

Le Sfide della Fisica Sotterranea

Claudia Tomei
Ricercatrice INFN
Sezione di Roma

International Day of Women and Girls in Science
11 Febbraio 2021

LNGS



foto da <https://www.lngs.infn.it/it>

SUPL



foto da <https://about.unimelb.edu.au>

LSC

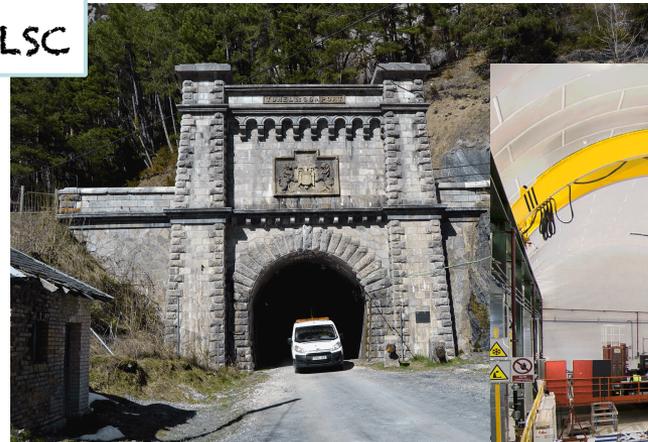


foto da <https://lsc-canfranc.es/en/home-2/>



Foto: Jorge Quiñoa

SNOLAB



foto da <http://www.vale.com/canada/>

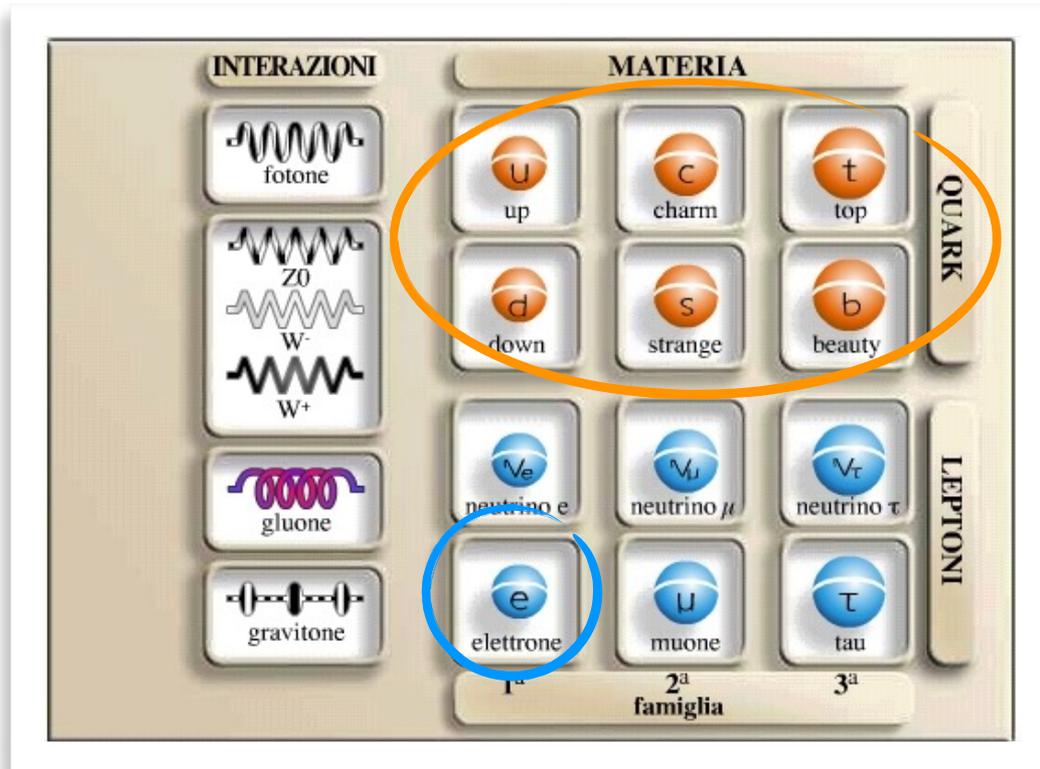
Cos'è e cosa studia la Fisica Sotterranea?

Fisica Sotterranea  Eventi Rari

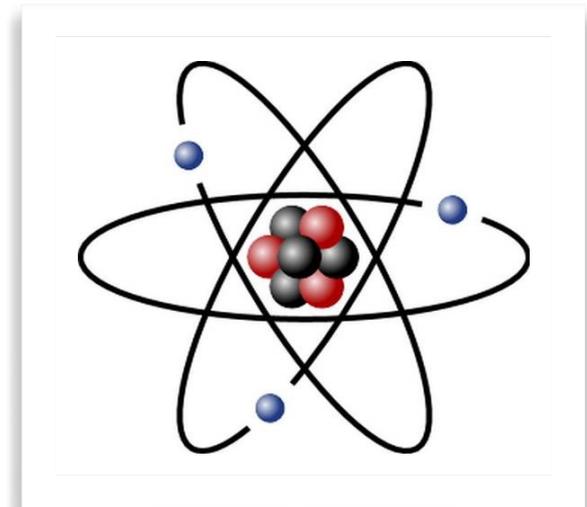
Esperimenti di fisica delle particelle, molte delle quali provenienti dallo spazio, prodotte da sorgenti astrofisiche come il sole, le supernovae o lo stesso big bang (fisica astroparticellare).

