



UNIVERSITA' DI PALERMO

**DIN**  
DIPARTIMENTO DI  
INGEGNERIA NUCLEARE  
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PALERMO

---

---

# Valutazioni di efficienza di rivelatori HPGe con il codice MCNP5

S. Rizzo, E. Tomarchio

*Università di Palermo, Dipartimento di Ingegneria Nucleare  
Viale delle Scienze – Parco d’Orleans, Ed. 6 – 90128 Palermo (Italy)*



## Introduzione

La spettrometria gamma con rivelatori HPGe è una tecnica di misura della radioattività presente in campioni gamma-emittenti sempre più impiegata in campo radioprotezionistico per la elevata sensibilità che è possibile raggiungere con strumentazione anche non molto sofisticata.

Viene utilizzata nella misura di campioni di varia tipologia (ambientali, reflui, filtri, etc.) in cui le attività radionuclidiche specifiche sono solitamente molto basse. Per tale motivo le misure spesso coinvolgono grossi volumi, per ottenere elevate attività totali, e geometrie di misura molto prossime al rivelatore.



---

---

## Introduzione

Per la quantificazione dell'attività di ogni radionuclide identificato nel campione, è necessaria la calibrazione in efficienza del sistema di misura per la geometria adottata.

La determinazione delle efficienze è un compito relativamente facile per *sorgenti puntiformi*, o assimilabili, se si dispone di adatte sorgenti calibrate.

Per le *sorgenti di volume* esistono standard di misura specifici solo per alcune particolari geometrie. Per altre, o anche solo per diverse densità, spesso risulta molto difficile, se non a volte del tutto impossibile, ottenere qualche valutazione di efficienza.

---

---



---

---

## Introduzione

Mentre per alcune geometrie di volume è ancora possibile determinare con metodiche abbastanza note le efficienze (ad es. realizzando standards con tecniche radiochimiche più o meno complesse), non è invece facile la soluzione del problema della valutazione dei *fattori di correzione per effetti somma*, importanti per determinazioni precise delle attività in geometrie di misura molto prossime al rivelatore (es. filtri poggiati sul rivelatore).

In entrambi i casi, si ricorre sempre più spesso dall'impiego di codici di simulazione (tipo Monte Carlo) della risposta del rivelatore, modellando opportunamente la geometria.

---

---



## Scopo del lavoro

Qui si vogliono sinteticamente presentare i risultati dell'impiego del codice MCNP5 per la determinazione di efficienza e dei fattori di correzione per coincidenze-somma per alcune geometrie.

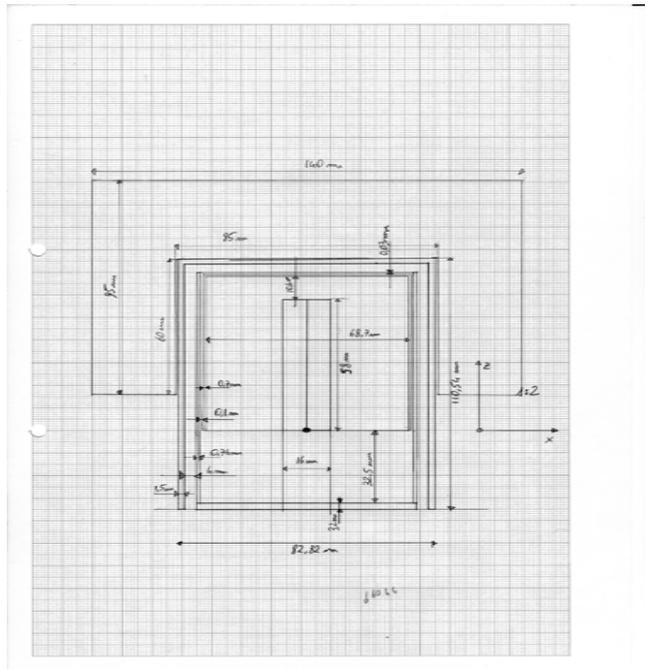
La validazione sperimentale del modello MCNP5, è stata effettuata con l'ausilio di sorgenti gamma calibrate tipo “*single-line*”, ossia caratterizzate da una sola emissione gamma.

