

Development of a compact neutron collimator for imaging techniques within the ANET project

E. Mafucci on behalf of ANET Collaboration



CONTENUTI:

- 1. *Sezione introduttiva sulle tecniche di imaging neutronico***
- 2. *Progetto ANET***
- 3. *Campagna di misure a INES (Rutherford Appleton Laboratory)***
- 4. *Analisi dati del prototipo di ANET***
- 5. *Conclusioni***

PERCHE' LA NEUTROGRAFIA?

X ray radiography



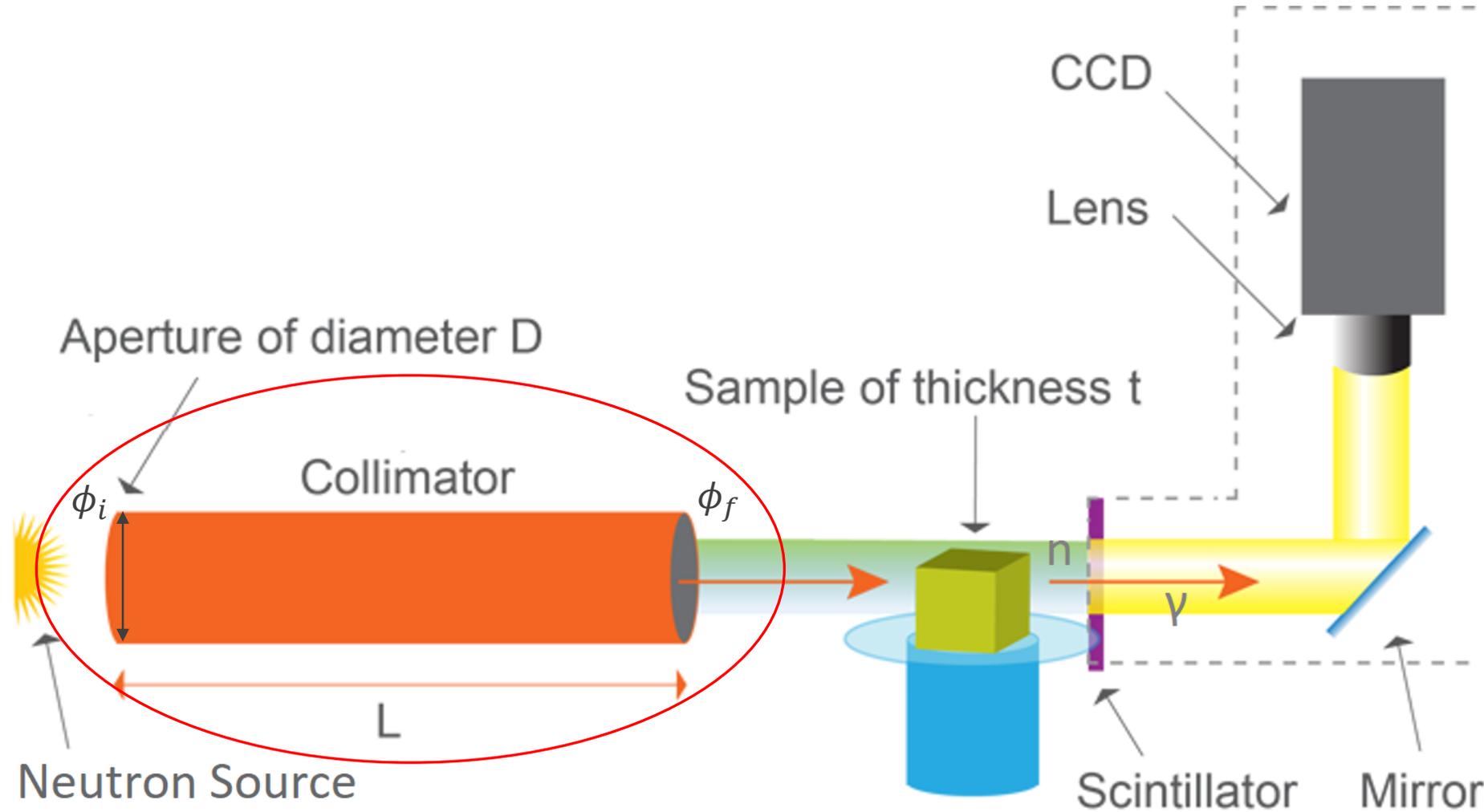
Neutron Imaging



La neutrografia ha permesso di valutare l'originalità di alcune statue sacre di Buddah (analisi svolte dal PSI Institut).

Le statue originali presentano una pergamena nascosta all'interno del corpo metallico.

SETUP PER IMAGING NEUTRONICO





COLLIMATORE

Il rapporto L/D è un parametro tipico che definisce la capacità di collimazione dello strumento:

$$\frac{L}{D} > 100$$

Il parametro L/D quantifica :

- $r \propto \frac{1}{L/D} \rightarrow$ risoluzione spaziale

- $p \propto \frac{1}{L/D} \rightarrow$ penombra

- $\frac{\phi_f}{\phi_i} \propto \frac{1}{L^2} \rightarrow$ attenuazione

Collimatore:

L = Lunghezza
D = Apertura

In genere i valori di D sono dell'ordine di 5-10 cm, collimatori standard lunghi almeno 5 -10m.

Il flusso risulta notevolmente attenuato \rightarrow richiesti ϕ_i molto elevati.



CONTENUTI:

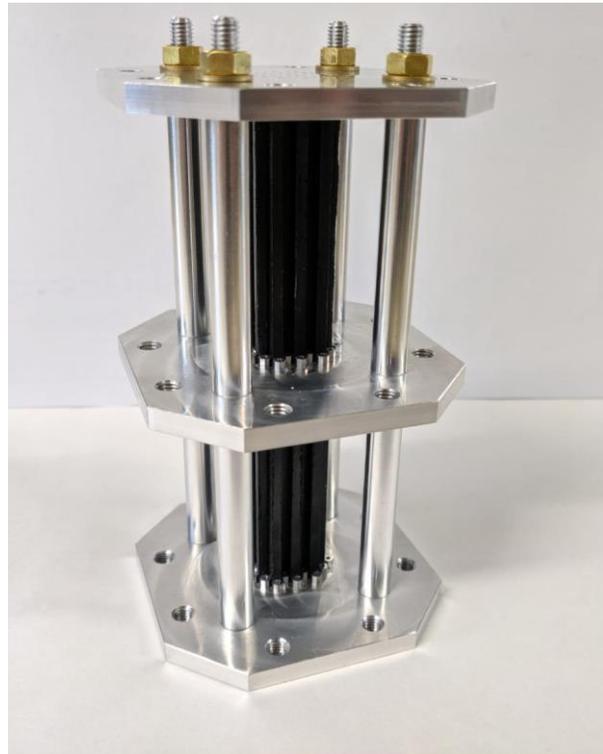
- 1. *Sezione introduttiva sulle tecniche di imaging neutronico***
- 2. *Progetto ANET***
- 3. *Campagna di misure a INES (Rutherford Appleton Laboratory)***
- 4. *Analisi dati del prototipo di ANET***
- 5. *Conclusioni***

Costruzione di un collimatore compatto per neutroni termici.