In altri casi le particelle sono prodotte da processi rari o mai osservati che i fisici vogliono studiare.

Le particelle ...



I quark sono le particelle elementari che costituiscono i protoni e i neutroni

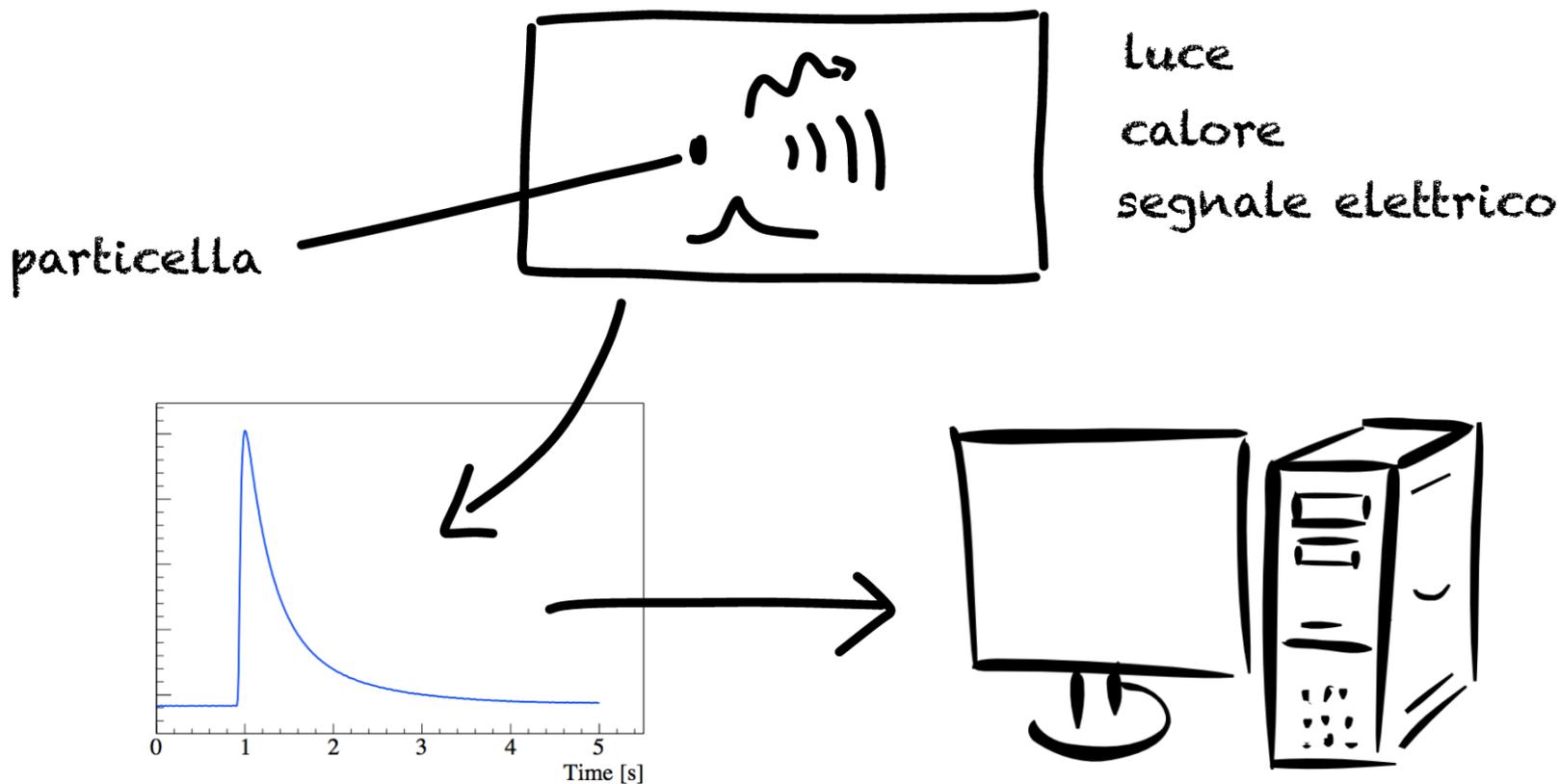


IDENTIKIT:

massa, carica, tipo di interazione

... come si studiano?

Una particella **interagisce** all'interno di un rivelatore che può essere fatto di diversi materiali e il materiale reagisce producendo luce, o calore o un segnale elettrico.



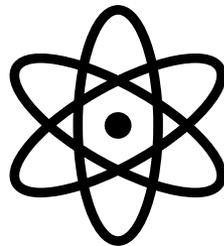
Particelle elusive

Alcune particelle, per le loro proprietà, fanno pochissime interazioni, o urti all'interno di un rivelatore. Questo "potere" di eludere gli urti che le rende particolarmente difficili da rivelare. Le chiamiamo elusive o debolmente interagenti.

