

Società Italiana di Fisica
Italian Physical Society
XCII Congresso Nazionale

CUORICINO, tecniche bolometriche per lo studio del Doppio Decadimento β

Andrea Giachero

Laboratori Nazionali del Gran Sasso e Università di Genova,
in rappresentanza della collaborazione **CUORICINO**



CUORICINO è l'esperimento pilota dell'esperimento CUORE (Cryogenic Underground Observatory for Rare Events) di prossima generazione.

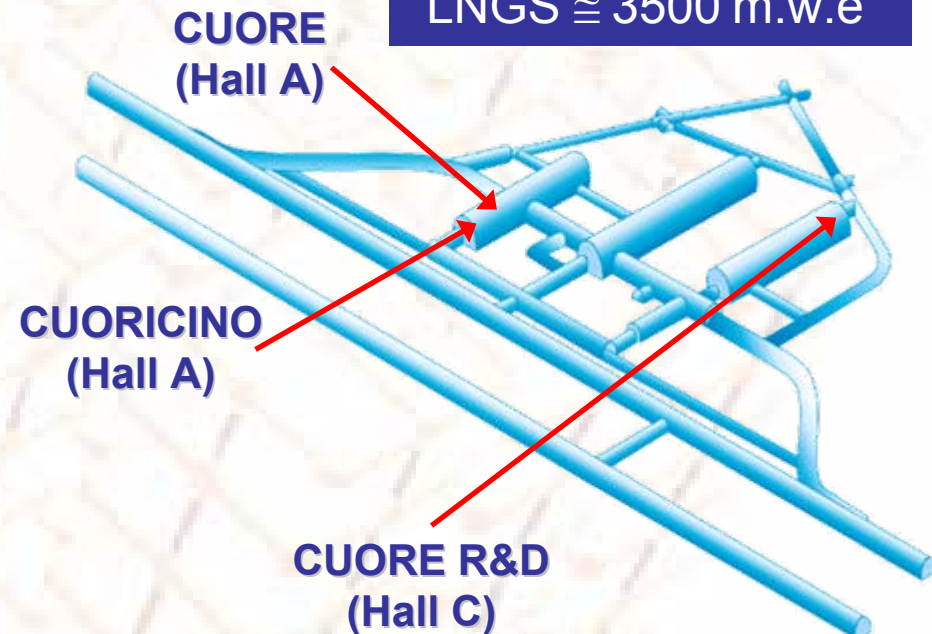
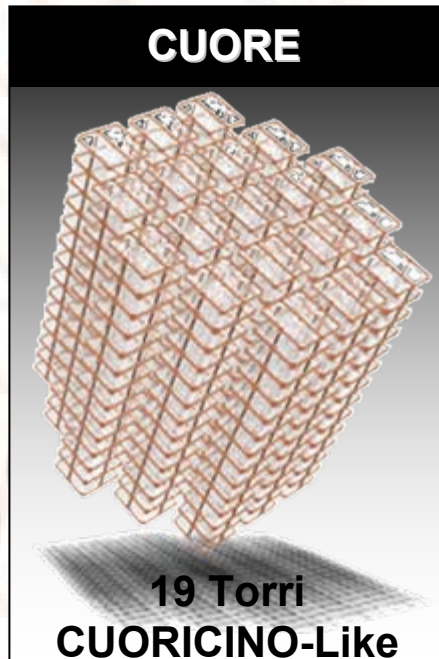
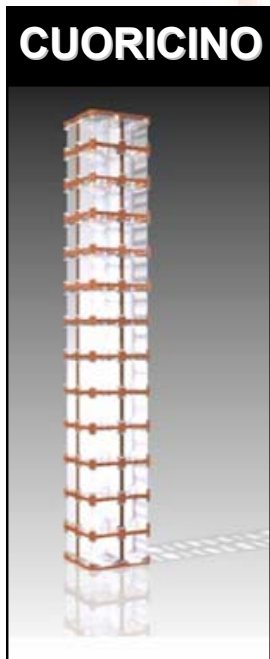
- Obiettivi →
- 1) Studio degli eventi rari (DBD 0ν , Double Beta Decay Neutrinoless)
 - 2) Studio di fattibilità ed R&D per CUORE

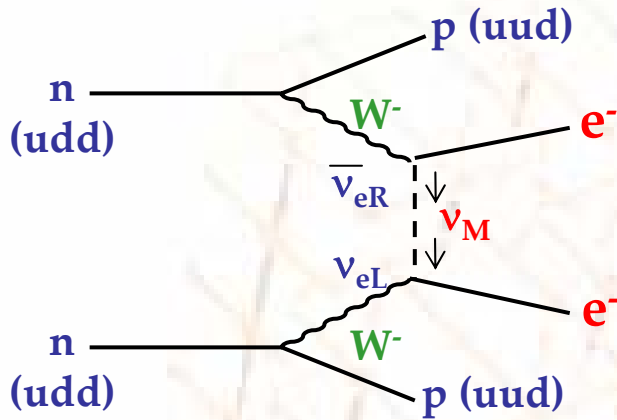
↓

utilizzando rivelatori bolometrici, basati sull'isotopo ^{130}Te , installati presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso



LNGS \cong 3500 m.w.e





Evento raro, osservabile in alcuni nuclei pari-pari (dove il decadimento β è inibito energeticamente)

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

Se osservato si ha:

- ✓ violazione della conservazione di L ($\Delta L = 2$)
- ✓ neutrino massivo ($m_\nu \neq 0$)
- ✓ neutrino di Majorana ($\nu = \bar{\nu}$)

Vita media per il $\beta\beta 0\nu$ è inversamente proporzionale alla massa efficace $\langle m_{ee} \rangle$

$$(T_{1/2}^{0\nu})^{-1} = G^{0\nu} |M^{0\nu}|^2 \langle m_{ee} \rangle$$

Massa efficace del neutrino

Fattore spazio delle fasi

Elemento di matrice nucleare

$G^{0\nu} \propto Q_{\beta\beta}^5$
 $G^{0\nu}$: calcolabile con precisione
 $M^{0\nu}$: dipende dal modello nucleare
 $\langle m_{ee} \rangle$: incognita
 Può dare informazione sulla gerarchia degli auto stati di massa

Massa efficace: somma pesata delle masse degli autostati ν_1, ν_2, ν_3

$$\langle m_{ee} \rangle = \sum_{k=1}^3 e^{i\alpha_k} m_k |U_{ek}|^2$$

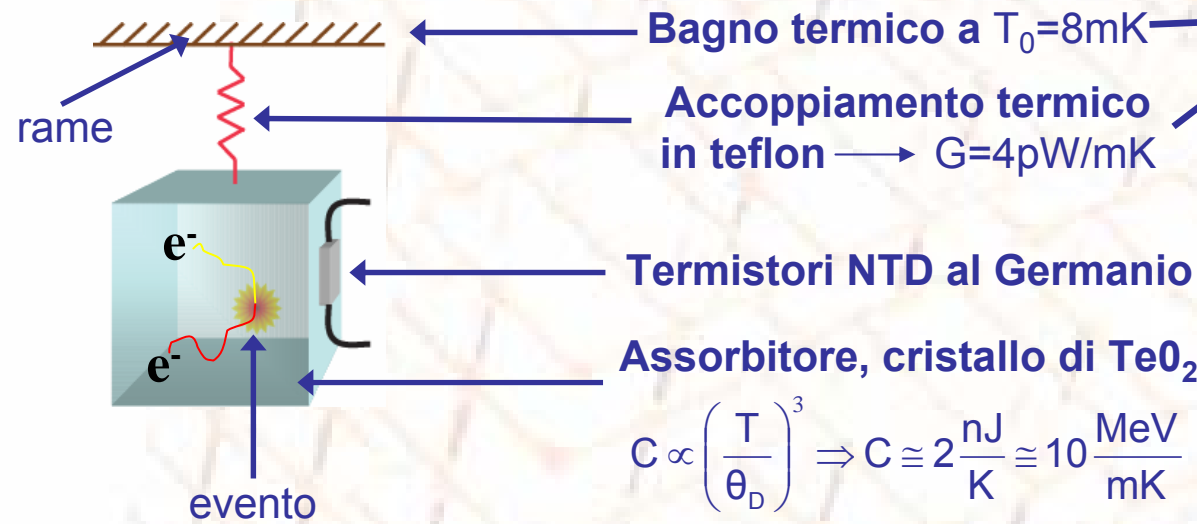
fase CP intrinseca

Matrice PMNS (mixing)

Rivelando i due elettroni emessi è possibile stimare il tempo di dimezzamento. Da qui, noto il fattore spazio delle fasi e scelta una matrice nucleare, si fornisce un limite alla massa efficace del neutrino

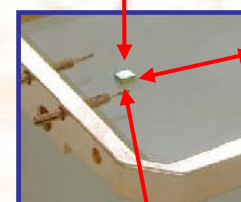
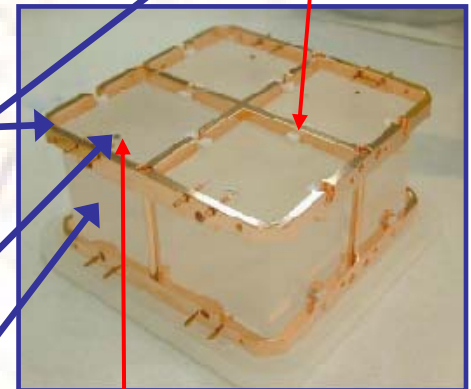
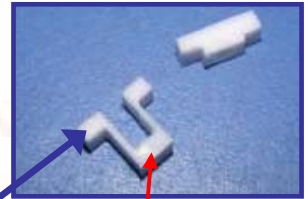
Un bolometro è un cristallo che a basse temperature presenta una piccola capacità termica, così che un piccolo deposito di energia può creare una differenza di temperatura apprezzabile.

