



Simposio X Nando

Neutrini senza acceleratori

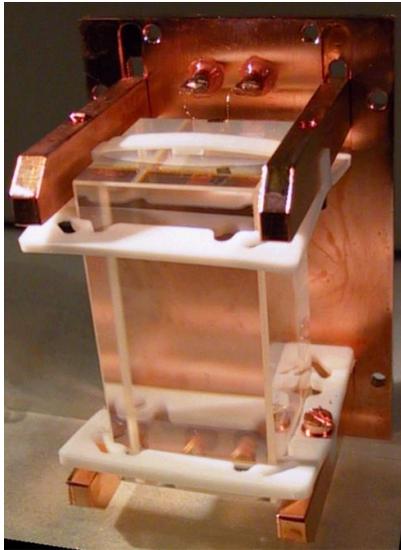
Ezio Previtali

Antefatto (1)

Dalla fine degli anni '80 a Milano si sviluppano i rivelatori criogenici di particelle

Le due linee principali di ricerca sono legate allo studio della fisica del neutrino:

- doppio decadimento beta senza neutrini
- misura diretta della massa del neutrino dallo spettro beta

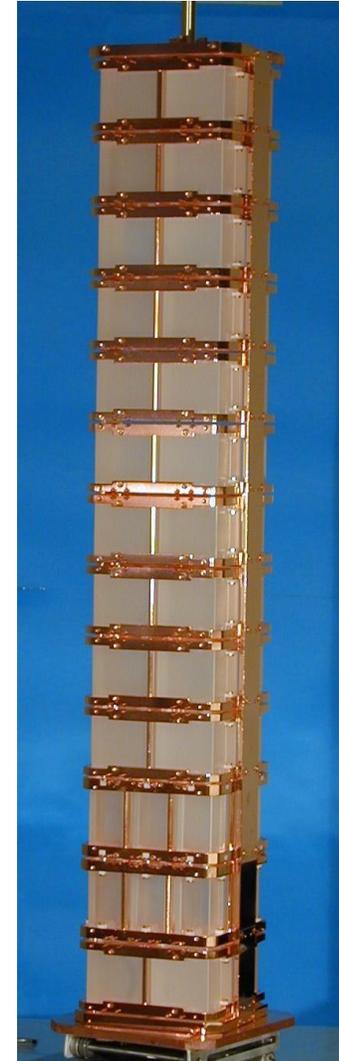


1991

Primo esperimento di fisica con
Rivelatori Criogenici di Particelle
DBD ^{130}Te , 34g TeO_2



2003
CUORICINO
DBD ^{130}Te , 40 kg TeO_2



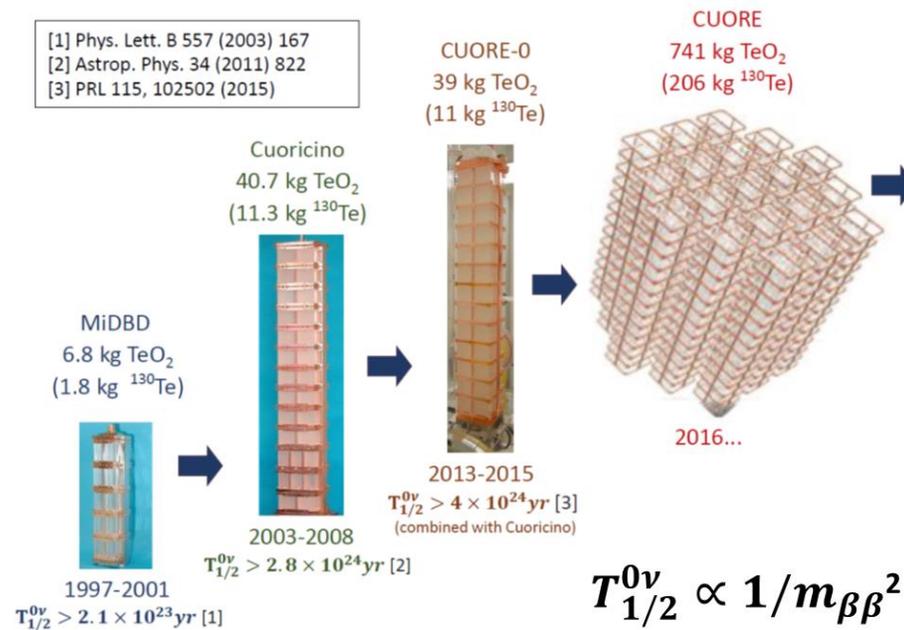
Antefatto (2)



La nascita del progetto CUORE (1998)

La proposta dell'esperimento CUORE parte da un accordo tra Ettore e Frank
In realtà l'idea di un "grande" bolometro per lo studio del DDB era nato prima durante in un incontro tra Ettore e Angel Morales

CUORE prende spunto dal lungo percorso del gruppo MiBeta



Arrivano i “Romani”

Per un progetto delle dimensioni di CUORE il solo gruppo MiBeta non era ovviamente sufficiente:

Oltre agli americani servivano altri gruppi Italiani

Tra i gruppi Italiani che entrano a far parte del progetto:

- *Laboratori di Legnaro (Enzo Palmieri et al.)*
- *INFN Genova (Marco Pallavicini et al.)*
- *INFN Firenze (Guglielmo Ventura et al.)*
- *Politecnico di Milano (Giulio Maier et al.)*

Un giorno Ettore convoca una riunione e comunica:

«Ho parlato con il Prof. Ferroni e anche il gruppo di Roma entra nella collaborazione CUORE»

Era la prima volta che sentivo parlare di Nando

....inizia così l'avventura di Nando nella fisica del neutrino lontano dagli acceleratori.....



Ruolo nella collaborazione CUORE

Inizialmente non era chiarissimo il ruolo del gruppo di Roma in CUORE

- Nando e il suo gruppo venivano da una fisica completamente diversa
- A Roma c'era una competenza criogenica ma non bolometrica
- Alcuni ruoli erano già *coperti* da altri gruppi

Alla domanda come inquadrare Roma in CUORE

Ettore rispose molto nettamente:

«Nando è un ottimo scienziato e conosce bene la fisica, sicuramente darà un importante contributo a CUORE»

..non mi è chiaro da cosa nascesse questa convinzione

....ma ne è rimasto sempre convinto.....



