

# 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

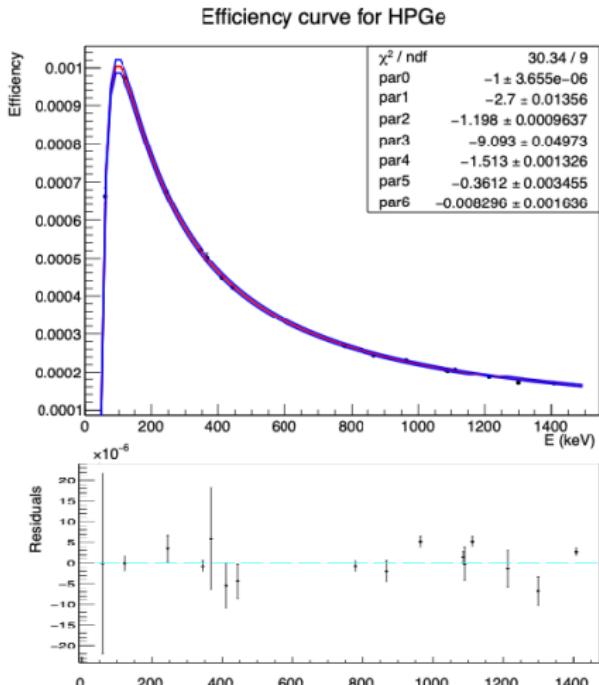


# Caratterizzazione detector: calibrazione e risoluzione

## Detector a disposizione

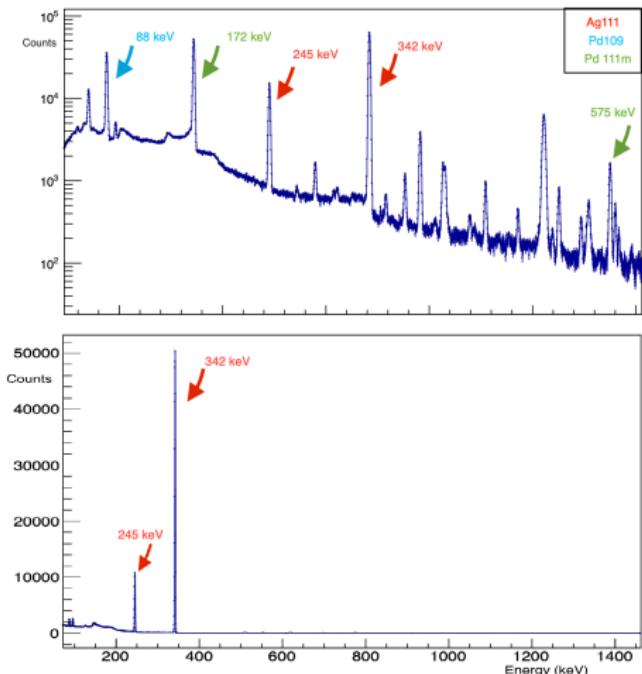
- **HPGe:** *High Purity Germanium Detector*, Myrion Technologies
  - Risposta lineare in calibrazione
  - Risoluzione energetica di 2.3 keV a 1 MeV
- **LaBr<sub>3</sub>:** Scintillatore al bromuro di lantanio, Saint-Gobain
  - Risposta meno lineare in calibrazione, residui oscillanti
  - Risoluzione energetica di 26 keV a 1 MeV
- Sorgenti <sup>241</sup>Am e <sup>152</sup>Eu
- Fit gaussiano dei fotopicchi per trovare centroide e FWHM

# Caratterizzazione detector: efficienza



- $\epsilon = \frac{F_\gamma}{B_\gamma A T}$  in funzione dell'energia
- Ben rappresentativo ad alte energie
- Puramente fenomenologico a basse energie
- Incertezza sistematica dell'attività ( $\pm 1.7\%$ ) dominante rispetto alla componente statistica

# Spettro del campione



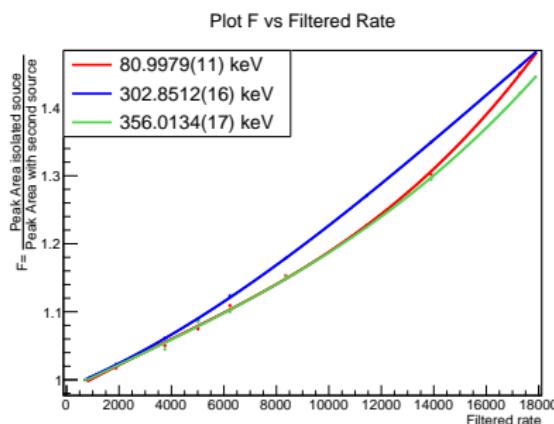
Campione di palladio arricchito di  $m=62.7$  mg  
irraggiato per 1 h

- 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.