- $L/D = 160$
- $L \cong 40 \text{ cm}$

Come funziona?

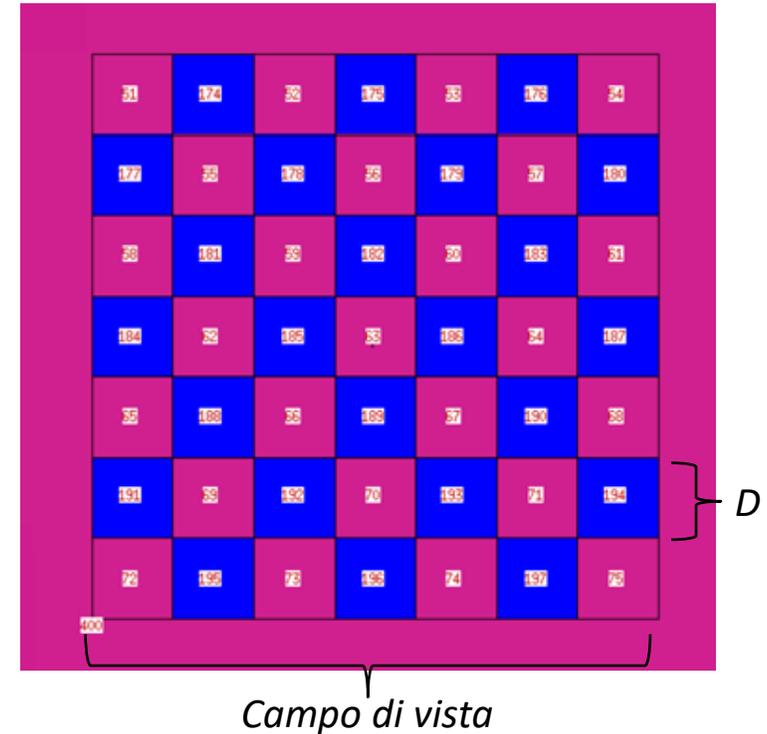
1. Geometria multicanale
2. Disaccoppiamento Campo di Vista – D
3. Materiale assorbitore di neutroni (PLA + B_4C)
4. Movimentazione relativa collimatore-oggetto



Prototipo sviluppato.
 $1.7 \text{ cm} \times 1.7 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}.$
 $L/D = 40$

Impatto:

- L basso significa attenuazione minore
- Accesso all'imaging per sorgenti non da reattore
- Sistema "portatile" (accoppiato a sorgenti di fusione)
- Geometria scalabile





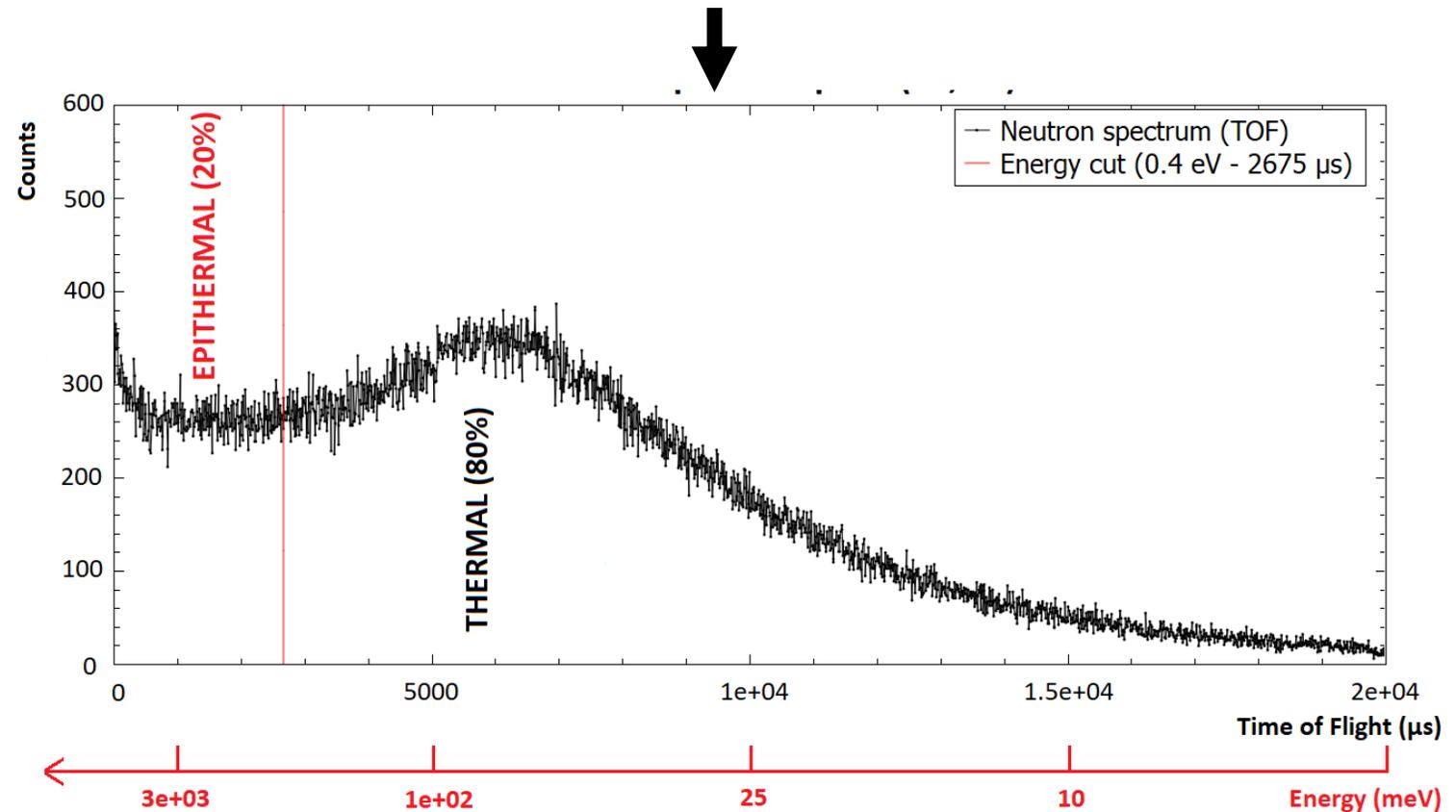
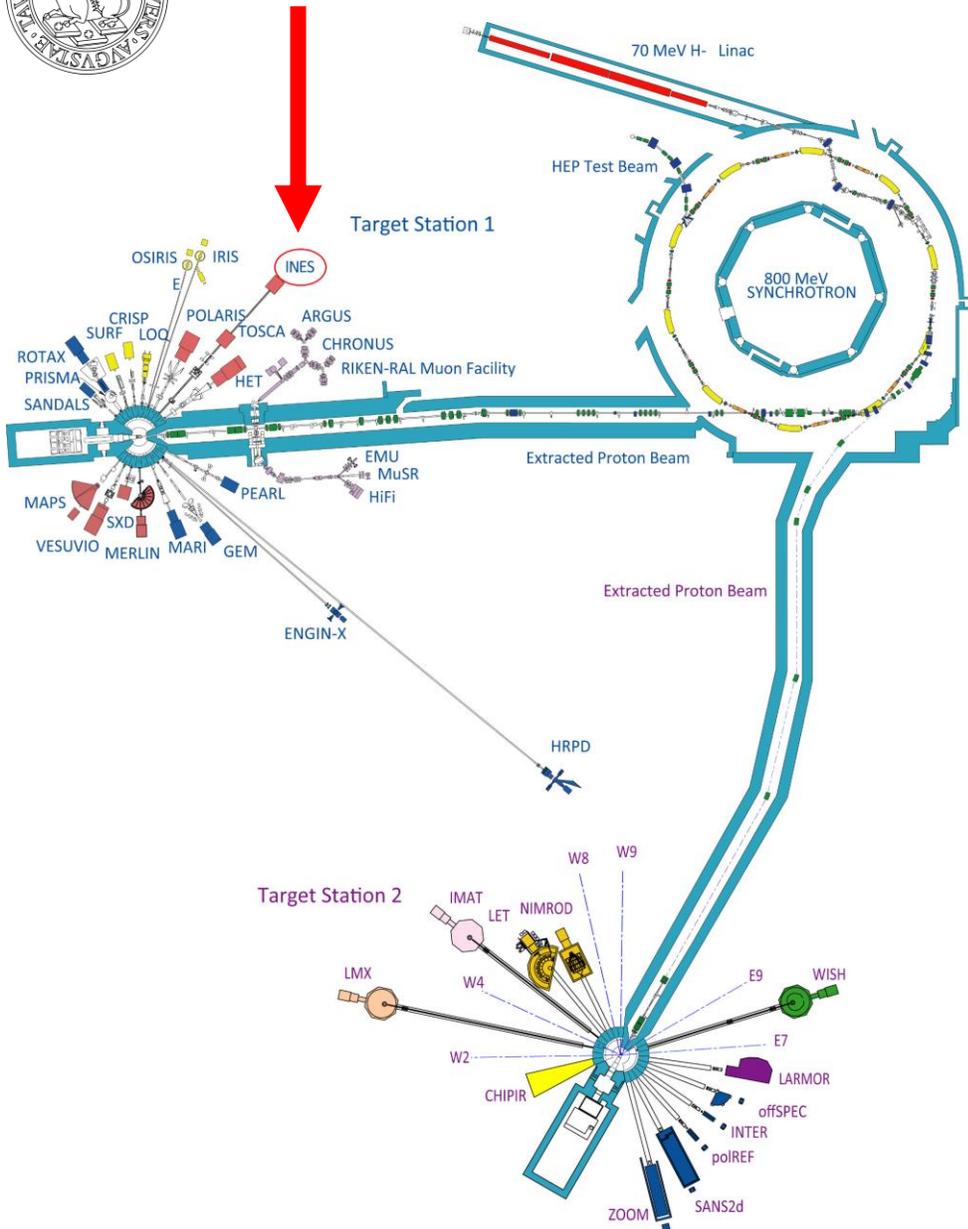
CONTENUTI:

