

# Il modello di fondo di GERDA Fase II

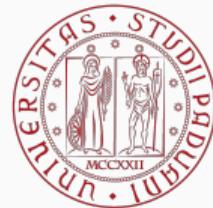
---

Luigi Pertoldi [[pertoldi@pd.infn.it](mailto:pertoldi@pd.infn.it)]

SIF 2018 – 20 Settembre 2018

Università degli Studi di Padova

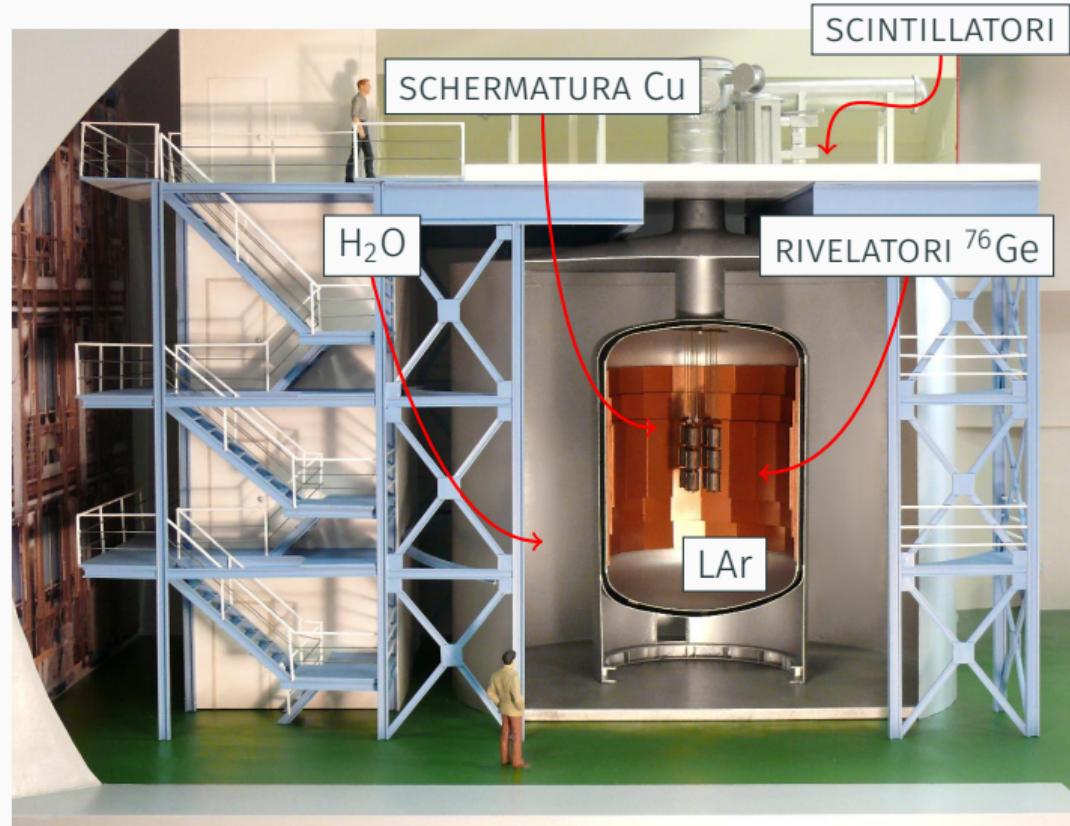
INFN – Sezione di Padova



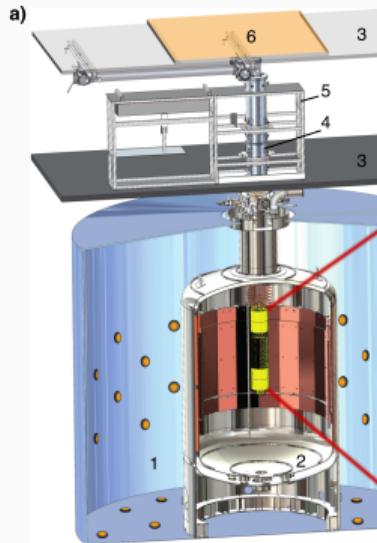
# GERmanium Detector Array

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

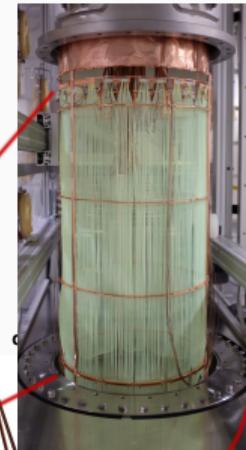
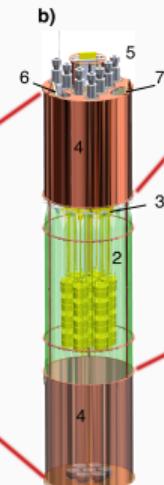
- Ospitato ai LNGS (3500 m.w.e.), in attività dal 2009 → **Fase I**
- 16 Istituzioni e  $\sim$ 100 membri
- Hardware upgrade 2015 → **Fase II**



# GERmanium Detector Array – Fase II



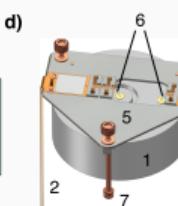
LAr veto



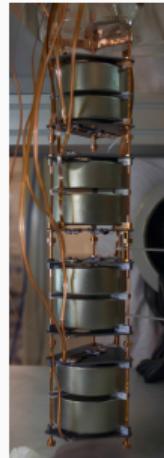
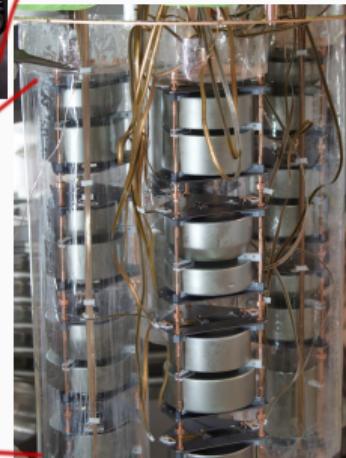
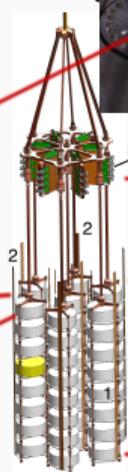
elettronica a bassa radioattività



supporti in silicio  
di massa piccola



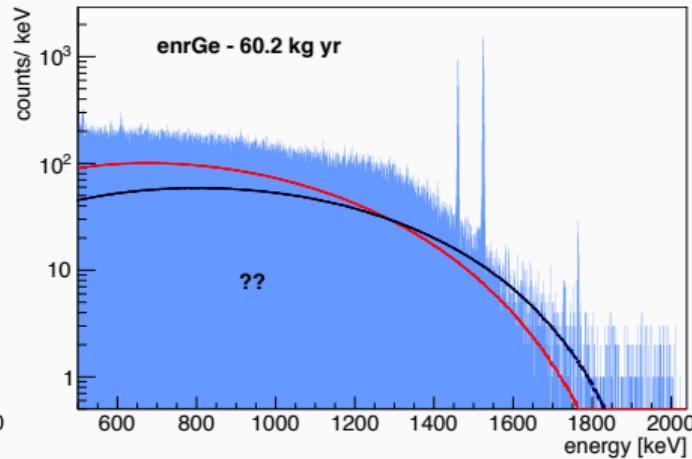
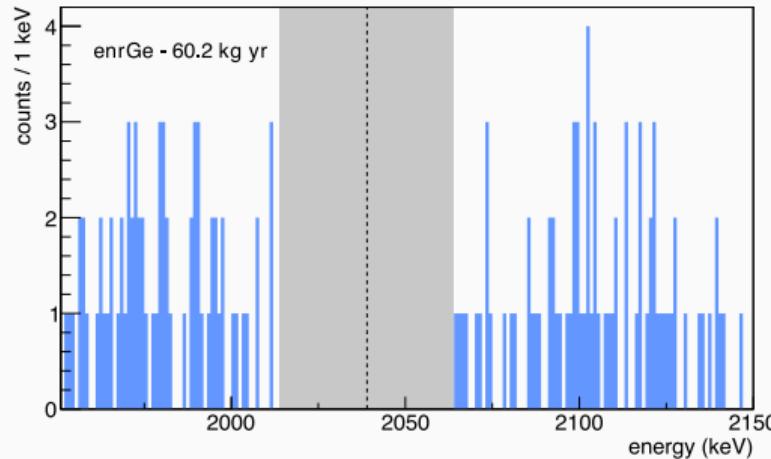
20 kg  
rivelatori  
tipo BEGe