- cristalli diamagnetici e dielettrici → basse $T \Rightarrow C \propto T^3$
- sorgente = rivelatore → efficienza di rivelazione massima



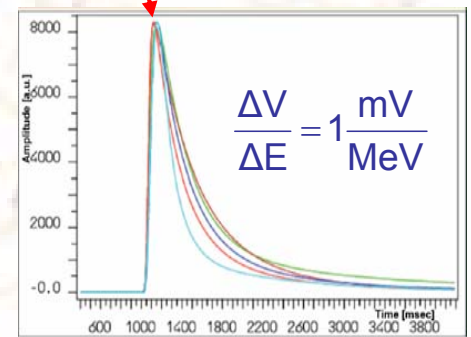
$$C \propto \left(\frac{T}{\theta_D}\right)^3 \Rightarrow C \cong 2 \frac{\text{nJ}}{\text{K}} \cong 10 \frac{\text{MeV}}{\text{mK}}$$

- Per $E=1\text{MeV} \rightarrow \Delta T = \frac{E}{C} \propto \frac{1}{T^3} \cong 0.1\text{mK}$
- Costante di tempo → $\tau = \frac{C}{E} \cong 0.5\text{s}$
- Risoluzione → $\Delta E = (5 \div 10)\text{KeV} @ 2.5\text{MeV}$



$$R(T) = R_0 \exp\sqrt{\frac{T_0}{T}}$$

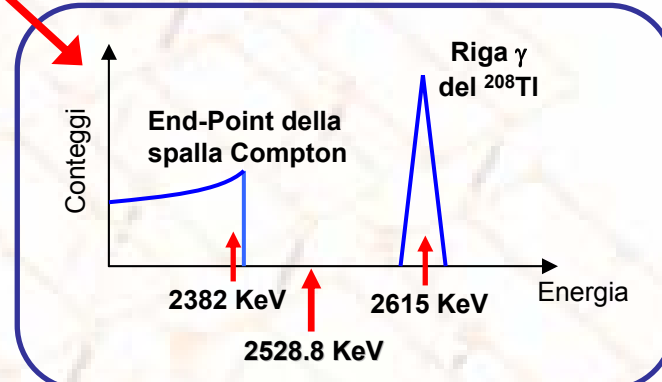
$$\frac{dR}{dT} = 100 \frac{\text{K}\Omega}{\mu\text{K}}$$



Perché il ^{130}Te ?

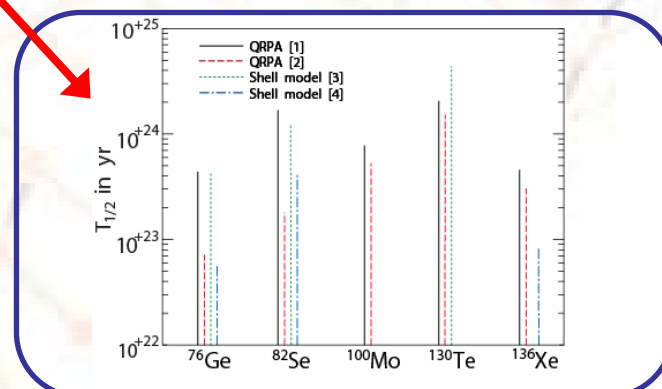
- ✓ Elevata abbondanza isotopica (I.A= 33.87%)
- ✓ Alta energia di transizione:
 $Q_{\beta\beta}=(2530.30 \pm 1.99)\text{KeV}$ equivalente, nello spettro, ad una zona di basso fondo.
- ✓ Incoraggianti predizioni teoriche dalla matrici nucleari
 per $\langle m_{ee} \rangle \cong 0.1\text{eV} \Rightarrow T_{1/2}^{\beta\beta 0\nu} \cong 10^{25}\text{years}$

| Decay | Q(keV) | Ab.(%) |
|---|----------------|--------|
| $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Ti}$ | 4271 ± 4 | 0.187 |
| $^{76}\text{Ge} \rightarrow ^{76}\text{Se}$ | $2040 \pm .9$ | 7.8 |
| $^{82}\text{Se} \rightarrow ^{82}\text{Kr}$ | 2995 ± 6 | 9 |
| $^{94}\text{Zr} \rightarrow ^{94}\text{Mo}$ | 1145 ± 2.5 | 17.4 |
| $^{96}\text{Zr} \rightarrow ^{96}\text{Mo}$ | 3350 ± 3 | 2.8 |
| $^{100}\text{Mo} \rightarrow ^{100}\text{Ru}$ | 3034 ± 6 | 9.6 |
| $^{110}\text{Pd} \rightarrow ^{110}\text{Cd}$ | 2013 ± 19 | 11.7 |
| $^{116}\text{Cd} \rightarrow ^{116}\text{Sn}$ | 2802 ± 4 | 7.5 |
| $^{124}\text{Sn} \rightarrow ^{124}\text{Te}$ | 2288 ± 1.6 | 5.8 |
| $^{130}\text{Te} \rightarrow ^{130}\text{Xe}$ | 2528 ± 1 | 33.9 |
| $^{136}\text{Xe} \rightarrow ^{136}\text{Ba}$ | 2479 ± 8 | 8.9 |
| $^{150}\text{Nd} \rightarrow ^{150}\text{Sm}$ | 3367 ± 2.2 | 5.6 |



Perché cristalli di TeO_2 ?

