



*Risultati sperimentali da 2 anni di  
presa dati con i cristalli prototipo  
di GERDA*

M. Barnabè Heider, C. Cattadori, O. Chkvorets, A. di  
Vacri, K. Gusev, M. Junker, S. Schonert, M. Shirchenko

**XCIV Congresso Nazionale Società Italiana di Fisica**

Genova, 22-27 Settembre, 2008

## Preparazione dei rivelatori Ge(HP) per la prima fase sperimentale di GERDA.

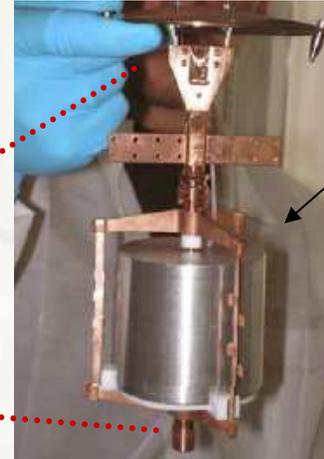
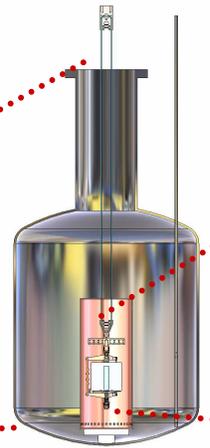
- ★ Nel 2006 i preziosissimi detectors Ge(HP) arricchiti (17.9 kg) dei precedenti esperimenti IGEX and HdM ed i non-arricchiti di GENIUS-TF (15 kg) sono stati rimossi dai loro criostati, pesati e misurati.
- ★ Sono poi stati chiusi in appositi contenitori di trasporto sotto vuoto ed inviati per il riprocessamento c/o ditta Canberra (Olen,B)
- ★ Minimizzato a pochi giorni il tempo di esposizione ai RC per le operazioni di spedizione e riprocessamento (custodia nel laboratorio sotterraneo EU di metrologia HADES dell'IRRM in Belgio);
- ★ Costruito holder di rame di massa minima (50 g) su misura per ogni detector.



Prestazioni dei rivelatori arricchiti prima dello smantellamento dei criostati originali.

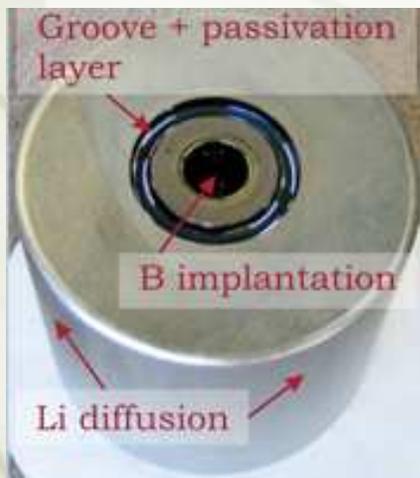
|            | ANG1  | ANG2  | ANG3  | ANG4  | ANG5  | RG1   | RG2   | RG3   |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| FWHM [keV] | 2.54  | 2.29  | 2.93  | 2.47  | 2.59  | 2.21  | 2.31  | 2.26  |
| Mass [kg]  | 0.980 | 2.906 | 2.446 | 2.400 | 2.781 | 2.150 | 2.194 | 2.121 |

## *Definizione della tecnologia di riprocessamento: run di rivelatori prototipo di fase I in GDL*



Rivelatore  
prototipo  
(P1) HP p-  
type di Ge  
da 1.6 kg

**GDL** è una facility sotterranea presso i LNGS (camera pulita di livello 10000), equipaggiata con **due camere a guanti (livello 10)** dove vengono testati i rivelatori di fase I, sia i prototipi di Ge naturale che quelli arricchiti. I rivelatori vengono manipolati in un **ambiente chiuso e ultra pulito in atmosfera di  $N_2$** .



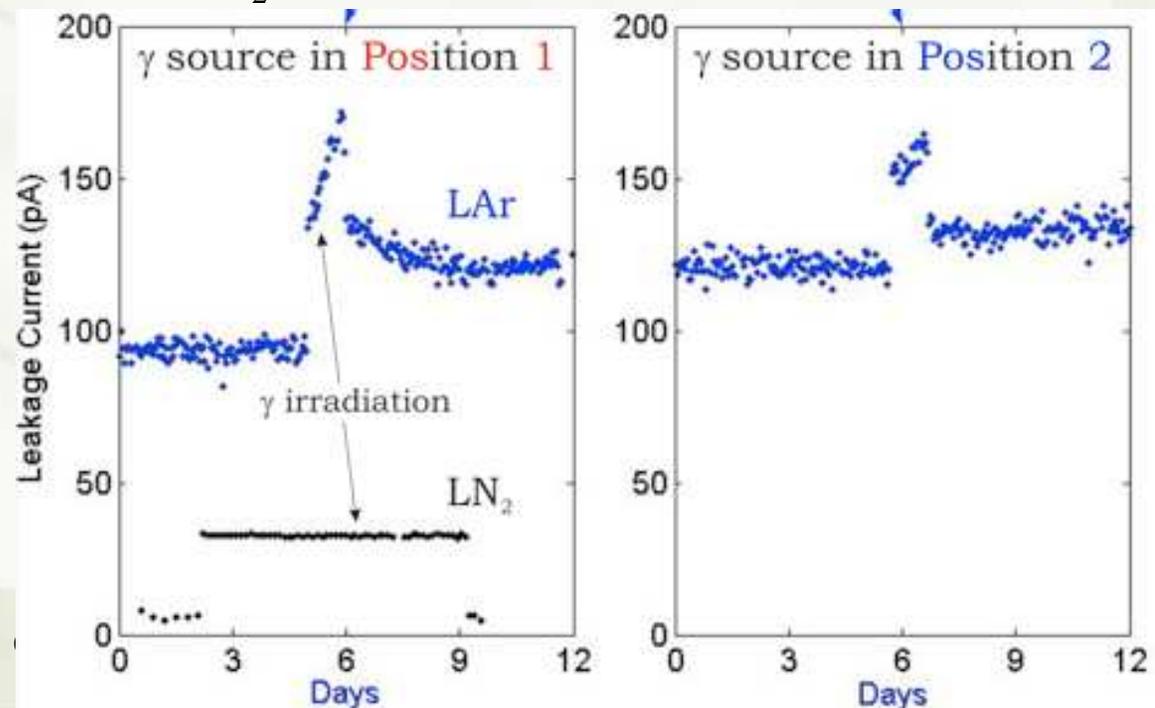
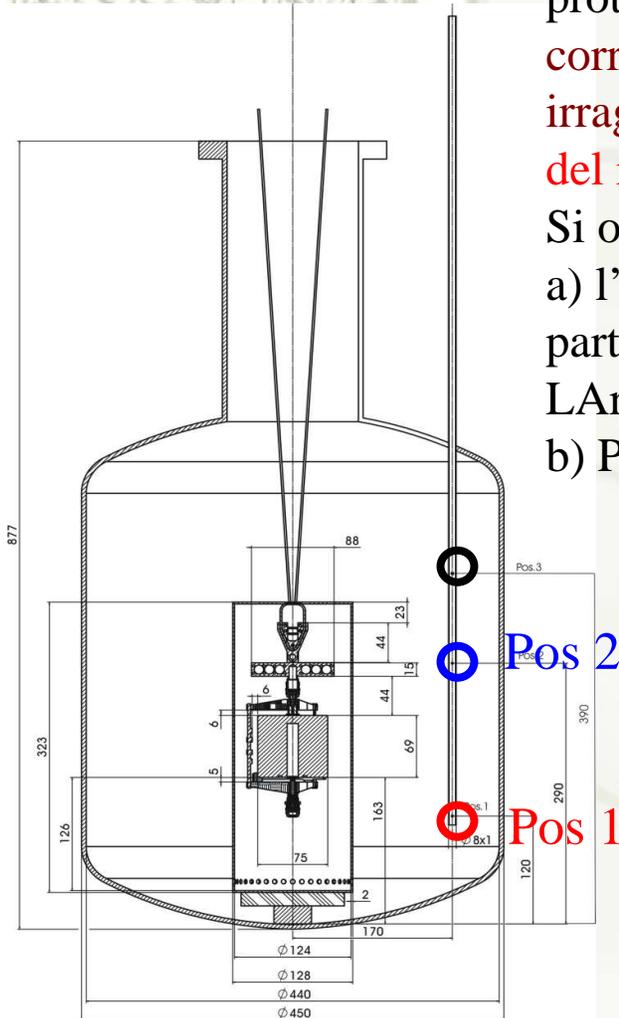
- Rivelatori **HP di Ge naturali** operanti **nudi in LAr/LN<sub>2</sub>** per:
- il montaggio dei rivelatori di fase I;
  - il protocollo di manipolazione dei rivelatori;
  - la tecnologia di riprocessamento;
  - le performance spettroscopiche.

