

Studio di fattibilità della caratterizzazione di una sorgente sigillata di ^{241}Am tramite misure ionometriche

Susy Toma, Claudia Silvestri, Massimo Pinto

ENEA- Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (INMRI), Via Anguillarese 301, 00123 Santa Maria di Galeria, Roma, Italia

susy.toma@enea.it

Riassunto

La norma ISO 4037:2019 non raccomanda più i valori dei coefficienti di conversione per le sorgenti di ^{241}Am per convertire la grandezza kerma in aria alle grandezze operative utilizzate nella dosimetria in radioprotezione. Lo scopo dello studio teorico qui proposto è dimostrare la fattibilità di un metodo di caratterizzazione di una sorgente di ^{241}Am , alternativo all'uso della spettrometria e basato su misure ionometriche.

INTRODUZIONE

Nel progetto europeo di ricerca metrologica EPM 22NRM07 GuideRadPros si cercherà di affrontare alcune delle problematiche insorte dall'applicazione della norma ISO 4037:2019.

La norma ISO 4037:2019 specifica le caratteristiche della radiazione gamma di riferimento emessa dai radionuclidi e il metodo e i requisiti con cui un laboratorio può produrre un campo di radiazione di riferimento per una qualità di radiazione selezionata con un valore target dell'incertezza complessiva estesa ($k = 2$) della grandezza operativa compreso tra il 6 % e il 10 % circa.

L'edizione della ISO 4037-1 pubblicata nel 1996 [3] includeva, tra le altre, le informazioni per le radiazioni gamma di riferimento emesse da sorgenti di ^{241}Am (S-Am nella norma ISO 4037), ora non più disponibili nell'edizione della norma del 2019 [1],[2], in questa edizione le proprietà della sorgente di S-Am sono elencate nella tabella di Fig.1. In particolare sono stati ritenuti insufficienti i dati disponibili sugli spettri di fluenza e sui requisiti per tutti i parametri pertinenti la fabbricazione delle sorgenti, in particolare dell'incapsulamento della sorgente di ^{241}Am .

La particolarità delle sorgenti S-Am è l'emissione di fotoni di energia relativamente bassa, dove i coefficienti di conversione alle grandezze operative, h_k , sono molto variabili. Per questo motivo le S-Am meritano un'analisi speciale. Una specifica S-Am, presso uno specifico laboratorio, non è sufficientemente caratterizzata dal punto di vista delle sue proprietà di fabbricazione, tra cui lo spessore della capsula che la sigilla ed i suoi materiali. Di conseguenza, a meno di una misura diretta, non è possibile conoscerne con esattezza lo spettro di fluenza; per ogni specifica sorgente di riferimento S-Am, i coefficienti di conversione h_k e l'incertezza complessiva a loro associata richiedono una determinazione individuale per ciascuna sorgente.

Table B.1 — Radionuclide properties

Short name	Radio-nuclide	Radiation energy keV	Half-life a	Air kerma rate constant ^a $\mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1}$	1 st HVL mm
S-Am	²⁴¹ Am	59,54	$432,6 \pm 0,6$ [22]	0,003 1	14 Al

^a The air kerma rate coefficient (see ICRU Report 85a[23]) is valid only in the case of an unshielded point source. It is therefore given only as a guide and not as a means of determining the air kerma rates.

Table B.2 — Specific activity and recommended chemical form of radioactive nuclide

Radioactive nuclide	Specific activity $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$	Recommended chemical form
²⁴¹ Am	$1,11 \cdot 10^{14}$	Oxide

INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
4037-1

Second edition
(2019)

Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy —

Part 1:
Radiation characteristics and production methods

ISO 4037-1 — Appareils et méthodes de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des dosimètres et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons —
Partie 1: Caractéristiques des rayonnements et méthodes de production

Fig.1: Norma ISO 4037:2019 e tabella con proprietà della sorgente S-Am

L'incapsulamento della sorgente sigillata di ²⁴¹Am con una capsula di protezione aggiuntiva in acciaio inossidabile potrebbe influenzare il campo di radiazione primaria di fotoni di 59,5 keV a causa della produzione di neutroni indesiderati da parte delle particelle alfa della sorgente. Ciò è importante per considerazioni di tipo radioprotezionistico, sebbene questa specifica problematica esula dagli scopi di questo studio. Tuttavia, è proprio l'incapsulamento del radionuclide ²⁴¹Am, e la variabilità di questa procedura, a generare il problema che è oggetto di questo lavoro: la variabilità, nello spettro di fluena, tra una sorgente ed un'altra.