Il confronto tra dati simulati e sperimentali ha condotto a variare anche significativamente i parametri fisici del rivelatore forniti dalla casa costruttrice, in particolare lo spessore del Dead-layer, (DL) e, in misura minore, il “cold finger”, il volume attivo, etc

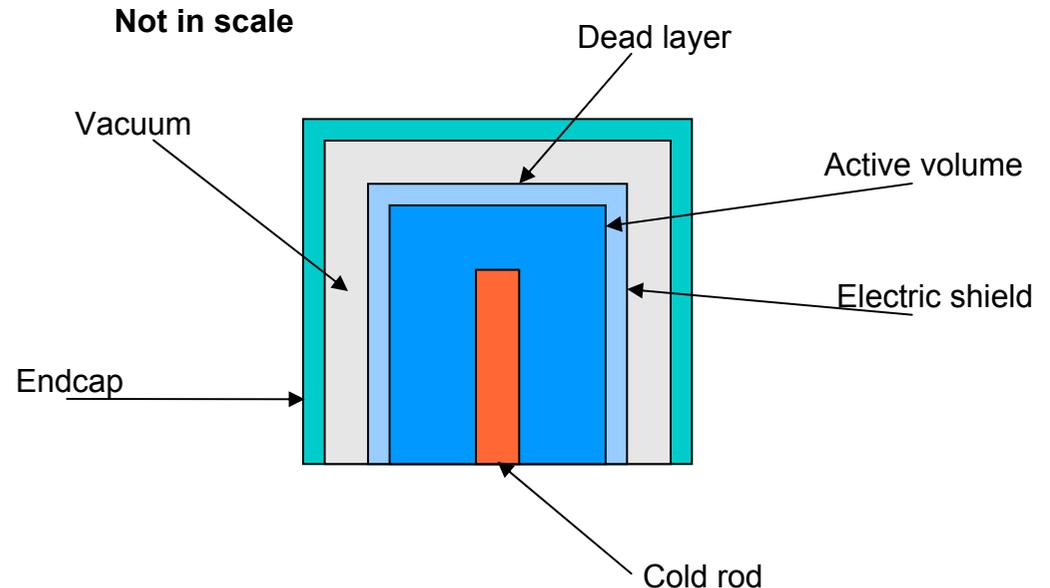


## Il Modello del rivelatore HPGe

Il modello del rivelatore, costruito a partire dai dati reali, è stato ottimizzato, prendendo come riferimento sia le efficienze fotoelettriche sia quelle totali (sorgenti puntiformi “single-line”).



