

Ricerca del doppio decadimento beta senza neutrini $0\nu\beta\beta$ in GERDA fase II

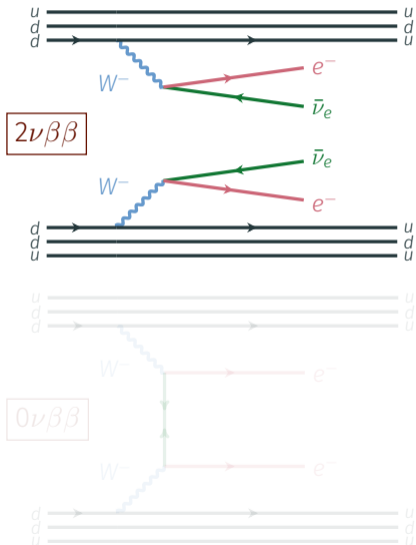
Luigi Pertoldi [pertoldi@pd.infn.it]

IFAE 2018 — 06 Aprile 2018

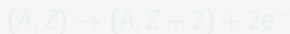
Università degli Studi di Padova
INFN – Sezione di Padova



Il decadimento doppio- β

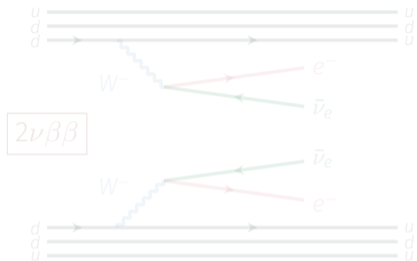


- Modello Standard: $T_{1/2}^{2\nu} \sim 10^{19} - 10^{24}$ yr
- GERDA: $T_{1/2}^{2\nu} [{}^{76}\text{Ge}] = 1.84_{-0.10}^{+0.14} \cdot 10^{21}$ yr
[JPG: NPP, 40 (2013) 035110]

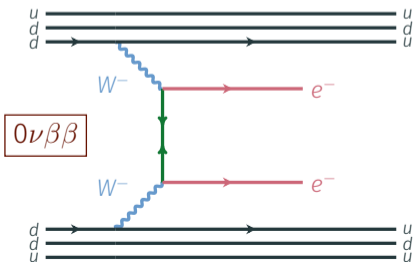


- Oltre il Modello Standard, violazione Numero Leptonico \rightarrow **neutrino di Majorana**
- GERDA: $T_{1/2}^{0\nu} [{}^{76}\text{Ge}] > 8.0 \cdot 10^{25}$ yr (90% C.L.)
[PRL, 120 (2018) 132503]

Il decadimento doppio- β

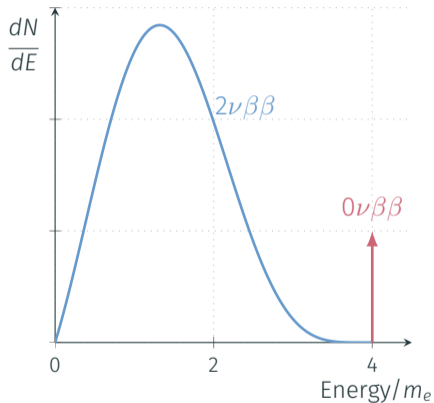


- Modello Standard: $T_{1/2}^{2\nu} \sim 10^{19} - 10^{24}$ yr
- GERDA: $T_{1/2}^{2\nu} [{}^{76}\text{Ge}] = 1.84_{-0.10}^{+0.14} \cdot 10^{21}$ yr
[JPG: NPP, 40 (2013) 035110]



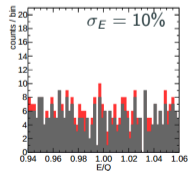
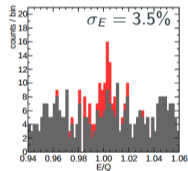
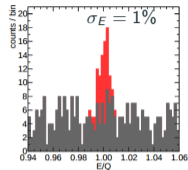
- Oltre il Modello Standard, violazione Numero Leptonico \rightarrow **neutrino di Majorana**
- GERDA: $T_{1/2}^{0\nu} [{}^{76}\text{Ge}] > 8.0 \cdot 10^{25}$ yr (90% C.L.)
[PRL, 120 (2018) 132503]

Il decadimento doppio- β : spettro in energia



La misura dell'energia è *necessaria e sufficiente*, è richiesta:

- buona risoluzione in energia (eventi $2\nu\beta\beta$ possono finire al $Q_{\beta\beta}$)
- riduzione delle sorgenti di fondo



Perchè studiare il decadimento doppio- β ?

