

DIPARTIMENTO INTERATENEO DI FISICA  
"M. MERLIN"



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI BARI  
ALDO MORO

Studiare l'Universo nel cuore di una  
montagna

G.F. Ciani

Università degli Studi di Bari  
Dipartimento di Fisica "M. Merlin"



Laboratori Nazionali del Gran Sasso



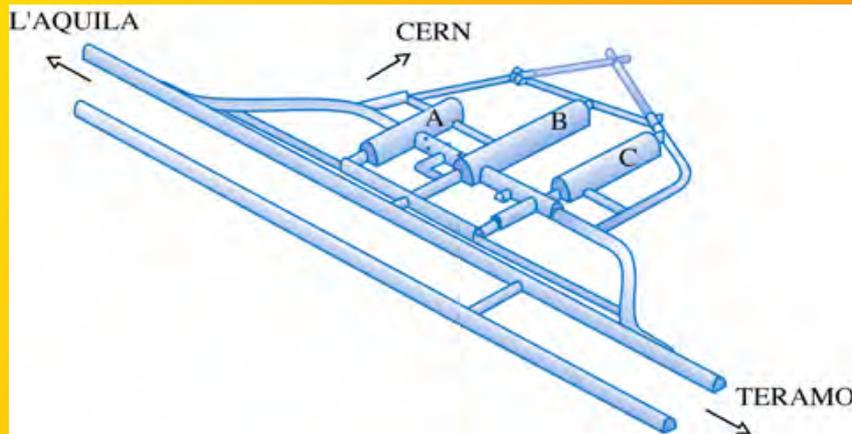
# Laboratori Nazionali Gran Sasso

1979 → proposta al Parlamento italiano del progetto di un grande laboratorio sotterraneo all'interno del tunnel autostradale del Gran Sasso (allora in costruzione).

1982 → approvazione da parte del Parlamento.

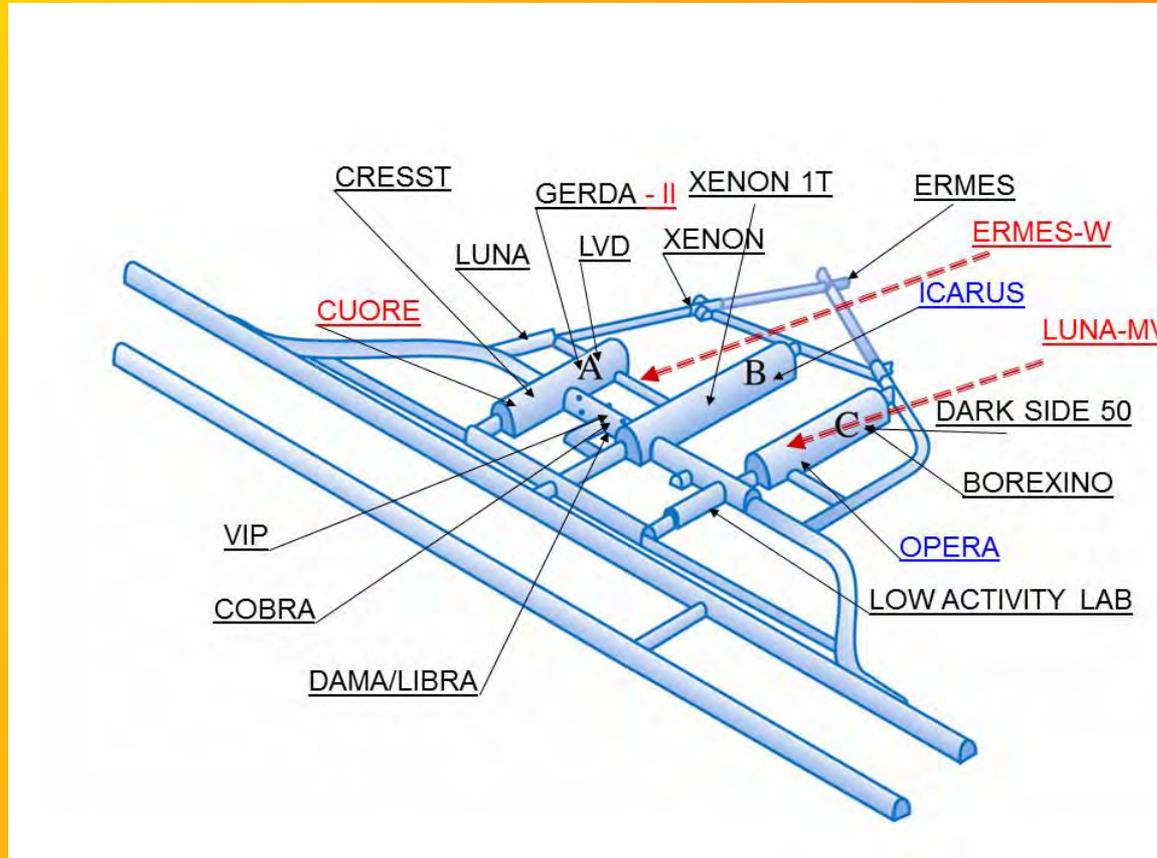
1987 → la costruzione è completata.

1989 → il 1° esperimento sotterraneo, MACRO, inizia la presa dati.



# Fisica Sotterranea ai LNGS : 3 rami principali di ricerca

- ✓ **Neutrini** (OPERA, BOREXINO, LVD, GERDA, CUORE, COBRA)
- ✓ **Materia Oscura** (DAMA/LIBRA, DARKSIDE, XENON, CRESST)
- ✓ **Astrofisica Nucleare** (LUNA)



Le tre Sale sperimentali (A, B, C) misurano circa 100 m di lunghezza, 20 m di larghezza e 18 m di altezza

Fisica degli eventi rari: cercare eventi che accadono con bassissima probabilità (anche meno di un all'anno).

Non basta aspettare molto perché mentre aspettiamo il nostro evento nei rivelatori entrano altri eventi "disturbatori" di fondo (raggi cosmici, radioattività ambientale...)



**Se lui fosse il nostro  
evento raro lo  
cercheremmo...**

....in questa confusione QUI!!!



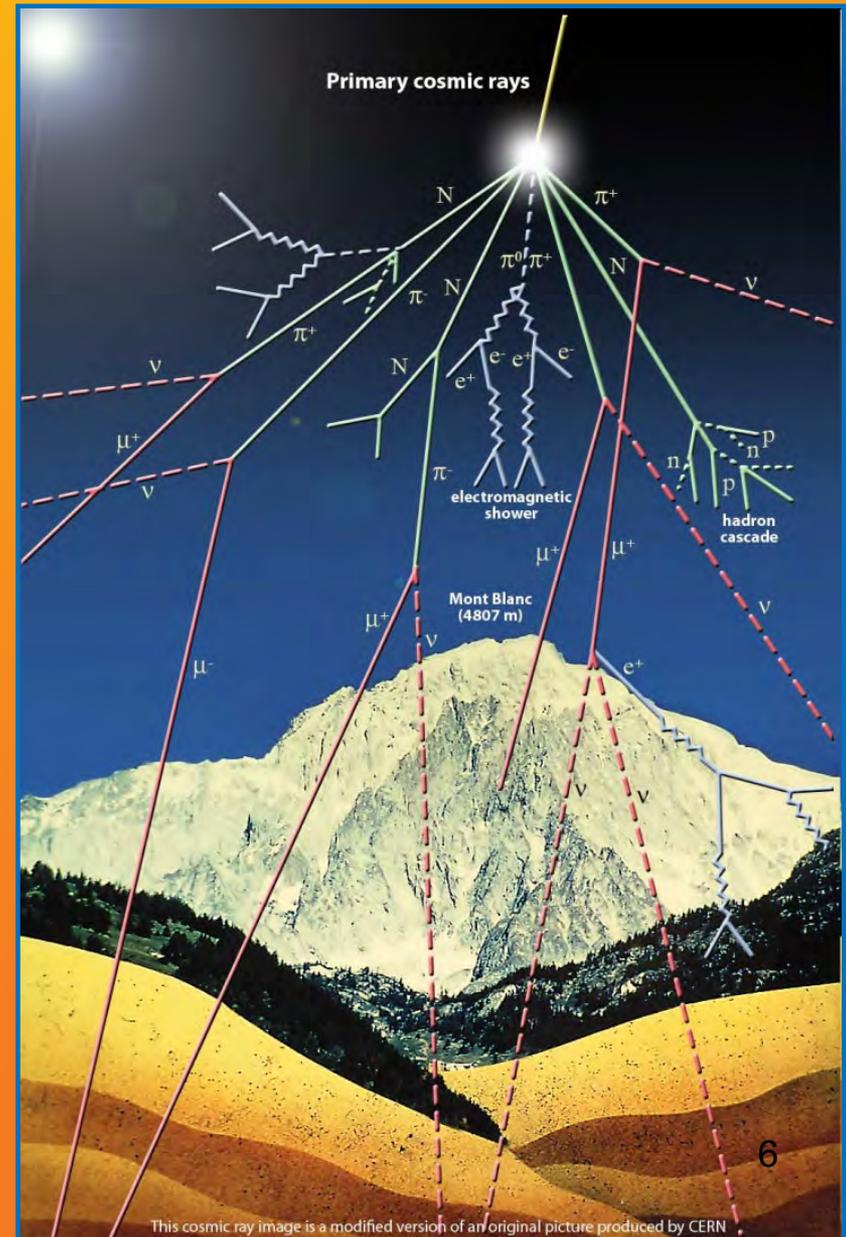
**OVVIAMENTE è UN BEL PROBLEMA. Bisogna abbassare il  
fondo**

# Il più vasto ed avanzato laboratorio sotterraneo del pianeta: perché?

La Terra è soggetta a un flusso di "raggi cosmici" che interagendo con l'atmosfera causano una pioggia ("shower") di altre particelle.

Il flusso di particelle cariche misurato a terra è di circa 100-200 Hz/m<sup>2</sup> (in realtà dipende dalla quota).

Il flusso di raggi cosmici è un fondo ineliminabile per un esperimento in superficie in cerca di eventi rari.



