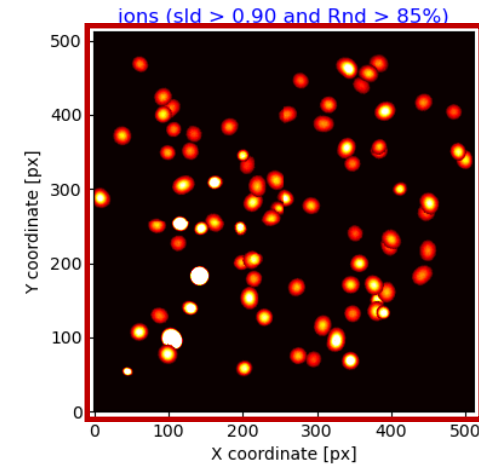
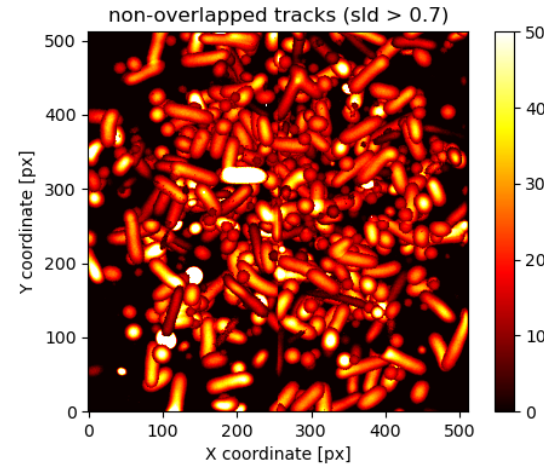
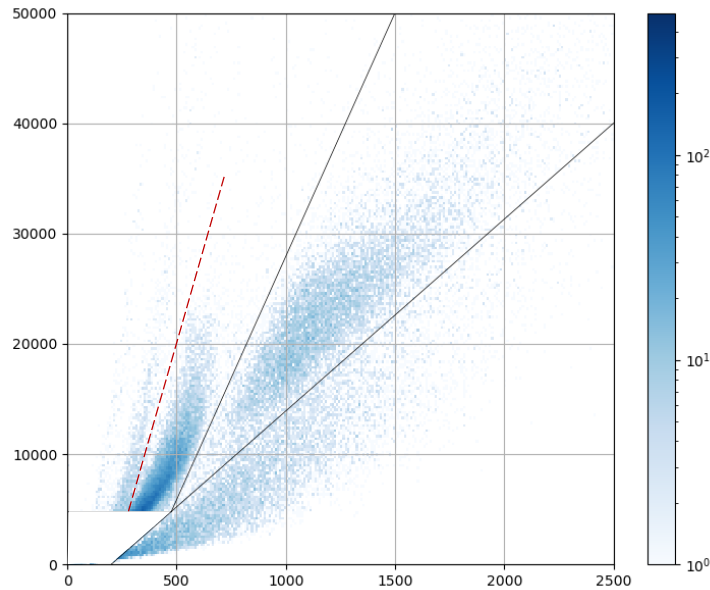
*La risoluzione spaziale delle tracce ricostruite è la stessa del quad TPX1 ( $55 \times 55 \mu\text{m}^2$ )*

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

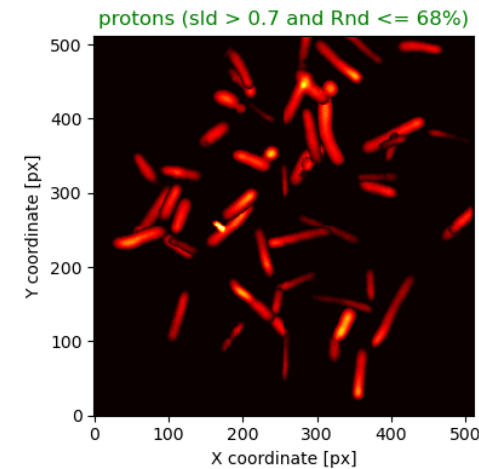
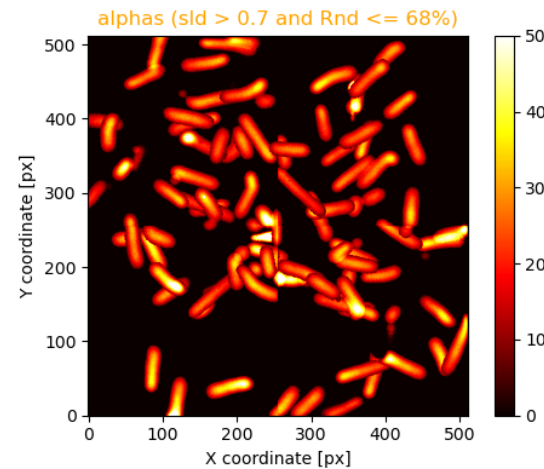
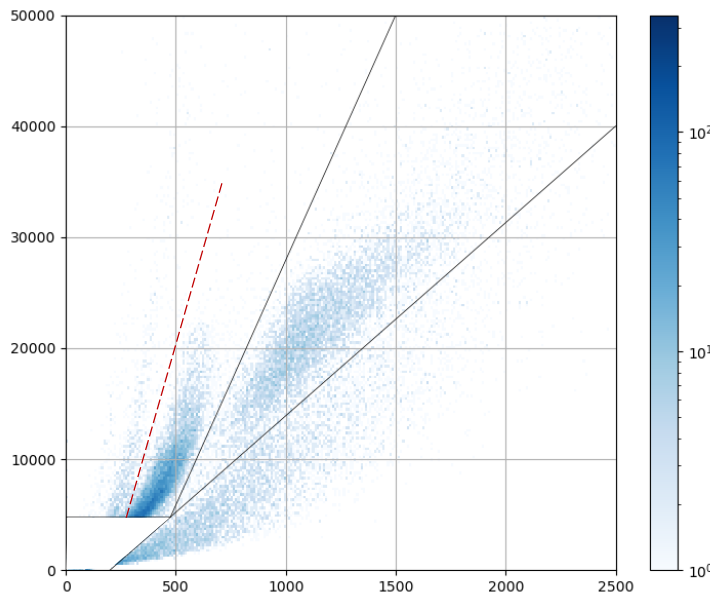