La ricerca del $0\nu\beta\beta$ non è una semplice misura delle caratteristiche del neutrino, lavori teorici sconfinati¹

- Il Numero Leptonico \longleftrightarrow Numero Barionico \rightarrow GUTs, bariogenesi (non garantito!)
- previsto (quasi sempre) un termine di massa di Majorana (teorema *black-box*)
- accesso a molti parametri fondamentali, sia esclusivo sia condiviso con altre tecniche
- **interpretazione standard**: *il neutrino che media il $0\nu\beta\beta$ è quello che oscilla, il Modello Standard è una teoria effettiva di una GUT (meccanismo seesaw).*
 - Connessione con la massa effettiva di Majorana: $(T_{1/2}^{0\nu})^{-1} = G_{0\nu} |\mathcal{M}_{0\nu}|^2 m_{\beta\beta}^2 \rightarrow$ Parametri di oscillazione e scala di massa assoluta
- innumerevoli interpretazioni non-standard¹

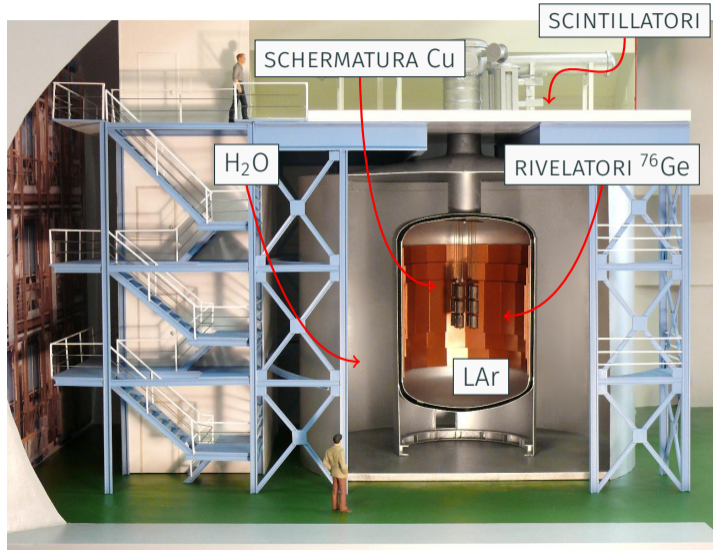
¹W. Rodejohann, [IJMP, E 20 (2011) 1833]

GERmanium Detector Array

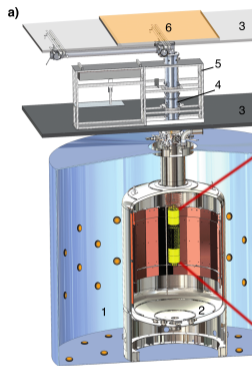
Ricerca del $0\nu\beta\beta$ con rivelatori arricchiti al ^{76}Ge

sorgente = rivelatore

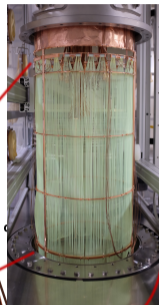
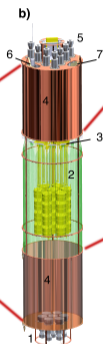
- Ospitato ai LNGS (3500 m.w.e.), in attività dal 2009 → Fase I
- 16 Istituzioni e ~100 membri
- Hardware upgrade 2015 → Fase II



GERmanium Detector Array — Fase II



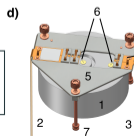
LAr veto



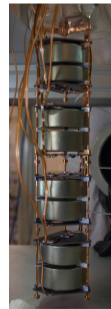
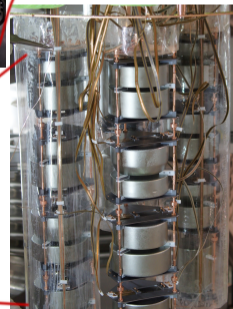
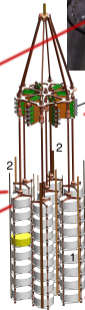
elettronica a bassa radioattività