# Perché il modello di fondo è importante?

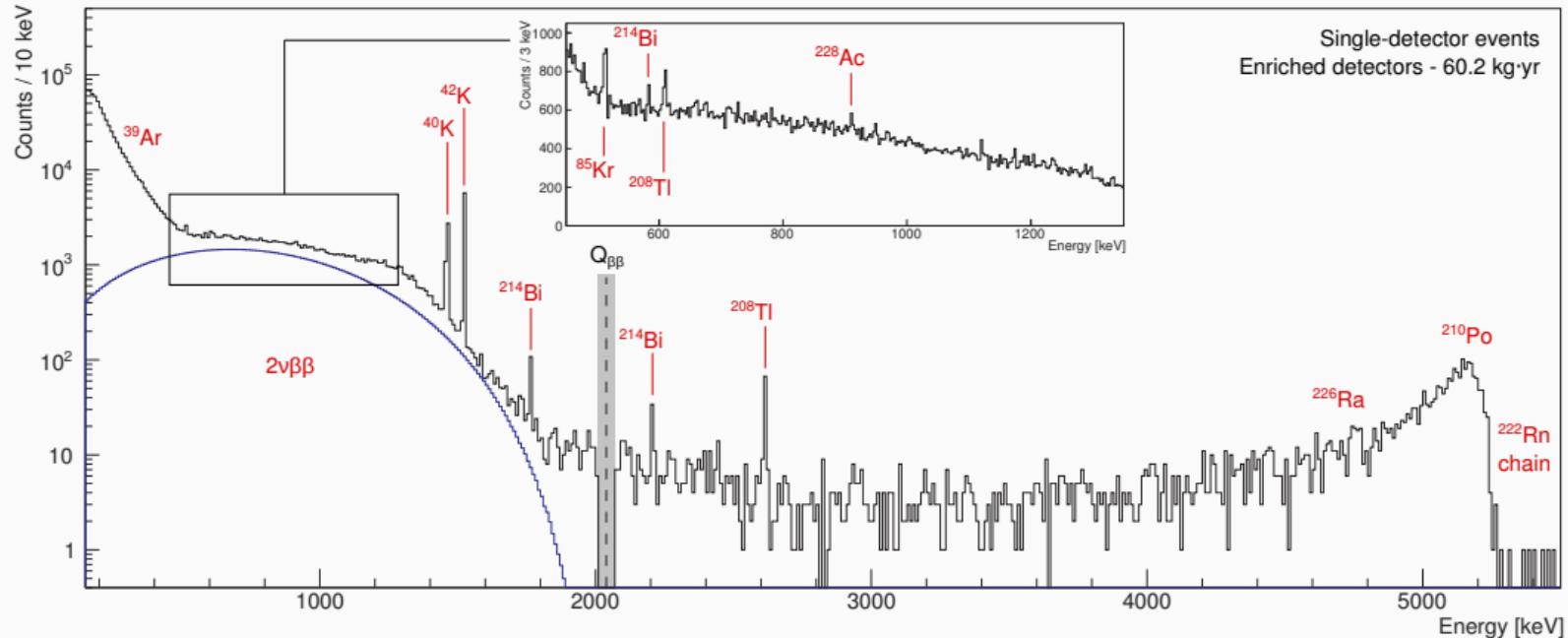
Un modello di fondo accurato è fondamentale per

- studiare la forma dello spettro **attorno al  $Q_{\beta\beta}$**  → analisi  $0\nu\beta\beta$
- studiare lo **spettro del  $2\nu\beta\beta$**  in cerca di nuova fisica (Majoroni, Lorentz-violation...)



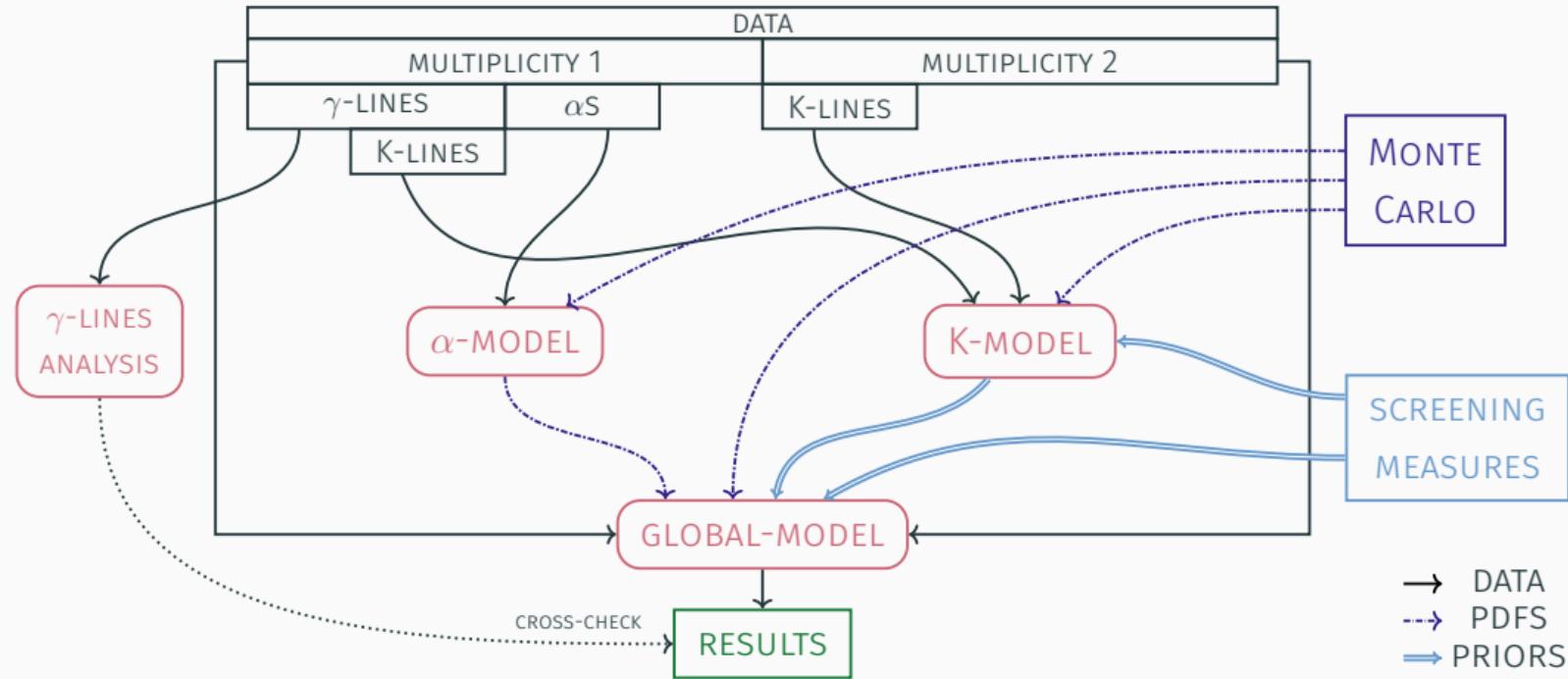
# Navigazione a vista – quando l'occhio dice già molto...

Spettro in energia degli eventi a singolo rivelatore raccolti da GERDA Fase II<sup>1</sup>

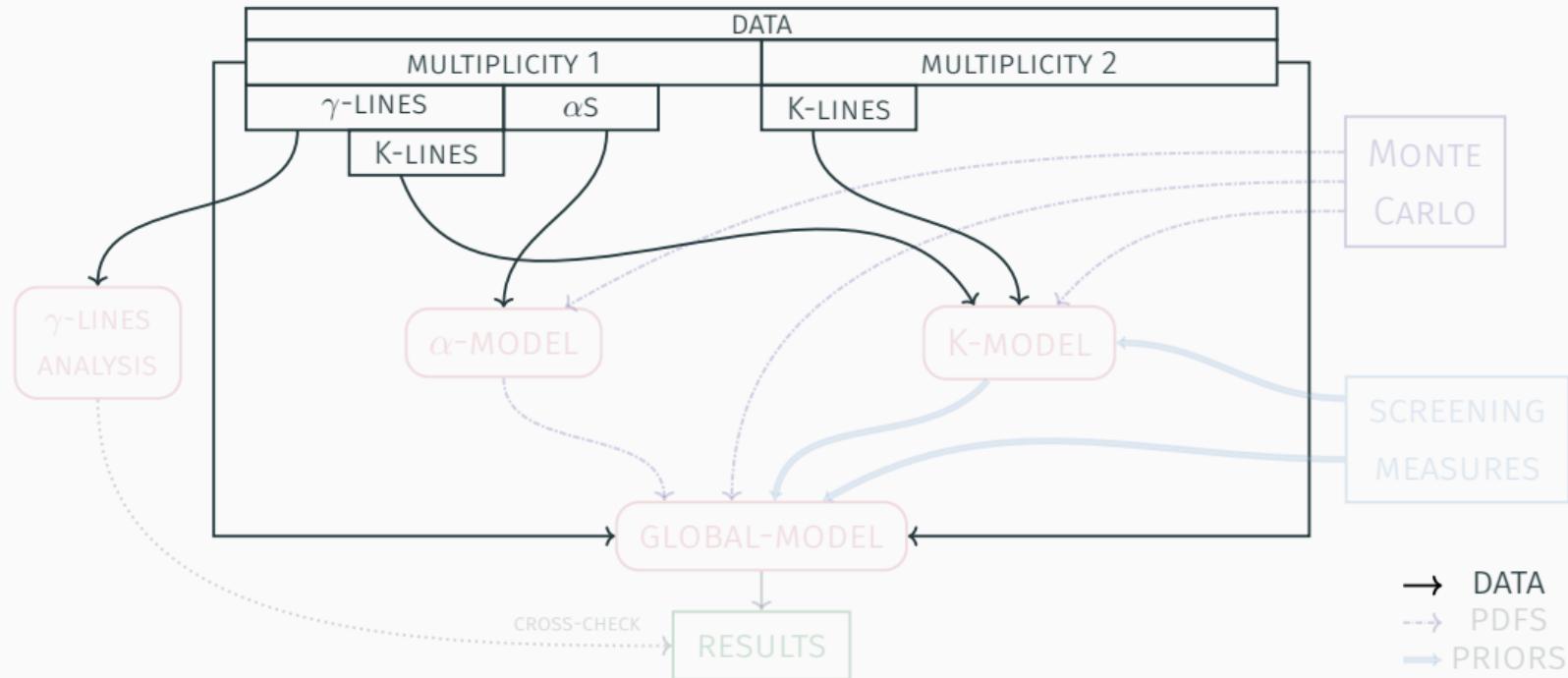


<sup>1</sup>solo tagli di qualità di base, no LAr veto, no pulse shape discrimination