# GEMpix @ n\_TOF per la misura dei prodotti di reazione protoni, alpha e ioni per neutroni < 10 MeV

con bersaglio di Carbonio



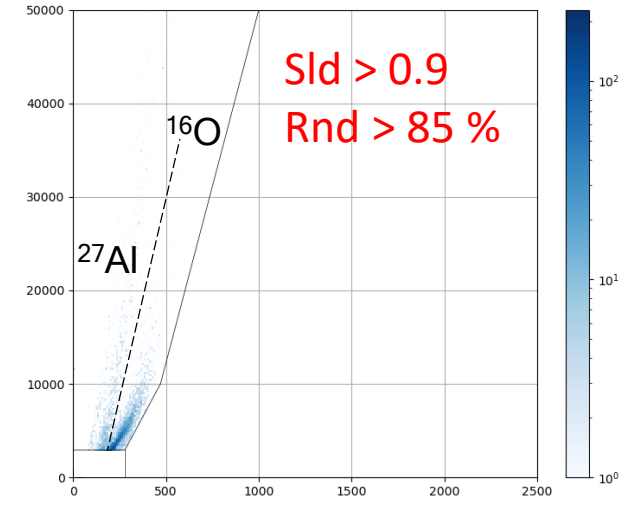
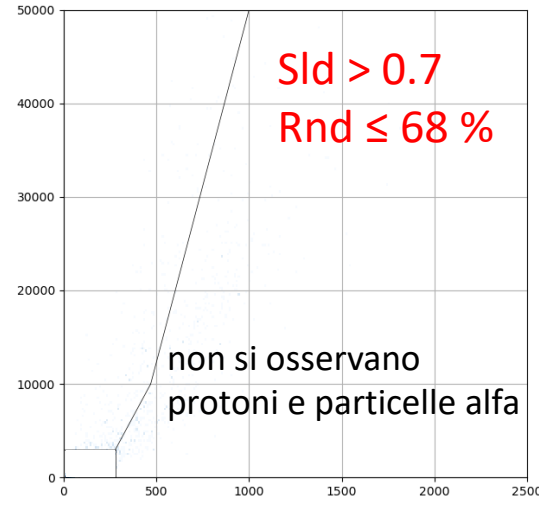
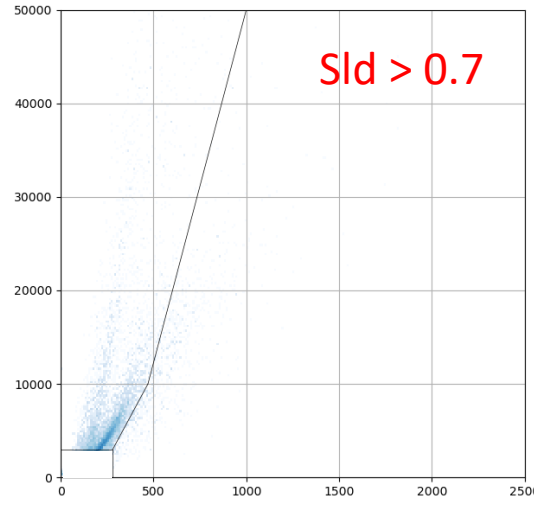
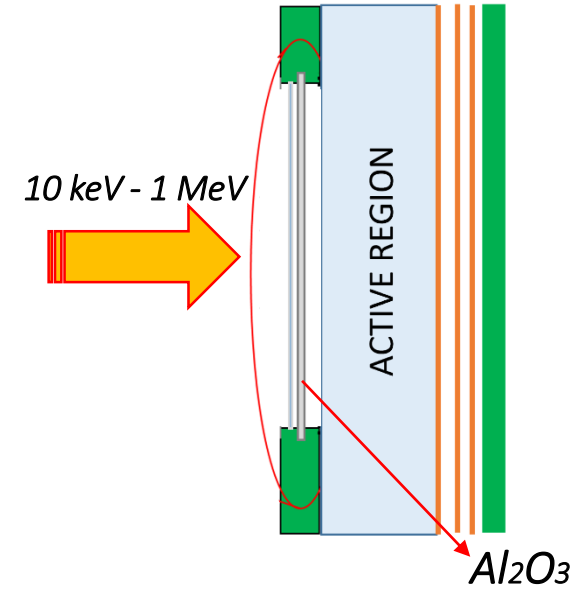
senza bersaglio di Carbonio



Si possono distinguere  
anche 2 famiglie di ioni

graphite	protons [%]	alphas [%]	heavy ions [%]	Total [%]
con bersaglio	4.7	6.4	7.7	18.8
senza bersaglio	4.4	5.8	6.9	17.1

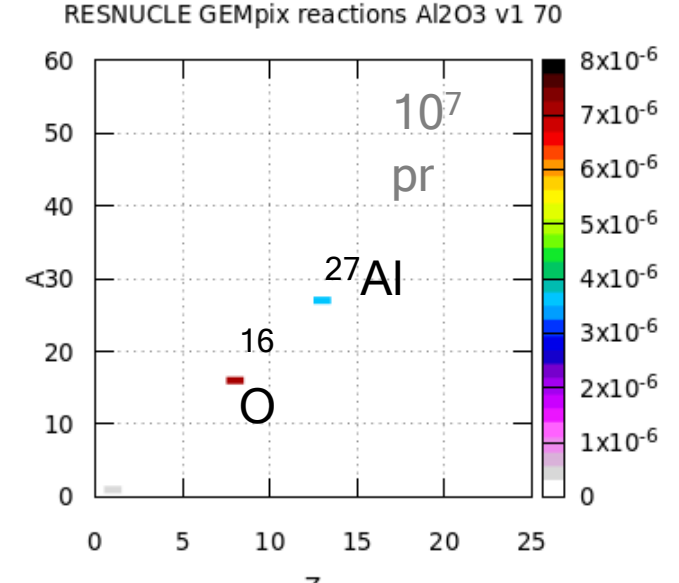
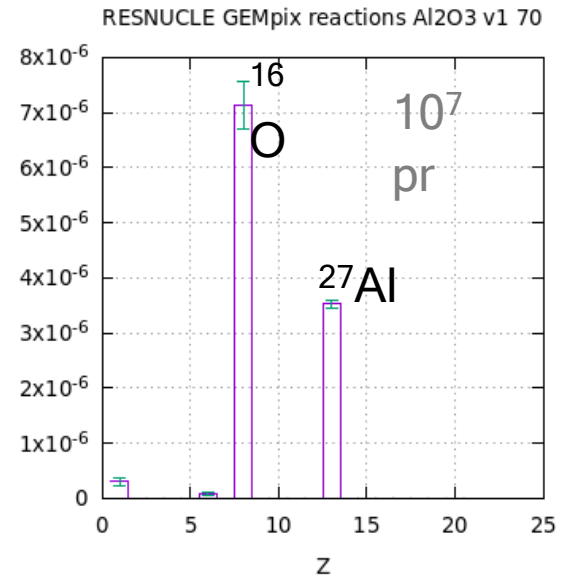
# GEMpix @ n\_TOF per la misura dei prodotti di reazione bersaglio di Allumina ( $Al_2O_3$ )



La misura è riferita alle energie calcolate con la misura del gamma flash da parte del GEMpix stesso (in ToA). Quindi il limite superiore di 1 MeV è da verificare.