supporti in silicio di massa piccola

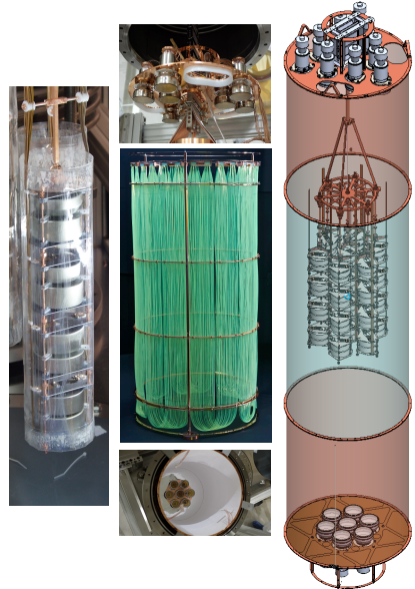


20 kg rivelatori tipo BEGe



Instrumentazione di tipo ibrido per il LAr veto:

- 16 PMTs, 9 in alto e 7 in basso
- 800 m di fibre di nylon ricoperte con WLS + 90 SiPMs
- rivestimento di nylon (mini-shrouds) ricoperto di WLS attorno a ogni stringa, barriera meccanica contro gli ioni di ^{42}K



Fase I

- fondo: $\sim 10^{-2}$ cts keV $^{-1}$ kg $^{-1}$ yr $^{-1}$)
- esposizione: 21.6 kg·yr
- risultato: $T_{1/2}^{0\nu} > 2.1 \cdot 10^{25}$ yr (90% C.L.)
[PRL, 111 (2013) 122503]

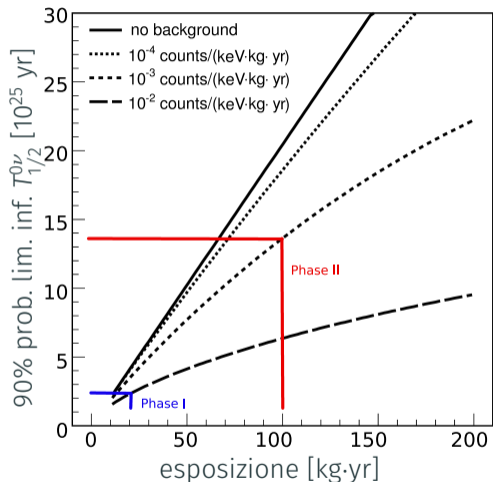
Upgrade e commissionamento

- raddoppio della massa attiva di ^{76}Ge
- sistema di veto basato sull'argon liquido (LAr)
- riduzione del fondo di un fattore ~ 10

Fase II

- fondo: $\lesssim 10^{-3}$ cts keV $^{-1}$ kg $^{-1}$ yr $^{-1}$)
- esposizione: $\gtrsim 100$ kg·yr
- attuale risultato: $T_{1/2}^{0\nu} > 8.0 \cdot 10^{25}$ yr (90% C.L.) [PRL, 120 (2018) 132503]

Sensibilità e previsioni

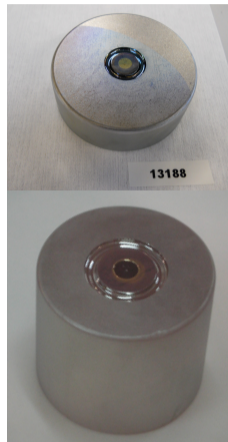
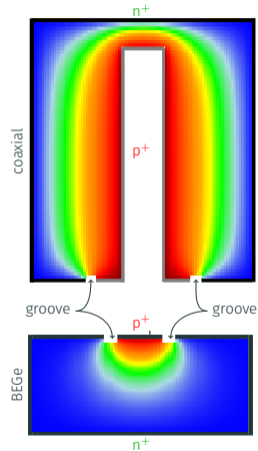


Fase II

- fondo: $\lesssim 10^{-3}$ cts $\text{keV}^{-1}\text{kg}^{-1}\text{yr}^{-1}$
- esposizione: $\gtrsim 100$ kg·yr
- attuale risultato: $T_{1/2}^{0\nu} > 8.0 \cdot 10^{25}$ yr (90% C.L.) [PRL, 120 (2018) 132503]

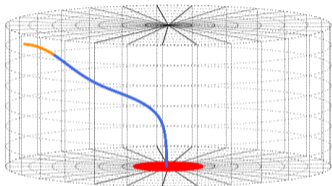
I rivelatori di GERDA

- decadimento doppio- β del ^{76}Ge :
 $^{76}\text{Ge} \rightarrow ^{76}\text{Se} + 2e^-$
- Q-valore: $Q_{\beta\beta} = 2039 \text{ keV}$
- rivelatori al ^{76}Ge ultra-puri (87%):
 - sorgente = rivelatore: alta efficienza
 - radio-puri: bassissimo fondo intrinseco
 - alta densità: $0\nu\beta\beta$ a topologia puntiforme
 - semiconduttore: FWHM dello 0.2% al $Q_{\beta\beta}$
 - ottimi per la *Pulse Shape Discrimination (PSD)*