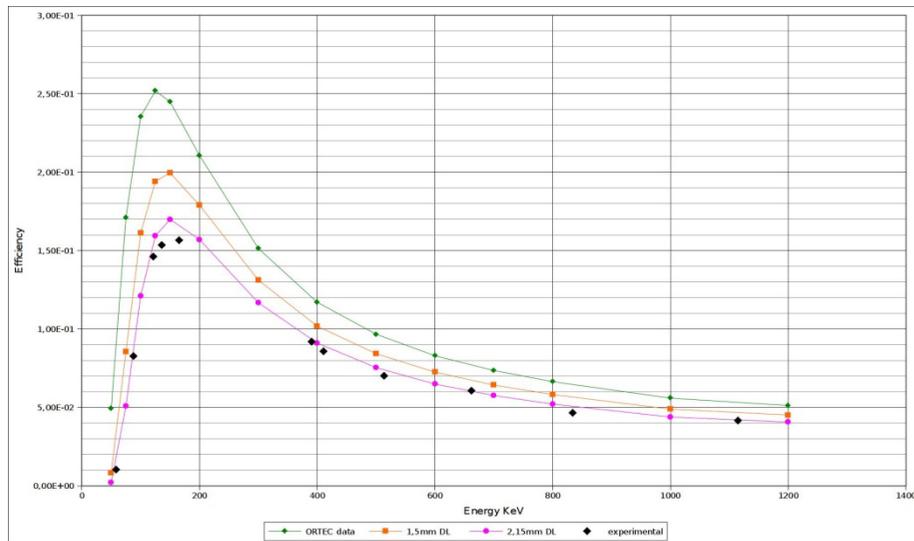
### Model layout



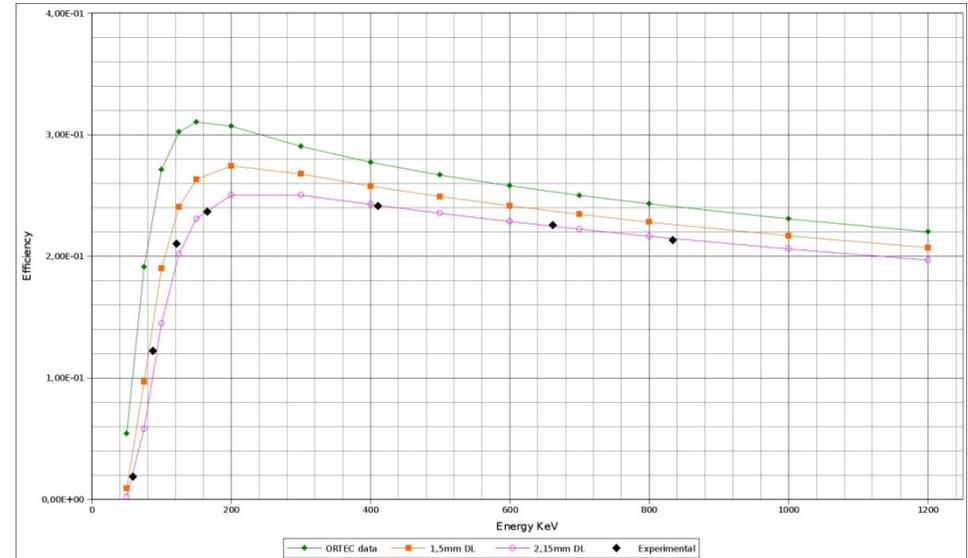


## Il Modello del rivelatore

Un valore di DL ottimizzato per il range energetico 200-1800 keV comporta errori significativi nel range energetico 50-200 keV, e viceversa. Se si vuole adottare un valore di DL, per semplicità di calcolo, è necessario un compromesso tra le varie determinazioni.



Efficienza fotoelettrica



Efficienza totale



## Efficienza e fattori di correzione per sorgenti puntiformi

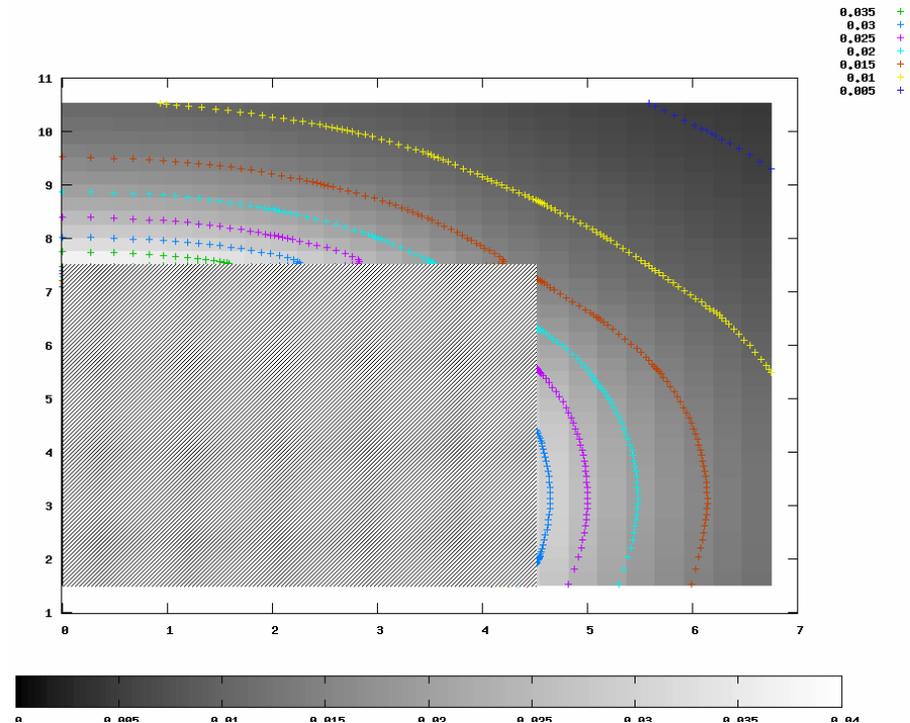
Costruito il modello, MCNP5 può computare le efficienze nel range energetico di interesse e, se ritenuti importanti, anche i fattori di correzione. Questo compito è abbastanza semplice per le sorgenti puntiformi in quanto, derivate le espressioni numeriche che traducono lo schema di decadimento del nuclide ( come quella riportata per l'emissione a 1408 keV dell' $^{152}\text{Eu}$ ), è sufficiente sostituire i pertinenti valori delle efficienze fotoelettriche  $\varepsilon_p(E)$  ed totali  $\varepsilon_T(E)$  (dedotte dalle curve di interpolazione).

$$C = [1 - 0.4617 \varepsilon_T(121.8)] \times [1 + 0.0787 \varepsilon_p(964.1) \varepsilon_p(444.0) / \varepsilon_p(1408)] \times \\ \times [1 + 0.016 \varepsilon_p(1112.1) \varepsilon_p(295.9) / \varepsilon_p(1408)] \times [1 + 0.0132 \varepsilon_p(919.4) \varepsilon_p(488.6) / \varepsilon_p(1408)] \\ \times [1 - 1.0399 \varepsilon_{\text{TXK}}(41.1) + 0.2170 (\varepsilon_{\text{TXK}}(41.1))^2].$$



## Efficienza e fattori di correzione per sorgenti di volume

Modellata la geometria, MCNP5 può determinare l'efficienza globale. Per i fattori di correzione si procede alla valutazione con MCNP5 delle “efficienze elementari”,  $\varepsilon_p(r)$ ,  $\varepsilon_T(r)$  ossia le efficienze di una porzione (piccola da essere assimilata a puntiforme) della sorgente.