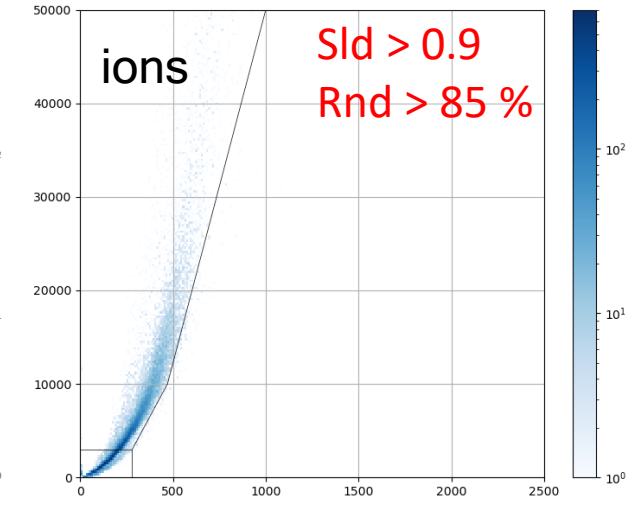
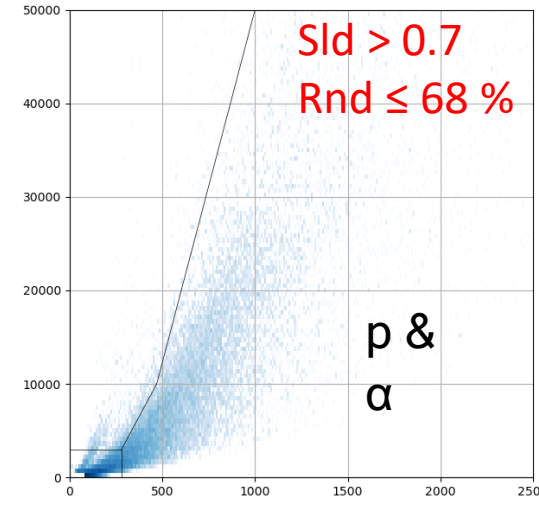
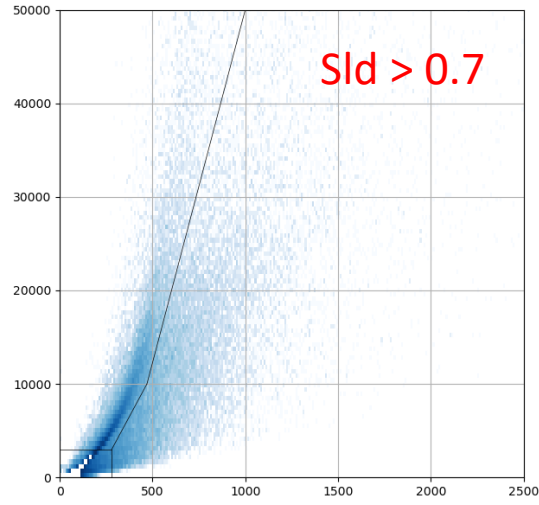
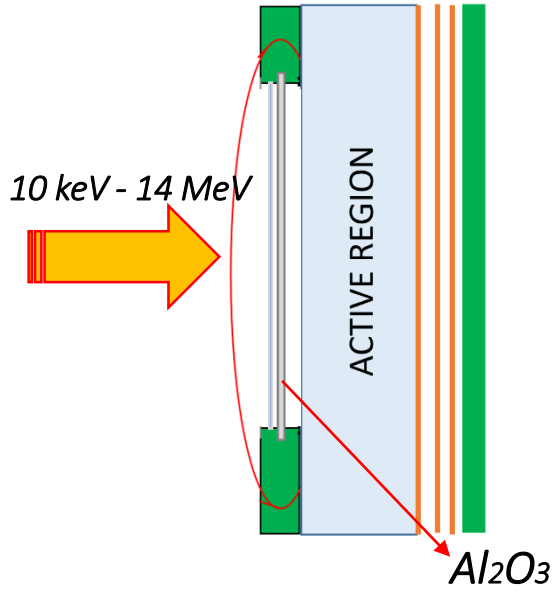
Tuttavia i risultati osservati sono compatibili con le sezioni d'urto che in questo range producono  $^{16}O$  e  $^{27}Al$  per reazioni (n, elastic) e (n, n').

Si riscono a distinguere le due popolazioni di ioni fino ad una energia minima di circa 0.3 MeV.