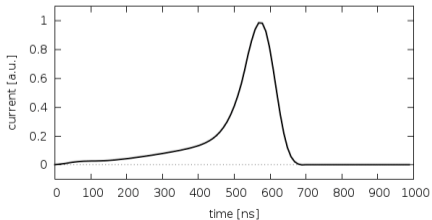


Pulse Shape Discrimination (BEGe)

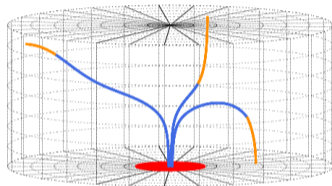
Single Site Event



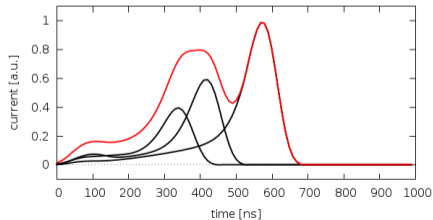
M. Agostini et al.
JINST 6 (2011) P03005



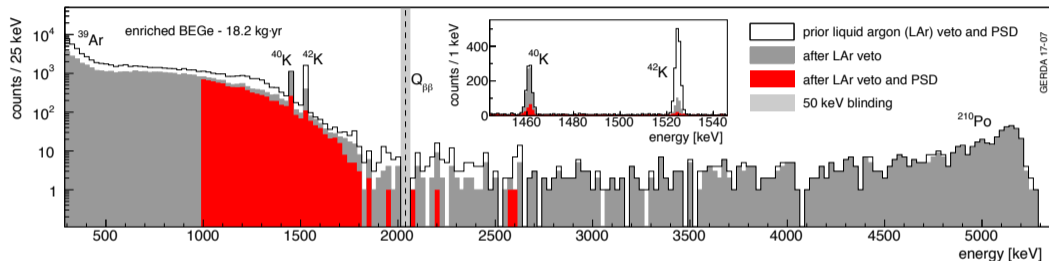
Multiple Site Event



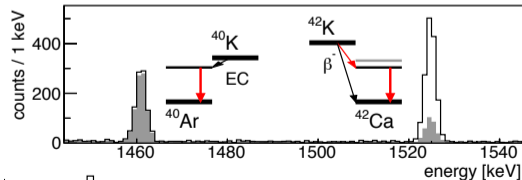
M. Agostini et al.
JINST 6 (2011) P03005

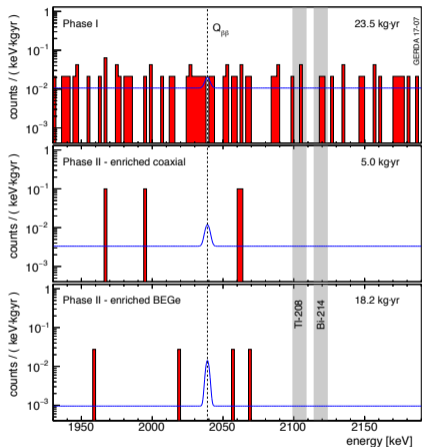


Riduzione del fondo — PRL, 120 (2018) 132503



- taglio LAr veto: spettro Compton di $\text{K}^{40}/\text{K}^{42}$ efficientemente soppresso
- taglio PSD: accettazione sul $0\nu\beta\beta$ stimata: $(87 \pm 3)\%$





- esposizione: $34.3 + 12.4$ kg.yr.
- $2 + 2$ nuovi eventi attorno al $Q_{\beta\beta}$
- Background Index (BI) (BEGe):
 $1^{+0.6}_{-0.4} \cdot 10^{-3}$ cts $\text{keV}^{-1}\text{kg}^{-1}\text{yr}^{-1}$

	freq 90% C.L.	bayes 90% C.L.
$N_{0\nu}$	0	0
$T_{1/2}^{2\nu}$	$8.0 \cdot 10^{25}$ yr	$5.1 \cdot 10^{25}$ yr
sens	$5.8 \cdot 10^{25}$ yr	$4.5 \cdot 10^{25}$ yr