# Corrente indotta da radiazione $\gamma$

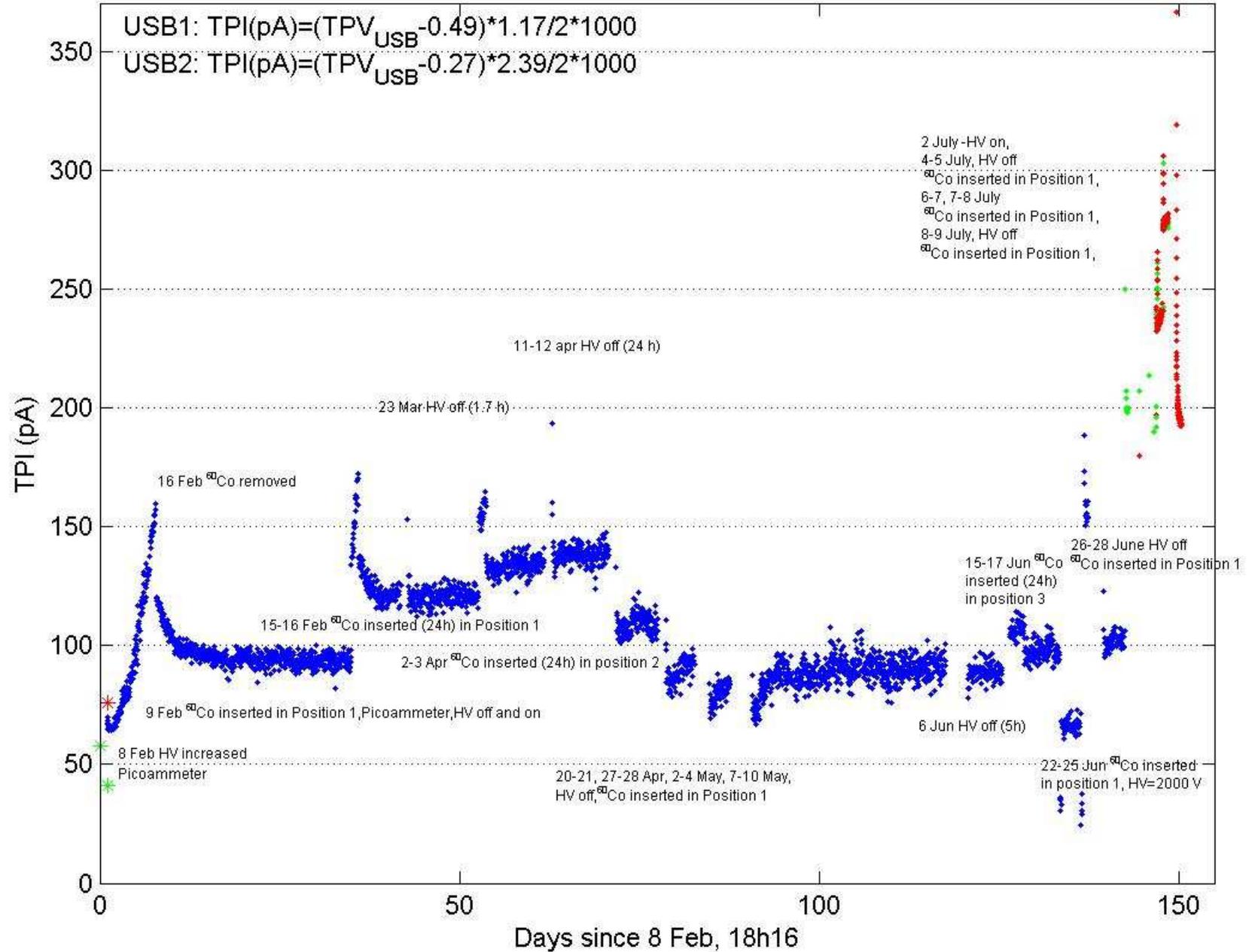
Osservazione: L'irraggiamento con  $\gamma$ S( $^{60}\text{Co}$  da 44 kBq) del prototipo #1 (P1) operante in LAr risulta in un aumento della corrente inversa (LC). Valore tipico è 40 pA per giorno di irraggiamento, con la sorgente a  $\approx 15$  cm (Pos1, tasso di conteggio del rivelatore = 1.4 kHz).

Si osserva sperimentalmente che:

- l'aumento dipende dal rate di ionizzazione (IR) nell'LAr. In particolare, è proporzionale al tasso di ionizzazione nel volume di LAr dal lato del contatto p+.
- P1 operato in  $\text{LN}_2$  non mostra alcun incremento.