Si tratta solitamente di particelle neutre (prive di carica elettrica), che non sono sottoposte alla forza elettromagnetica o alla forza nucleare forte.



Forza
elettromagnetica



Forza nucleare
forte



Forza nucleare
debole

Forza
gravitazionale



Perché sottoterra?

Immaginate di voler ascoltare il suono di un violino ... andreste in uno stadio durante una partita di calcio??



La Terra è soggetta a un flusso di particelle dette "raggi cosmici" che entrando nell'atmosfera creano una pioggia ("shower") di altre particelle, causando rumore in un rivelatore in superficie in cerca di eventi rari.



Perché sottoterra?

La roccia è in grado di ridurre di un milione di volte il numero di particelle cosmiche ... in questo **Silenzió Cosmico** possiamo vedere le particelle che ci interessano senza interferenze.



P Infatti le particelle debolmente interagenti possono attraversare grandissimi spessori di materia, persino l'intera Terra senza fermarsi o essere assorbite. Per questo riescono a penetrare lo schermo della montagna.

I Laboratori Nazionali del Gran Sasso

È 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

Superficie: 17 800 m²

Volume: 180 000 m³

Flusso di particelle
cosmiche ridotto di 1
milione di volte

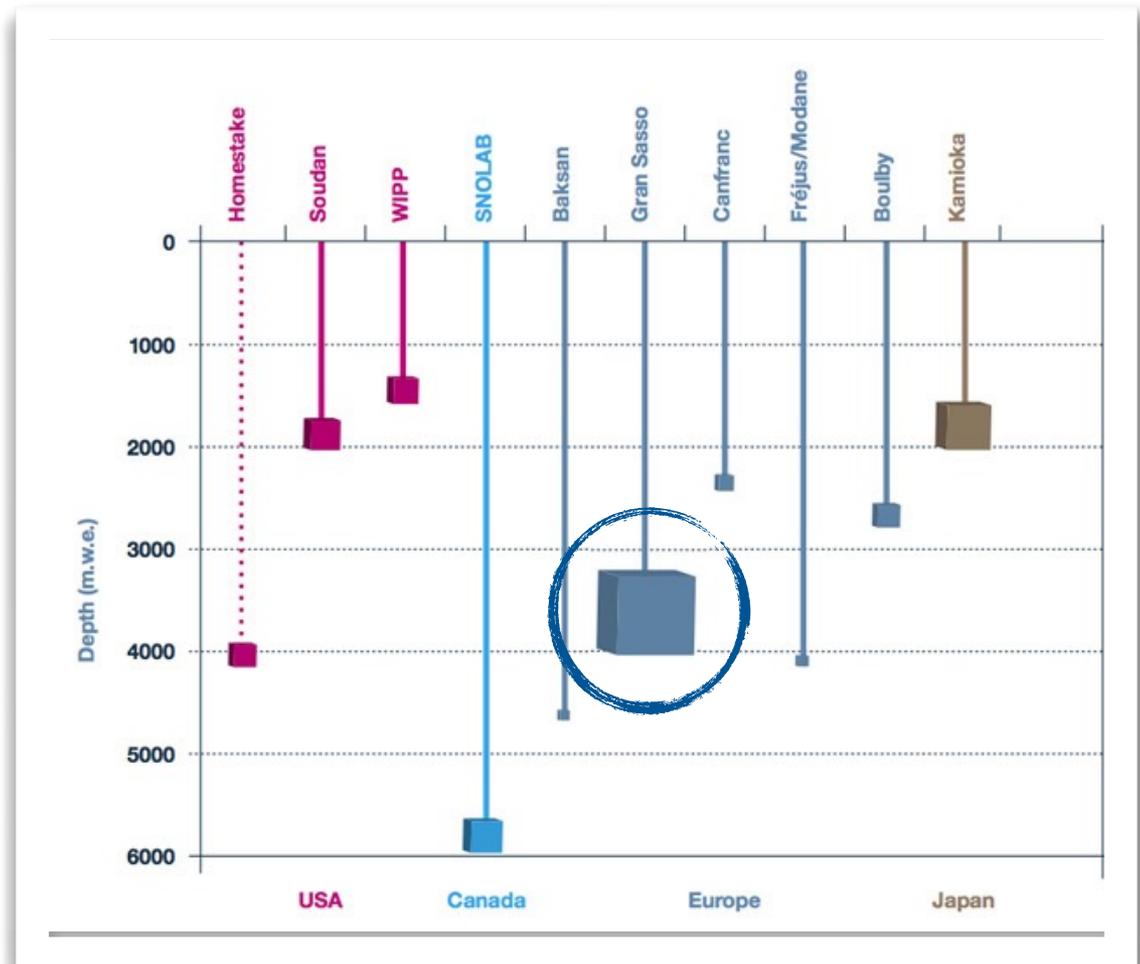


I laboratori sotterranei nel mondo

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.