# Il più vasto ed avanzato laboratorio sotterraneo del pianeta: perché?

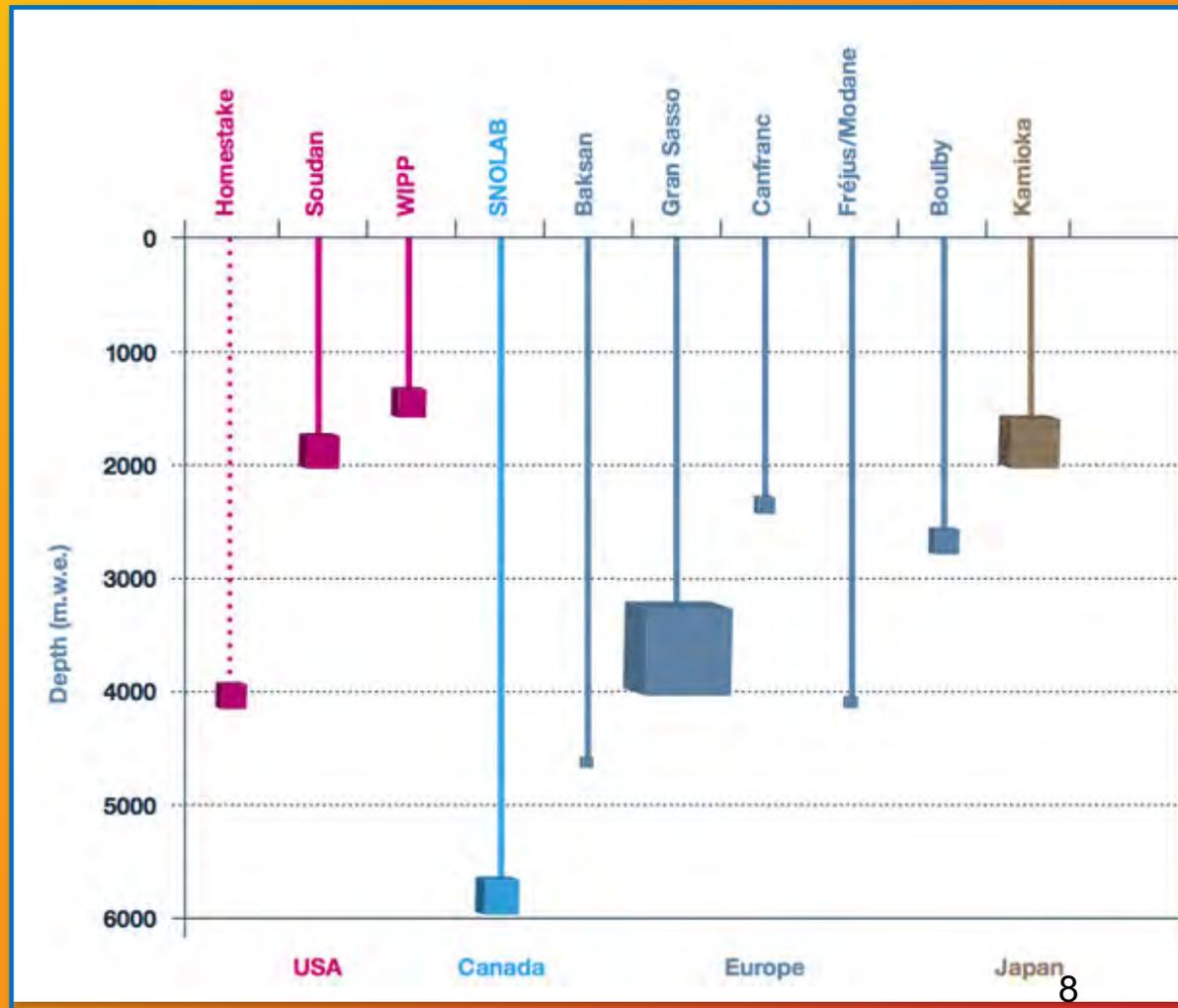
NECESSARIO UN AMBIENTE SOTTERRANEO IN GRADO DI ATTENUARE IL FLUSSO CHE ARRIVA A TERRA: I LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO

- 1400 m di roccia sovrastante
- Riduzione del flusso di  $\mu$ :  $10^6$
- Flusso di  $\mu \sim 1 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$
- Superficie: 17 800  $\text{m}^2$
- Volume: 180 000  $\text{m}^3$



# Laboratori Nazionali del Gran Sasso VS altri laboratori sotterranei

- I più grandi al mondo: capacità di ospitare numerosi esperimenti in contemporanea
- Di facile accesso con ingresso a livello autostradale, anche per mezzi di grandi dimensioni.
- Distanti solo 120 km dall'aeroporto internazionale di Roma



# Cosa sono i neutrini...

- Esistono **3 diversi tipi** di neutrino:  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$  e  $\nu_\tau$
- Caratterizzati da **carica elettrica nulla** e massa "meno di un miliardesimo di quella del protone". Riescono ad attraversare la materia senza interagire o essere assorbiti: la loro **rivelazione è perciò estremamente difficile**.
- Si è scoperto che possono cambiare tipo mentre si propagano: "**oscillazioni di neutrini**".
- Sono tra le particelle più presenti in natura.
- Vengono prodotti in molti meccanismi in natura.



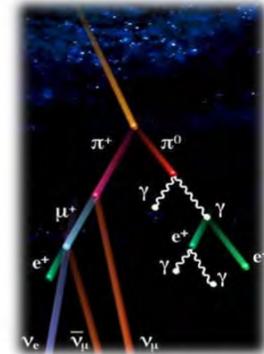
Neutrini Solari



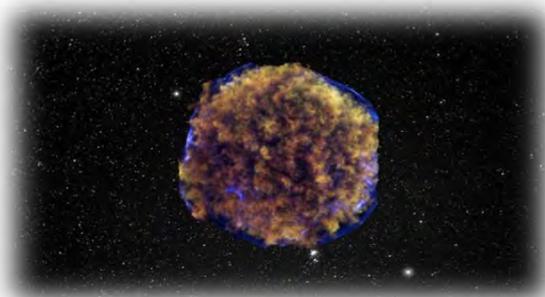
Neutrini Fossili  
dal Big Bang



Neutrini Artificiali  
da acceleratori



Neutrini da interazione di raggi  
cosmici in atmosfera



Neutrini da esplosioni di SuperNova



Neutrini Astrofisici  
(Active Galactic Nucleus, Gamma Ray Bursts, etc...)



Neutrini prodotti dal  
nostro pianeta

# BOREXINO: tanti occhi per neutrini solari (e non solo...)



photo: BOREXINO calibration

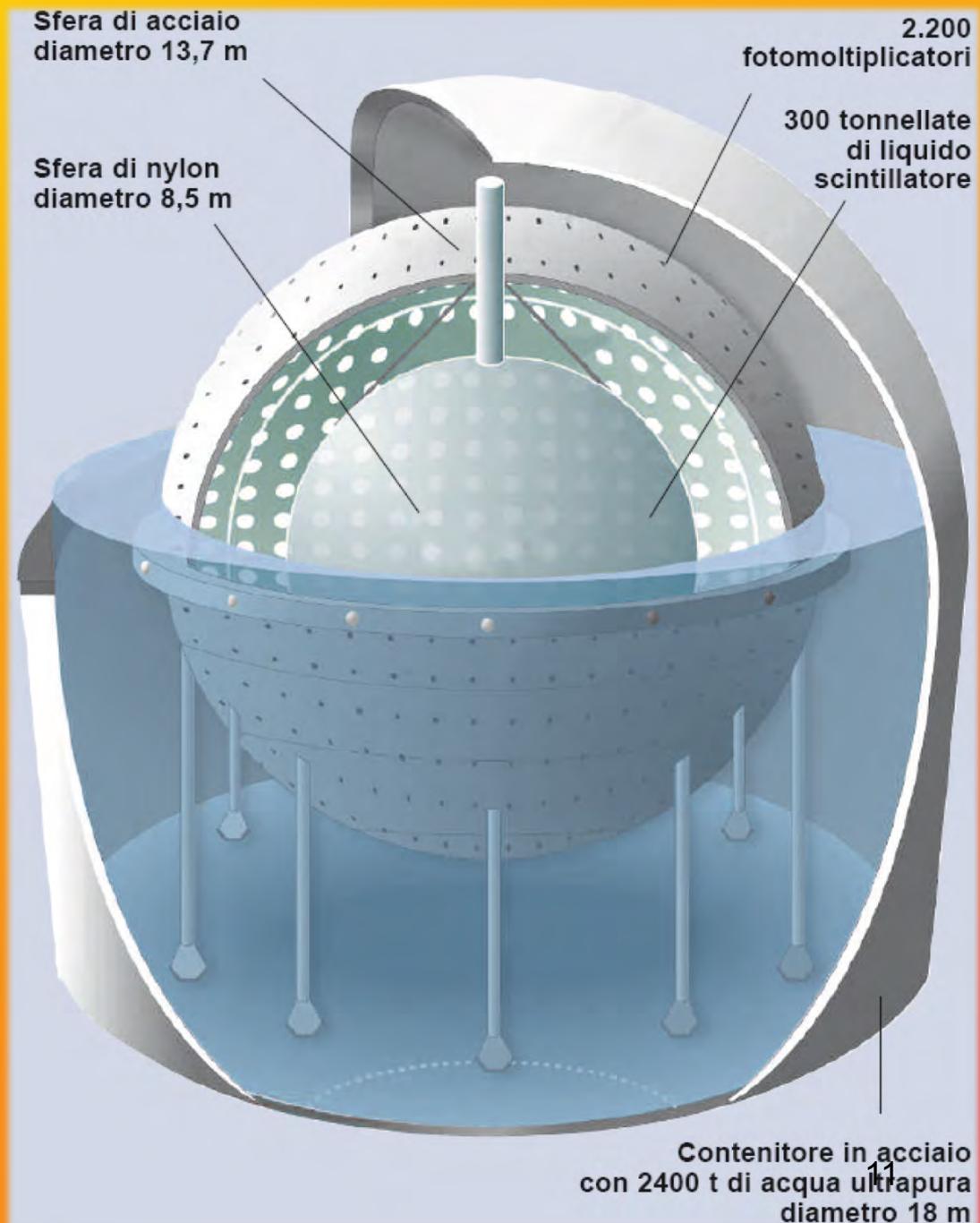
BOREXINO è in grado di rivelare in tempo reale neutrini di bassa energia (ad esempio prodotti dal Sole e dal nostro pianeta) attraverso le loro interazioni in un "liquido scintillatore".

## I neutrini solari di più bassa energia sono quelli più numerosi!!!

- Un fotone prodotto nel centro del Sole impiega centinaia di migliaia di anni per raggiungere la sua superficie.
- I neutrini invece, data la loro scarsa attitudine ad interagire, impiegano meno di due secondi per uscire dal Sole.

