

# Studio dei radionuclidi prodotti al reattore L.E.N.A. per il progetto ISOLPHARM\_EIRA

Leso Aurora  
21 Settembre 2021



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

# Outline

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

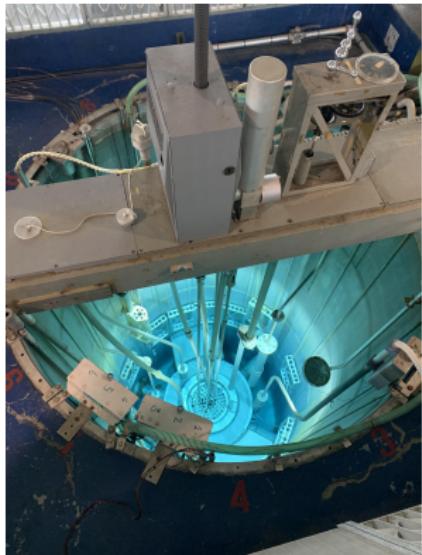
# Introduzione

## Il progetto ISOLPHARM

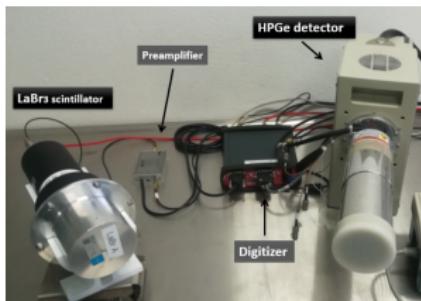
- Produzione di radioisotopi ad elevata purezza tramite SPES
- SPES: facility ISOL (in costruzione a Legnaro) dedicata allo studio di nuclei esotici e ad applicazioni con fasci radioattivi

## L'esperimento ISOLPHARM\_EIRA:

- caratterizzazione dei detector utilizzati: HPGe e *LaBr<sub>3</sub>*
- stima della produzione di  $^{111}\text{Ag}$  tramite irraggiamento di campioni di palladio naturale e arricchito in TRIGA MARK II
- Confronto con le simulazioni MCNPX e PHITS



# Caratterizzazione dei detector



## Detector a disposizione

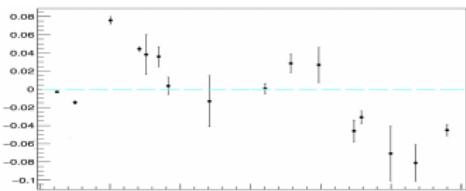
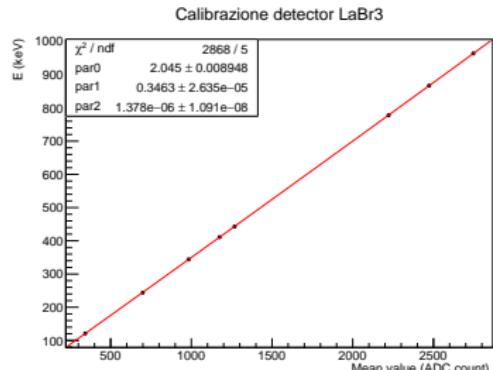
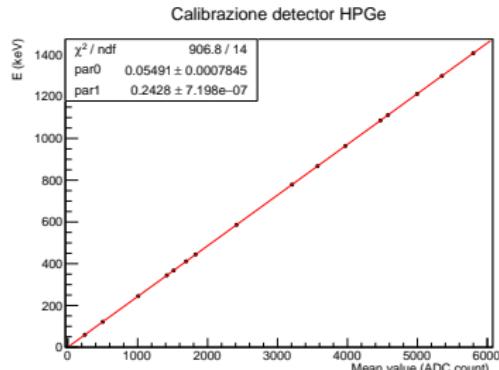
- **HPGe:** *High Purity Germanium Detector*, Myrion Technologies
- **$\text{LaBr}_3$ :** Scintillatore al bromuro di lantano, Saint-Gobain