La norma ISO 2919 fornisce alcuni criteri per definire come devono essere realizzate le sorgenti sigillate e le prescrizioni vengono applicate dai produttori nei loro processi di fabbricazione; per ciò che riguarda l'²⁴¹Am la variabilità nella realizzazione della capsula non consente alla norma ISO 4037:2019 -il cui obiettivo è fornire strumenti per misurare le grandezze dosimetriche operative per poter tarare strumentazione d'uso corrente in radioprotezione- di indicare delle linee guida, neppure stringenti, tali da poter prescrivere dei coefficienti di conversione hK di uso generico per qualsiasi sorgente S-Am, ed assicurare che le grandezze dosimetriche operative siano determinate con incertezze entro i livelli obiettivo della norma ISO 4037:2019. La capsula, in base alle sue caratteristiche strutturali, è responsabile dei fenomeni di diffusione longitudinale (*forward scatter*) che determina una variabilità dello spettro di fluena e, di conseguenza, nella stima dei coefficienti di conversione che sono mediati sugli spettri di fluena. Per questo motivo, i coefficienti h_k per S-Am non sono più esplicitamente prescritti nella ISO 4037:2019.

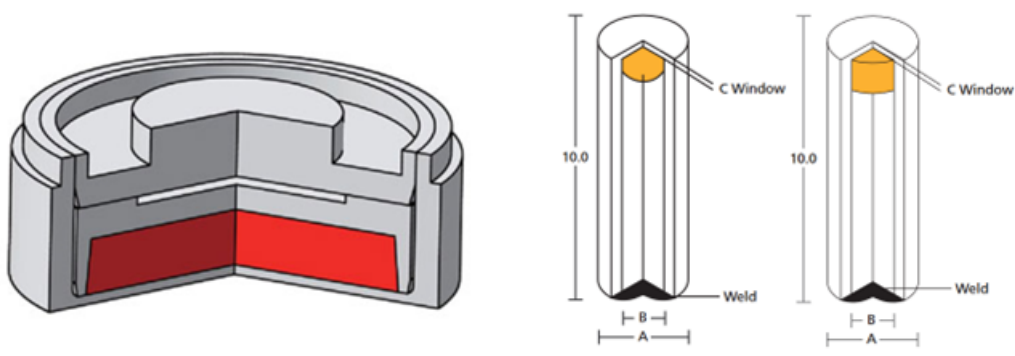


Fig.2 Variabilità delle capsule di ²⁴¹Am dal catalogo di diversi produttori

MATERIALI E METODI

Per poter determinare i fattori di conversione alle grandezze dosimetriche operative per sorgenti di S-Am, seppure in assenza delle prescrizioni nella norma ISO 4037:2019, gli utenti potrebbero scegliere di caratterizzare le proprie sorgenti utilizzando uno spettrometro e pesare i coefficienti di conversione monocromatici (così come forniti in ICRU e riportati in ISO 4037) sullo spettro di fluenza così determinato, ispirandosi allo stesso approccio citato dalla norma ISO 4037:2019 per la realizzazione di fasci di tipo rx “caratterizzato”.

Per la maggior parte dei laboratori secondari di dosimetria (secondary standards dosimetry laboratories) è impossibile caratterizzare della propria sorgente di S-Am e dei loro coefficienti di conversione h_k a causa delle difficoltà tecniche e scientifiche nella implementazione delle tecniche spettrometriche, necessarie a misurare lo spettro di fluenza.

Presso i laboratori dell'Istituto Nazionale di Metrologia delle radiazioni ionizzanti si è reso disponibile uno spettrometro al CdTe X 1-2-3 AmpTek (AmeTek, USA), tramite il quale è stato possibile caratterizzare la sorgente di ^{241}Am installata presso il settore dosimetria. La sorgente è stata costruita da Amersham (attività di $3,5,3 \cdot \text{GBq}$ alla data del 31/12/2021) e posta in un irraggiatore COMECER modello “TM4” (fig n°3).



