



Primi risultati dell'esperimento GERDA al Gran Sasso

A. Garfagnini

Università di Padova e INFN

4 Aprile 2013



A. Garfagnini (PD)



GERDA



4 Aprile 2013

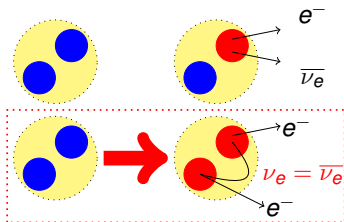
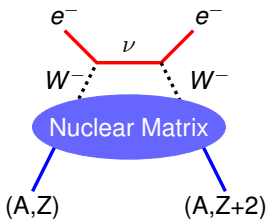
1 / 22

Il neutrino: particella di Dirac o di Majorana ?

- Come è possibile verificare la natura della massa del neutrino ?
- È un problema sperimentale :

$$P(\nu_L \rightarrow \nu_R) \sim \left(\frac{m_\nu}{E_\nu}\right)^2$$

- ma ... $m_\nu \sim O(\text{eV})$ o inferiore ... $E_\nu \sim O(\text{MeV})$ o più grande.



Unica tecnica sperimentale conosciuta : ricerca del decadimento **beta doppio senza neutrini**.

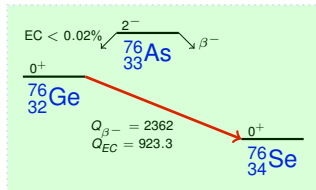
Il decadimento doppio beta (con 2ν e 0ν)

$$2\nu\beta\beta : (A, Z) \rightarrow (A, Z + 2) + 2e^- + 2\bar{\nu}_e$$

- processo al II ordine, osservato in svariati isotopi
- $T_{1/2} \sim 10^{19} - 10^{21} \text{ y}$
- $\Delta L = 0$
for ^{76}Ge : $T_{1/2} \sim (1.5 \pm 0.1) \cdot 10^{21} \text{ y}$

$$0\nu\beta\beta : (A, Z) \rightarrow (A, Z + 2) + 2e^-$$

- fisica oltre il Modello Standard
- $T_{1/2} > 10^{25} \text{ y}$
- $\Delta L = 2$



Approccio sperimentale

- **picco** a $Q_{\beta\beta} = E_{e1} + E_{e2} - 2m_e$
- **due elettroni al vertice**
- fornisce accesso alla massa assoluta del neutrino

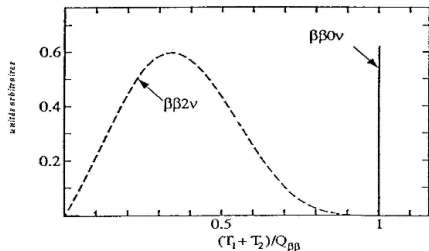
$$\frac{1}{\tau} = F(Q_{\beta\beta}, Z) |M_{nucl}|^2 < m_{ee} >^2$$

phase space

$\propto Q_{\beta\beta}^5$

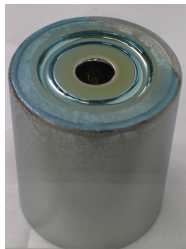
nuclear matrix element

effective Majorana Mass



Il decadimento doppio beta nel ^{76}Ge

$$S \approx \epsilon \cdot f \sqrt{\frac{M \cdot t_{run}}{BI \cdot \Delta E}}$$



ϵ : efficienza

M: massa attiva

t_{run} : tempo di misura

f: abbondanza isotopica

BI: background index

ΔE : risoluzione energetica

Vantaggi

- ϵ **alta** : Sorgente = Rivelatore
- **BI intrinseco piccolo** : High Purity Ge
- ΔE **eccellente** : 0.1-0.2%
- tecnologia matura e consolidata

Svantaggi

- a $Q_{\beta\beta} = 2039$ keV è difficile raggiungere un basso BI
- abbondanza istopica risicata: è necessario un arricchimento in ^{76}Ge
- sorgenti limitate di cristalli e produttori