## Procedura



- Acquisizione spettri di due sorgenti:  $^{241}\text{Am}$  e  $^{152}\text{Eu}$
- Fit gaussiano dei fotopicchi
- Fit lineare/parabolico per calibrazione o  $\text{FWHM} = \sqrt{a^2 + b^2 \cdot E}$  per risoluzione

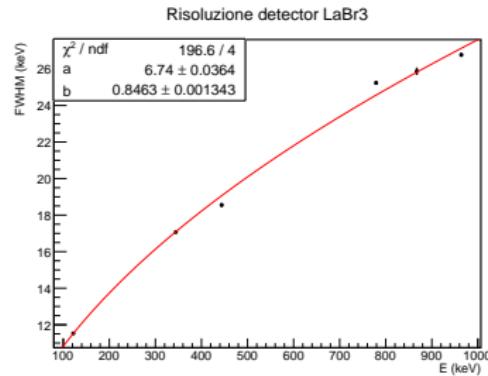
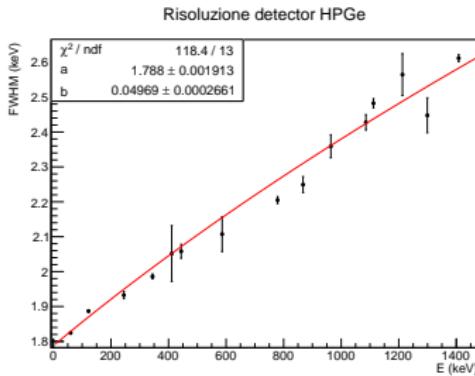
# Calibrazione in energia



In entrambi i casi, i residui evidenziano la sottostima delle incertezze, che constano della sola componente statistica derivante dal fit.

# Risoluzione energetica

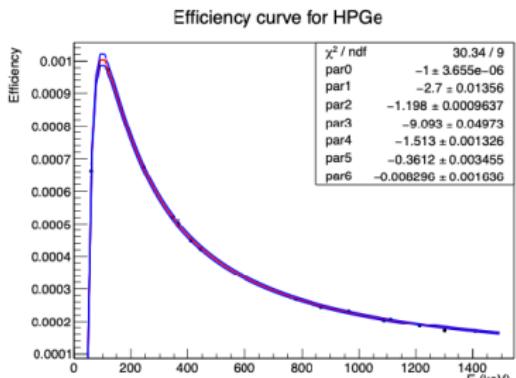
- **HPGe:** Risoluzione di 2.3 keV a 1 MeV
- ***LaBr<sub>3</sub>*:** Risoluzione di 26 keV a 1 MeV



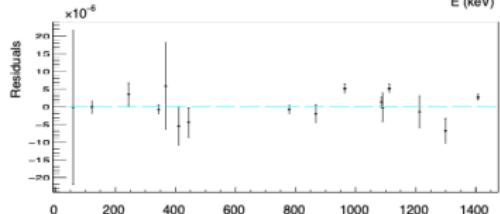
# Efficienza

Funzione di fit per l'efficienza: Hurtado et Al., N.I.M. A 594 20

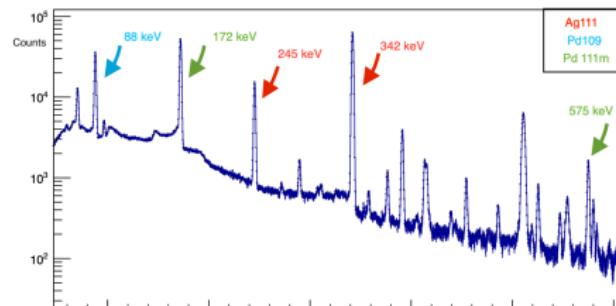
$$\epsilon = a_1 [\exp(-a_2 E^{a_3}) + \exp(a_4 E^{a_5})] \cdot (1 - \exp(a_6 E^{a_7}))$$