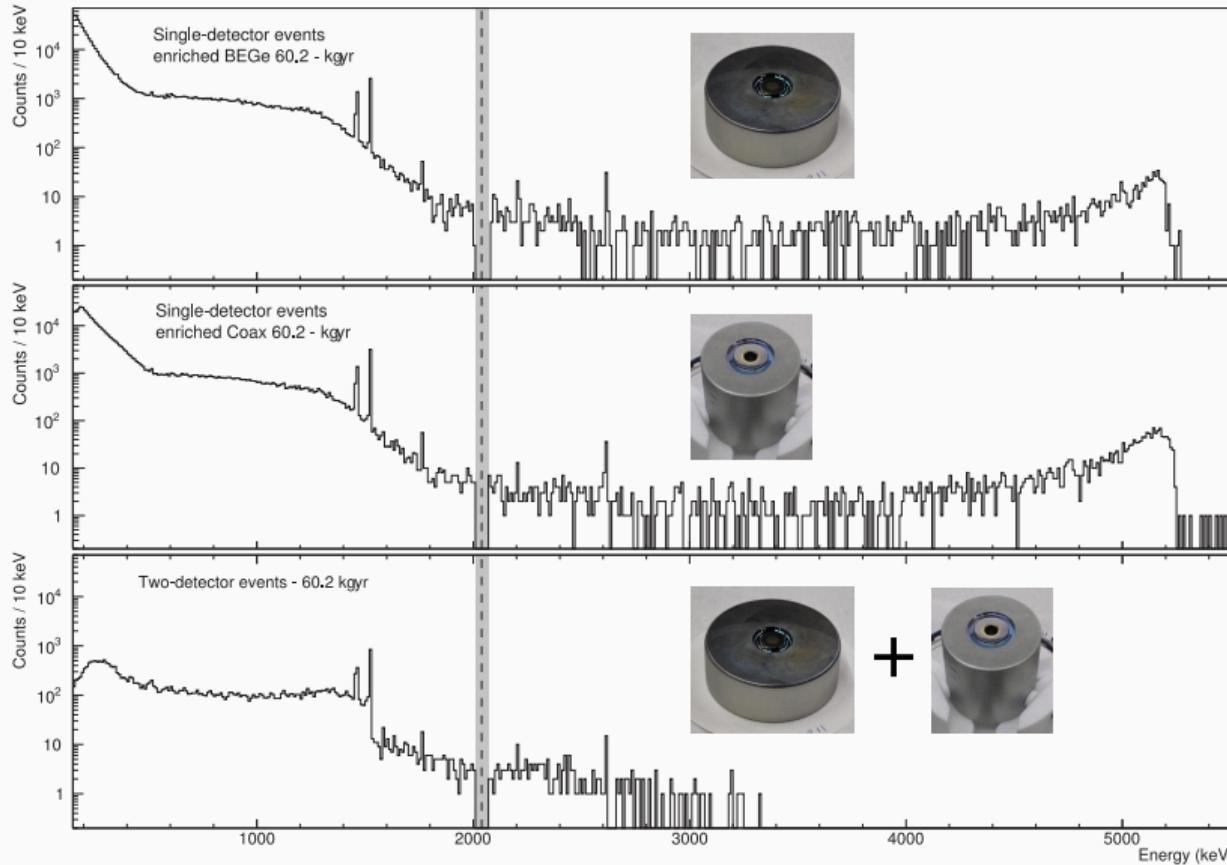
# Analisi statistica — sommario



# I dati di GERDA Fase II



# I dati di GERDA Fase II

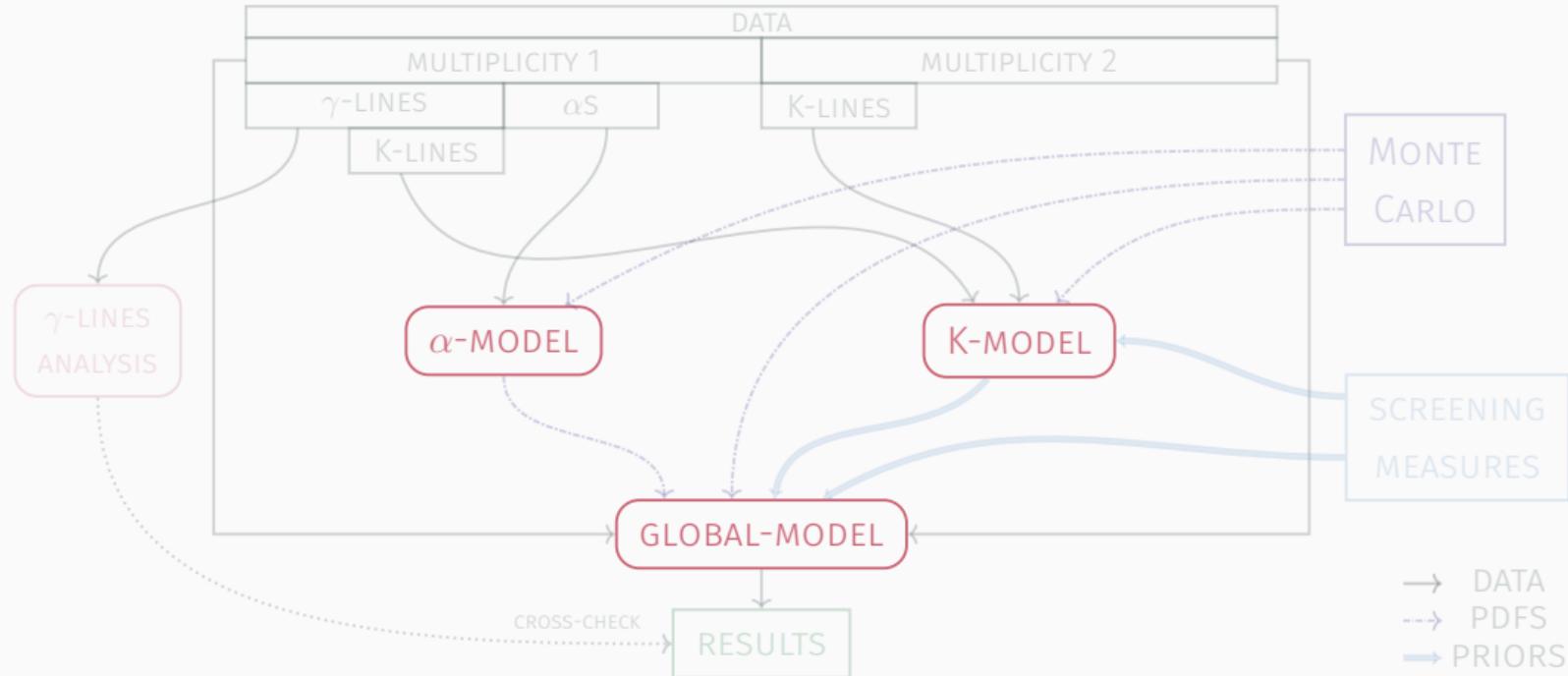


eventi a singolo  
rivelatore **BEGe**  
→ *molteplicitá 1*

eventi a singolo  
rivelatore **enrCoax**  
→ *molteplicitá 1*

eventi a doppio  
rivelatore  
**BEGe+enrCoax**  
→ *molteplicitá 2*

# Modelli statistici



Analisi statistiche di tipo **Bayesiano**<sup>2</sup> con *binned-likelihood* e distribuzioni *a-priori* modellate sulle misure di screening dei materiali per inferire statisticamente l'ammontare delle varie sorgenti di fondo.

**$\alpha$ -model** studia la parte destra dello spettro, dominata da **eventi di tipo  $\alpha$**  che avvengono nelle immediate vicinanze dei rivelatori

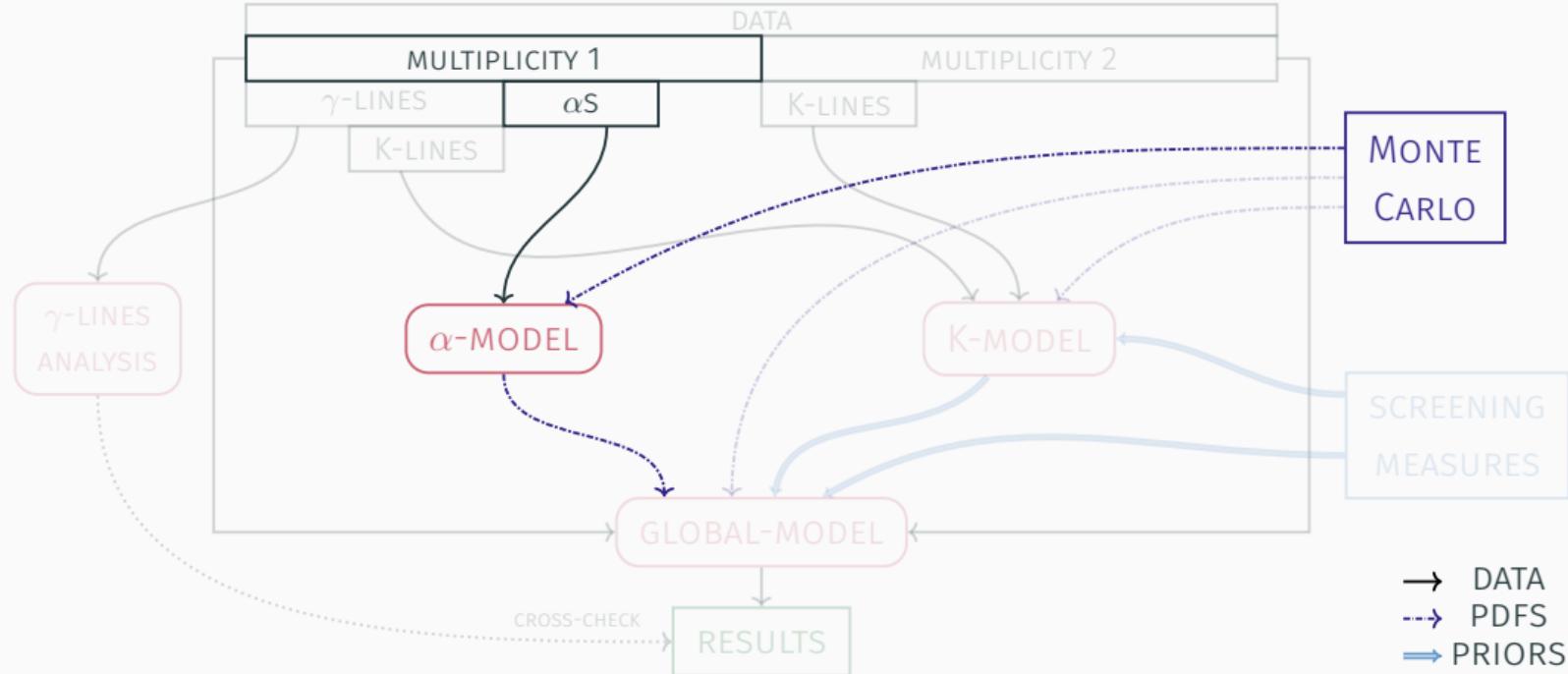
**K-model** studia la distribuzione degli eventi nelle **righe del  $^{42}\text{K}$  e  $^{40}\text{K}$**  e nei singoli rivelatori usando eventi di molteplicità 1 e 2 → tracciare meglio le sorgenti

