

ENEACERTIFIED

ITALIAN NATIONAL AGENCY
FOR NEW TECHNOLOGIES,
ENERGY AND SUSTAINABLE
ECONOMIC DEVELOPMENT

Caratterizzazione di una nuova camera a ionizzazione presso l'impianto di irraggiamento gamma Calliope

J.Scifo^{1*}, R. Bedogni², A.I. Castro-Campoy², V. De Coste¹, I. Di Sarcina¹, B. D'Orsi¹, A. Embriaco¹, G. Ferrara¹, F.Frigi², L. Russo², and A. Cemmi¹

¹ ENEA, Dipartimento Nucleare (NUC), Centro Ricerca Casaccia, Via Anguillarese, 301, 00123 Roma, Italia
² INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, Via Enrico Fermi 54 - 00044, Frascati, Italia
jessica.scifo@enea.it



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI

Sintesi

Molte proprietà fisiche e chimiche della materia subiscono alterazioni a seguito dell'esposizione alle radiazioni. Tali variazioni possono essere sfruttate per la realizzazione di un sistema (il dosimetro) in grado di misurare la dose assorbita. Presso l'impianto di irraggiamento gamma Calliope del Centro Ricerche ENEA Casaccia di Roma [1], vengono impiegati diversi sistemi dosimetrici in funzione del range di dose assorbita d'interesse. Il presente lavoro illustra uno studio comparativo tra sistemi dosimetrici convenzionali e passivi [2] — quali la soluzione di Fricke e i dosimetri ad alanina-ESR — e una camera a ionizzazione cilindrica.

Nell'ambito della collaborazione ENEA-INFN, è stata organizzata una campagna sperimentale finalizzata alla valutazione della risposta di una camera a ionizzazione cilindrica di nuova concezione* e della relativa curva di attenuazione in piombo. La camera a ionizzazione è stata realizzata presso il Laboratorio LEMRAP (INFN Frascati). L'apparato è stato calibrato posizionando la camera al centro di una cavità realizzata con mattoni forati e uno strato aggiuntivo di piombo per eliminare la componente di radiazione diffusa tramite collimazione. Le misurazioni sono state effettuate interponendo spessori crescenti di piombo, da 0 a 4 cm, per ottenere una curva di attenuazione che copre circa una decade di intensità. È stata, inoltre, eseguita una successiva campagna sperimentale per il confronto tra la camera a ionizzazione e i dosimetri passivi convenzionali.

* Poiché sono attualmente in corso iniziative finalizzate alla tutela e alla valorizzazione della proprietà intellettuale, in questa fase non è consentita la divulgazione dei dettagli costruttivi.

Impianto di irraggiamento gamma Calliope (ENEA C. R. Casaccia, Roma)

Impianto di irraggiamento a piscina con sorgente gamma da ⁶⁰Co in un bunker di grandi dimensioni (7×6×3.9 m³).

Effetto Cherenkov attorno alle barrette (area attiva: 41 cm x 75 cm)

- Test di irraggiamento a diversi ratei di dose, a diverse condizioni ambientali e sotto polarizzazione.
- Simulazioni del campo gamma con i codici FLUKA/MCNP.
- Testing online e acquisizione dati da remoto.

Laboratorio di dosimetria

Soluzione Fricke, Red-Perspex, TLD, Alanina-ESR, dosimetri elettronici

Laboratorio di caratterizzazione

Tecniche ottiche e spettroscopiche
Spettrometri UV-VIS-NIR, FTIR/ATR-FTIR e Raman.
Spettrometro a risonanza di spin elettronico ESR (banda X)

Test ambientali

Test di invecchiamento accelerato

Camera climatica:
• -75°C - +180°C (Temp.);
• 10 - 98 % (Umidità);
• Lampada UV 220 - 630 nm (0 – 40°C).

Calibrazione energetica della camera a ionizzazione per diverse attenuazioni

Nell'ambito dello studio comparativo tra dosimetri passivi convenzionali, quali soluzione Fricke e alanina-ESR, e una camera a ionizzazione cilindrica, è stata caratterizzata la risposta del rivelatore a radiazione gamma presso l'impianto CALLIOPE. Le misure hanno permesso di determinare la curva di attenuazione in piombo (Pb) e di verificarne la stabilità temporale del segnale.

Per realizzare le condizioni di «buona geometria» è stato usato un collimatore in piombo da 20x15x15 cm³. La camera è stata posizionata al centro di una cavità in Pb, tale da vedere il campo incidente solamente sulla faccia frontale. Al di sotto della cavità è collocato un ulteriore mattone di Pb da 5 cm con lo scopo specifico di eliminare la radiazione diffusa. Per la misura della Curva di Attenuazione del Co-60 sono stati interposti 4 spessori progressivi di piombo (Pb) di 1 cm ciascuno fino a coprire un'attenuazione pari a circa 1 decade.

L'analisi della curva di attenuazione acquisita con la camera a ionizzazione ha fornito un valore di TVL (*Tenth-Value Layer*) pari a 3.99±0.06 cm, in accordo con il valore di riferimento di 4 cm riportato in letteratura [3]. Il risultato conferma l'assenza di dipendenza della risposta della camera dall'intensità del campo radiante nell'intervallo di rateo di dose compreso tra circa 35 e 350 Gy/h.