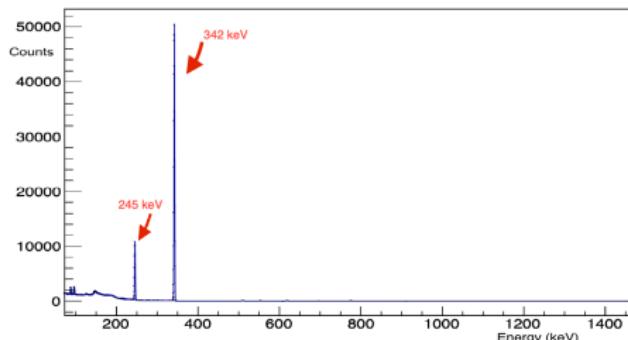
- $\epsilon = \frac{F_\gamma}{B_\gamma A T} \text{ vs } E \text{ (keV)}$
- Incertezza sistematica dell'attività ( $\pm 1.7\%$ ) dominante rispetto alla componente statistica
- Ben rappresentativo ad alte energie
- Approssimativo a basse energie, per i pochi picchi a disposizione



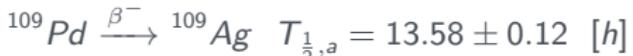
# Spettro del campione



Campione di palladio arricchito di 62.7 mg irraggiato per 1 h.



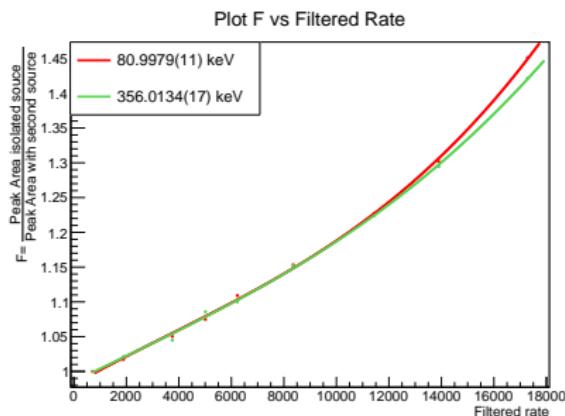
Decadimenti di interesse:



**Figure:** In alto, spettro del campione  
dopo 10 h, in basso spettro del  
campione dopo 4 d

# Correzione di tempo morto

Il software di acquisizione CoMPASS di CAEN utilizzata fornisce una correzione di tempo morto incongruente con quanto sperimentalmente atteso: si procede dunque ad una sua stima sperimentale.



- $^{133}\text{Ba}$  fisso e  $^{60}\text{Co}$  mobile rispetto al rivelatore HPGe
- Verificata indipendenza della correzione dall'energia
- Presente una forte dipendenza dai parametri impostati per la scheda stessa.
- **La stima trovata è accettabile, ma il comportamento della scheda è tutt'ora in fase di studio.**
- Incisiva solo su rate elevati

# Stima di attività e tempo di dimezzamento

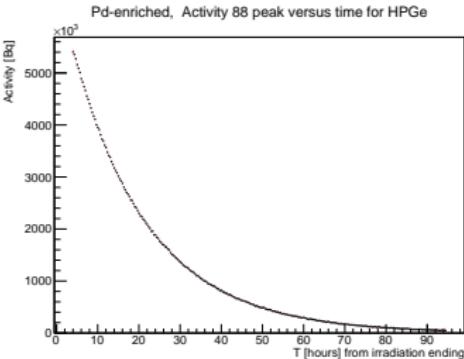
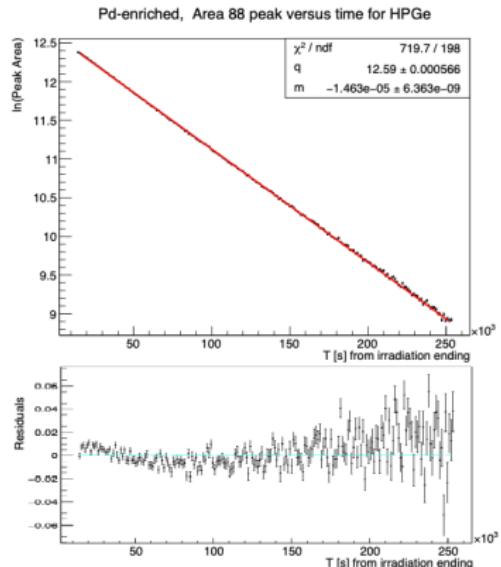
## Stima del tempo di dimezzamento