- 1. Sezione introduttiva sui neutroni e sulle tecniche di imaging neutronico**
- 2. Progetto ANET**
- 3. Simulazioni MC utilizzando MCNP**
- 4. Campagna di misure a INES (Rutherford Appleton Laboratory)**
- 5. Analisi dati del prototipo di ANET**
- 6. Conclusioni**



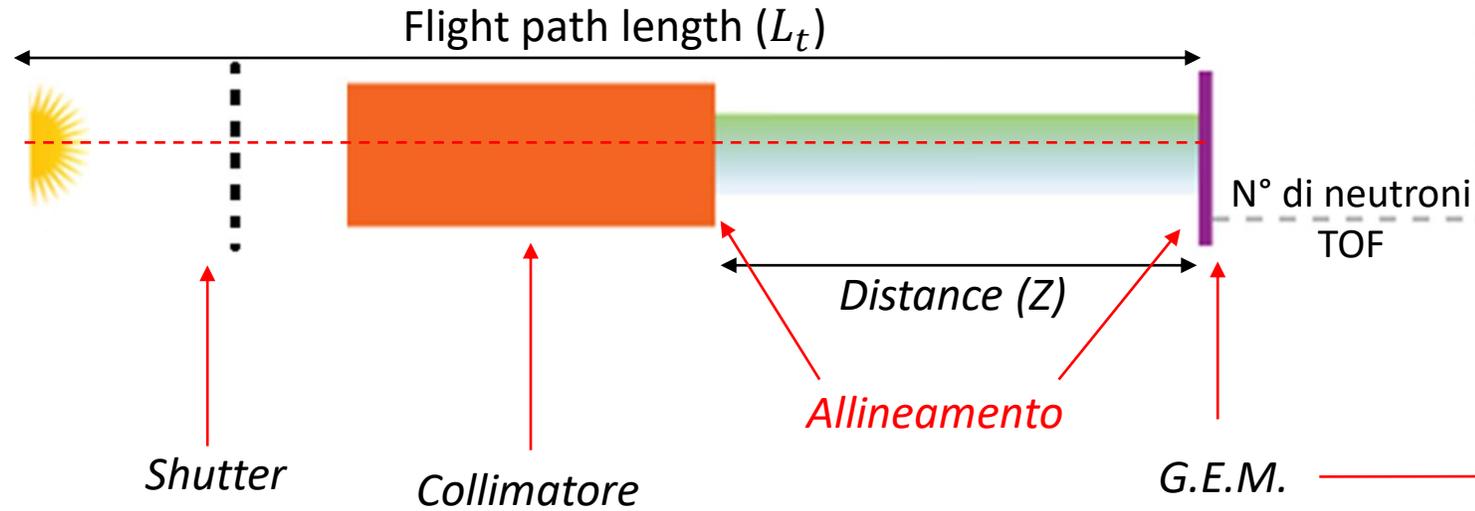
LA FACILITY DI INES (ISIS)

- ISIS è una sorgente di spallazione che usa protoni da 800 MeV per produrre circa $2 \cdot 10^{16}$ n/s sul target;
- La campagna di misure si è svolta dal 27 al 30 Novembre 2019.
- **A INES un moderatore a temperatura ambiente garantisce uno spettro piccato a circa 30 meV e decrescente come E^{-a} ($a=0.9$) nel range epitermico;**