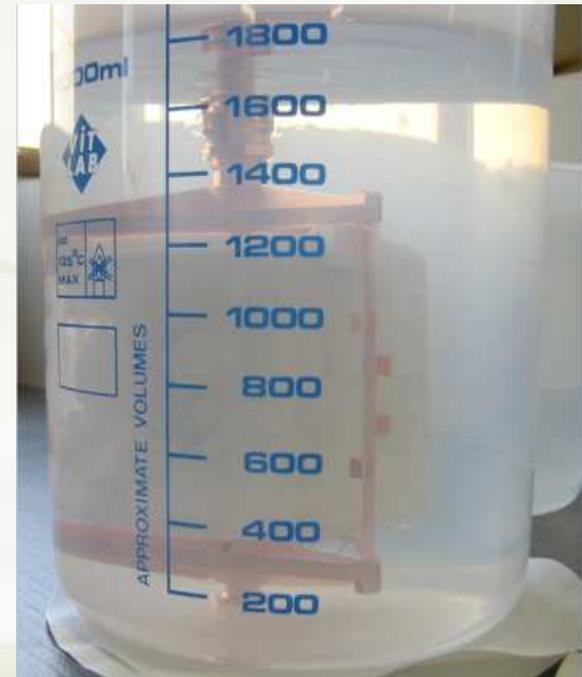
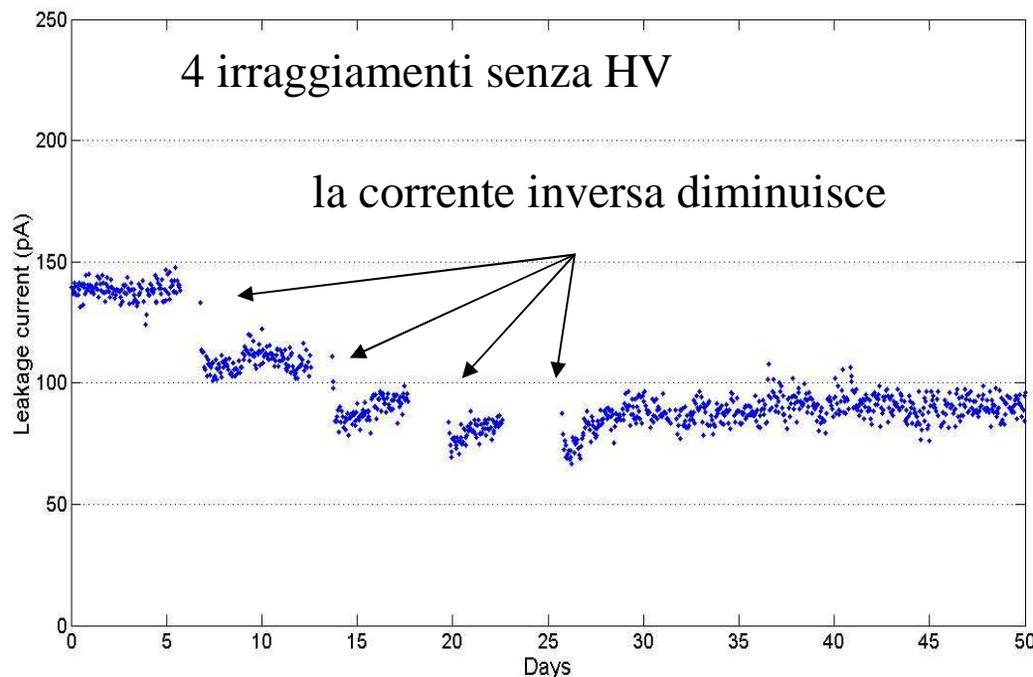
TPI for Phase 1 prototype detector from 8 Feb to 10 July 07, average/hour



# Il fenomeno è parzialmente reversibile

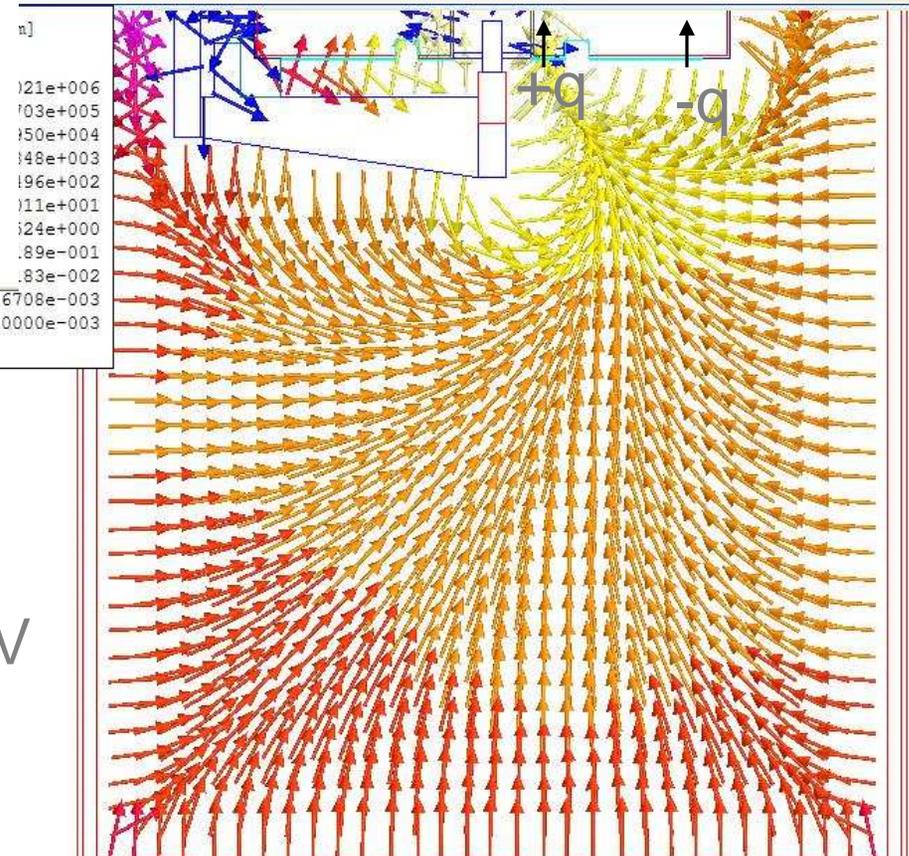
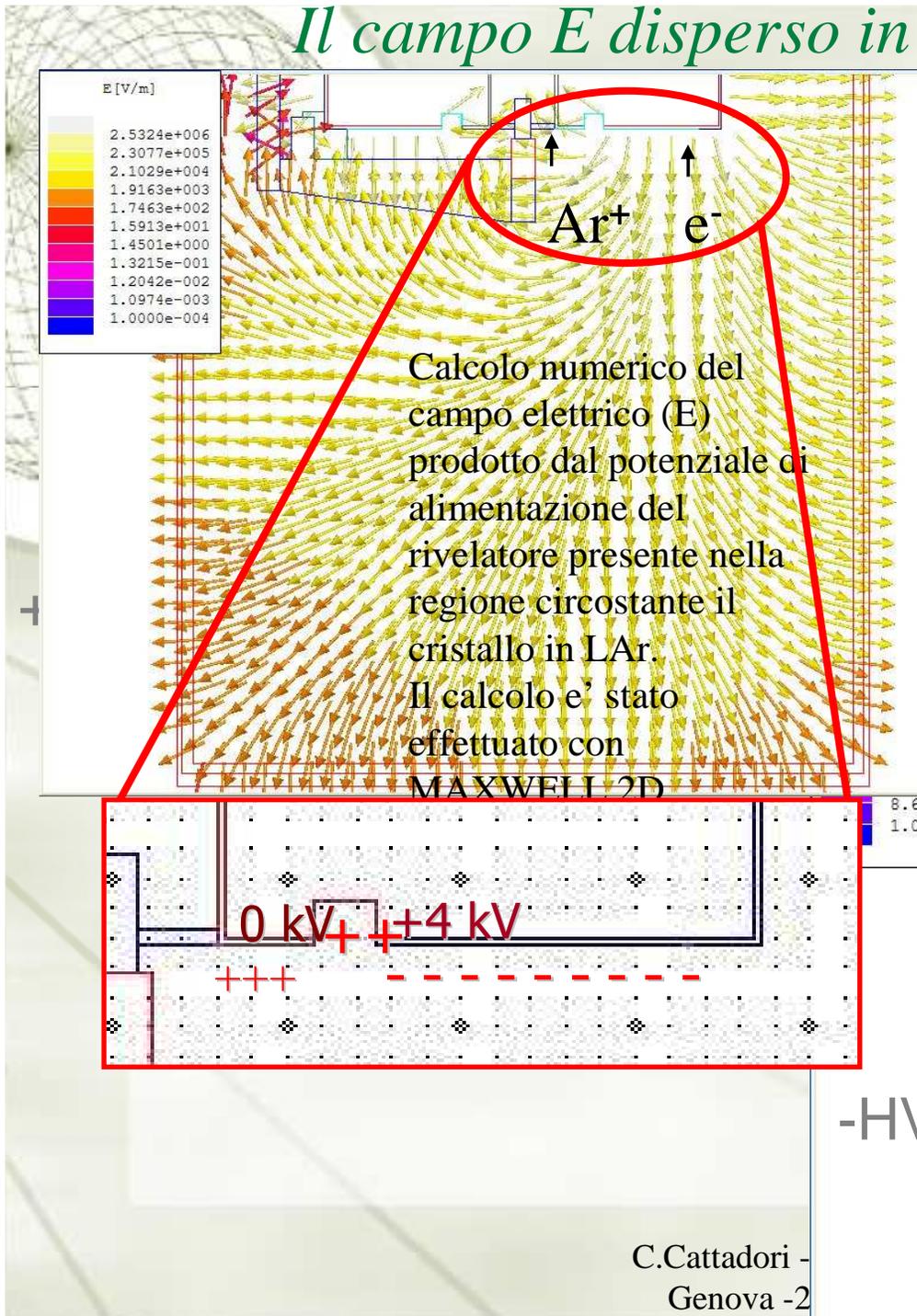
La corrente inversa recupera ai valori iniziali:

- ✦ **dopo irraggiamenti senza HV.** Questo è giustificabile o con l'effetto della radiazione  $\gamma$  sullo strato di passivazione o con l'effetto della luce di scintillazione ultravioletta (128 nm) del LAr.
- ✦ **Dopo cicli di riscaldamento.**



# Il campo E disperso in LAr quando il rivelatore e' polarizzato

In entrambe le polarizzazioni (+HV) e (-HV): **carica positiva** raccolta all'elettrodo centrale (fra la "groove" ed il "borehole"), la **carica negativa** sulla superficie passivata all'esterno della "groove".



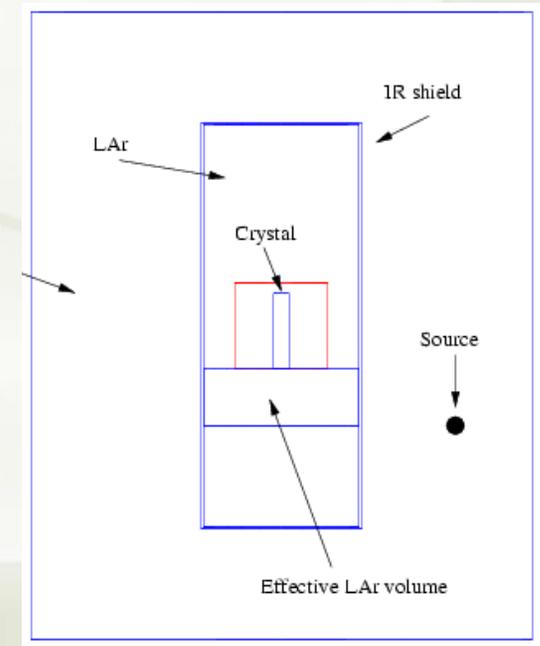
## L'interpretazione: un modello empirico

- La ionizzazione (dovuta alla radiazione  $\gamma$ ) del volume di LAr prospiciente lo strato di passivazione, produce coppie  $\text{Ar}^+/\text{e}^-$ .
- Il campo  $E$  disperso nel LAr è sufficientemente intenso ( $> 500 \text{ V/cm}$ ) da separare e “driftare” le coppie  $\text{Ar}^+ - \text{e}^-$  verso la sup. passivata (PL). Lungo il loro percorso gli  $\text{e}^-$  possono essere catturate da specie elettronegative ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) che a loro volta driftano verso PL.
- *La carica raccolta ed intrappolata sul PL, genera un campo  $E$  che modifica la distribuzione e lo stato della carica intrappolata nel  $\text{SiO}_2$  (1) ed all'interfaccia fra  $\text{SiO}_2 - \text{Ge}_{\text{bulk}}$  (2). Questo comporta un aumento della conducibilità a livello di (1) e (2) ( $\Delta R = 10^{14} \Omega$ , per  $\Delta I = 40 \text{ pA}$  and  $HV = 4 \text{ kV}$ ), cioè **un aumento della corrente inversa (LC) misurata del rivelatore. La corrente di  $\text{Ge}_{\text{bulk}}$  non subisce alcuna variazione.***
- Il tasso di incremento della LC dipende dal tasso di raccolta della carica, dalla densità di carica raccolta e dal valore iniziale della resistività dello strato di passivazione.

## Stima della carica raccolta

1. Volume efficace ( $V_{\text{eff}}$ ) per la raccolta di carica e' quello prospiciente la superficie passivata ove, in superficie, si trovano
  1. il contatto di read-out del rivelatore
  2. la caduta di tensione di polarizzazione ( $DV=4000$  V)
2.  $V_{\text{eff}}$  e quello ove  $E > 500$  V/cm (per evitare la ricombinazione parentale delle coppie  $\text{Ar}^+ - e^-$ ).
3. Da simulazioni Montecarlo si ottiene il tasso di interazione raggi  $\gamma$  nel volume totale e in volume efficace.

| Source position | IR in Ge [kHz] | IR <sup>MC</sup> in LAr [kHz] | IR <sup>MC</sup> in effective LAr [kHz] |
|-----------------|----------------|-------------------------------|---|
| 0               | 1.5            | 3.59                          | 1.71                                    |