Fig.3: Sorgente S-Am dell'Istituto Nazionale di Metrologia delle radiazioni ionizzanti (in primo piano)

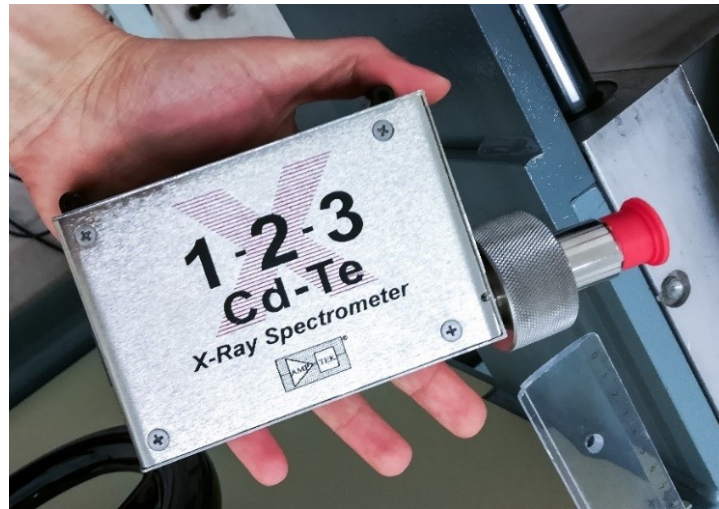
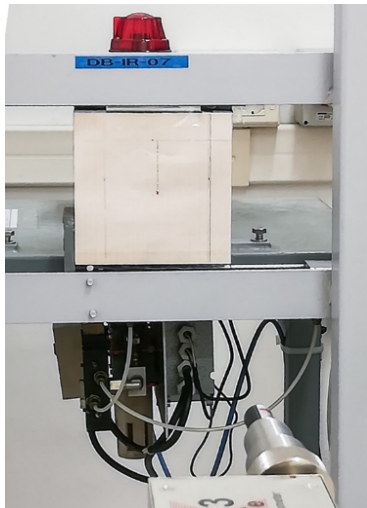


Fig.4 Acquisizione dello spettro della sorgente di ^{241}Am e spettrometro X 1-2-3 Amptek. Nell'immagine di sinistra è visibile il rivelatore che punta in direzione longitudinale al fascio di radiazioni emesse dalla sorgente S-Am, posizionata dietro ad un otturatore. Nell'immagine di destra di può osservare il rivelatore X 1-2-3 della AmpTeK.

Gli obiettivi

Dopo l'applicazione del metodo spettrometrico ai fini della caratterizzazione della sorgente [6], [7], si è voluta ricercare una relazione quantitativa che legasse l'abbondanza della diffusione (scatter) presente nello spettro della sorgente S-Am alla diminuzione dell'energia media dello spettro stesso. Tale riduzione dell'energia media, si ipotizza in questo lavoro, potrebbe essere determinata tramite una misura di spessore di dimezzamento HVL (*Half Value Layer*), un parametro d'uso corrente nella caratterizzazione di un fascio di raggi X prodotto con una macchina radiogena e che non è comunemente utilizzato per la caratterizzazione di sorgenti S-Am.

Nella fase preliminare dello studio alcuni spettri della sorgente di ^{241}Am di ENEA INMRI relativi a differenti setup sperimentali sono stati sottoposti modificati introducendo delle variazioni dell'abbondanza relativa delle componenti di bassa energia in termini di fluenza (fotoni/cm²). Tali modifiche sono state attuate in modo arbitrario, senza un'indicazione precisa su quale fosse la regione di energia nello spettro di fluenza che sarebbe influenzata dall'incapsulamento del radionuclide ^{241}Am . Per ogni spettro modificato è stato calcolato il valore dell'HVL utilizzando il software Spekpy, scritto in linguaggio python (Gavin Poluniodsky- *Medical Radiation Physics and Nuclear Medicine (MSF-NM)* at the *Karolinska University*). Questo studio preliminare ha confermato la relazione che lega l'abbondanza nello spettro di fluenza di fotoni diffusi ("scatterati"), modificata manualmente, nella zona di basse energie dello spettro di fluenza, cioè nei bin di energia dai 20keV ai 30keV, alle variazioni dell'HVL espresso in millimetri di alluminio o di rame, ovvero all'energia media dello spettro di fluenza, di cui lo spessore emivalente costituisce un valido surrogato, come si può osservare nei grafici in fig.5.