La nostra mano è attraversata da 10 miliardi di neutrini al secondo provenienti dal sole, Ma Borexino ne rivela soltanto circa 80 al giorno proprio perché sono particelle difficili da osservare

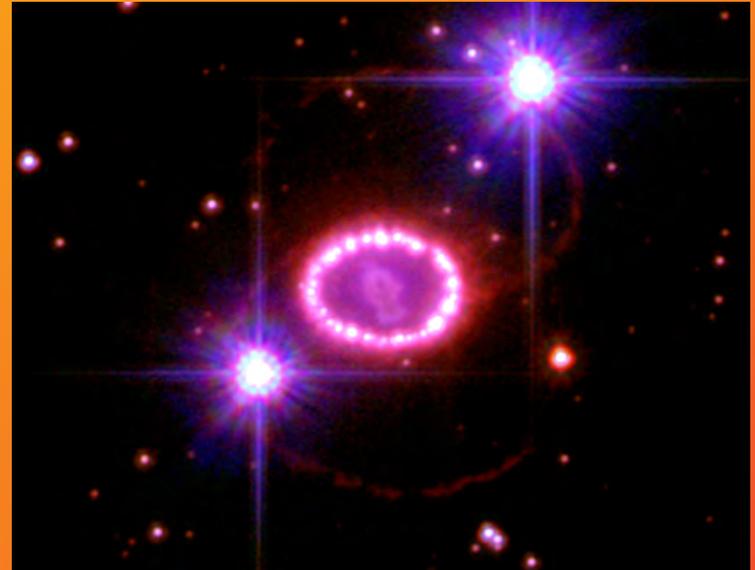
Borexino, grazie alla sua "iperpurezza" e all'assenza di centrali nucleari nelle vicinanze, è anche in grado di studiare neutrini emessi nei processi radioattivi che avvengono all'interno della crosta terrestre (Geoneutrini).



# Neutrini dalle supernovae : Large Volume Detector



LVD contiene 1000 t di liquido scintillatore, se una Supernova esplodesse nel centro della nostra Galassia (8.5 kpc), sarebbe in grado di rivelare centinaia di neutrini. Il rivelatore è in funzione dal 1992.



Scopo principale è rivelare i neutrini emessi da **Supernova** nella nostra Galassia o in una delle Galassie vicine (Nubi di Magellano). Ogni esplosione produce sulla Terra circa 1000 miliardi di neutrini al metro quadro in un tempo pari a circa 10-20 s.

L'ultima Supernova esplosa nella Grande Nube di Magellano risale al 1987.

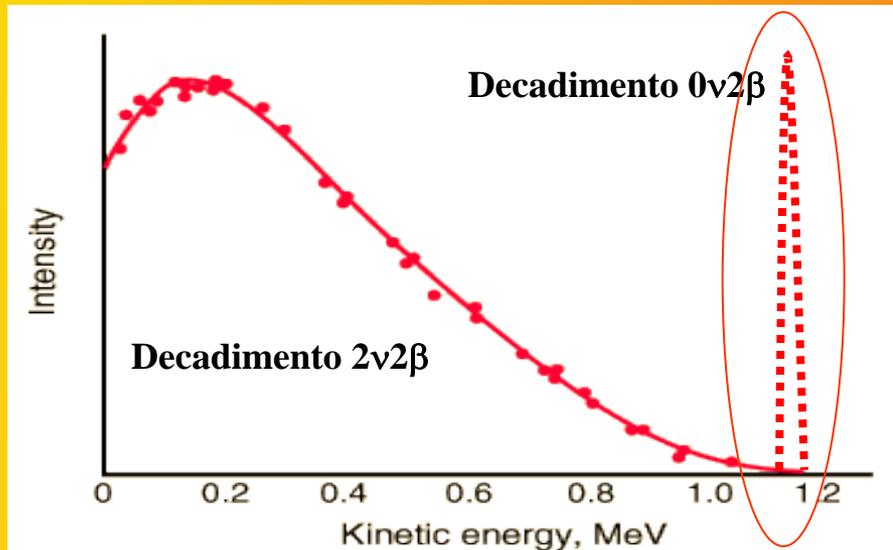
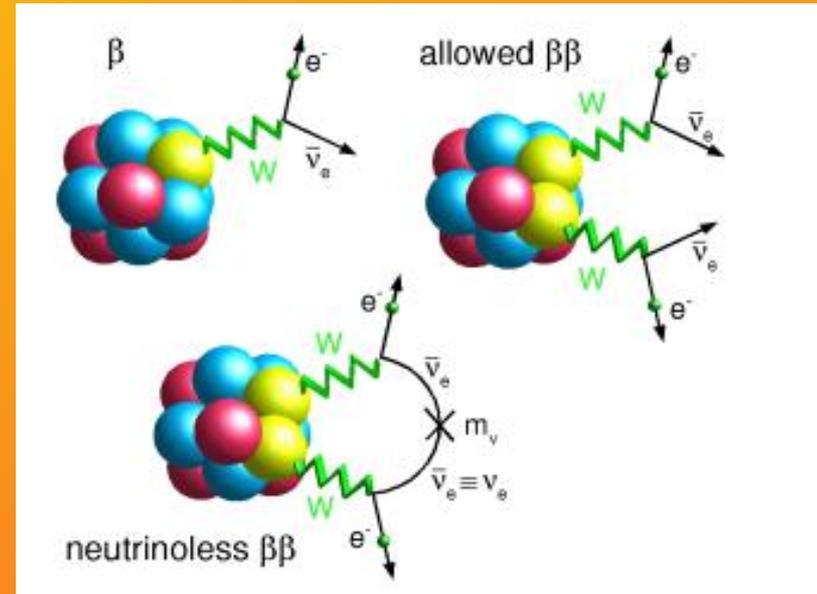
La frequenza attesa di esplosioni di Supernovae nella nostra Galassia è di 2-4 per secolo: per questo motivo l'apparato è in continua presa dati!

# Decadimenti rari - Decadimento $\beta\beta$

La condizione di "silenzio cosmico" permette di studiare decadimenti estremamente rari tra cui il decadimento  $\beta\beta$ :

2 neutroni si trasformano simultaneamente in 2 protoni, emettendo 2 elettroni e 2 antineutrini.

Ancora più raro ed interessante per i fisici è il decadimento doppio beta senza emissione di neutrini perché permette di avere informazioni ancora sconosciute sulla natura del neutrino.

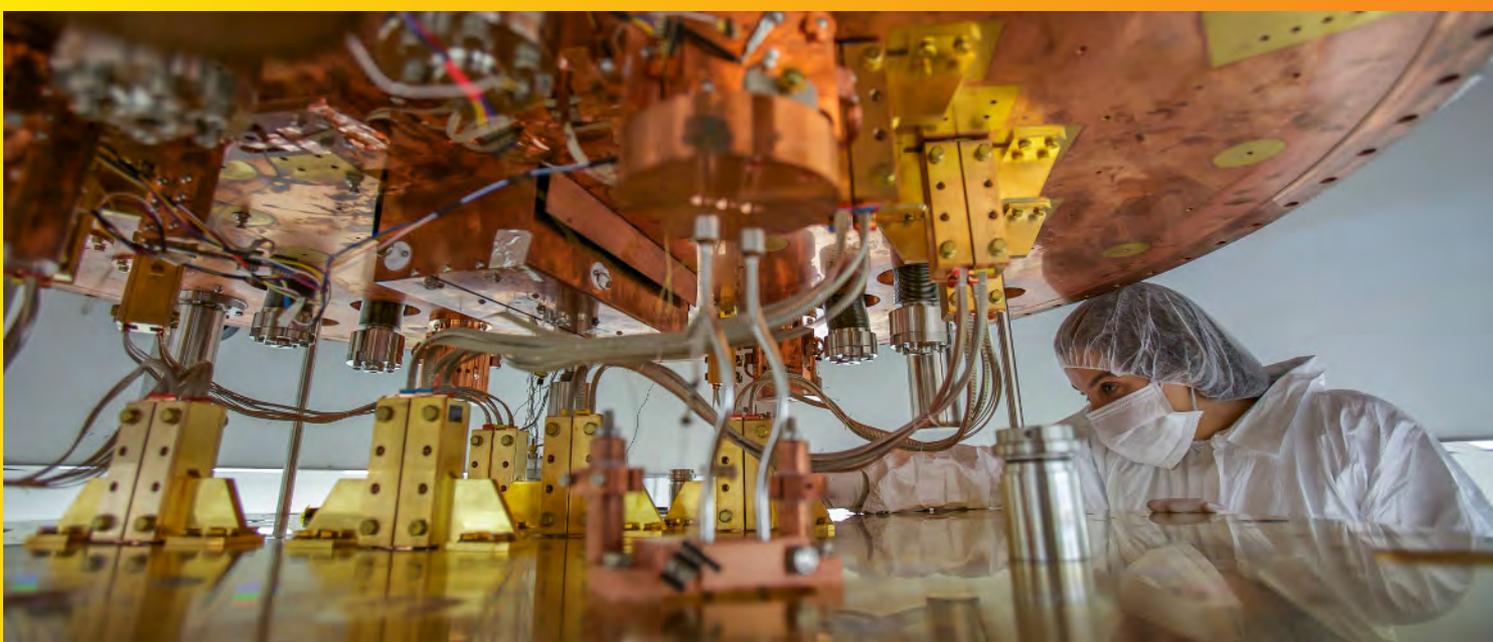


E' un evento mai osservato fino ad ora e si teorizza che il suo tempo di dimezzamento di  $10^{25}$  anni!!! (molto più dell'età dell'universo) Per aumentare la probabilità di vederlo serve basso fondo, tempo lungo e moltissimi atomi bersaglio (grandi masse)

# CUORE (Cryogenic Underground Observatory for Rare Events)

Scopo è la scoperta del decadimento  $0\nu\beta\beta$  del  $^{130}\text{Te}$  utilizzando circa 1000 rivelatori criogenici di  $\text{TeO}_2$ , per un totale di circa 750 kg. Il suo prototipo CUORICINO, è stato in funzione presso i laboratori sotterranei.

CUORE è progettato per lavorare in condizioni di ultrafreddo, a temperature di circa 10 millikelvin, cioè dieci millesimi di grado sopra lo zero assoluto.



Data la necessità di avere un ambiente completamente privo di radiazione naturale, l'apparato sperimentale viene schermato con uno strato di piombo estremamente "radiopuro" e risalente all'età di Roma.



# GERmanium Detector Array



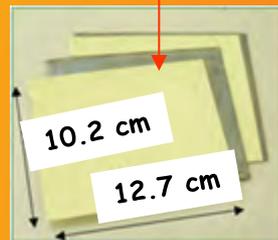
Lo scopo è scoprire il decadimento  $0\nu\beta\beta$  dell'isotopo  $^{76}\text{Ge}$ . GERDA utilizza rivelatori a semiconduttore arricchiti nell'isotopo  $^{76}\text{Ge}$  che funzioneranno immersi in una schermatura criogenica.