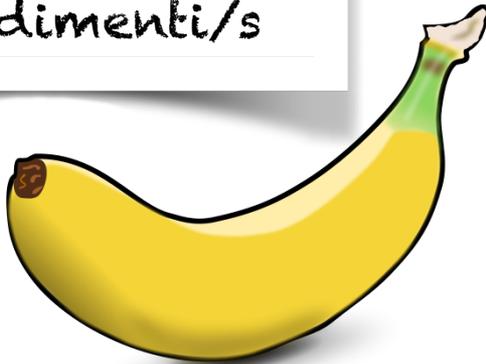
Distanti solo 120 km dall'aeroporto di Roma



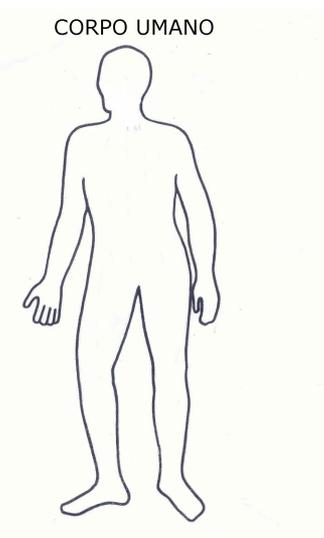
La radioattività naturale

Oltre ai raggi cosmici c'è un'altra sorgente naturale di particelle che può disturbare una misura che vuole osservare un evento raro: è la radioattività naturale (alfa, beta, gamma).

15 decadimenti/s



1 decadimento/s
per grammo



Moltissimi materiali contengono al suo interno una piccola quantità di elementi naturalmente radioattivi (uranio, torio, potassio, carbonio, etc...). Gli esperimenti che studiano gli eventi rari selezionano solo materiali estremamente radiopuri o li purificano con tecniche speciali.

LNGS - Breve storia (1)

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

1982 → Il progetto è approvato da parte del Parlamento.

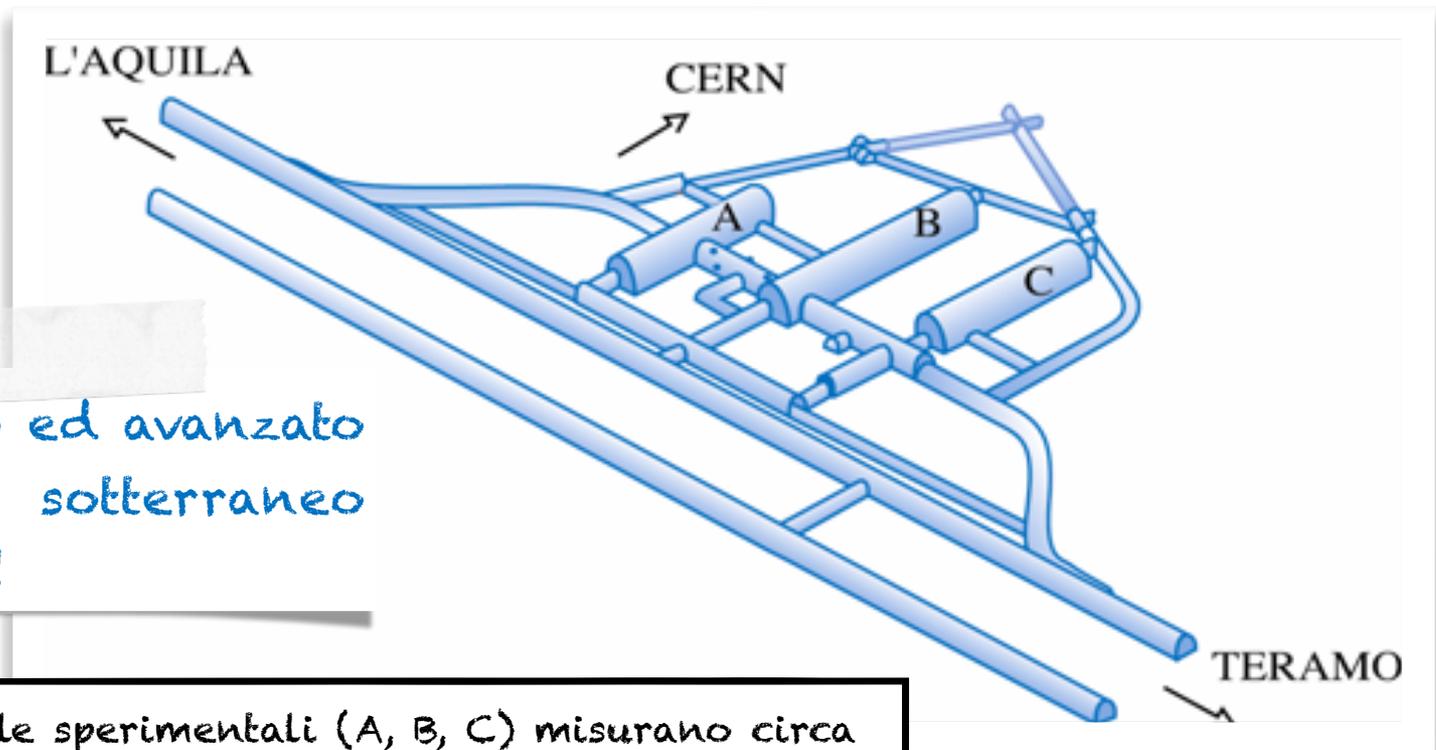


Antonino Zichichi

LNGS - Breve storia (2)

1987 → la costruzione è completata.