Esperimenti precedenti che hanno usato il ^{76}Ge

	HdM	IGEX
Luogo	LNGS	Homestake, Baksan Canfranc
Esposizione [kg yr]	71.1	8.9
BI [cts/(keV kg yr)]	0.16	0.17
Limite su $T_{1/2}$ (90% CL) [yr]	$1.9 \cdot 10^{25}$ [1]	$1.6 \cdot 10^{25}$ [2]

[1] Eur. Phys. J. A12, 147-154 (2001) [2] Phys. Rev. D 65, 092007 (2002)

Una parte di HdM ha riportato l'osservazione del decadimento $0\nu\beta\beta$

$T_{1/2}(^{76}\text{Ge}) = (0.69 - 4.18) \cdot 10^{25}$ yr (3σ) Best fit: $T_{1/2}(^{76}\text{Ge}) = 1.19 \cdot 10^{25}$ yr
Phys. Lett. B 586, 198-212 (2004).

L'esperimento GERDA

- Utilizza rivelatori **nudi al germanio** immersi nell'argon liquido
- ✓ LAr come refrigerante e schermo [G. Heusser, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci 45 (1995) 543].
- ✓ minimizzare il materiale circostante



Fase I

- Diodi al ^{76}Ge enr. (HdMo & IGEX)
- Verifica la misura di KDKC.
Se confermato, 13 eventi / 3 fondo
[10 keV window at 2 MeV, 4 keV FWHM]
- Massa attiva: 17.9 kg
- Esposizione: 20 kg·y
- bck: 0.01 cts/(keV·kg·y)
- $T_{1/2} : 2 \cdot 10^{25}$ y

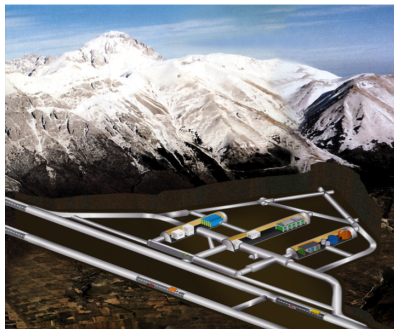
Fase II

- Nuovi rivelatori arricchiti al ^{76}Ge
- Massa attiva: ≥ 20 kg
- Esposizione: ~ 100 kg·y
- bck: 0.001 cts/(keV·kg·y)
- $T_{1/2} : 15 \cdot 10^{25}$ y

Fase III

- una nuova **collaborazione mondiale** per un grande esperimento (Esposizione: $\sim 10^3$ kg·y).
- Stretti contatti con la collaborazione MAJORANA in corso

L'esperimento GERDA ai Laboratori del Gran Sasso



- 1400 m di roccia sovrastante (~ 3800 m.w.e.)
- ⇒ riduzione del fondo dei raggi cosmici di 10^6 : ($1\mu / \text{m}^2/\text{hour}$)

Fondi esterni

- γ dalle catene del U e Th
- neutroni
- muoni cosmici

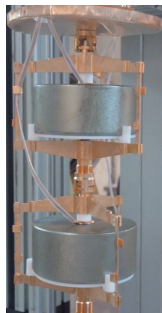
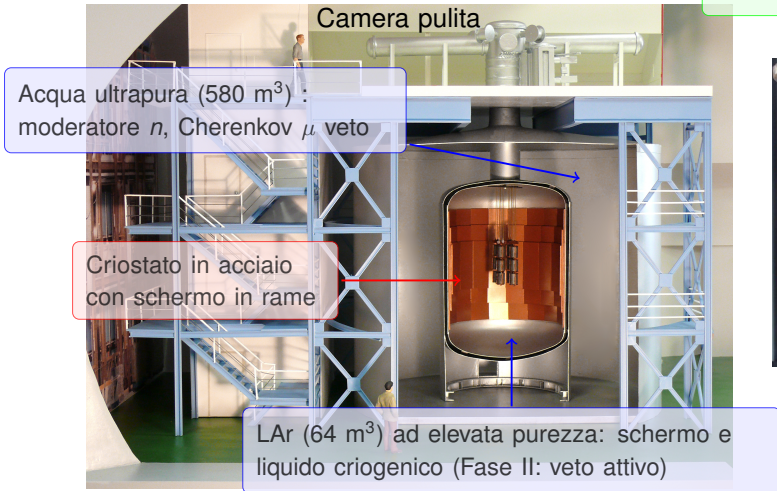
Fondi interni