# CNGS: CERN Neutrino to Gran Sasso

Lo scopo del progetto era quello di conoscere la natura dei neutrini attraverso l'osservazione ai LNGS dell'apparizione dei neutrini tau in un fascio di neutrini muonici (OSCILLAZIONE). Questi ultimi, infatti, inviati da un acceleratore distante 732 km al CERN, durante il loro percorso fino ai LNGS oscillano e si trasformano in neutrini di tipo tau.



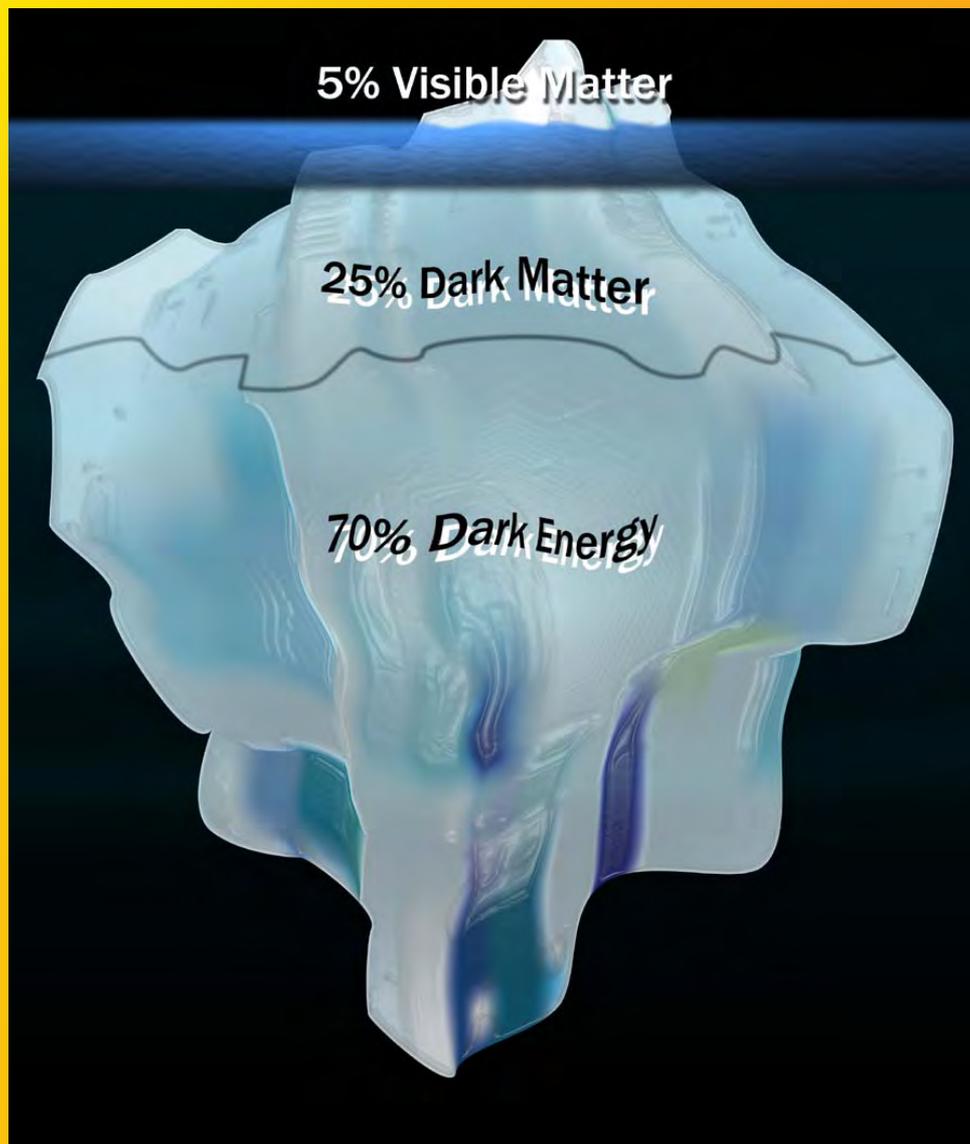
## OPERA



## ICARUS



Nonostante queste ricerche conosciamo ancora molto poco  
del nostro Universo...



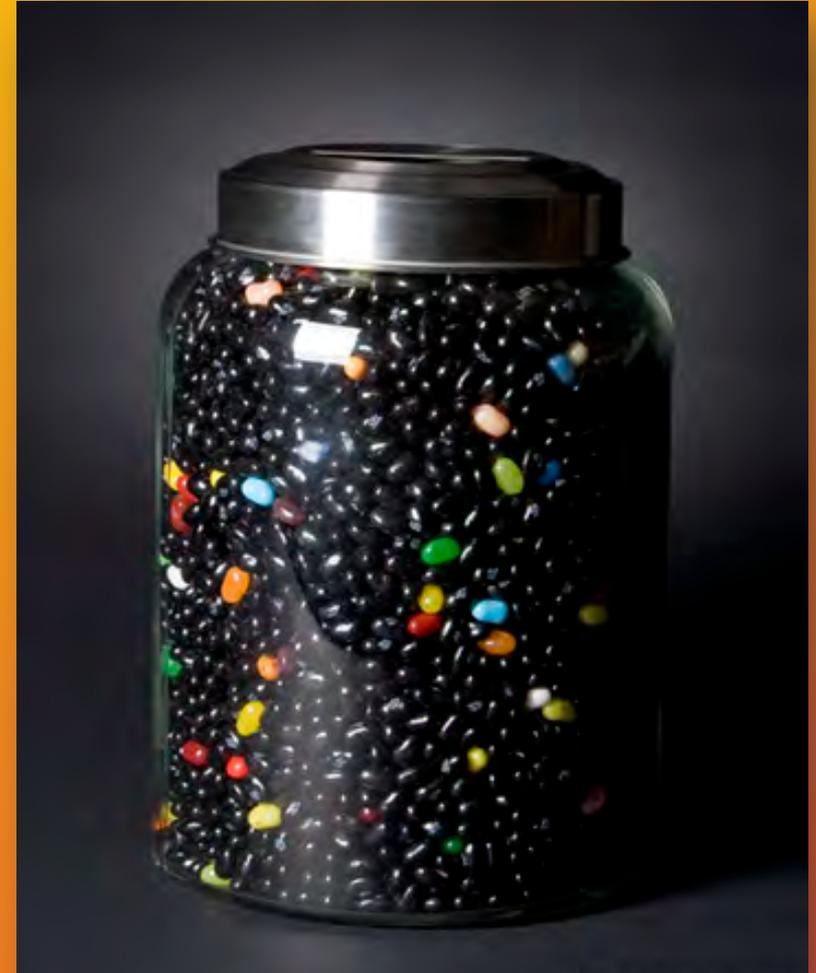
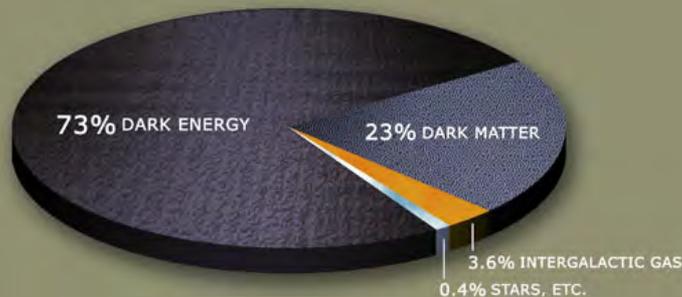
NB: Questo  
parallelismo con il  
riscaldamento  
globale non si potrà  
fare più

# Di cosa è fatto l'Universo?

Le osservazioni sperimentali ci dicono che la materia di cui siamo fatti noi è meno del **5%**.

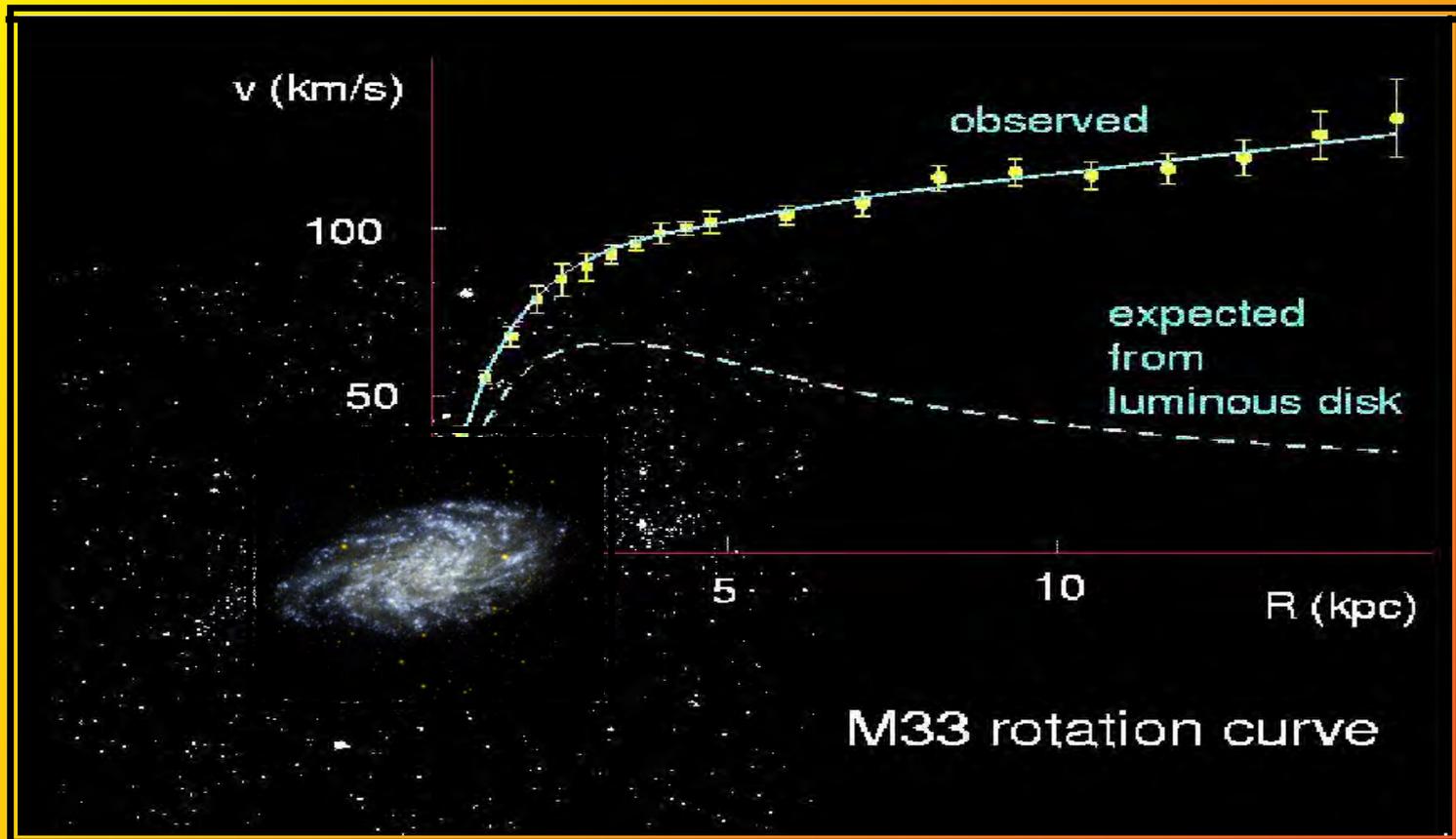
Circa il **23%** è **materia oscura**

il restante, più del **73%**, è **energia oscura**



La **materia oscura** (fagioli neri) è circa **5 volte** più abbondante della **materia visibile** (fagioli colorati)