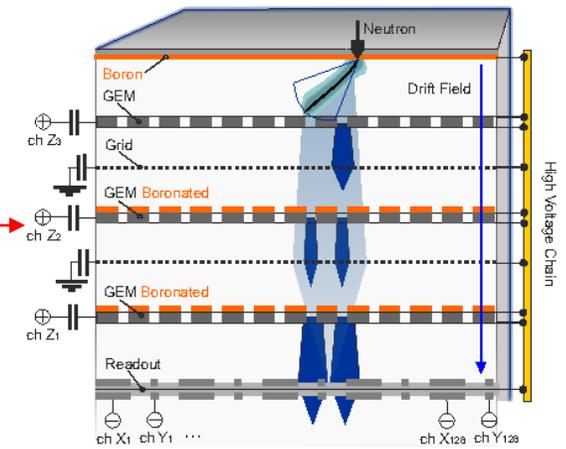




SETUP DELLA MISURA

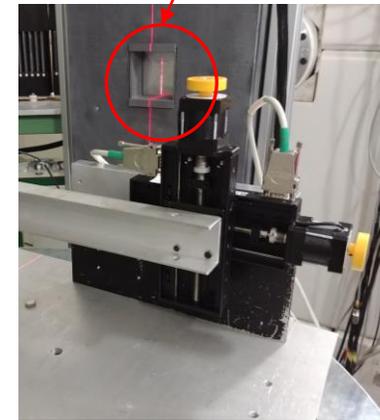
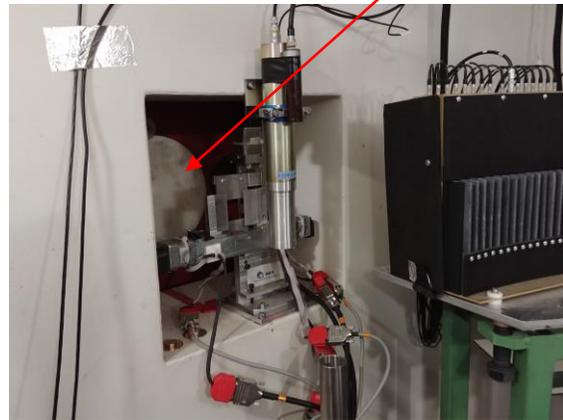


Mantid Software



GEM pixelata per neutroni:

- **Risoluzione spaziale 0.8 mm**
- **Risoluzione temporale 10 μ s**
- 128x128 pixel (10 cm x 10 cm)





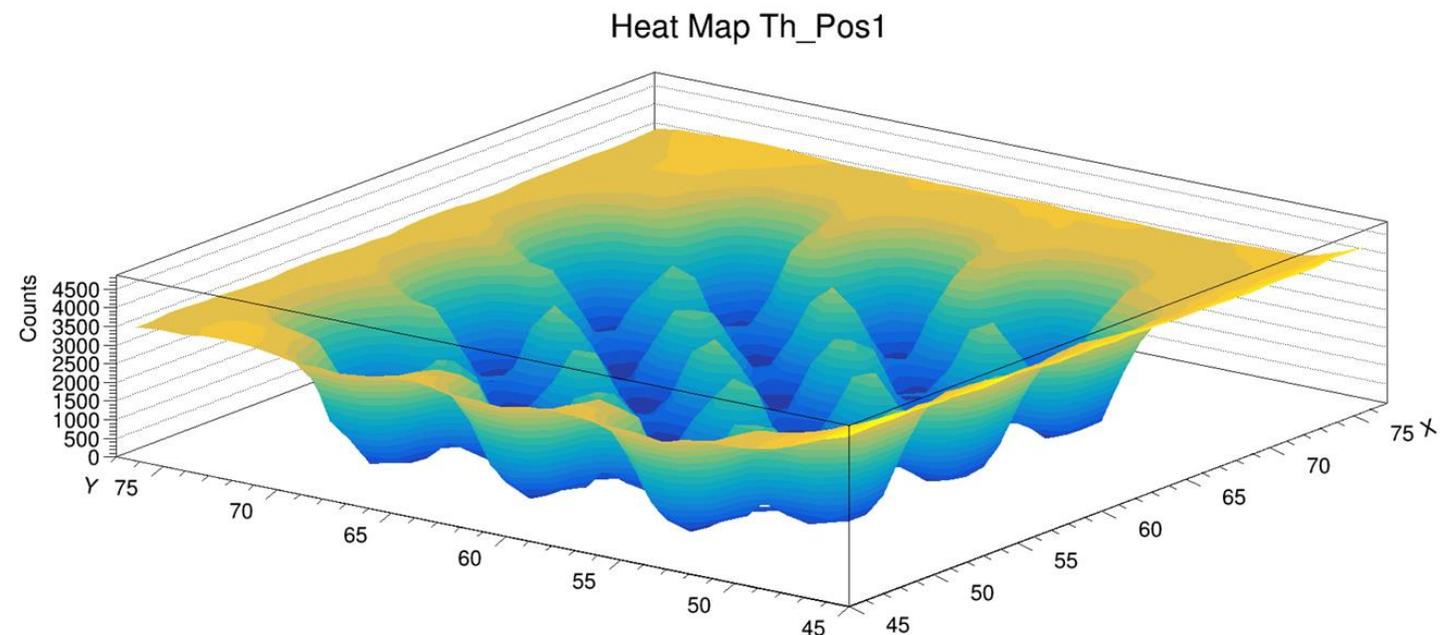
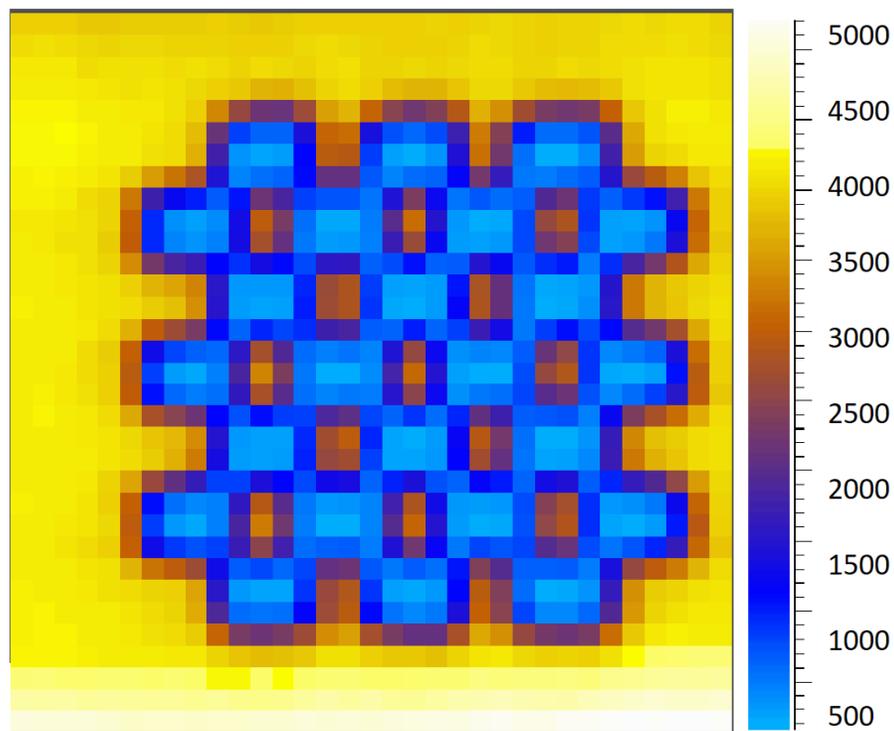
CONTENUTI:

- 1. Sezione introduttiva sui neutroni e sulle tecniche di imaging neutronico**
- 2. Progetto ANET**
- 3. Simulazioni MC utilizzando MCNP**
- 4. Campagna di misure a INES (Rutherford Appleton Laboratory)**
- 5. Analisi dati del prototipo di ANET**
- 6. Conclusioni**

È riportato il risultato normalizzato per la posizione a $Z = 145$ mm.

A sinistra la Heat Map ottenuta con Mantid, a destra il grafico 3D ottenuto con Root.

La struttura del collimatore è ben visibile. Le regioni blu (Cold) si trovano in corrispondenza dei canali di materiale assorbente, le regioni gialle (Hot) si trovano in corrispondenza dei canali d'aria.

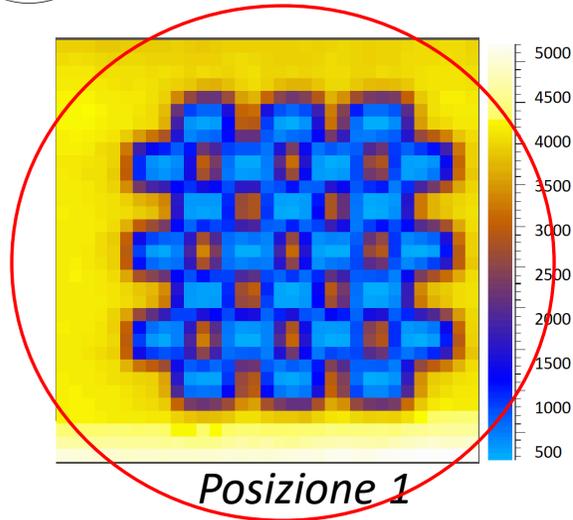


La posizione 45-45 corrisponde all'angolo in basso a destra della mappa di Mantid. I bin hanno larghezza 1 pixel (0.8 mm).