**global-model** analisi finale su tutto l'intervallo di energia (molteplicità 1 e 2) riutilizzando informazioni dagli altri modelli.

---

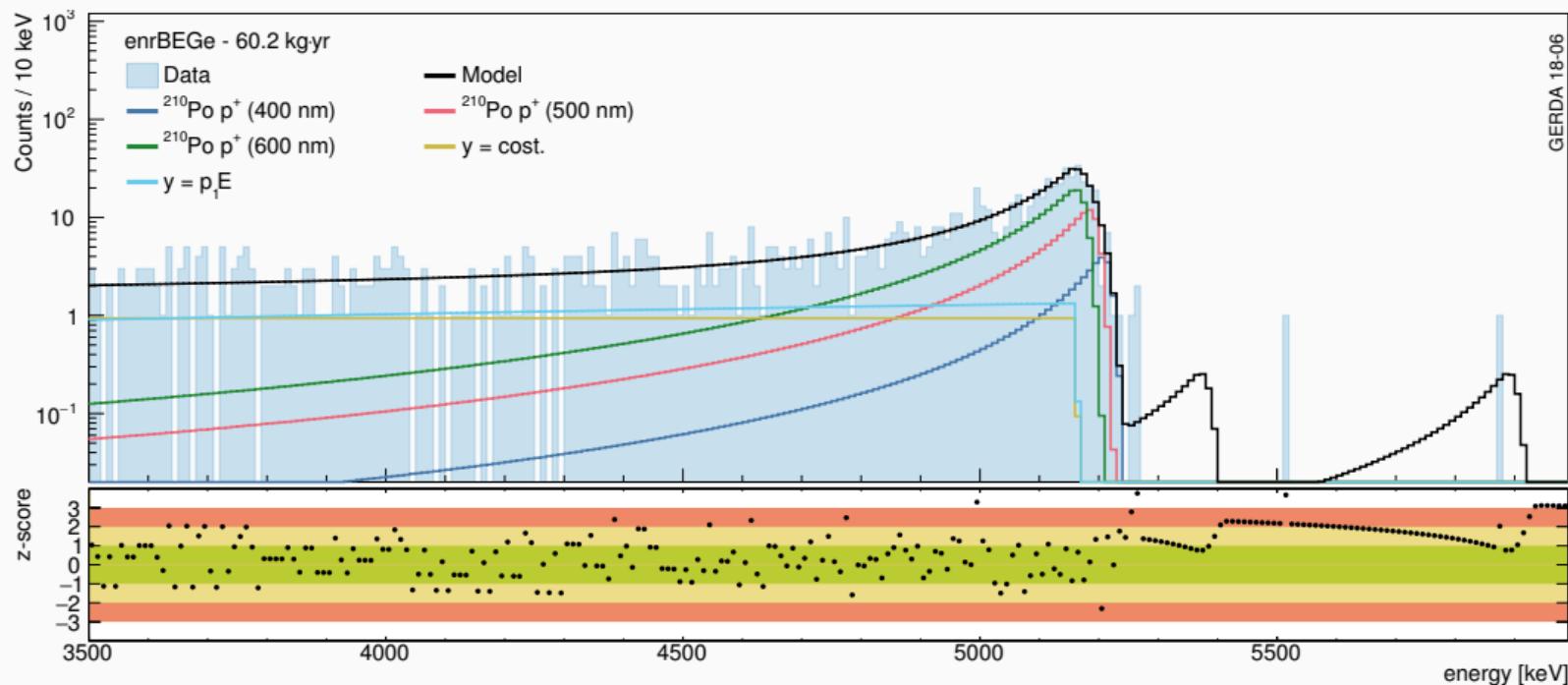
<sup>2</sup>catene MCMC implementate con BAT – <https://bat.mpp.mpg.de/>