- ^{60}Co cosmogenico ($T_{1/2} = 5.3$ yr)
- ^{68}Ge cosmogenico ($T_{1/2} = 271$ d)
- contaminazioni radioattive delle superfici

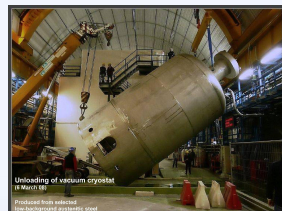
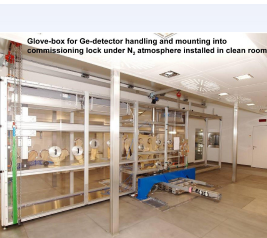
GERDA: Eur. Phys. J. C (2013) 73:2330

- Schermatura a strati contro la radiazione ambientale
- Selezione rigorosa (screening) dei materiali utilizzati

Stringa rivelatori
BEGe, fase I

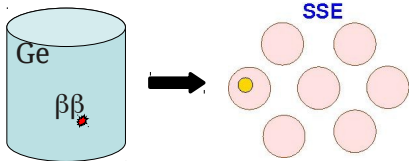


L'esperimento GERDA al Gran Sasso

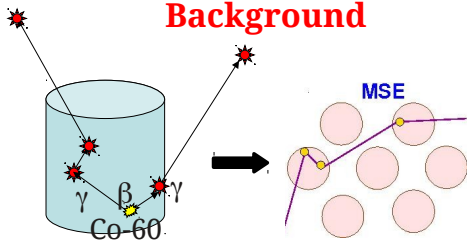


Riduzione dei fondi : rivelatori di fase I

Signal



Background

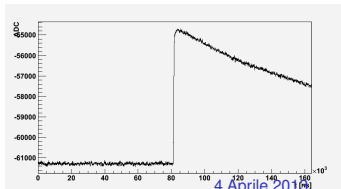


Point-like (single-site) energy deposition inside one HP-Ge diode (Range: $\sim 1\text{mm}$)

Multi-site energy deposition inside HP-Ge diode (Compton scattering)

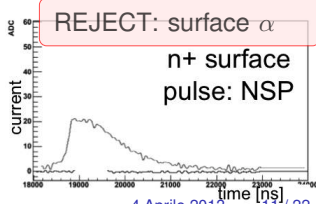
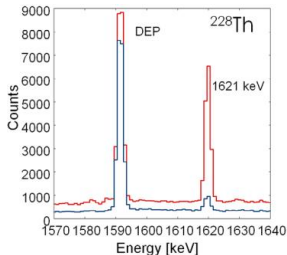
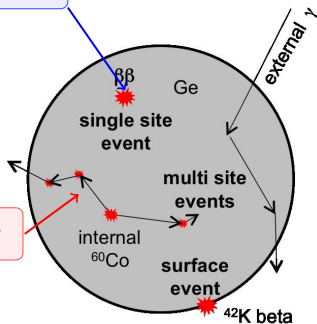
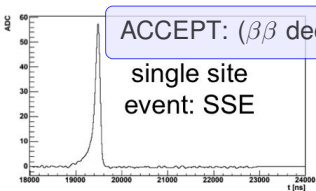
Signal analysis:

- anti-coincidence between detectors
- pulse shape analysis (PSA)



Riduzione dei fondi : rivelatori di fase II

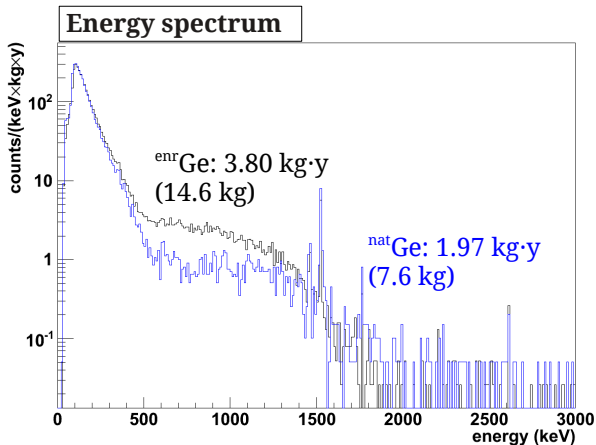
Rivelatori BEGe: campi elettrici fortemente non lineari permettono di applicare tecniche avanzate di PSA