Nando si mette in evidenza



Le partecipazioni di Nando ai meeting di CUORE sono sempre state particolarmente *effervescenti*

Evidenziando una visione spesso trasversale ed importante nello sviluppo del progetto.

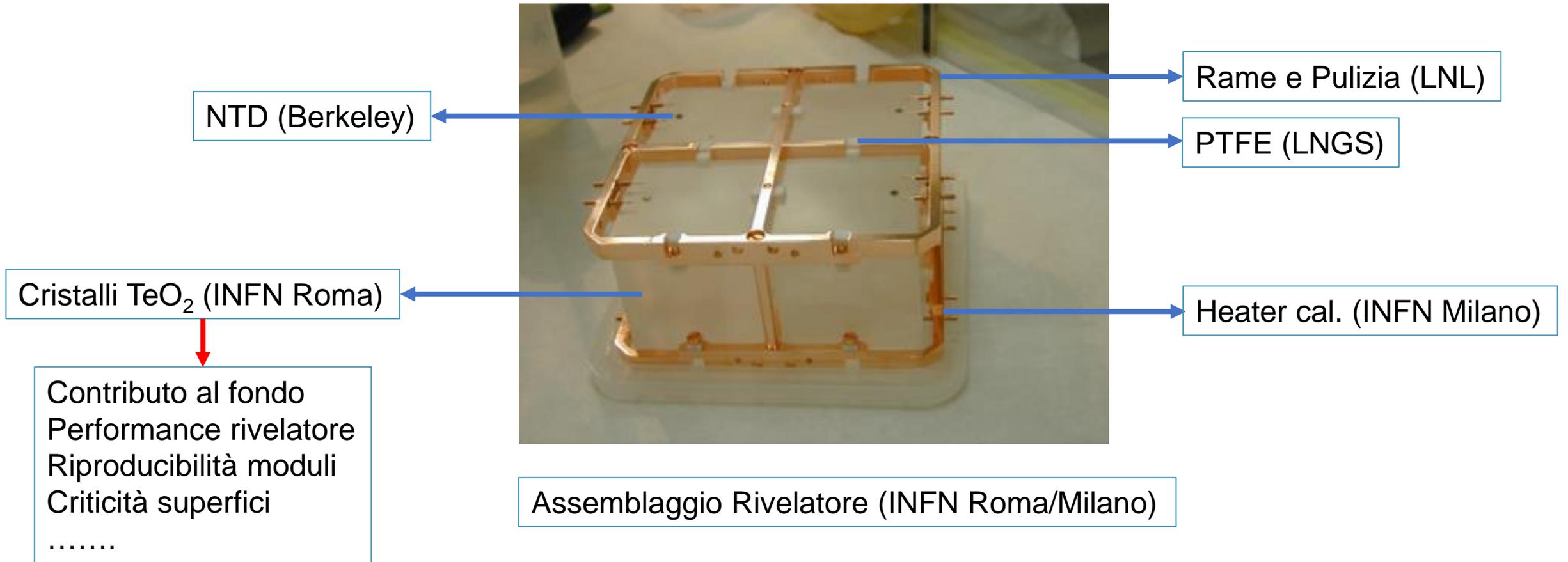


Le esternazioni non sempre erano *adeguatamente misurate*

In particolare le sue reprimende verso il TC di CUORE (Oliviero):
I due hanno avuto spesso un rapporto complicato.....



Realizzazione del rivelatore



Produzione cristalli Shanghai

La produzione dei cristalli di CUORE venne fatta dalla SICCAS a Shanghai
Quindi si va in Cina.....

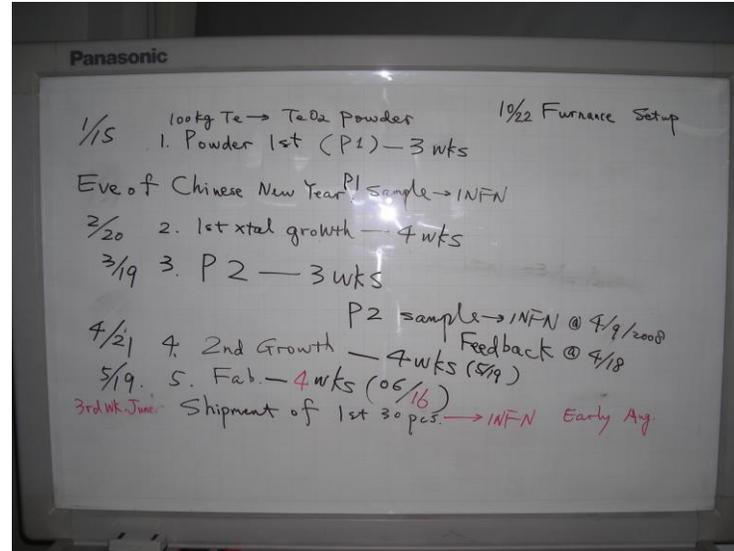


La strategia prevedeva metà cristalli INFN e metà il DoE

La delegazione Italiana guidata da Nando passa diversi giorni a Shanghai

Nando mostra di gradire la Cina e il cibo Cinese..... con qualche incidente

Trattativa con SICCAS

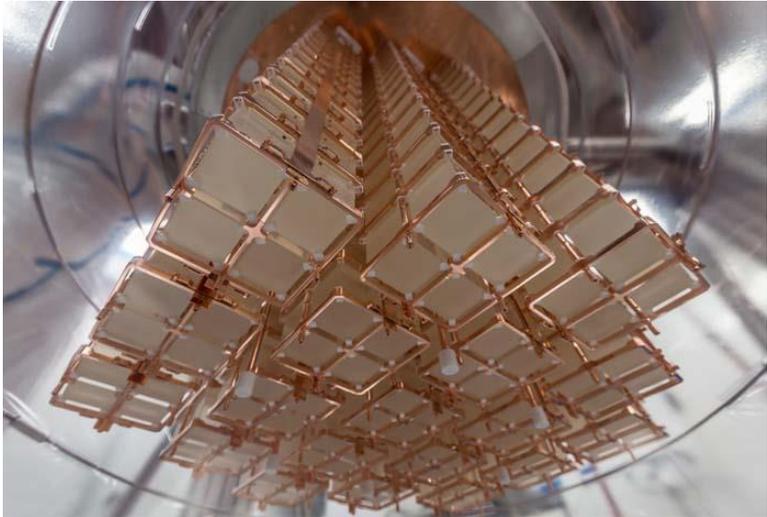


Trattativa lunga e anche piuttosto complessa.... visto che diversi cinesi parlavano solo cinese.....