- $^{133}Ba$  fisso e  $^{60}Co$  mobile rispetto al rivelatore HPGe
- Fit Polinomiale di terzo grado
- Verificata indipendenza della correzione dall'energia, anche se ancora instabile
- Incisiva solo su rate elevati

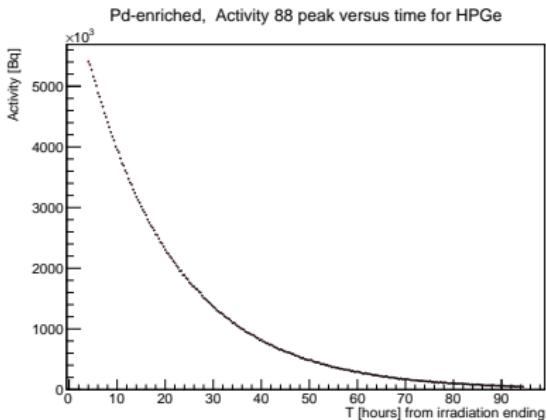
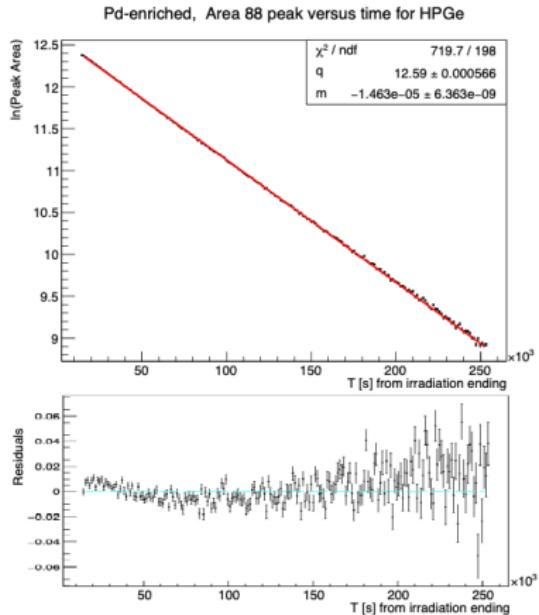
# Stima di attività e tempo di dimezzamento

## Stima del tempo di dimezzamento

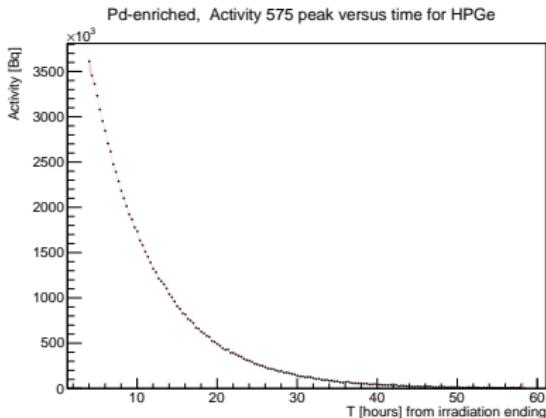
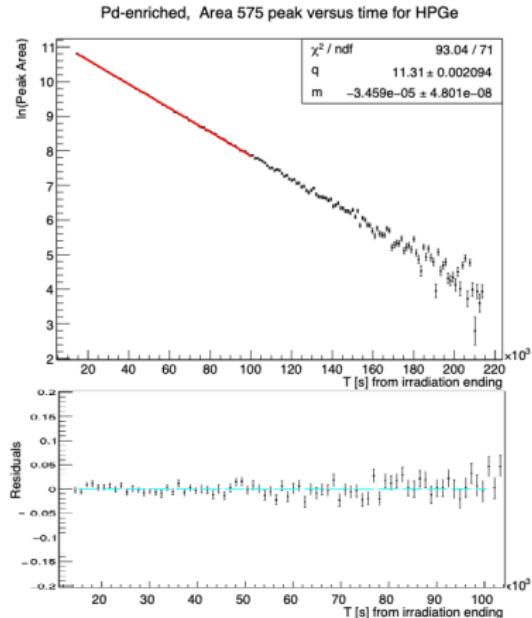
- Calibrazione in energia e suddivisione dello spettro in sotto campioni
- Fit gaussiano del fotopicco di interesse e sottrazione del fondo fittato linearmente
- Fit linearizzato del numero dei conteggi vs tempo dal termine dell'irraggiamento

