



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



**ISTITUTO
SUPERIORE
DI SANITÀ**

Messa a punto di una gamma camera per imaging con fotoni di bremsstrahlung in ambito medico

Giulia Limiti

Roma
24 Settembre 2015

Obiettivi

Imaging della distribuzione di radiofarmaci β^- emettitori in piccoli animali:

- Attività ~ MBq → elevata efficienza di rivelazione
- Organi di dimensioni ridotte → risoluzione spaziale ~ mm

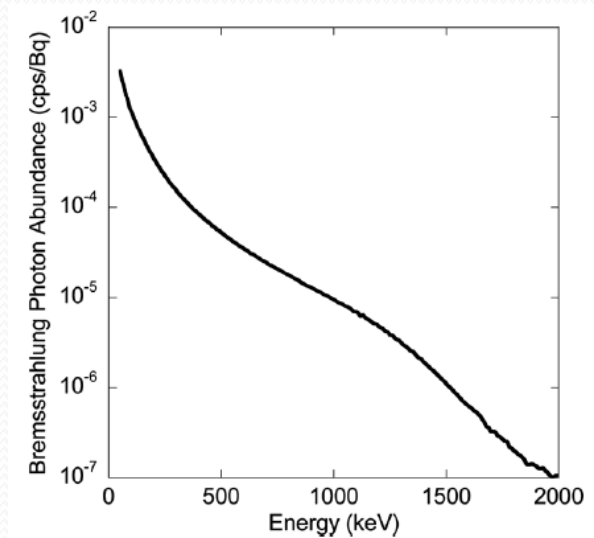
Imaging dell'attività somministrata localmente in pazienti sottoposti a radioterapia metabolica:

Radiofarmaco raggiunge il tessuto malato per via metabolica → emissione particelle β^- con energia $< 10\text{MeV}$ → rilascio di dose localizzato → massimo danno ai tessuti malati e minimo ai tessuti sani



IMAGING DIRETTO

- ❌ **elettroni** fermati da pochi mm di tessuto → possibile solo per tumori superficiali o con sonde chirurgiche
- ❌ **γ** hanno range sufficiente → possibile solo se radiofarmaco è anche γ o β^+ emettitore (^{131}I , ^{90}Y)



IMAGING INDIRETTO

- ❌ radiofarmaco + **isotopo γ emettitore** (^{111}In , $^{99\text{m}}\text{Tc}$) → poco accurato
- ✅ **BS** → promettente ma relativamente poco studiato. Problematiche:
 - spettro ampio e continuo
 - sezione d'urto di produzione piccola



Sviluppare strumenti di imaging dedicati
con elevate efficienza di rivelazione
e risoluzione spaziale

Principio di funzionamento di un sistema di imaging planare per BS

sorgente β^-



radiatore per **produzione** di radiazione di BS



collimatore per **selezione** della direzionalità della radiazione



sistema di **rivelazione** dei fotoni (cristallo + PMT + elettronica)



ricostruzione software dell'immagine proiettata con metodo del centroide

Messa a punto della gamma camera

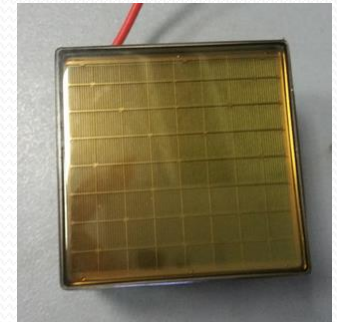
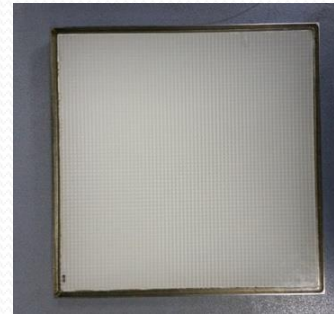
Adattamento di una gamma camera sviluppata per imaging
planare con ^{99m}Tc a misure con BS

Componenti hardware del sistema di rivelazione di fotoni

- Cristallo pixellato: NaI(Tl) 10x10cm² (66x66 pixel da 1.5x1.5mm²)
- 4 fotomoltiplicatori multianodici (8x8): Hamamatsu H8500 (HV = 900V)
- 4 carte front-end MAROC3: 256 canali con possibilità di trigger interno

