

High-Purity germanium detectors

Gianluca Cavallaro
Marco Gobbo

20 Aprile 2020

1 Introduzione

La seguente esperienza ha come scopo quello di studiare la caratterizzazione di due diversi rivelatori al germanio. Per avere un quadro più completo, illustriamo brevemente le caratteristiche di questi tipi di rivelatori. Si tratta di una classe di rivelatori a semiconduttore, il germanio in questo caso, che sfrutta la tecnologia della giunzione P-N. La giunzione P-N è costituita da due zone, una con un eccesso di lacune ed una con un eccesso di elettroni. Lacune ed elettroni vengono ottenuti mediante diverse tecniche di drogaggio del materiale utilizzato. La zona chiave della giunzione P-N è quella di confine tra le due zone: i portatori di carica possono diffondere nella zona adiacente, attraverso una corrente di diffusione, creando, in ultima istanza, una differenza di potenziale che genera un campo elettrico, che a sua volta genera una corrente di trascinamento che si oppone a quella di diffusione. Le caratteristiche delle due zone e dei portatori di carica dipende dalle caratteristiche costitutive della giunzione. La giunzione può poi essere sottoposta a polarizzazione diretta o inversa: nel nostro caso siamo interessati a polarizzare inversamente la giunzione, così che nel nostro rivelatore non ci sia nessuna corrente sovrapposta a quella di raccolta delle cariche. Il rivelatore va poi tenuto in un dewar che lo mantiene ad una temperatura di 77K, attraverso un bagno di azoto liquido. Questo perché nei semiconduttori la banda di valenza e di conduzione è separata da un gap in energia, che nel germanio è talmente basso (0.67 eV) che mantenendo il rivelatore a temperatura ambiente l'agitazione termica sarebbe sufficiente a superare questo gap, ostacolando le nostre misure.

2 Parte 1

2.1 Strumentazione

- Crate NIM per alimentazione di elettronica standard
- Rivelatore coassiale HPGe
- Generatore HV Label Model 8124 per tensione di polarizzazione
- Amplificatore CAEN Model N968
- ADC/MCA CAEN Model N957
- Sorgenti di calibrazione: ^{22}Na , ^{60}Co , ^{228}Th

2.2 Scelta delle condizione ottimali di lavoro

Il segnale è acquisito mediante una catena di lettura classica. In questo caso abbiamo un dispositivo che integra detector e pre-amplificatore, uno che integra amplificatore e shaper e un ADC/MCA a parte. L'obiettivo di questa prima parte è quello di individuare le condizioni ottimali per tensione di polarizzazione e shaping time per proseguire nell'esperienza. Individuare le condizioni di lavoro ottimali significa individuare quelle che minimizzano la risoluzione. Abbiamo a nostra disposizione degli spettri di una sorgente di ^{22}Na , raccolti in corrispondenza di diversi valori di polarizzazione, da 2000V a 5000V, e di shaping time, rispettivamente 0.5, 1, 2, 3, 6, e 10 μs .

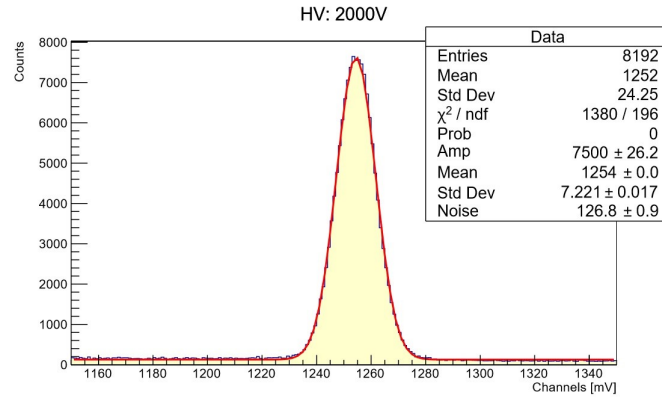


Figure 1: Tensione di polarizzazione 2000V

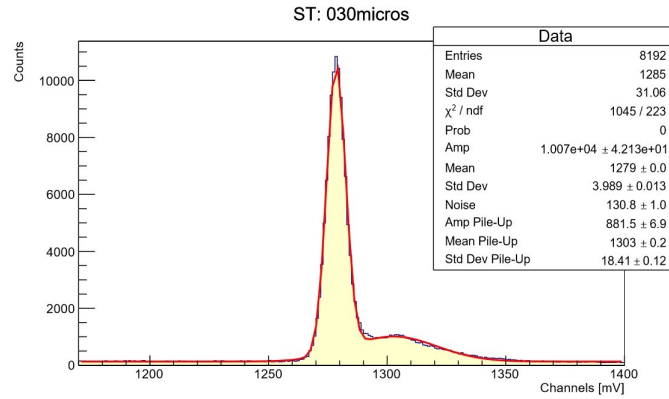


Figure 2: Shaping time 30 μs

Per i grafici relativi alla tensione di polarizzazione è stato necessario effettuare uno "zoom" sulla zona dove si registra il picco. In questa zona, il picco è stato estrapolato attraverso una funzione gaussiana sommata ad un polinomio di grado 0, che tiene conto del fondo. Nei grafici relativi allo shaping time il procedimento è stato analogo, ma nel fittare la funzione è stato necessario considerare due gaussiane, con la seconda che ci ha permesso di considerare nel fit il pile-up, fenomeno per il quale il rivelatore non è "pronto" a ricevere due misure successive, e va