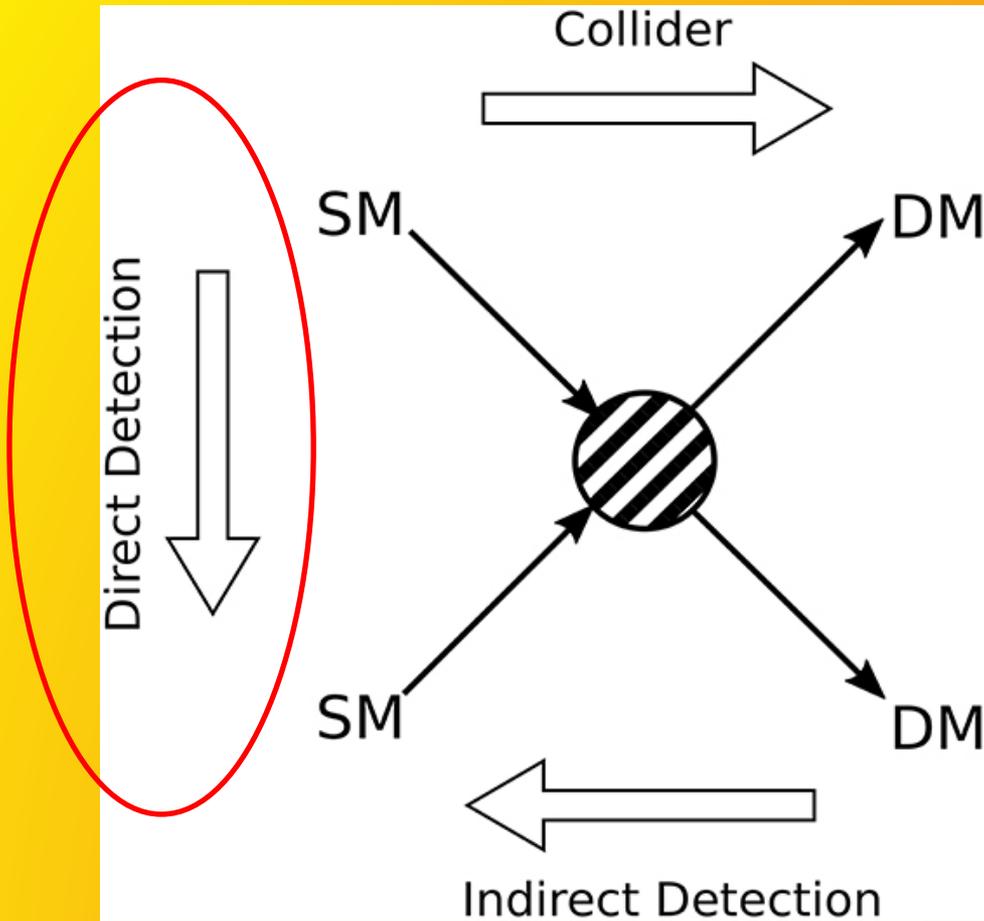
# La Materia Oscura c'è ma non si vede



Velocità delle stelle nelle periferie delle galassie molto maggiore di quella predetta dalla gravitazione universale

# WIMP

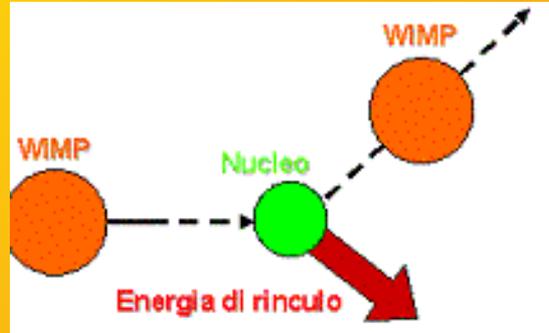
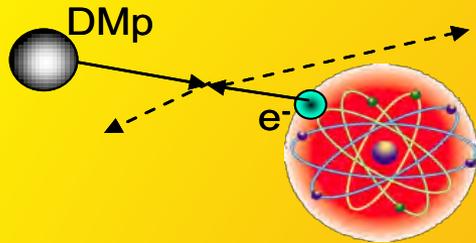
## Weakly interactive Massive Particles



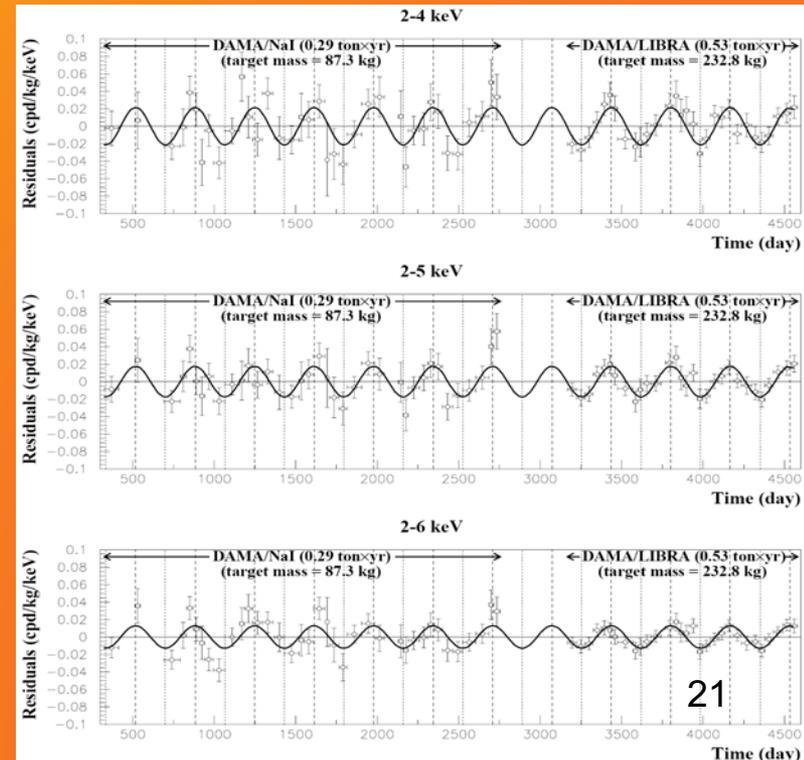
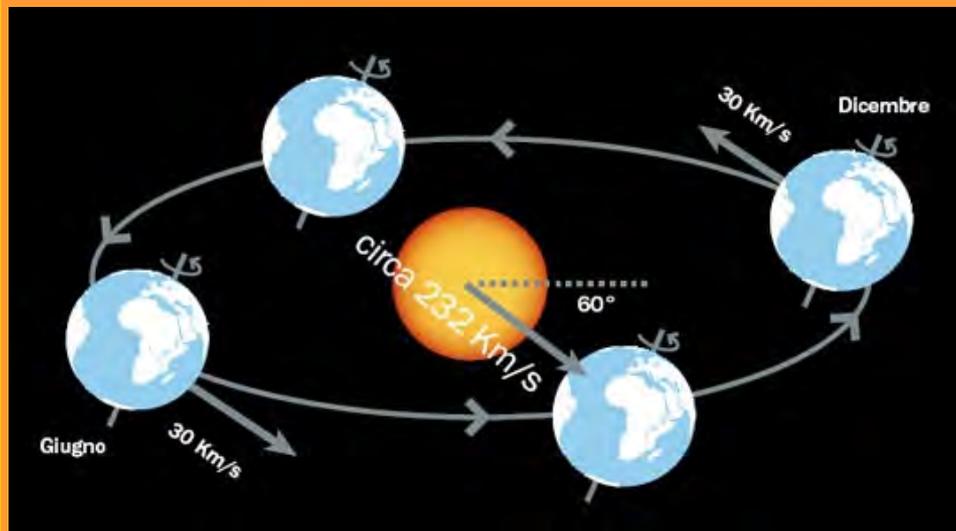
Sono ipotetiche particelle dotate di massa che interagiscono debolmente con la materia normale solo tramite la gravità e l'interazione debole; sono state ipotizzate per essere un possibile candidato di materia oscura.

Diversi modelli con possibili masse: da molto leggere a molto pesanti

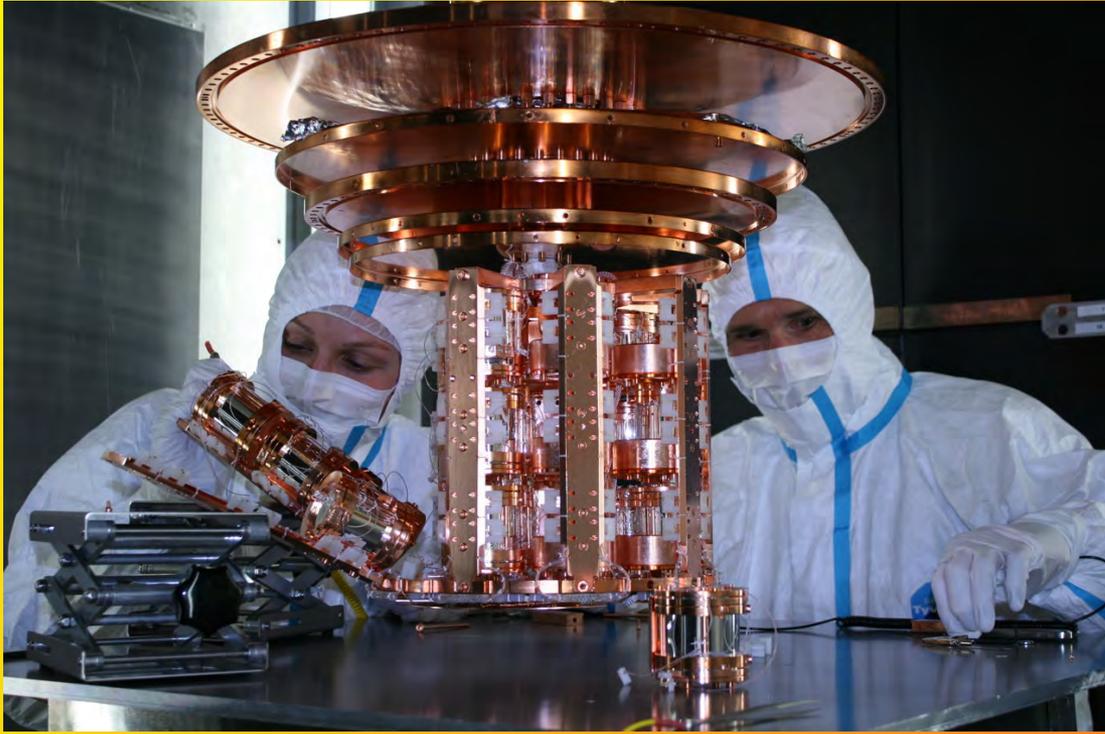
# DAMA/LIBRA



DAMA studia la componente di particelle di Materia Oscura nell'alone galattico per mezzo di una segnatura indipendente da modello detta modulazione annuale.