# Modelli statistici: $\alpha$ -model

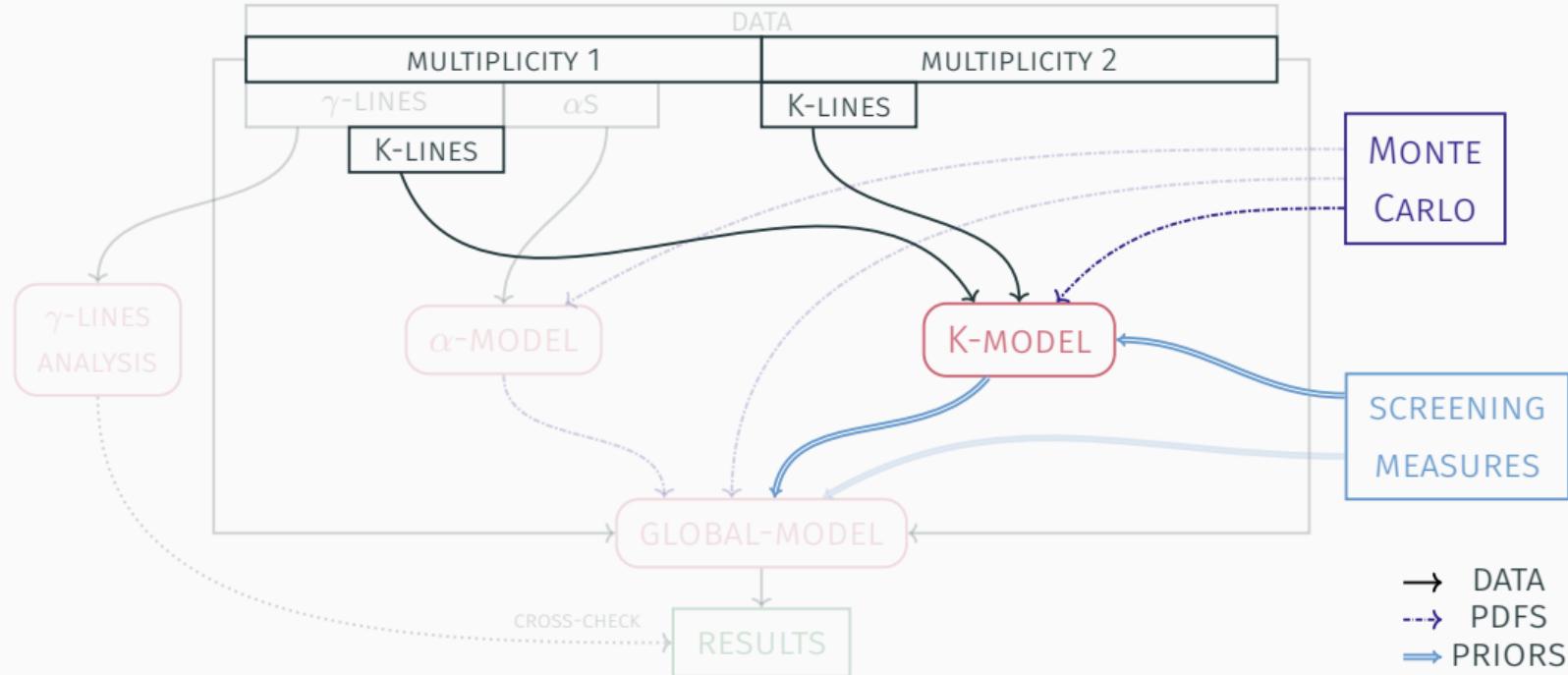


# Modelli statistici: $\alpha$ -model

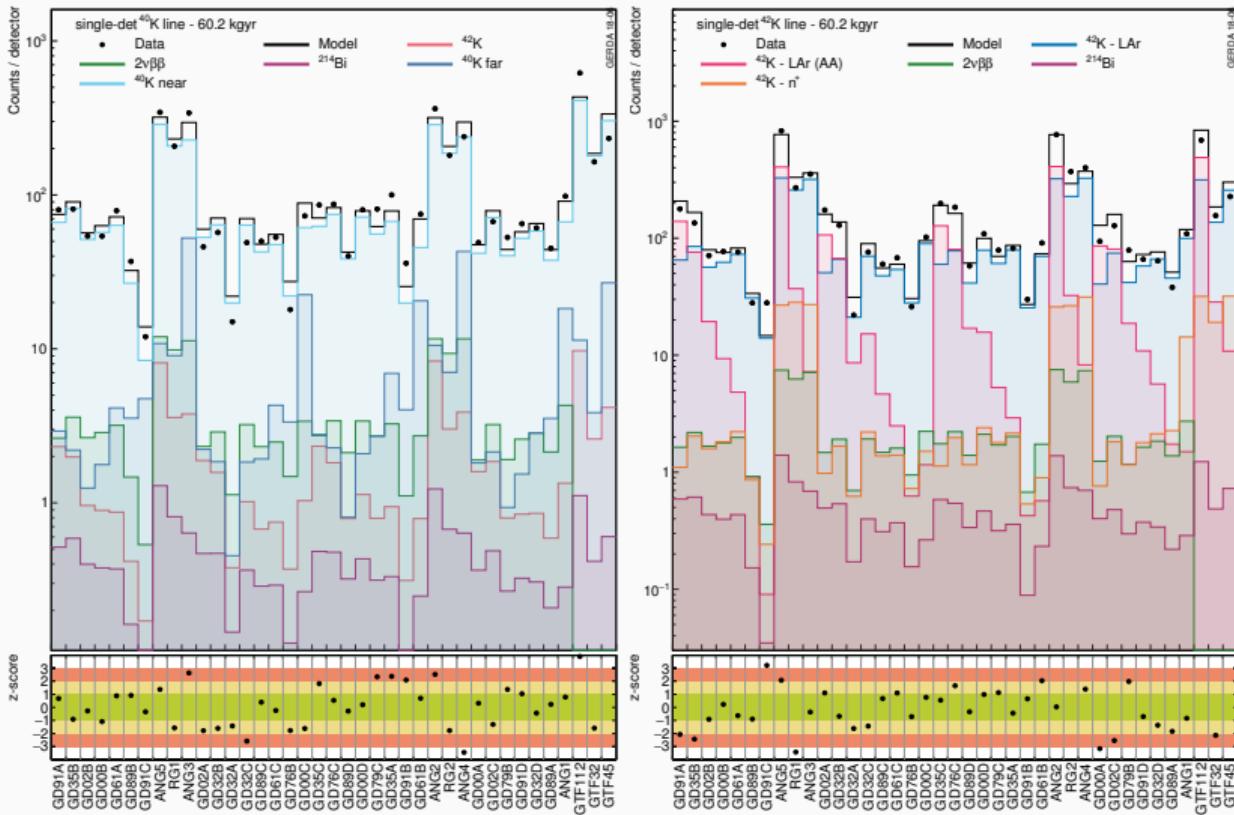
Risultati preliminari (solo BEGe per brevità)