## Proiezione dell'attività al termine dell'irraggiamento

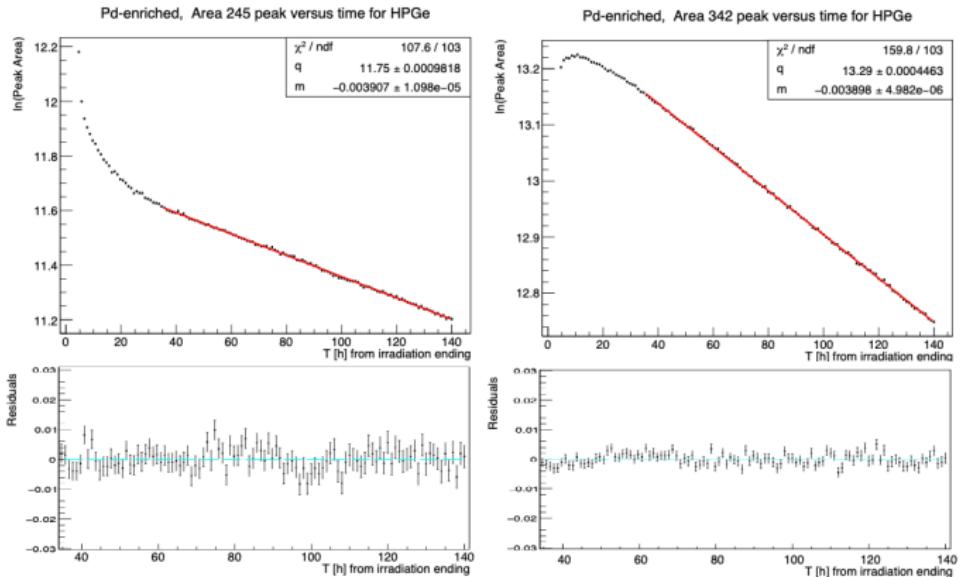
- Stima della curva di attività dai valori noti (efficienza, conteggi, branching ratio e intervallo temporale)
- Fit esponenziale della curva ottenuta

$^{109}\text{Pd}$ 


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

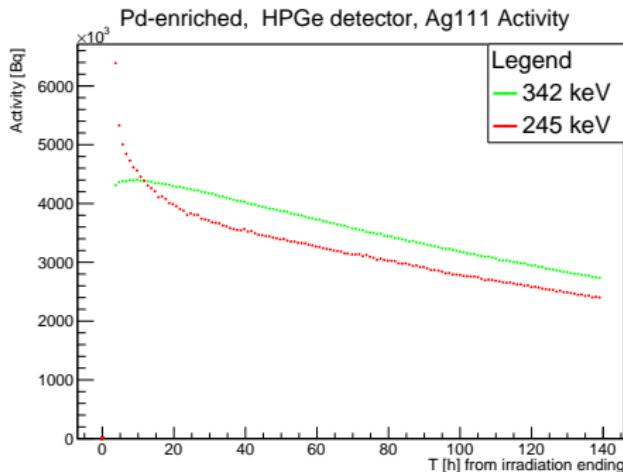


- $T_{\frac{1}{2}} = 5.567 \pm 0.008_{\text{stat}} [\text{h}]$
- $A_0 = (0.1610 \pm 0.0003) [\text{mCi}]$