La delegazione americana risultava non pervenuta.....alla fine ci hanno ringraziato.....

Alla firma è seguita una abbondante cena fortemente alcolica ... (con grappa cinesesing!)

CUORE Inizia a battere



Una battaglia persa.....

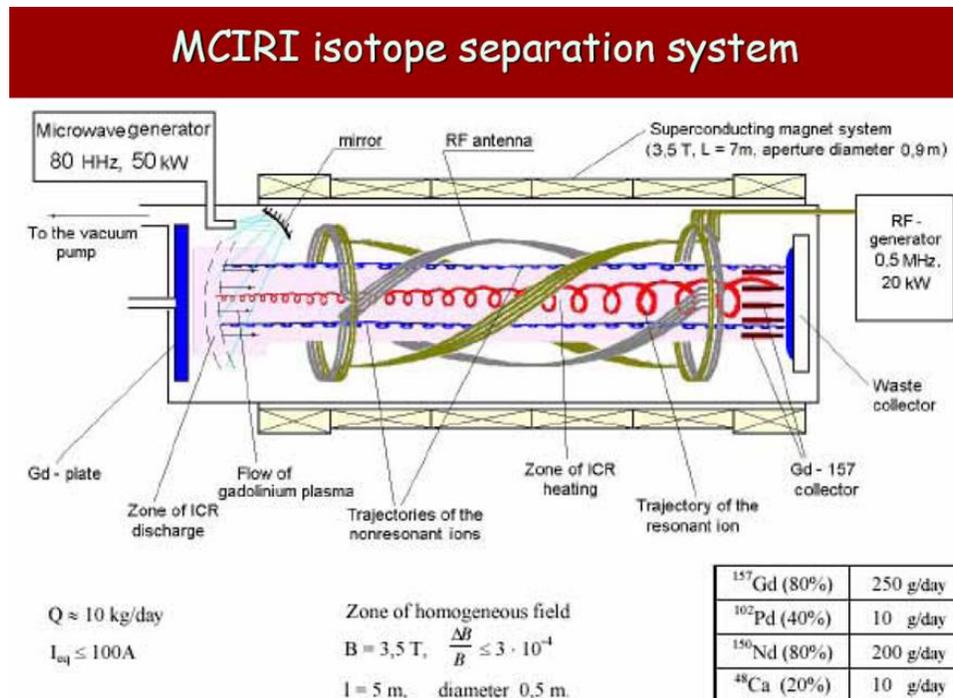
Durante la costruzione di CUORE emerge un chiaro problema riguardo la produzione di isotopi arricchiti

Con Nando abbiamo proposto a livello Europeo la creazione di un centro per isotopi stabili

In una prima fase si dichiarano disponibili, in ambito DDB i gruppi di:

Francia, Germania, Inghilterra e Italia

L'idea era quella di costruire una macchina per separazione isotopica *elettromagnetica*



.....perchè siamo rimasti soli.....

Poco prima della riunione per presentare un DS alla Comunità Europea:

- *I tedeschi ci informano che stanno sottoscrivendo un accordo con i Russi*
- *I francesi intendono modificare un impianto militare per produrre isotopi stabili*
- *I colleghi nucleari dichiarano che la produzione sarebbe anche troppa per loro*

In conclusione senza un appoggio chiaro da parte di tutti il progetto non viene finanziato

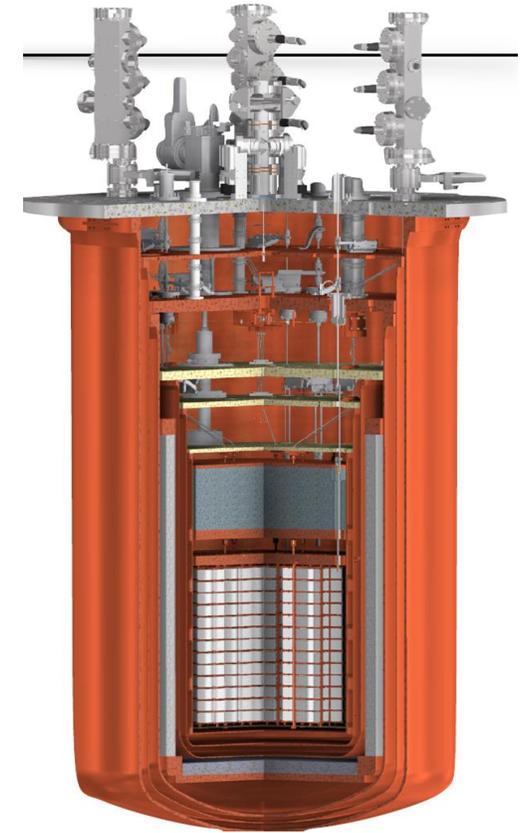
La storia di oggi è nota: è molto difficile e costoso trovare ora isotopi stabili per qualunque applicazione

Nando si era mosso a diversi livelli per promuovere questa linea di sviluppo ma senza successo