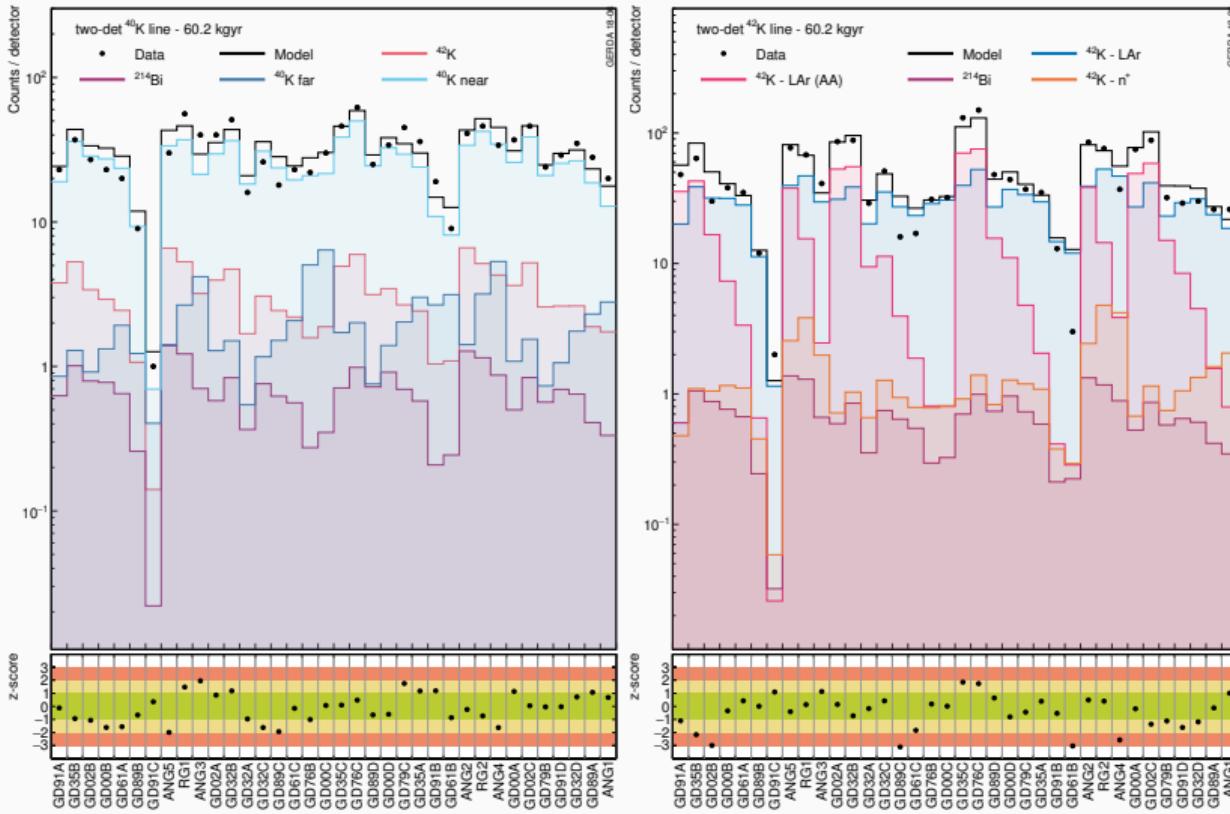
# Modelli statistici: K-model



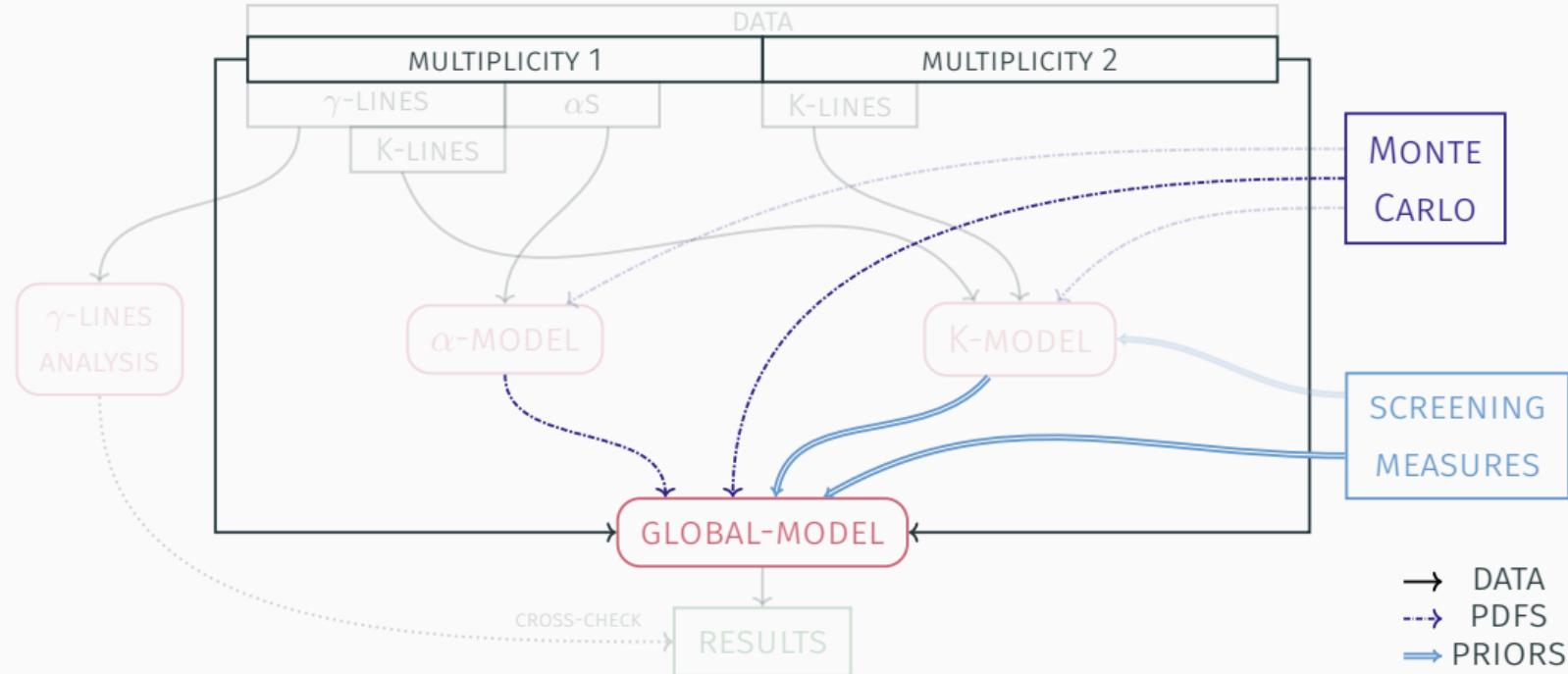
# Modelli statistici: K-model



# Modelli statistici: K-model

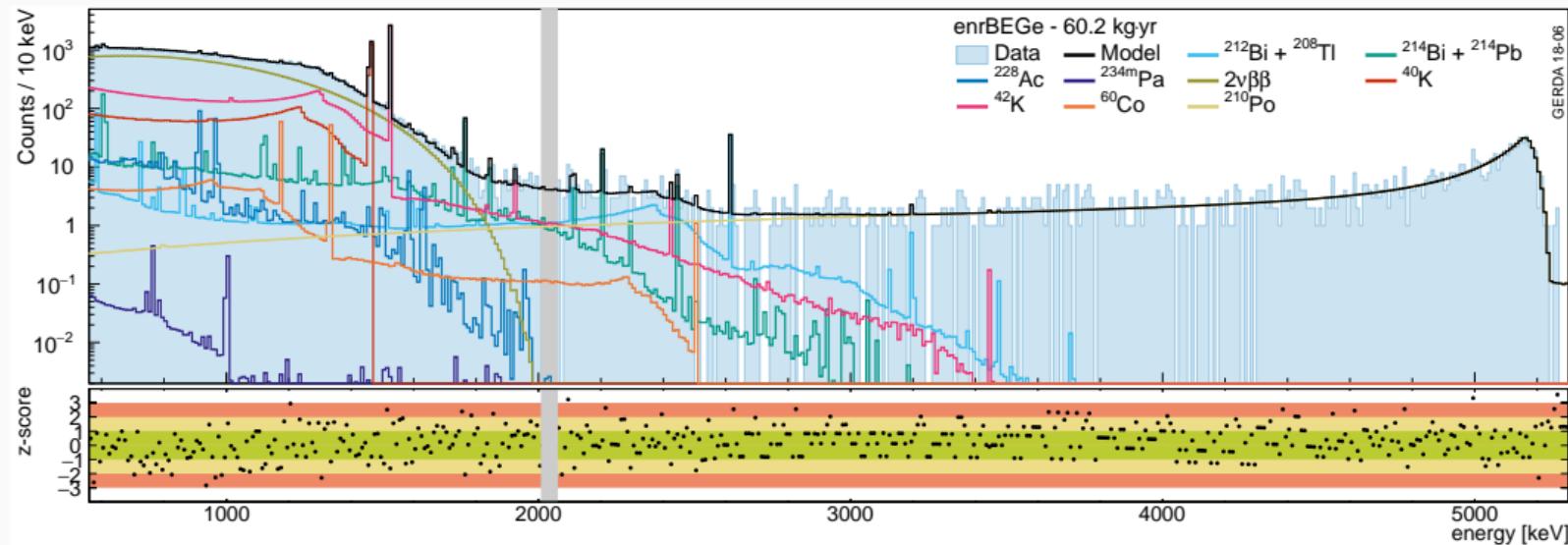


# Modelli statistici: modello completo



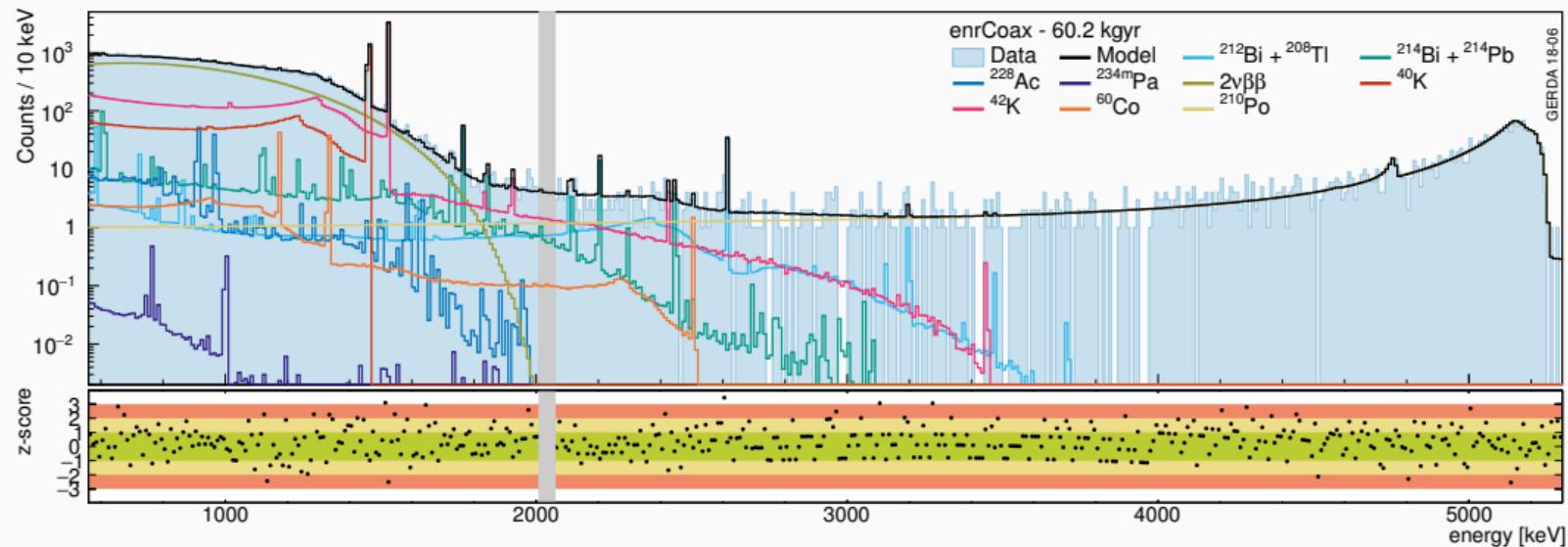
# Modelli statistici: modello completo

Risultati preliminari per gli eventi a singolo rivelatore BEGe



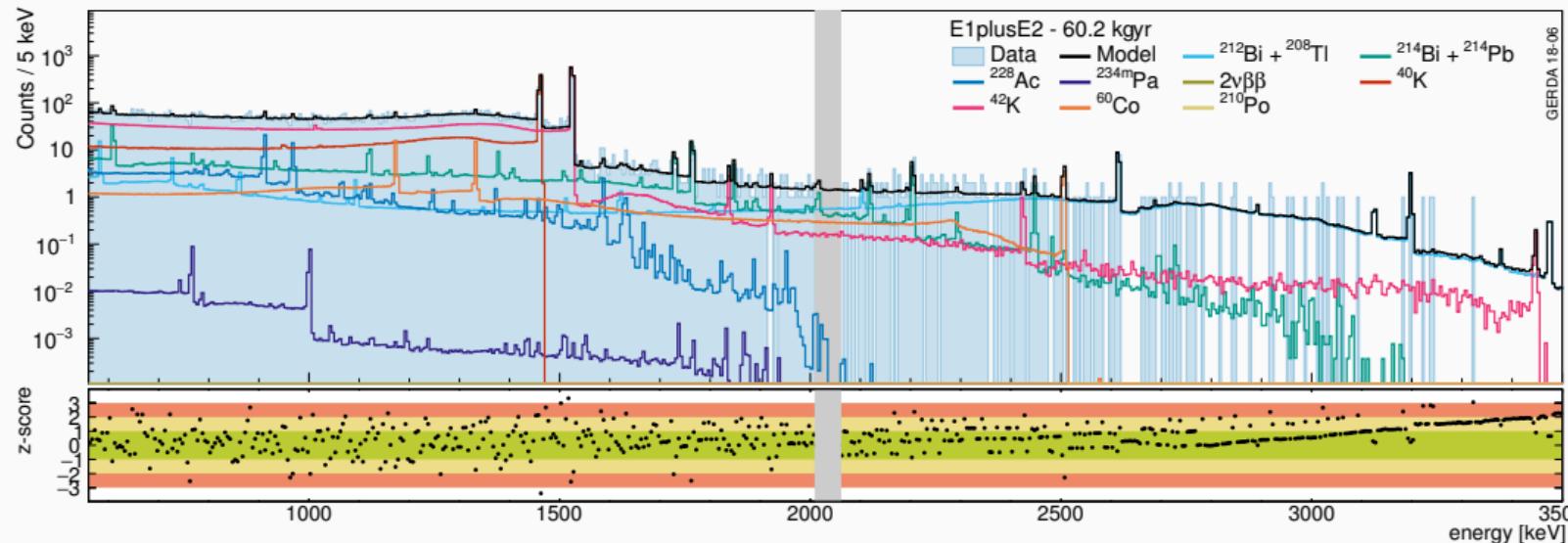
# Modelli statistici: modello completo

Risultati preliminari per gli eventi a singolo rivelatore Coassiale



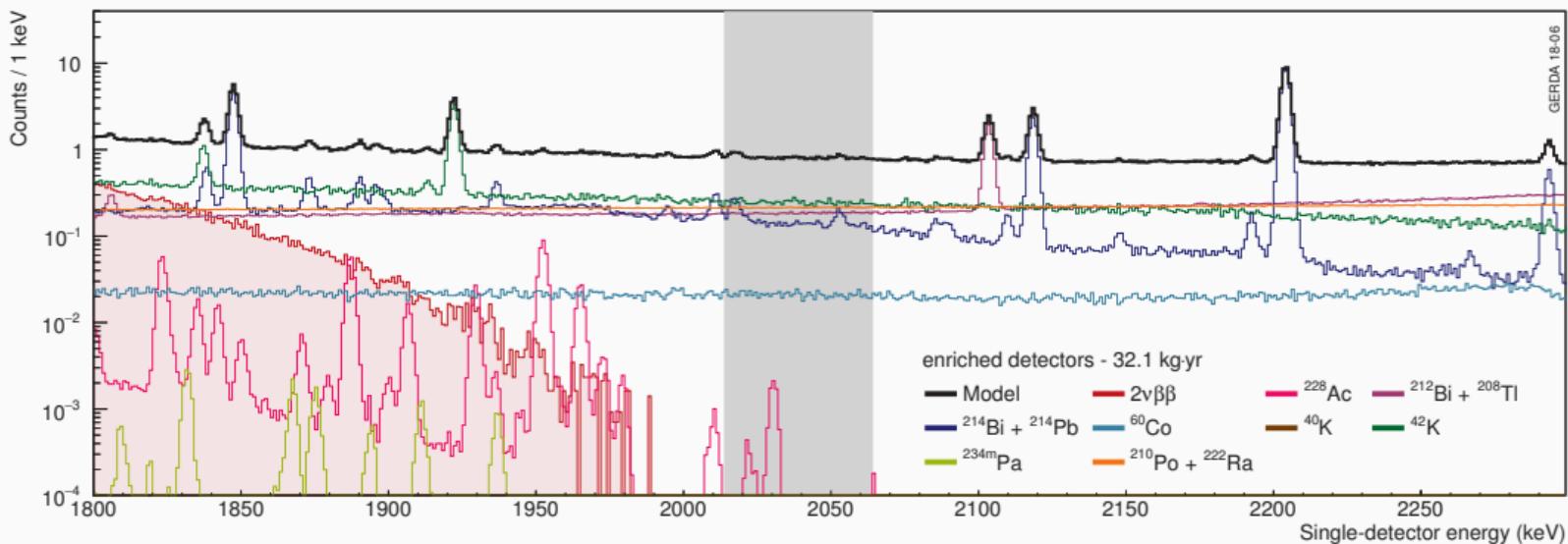
# Modelli statistici: modello completo

Risultati preliminari per gli eventi a due rivelatori



# Modelli statistici: modello completo

Cosa succede attorno al  $Q_{\beta\beta}$ ?