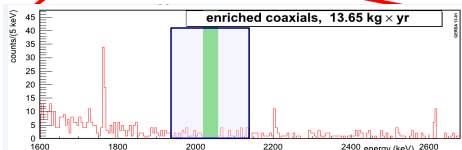
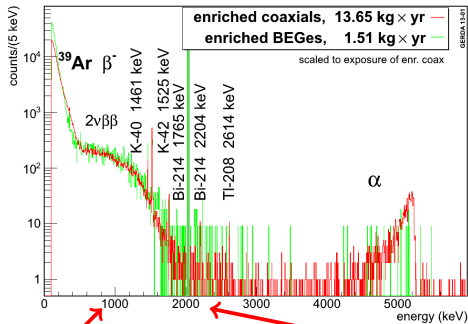
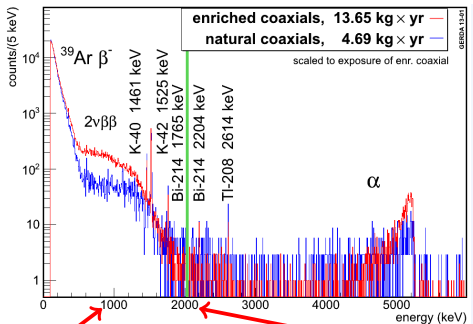
La fase I di presa dati

6 November 2011: Start of Phase I

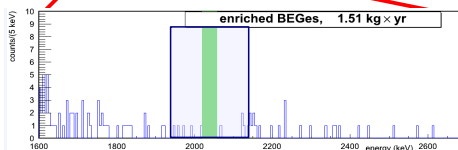
All 8 ^{enr}Ge + 4 ^{nat}Ge detectors deployed in GERDA
(2 ^{enr}Ge detectors presently not used for analysis)



Lo spettro di energia dei rivelatori



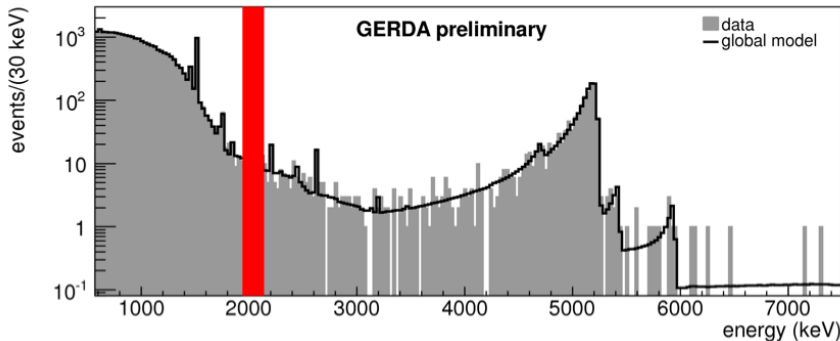
Enriched coaxials: 0.022 ± 0.003 cts/(keV·kg·yr)



Enriched BEGs: $0.041^{+0.015}_{-0.012}$ cts/(keV·kg·yr)

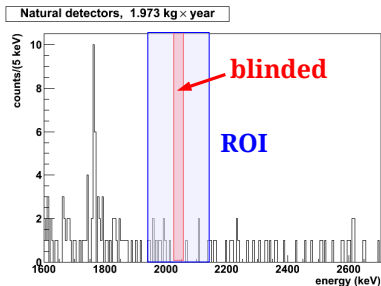
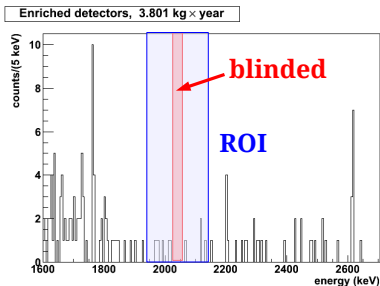
La decomposizione dello spettro