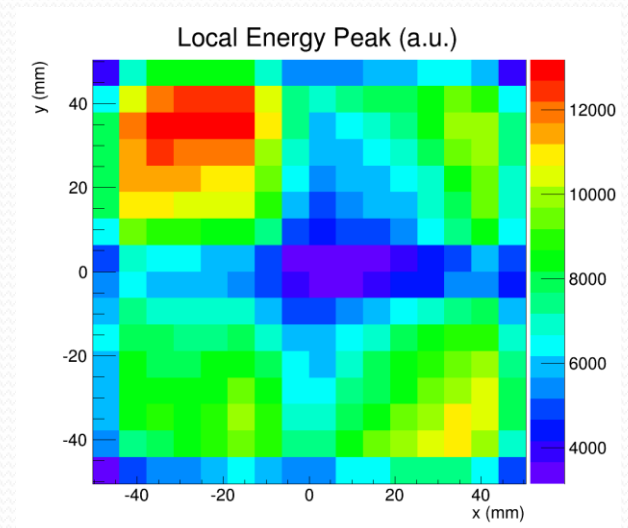
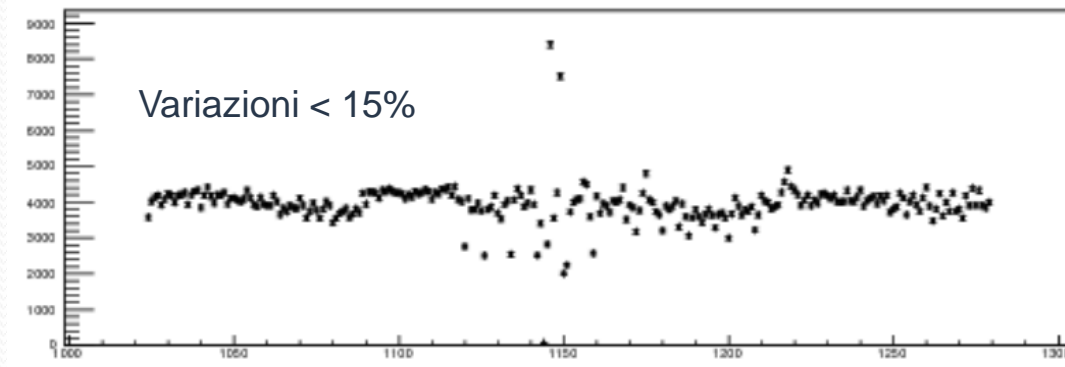
CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

- Compattezza e flessibilità
- Alta risoluzione spaziale
- Acquisizione in list-mode (di singolo evento di scintillazione con trigger interno)
- Lettura analogica a canali indipendenti
- Acquisizione di fotoni in finestre di energia tra 50 e 200KeV



Calibrazione del sistema con sorgente flood di fotoni (^{57}Co)

- Equalizzazione delle linee di trigger (uniformità del numero di hit dei canali)
- Equalizzazione delle linee di segnale (compatibilità degli spettri dei canali e quindi migliore risoluzione in energia dello spettro totale)
- Correzione degli effetti di non uniformità dell'immagine
- Applicazione di tagli locali in energia (selezione del fotopicco ottimizzata e quindi migliore risoluzione spaziale)



Ottimizzazione dei parametri di misura

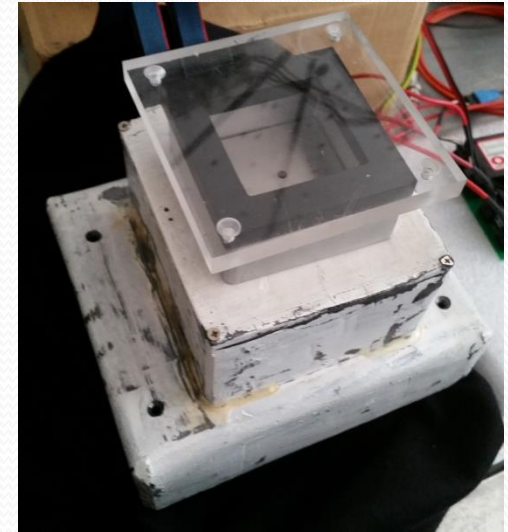
Acquisizione e ricostruzione di immagini planari con parametri di misura variabili:

- Radiatore: spessore variabile di Perspex (0, 1, 2 cm)
- Collimatore: pinhole in tungsteno con diametro variabile (0.3, 0.6, 1.2, 2.05 mm)
- Tagli in energia: larghezza ~ 50keV tra 75 e 200keV