- ✓ Piccola capacità termica
- ✓ Buone proprietà meccaniche
- ✓ Possibilità di realizzare cristalli medio/grandi
- ✓ Buona Radio-purezza intrinseca



CUORICINO consiste in $44+18=62$ cristalli per una massa totale di 40.7Kg di TeO_2

11 Moduli da 4 cristalli ciascuno

- Dimensioni del cristallo: $5 \times 5 \times 5 \text{cm}^3$
 - Massa del cristallo: 790g
- $4 \times 11 \times 0.79 = 34.76 \text{Kg di } \text{TeO}_2$



2 Moduli da 9 cristalli ciascuno

- Dimensioni del cristallo: $3 \times 3 \times 6 \text{cm}^3$
 - Massa del cristallo: 330g
- $2 \times 9 \times 0.33 = 5.94 \text{Kg di } \text{TeO}_2$
- 2 arricchiti con ^{128}Te (82.3% i.a.)
 2 arricchiti con ^{130}Te (75.0% i.a.)



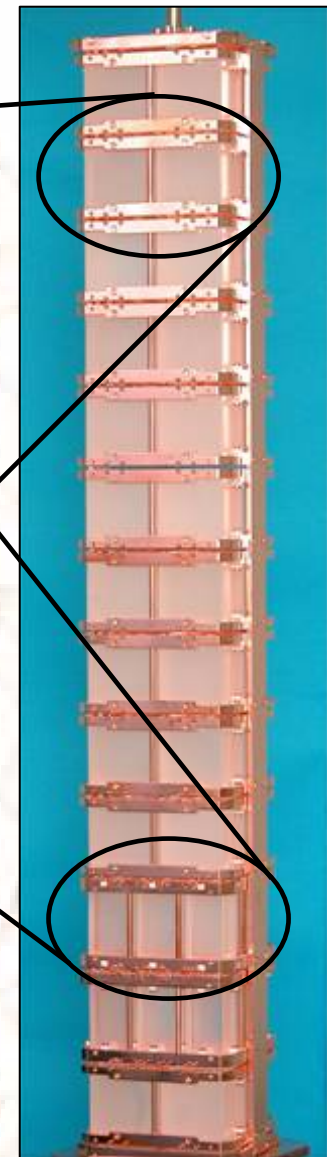
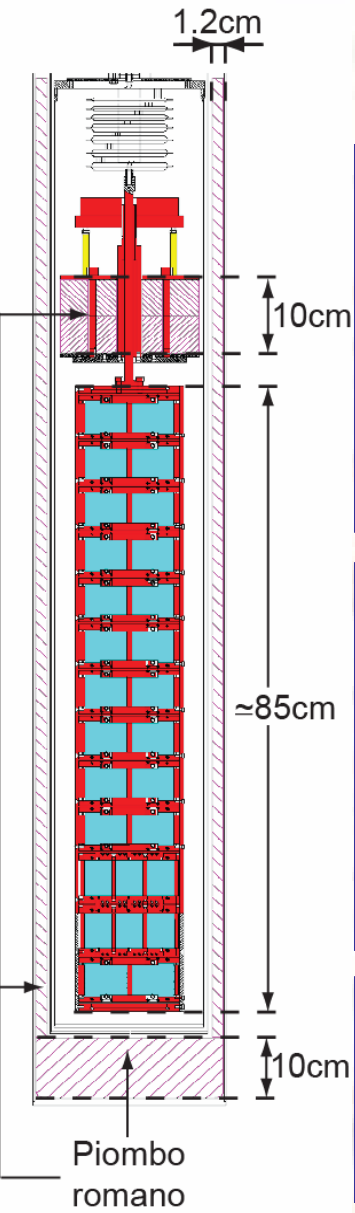
Schermature