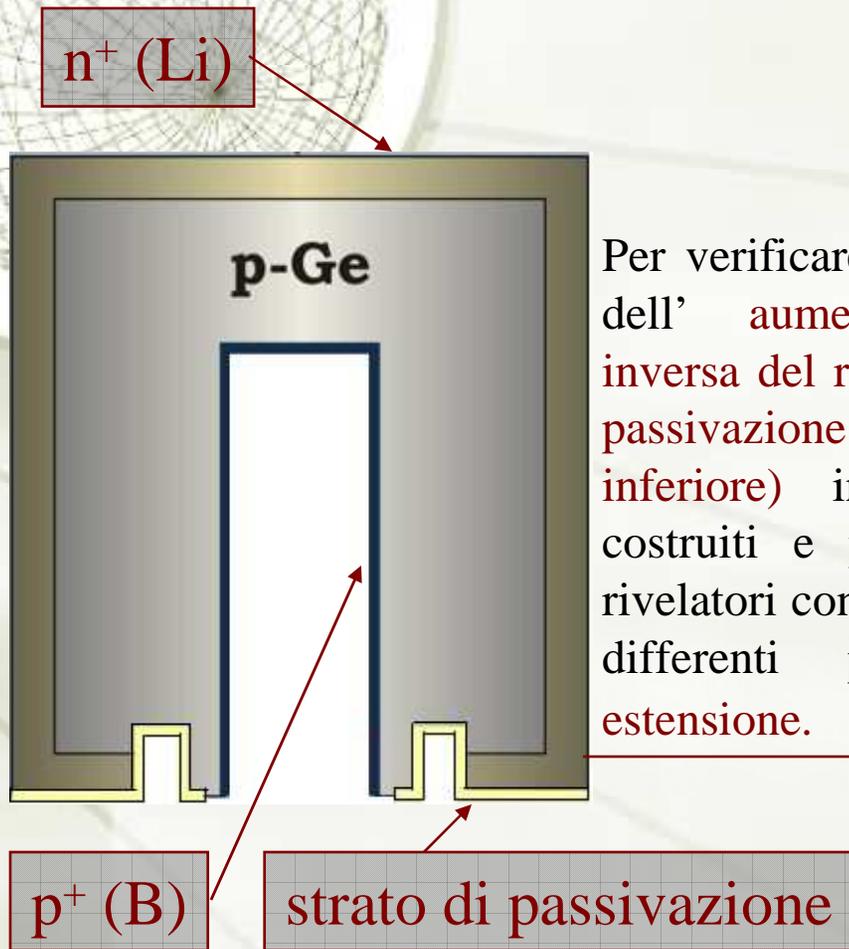
## Calcolo della densita' di carica raccolta e del conseguente campo elettrico generato attraverso lo strato passivato

|     | Positive charge (+q) [pC/d·cm <sup>2</sup> ] | $\rho$ (+q) [ion/d·cm <sup>2</sup> ] | E [V/cm]         | V [mV] | Negative charge (-q) [pC/d·cm <sup>2</sup> ] | $\rho$ (+q) [ion/d·cm <sup>2</sup> ] | E [V/cm]         | V [mV] |
|-----|--|--------------------------------------|------------------|--------|--|--------------------------------------|------------------|--------|
| +HV | $2.4 \cdot 10^2$                             | $1.5 \cdot 10^9$                     | 140              | 1.4    | $2 \cdot 10^3$                               | $1.1 \cdot 10^{10}$                  | $2.5 \cdot 10^3$ | 0.25   |
| -HV | $1.8 \cdot 10^3$                             | $1.1 \cdot 10^{11}$                  | $2.5 \cdot 10^4$ | 250    | $6.5 \cdot 10^2$                             | $4 \cdot 10^9$                       | 920              | 9.2    |

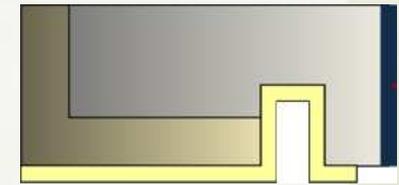
Il calcolo e' stato vale sotto le seguenti assunzioni :

- Tasso interazione raggi  $\gamma$  da MC
- Energia media depositata da interazione  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  in LAr  $\approx 300$  keV.
- Tutte le cariche prodotte dalla ionizzazione del LAr sono driftate e raccolte alla superficie.
- Non si considerano effetti di ricombinazione di carica nel durante il drift ne' al PL.
- Il campo E e' calcolato con il teorema di Gauss ( $\epsilon_r(\text{SiO}_2)=3.9$ , valido per ossidi da deposito termico, per ossidi depositati con CVD  $\epsilon_r$  puo' variare notevolmente)
- Spessore del  $\text{SiO}_2$  layer = 100 nm (il valore esatto non e' noto in quanto segreto tecnologico della Canberra)

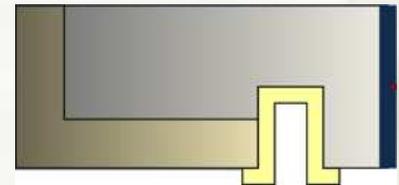
# Verifica del modello empirico



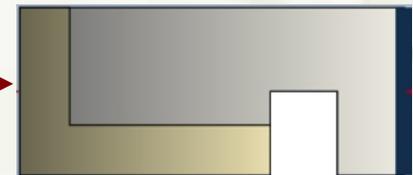
Per verificare il modello empirico dell' aumento della corrente inversa del rivelatore P1 (strato di passivazione su tutta la superficie inferiore) in LAr, sono stati costruiti e posti in misura due rivelatori con strati di passivazione differenti per geometria ed estensione.



**Prototipo 1 (P1):**  
passivazione su tutta la superficie inferiore



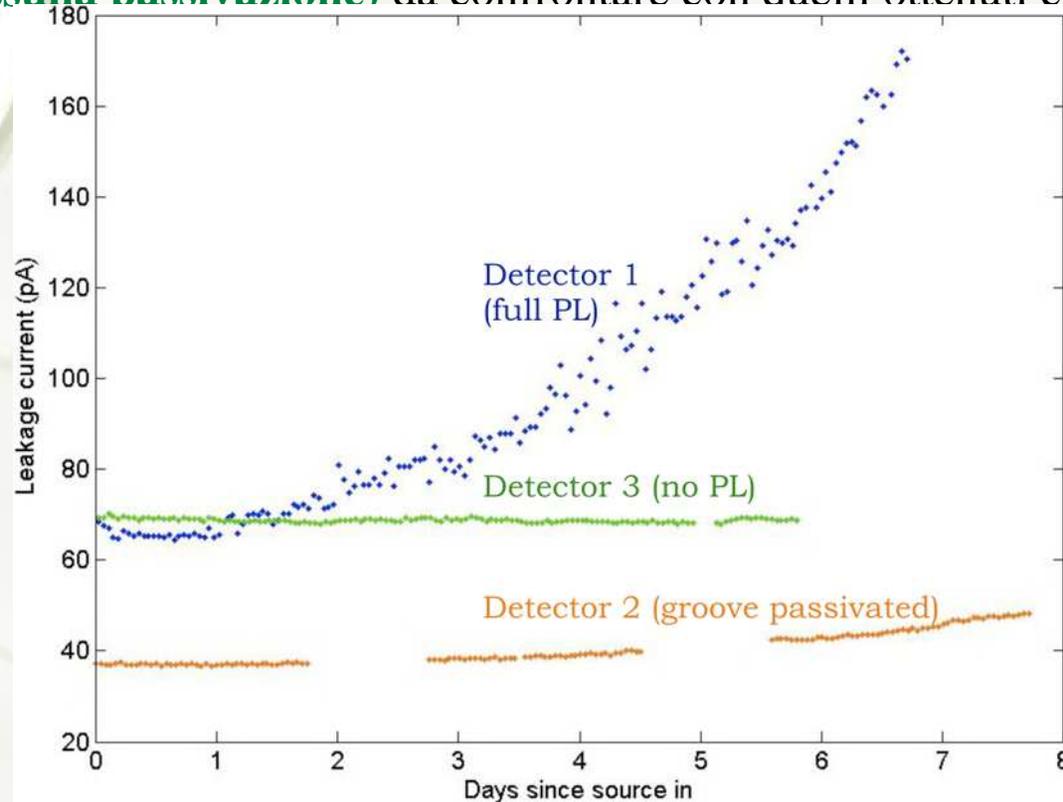
**Prototipo 2 (P2):**  
passivazione solo nella groove