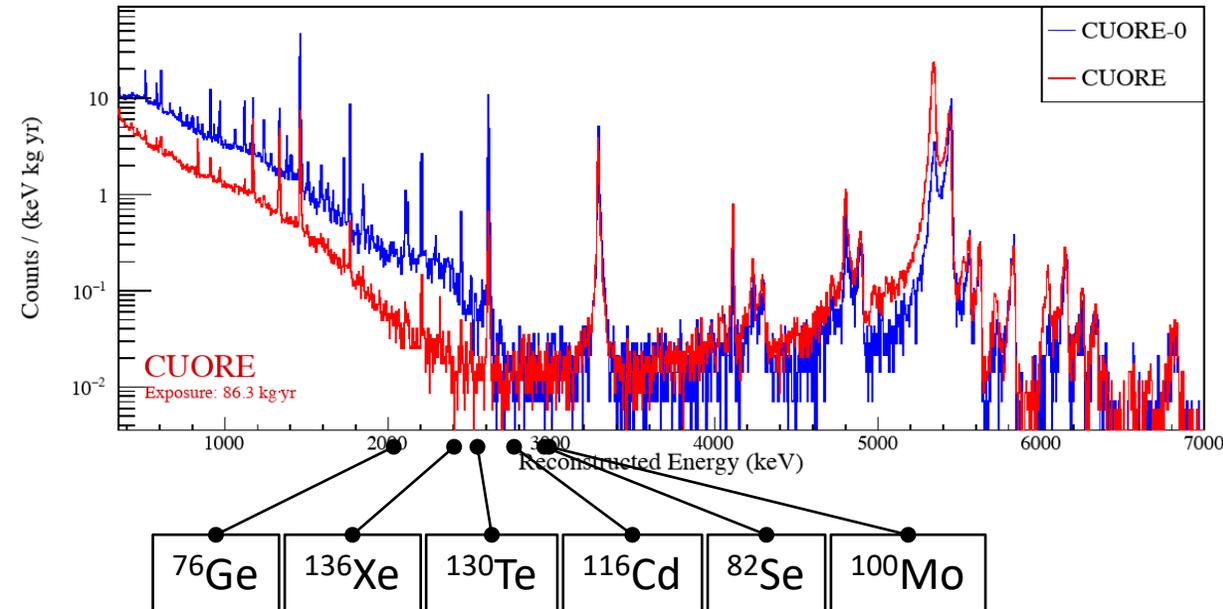
Ovviamente ora, con il senno di poi, qualcuno ammette che *avevamo ragione.....*

Problemi di.... CUORE

- Il criostato di CUORE è il refrigeratore a diluizione più potente mai realizzato
- Tonnellate di materiale possono essere raffreddate a temperature criogeniche
- Il rivelatore criogenico realizzato è risultato robusto e affidabile
- Sono stati raggiunti livelli di fondo mai ottenuti prima



← β/γ region → ← α region →



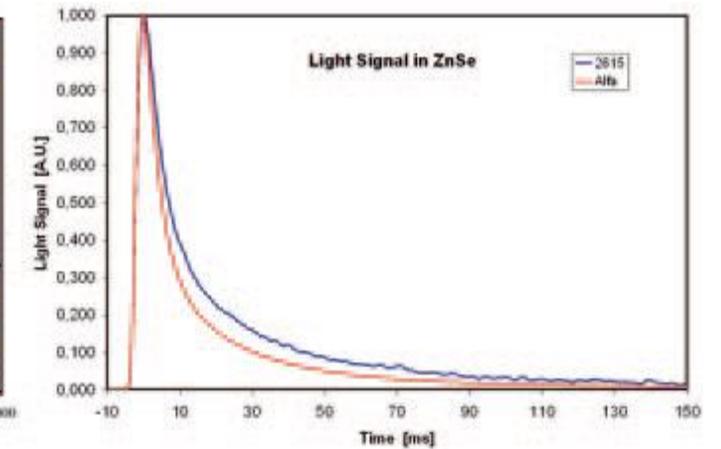
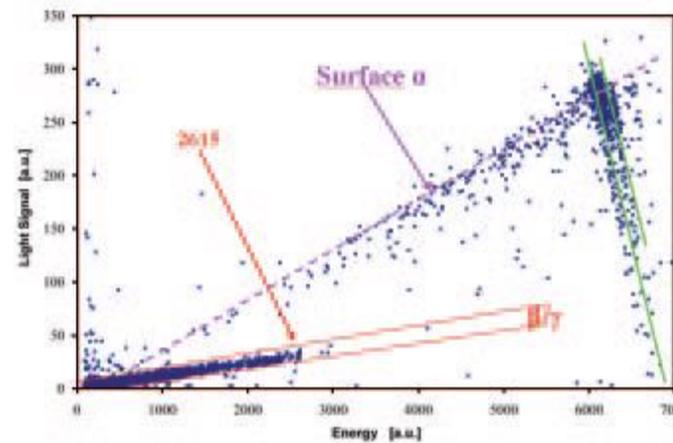
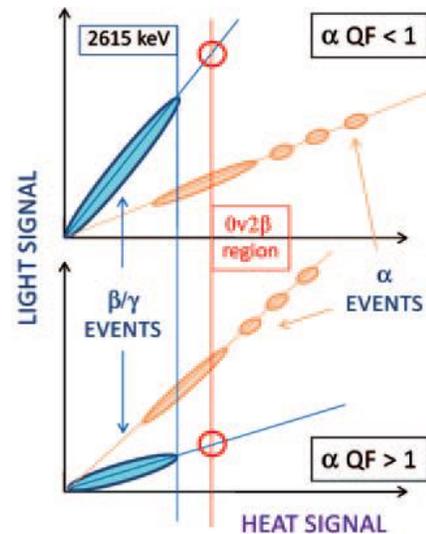
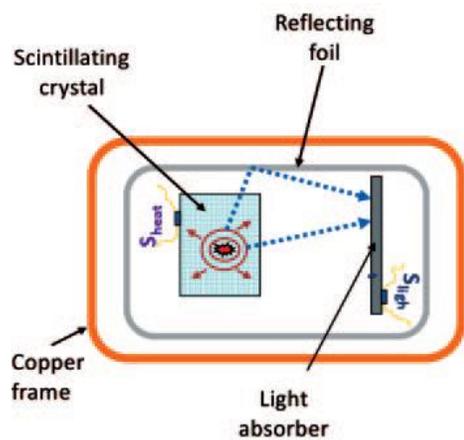
- La radioattività alfa rimane il problema principale
- La risoluzione energetica può essere ottimizzata
- Il fondo della radioattività gamma rimane importante
- E' difficile immaginare un miglioramento del fondo

Nando e i bolometri scintillanti

Durante la costruzione di CUORE emerge che il fondo alfa rimane un problema

Specie il fondo dalle superfici sembra difficilmente eliminabile

Nando si fa promotore di sviluppare un esperimento basato sui bolometri scintillanti



Proposta LUCIFER

Low-background **U**nderground **C**ryogenic Installation **F**or **E**lusive **R**ates

Nando ottiene un ERC Advanced Grant per lo sviluppo di un prototipo di esperimento

L'idea era di sviluppare bolometri scintillanti basati su elementi doppio beta attivi

Essendoci CUORE in costruzione questo nuovo progetto crea qualche tensione.....

