



Caratterizzazione di un rivelatore Broad Energy Germanium (BEGe) per l'esperimento GERDA.

Matteo Agostini

2 Ottobre 2009

Università di Padova



Sommario

1 Il Decadimento doppio beta e l'esperimento GERDA

2 Il rivelatore BEGe

Caratteristiche e prestazioni

La simulazione delle forme d'impulso

Il potere di reiezione del fondo

3 Conclusioni

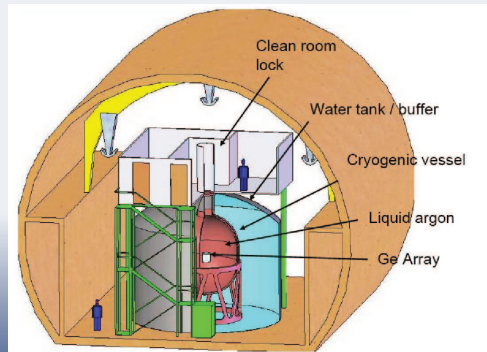


Il Decadimento doppio beta e l'esperimento GERDA

L'esperimento GERDA (Germanium Detector Array)

Rivelatori al Germanio arricchiti nell'isotopo ^{76}Ge :

- la tecnologia dei rivelatori al Germanio è consolidata
- sorgente = rivelatore (efficienza $\sim 100\%$)
- cristalli ultra puri (HPGe) con risoluzione $\Delta E/E \sim 0.1\%$
- $Q_{\beta\beta}(^{76}\text{Ge}) \sim 2039$ keV minore dell'energia dei gamma prodotti nelle catene di decadimento del ^{232}Th e del ^{238}U



Il design di GERDA è finalizzato alla minimizzazione del fondo (10^{-3} counts/(keV Kg y)):

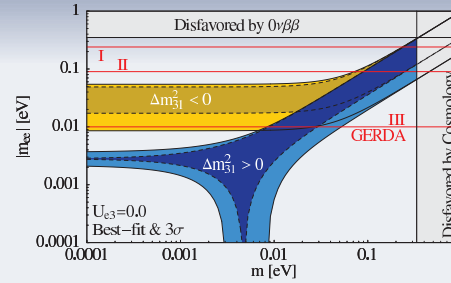
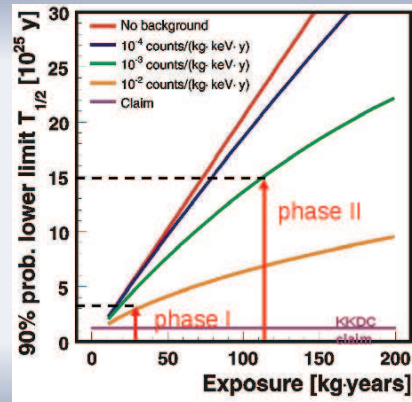
- rivelatori direttamente immersi in LAr (no incapsulamento)
- cura nella scelta dei materiali
- laboratorio sotterraneo (LNGS)
- analisi off-line dei dati

Caratterizzazione di un rivelatore Broad Energy Germanium (BEGe) per l'esperimento GERDA.



Il Decadimento doppio beta e l'esperimento GERDA

Sensibilità dell'esperimento GERDA



$$T_{1/2}^{0\nu} \propto a\varepsilon \sqrt{\frac{MT}{BR}}$$

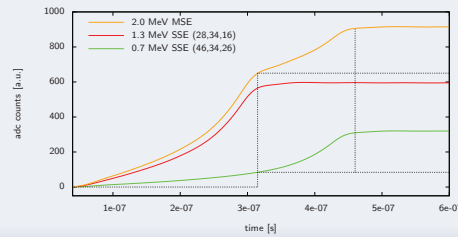
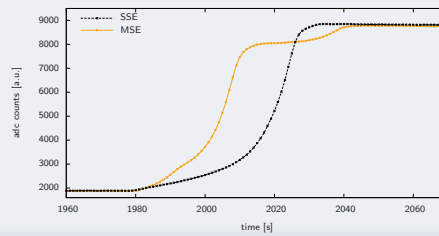