**Prototipo 3 (P3):**  
nessuna passivazione

# Verifica del modello empirico

Risultato dell'irraggiamento dei rivelatori **prototipo 2 (passivazione solo nella groove)** e **prototipo 3 (nessuna passivazione)** da confrontare con quelli ottenuti con **prototipo 1**



- ✦ Prototipo 2 in Lar mostra un rate di incremento di corrente inversa molto inferiore rispetto al prototipo 1 (1.4 pA/d vs 40 pA/d)
- ✦ Prototipo 3 non mostra alcun incremento della corrente inversa

⇒ **Conferma: Il fenomeno osservato dipende dalla presenza di LAr e dalla presenza ed estensione dello strato di passivazione!**

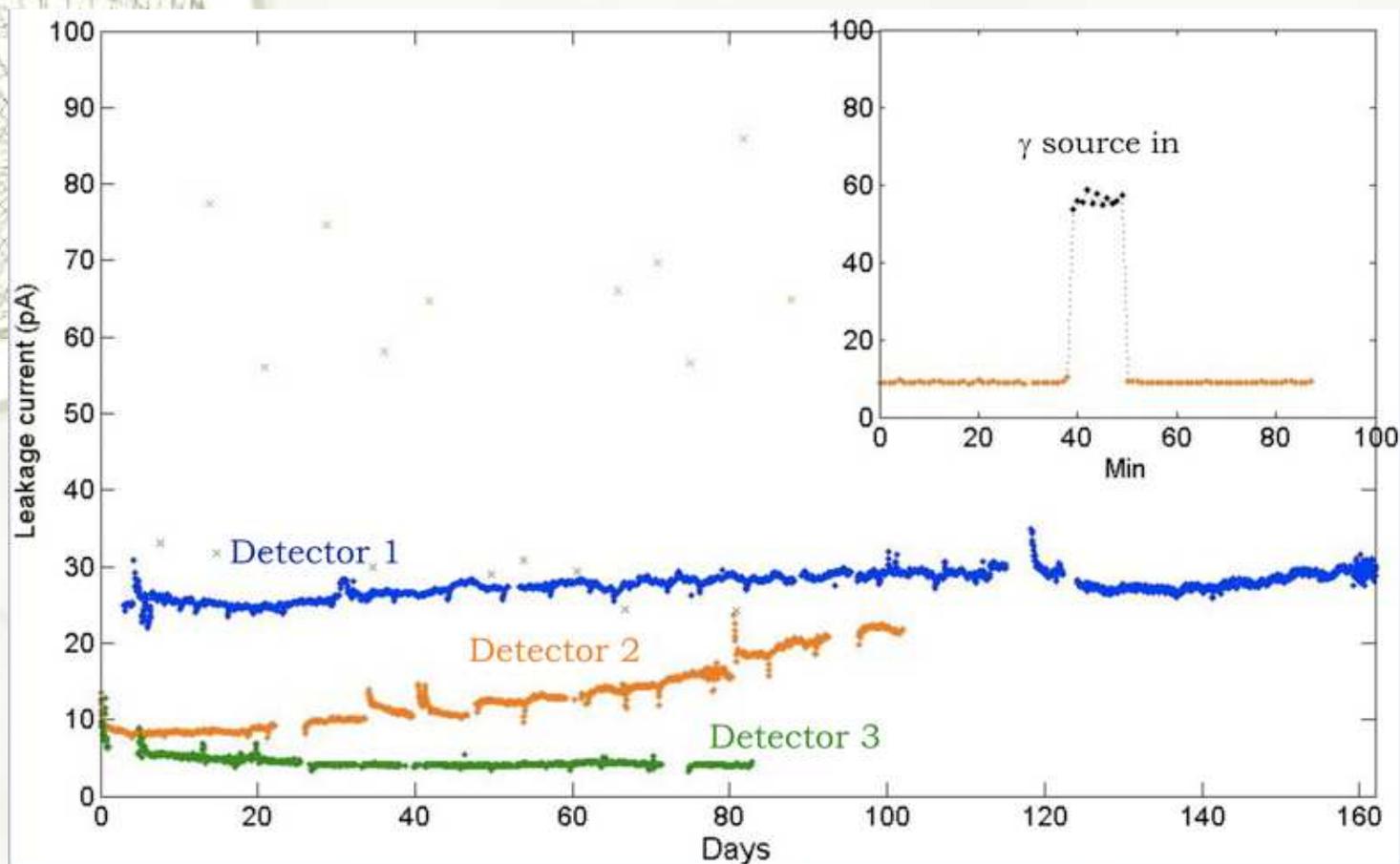
# Conclusioni (I)

- ★ GERDA opera rivelatori al germanio HP arricchiti (~85%) nell'isotopo  $^{76}\text{Ge}$  per la ricerca del decadimento  $0\nu\beta\beta$ .
- ★ Attualmente è in fase avanzata di costruzione presso i LNGS e dovrebbe entrare in presa dati nel 2009.
- ★ L'aspetto tecnologico innovativo di GERDA è la messa in funzione dei rivelatori di Ge(HP) immersi direttamente in LAr che funge contemporaneamente da liquido refrigerante e da schermo passivo ultrapuro.
- ★ Presso un laboratorio sotterraneo di test al LNGS (GDL), per 2 anni sono stati operati rivelatori HP al germanio per verificare le performances e la stabilità operando i rivelatori in queste condizioni, nei montaggi reali:
  - ★ 3 rivelatori prototipo di Ge naturale aventi differenti geometrie ed estensioni dello strato di passivazione sono stati testati;
  - ★ L'assemblaggio dei rivelatori nei loro holder di piccola massa appositamente progettati è stato testato (stessa risoluzione in energia ottenuta in un criostato standard, 2.2 keV al  $^{60}\text{Co}$ ).
  - ★ È stata definita con successo il protocollo di manipolazione dei rivelatori.