# CRESST



CRESST (Cryogenic Rare Event Search using Superconducting Thermometers) è un esperimento per la ricerca di WIMPs attraverso la loro interazione (scattering) su un nucleo atomico.

CRESST utilizza rivelatori calorimetrici costituiti da un cristallo assorbitore, che contiene i nuclei con cui la WIMP interagisce, e da un sensore che misura l'energia rilasciata nell'interazione.

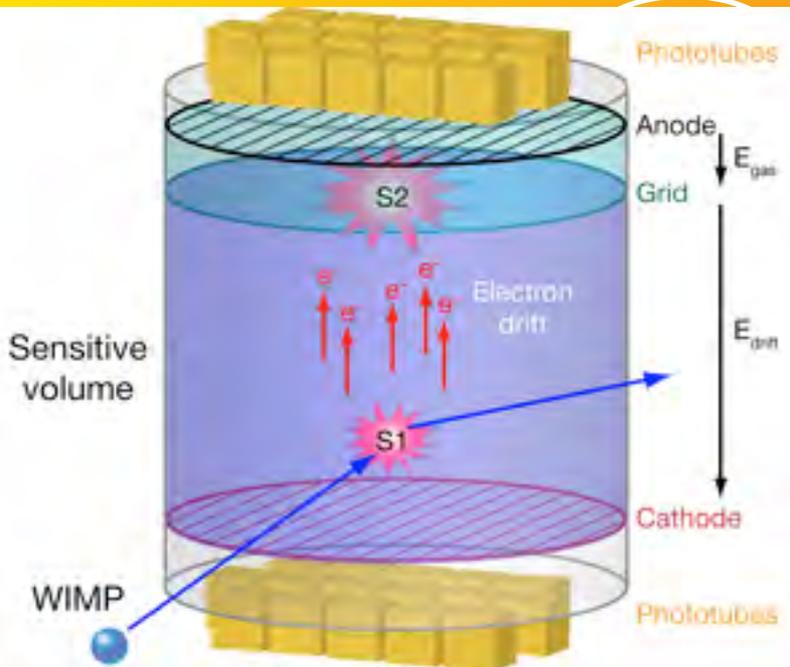
I rivelatori di CRESST sono in grado di osservare particelle la cui massa sia ben più leggera di quelle osservabili nelle attuali misure, aumentando la possibilità di osservare la materia oscura.



# XENON

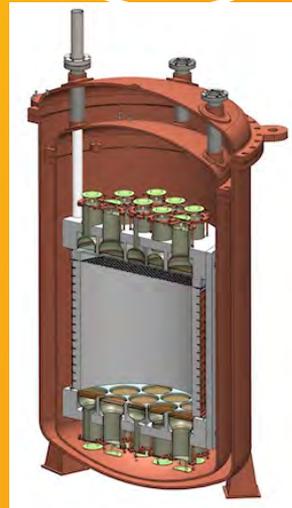
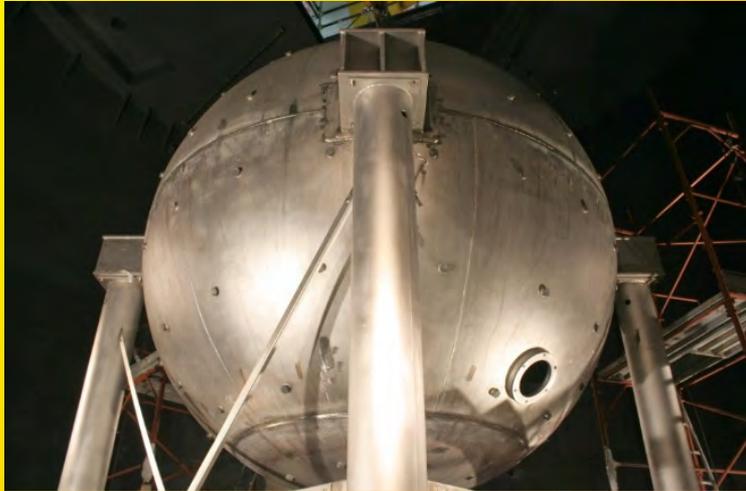
Lo scopo del progetto XENON è quello di rivelare le interazioni tra le particelle di Materia Oscura con i nuclei dello Xeno utilizzato come massa bersaglio nell'esperimento.

Xenon è una camera TPC a doppia fase (liquida e gassosa). I fotomoltiplicatori sono utilizzati per rivelare il lampo di luce prodotto nell'interazione.

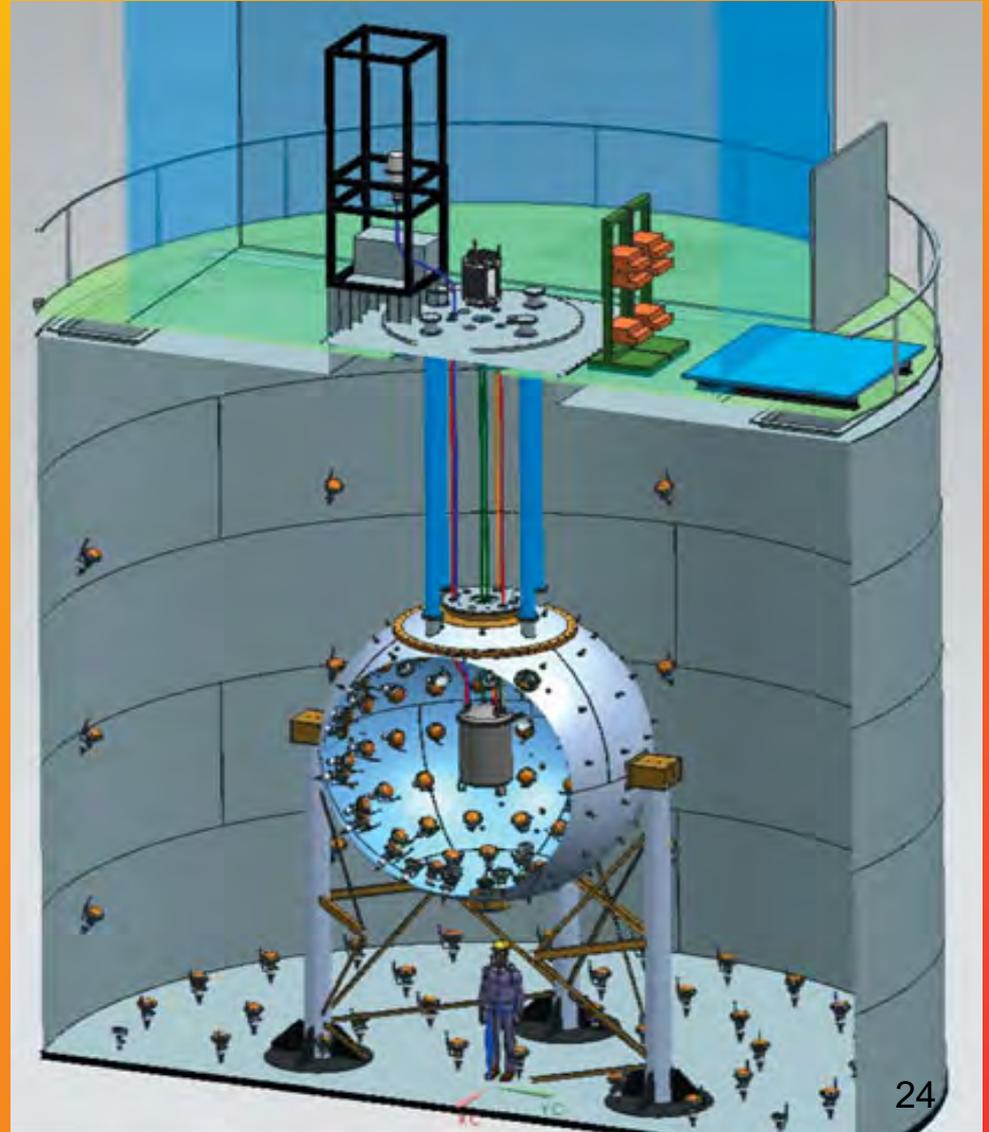


# DarkSide50

Scopo dell'esperimento DarkSide50 è di osservare interazioni di Materia Oscura con quella ordinaria.