Il Decadimento doppio beta e l'esperimento GERDA

Studio delle forme degli impulsi

Il fondo nell'esperimento GERDA è costituito dai raggi gamma che rilasciano nel rivelatore la stessa energia di un evento doppio beta, tuttavia:

- Radioattività naturale → eventi con interazioni multiple ($\sigma_{tot} \sim \sigma_{Compton}$)
- Decadimento doppio beta → eventi localizzati



La forma del segnale può essere usato per discriminare i **Single Site Events (SSE)** dai **Multi Site Events (MSE)**
→ La forma dei segnali dipende dalla geometria del rivelatore

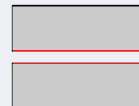


Il Decadimento doppio beta e l'esperimento GERDA

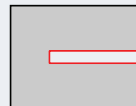
Le diverse tipologie di rivelatori al Germanio

Phase I 8 rivelatori closed-end p-type coaxial (IGEX e HdM)

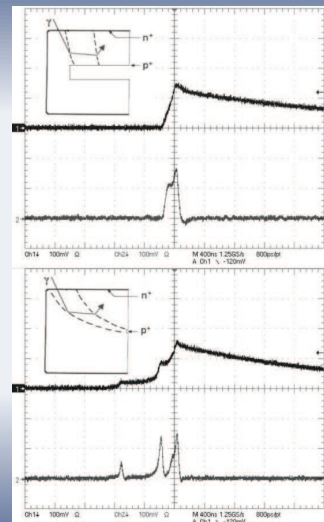
Phase II 2 candidati:
-> rivelatori true-coaxial segmentati (18 segmenti)
-> rivelatori Broad Energy Germanium (BEGe)



true coaxial



closed-end coaxial



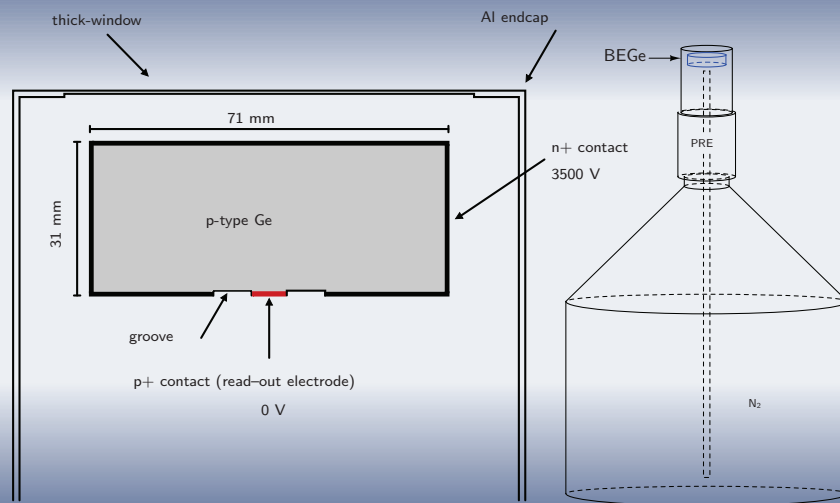
Barbeau et al.,
"Large-Mass Ultra-Low Noise
Germanium Detectors" →

Caratterizzazione di un rivelatore Broad Energy Germanium (BEGe) per l'esperimento GERDA.



Il rivelatore BEGe

Il rivelatore Broad Energy Germanium (BEGe)



Caratterizzazione di un rivelatore Broad Energy Germanium (BEGe) per l'esperimento GERDA.



Il rivelatore BEGe

Le misure di caratterizzazione

Specifications:

Detector model	BE3830/s
Crystal model	7500SL

Physical Characteristics:

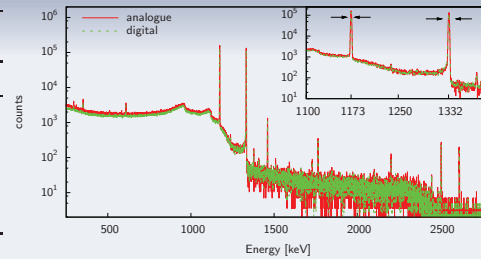
Active diameter	70 mm
Active area	3800 mm ²
Thickness	31 mm
Distance from window	5 mm
Window thickness	1.5 mm
Window material	Al