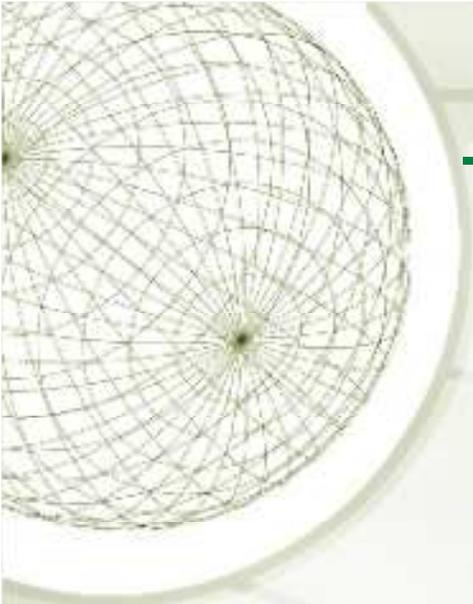
## Conclusioni (II)

- ◆ I parametri dei rivelatori, dopo un anno di operazione continuata sono rimasti stabili e non degradati.
- ◆ Dopo un anno di operazione di 3 rivelatori prototipo per la fase I si può concludere che:
  - ◆ L'irraggiamento con una sorgente  $\gamma$  ( $^{60}\text{Co}$ ) dei rivelatori aventi uno strato di passivazione produce un aumento della corrente inversa di superficie (la corrente di bulk non ne risulta essere affetta);
  - ◆ Questo effetto è notevolmente ridotto ( $\sim 30$  volte in caso di passivazione solo nella groove rispetto alla passivazione su tutta la superficie inferiore) se si riduce l'estensione dello strato di passivazione.
  - ◆ Il processo è parzialmente reversibile. La corrente inversa si riporta al suo valore originale irraggiando senza HV o per effetto della luce di scintillazione UV del LAr.

## Conclusioni (III)



- ✦ **Prototipo 1** è stato operato in maniera continuata per 7 mesi nel Lar. I parametri dei rivelatori, dopo un anno di operazione continuata sono rimasti stabili e non degradati.
- ✦ **Prototipo 2** e **prototipo 3** sono stati operati in maniera continuativa per 3 mesi. Settimanalmente sono stati irradiati con la sorgente di  $^{60}\text{Co}$  per circa 10 min per simulare l'effetto delle calibrazioni che saranno necessarie nel corso dell'esperimento. Non si ha incremento della corrente inversa per il prototipo 3.

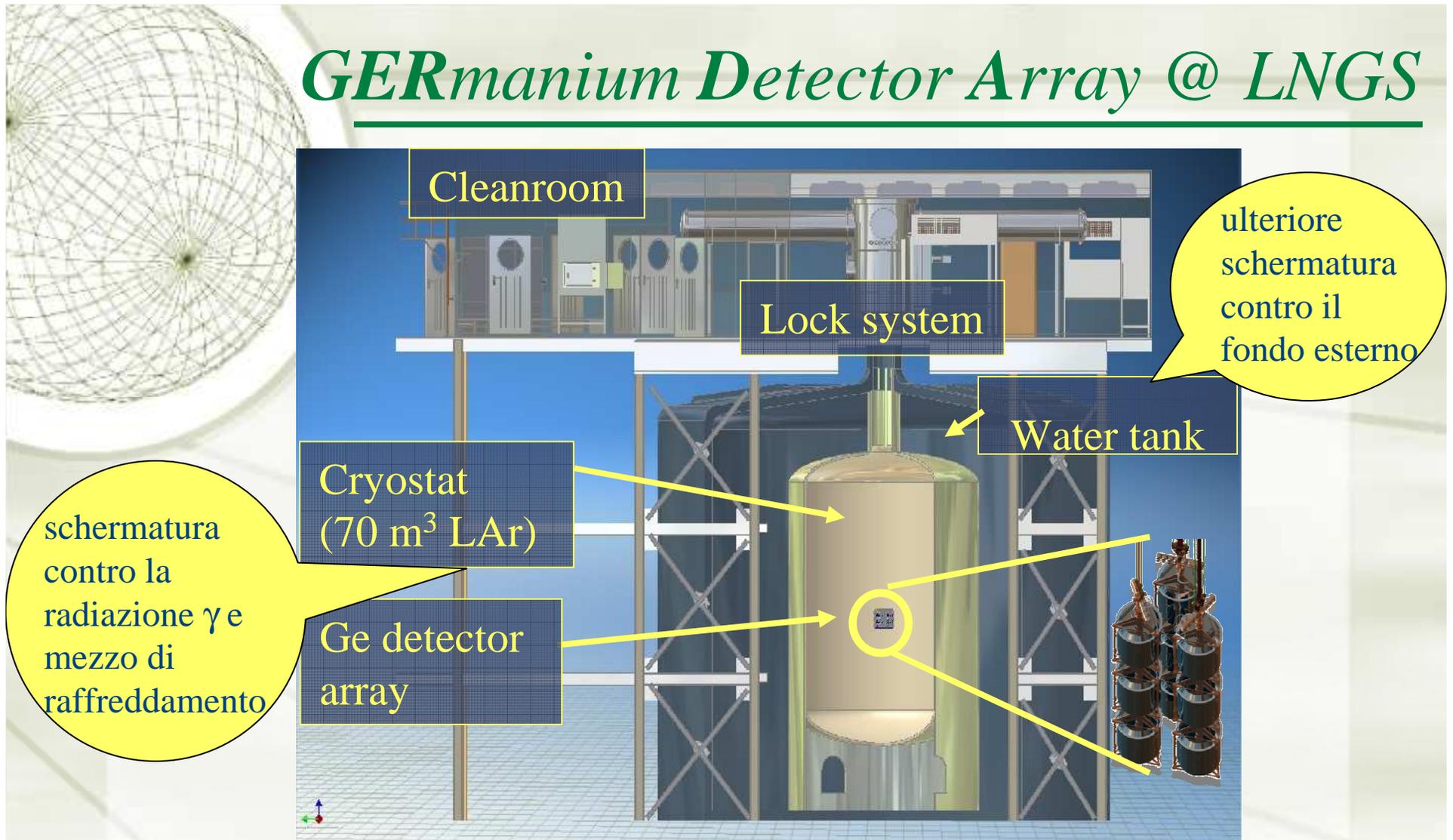
A decorative wireframe sphere is positioned in the top-left corner of the slide. It consists of a grid of thin, light-colored lines forming a spherical shape, with a central point from which the lines radiate outwards. The sphere is partially enclosed by a white circular border.

# *EXTRA slides*

---

C.Cattadori - XCIV Congresso SIF -  
Genova -22-27 Settembre 2008

# GERmanium Detector Array @ LNGS



GERDA è un esperimento progettato per la ricerca del decadimento doppio beta senza neutrini ( $0\nu\beta\beta$ ) del  $^{76}\text{Ge}$  usando rivelatori al germanio high purity (HPGe), arricchiti nell'isotopo  $^{76}\text{Ge}$  ( $\approx 85\%$ ), operanti direttamente immersi nell'argon liquido (LAr). L'esperimento punta ad un livello di fondo  $\leq 10^{-3}$  cts/(kg.y.keV) e ad una risoluzione in energia  $\leq 4$  keV @  $Q_{\beta\beta} = 2039$  keV.