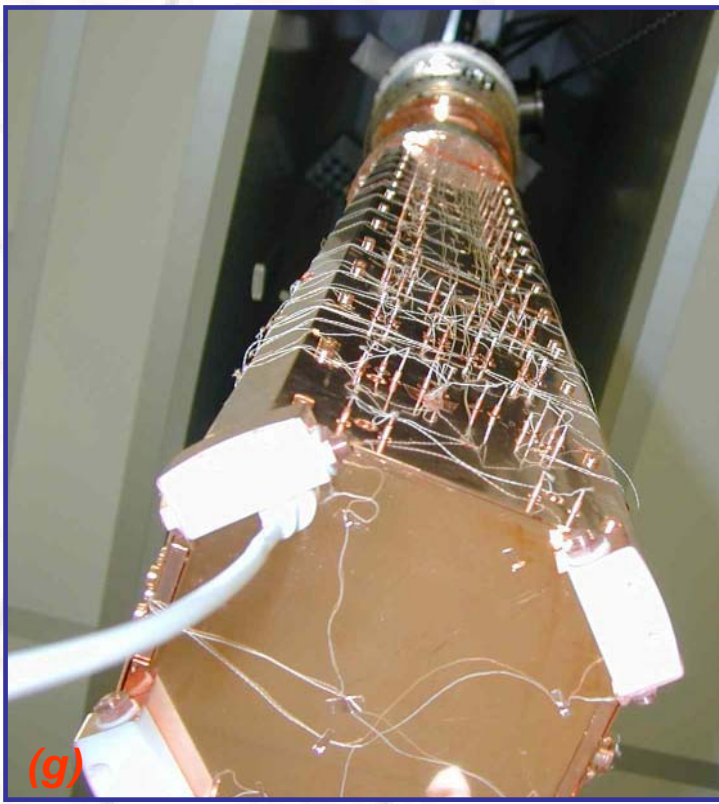
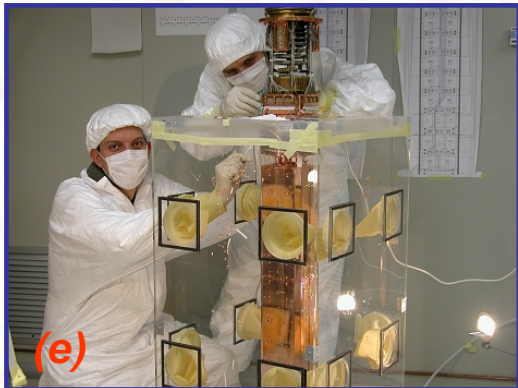
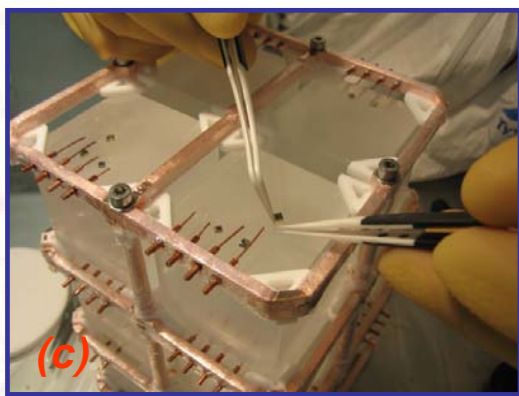
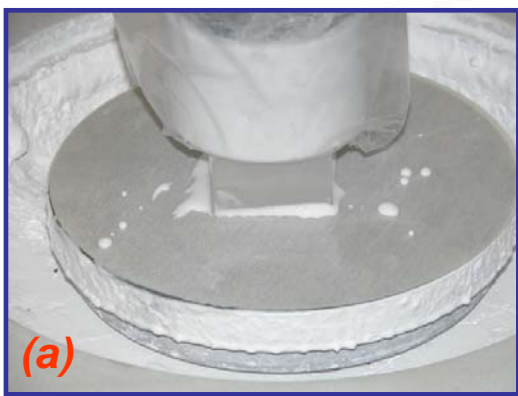
- Box di rame + Pb romano
- 20cm di Pb + 10cm di polietilene borato

40.7Kg di TeO_2

↓

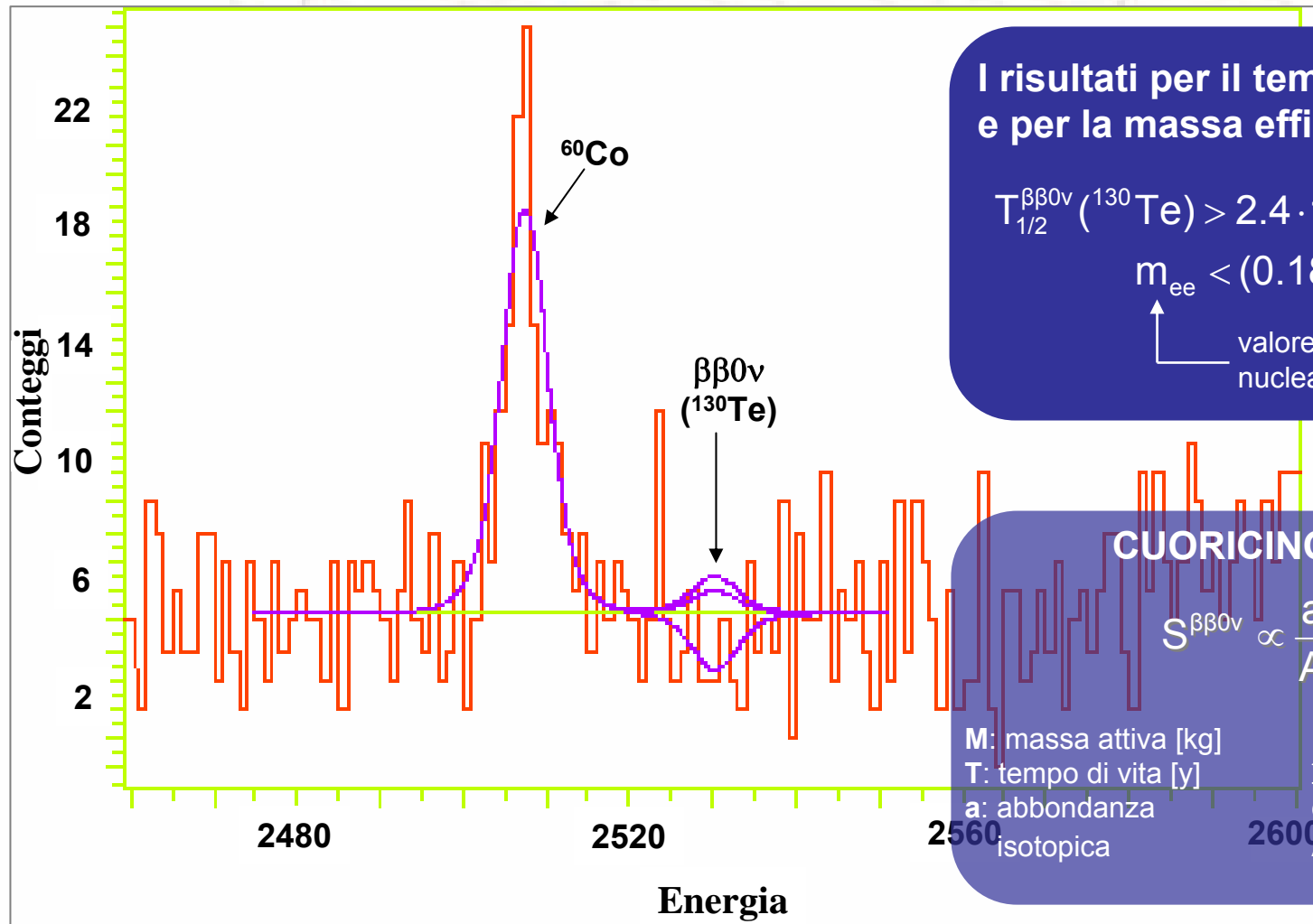
$\cong 11.3 \text{Kg di } ^{130}\text{Te}$