## Conclusioni e prospettive

Il modello di fondo ha subito profondi cambiamenti rispetto a GERDA Fase I e si è arricchito di nuovi strumenti.

Il modello degli eventi a 1525 e 1460 keV (K-model) offre ora un prezioso strumento per tracciare la contaminazione di potassio, uno dei maggiori fondi dell'esperimento, nelle varie componenti.

L'analisi statistica verrà utilizzata, nei prossimi mesi, per studiare con accuratezza la distribuzione del  $2\nu\beta\beta$  in cerca di nuova fisica.

In un futuro prossimo anche i tagli più elaborati (LAr veto, *pulse shape discrimination*) saranno implementati nel Monte Carlo.

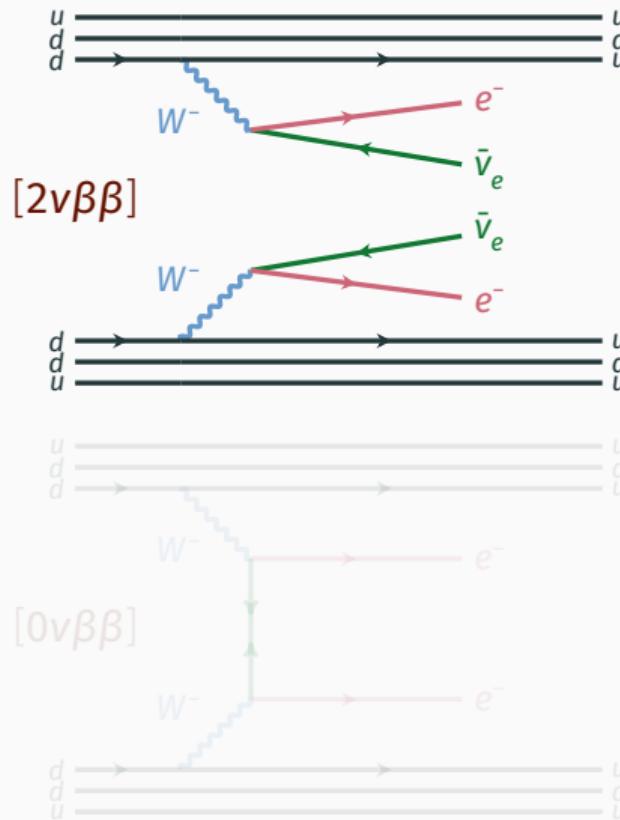
backup



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

# Il decadimento doppio- $\beta$

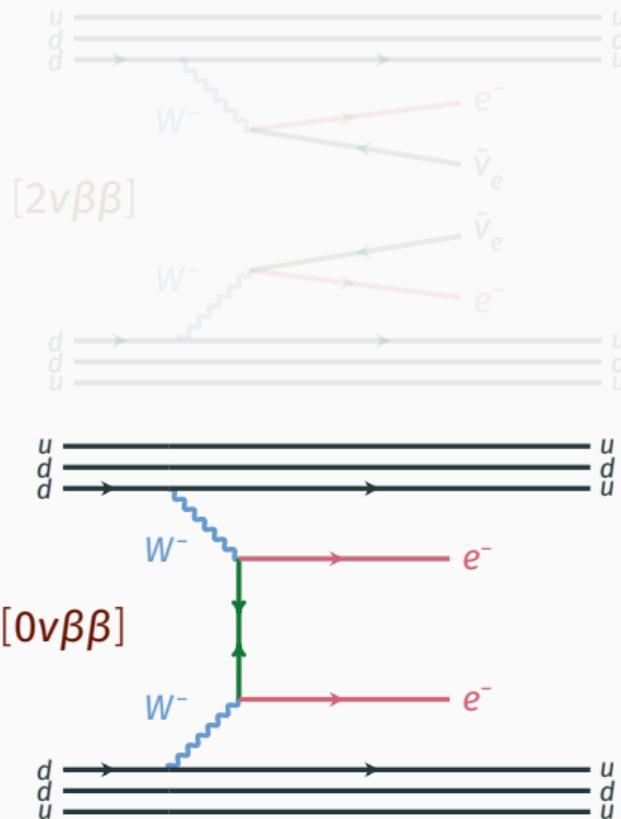


- Modello Standard:  $T_{1/2}^{2\nu} \sim 10^{19} - 10^{24}$  yr
- GERDA:  $T_{1/2}^{2\nu}[{}^{76}\text{Ge}] = 1.84_{-0.10}^{+0.14} \cdot 10^{21}$  yr  
[JPG: NPP, 40 (2013) 035110]



- 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- $\beta$

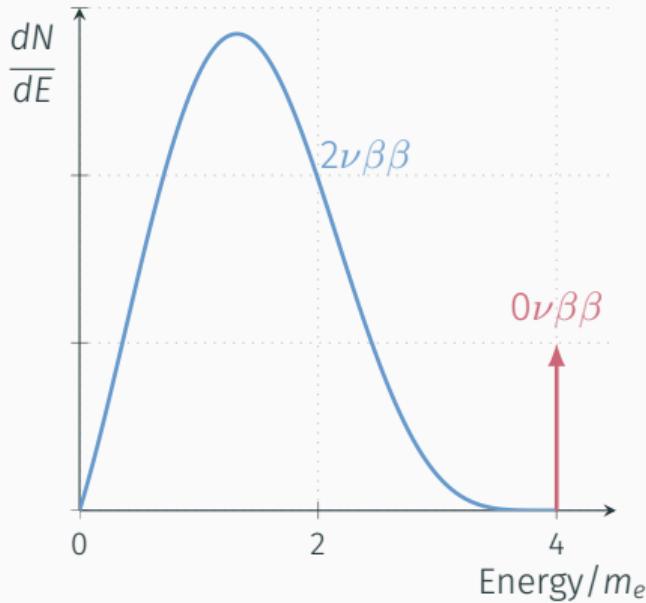


- Modello Standard:  $T_{1/2}^{2\nu} \sim 10^{19} - 10^{24}$  yr
- GERDA:  $T_{1/2}^{2\nu}[{}^{76}\text{Ge}] = 1.84_{-0.10}^{+0.14} \cdot 10^{21}$  yr  
[JPG: NPP, 40 (2013) 035110]



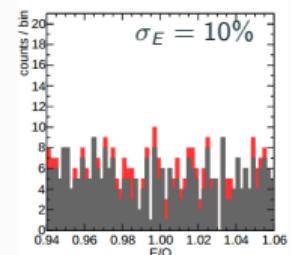
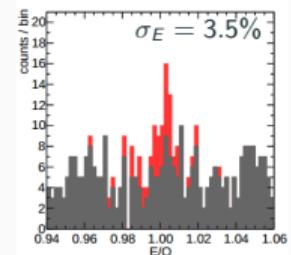
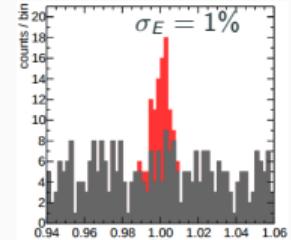
- Oltre il Modello Standard, violazione Numero Leptonico  $\rightarrow$  neutrino di Majorana
- GERDA:  $T_{1/2}^{0\nu}[{}^{76}\text{Ge}] > 8.0 \cdot 10^{25}$  yr (90% C.L.)  
[PRL, 120 (2018) 132503]

# Il decadimento doppio- $\beta$ : 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- $\beta$ ?

La ricerca del  $0\nu\beta\beta$  non è una semplice misura delle caratteristiche del neutrino, lavori teorici sconfinati<sup>3</sup>