simulazioni Fluka

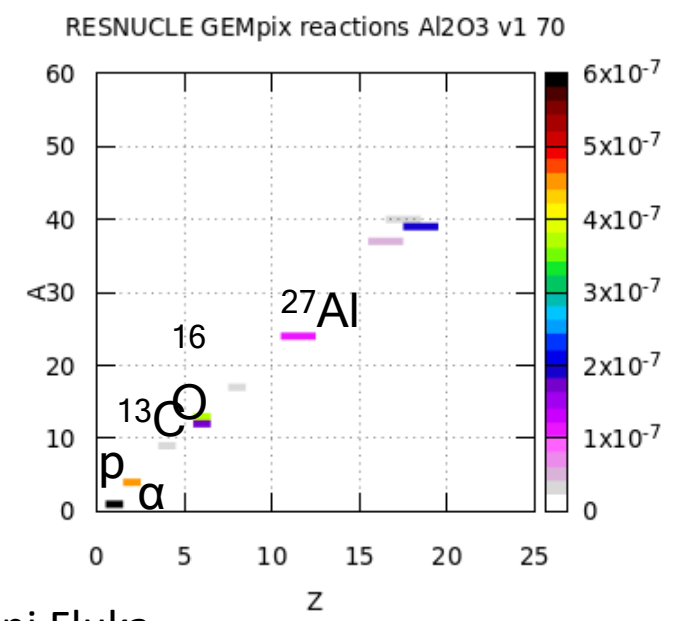
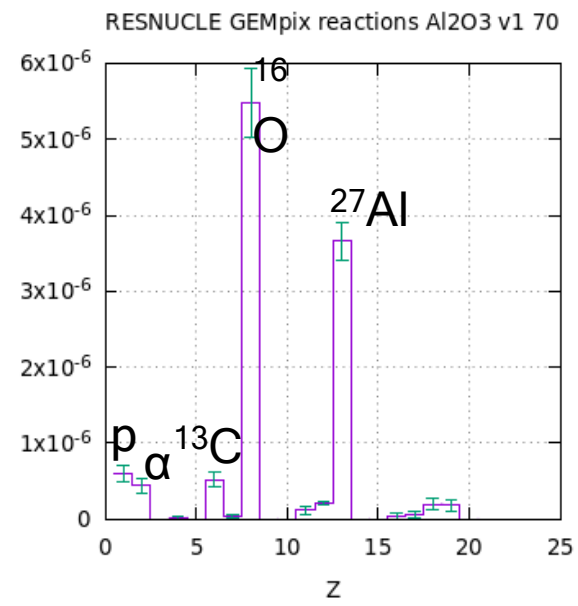
# GEMpix @ $n\_TOF$ per la misura dei prodotti di reazione bersaglio di Allumina ( $Al_2O_3$ )



Anche qui il limite superiore di 14 MeV è da verificare.

I risultati osservati sono di più difficile interpretazione perchè si aprono altri canali di reazione.

Si osserva il contributo di protoni ed alfa, mentre la popolazione degli ioni dovrebbe includere il contributo di altri nuclidi, come ottenuto con le simulazioni.



simulazioni Fluka

## Misura della distribuzione di $^{10}\text{B}$ con Quad Timepix3



2008

Neutron autoradiography imaging of selective boron uptake in human metastatic tumours

S. Altieri<sup>a,b,\*</sup>, S. Bortolussi<sup>a,b</sup>, P. Bruschi<sup>a</sup>, P. Chiari<sup>a</sup>, F. Fossati<sup>a</sup>, S. Stella<sup>a</sup>, U. Prati<sup>c</sup>, L. Roveda<sup>c</sup>, A. Zonta<sup>d</sup>, C. Zonta<sup>d</sup>, C. Ferrari<sup>d</sup>, A. Clerici<sup>d</sup>, R. Nano<sup>e</sup>, T. Pinelli<sup>a,b</sup>

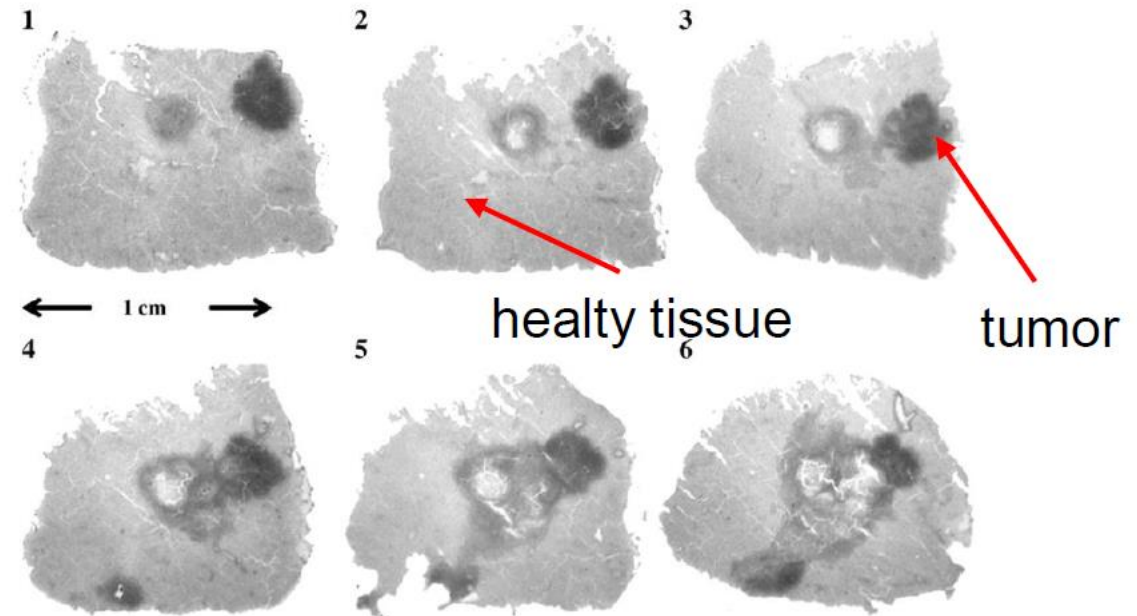
Sequenza di immagini di radiografie neutroniche di un nodulo di fegato umano tagliato ogni 40  $\mu\text{m}$ . L'evoluzione del tumore e della necrosi sono chiaramente visibili man mano che ci si sposta in profondità nel nodulo (immagini da 1 a 6).

Immagini realizzate usando film CN85 non più in produzione.