Electrical Characteristics:

Depletion voltage	+3000 V
Recommended bias voltage	+3500 V
Integral nonlinearity	< 0.05%

Energy Resolution at 1332.5 keV:

FWHM	1.752 keV
FWTM	3.259 keV



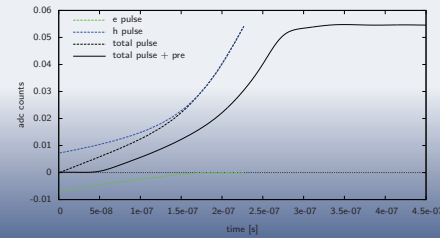
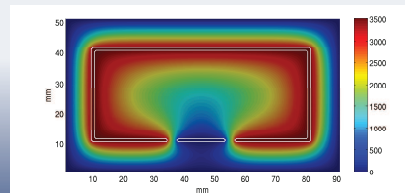
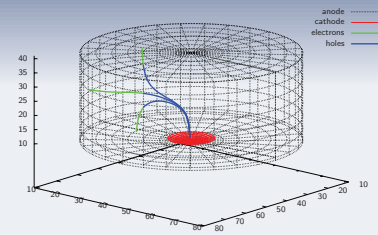
Energy [keV]	Analogue DAQ resolution [keV]	Digital DAQ resolution [keV]
1173	1.529 (0.002)	1.520 (0.002)
1332	1.617 (0.002)	1.607 (0.003)



Il rivelatore BEGe

Struttura della simulazione

- 1 simulazione MC: produzione e interazione nel rivelatore di fotoni ed elettroni (GEANT4)
- 2 raccolta sugli elettrodi delle coppie elettrone-lacuna prodotte in ciascuna interazione
- 3 segnale indotto sugli elettrodi
- 4 risposta del preamplificatore



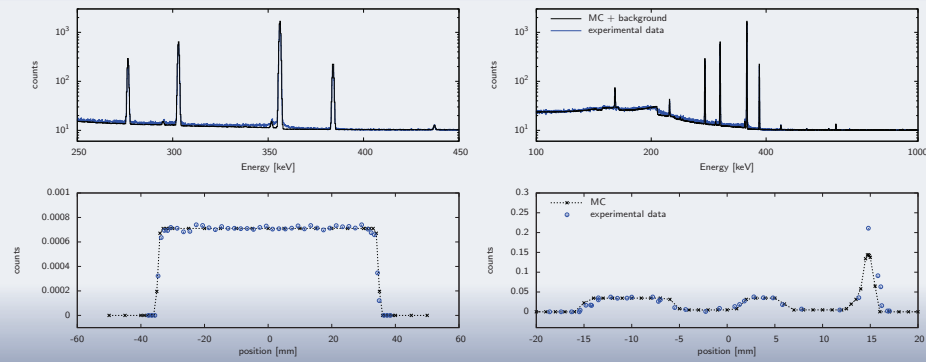
Caratterizzazione di un rivelatore Broad Energy Germanium (BEGe) per l'esperimento GERDA.



Il rivelatore BEGe

Validazione della simulazione – MC

- confronto degli spettri di energia
- assorbimento capsula
- strato morto e volume attivo



Ottimo accordo in tutti i test effettuati

Caratterizzazione di un rivelatore Broad Energy Germanium (BEGe) per l'esperimento GERDA.



Il rivelatore BEGe

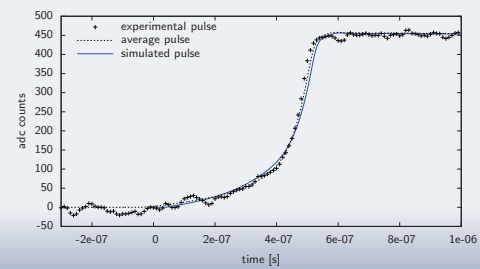
Validazione della simulazione - Forme d'impulso

Confronto diretto tra i segnali sperimentali e simulati:

- sorgente di ^{241}Am collimata \Rightarrow interazioni ben localizzate;
- calcolo del segnale sperimentale medio \Rightarrow forte riduzione del rumore

Calcolo del segnale medio:

- 1 i segnali sperimentali sono interpolati usando la funzione di trasferimento del circuito;
- 2 i segnali interpolati sono allineati in tempo rispetto al segnale medio;
- 3 se lo scarto medio del segnale interpolato ed allineato rispetto alla media è minore di una certa soglia il segnale viene incluso nella media.