- **Fit allo spettro completo** di energia dei rivelatori nella finestra **570 - 7500 keV**
- componenti del fondo considerate nel fit:
 - ^{42}K , ^{40}K , ^{214}Bi , ^{228}Ac e ^{228}Th (eventi indotti da β e γ) ed eventi indotti da α (da ^{210}Po , ^{226}Ra e ^{222}Ra)



- **Contributi prevalenti nella regione $Q_{\beta\beta}$:** ^{42}K , ^{214}K , ^{228}Th ed eventi indotti da α

Il segnale nella Regione di Interesse



Background rate in ROI ($Q_{\beta\beta} \pm 100$ keV, blinded window excluded):

^{enr}Ge : $0.017^{+0.009}_{-0.005}$ counts/(keV·kg·y)

^{nat}Ge : $0.049^{+0.015}_{-0.013}$ counts/(keV·kg·y)

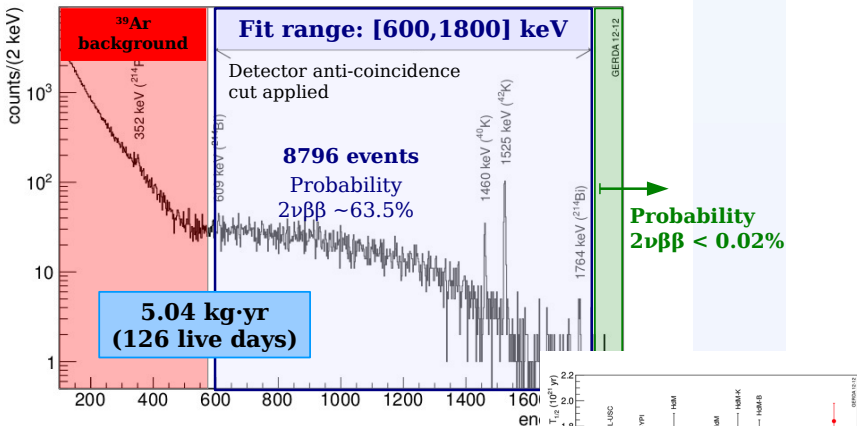
→ most likely a combination of Th/U, ^{42}K , degraded α , cosmogenic isotopes

→ **factor ~6 lower than previous experiments (HdM, IGEX)**

→ no pulse shape analysis applied yet

Il decadimento doppio beta con due neutrini

Sum energy spectrum

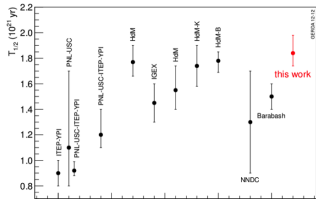


$$T_{1/2}^{2\nu} = (1.84^{+0.14}_{-0.10}) \cdot 10^{21} \text{ yr}$$

M. Agostini et al, J. Phys. G: Nucl. Part
Phys 40 (2013) 035110 [[arXiv/1212.3210](https://arxiv.org/abs/1212.3210)]

A. Garfagnini (PD)

GERDA



4 Aprile 2016 16 / 22

Conclusioni

- L'esperimento GERDA ha iniziato la fase I a Novembre 2011
- La presa dati è in corso
- Il background index è inferiore agli esperimenti precedenti (HdM e IGEX)
- Lo studio del fondo di Fase I è in uno stadio avanzato ed è pronto per l'"unblinding" dei dati
- L'esperimento ha pubblicato la prima misura di $T_{1/2}^{2\nu}$ con una prima esposizione di 5.04 kg yr
- La fase I (20 kg yr) verrà completata in Giugno/Luglio 2013
- La preparazione per la fase II è in corso e permetterà di ridurre il fondo di un fattore 10 rispetto alla Fase I

Riserve

Effective Neutrino Mass

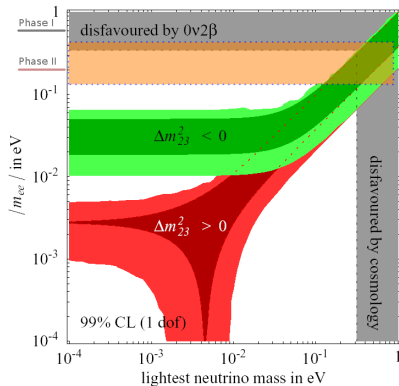
F. Feruglio, A. Strumia, F. Vissani
Nucl. Phys. B 659