CUORICINO acquisisce dati dall'Aprile 2003 (statistica pari ad un anno di presa dati con una massa equivalente di 8.34Kg di ^{130}Te)

Il fondo nella regione del $\beta\beta_{0\nu}$ è stato ridotto a $B = (0.18 \pm 0.01) \text{ cnts/KeV/Kg/y}$



I risultati per il tempo di dimezzamento e per la massa efficace sono:

$$T_{1/2}^{\beta\beta_{0\nu}} (^{130}\text{Te}) > 2.4 \cdot 10^{24} \text{ years @ 90 C.L}$$

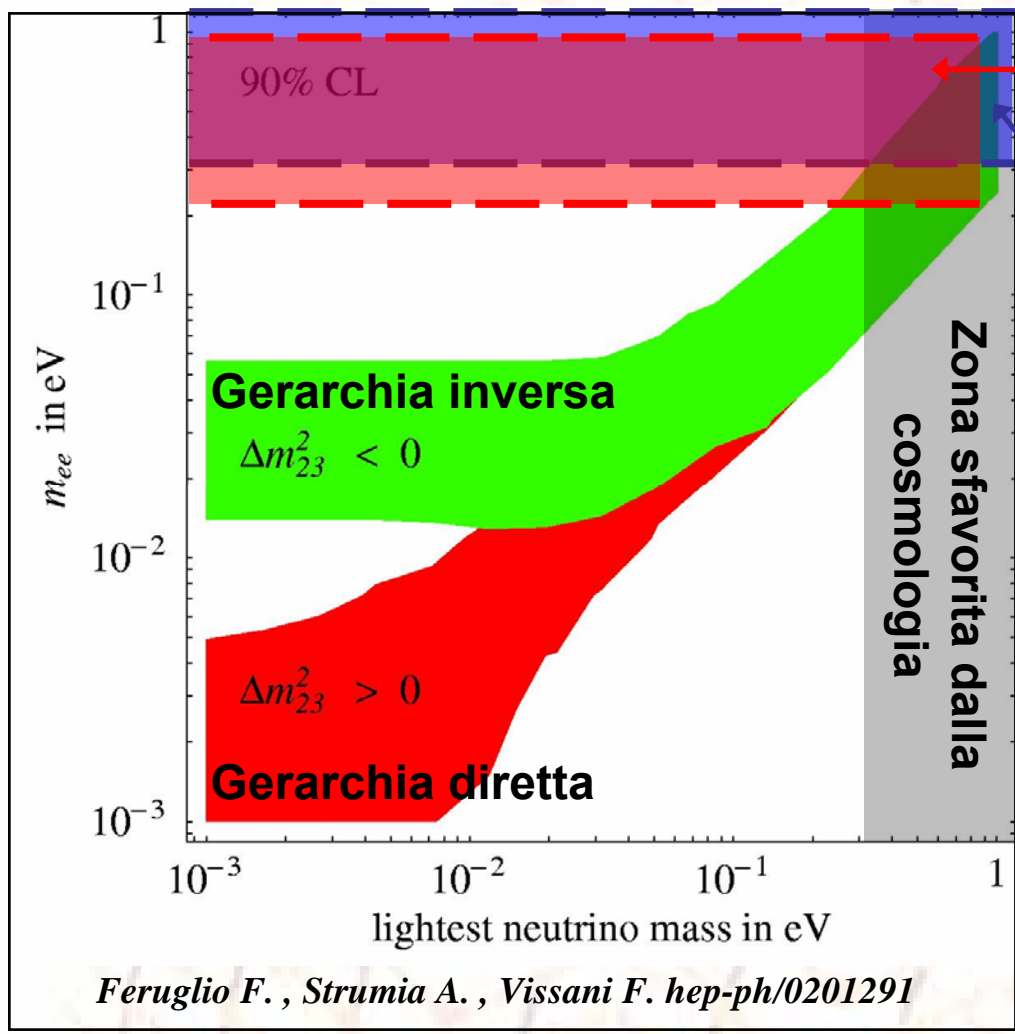
$$m_{ee} < (0.18 \div 0.97) \text{ eV}$$