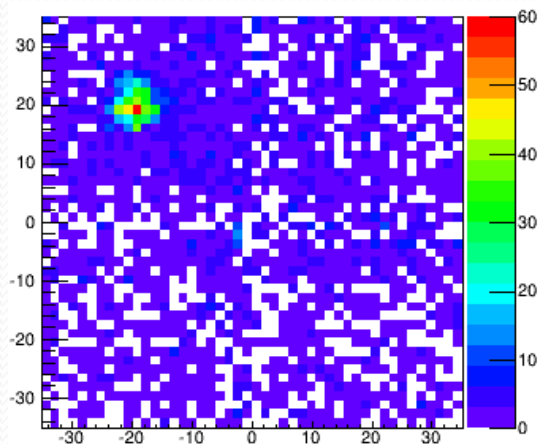
Parametri di misura fissi:

- Sorgente: ^{90}Sr quasi puntiforme, attività = 2.2MBq
- Distanza sorgente – radiatore = 0cm
- Distanza sorgente – collimatore = 4cm
- Distanza collimatore – rivelatore = 7cm

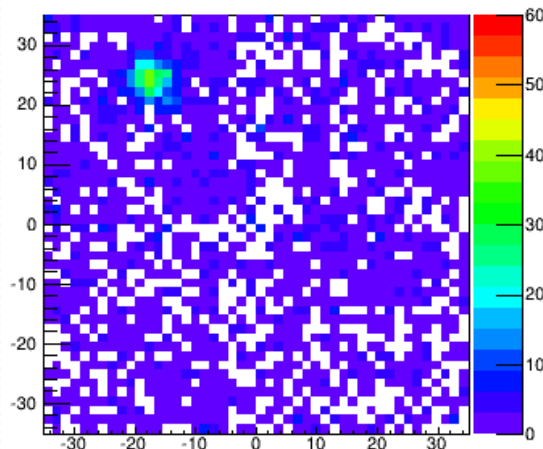
→ campo di vista ~ 3cm



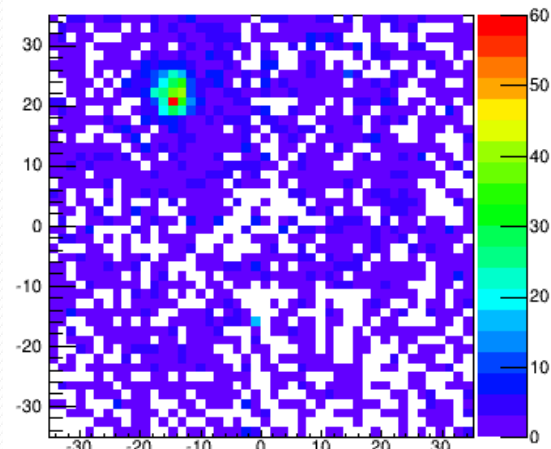
Taglio in energia ~ 100-150keV Pinhole: 2.05mm