quindi a sommare un evento sulla coda di quello precedente, andando in alcuni casi a deformare il picco in questione. Attraverso questo processo siamo arrivati ad avere a disposizione 16 valori per la tensione di polarizzazione e 6 per lo shaping time. Per entrambe le raccolte dati, andiamo a costruire il grafico della risoluzione in funzione della tensione di polarizzazione e dello shaping time, rispettivamente. La risoluzione è stata calcolata con la seguente relazione:

$$R = \frac{\text{FWHM}}{\text{Channel}} \quad (1)$$

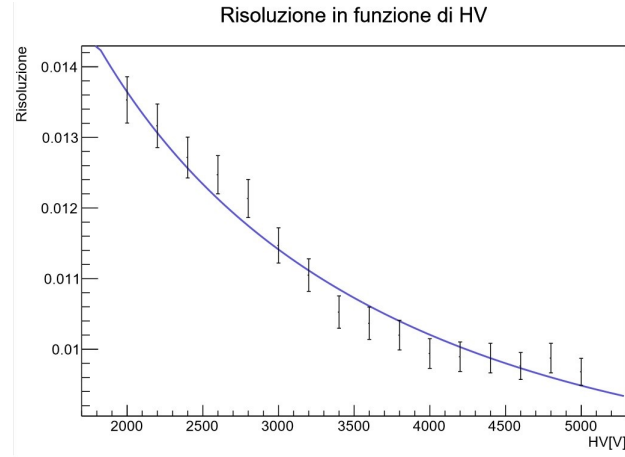


Figure 3: Risoluzione in funzione della tensione di polarizzazione

-inserire grafico risoluzione st-

I grafici sono stati interpolati con la seguente funzione:

$$R = \sqrt{\frac{a}{x} + bx} \quad (2)$$

con x che indica in un caso la tensione e nell'altro lo shaping time.

Il nostro obiettivo era di ricavare i valori che minimizzassero la risoluzione. Nel caso della tensione di polarizzazione la risoluzione decresce, fino ad assestarsi intorno ad un valore costante oltre i 4000V, che può quindi essere preso come valore di riferimento. Nel caso dello shaping time la risoluzione ha un minimo in corrispondenza di uno shaping time di $2 \mu s$, ed oltre quel valore torna a crescere, a causa del pile-up che diventa sempre più significativo.

2.3 Calibrazione in energia del rivelatore

2.3.1 Curva di calibrazione

Abbiamo a disposizione gli spettri di 3 sorgenti note: ^{22}Na , ^{60}Co e ^{228}Th . Gli spettri sono riportati in appendice. Come fatto precedentemente, andiamo ad effettuare uno "zoom" su ognuno dei picchi per poterne ottenere la posizione e la sigma. Per il torio in particolar modo, abbiamo tenuto conto solo dei picchi più intensi e distinguibili. Di seguito riportiamo un esempio:

Ognuno dei picchi individuati corrisponde ad una energia ben precisa. Nel seguente grafico è dunque riportata la curva di calibrazione, Energia vs. Canali:

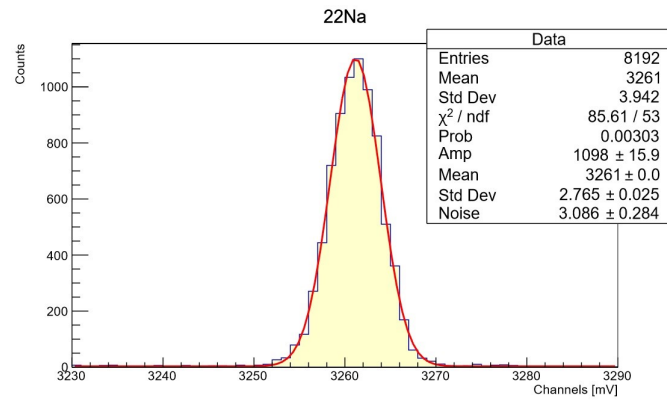


Figure 4: Il picco del ²²Na

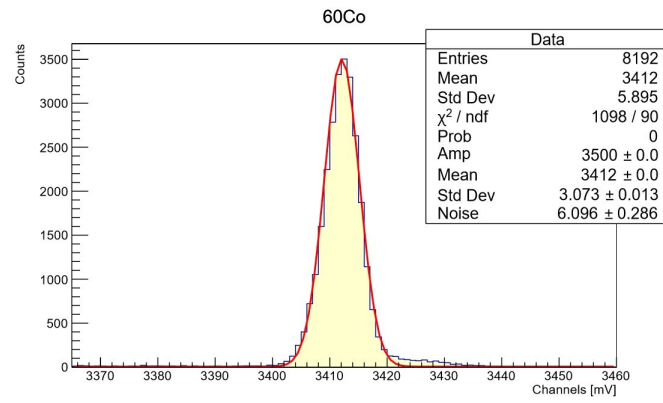


Figure 5: Uno dei due picchi del ⁶⁰Co

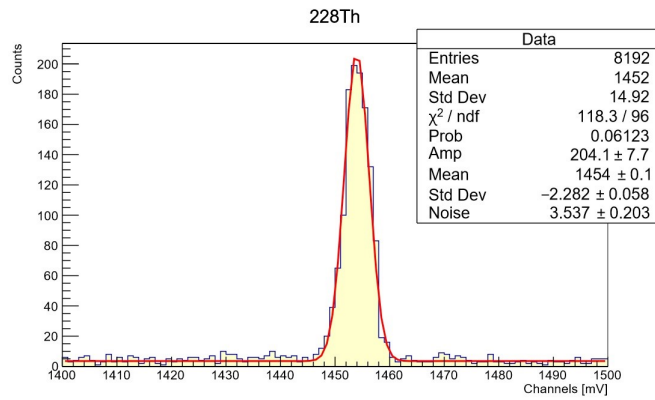


Figure 6: Uno dei picchi del ²²⁸Th

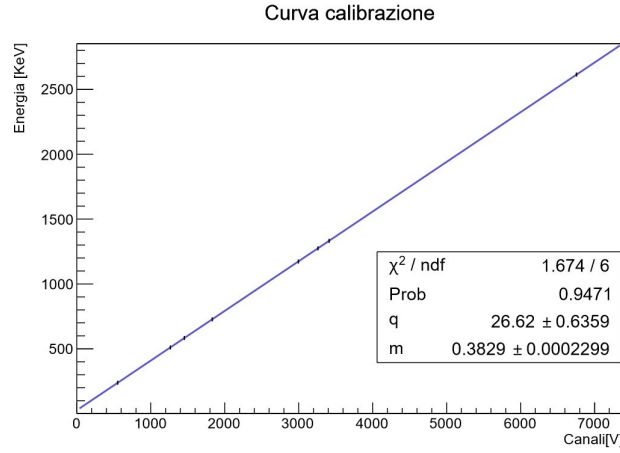


Figure 7: Energia vs. Canali

Il grafico è stato interpolato con la seguente funzione

$$Energia = m \cdot Canale + q \quad (3)$$

ottenendo i seguenti parametri:

$$m = 0.3829 \pm 2.3 \times 10^{-4} \text{ Kev/V}$$

$$q = 26.62 \pm 0.64 \text{ Kev}$$

I valori di χ^2 ridotto e P -Value riportati nel grafico mostrano come l'andamento lineare della relazione sia consistente. La relazione che intercorre fra energia e canali è dunque lineare.

2.3.2 Risoluzione

Vogliamo andare ad indagare la dipendenza della risoluzione in funzione dei valori di energia. La risoluzione è caratterizzata da 3 componenti: una statistica, che dipende linearmente dall'energia, una legata alla raccolta delle cariche, che dipende quadraticamente dall'energia, ed infine una legata al rumore elettronico, indipendente dall'energia. La risoluzione è stata calcolata con la relazione (1). Per quanto riguarda le incertezze si è tenuto conto della deviazione standard e dell'errore su quest'ultima.

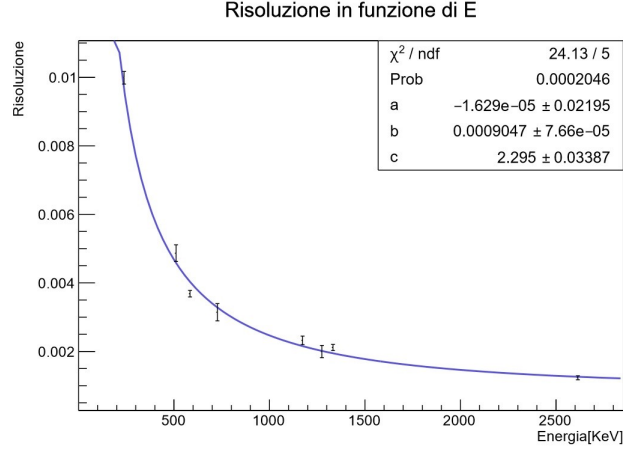


Figure 8: Risoluzione in funzione di E

Per interpolare il grafico è stata utilizzata la relazione

$$R = \sqrt{\frac{a^2}{E} + b^2 + \frac{c^2}{E^2}} \quad (4)$$

Con a, b e c che rispettivamente indicano i contributi legati alla statistica, alla raccolta delle cariche e al rumore. Sono riportati di seguito i valori:

$$a = 1.63 \times 10^{-5} \pm 2.20 \times 10^{-2}$$

$$b = 9.01 \times 10^{-4} \pm 7.66 \times 10^{-5}$$

$$c = 2.29 \pm 3.38 \times 10^{-2}$$

Da cui risulta evidente che il contributo principale alla risoluzione sia legato al rumore elettronico.