

Studio dei Radionuclidi prodotti al reattore L.E.N.A. per il progetto ISOLPHARM_EIRA

Leso Aurora
23 Settembre 2021



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Outline

- 1** Introduzione ed obiettivi
- 2** Apparato sperimentale
- 3** Spettro del campione
- 4** Correzione di tempo morto
- 5** Stima di tempo di dimezzamento e attività
- 6** Conclusioni ed obiettivi futuri
- 7** Backup Slides

Introduzione

Il progetto ISOLPHARM

- Produzione di radioisotopi ad elevata purezza tramite SPES
- **SPES**: facility ISOL (in costruzione a Legnaro) dedicata allo studio di nuclei esotici e ad applicazioni con fasci radioattivi

L'esperimento ISOLPHARM_EIRA: obiettivi del gruppo di fisica

- caratterizzazione dei detector utilizzati: HPGe e $LaBr_3$
- stima della produzione di ^{111}Ag tramite irraggiamento di campioni di palladio naturale e arricchito in TRIGA MARK II

Processo di decadimento



Caratterizzazione detector

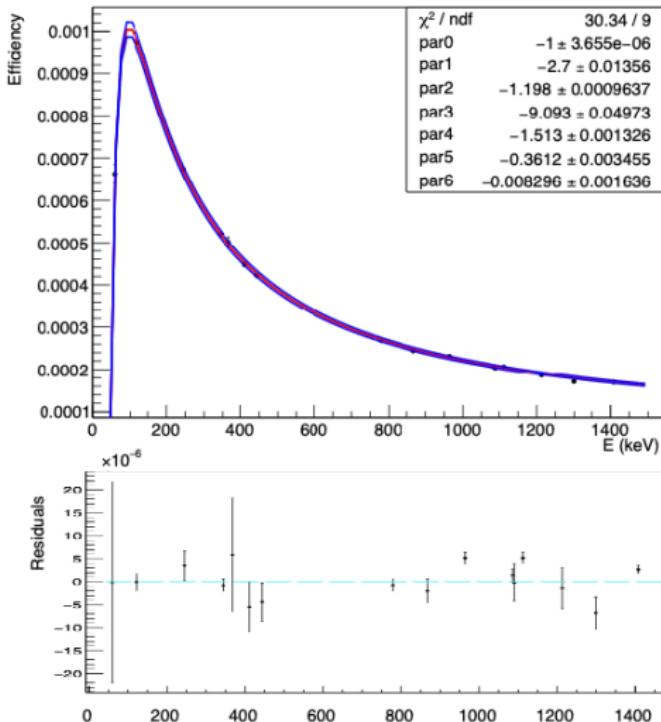
Detector a disposizione

- **HPGe:** *High Purity Germanium Detector*, Myrion Technologies
 - Risposta Lineare per la calibrazione
 - Risoluzione energetica di 2.3 keV a 1 MeV
- **LaBr₃:** Scintillatore al bromuro di lantanio, Saint-Gobain
 - Risposta meno lineare in calibrazione, residui oscillanti
 - Risoluzione energetica di 26 keV a 1 MeV

- Sorgenti ²⁴¹Am e ¹⁵²Eu
- Fit gaussiano dei fotopicchi per trovare centroide e FWHM
- Fit lineare di centroide vs energia tabulata (DDEP) per la calibrazione, fit $\text{FWHM} = \sqrt{a^2 + b \cdot E^2}$ per la risoluzione