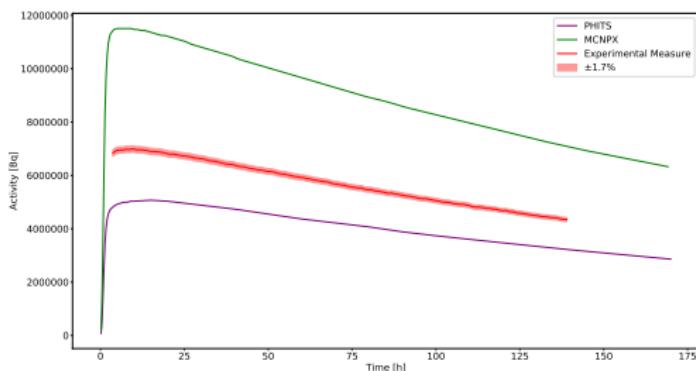
$$T_{\frac{1}{2},245} = (7.39 \pm 0.02_{\text{stat}}) \text{ d}$$

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



- **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)

# $^{111}\text{Ag}$ : 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  $\approx 1.64$
- 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  $^{111}\text{Ag}$  pari a  $\approx 1.81 \text{ [mCi]}$  dopo 3 giorni dall'irraggiamento.

## Questioni aperte

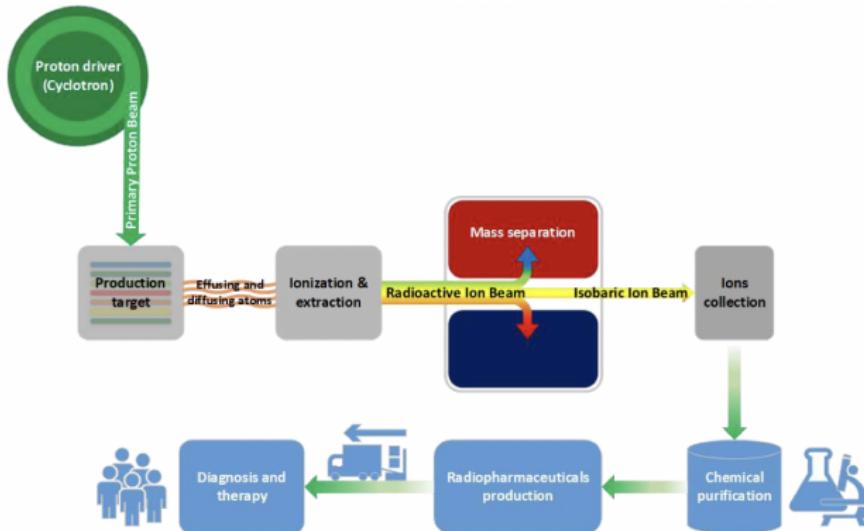
- Correzione di tempo morto
- Curva di efficienza

Grazie per l'attenzione!



# Backup Slides

Backup Slides



**Figure:** schema del funzionamento di SPES

## Vantaggi:

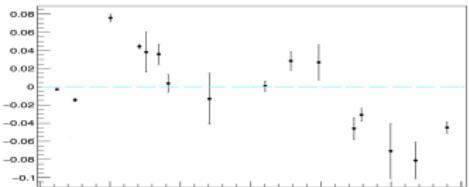
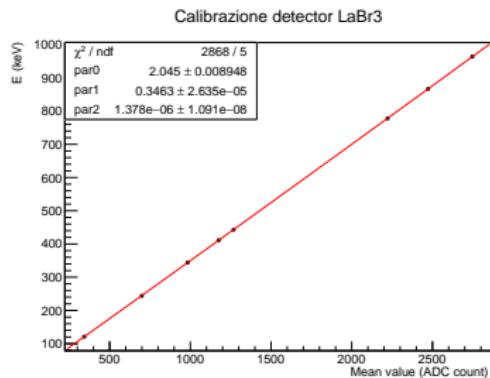
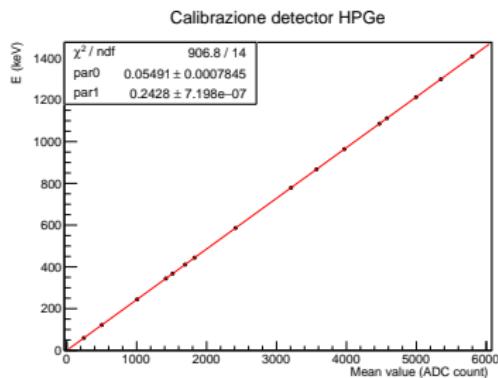
- Produzione di isotopi altamente puri
- Resa più facile la produzione di fasci di nuclei neutron-rich
- Minor produzione di scorie grazie all'inferiore materiale fissile richiesto per la produzione del target