1989 → Entra in funzione MACRO, il 1° esperimento sotterraneo.



Il più vasto ed avanzato laboratorio sotterraneo del pianeta!

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

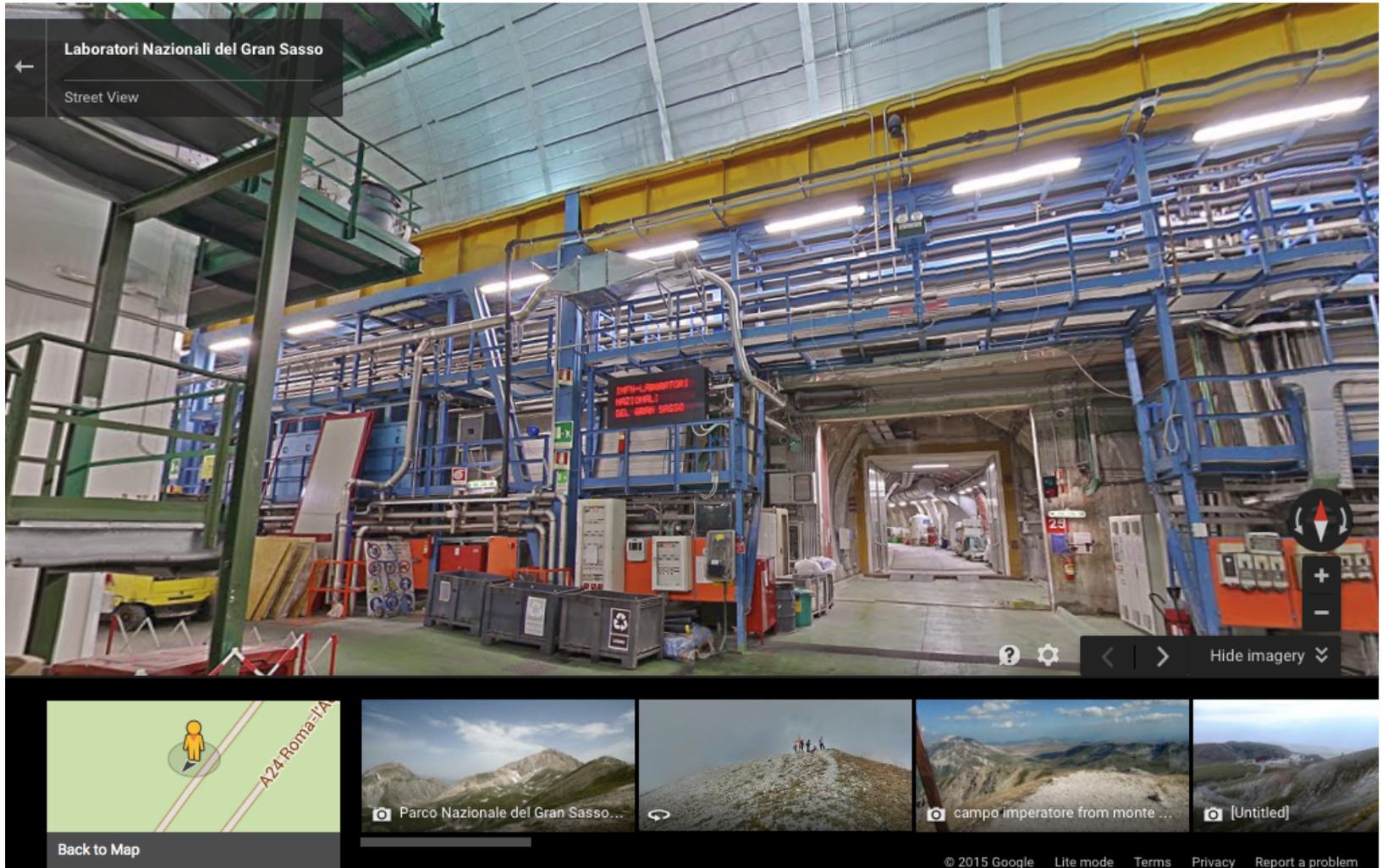
I Laboratori esterni



I Laboratori sotterranei



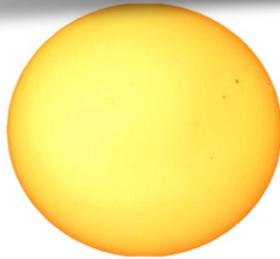
Google Streetview ai LNGS



<https://www.google.it/maps/@42.452767,13.573548,3a,75y,195.41h,99.71t/data=!3m5!1e1!3m3!1sgoFKiyrrwLBaVtMQIStnEQ!2e0!3e5?hl=en>

I neutrini...