Curve di isoefficienza per E= 1000 keV

Naturalmente è ancora possibile ottenere un valore di efficienza globale da una integrazione delle efficienze elementari.



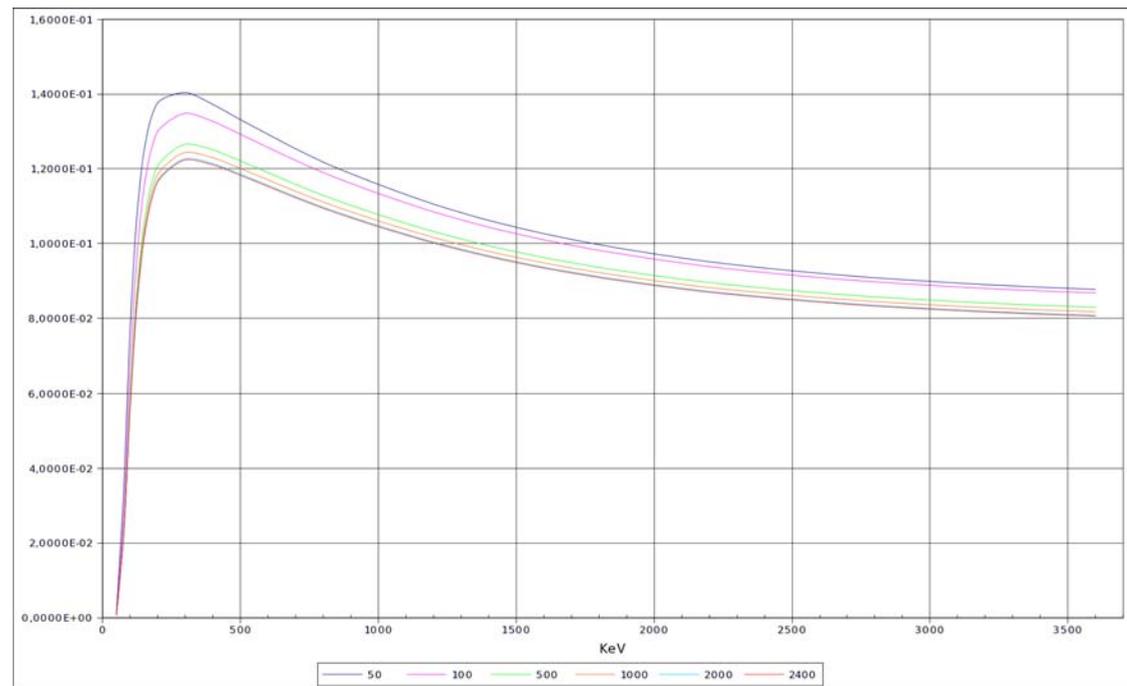
## fattori di correzione per coincidenze-somma

Per la valutazione dei fattori di correzione per coincidenze-somma, si sono computate le cosiddette “*efficienze effettive*”, definite

$$\varepsilon_T^{eff}(E_i, E_j, V) = \frac{\int \varepsilon_p(E_i, \vec{r}) \cdot \varepsilon_T(E_j, \vec{r}) dV}{\int \varepsilon_p(E_i, \vec{r}) dV}$$

$$\varepsilon_p^{eff}(E_p, E_q, V) = \frac{\int \varepsilon_p(E_p, \vec{r}) \cdot \varepsilon_p(E_q, \vec{r}) dV}{\int \varepsilon_p(E_{p+q}, \vec{r}) dV}$$

i cui valori possono ancora essere utilmente utilizzati nella relazione numerica di cui all'esempio precedente.



Efficienze effettive totali per Marinelli con riv. HPGe (50% eff. rel.)



## Conclusioni

MCNP5 è un valido strumento per il computo delle efficienze per geometrie di volume ed, eventualmente, dei fattori di correzione per effetto somma per una geometria di misura, per la quale non si dispone di adatti standards. A tale scopo occorre :

- Modellare opportunamente il rivelatore;
  - Validare sperimentalmente i risultati;
- Modellare la geometria del campione;
  - Confermare il modello con qualche test sperimentale;
- Calcolare le efficienze e gli eventuali fattori di correzione per i radionuclidi di interesse.