0cm radiatore

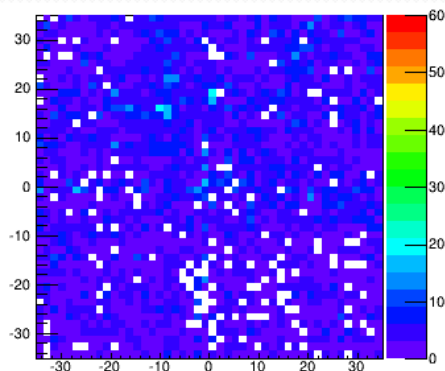


1cm radiatore



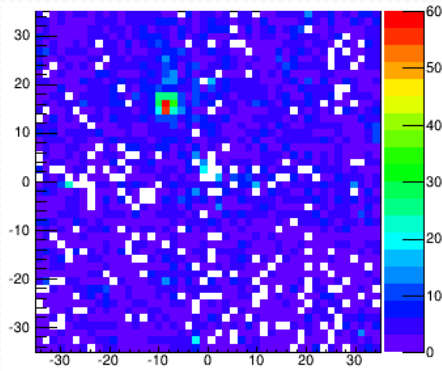
2cm radiatore

Taglio in energia ~ 100-150keV Radiatore: 1cm



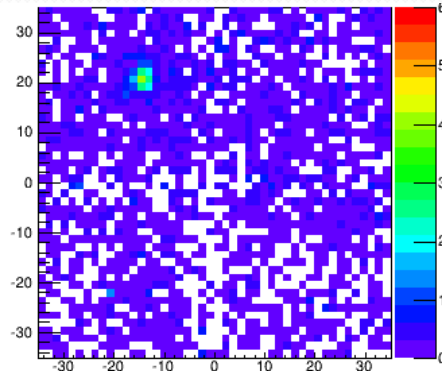
pinhole 0.3mm

t = 30min



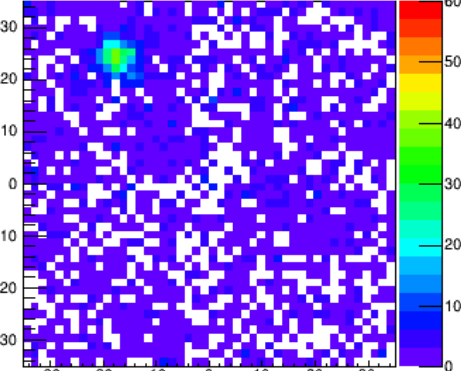
pinhole 0.6mm

t = 30min



pinhole 1.2mm

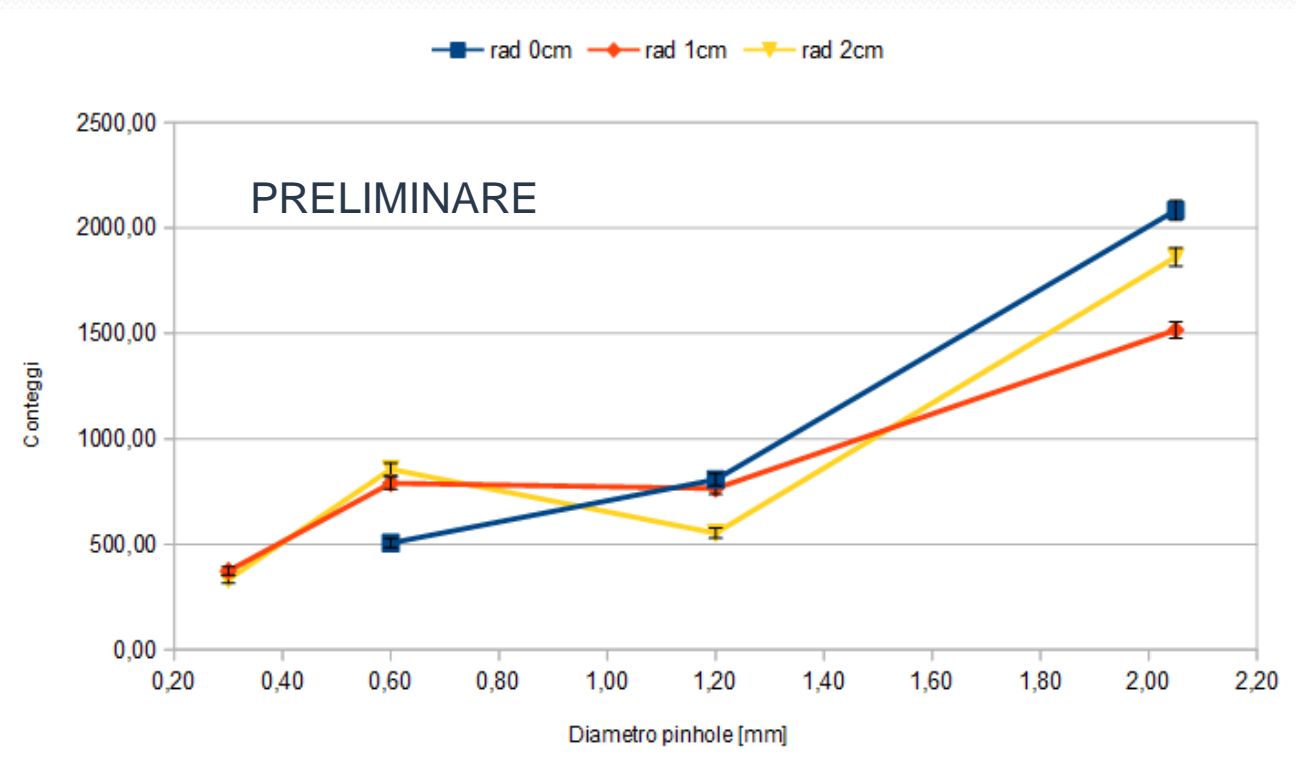
t = 15min



pinhole 2.05mm

t = 15min

Numero di conteggi al variare di radiatore e collimatore



Tempo di acquisizione: 30min
Rate di acquisizione ~ 330Hz
Taglio in energia ~ 100-150keV