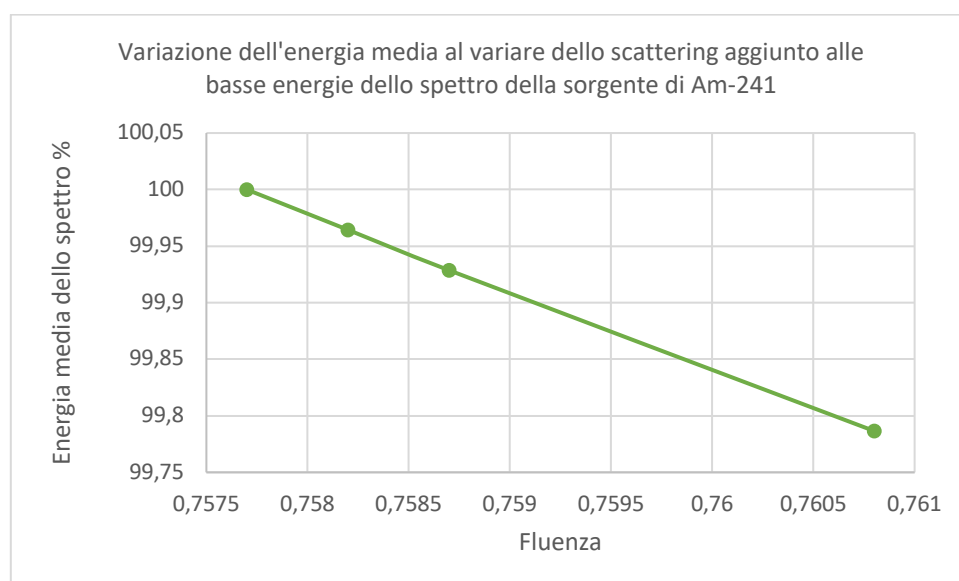
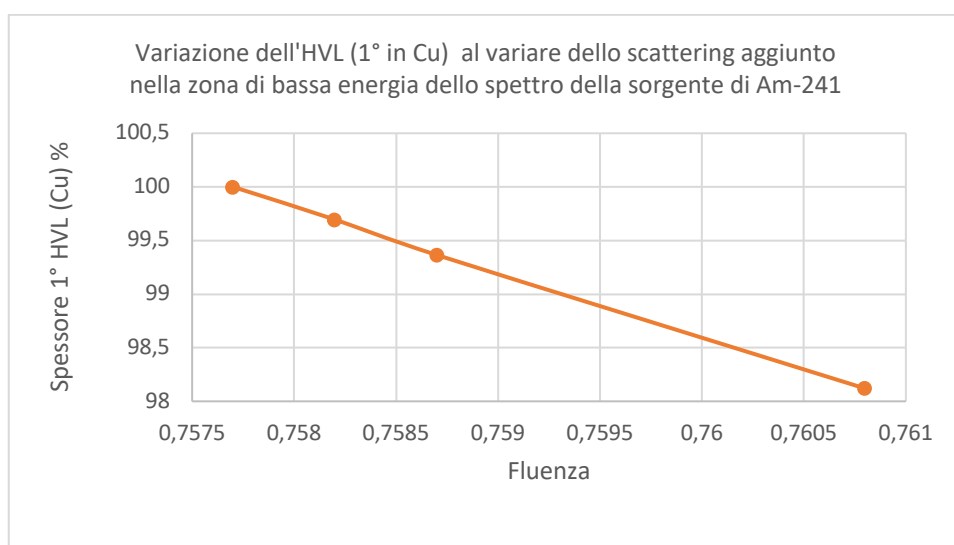
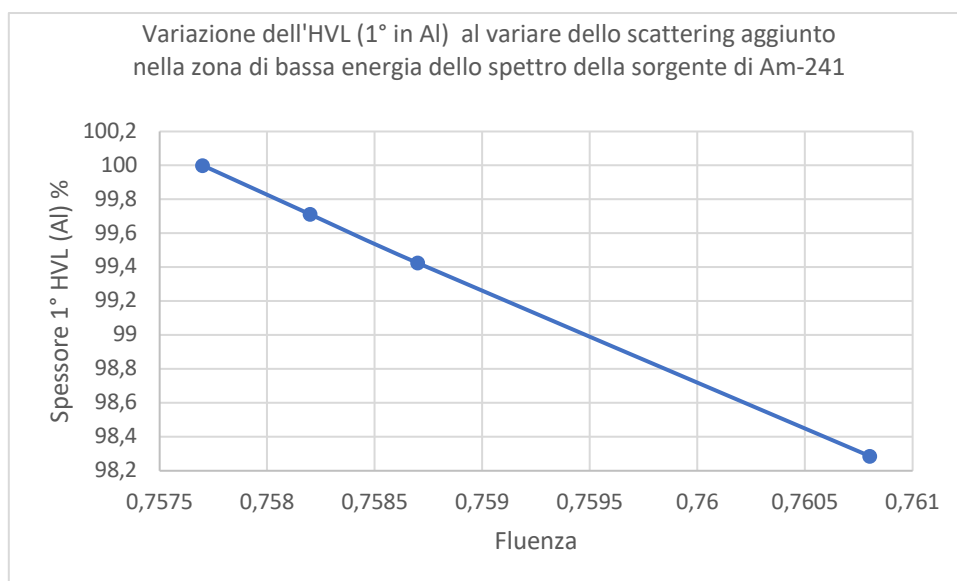