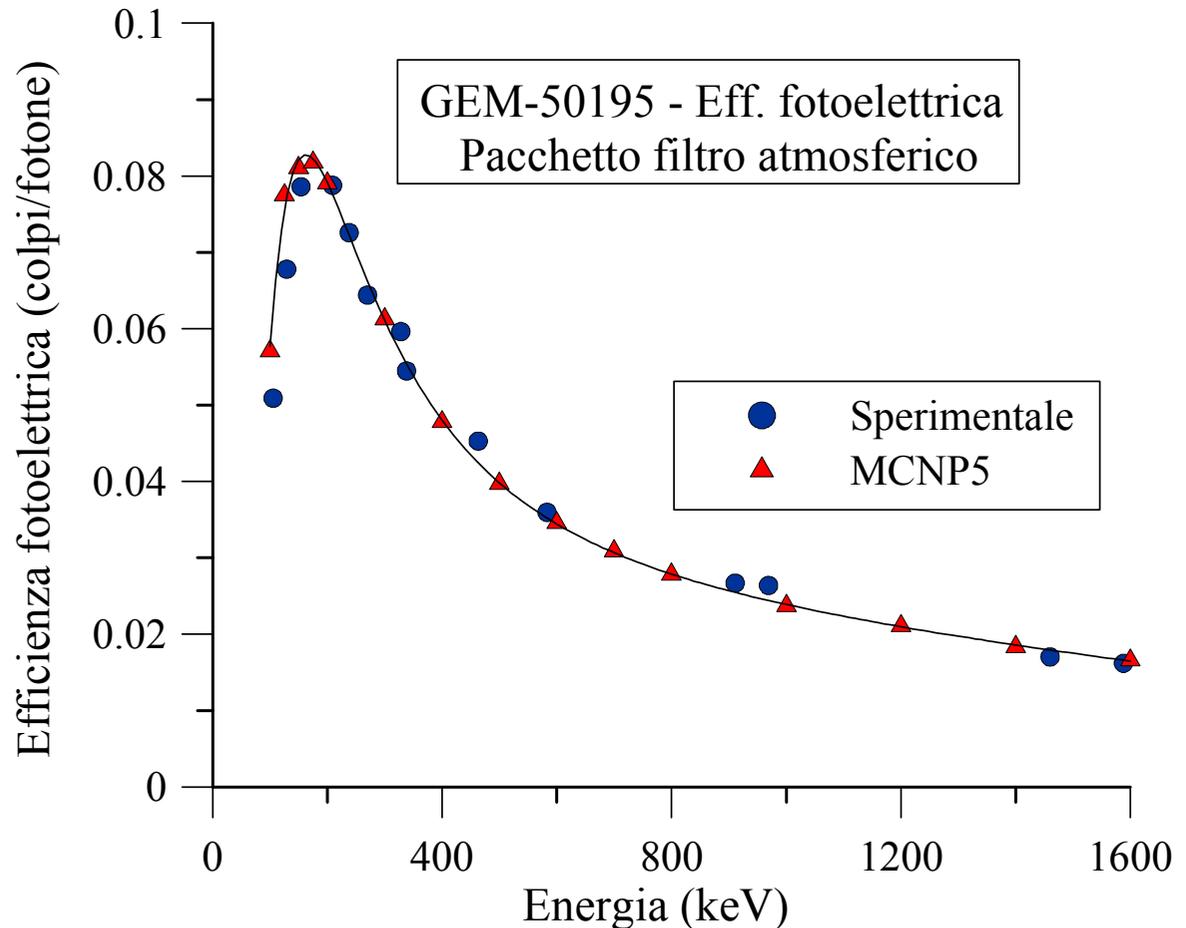


## Conclusioni

Una verifica è stata fatta per una geometria “a pacchetto”,



usata per misure di filtri di particolato atmosferico di cui erano disponibili alcuni dati sperimentali.





## Conclusioni

I risultati sono abbastanza soddisfacenti nonostante uno scostamento di tipo prevalentemente sistematico dell'ordine del 5-8% nel range energetico 50-150 keV, probabilmente correlato al valore di DL adottato e a differenze geometriche tra lo standard realizzato e il modello del campione.

Per le misure di radioprotezione (ad es. campioni ambientali), errori in efficienza dell'ordine del 5% sono ancora accettabili, mentre si può dimostrare che errori di questa entità non influenzano significativamente la determinazione dei fattori di correzione.