Alla domanda come si gestirà LUCIFER senza danneggiare CUORE Nando risponde:

«Solo le cinque persone citate esplicitamente nel progetto contribuiranno a LUCIFER»

..... le cinque persone????

Dunque ho fatto velocemente un conto:

Nando

Andrea

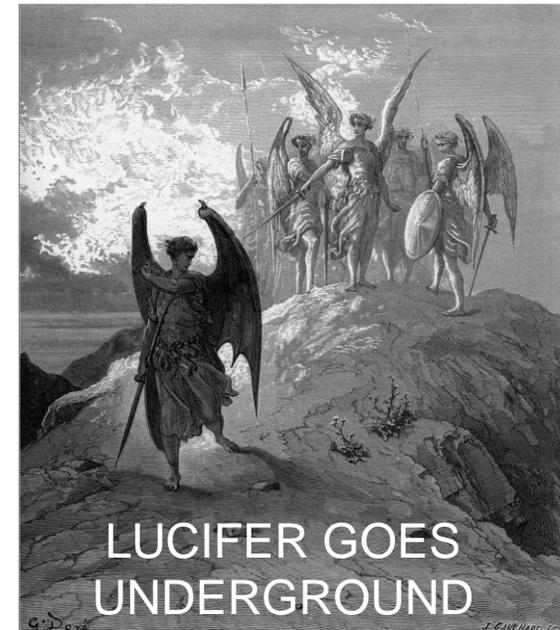
Stefano

Ioan

?????



Scopro in quel momento di essere parte del progetto



Produzione cristalli ZnSe

Per produrre i cristalli di Lucifer si va in Ucraina

Anche qui le cene sono a base di vodka.....

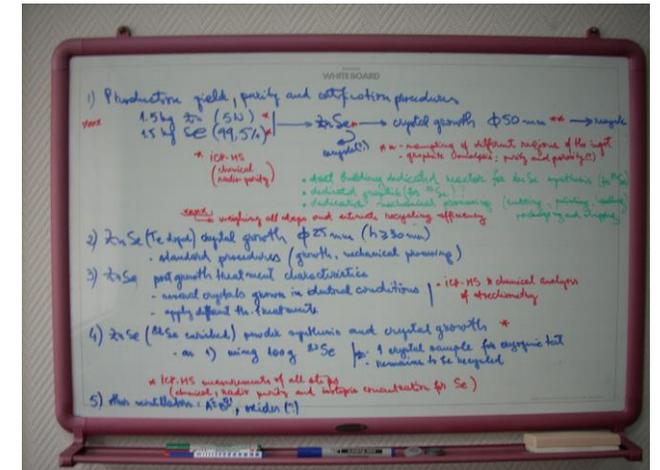
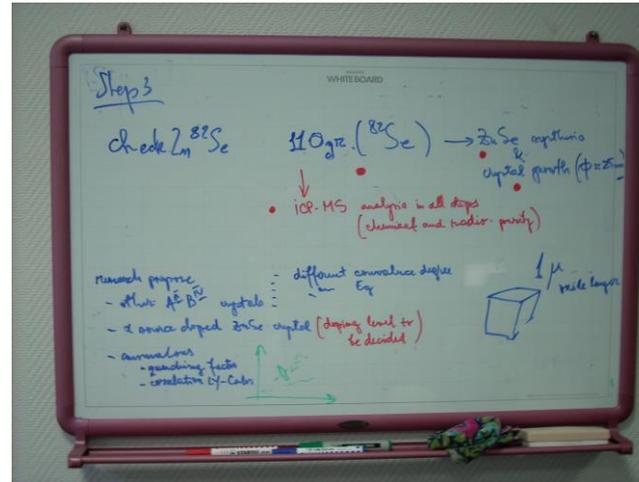
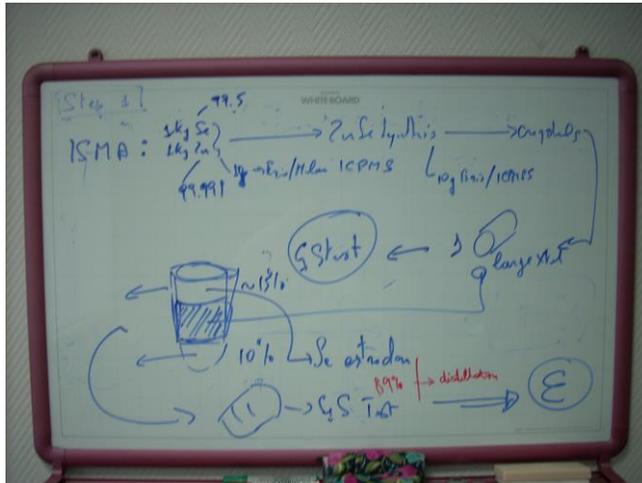
..... Forse l'alcool è un componente chiave per fare i cristalli