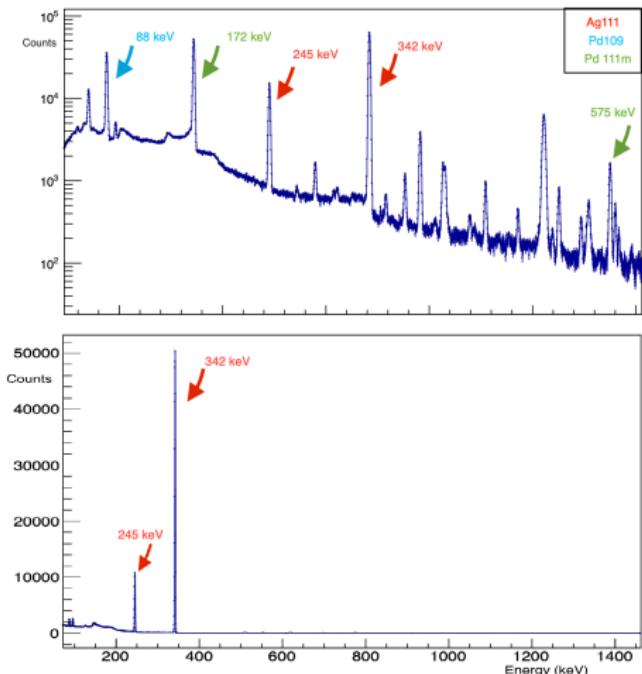
Caratterizzazione detector

Efficiency curve for HPGe



- Ben rappresentativo ad alte energie
- Puramente fenomenologico a basse energie per dipendenza da altri fattori
- Incertezza sistematica dell'attività ($\pm 1.7\%$) dominante rispetto alla componente statistica

Spettro del campione



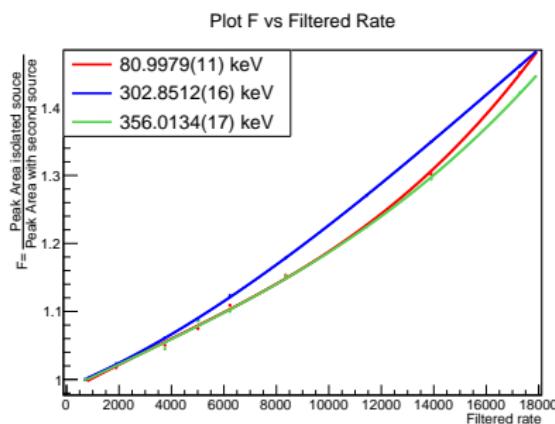
Campione di palladio arricchito di $m=62.7$ mg
irraggiato per 1 h

- In alto, spettro del campione a 10 ore dal termine dell'irraggiamento
- in basso, spettro del campione a 4 giorni dal termine dell'irraggiamento

Correzione di tempo morto

Dead Time

Intervallo di tempo durante il quale l'elettronica di acquisizione non è in grado di processare un nuovo segnale in arrivo, a causa dell'elaborazione del segnale precedente.



Verificata indipendenza della correzione dall'energia: essa non risulta però stabile, dato che dipende fortemente da tutti i parametri di acquisizione.

Discrepanza del picco a **302 keV** per l'inferiore numero di conteggi sotto al picco.

Dead Time

Procedura di sperimentazione

- Sorgente di ^{133}Ba a distanza fissa e di ^{60}Co a distanza mobile dal rivelatore HPGe
- Si calcola il rapporto tra i conteggi del Bario isolato e quelli con la seconda sorgente attorno
- Fit con polinomio di 3 grado dei rapporti tra conteggi del Bario isolato e conteggi del Bario con il Cobalto **vs rate filtrato** (rate acquisizione meno pile up e saturazione)

NB

La correzione risulta incisiva solo su rate elevati, quindi nelle prime ore di acquisizione.

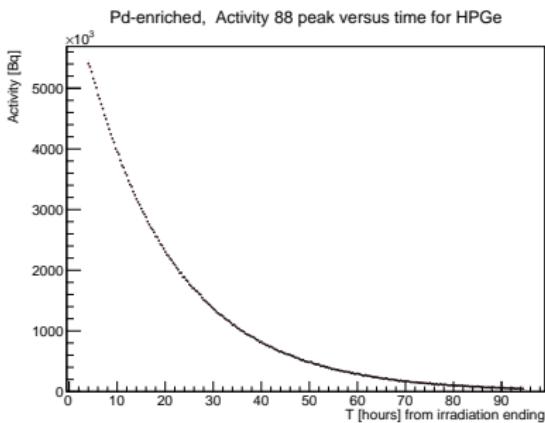
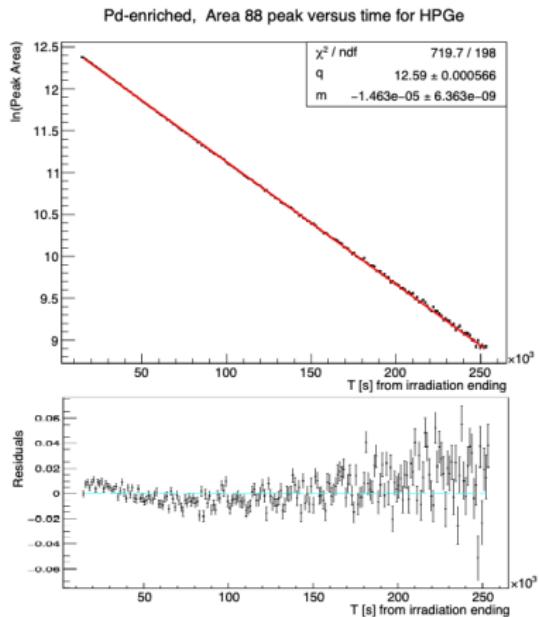
Stima di attività e tempo di dimezzamento