Errori sistematici non valutati
No correzione di tempo morto

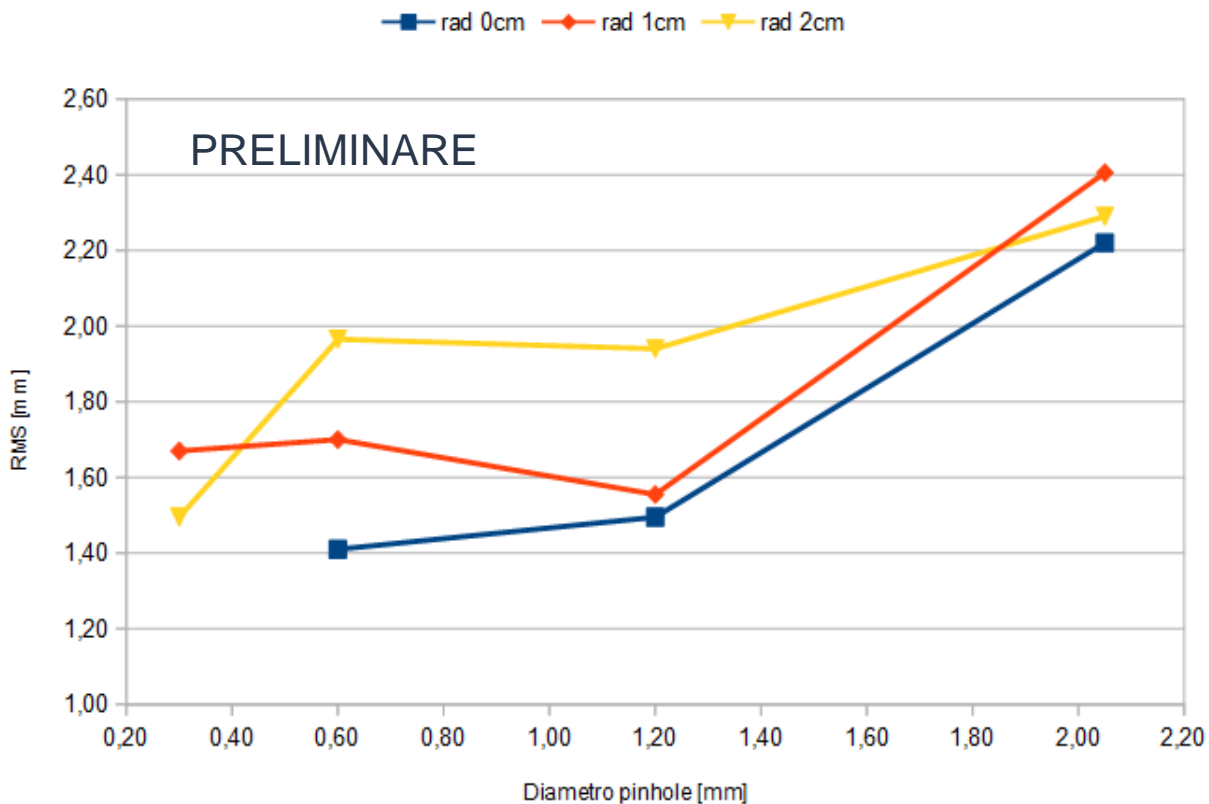
EFFETTI DEL COLLIMATORE

A parità di radiatore il numero di conteggi aumenta con il diametro del pinhole

EFFETTI DEL RADIATORE

- 0cm: elettroni
- 1cm: pochi elettroni + fotoni
- 2cm: fotoni

Risoluzione spaziale al variare di radiatore e collimatore



Tempo di acquisizione: 30min
Rate di acquisizione ~ 330Hz
Taglio in energia ~ 100-150keV

Errori sistematici non valutati
No correzione di tempo morto

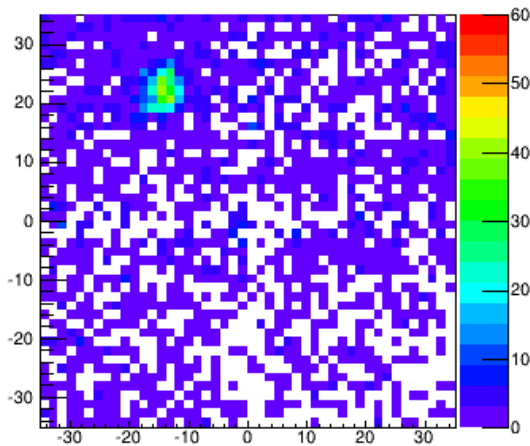
EFFETTI DEL COLLIMATORE

A parità di radiatore la risoluzione spaziale peggiora con il diametro del pinhole