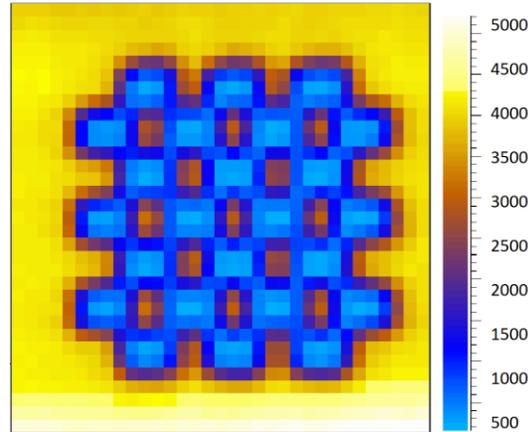


TUTTE LE POSIZIONI

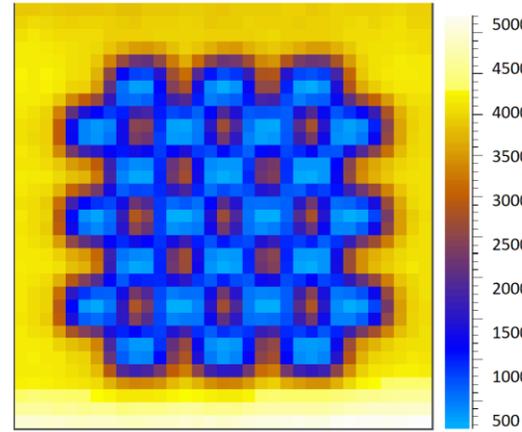
Riferimento



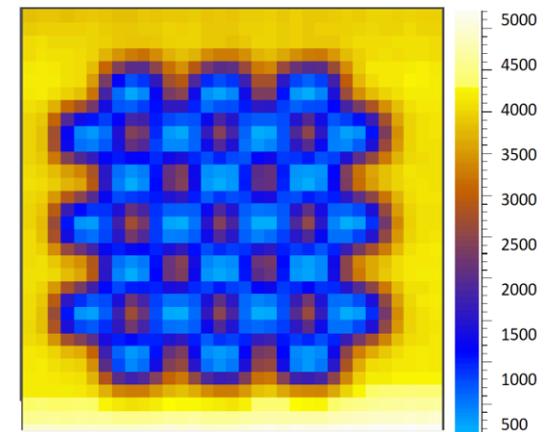
Posizione 1
Z = 145 mm



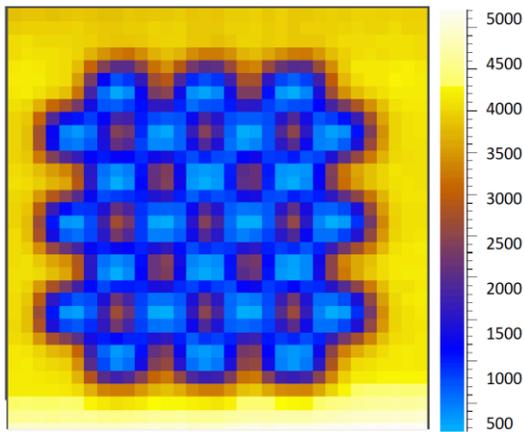
Posizione 2
Z = 200 mm



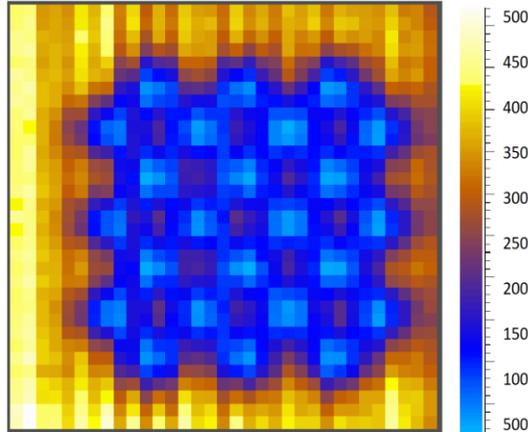
Posizione 3
Z = 260 mm



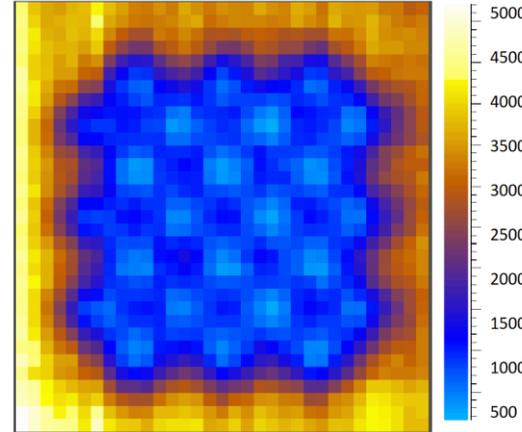
Posizione 4
Z = 320 mm



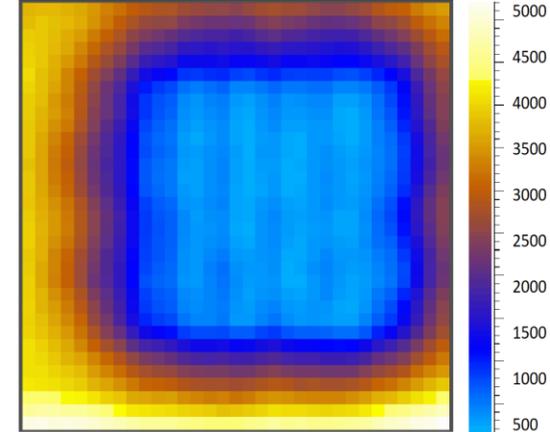
Posizione 5
Z = 370 mm



Posizione 6
Z = 495 mm



Posizione 8
Z = 745 mm

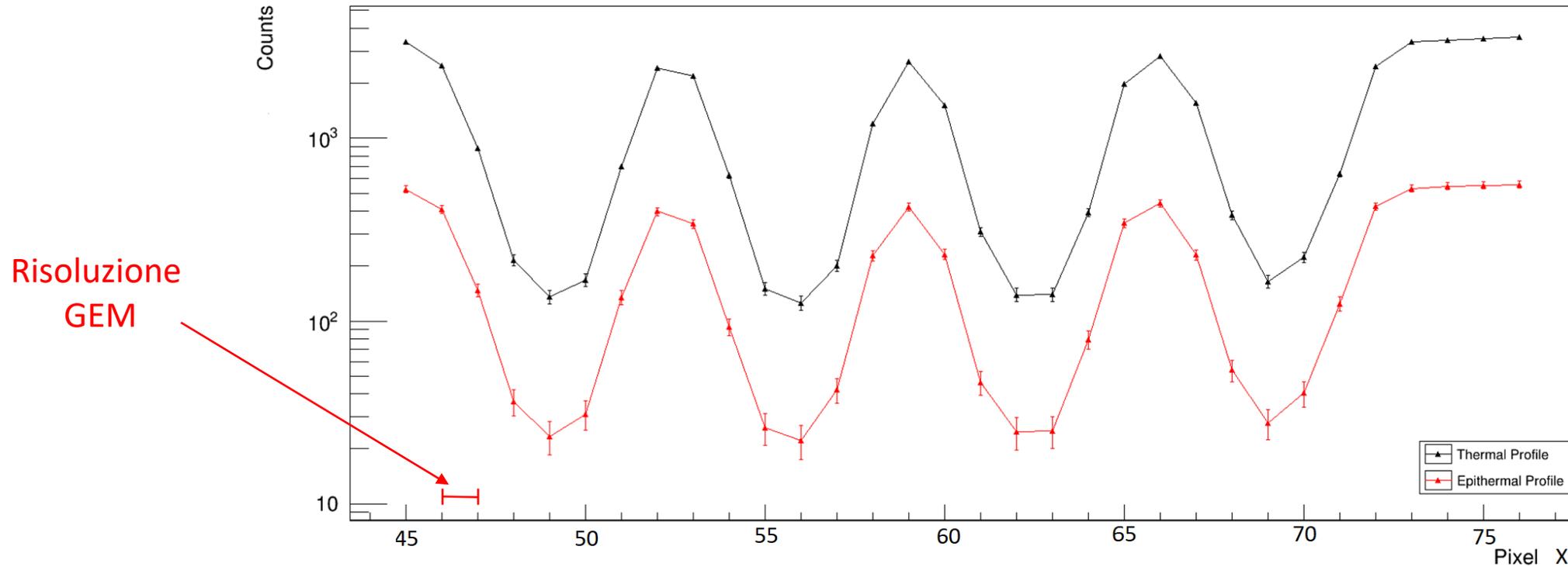


Posizione 9
Z = 775 mm

Il seguente grafico mostra l'andamento dei conteggi in funzione del numero del pixel della riga centrale per la posizione 1.

Come si nota la forma dei profili è molto simile, indice del fatto che il collimatore lavora bene anche nell'epitermico.