Stima del tempo di dimezzamento

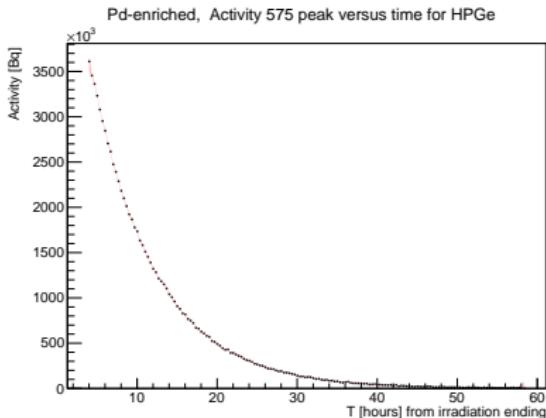
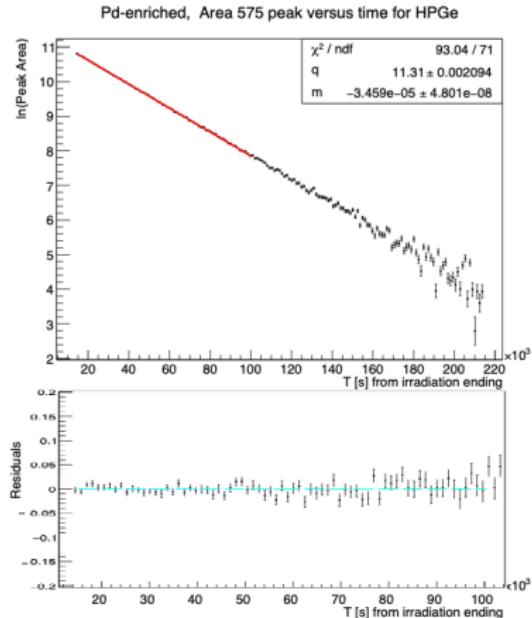
- Calibrazione in energia e suddivisione dello spettro in sotto campioni
- Fit gaussiano del fotopicco di interesse e sottrazione del fondo fittato linearmente
- Fit linearizzato del numero dei conteggi vs tempo dal termine dell'irraggiamento

Proiezione dell'attività al termine dell'irraggiamento

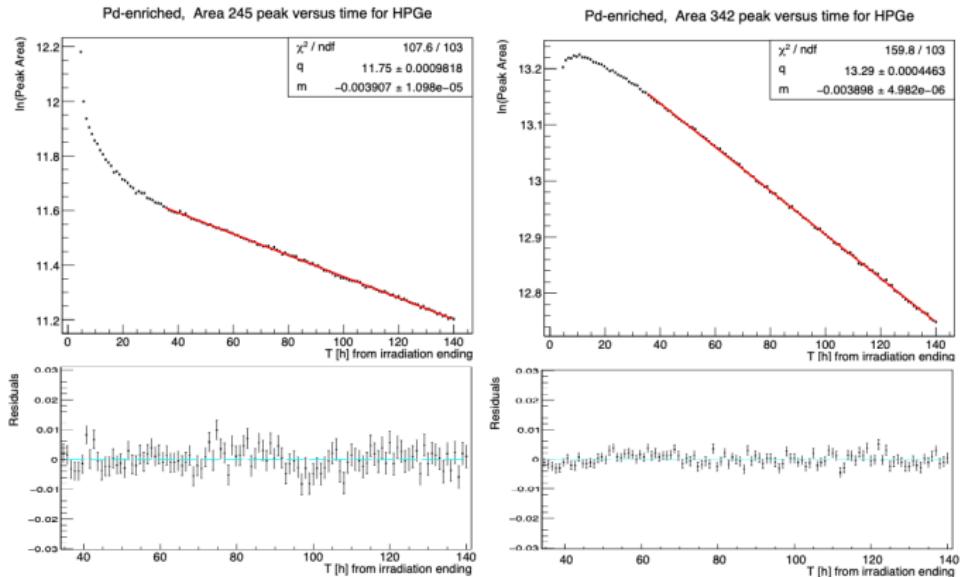
- Stima della curva di attività dai valori noti (efficienza, conteggi, branching ratio e intervallo temporale)
- Fit esponenziale della curva ottenuta