Fig.5

Relazione che lega l'abbondanza nello spettro di fluena di fotoni scatterati, modificata manualmente, nella zona di basse energie dello spettro della sorgente S-Am, alle variazioni dell'HVL espresso in millimetri di alluminio o di rame

Con il codice Montecarlo PENELOPE [Salvat et. al. 2022] sono state poi riprodotte le geometrie di tre diverse capsule contenenti ^{241}Am ed è stata valutata la variazione dello spettro di fluena su un piano disposto a distanza predefinita dalle stesse al variare delle dimensioni geometriche delle sorgenti, dello spessore delle loro capsule e dell'angolo solido di incidenza rispetto al piano. L'emissione in fotoni delle sorgenti si può osservare nelle seguenti figure, fig n.6.

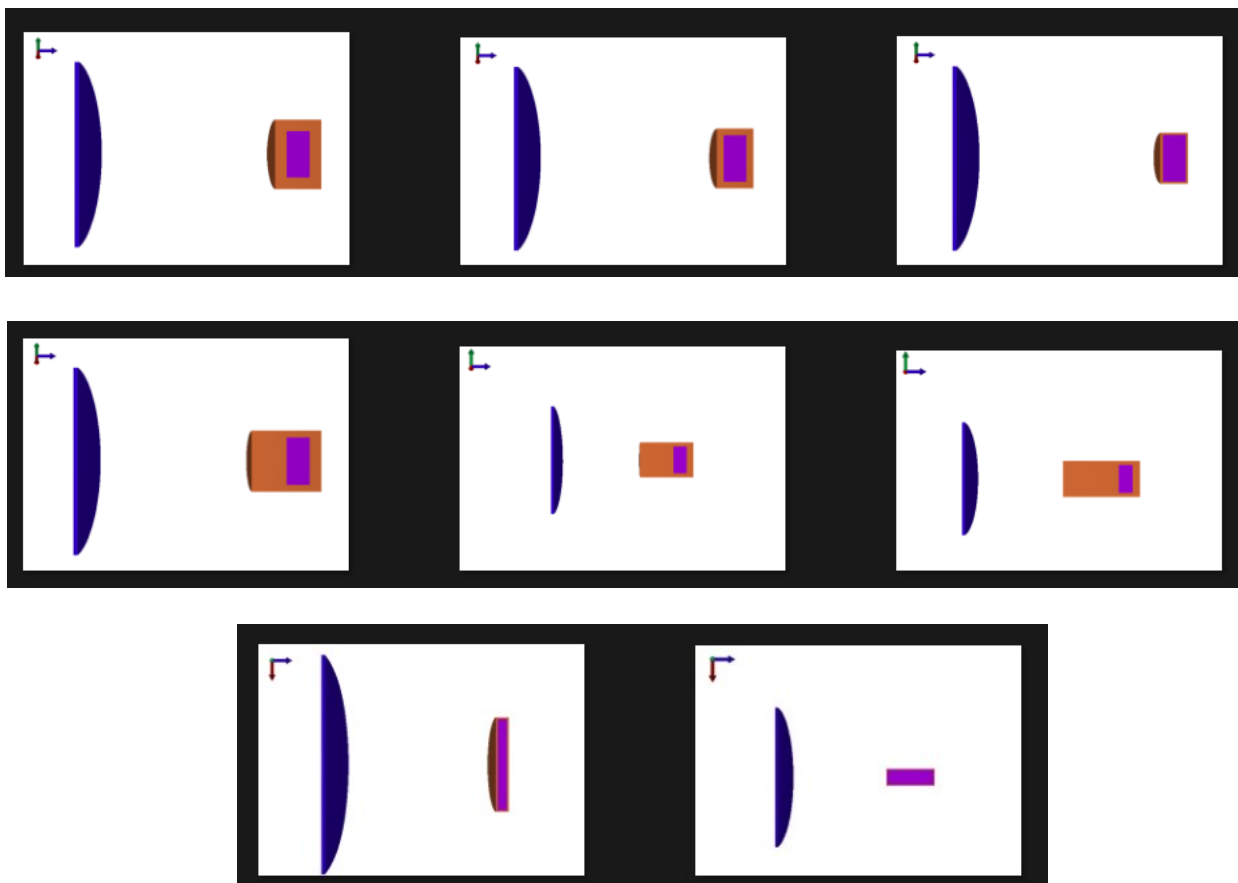
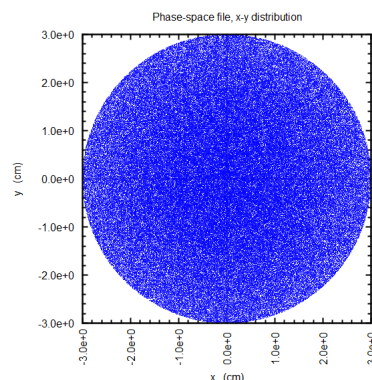
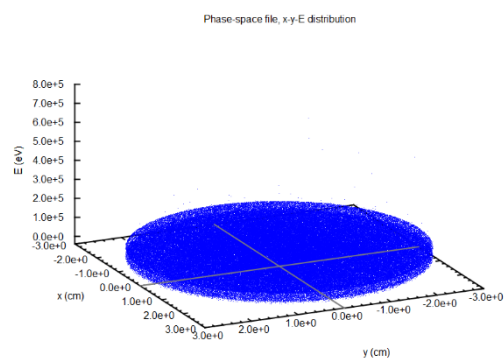