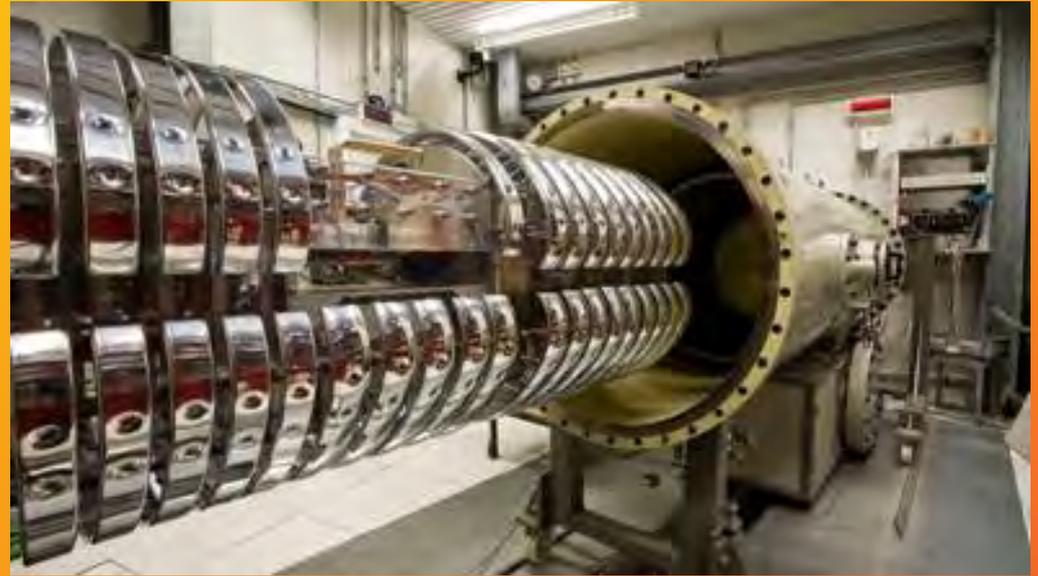
Il cuore dell'apparato è costituito da una camera TPC contenente Argon in fase sia liquida che gassosa.



# LUNA: Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics

riprodurre in un laboratorio il cuore delle stelle

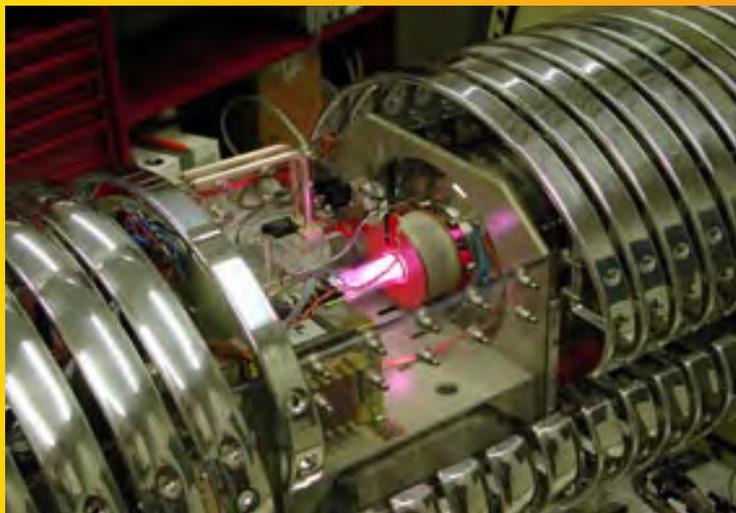
- Utilizza un acceleratore di protoni e particelle alfa che funziona a 400 kV.
- Unico acceleratore al mondo in funzione in un centro di ricerca sotterraneo
- Ha misurato alcune reazioni chiave del ciclo di combustione dell'idrogeno e della nucleosintesi primordiale



- Ha dimostrato che l'Universo è più vecchio di quanto ci si aspettava in passato

- Ha osservato per la prima volta una rara reazione nucleare che avviene nelle stelle giganti rosse. Si tratta della prima osservazione diretta di una delle reazioni nucleari fondamentali per la costruzione degli elementi che costituiscono l'Universo

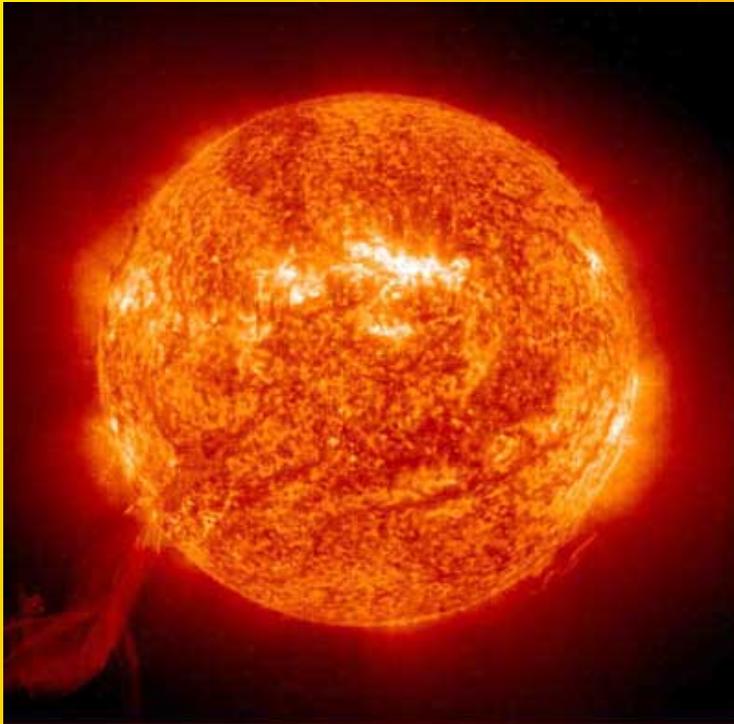
- Previsto un upgrade LUNA MV per esplorare ancora



## Globuli di Bok: le culle delle stelle



# Il sole



- Massa:  $2 \times 10^{30}$  kg = 335.000 masse terrestri
- **Diametro** : 1,4 milioni di km = 109 diametri terrestri
- **Età** : 5 miliardi di anni circa
- **Temperatura superficiale:** Circa 5.500 °C (5.800 K)
- **Temperatura al centro:** Circa 14 milioni di gradi
- **Composizione** : 74,5% Idrogeno, 23,5% Elio e 2% Elementi pesanti, quali: Ossigeno, Carbonio e Azoto

# Come riprodurre ciò che accade nelle stelle?



**ACCELERATORE**

Corrente molto intensa  
Significa tanti nuclei  
proiettile



Alta densità:  
Più è denso e  
puro il bersaglio  
maggiore è il  
numero di nuclei  
bersaglio