^{109}Pd


- $T_{1/2} = 13.16 \pm 0.01_{\text{stat}} [\text{h}]$
- $A_0 = (0.1806 \pm 0.0001) [\text{mCi}]$

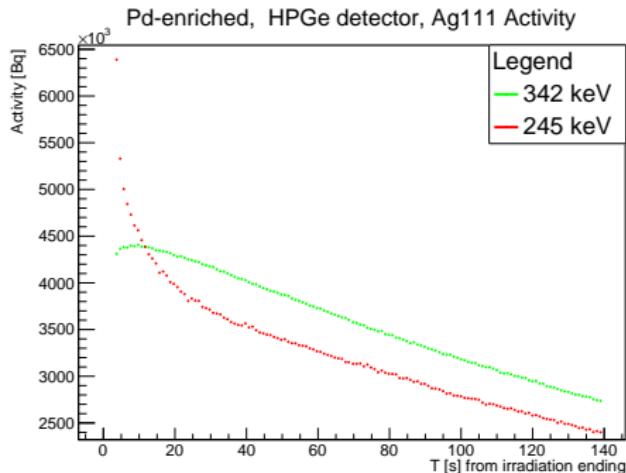


- $T_{\frac{1}{2}} = 5.567 \pm 0.008_{\text{stat}} [\text{h}]$
- $A_0 = (0.1610 \pm 0.0003) [\text{mCi}]$



$$T_{\frac{1}{2},245} = (7.39 \pm 0.02_{\text{stat}}) \text{ d}$$

$$T_{\frac{1}{2},342} = (7.451 \pm 0.008_{\text{stat}}) \text{ d}$$



- **245 keV**: notevole crescita a tempi brevi per probabile presenza di eventi non di interesse sotto il picco
- **342 keV**: lieve decrescita per imprecisa correzione di tempo morto
- Le attività dopo 48 ore sono compatibili \Rightarrow media pesata
- $A_0 = (1.973 \pm 0.003)[\frac{\mu Ci}{mg}]$ (normalizzazione alla massa 62.7 mg)

^{111}Ag : risultati e commenti

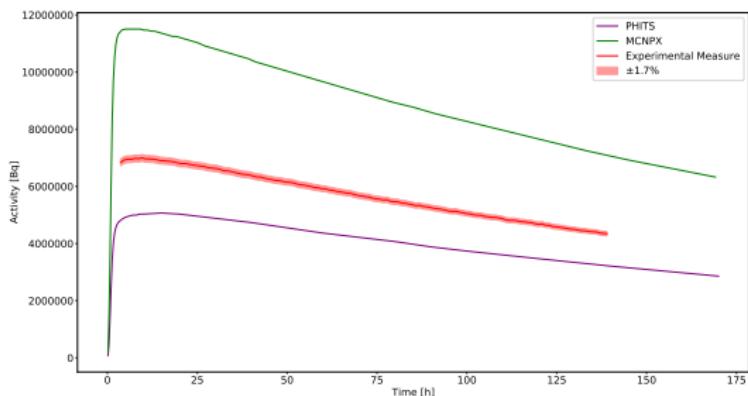


Figure: Confronto dati con simulazioni MCNPX e PHITS per irraggiamento 1h e campione di 100 mg

- La simulazione MCNPX sovrasta la produzione di un fattore ≈ 1.64
- La simulazione PHITS sottostima la produzione.
- Entrambe le simulazioni confermano l'andamento sperimentale

Conclusioni ed obiettivi futuri

Previsione di produzione

Sfruttando la simulazione MCNPX di un campione di massa 100 mg irraggiato per 18 ore si stima una produzione di ^{111}Ag pari a $\approx 1.81 \text{ [mCi]}$ dopo 3 giorni dall'irraggiamento.

Questioni aperte

- Correzione di tempo morto
- Curva di efficienza

Grazie per l'attenzione!