- 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-standard<sup>1</sup>

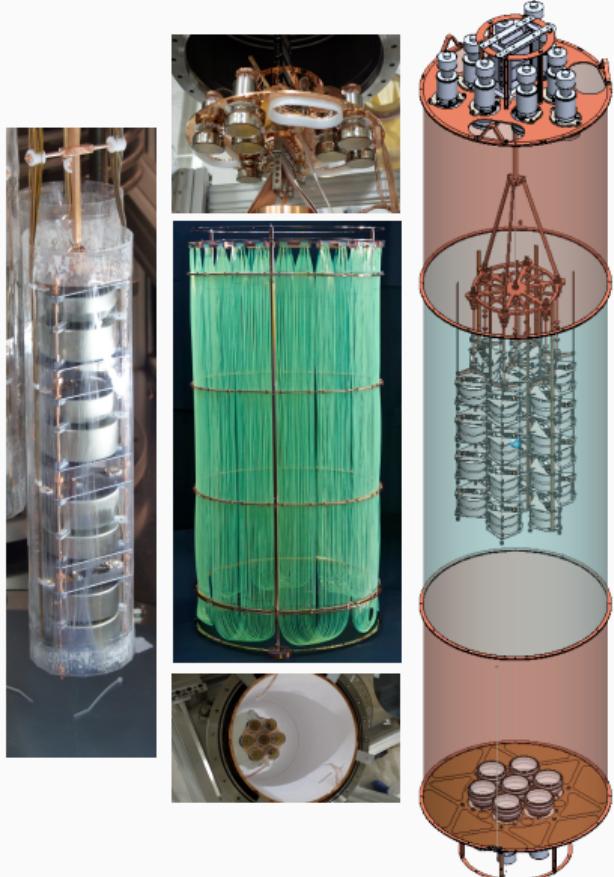
---

<sup>3</sup>W. Rodejohann, [IJMP, E 20 (2011) 1833]

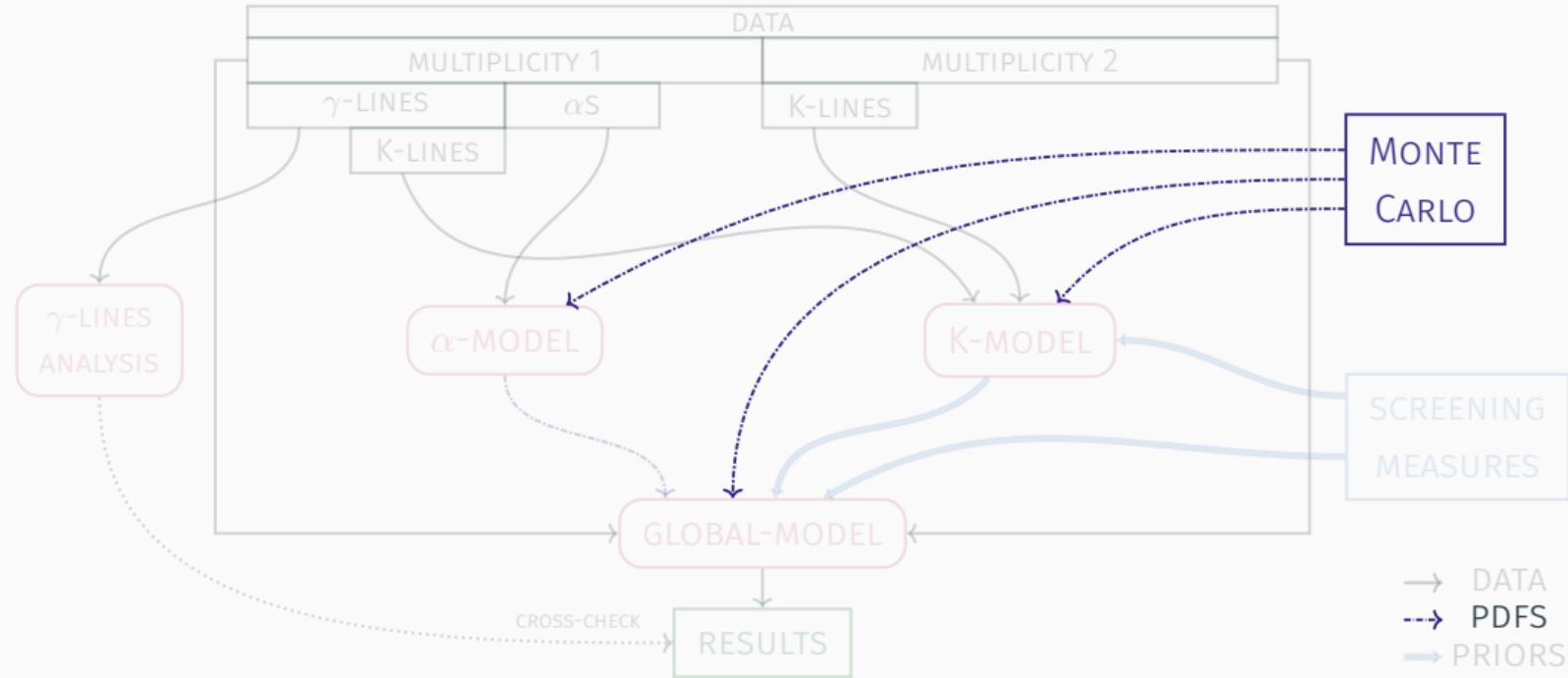
# GERmanium Detector Array – Fase II, LAr veto

Instrumentazione di tipo ibrido per il LAr veto:

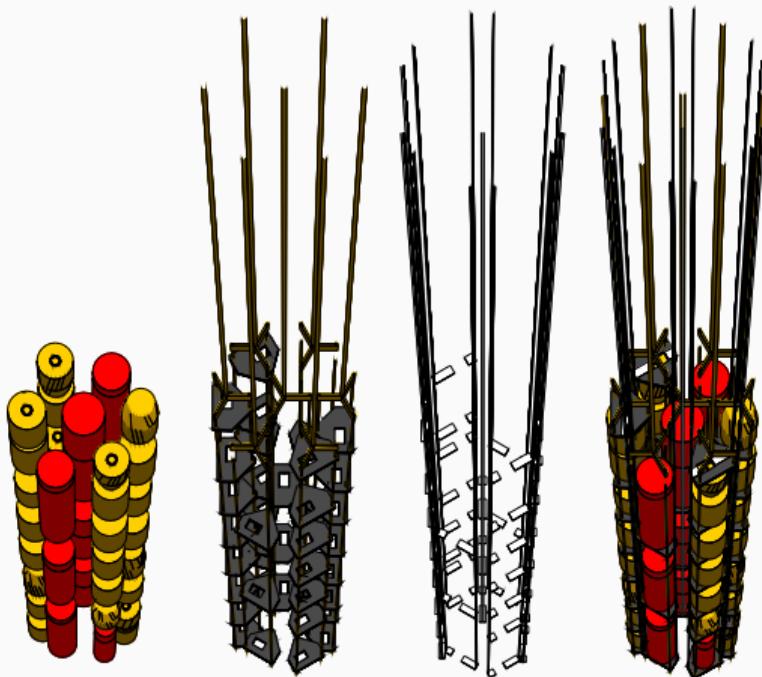
- 16 PMTs, 9 in alto e 7 in basso
- 800 m di fibre di nylon ricoperte con WLS + 90 SiPMs
- rivestimento di nylon (mini-shrouds) ricoperto di WLS attorno a ogni stringa, barriera meccanica contro gli ioni di  $^{42}\text{K}$



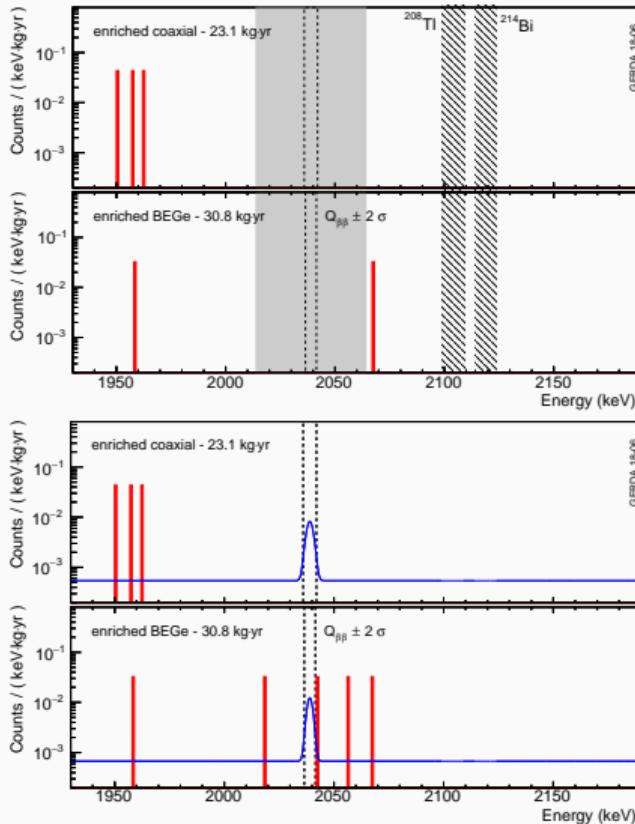
# Predizioni teoriche – Monte Carlo



# Predizioni teoriche – Monte Carlo



- Sorgenti di fondo sono simulate tramite GEANT4 [JP: CS, 39 (2006) 362]
- tutte le componenti di GERDA sono implementate
- gli eventi vengono processati, in accordo con i dati da analizzare, per produrre le distribuzioni di probabilitá



- esposizione:  $46.7 + 35.7$  kg·yr.
- 1 nuovo evento molto vicino al  $Q_{\beta\beta}$
- Background Index (BI):
  - $5.6^{+3.4}_{-2.4} \cdot 10^{-4}$  cts keV<sup>-1</sup>kg<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> (BEGe)
  - $5.7^{+4.1}_{-2.6} \cdot 10^{-4}$  cts keV<sup>-1</sup>kg<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup> (Coax)

	freq	bayes
	90% C.L.	90% C.L.
$N_{0\nu}^{\text{best}}$	0	0
$T_{1/2}^{0\nu}$	$> 0.9 \cdot 10^{26}$ yr	$> 0.8 \cdot 10^{26}$ yr
sens	$1.1 \cdot 10^{26}$ yr	$0.8 \cdot 10^{26}$ yr

- limite superiore su  $m_{\beta\beta}$  nell'intervallo  $0.11 - 0.25$  eV