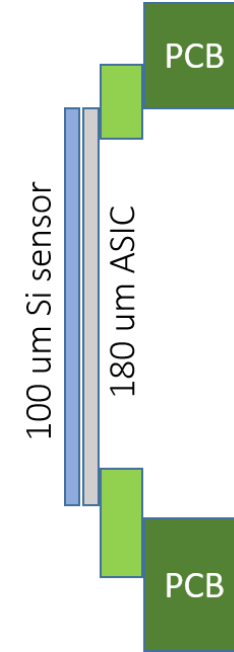
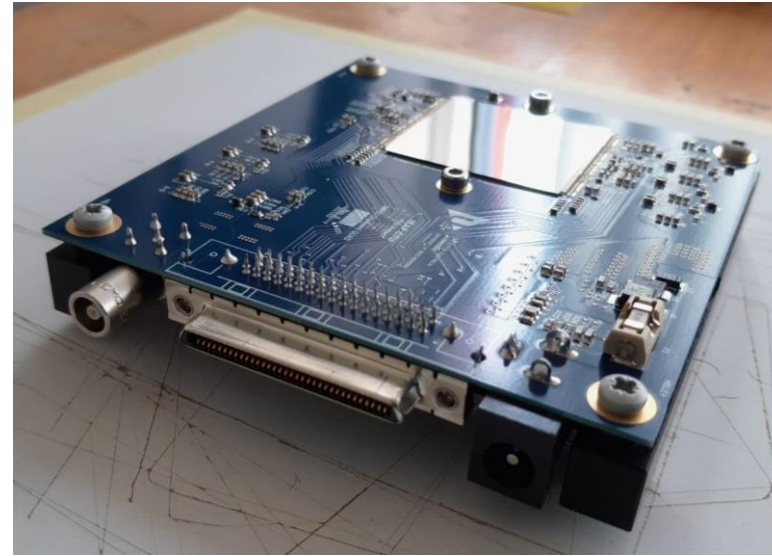
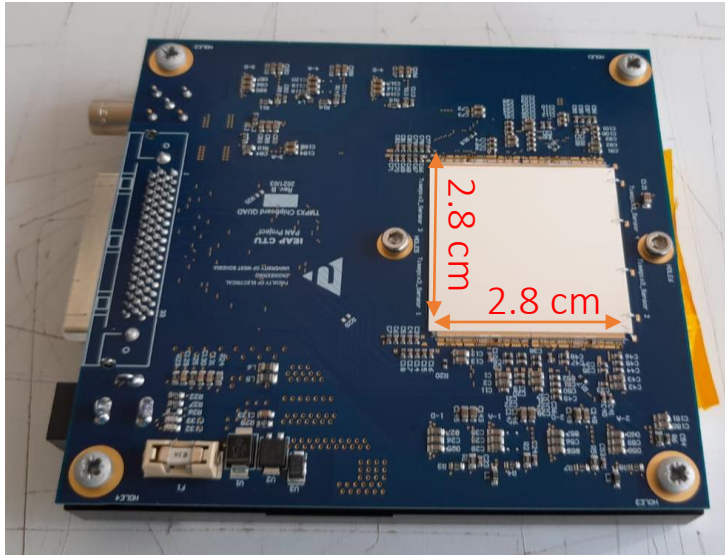
L'imaging adesso si può effettuare anche con il CR39 ma la procedura è lunga e la spettroscopia molto difficile.

*I primi test sono stati effettuati presso il reattore Triga di Pavia nel 2000 per misurare la concentrazione di Boro in tessuti cancerogeni iniettati con l'agente di trasporto BPA.*

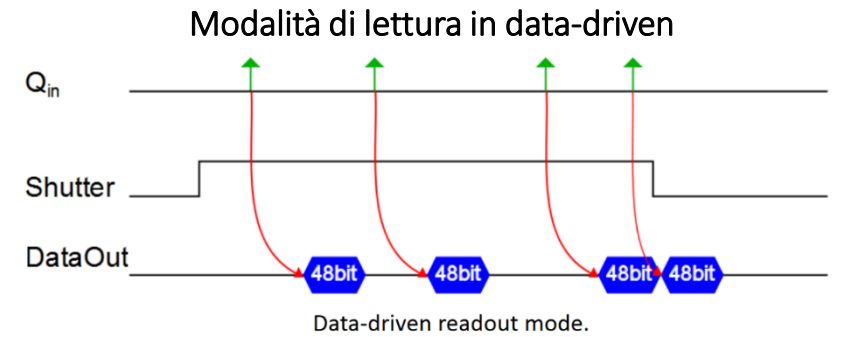
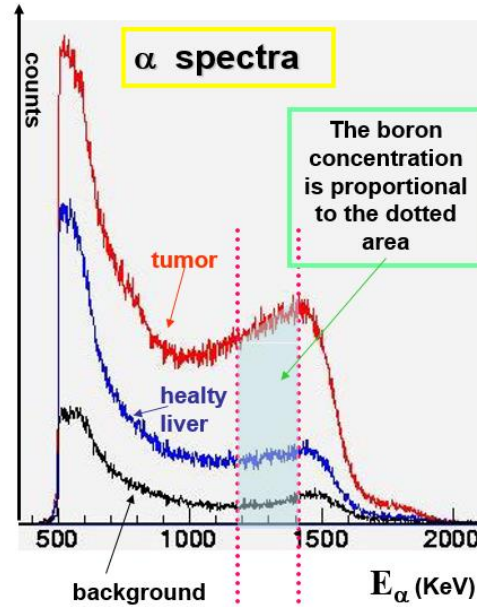
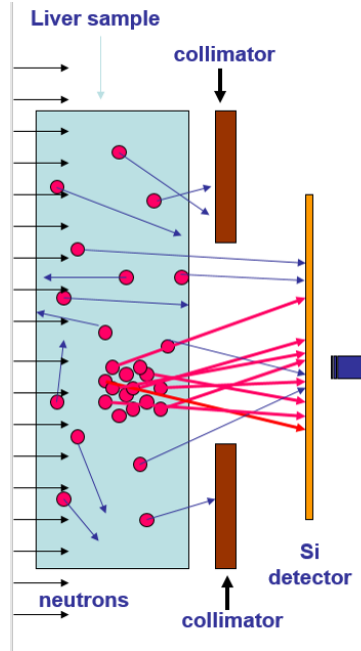
*S. Altieri et al. / Applied Radiation and Isotopes 66 (2008) 1850–1855*



# 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

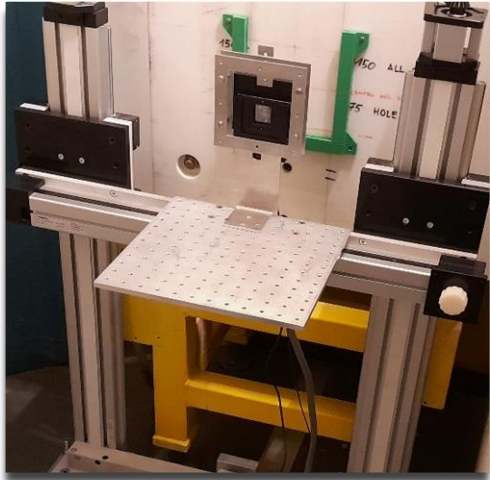


Il Timepix3 può acquisire *simultaneamente* in:

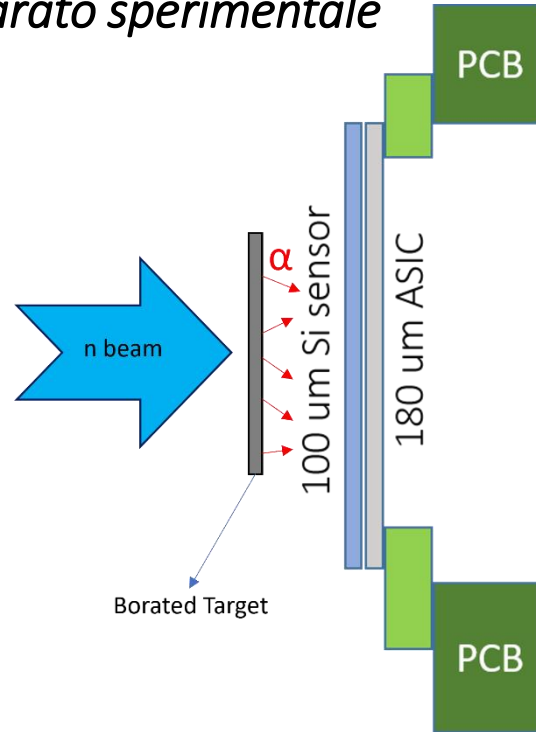
- ✓ Counting (medipix mode)
- ✓ Carica (Time over Threshold mode)
- ✓ Tempo (Time of Arrival mode), risoluzione 1.6 ns

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

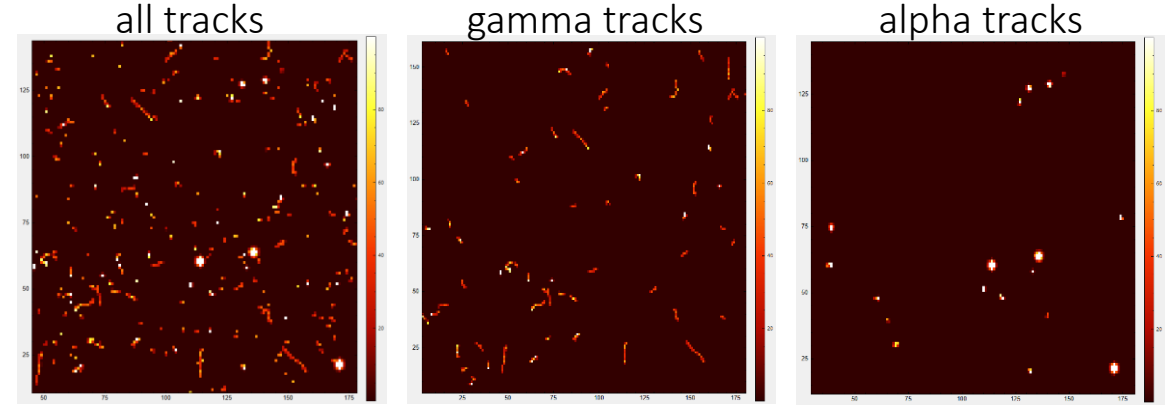
Dicembre 2023



Apparato sperimentale



Campione NIST  
( $10^{15}$  atoms/ $\text{cm}^2$ )



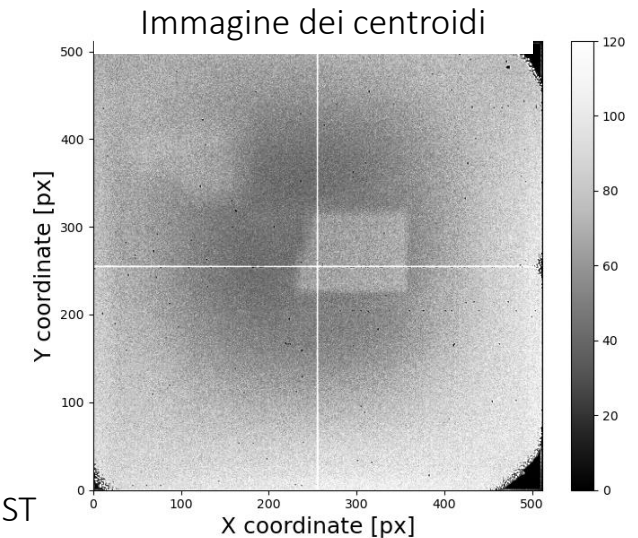
Analisi di traccia imaging

Applicando un taglio sui parametri morfologici ( $R_{nd} > 60\%$ ) e sulla carica rilasciata ( $< 0.8$  MeV) è stato possibile identificare le tracce prodotte dal campione.

L'immagine del campione è stata ottenuta effettuando il cumulative dei centroidi delle tracce così selezionate.