Per quanto concerne **ISOLPHARM\_EIRA**, si utilizza un bersaglio primario di carburo di uranio ed un fascio primario di  $\approx 40$  keV che consente di ottenere  $^{111}\text{Ag}$

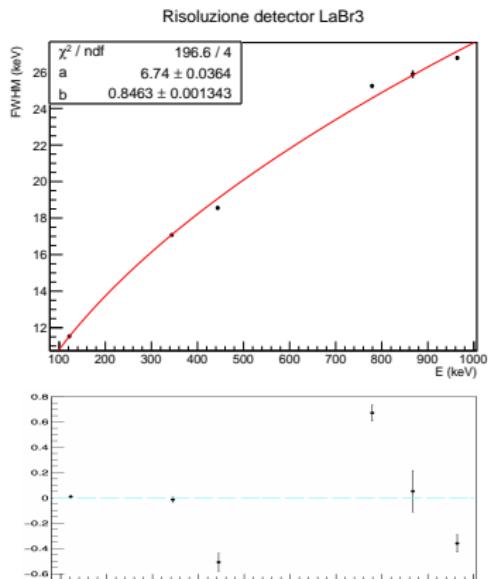
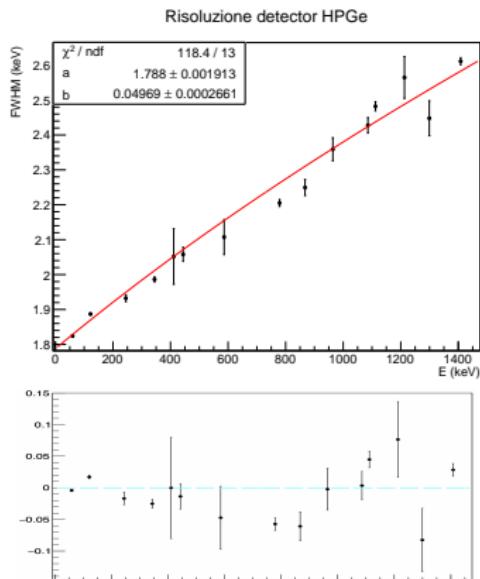
# Apparato Sperimentale

- **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.

# Calibrazione in energia



# Risoluzione energetica



# Efficienze stimate per i picchi con HPGe

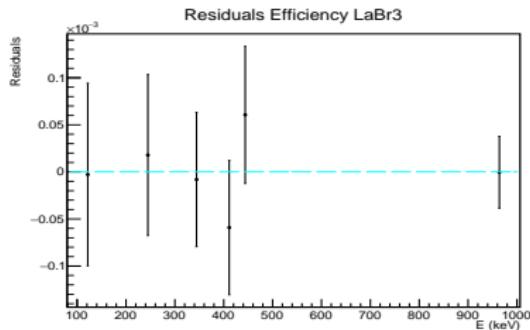
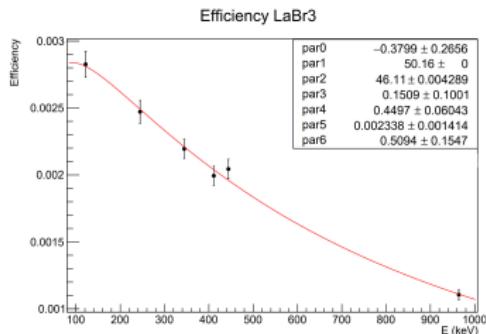
Funzione di fit per l'efficienza:

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

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

Radionuclide	$E(\sigma_E)$ [keV]	$T_{\frac{1}{2},sper}$	$T_{\frac{1}{2},att}$	$\lambda$
$^{109}Pd$	88.033(1)	$13.16 \pm 0.01_{stat}$ [ore]	$13.58 \pm 0.12$ [ore]	3.5
$^{111m}Pd$	575.0(1)	$5.567 \pm 0.008_{stat}$ [ore]	$5.5 \pm 0.1$ [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