- Calibrazione in energia, correzione di tempo morto e suddivisione dello spettro in sotto campioni
- Fit gaussiano del fotopicco di interesse e sottrazione del fondo fittato linearmente
- $\ln(F_\gamma) = q + m \cdot T$

## Proiezione dell'attività al termine dell'irraggiamento

- Stima dell'attività  $A = \frac{F_\gamma}{T \cdot Br \cdot \epsilon}$
- Fit esponenziale della curva A vs T

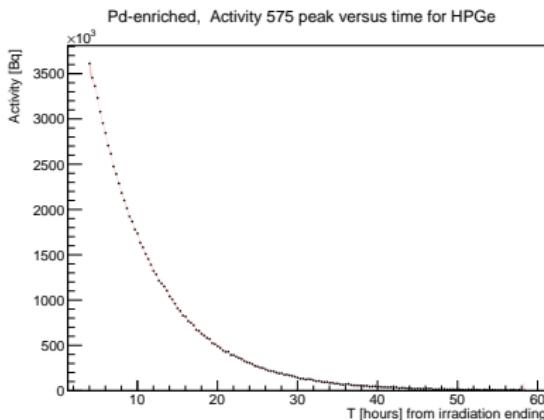
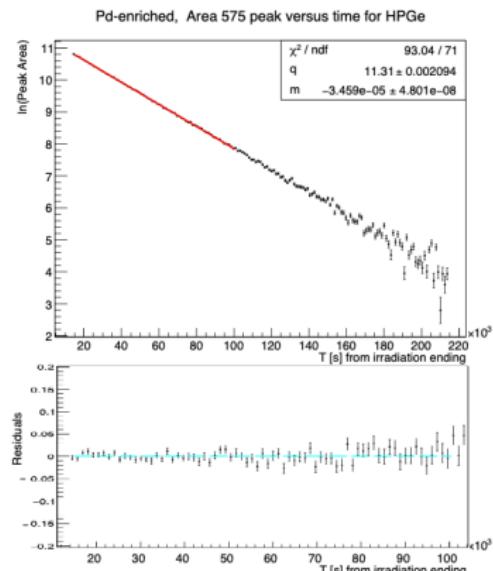
E (keV)	Br( $\sigma_{Br}$ )[%]	$J_i^\pi$	$J_f^\pi$	$\epsilon(\sigma_e) 10^{-4}$
88.033(1)	3.67(13)	$7/2^+$	$1/2^-$	10.04 (18)



- $T_{\frac{1}{2},s} = 13.16 \pm 0.01_{\text{stat}} \text{ [h]}$
- $T_{\frac{1}{2},a} = 13.58 \pm 0.12 \text{ [h]}$
- $\lambda = 3.5$
- Trend sistematico nei residui:  
probabile causa un fit semplice su riga con distorsioni per brevi tempi
- $A_0 = (0.1806 \pm 0.0001) \text{ [mCi]}$