KDKC Claim:
[0.17-0.45] eV
(PRD79)

$$\langle m_{ee} \rangle = \left| \sum_i U_{ei}^2 m_i \right|$$

U_{ei} : matrice di mixing dei neutrini (complessa)

Errori trascurabili dalle oscillazioni ν : la larghezza delle bande è determinata dalle fasi di CP



GERDA fase I

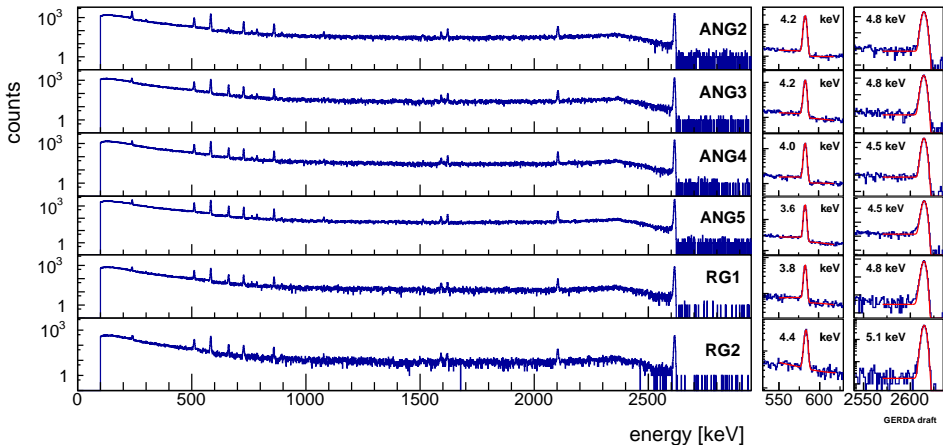
- sensibilità, $T_{1/2} = 2 \cdot 10^{25}$ yr at 90% C.L.
- $\langle m_{\beta\beta} \rangle \leq 230 - 390$ meV
- verificare KDKC

GERDA fase II

- obiettivo fondo 10^{-3} cts/(keV kg yr)
- esposizione : 100 kg yr
- sensibilità, $T_{1/2} > 1.35 \cdot 10^{26}$ yr at 90% C.L.
- $\langle m_{\beta\beta} \rangle \leq 90 - 150$ meV

Calibrazione dei rivelatori di fase I

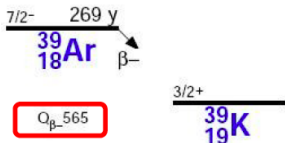
- Mediamente ogni due settimane si effettua una calibrazione con ^{228}Th
- la risoluzione a $Q_{\beta\beta} = 4.5$ keV (mass weighted average)



Le principali sorgenti di fondo

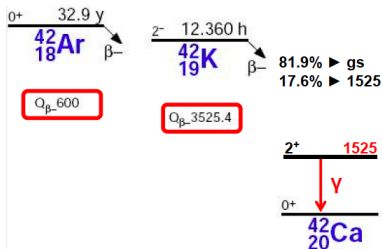
^{39}Ar

- attività pubblicata: 1.01 ± 0.08 Bq/kg
(Benetti et al., NIM A574 (2007) 83)
- in ottimo accordo con i nostri dati



^{42}Ar

- Il limite $< 41 \mu\text{Bq/kg}$ (90% CL) è incompatibile con le nostre misure (Ashtikov et al., arXiv:nucl-ex/0309001)
- la linea a 1525 keV indica una attività $\times 2$ rispetto al valore in letteratura
- abbiamo evidenza che gli ioni K-42 carichi si muovono nel campo elettrico creato dai cristalli di Ge
la mini-shroud di Cu usata come schermo contro il campo elettrico



GERDA: prima misura del decadimento $2\nu\beta\beta$ nel ^{76}Ge

$$T_{1/2}^{2\nu} = (1.84^{+0.14}_{-0.10}) \cdot 10^{21} \text{ yr} \quad (5.04 \text{ kg}\cdot\text{yr})$$