Hanno **carica elettrica nulla** e una **massa piccolissima** (considerata nulla fino alla scoperta delle cosiddette "**oscillazioni di neutrini**"). Riescono ad attraversare la materia senza interagire o essere assorbiti: La loro **rivelazione è perciò estremamente difficile**.



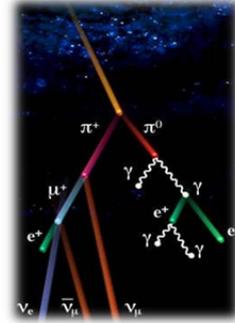
Neutrini Solari



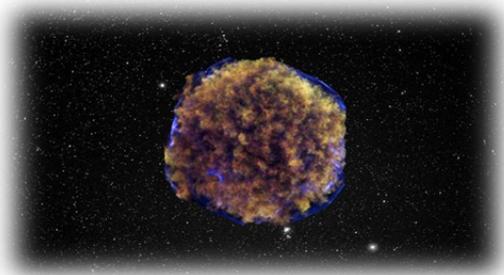
Neutrini Fossili
dal Big Bang



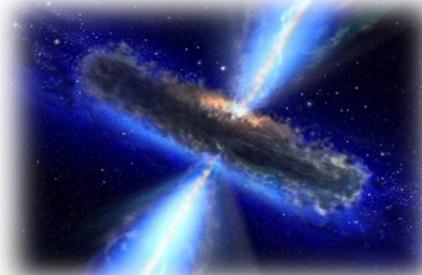
Neutrini Artificiali
da acceleratori



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

Sono tra le particelle più presenti in natura. Vengono prodotti in molti meccanismi con energie che spaziano su parecchi ordini di grandezza.

...oscillano ?!



Esistono 3 famiglie di neutrini (elettrone, muon e tau) e ogni neutrino che viene prodotto "nasce" con un determinato sapore che è legato all'interazione.

Nel tragitto tra il punto di creazione e il punto di interazione il sapore del neutrino può cambiare: i fisici chiamano questo cambiamento "oscillazione di sapore".

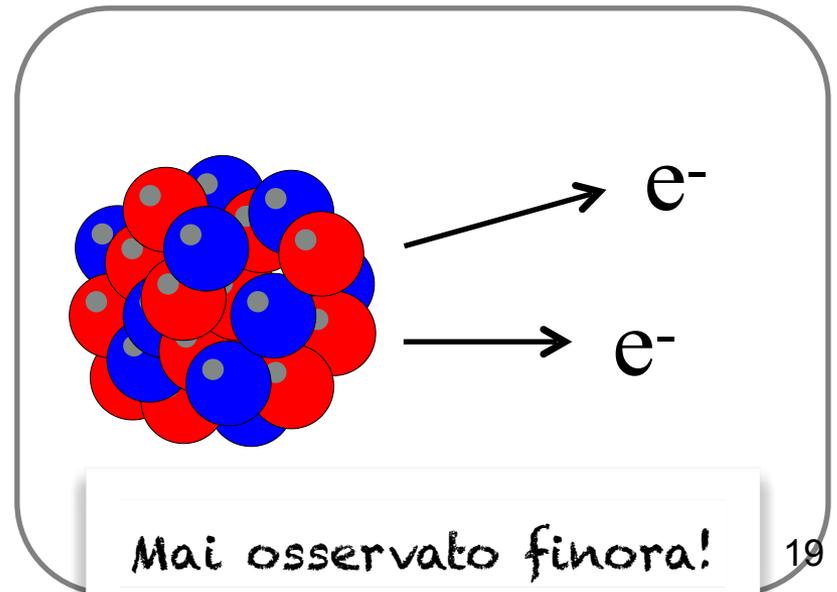
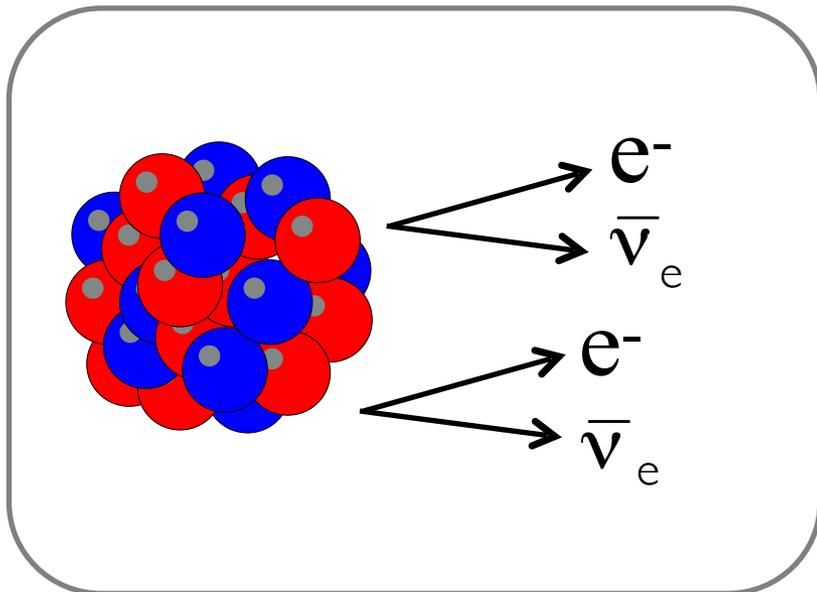
La scoperta che i neutrini cambiano "sapore" ha ottenuto il premio Nobel per la Fisica 2015. Il premio è andato al giapponese Takaaki Kajita e al canadese Arthur B. McDonald per i loro esperimenti Super-Kamiokande e SNO.