Backup Slides

Backup Slides

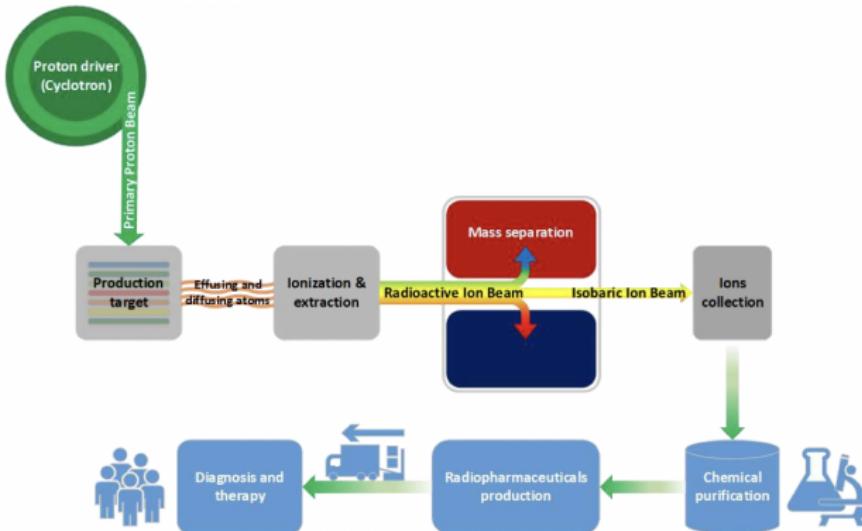


Figure: schema del funzionamento di SPES

Vantaggi:

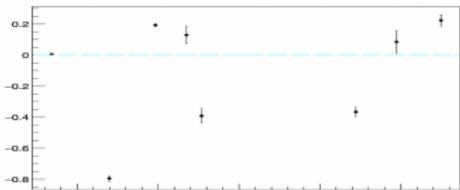
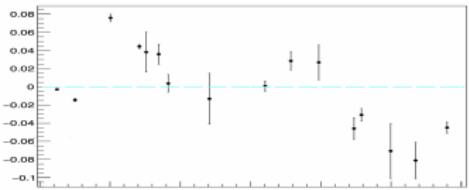
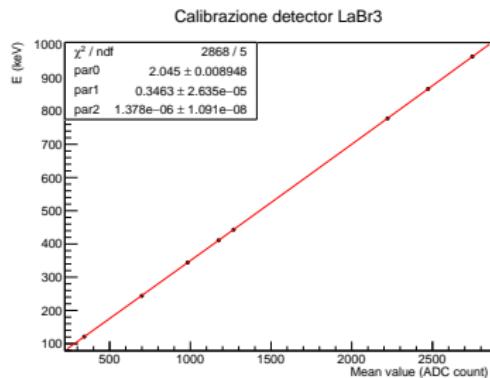
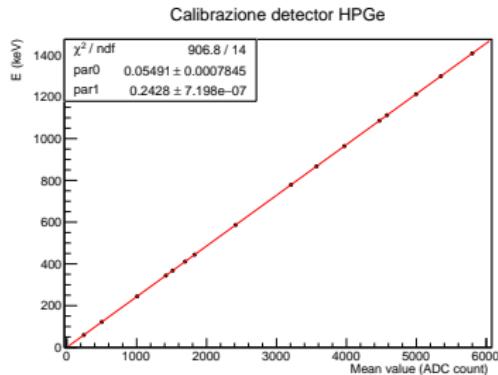
- Produzione di isotopi altamente puri
- Resa più facile la produzione di fasci di nuclei neutron-rich
- Minor produzione di scorie grazie all'inferiore materiale fissile richiesto per la produzione del target

Per quanto concerne **ISOLPHARM_EIRA**, si utilizza un bersaglio primario di carburo di uranio ed un fascio primario di ≈ 40 keV che consente di ottenere ^{111}Ag

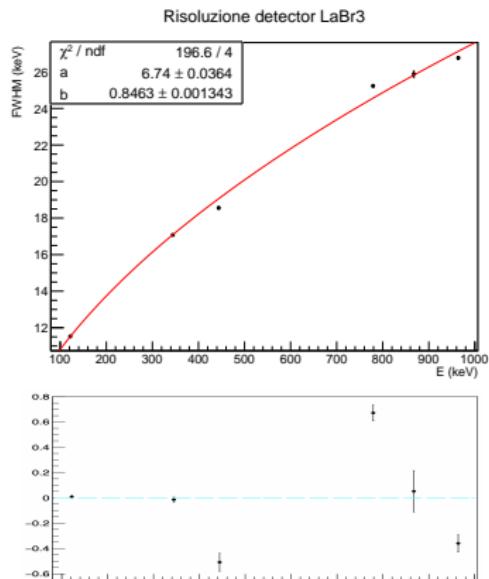
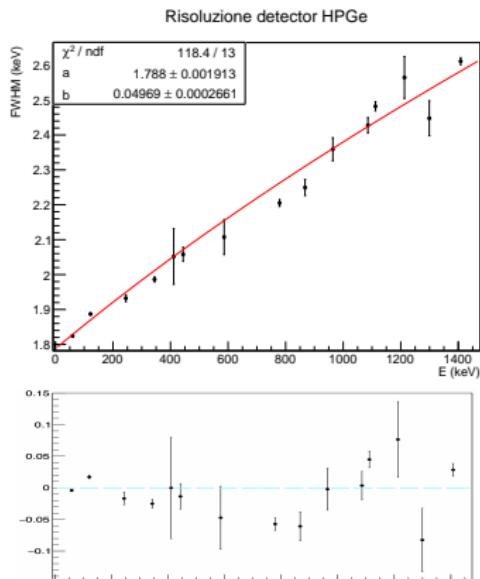
Apparato Sperimentale