ISMA Kharkiv risulta l'unico produttore di cristalli di SeZn

..... E' difficile pensare che ora c'è la guerra



Trattativa a ISMA



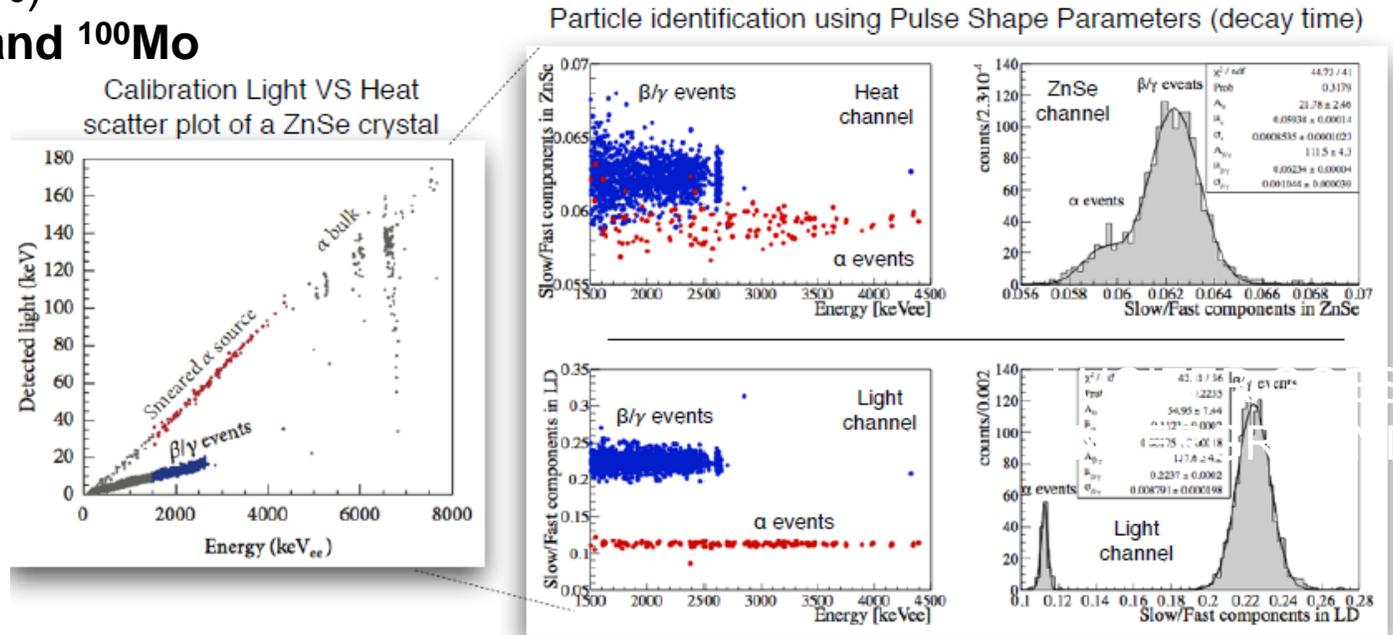
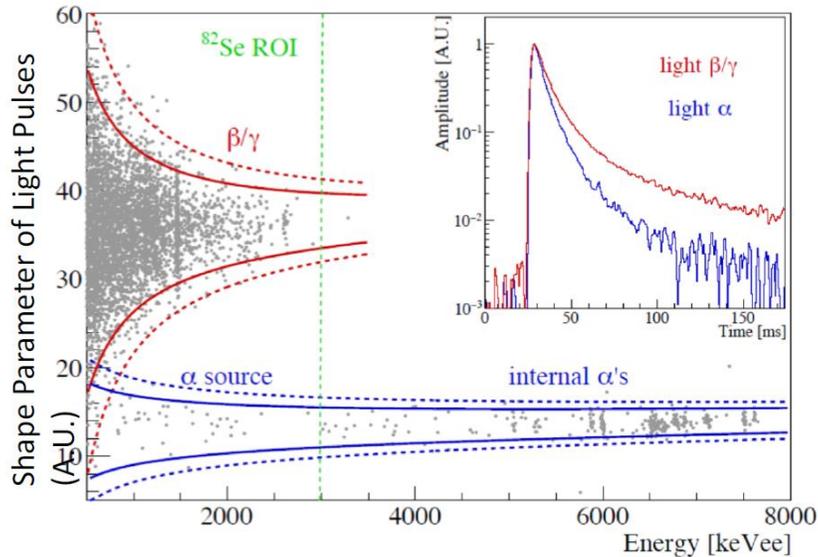
La trattativa anche con gli Ucraini risulta abbastanza estenuante
 Alla fine si riesce a chiudere il contratto per la produzione ZnSe

..... Ma prima della partenza abbiamo verificato la regola che dice....
Il soldato dona il sangue alla patria mentre il diplomatico il fegato.....



I cristalli di ZnSe funzionano abbastanza bene

- Scintillating crystals and light detectors operated @ 10 mK
- Grown from **various $\beta\beta$ emitters** (multi-isotope approach)
- **Excellent energy resolution @ $Q_{\beta\beta}$ (<1%)**
- Possibility to high $Q_{\beta\beta}$ (3 MeV) for **^{82}Se and ^{100}Mo**
- **$\text{LY}_\alpha \neq \text{LY}_{\beta/\gamma} \rightarrow$ Particle ID**
- **$\text{LShape}_\alpha \neq \text{LShape}_{\beta/\gamma} \rightarrow$ Particle ID**
- **$\text{HShape}_\alpha \neq \text{HShape}_{\beta/\gamma} \rightarrow$ Particle ID**



Discrimination potential @ ROI:

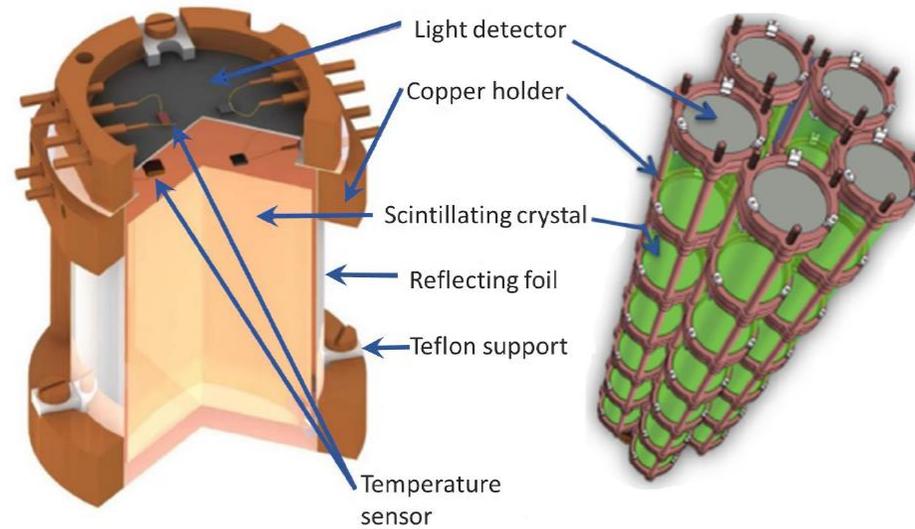
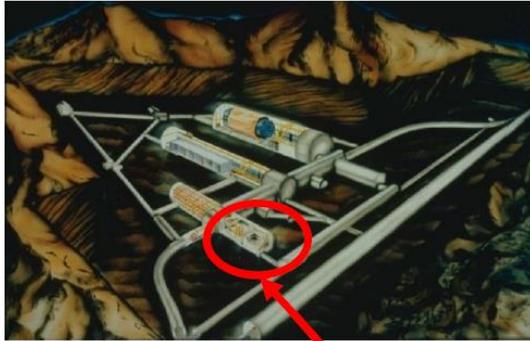
$$DP(E) = \frac{|\mu_\alpha(E) - \mu_{\beta/\gamma}(E)|}{\sqrt{\sigma_\alpha^2(E) + \sigma_{\beta/\gamma}^2(E)}}$$

Heat channel
DP@ROI = 2

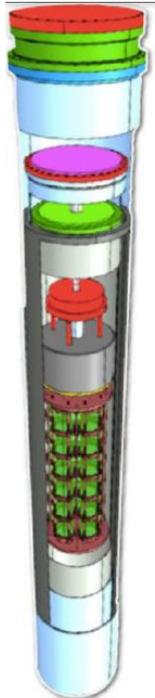
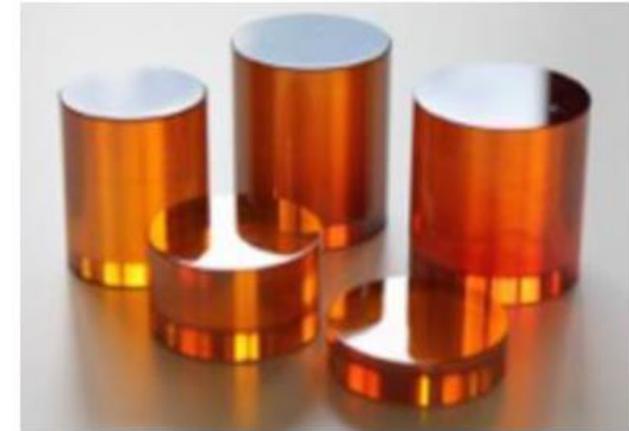
Light channel
DP@ROI = 11

**Full rejection of α events
shapeHEAT+shapeLIGHT+light**

Da LUCIFER a CUPID – CUPID-0



Zn⁸²Se grew @ ISMA (Ukraine)
Final enrichment 95% in ⁸²Se



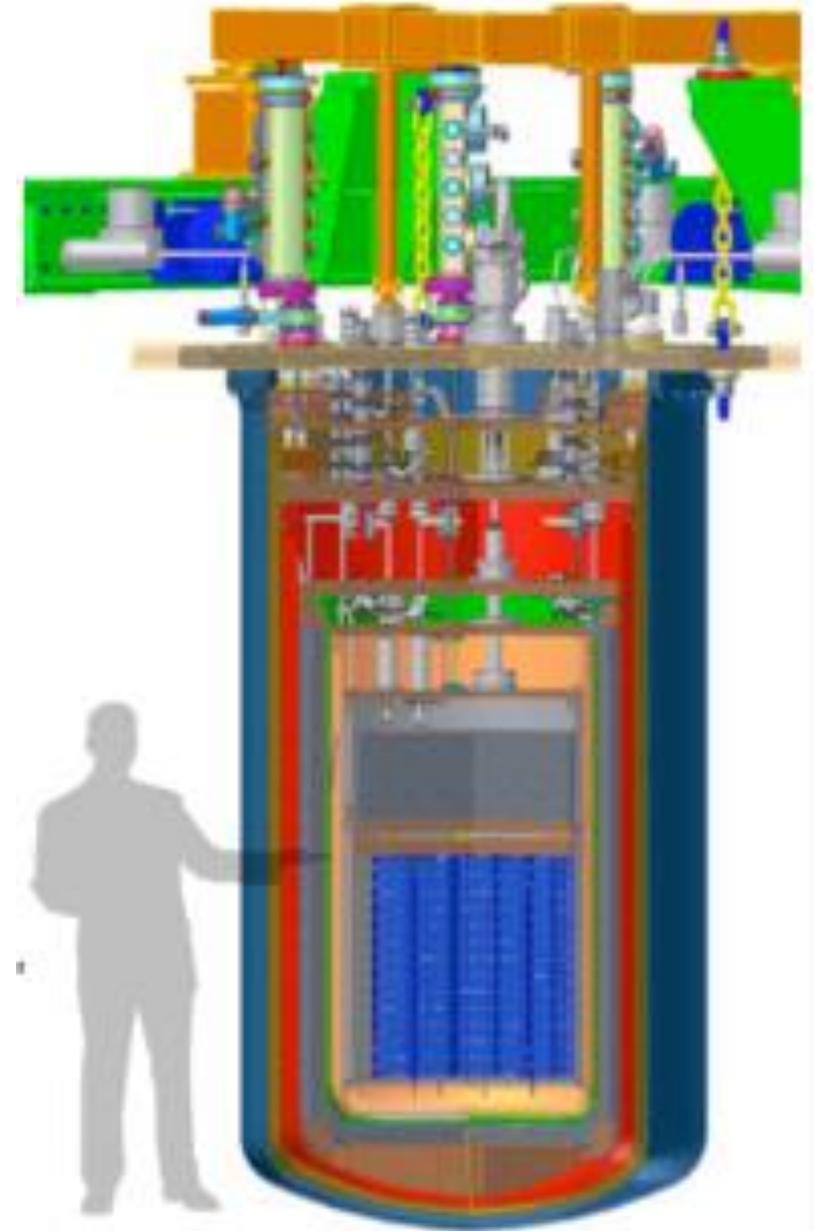
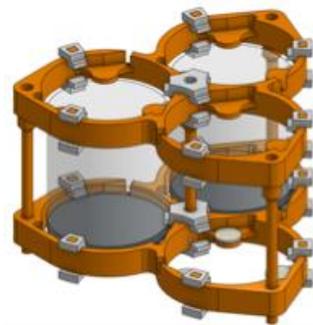
Con i cristalli prodotti per Lucifer
si realizza CUPID-0