Fig.6

Alcuni plot dello studio con il codice Montecarlo PENELOPE che si propone di valutare lo spettro di fluenza corrispondente a vari tipi di capsula delle sorgenti di S-Am, variabilità delle capsule delle sorgenti sigillate in corso di studio in base a differenti parametri geometrici tra cui spessore e lunghezza

RISULTATI E CONCLUSIONI

I risultati preliminari del metodo indicano che è possibile stabilire la relazione tra una determinazione sperimentale dello spessore di dimezzamento (HVL) e l'abbondanza relativa delle componenti di bassa energia nello spettro di fluenza, affinché tale abbondanza relativa sia rappresentativa delle sorgenti disponibili in commercio o già esistenti è in corso lo studio basato sul metodo Montecarlo con il codice PENELOPE che si propone di valutare lo spettro di fluenza corrispondente a vari tipi di capsula. Il metodo proposto potrebbe essere segnalato per un aggiornamento della norma ISO 4037:2019 e potrebbe consentire il recupero ed evitare lo smaltimento delle sorgenti di ^{241}Am ed i relativi impianti di irraggiamento presenti nei vari paesi

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] ISO 4037-1:2019, Radiological protection -X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy -Part 1: Radiation characteristics and production methods, 2019.
- [2] ISO 4037-3:2019, Radiological protection -X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy -Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence, 2019.
- [3] ISO 4037-1:1996, X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 1: Radiation characteristics and production methods, 2019.
- [4] ISO 4037-3:1999, X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence, 1999.
- [5] Salvat, F., Fernandez-Varea, J. M. & Sempau, J. PENELOPE-2022: A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport. in (eds. Salvat, F., Fernandez-Varea, Jose M & Sempau, J.) 1–385 (2022).
- [6] Susy Toma et al “Caratterizzazione di una sorgente di ^{241}Am per la determinazione delle grandezze dosimetriche operative in assenza di prescrizioni in ISO”, AIRP Congresso 2022.

[7] Susy Toma “Caratterizzazione di una sorgente di ^{241}Am per la determinazione delle grandezze dosimetriche operative in assenza di prescrizioni in ISO 4037:2019” Master in radioprotezione e agenti fisici, Tor Vergata, 2023.