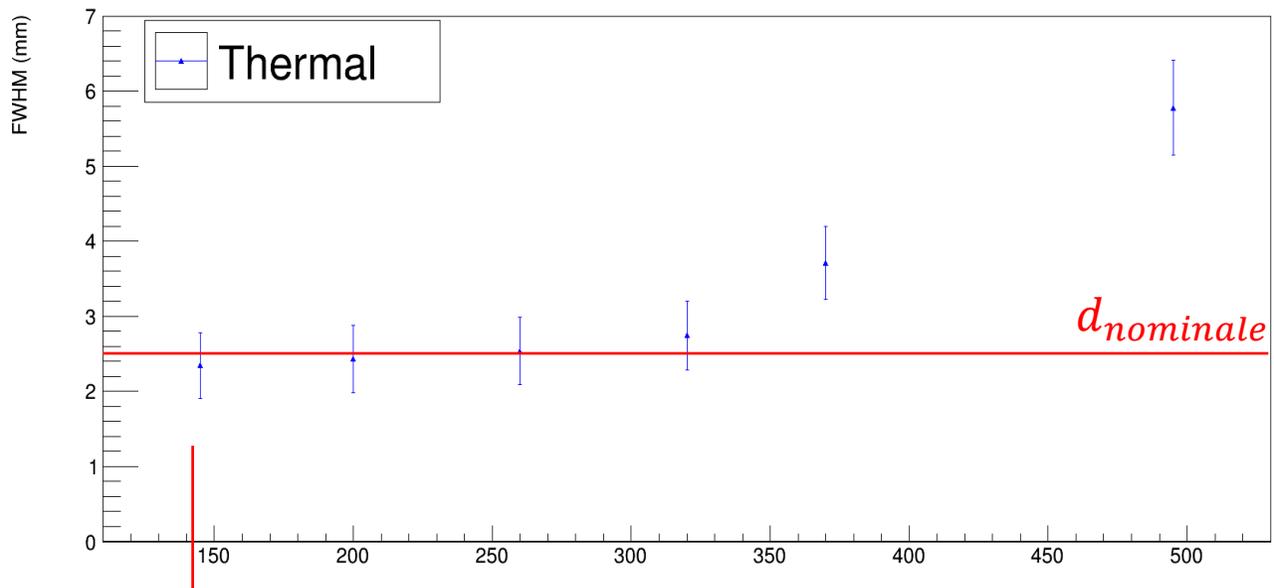
Comparison Thermal-Epithermal profile



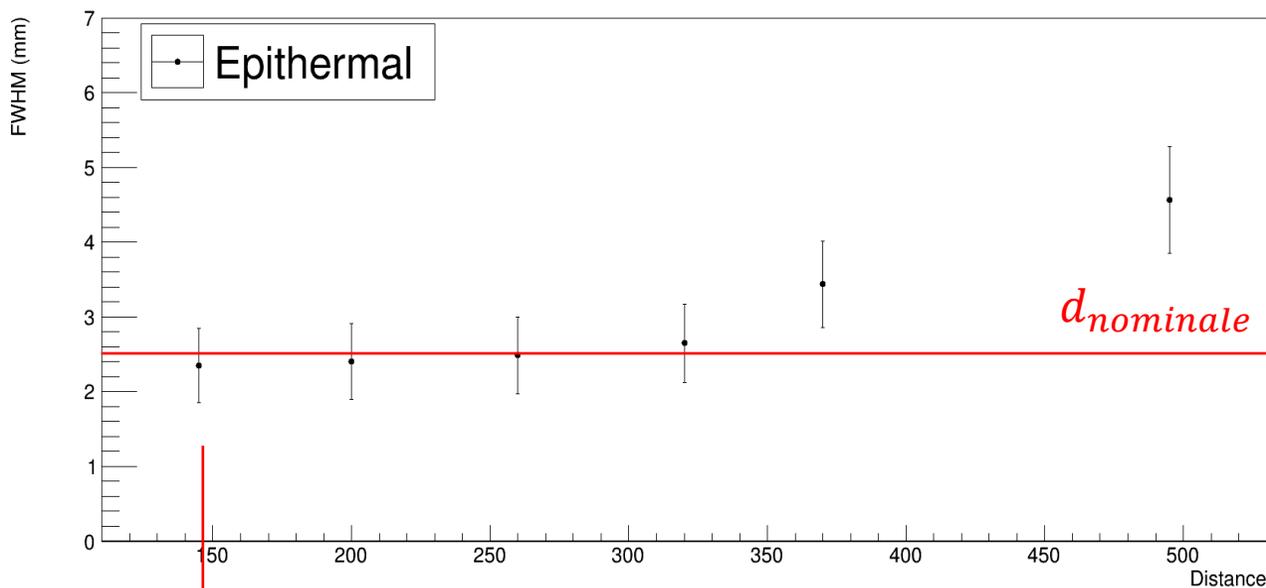
Profilo riga centrale posizione 1 (Z = 145 mm)



RICOSTRUZIONE DELLA GEOMETRIA



Posizione 1 $\longrightarrow d_{th} = (2.34 \pm 0.40) \text{ mm}$



Posizione 1 $\longrightarrow d_{epi} = (2.34 \pm 0.41) \text{ mm}$

$$d_{nominale} = (2.50 \pm 0.05) \text{ mm}$$

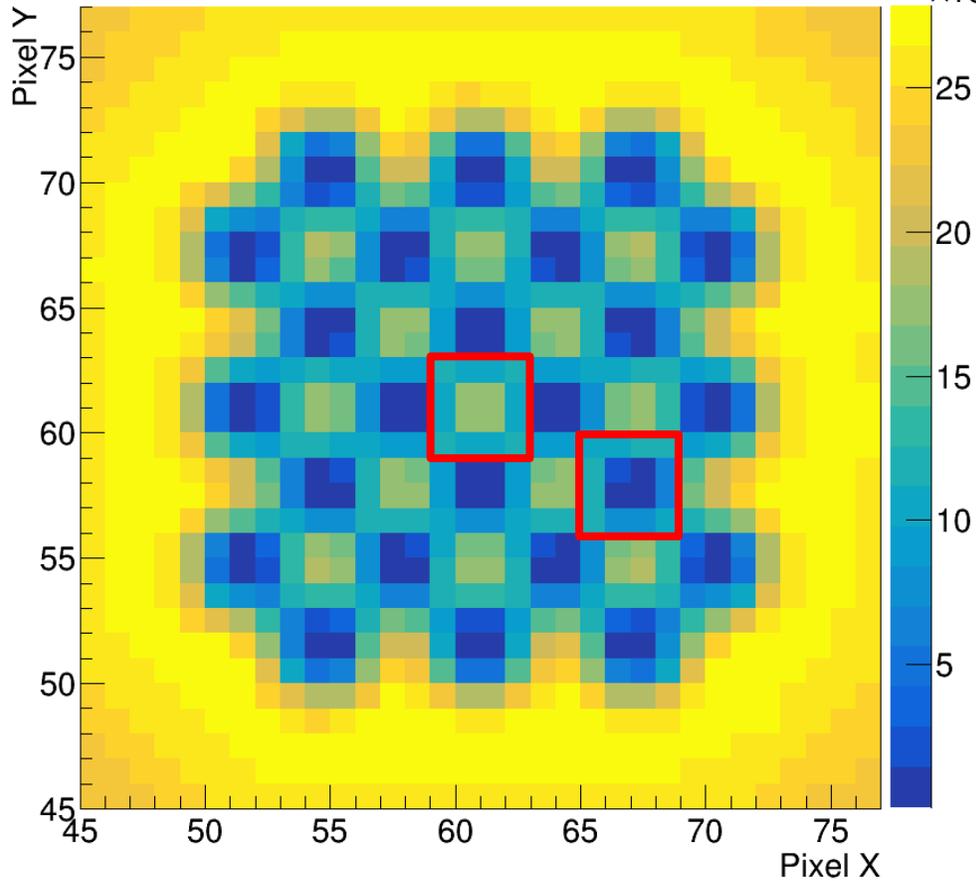
L'immagine ottenuta coi neutroni corrisponde all'immagine ottica, sia nel range termico che epitermico

La geometria del collimatore è stata ricostruita in maniera ottima fino a un valore di distanza di circa 300 mm.

Thermal Heat Map (MCNP6)

Counts (A.U.)

$\times 10^{-3}$



Schema per la posizione 1 (Z = 145 mm).

La regione di bordo non è stata considerata per via delle incertezze sistematiche.