Stabilità nel tempo: Il segnale di ionizzazione misurato (in Volt) nel corso di un'acquisizione di oltre 4000 secondi risulta estremamente costante. Precisione: La deviazione standard misurata è nell'ordine di frazioni di punto percentuale (%), confermando un'ottima stabilità della strumentazione di acquisizione (DAQ).

Taratura della camera con dosimetri convenzionali passivi

Nella seconda fase dello studio, la camera a ionizzazione è stata tarata nell'intervallo di rateo di dose compreso tra 1 e 20 Gy/h mediante confronto con due dosimetri passivi di riferimento indipendenti: la soluzione di Fricke e la dosimetria ad alanina-ESR.

Alanina-ESR: dosimetro convenzionale passivo [4]

Soluzione Fricke: dosimetro convenzionale passivo

Rateo di dose (Gy/h)	Err (Gy/h)	Amplificazione	Segnale (V)	Err Segnale (V)	V / Rateo di dose	Err (V/Rateo di dose)
1,6	2,5%	x44	0,3	5%	1,6E-01	5%
1,6	2,5%	x24	0,14	0,6%	8,0E-02	3%
1,6	2,5%	x4,5	0,03	4%	1,6E-02	5%
17,6*	2,5%	x44	2,8	0,6%	1,6E-01	3%
17,6*	2,5%	x24	1,5	0,4%	8,0E-02	3%
17,6*	2,5%	x4,5	0,3	0,4%	1,6E-02	3%
17,6*	2,5%	x1	0,06	1,3%	3,0E-03	3%
413	4%	x1	1,7	0,20%	4,0E-03	4%

Il grafico mostra l'andamento temporale del segnale associato al campo di radiazione generato dalla sorgente di ⁶⁰Co. I picchi osservati evidenziano l'elevata sensibilità della camera a ionizzazione alle variazioni del campo durante le fasi di movimentazione della sorgente all'interno della piscina e durante il suo attraversamento della piattaforma di irraggiamento.

Il rateo di dose è stato determinato mediante dosimetri passivi di riferimento, utilizzando sia la soluzione di Fricke sia dosimetri ad alanina letti mediante spettroscopia di risonanza paramagnetica elettronica (Alanina-ESR). I risultati riportati in tabella mostrano **che il fattore di taratura (V/rateo di dose) risulta indipendente dalla posizione del punto dosimetrico entro le incertezze sperimentali associate**. La procedura di taratura è stata validata nell'intervallo compreso tra circa 1 Gy/h e 20 Gy/h, range ampiamente rilevante per applicazioni nei settori medico, radioprotezionistico e aerospaziale.

* Il valore ottenuto è stato ulteriormente verificato mediante dosimetria ad alanina-ESR, con lettura eseguita da ENEA-INMRI. La determinazione della dose è stata effettuata applicando una curva di taratura in dose assorbita in acqua per irraggiamento con sorgente ⁶⁰Co nell'intervallo 5-25 Gy, con riferibilità metrologica al PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt).

Conclusioni

- La camera a ionizzazione ha mostrato un comportamento in accordo con i modelli di attenuazione attesi per un fascio collimato, con una curva sperimentale che fornisce un valore di TVL (Tenth-Value Layer) compatibile con i dati riportati in letteratura nelle stesse condizioni. È stata verificata una risposta lineare del rivelatore nell'intervallo di rateo di dose compreso tra circa 35 e 350 Gy/h, confermando l'idoneità della camera per misure quantitative su almeno una decade di intensità. Il segnale ha evidenziato un'elevata stabilità temporale, con variazioni limitate a frazioni di punto percentuale, indice di buona riproducibilità e affidabilità delle misure.
- La camera a ionizzazione si è dimostrata un sistema dosimetrico rapido ed efficace, consentendo la misura online della dose e del rateo di dose durante l'irraggiamento e fornendo un riscontro immediato dell'esposizione erogata.
- Nel complesso, la campagna sperimentale conferma che la camera a ionizzazione fornisce misure affidabili, lineari e stabili nelle condizioni investigate.

Riferimenti

- [1] S. Baccaro, A. Cemmi, I. Di Sarcina, G. Ferrara, Gamma irradiation Calliope facility at ENEA-Casaccia Research Centre (Rome, Italy), RT/2019/4/ENEA (2019).
- [2] B. D'Orsi, A. Ampollini, M. D. Astorino, G. Bazzano, R. Carcione, I. Di Sarcina, E. Mansi, C. Ronsivalle, J. Scifo, E. Trinca, A. Verna and A. Cemmi, Dosimetric measurements for precise dose rate distribution mapping: ENEA Calliope gamma irradiation facility and REX electron beam intercalibration, RT/2025/3/ENEA (2025).
- [3] NCRP Report 151 Structural shielding design and evaluation for megavoltage x-and-gamma-ray radiotherapy facilities National Council on Radiation Protection and measurements (2005)
- [4] <https://aerial-crt.com/>

Convegno Nazionale AIRP di Radioprotezione
Napoli, 7 – 9 Ottobre 2026