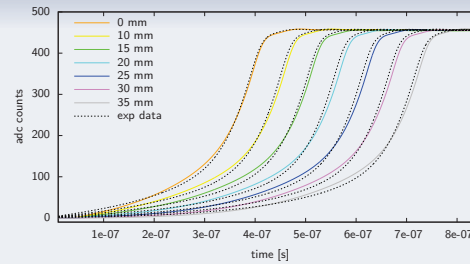
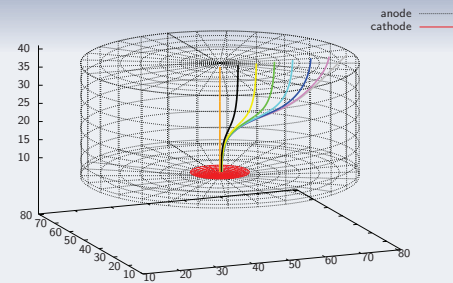




Il rivelatore BEGe

Scansione della superficie

-> sorgente: ^{241}Am -> collimatore: 2 mm -> tempo di acquisizione: 600 s

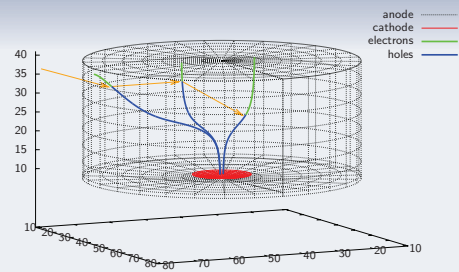


In questo rivelatore le lacune vengono attirate verso il centro del rivelatore e quindi raggiungono l'elettrodo seguendo la stessa traiettoria
⇒ Mentre la parte iniziale dei segnali (< 10% dell'ampiezza massima) contiene l'informazione sulle coordinate dell'interazione, la parte finale non presenta variazioni.

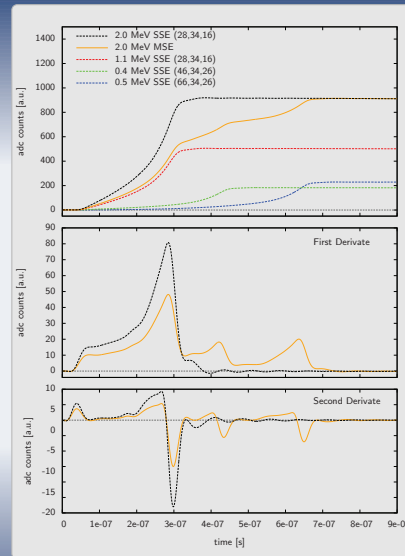


Il rivelatore BEGe

MSE vs SSE



SSE → 2 MeV
MSE → 0.5 MeV+0.4 MeV+1.1 MeV





Conclusioni e prospettive future

Risultati:

- le ottime prestazioni dei rivelatori BEGe fornite dal produttore sono state pienamente verificate
- la simulazione sviluppata fornisce risultati in buon accordo con le verifiche sperimentali condotte fino ad ora
- la simulazione ha permesso di approfondire la conoscenza del funzionamento del rivelatore, ad esempio la correlazione tra la forma degli impulsi e le traiettorie delle cariche durante la raccolta sugli elettrodi
- i primi studi di analisi delle forme degli impulsi hanno confermato l'ottimo potere di discriminazione tra SSE e MSE del BEGe

Prospettive future:

- i BEGe devono essere testati immersi direttamente nel LAr
- la simulazione deve essere pienamente validata attraverso una scansione dell'interno del rivelatore
- le tecniche di discriminazione del fondo basata sullo studio delle forme d'impulso devono essere approfondite