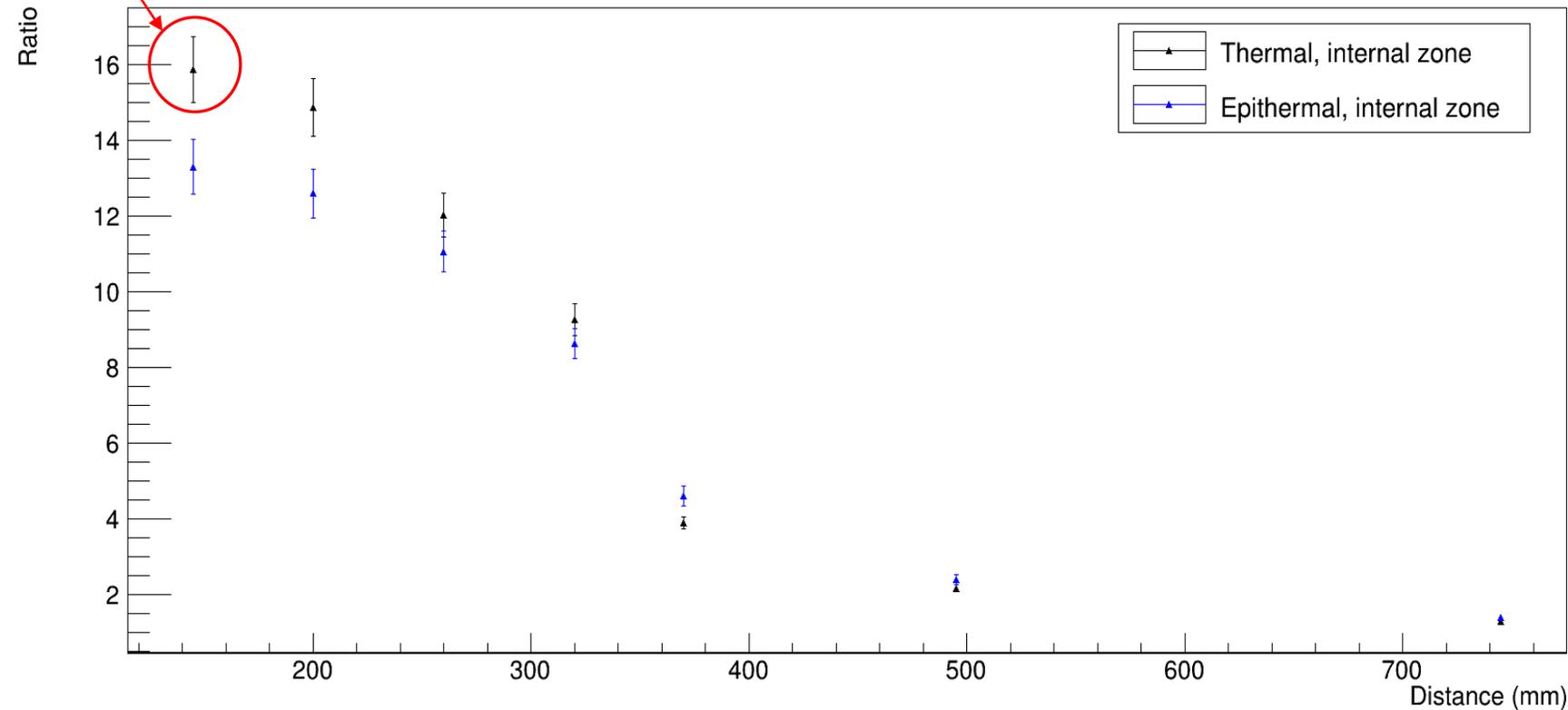
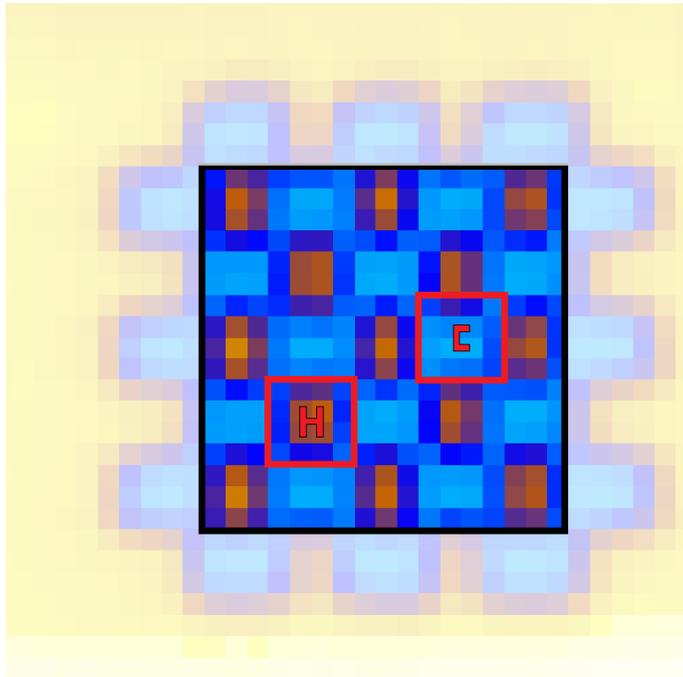
1. Sono state definite aree di 4x4 pixel in cui cercare il pixel coi conteggi massimi o minimi;
2. È stato fissato un criterio statistico per stabilire quali pixel potessero essere considerati facenti parte della stessa regioni di conteggi;
3. È stata calcolata la media dei conteggi selezionati per ogni regione;
4. È stata calcolata la media globale di tutte le regioni fiduciali ad alto conteggio (\bar{H}_t) e basso conteggio (\bar{L}_t);
5. La performance del collimatore è stimata come:

$$R_1^{sim} = \frac{\bar{H}_t}{\bar{L}_t} \Big|_{POS_1} = (18.1 \pm 1.1)$$

VALUTAZIONE DELLA COLLIMAZIONE (DATI)

$$R_1^{th} = (15.9 \pm 1.0) \quad \rightarrow \quad R_1^{sim} = (18.1 \pm 1.1)$$

Buon accordo tra le misure ottenute e la simulazione svolta. La *milestone* per il progetto ANET è stata raggiunta.



Come si nota la performance diminuisce all'aumentare della distanza. Questo a causa di fenomeni di scattering. La diminuzione per la componente termica è maggiore, la componente epitermica tende a rimanere più direzionata.



CONCLUSIONI

Il collimatore prototipo del progetto ANET è stato studiato con simulazioni MC e tramite l'analisi dei dati raccolti alla facility di INES.

Ottimo accordo tra la ricostruzione dell'immagine (d_r) e le dimensioni reali (d_n):

$$d_n = (2.50 \pm 0.05) \text{ mm}$$

$$d_r = (2.34 \pm 0.41) \text{ mm}$$

Il collimatore può lavorare con neutroni sia termici che epitermici ($0.09 \text{ \AA} < \lambda < 0.45 \text{ \AA}$).

Buon accordo tra la performance di collimazione simulata e quella ricavata dalla GEM:

$$R_1^{sim} = (18.1 \pm 1.1)$$

$$R_1^{th} = (15.9 \pm 1.0)$$

Il materiale sviluppato dal gruppo ANET è validato.

Questi risultati sono molto promettenti nell'ottica dello sviluppo del collimatore finale attesa per Dicembre 2020.