Decadimenti rari - Decadimento $\beta\beta$

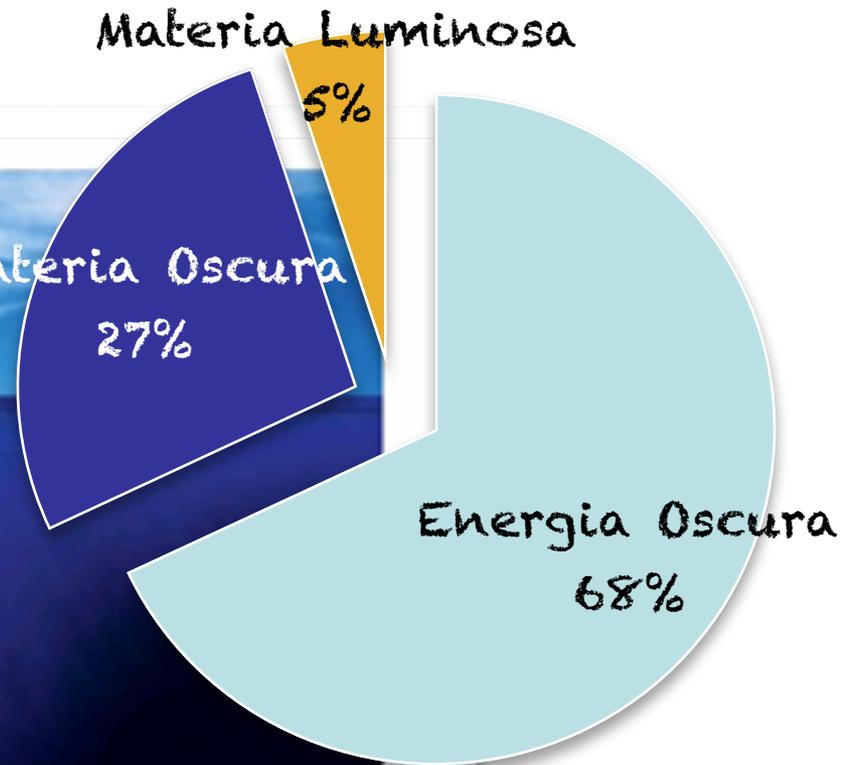
La condizione di "silenzio cosmico" dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso, permette di studiare fenomeni estremamente rari come il decadimento doppio beta.

In un nucleo atomico, 2 neutroni si trasformano simultaneamente in 2 protoni, emettendo 2 elettroni e 2 antineutrini.

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



Conosciamo ancora molto poco del nostro Universo...



La velocità di rotazione della nostra e di molte galassie non è spiegabile in base alla forza gravitazionale della materia luminosa.



I fisici pensano che la materia oscura possa essere sotto forma di particelle ancora sconosciute che orbitano nella nostra galassia

FISICAST sui Laboratori Nazionali del Gran Sasso

[Ascolta QUI](#)