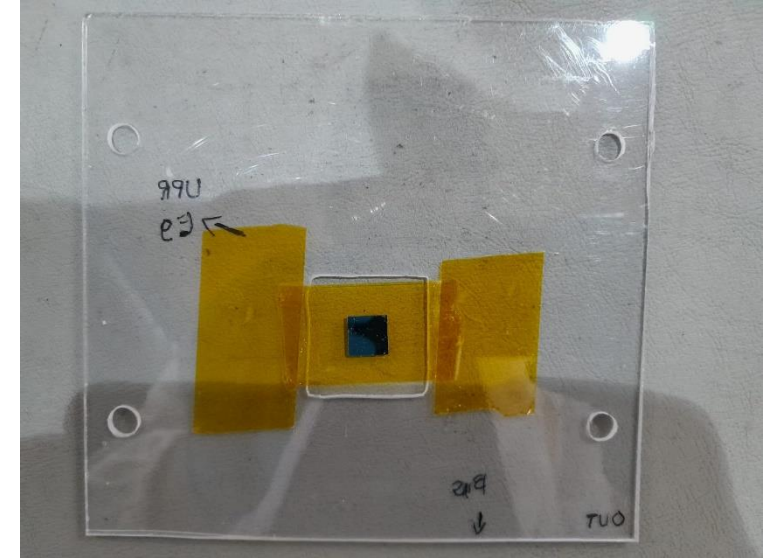
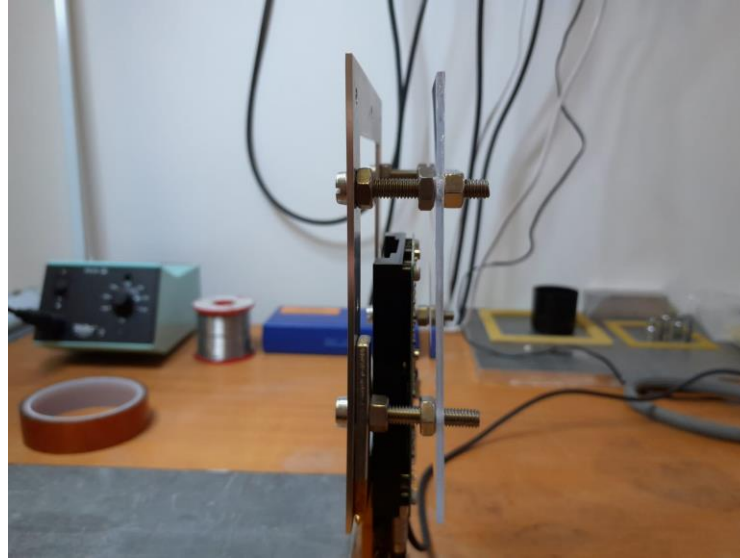
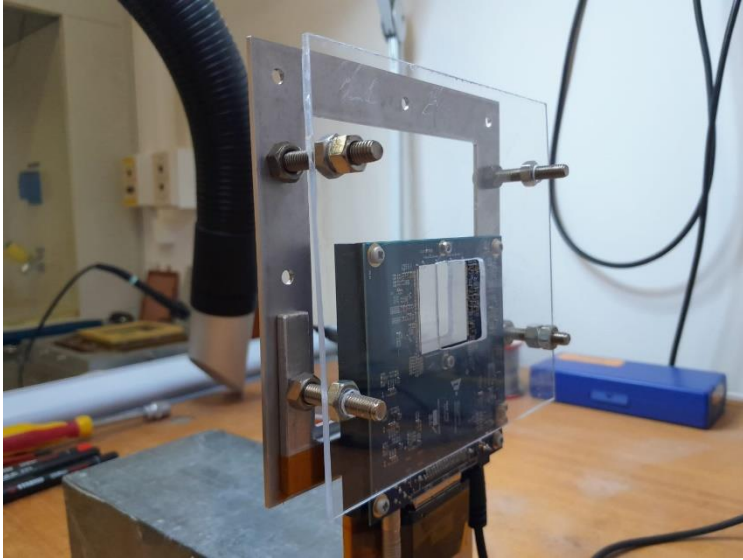


Supporto di Kapton col campione NIST





# QUAD TIMEPIX3 CON SILICIO DA 100 $\mu\text{m}$ per misure di concentrazione di Boro su tessuti per BNCT Aprile 2024



*In questa seconda misura il campione è stato posto ad una distanza di circa 1 mm dalla superficie del QUAD.*