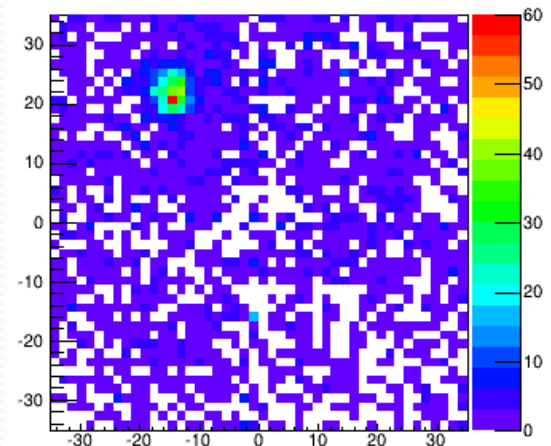
EFFETTI DEL RADIATORE

- elettroni → sorgente a distanza fissa
- fotoni → sorgente a distanza variabile

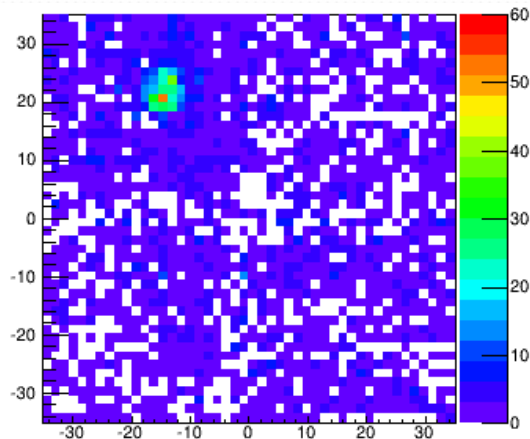
Pinhole: 2.05mm Radiatore: 2cm



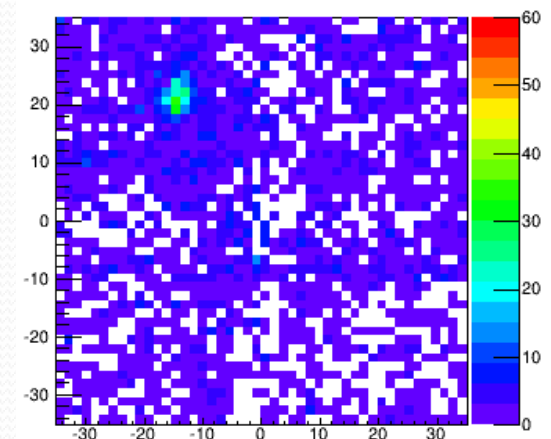
4000-6000 u.a.