↑
valore dipende dalla matrice nucleare utilizzata

CUORICINO Sensitivity

$$S^{\beta\beta_{0\nu}} \propto \frac{a}{A} \sqrt{\frac{M \cdot T}{B \cdot \Gamma}} \cdot \epsilon$$

M: massa attiva [kg]
T: tempo di vita [y]
a: abbondanza isotopica
B: background [c/keV/kg/y]
Γ: risoluzione energetica [KeV]
ε: efficienza
A: massa atomica

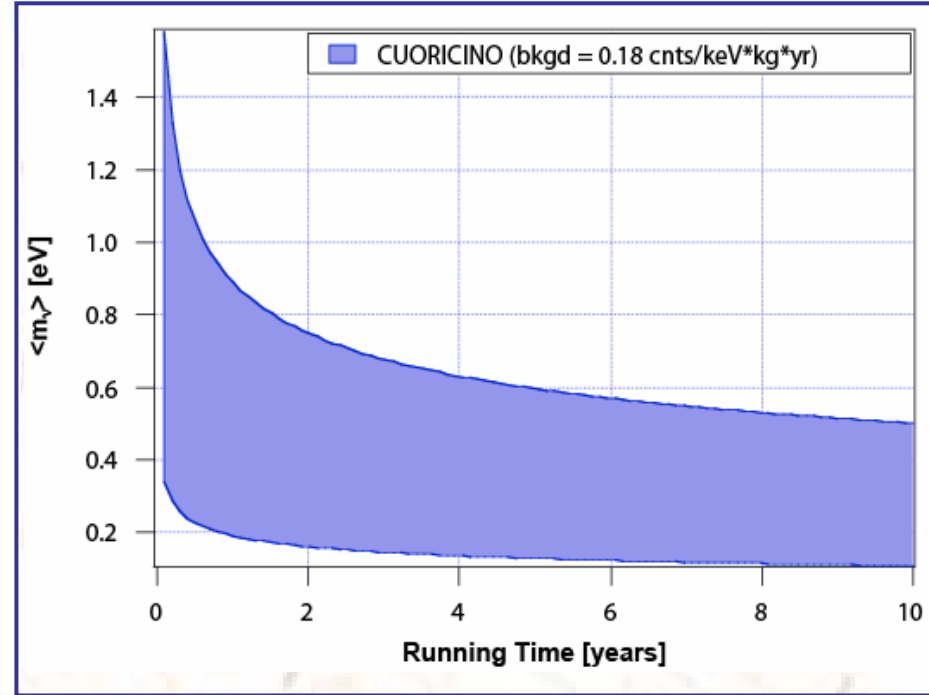
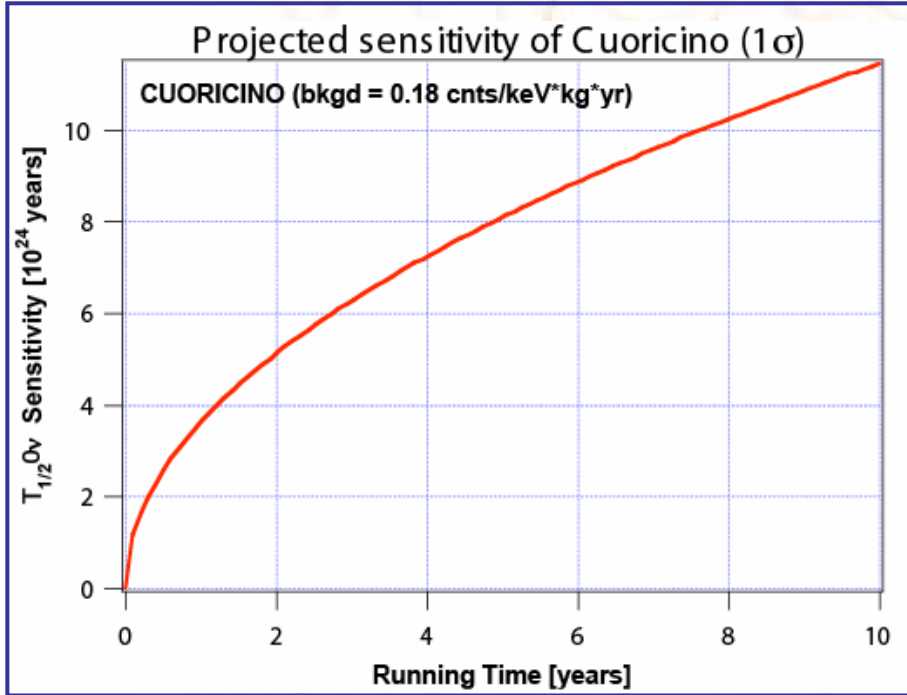


Possibile evidenza per il $\beta\beta 0\nu$
(miglior valore 0.39 eV)
Klapdor-Kleingrothaus HV et al. hep-ph/0201231 (2002).