**PRODOTTI DI  
REAZIONE**

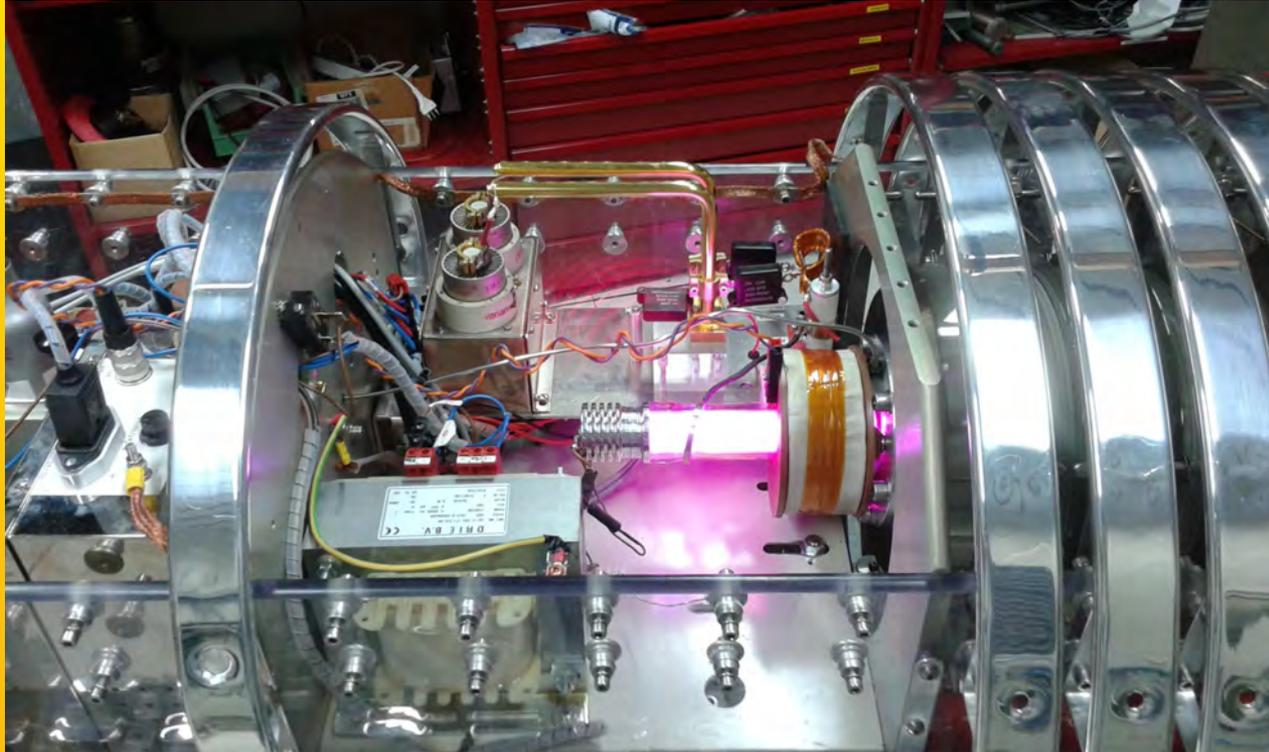
$\alpha, \beta, \gamma, \dots$

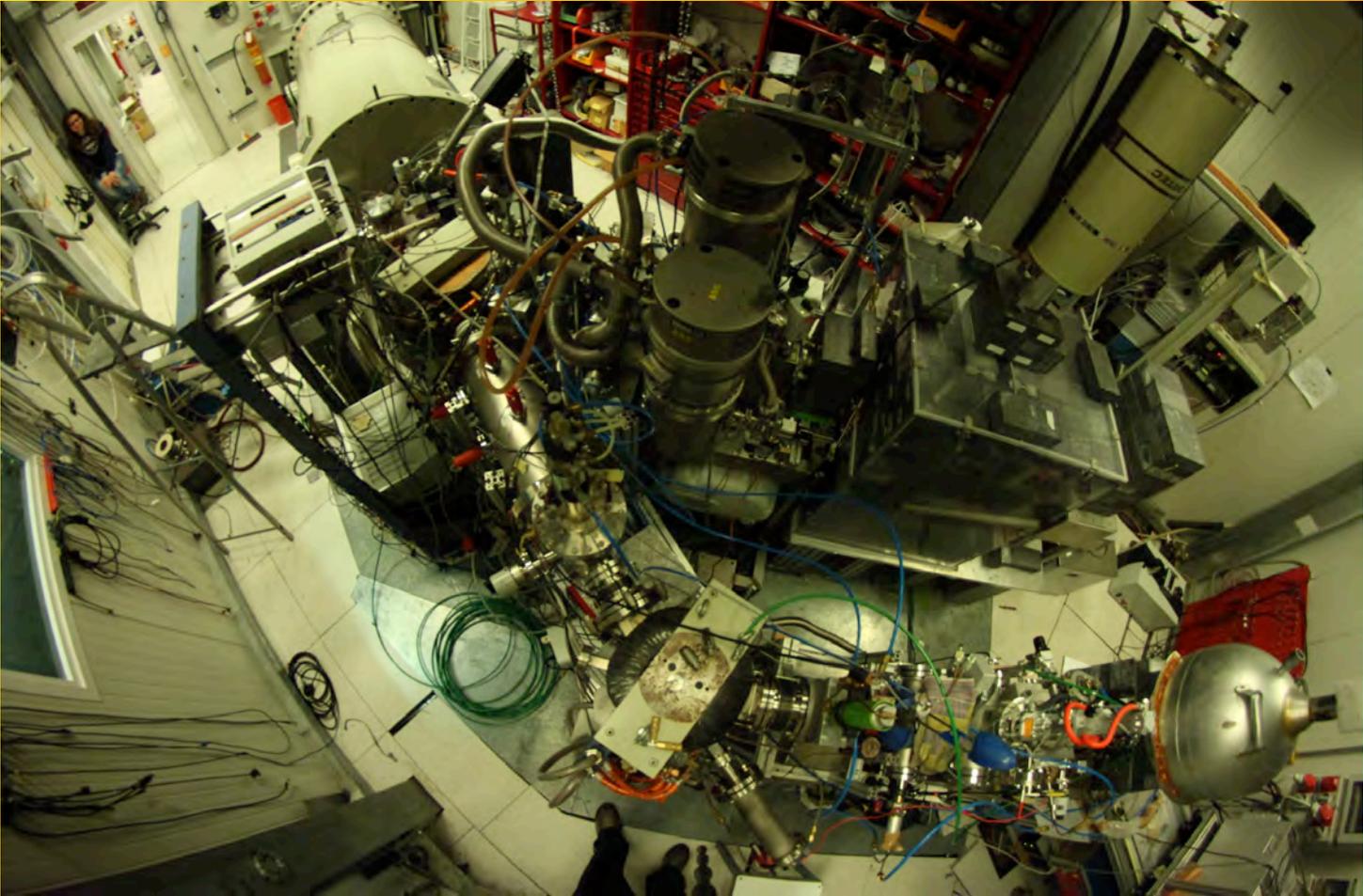


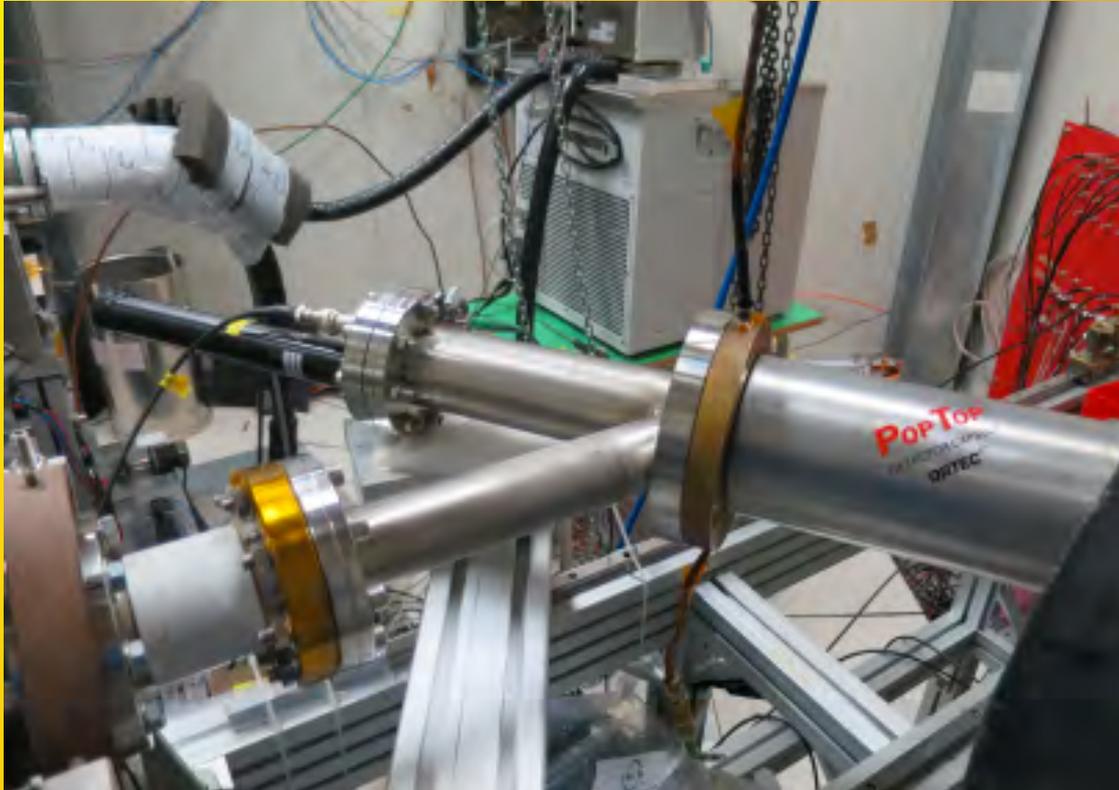
**RIVELATORE**

Alta efficienza per  
contare il maggior  
numero di particelle  
prodotte dalla reazione







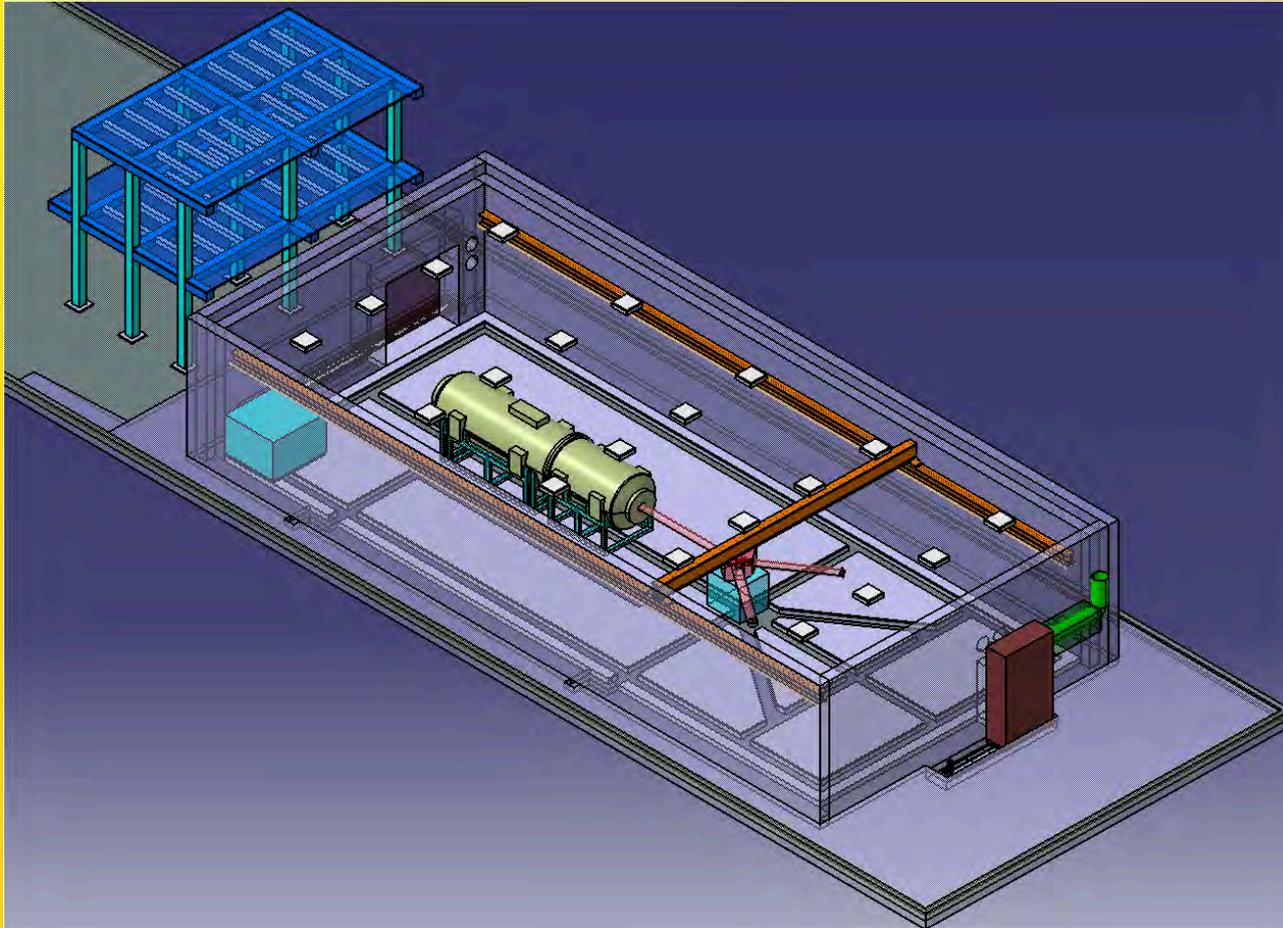


Le particelle colpiscono il nostro bersaglio, generano le reazioni nucleari ed emettono fotoni.

Questi fotoni vengono rivelati dai nostri rivelatori che permettono di contare quindi le reazioni nucleari riprodotte



# LUNA MV: progetto premiale MIUR



Una nuova sfida  
per scoprire i misteri  
dell'evoluzione  
Stellare.  
Svilluppare  
tecnologia di  
avanguardia, trasferire  
conoscenza.

# Non solo esperimenti: attività di outreach

## Laboratori Didattici



## "Anchio scienziato"

Concorso riservato a studenti di tutte le età: vengono premiati i progetti migliori e quelli più originali (esperimenti, ricerche e realizzazioni).

Premiazioni per l'anno scolastico 2014-2015 durante la giornata dell'Open Day (24 Maggio 2015)

## Visitare i LNGS



## Scuola Estiva per le Scienze Sperimentali Quinta edizione (estate 2015)



Due settimane di approfondimento delle discipline scientifiche per studenti delle scuole superiori d'Abruzzo

Per visitare i laboratori “virtualmente” c'è un link di google maps e il videogioco



<https://www.gransassovideogame.it/>



<https://home.infn.it/it/news-3/news-infn-it-archivio/597-google-street-view-mappa-i-laboratori-nazionali-dell-infn>

Ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso, fisici provenienti da ogni parte del mondo lavorano insieme per capire e svelare i misteri del nostro Universo!

Gli esperimenti condotti in questi vent'anni di attività hanno dato e continueranno a dare importantissimi risultati su:

- comprensione del fenomeno delle "oscillazioni dei neutrini"
- ricerca di Materia Oscura
- astrofisica del Sole e delle stelle
- fisica dei Raggi Cosmici