*Parametri identificazione tracce:*

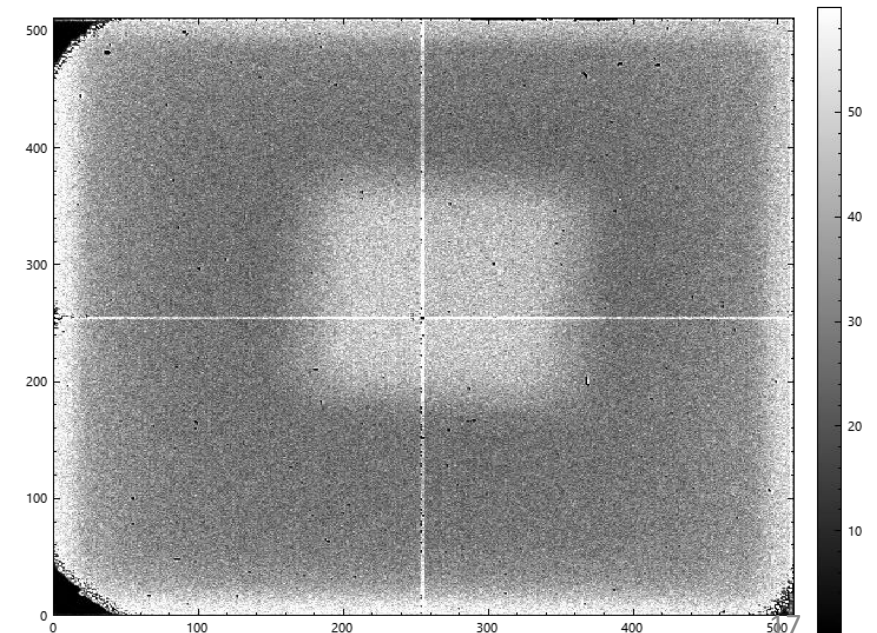
*$1 < \text{cluster size} < 10$*

*$40 < \text{ToT volume} < 150$*

*$60\% < \text{Roundness} < 80\%$*

*L'immagine è ottenuta dal cumulative dei centroidi delle tracce selezionate*

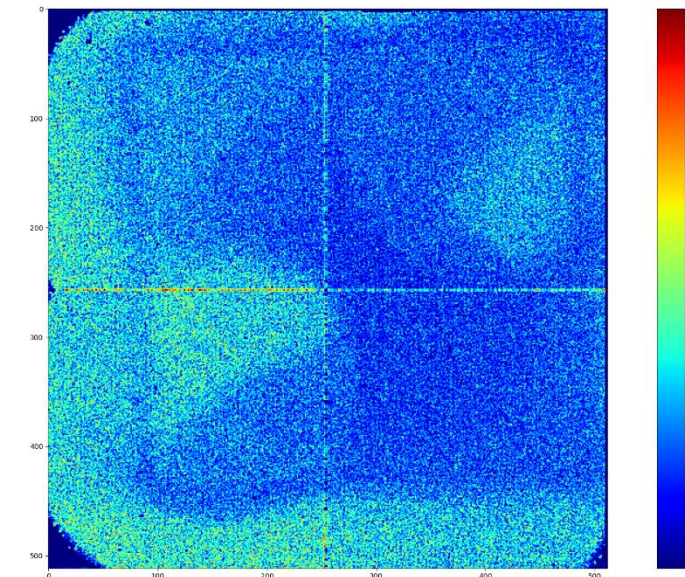
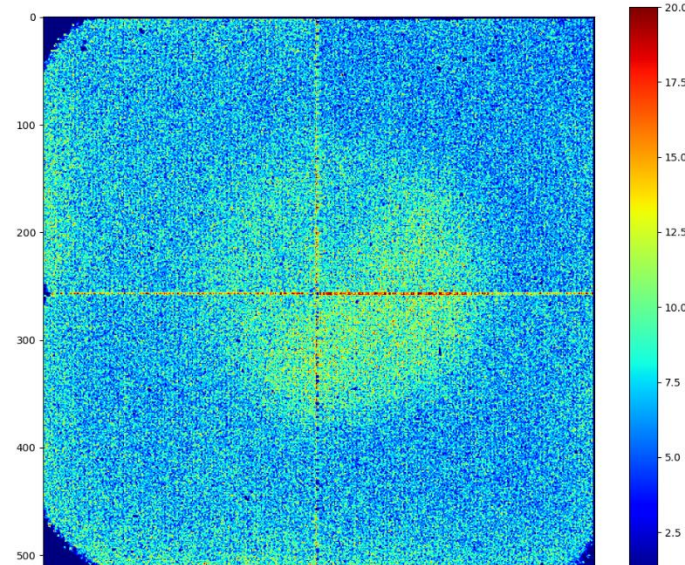
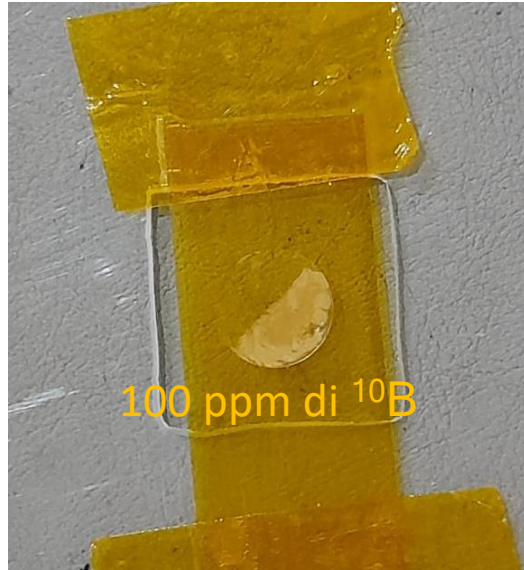
*Rispetto alle prime misure effettuate col QUAD Timepix1, l'imaging del campione è notevolmente migliorata. (Tempo di irraggiamento 15 min)*



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

Aprile 2024

campioni biologici (pappine fegato spesse 60  $\mu\text{m}$ )



*Parametri identificazione tracce:*

*$2 < \text{cluster size} < 30$*

*$500 < \text{ToT volume} < 5000$  (energia  $> 0.8 \text{ MeV}$ )*

*$75 < \text{cluster height} < 1200$*

*$60\% < \text{Roundness} < 90\%$*

*In questo modo si sono selezionate energie delle alfa superiori a 0.8 MeV.*

*Le seguenti immagini si sono ottenute con irraggiamenti di circa 1 ora.*

*Sono chiaramente evidenti le aree corrispondenti ai campioni biologici.*

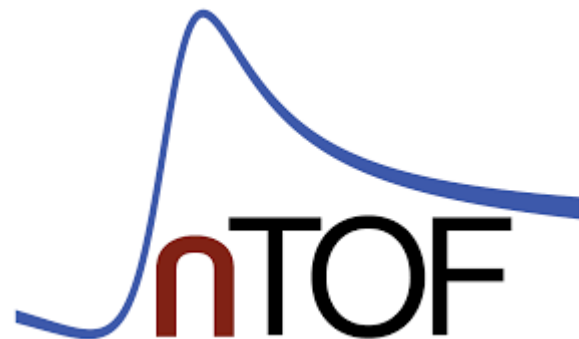
*Con le prossime analisi si potrà effettuare anche una stima della concentrazione di  $^{10}\text{B}$ .*

## Conclusioni

- ✓ Il GEMpix acquisisce in frame mode e, per evitare la saturazione del ToT, la finestra temporale è stata limitata a 100  $\mu$ s. Quindi le misure si sono limitate ad intervalli con limite inferiore di circa 10 keV e limite superiore variabile tra 1 e 20 MeV.
- ✓ L'esplorazione di energie più alte diventa più complicata a causa dall'apertura di altri canali di reazione che determinano una elevata sovrapposizione di tracce.
- ✓ Nonostante questi limiti, il GEMpix ha dimostrato le sue potenzialità nell'identificazione dei prodotti carichi di reazione in particole protoni, alfa e ioni. In questo ultimo caso, riesce ad identificare anche alcuni ioni. Questo è stato dimostrato sia nel caso del bersaglio di carbonio (fuori dalla regione attiva) sia nel caso del bersaglio di Allumina ( $Al_2O_3$ ).
- ✓ Nel caso del bersaglio di Carbonio, la misura è fortemente influenzata dalla presenza della finestra di mylar del camera che produce protoni ed alfa. Nel caso dell'Allumina, le misure sono più affidabili ma, avendo acquisito pochi run, la statistica è più bassa.
- ✓ Le misure effettuate presso il LENA di Pavia hanno fornito risultati incoraggianti per la misura della concentrazione di  $^{10}B$  su campioni biologici fino a valori dell'ordine di 50 ppm. I risultati attuali mostrano un notevole miglioramento rispetto al precedente QUAD TPX1.
- ✓ Inoltre le misure al LENA hanno consentito anche di testare il QUAD TPX3 fornendo utili indicazioni sul flusso di dati gestibile in modalità data-driven in acquisizione simultanea di ToT e ToA.

## *Attività previste entro la fine del 2024*

- Allineamento fascio in EAR1 e EAR2 con QUAD Timepix1 e test con QUAD Timepix3 nel DUMP (giugno).
- Al fine di completare l'analisi del GEMpix, oltre alle misure di laboratorio, si farà un test presso la sorgente di neutroni termici HOTNES con campioni di LiF e B<sub>4</sub>C (fine giugno e luglio).
- La settimana scorsa è arrivato il nuovo QUAD Timepix3 da 500  $\mu\text{m}$ . Verrà caratterizzato in laboratorio in vista delle misure previste ad Ottobre (luglio e settembre).
- La realizzazione del nuovo GEMpix3 si prevede per la fine dell'anno. La realizzazione della scheda con QUAD ASIC Timepix3 necessita di una prima fase di progettazione che richiederà più tempo del previsto.
- Per Ottobre si prevede l'installazione del GEMpix (con bersagli interni) e del nuovo QUAD Timepix3.
- I risultati di Pavia verranno presentati alla conferenza ICNCT20 (24 – 28 Giugno), a valle di questa si valuterà una eventuale ulteriore test presso il LENA entro la fine dell'anno.



***GRAZIE PER L'ATTENZIONE!!!***