# $^{111m}Pd$

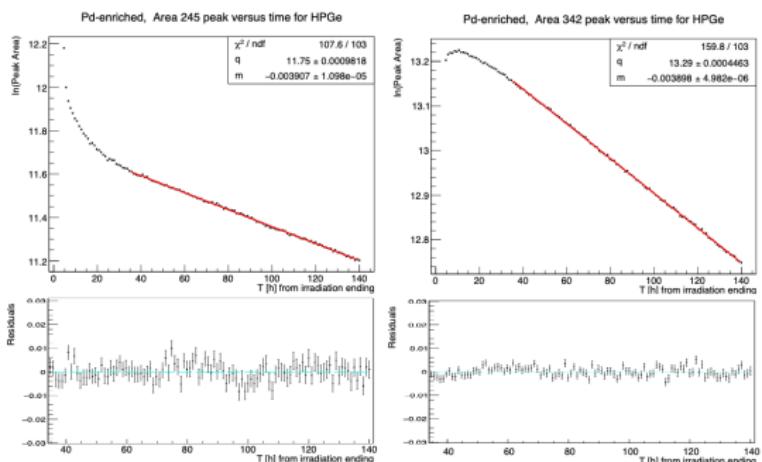
$E$ (keV)	$Br(\sigma_{Br})$ [%]	$J_f^\pi$	$J_f^\pi$	$\epsilon(\sigma_e) \cdot 10^{-4}$
575.0(1)	3.3(4)	$11/2^+$	$9/2^+$	3.46(4)



- $T_{\frac{1}{2},s} = 5.567 \pm 0.008_{stat} [h]$
- $T_{\frac{1}{2},a} = 5.5 \pm 0.1 [h]$
- $\lambda = 0.7$
- $A_0 = (0.1610 \pm 0.0003) [mCi]$

# $^{111}\text{Ag}$

E (keV)	$\text{Br}(\sigma_{Br})[\%]$	$J_i^\pi$	$J_f^\pi$	$\epsilon(\sigma_\epsilon) 10^{-4}$
245.40(2)	1.24(9)	$5/2^+$	$1/2^+$	6.68 (9)
342.13(2)	6.7(3)	$3/2^+$	$1/2^+$	5.23 (7)



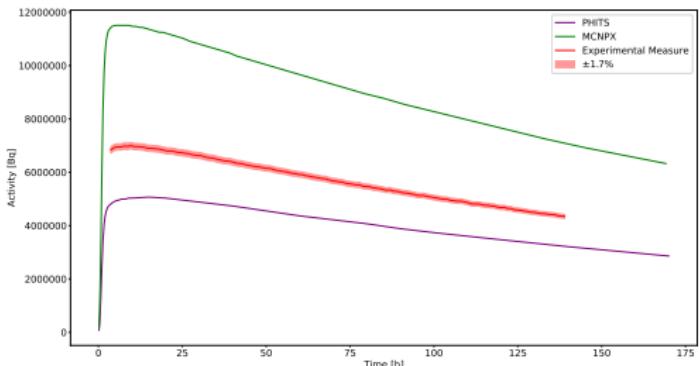
- $T_{\frac{1}{2},245} = (7.39 \pm 0.02_{st})[d](\lambda \approx 2.7)$
  - $T_{\frac{1}{2},342} = (7.451 \pm 0.008_{st})[d](\lambda \approx 0.08)$
  - $T_{\frac{1}{2}a} = (7.45 \pm 0.01)[d]$
  - $A_0 = (123.7 \pm 0.2)[\mu\text{Ci}]$
- 
- **245 keV:** rapida crescita a tempi brevi per probabile presenza di eventi non di interesse sotto il picco
  - **342 keV:** lieve decrescita ancora in analisi (possibile sotto compensazione della correzione di tempo morto, o effettiva dipendenza dal processo fisico)

# $^{111}\text{Ag}$ : risultati e commenti



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

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



- La simulazione **MCNPX** sovrasta la produzione di un fattore  $\approx 1.64$
- La simulazione **PHITS** sottostima la produzione.