Regione attualmente indagata da CUORICINO
Arnaboldi et al., submitted to PRL, hep-ex/0501034 (2005).

Con gli stessi elementi di matrice il limite di CUORICINO vale 0.53eV

Aumentando il tempo di presa dati è possibile iniziare ad indagare la zona di gerarchia inversa



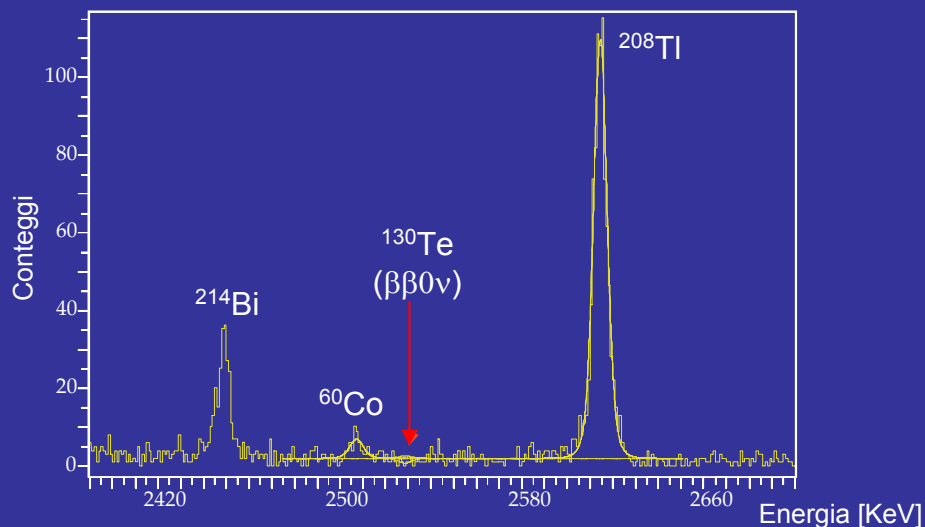
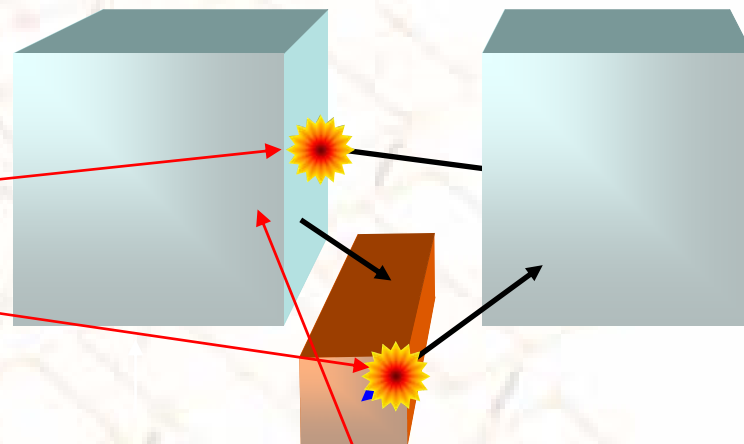
$$S^{\beta\beta 0\nu} = \frac{a}{A} \sqrt{\frac{M \cdot T}{B \cdot \Gamma}} \cdot \epsilon \longrightarrow \text{aumentando il running time} \longrightarrow T \cong 3y \Rightarrow \begin{cases} T_{1/2}^{\beta\beta 0\nu} \geq 7 \cdot 10^{24} y \\ m_{ee} < (0.1 \div 0.6) eV \end{cases}$$

Fondo raggiunto, nella zona del $\beta\beta_{0\nu}$
(dopo un anno equivalente di statistica)

→ $B = (0.18 \pm 0.01) \text{cnts/KeV/Kg/y}$

Cause:

1. MultiCompton del ^{208}Tl dovuto alla catena del ^{232}Th che contamina gli schermi (di rame) interni al criostato
2. α degradate prodotte da ^{238}U e ^{232}Th che contaminano la superficie dei cristalli
3. α degradate prodotte da ^{238}U e ^{232}Th che contaminano la struttura di montaggio (il principale candidato è il rame)
4. Neutroni?



Il ^{60}Co dovuto ad attivazioni cosmogeniche nei cristalli e nel rame non da un contributo significativo.

Fondo stimato per CUORE

$B = (0.01 \div 0.001) \text{cnts/KeV/Kg/y}$

1. CUORICINO è al momento il più sensibile esperimento funzione per lo studio del $\beta\beta 0\nu$ e in grado di confermare “l’evidenza” mostrata dall’esperimento KK-HM (*hep-ph/0201231*)
2. CUORICINO ha dimostrato la fattibilità di rivelatori bolometrici su larga scala (CUORE) con una buona risoluzione energetica ed un basso fondo.
3. Recenti risultati sull’analisi del fondo, unitamente al futuro aumento del *running time*, confermano la capacità di esplorare la regione relativa alla gerarchia inversa per gli stati di massa (presentazione di L.Gironi).