Primo prototipo per l'esperimento
CUPID

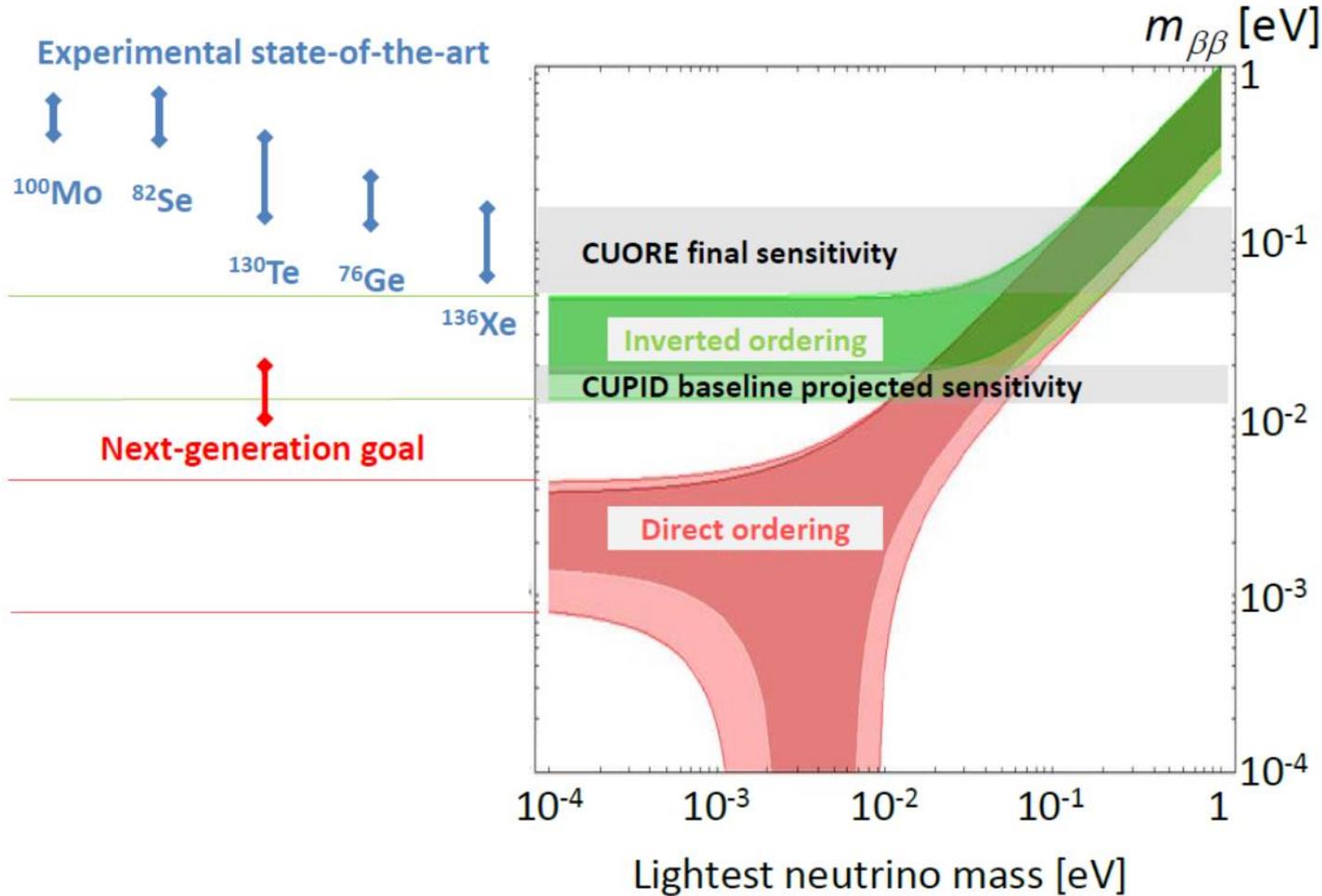
- 24 **95%-enriched Zn⁸²Se crystals** + 2 natural ones
- 31 **Ge light detectors**
- **Reflective** foil Vikuiti™ to increase the light collection
- Total Mass: **10.5 kg (ZnSe) - 5.17 kg (⁸²Se)**
- $Q_{\beta\beta} = (2997.9 \pm 0.3) \text{ keV}$
- Hosted in the **CUORE-0 Cryostat (LNGS, Italy)**

CUPID

- Re-use **CUORE cryogenic infrastructure** at LNGS
- **$\text{Li}_2^{100}\text{MoO}_4$** scintillating crystals
- ~1500 crystals for **250 kg of ^{100}Mo**
- Active background rejection using light and heat signals
- Options for **multiple isotopes**.



CUPID – next generation DBD experiment



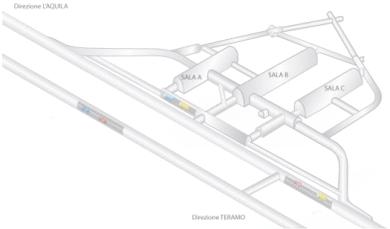
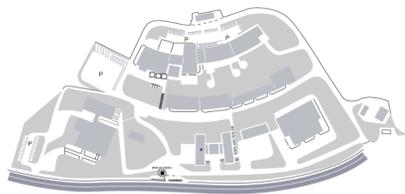
CUPID è oggi uno dei 3 grandi progetti sulla ricerca del DDB senza neutrino

Credo sia importante ricordare come LUCIFER abbia dato un importante contributo alla linea del bolometri scintillanti

.... e Nando è sicuramente stato uno dei grandi attori che hanno portato in scena questa strategia.....

Conclusioni

?????



INFN
Grazie