~ 75-125keV



6000-8000 u.a.
~ 100-150keV



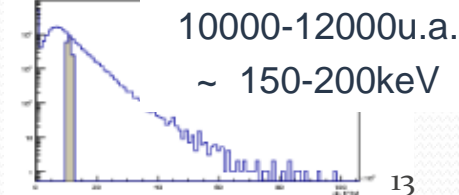
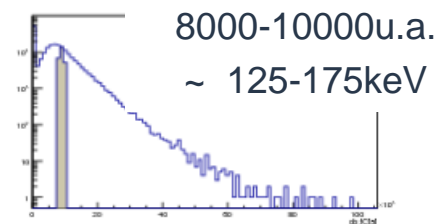
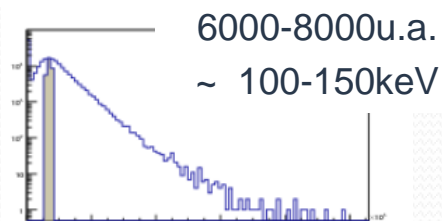
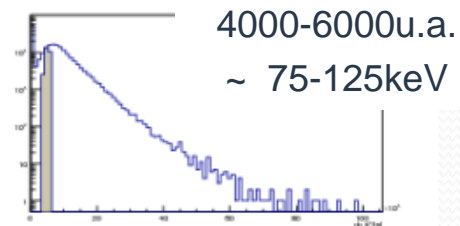
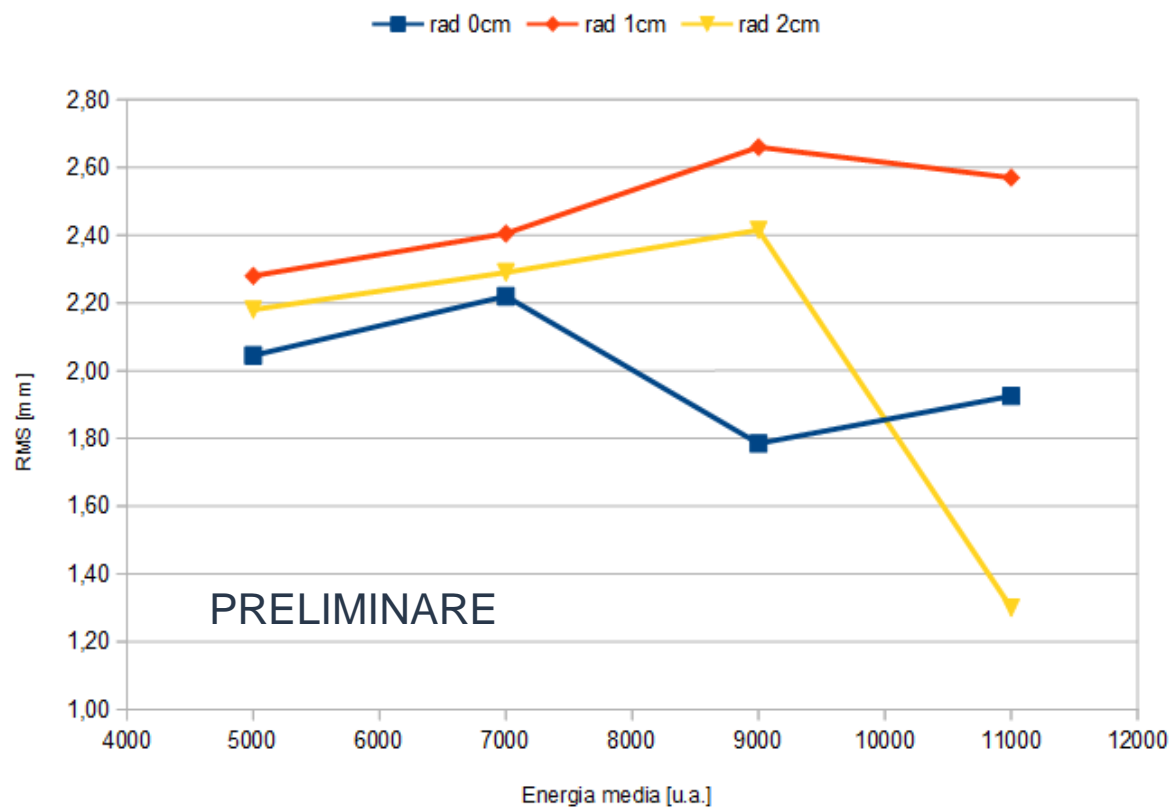
8000-10000 u.a.
~ 125-175keV