# GERDA: fasi e obiettivi

## ✦ FASE I

- ✦ rivelatori arricchiti (18 kg) riprocessati provenienti dai precedenti esperimenti Heidelberg-Moscow e IGEX e rivelatori di germanio naturale (15 kg) dall'esperimento Genius-TF;
- ✦  $T_{1/2} > 3 \cdot 10^{25}$  y,  $m_{ee} < 270$  meV;

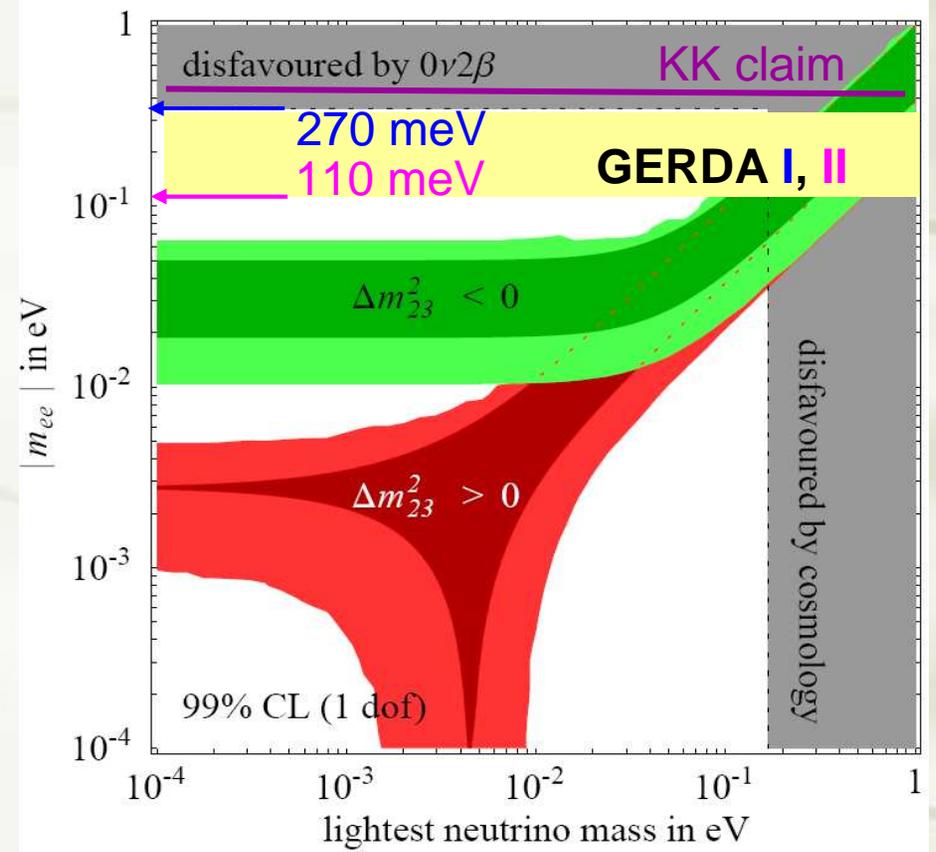
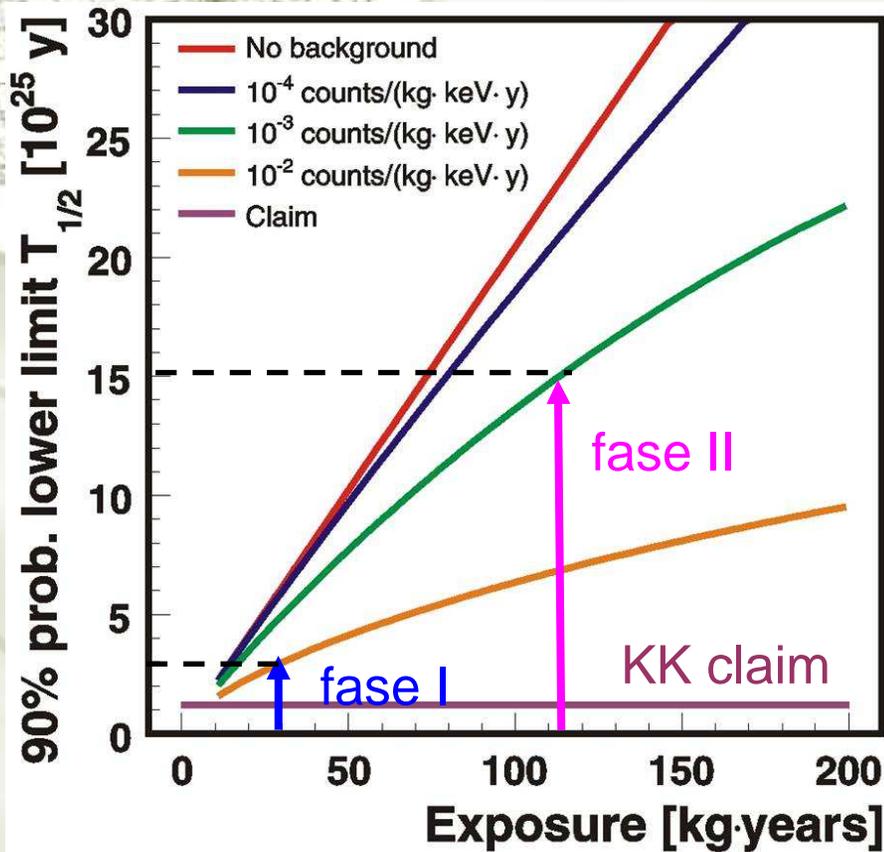
## ✦ FASE II

- ✦ aggiunta di nuovi rivelatori arricchiti (20 kg) con un minore livello di fondo intrinseco e capaci di una migliore discriminazione tra eventi multi-site e single-site (tipici del decadimento  $0\nu\beta\beta$ );
- ✦  $T_{1/2} > 1.5 \cdot 10^{26}$  y,  $m_{ee} < 110$  meV;

## ✦ Eventuale FASE III

- ✦ Esperimento su scala della tonnellata con una collaborazione mondiale;
- ✦  $T_{1/2} > 2 \cdot 10^{27}$  y,  $m_{ee} < 40$  meV;

# GERDA: potenziale di scoperta



# Rivelatori per la prima fase sperimentale di GERDA

- ◆ Costruiti appositi supporti di massa ridotta, fatti con materiali di elevata radiopurezza (rame e PTFE e silicio; ~80 g) per mantenerli immersi nel liquido criogenico;
- ◆ Riprocessati tutti i rivelatori (contatti etc)
- ◆ Rivelatori arricchiti così riprocessati sono stati testati in un laboratorio dedicato (GDL) ai LNGS, nello scorso mese di Agosto.