## Previsione di produzione

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

# Conclusioni

Si è stimata dunque la produzione di  $^{111}\text{Ag}$  tramite irraggiamento di un campione di palladio arricchito di 62.7 mg, trovando il risultato  $A_0 = (123.7 \pm 0.2)[\mu\text{Ci}]$ .

Sfruttando la previsione di produzione (simulazione **MCNPX**), si trova  $A_0 \approx 1.81[\text{mCi}]$ , un valore sufficiente per permettere l'avvio dei test in vivo.

Grazie per l'attenzione!



# Backup Slides

Backup Slides

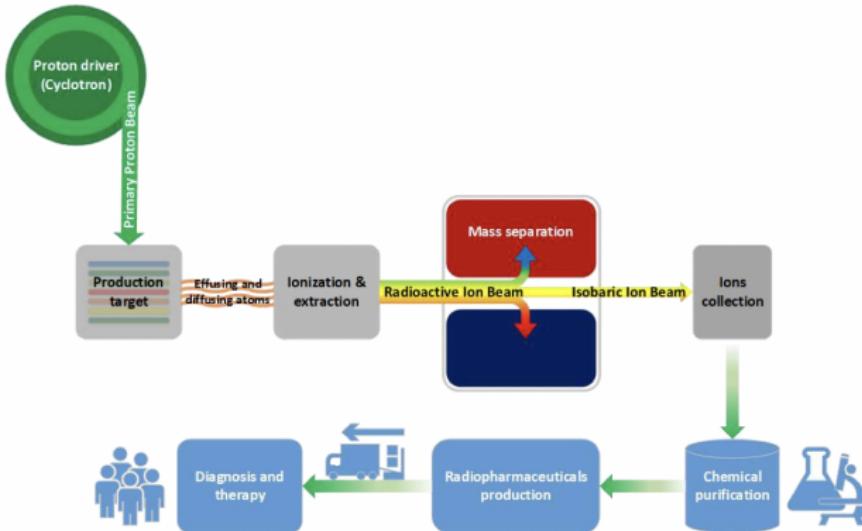


Figure: schema del funzionamento di SPES

## 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  $\approx 40$  keV che consente di ottenere  $^{111}\text{Ag}$

# Apparato Sperimentale

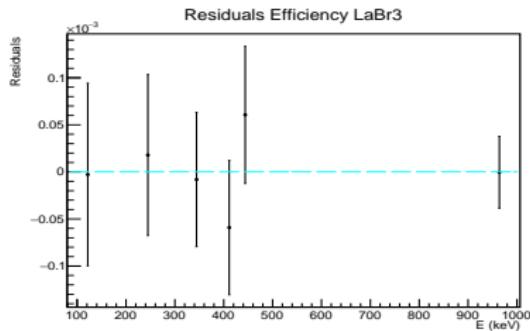
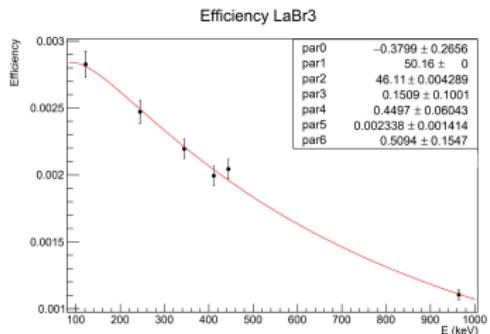
- **HPGe** (*High Purity Germanium Detector*, ReGe, Myrion Technologies) raffreddato elettricamente (CRYO PULSE 5) con preamplificatore integrato;
- **Scintillatore al Bromuro di Lantanio** ( $LaBr_3$ , B380 Saint-Gobain) con preamplificatore esterno CAEN A1424;
- **Digitalizer** CAEN DT-5780, sfruttato 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.

# Efficienze stimate per i picchi con HPGe

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

# Efficienza $\text{LaBr}_3$

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



# Compatibilità $T_{\frac{1}{2}}$

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

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



Fine

Fine