10000-12000 u.a.
~ 150-200keV

Risoluzione spaziale al variare del taglio in energia

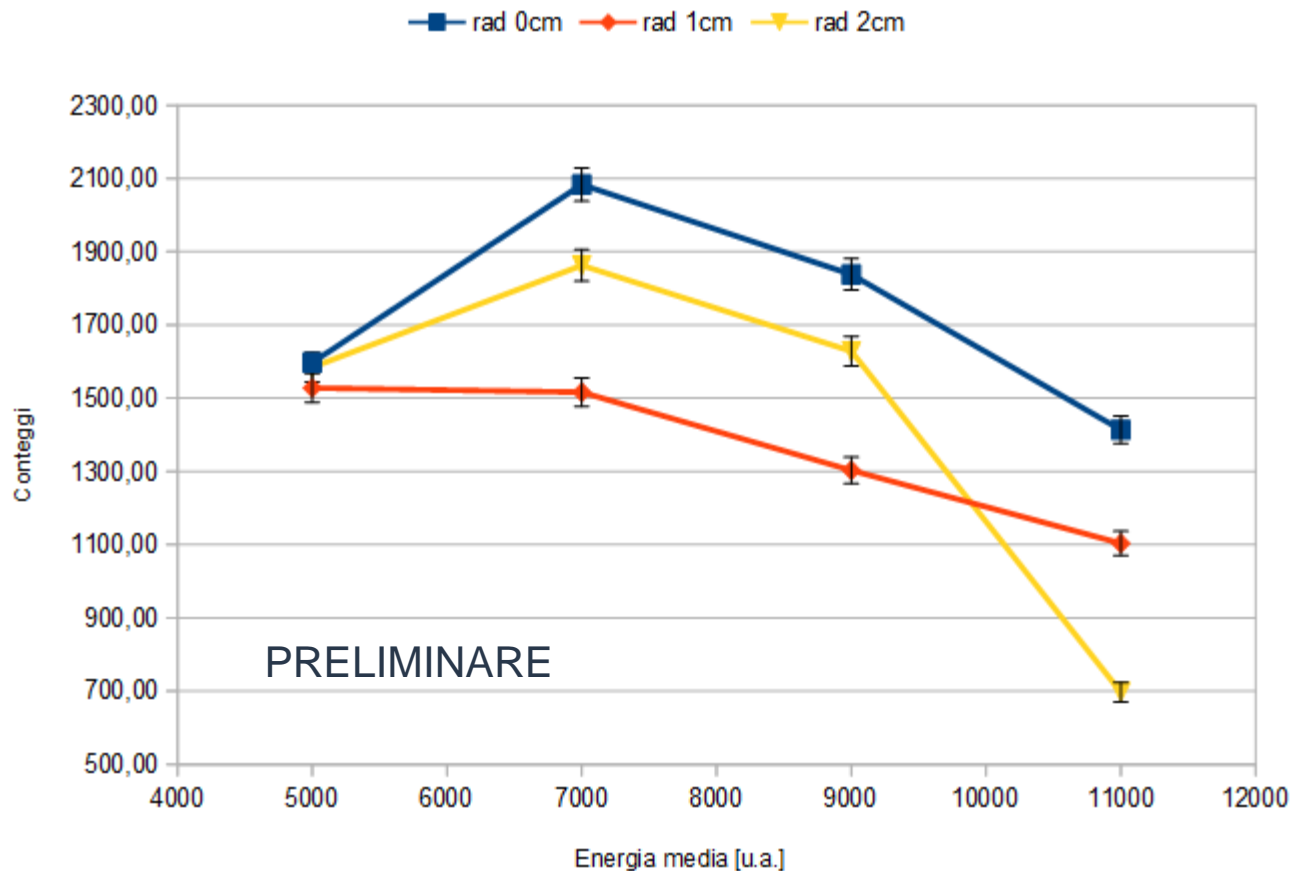
Tempo di acquisizione: 30min
Rate di acquisizione ~ 330Hz
Diametro pinhole: 2.05mm



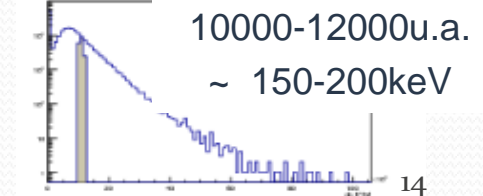
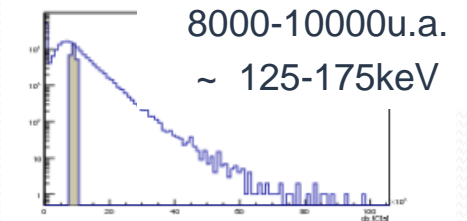
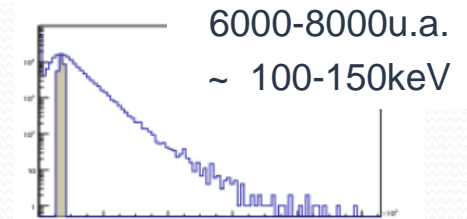
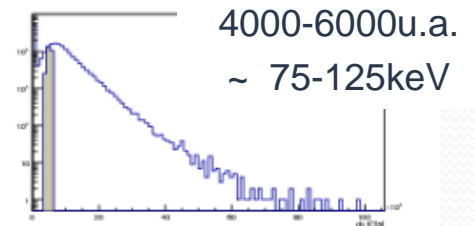
Risoluzione spaziale peggiora all'aumentare dell'energia:

- penetrazione settale e scattering nel collimatore
- scattering nel cristallo e backscattering oltre il cristallo

Numero di conteggi al variare del taglio in energia



Tempo di acquisizione: 30min
Rate di acquisizione ~ 330Hz
Diametro pinhole: 2.05mm



Numero di conteggi in un range di energia = convoluzione dello spettro di emissione di BS e dell'efficienza del rivelatore

Conclusioni

Gamma camera adattata a misure di fotoni di BS:

- Ottimizzazione della procedura di calibrazione del sistema di rivelazione
- Scelta opportuna dei parametri di misura (radiatore, collimatore, finestra di energia)

Risultati ottenuti sono promettenti:

- buona risoluzione spaziale (\sim mm) ad efficienze di \sim 50 counts/min/MBq
- flessibilità nell'uso dei tagli in energia
- possibilità di utilizzare BS anche per diagnostica (TERAGNOSTICA)
A(diagnostica) \sim 1MBq, A(terapia) $>$ 10MBq



Grazie per l'attenzione