- limite superiore su $m_{\beta\beta}$ nell'intervallo
 $0.12 - 0.26$ eV

Conclusioni

- GERDA è tra i leader nella fisica del $0\nu\beta\beta$, fondo più basso mai raggiunto attorno al $Q_{\beta\beta}$. Fase II è in regime “background-free” e lo manterrà (importante per la sensibilità).
- limite attuale (frequentista): $T_{1/2}^{0\nu} > 8.0 \cdot 10^{25}$ yr (90% C.L.)
- ottima risoluzione in energia (2 – 3 keV al $Q_{\beta\beta}$)

Futuro prossimo:

- nuovo *unblinding* prossimamente
- raggiungimento sensibilità 10^{26} yr
- raggiungimento esposizione di design di 100 kg·yr

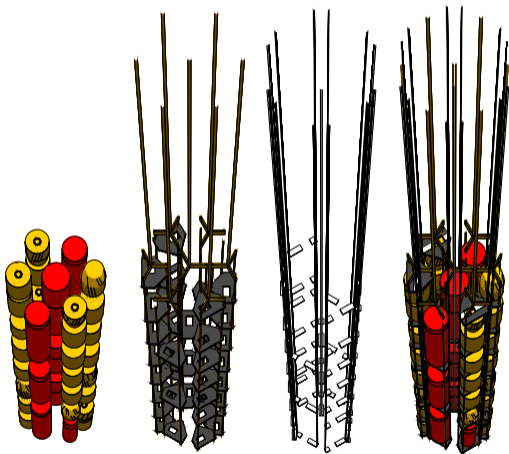


Large Enriched
Germanium Experiment
for Neutrinoless $\beta\beta$ Decay

- nuova collaborazione (GERDA + MAJORANA + altri) formata in ottobre 2016
- goal: 1 ton di germanio arricchito
- fase I: 200 kg in GERDA
- ulteriore riduzione del fondo rispetto a GERDA
- sensibilità fino a 10^{27} in 5 anni

backup

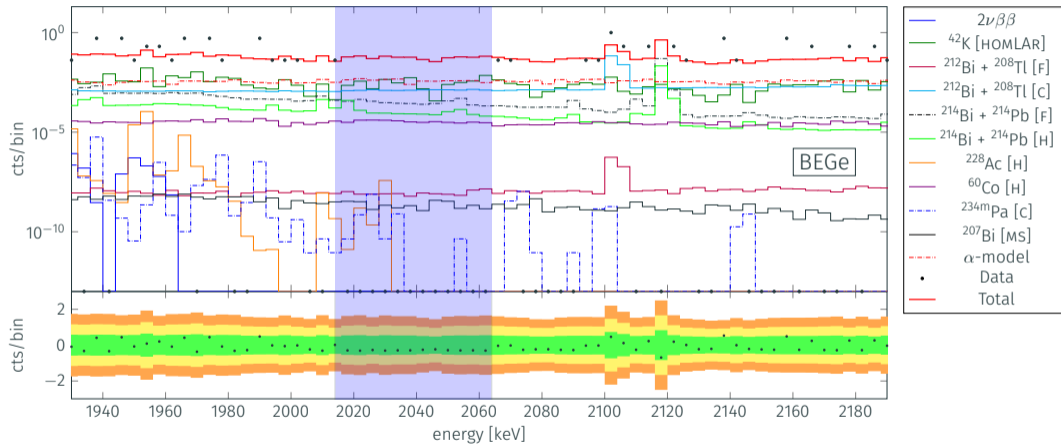
Modello di fondo



Un modello di fondo accurato è fondamentale per stimare il fondo attorno al $Q_{\beta\beta}$ e studiare lo spettro del $2\nu\beta\beta$ (Majoroni, Lorentz-violation...)

- Sorgenti di fondo sono simulate tramite GEANT4 [JP: CS, 39 (2006) 362]
- ^{42}K , ^{40}K , catene ^{238}U e ^{232}Th , ^{60}Co e ^{207}Bi
- tutte le componenti di GERDA sono ricostruite

Modello di fondo



- *blind analysis*: i dati attorno al $Q_{\beta\beta}$ vengono resi pubblici e analizzati periodicamente
- Analisi frequentista (profile-likelihood) e bayesiana
- modello: fondo piatto + gaussiana centrata in $Q_{\beta\beta}$ con larghezza σ_E
- 7 parametri: 6 BI + $T_{1/2}^{2\nu}$ in comune