- **HPGe** (*High Purity Germanium Detector*, ReGe, Myrion Technologies) raffreddato elettricamente (CRYO PULSE 5) con preamplificatore integrato;
- **Scintillatore al Bromuro di Lantanio** ($LaBr_3$, B380 Saint-Gobain) con preamplificatore esterno CAEN A1424;
- **Digitalizer** CAEN DT-5780, sfruttato per alimentare i detector e per l'acquisizione;
- Software per l'acquisizione **COMPASS**;
- **Sorgenti** di Europio ^{152}Eu e di Americio ^{241}Am per la fase di calibrazione dei detector;
- **Campione** di Palladio arricchito per la fase di misura, massa 62.7 mg, irraggiato per 1 h al L.E.N.A. di Pavia.

Calibrazione in energia



Risoluzione energetica



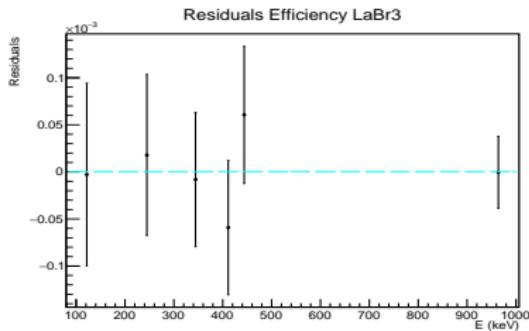
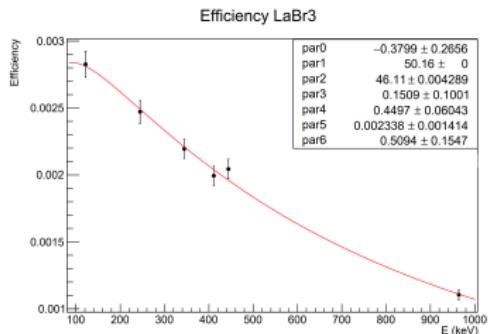
Efficienze stimate per i picchi con HPGe

Radionuclide	$E(\sigma_E)$ [keV]	$[\epsilon \pm \sigma_{\epsilon_{stat}}]$ (10^{-4})
^{109}Pd	88.033(1)	10.04 ± 0.18
^{111m}Pd	172.18(8)	8.4 ± 0.1
	575.0(1)	3.46 ± 0.04
^{111}Ag	245.40(2)	6.68 ± 0.09
	342.13(2)	5.23 ± 0.07

Table: Valori di efficienza attesi per il rivelatore HPGe in relazione all'energia del fotopicco analizzato.

Efficienza LaBr_3

- Pochi picchi a disposizione
- In quanto non utile ai fini dell'analisi di tesi, presentato a scopo puramente indicativo



Compatibilità risultati sperimentali ed attesa

Radionuclide	$E(\sigma_E)[\text{keV}]$	$T_{\frac{1}{2},sper}$	$T_{\frac{1}{2},att}$	λ
^{109}Pd	88.033(1)	$13.16 \pm 0.01_{stat} [\text{ore}]$	$13.58 \pm 0.12 [\text{ore}]$	3.5
^{111m}Pd	575.0(1)	$5.567 \pm 0.008_{stat} [\text{ore}]$	$5.5 \pm 0.1 [\text{ore}]$	0.7
^{111}Ag	245.40(2)	$7.39 \pm 0.02_{stat} [d]$	$7.45 \pm 0.01 [d]$	2.7
	342.13(2)	$7.451 \pm 0.008_{stat} [d]$	$7.45 \pm 0.01 [d]$	0.08

Table: Tempi di dimezzamento attesi e sperimentali per i vari radionuclidi considerati.



Fine

Fine