FISICAST
RADIO SCIENZA

www.radioscienza.it/fisicast/

Settantesima puntata

I Laboratori Nazionali del Gran Sasso

di Laura Cardani, Giulia D'Imperio e Claudia Tomei

0:00 / 25:16

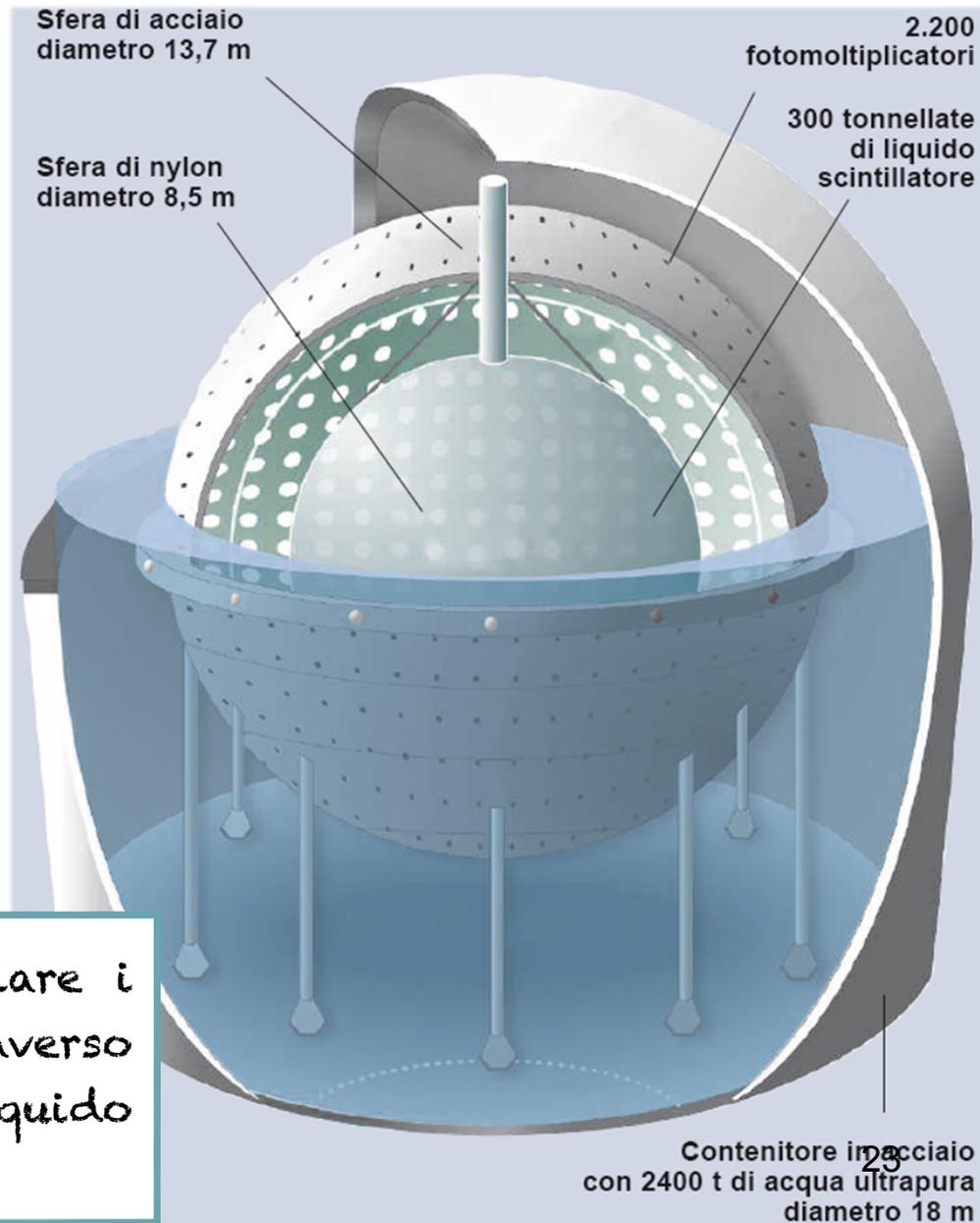
FISICAST - <https://www.radioscienza.it/fisicast/> - è un podcast dove i ricercatori parlano di fisica con il linguaggio di tutti i giorni.

BOREXINO: tanti occhi per i neutrini solari

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.

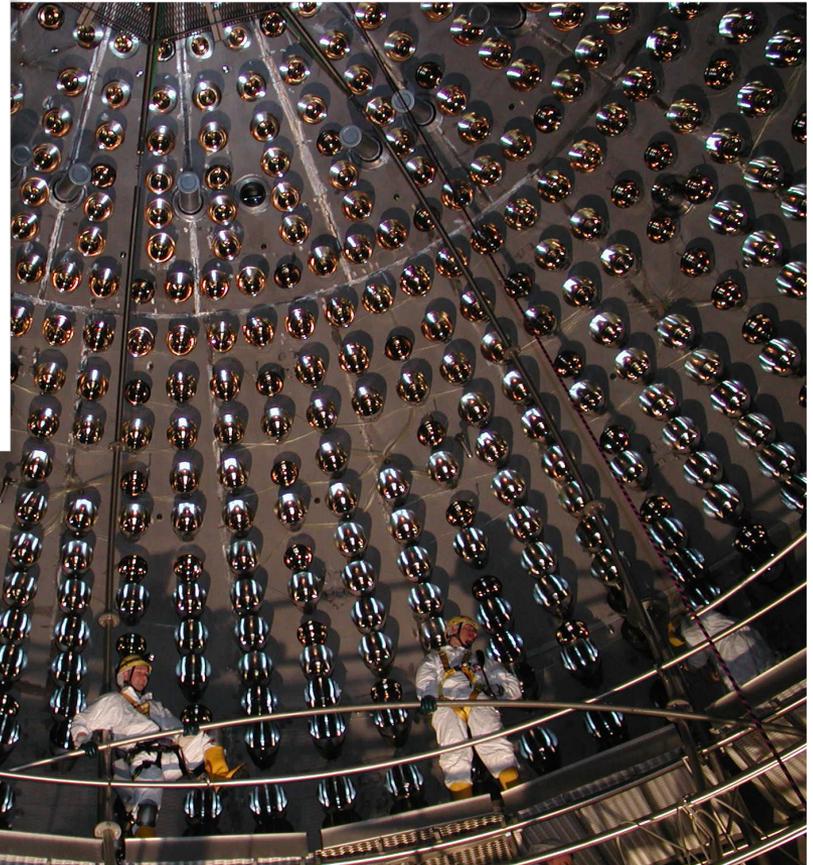
BOREXINO è in grado di rivelare i neutrini prodotti dal Sole attraverso le loro interazioni in un "liquido scintillatore".



BOREXINO: tanti occhi per i neutrini solari

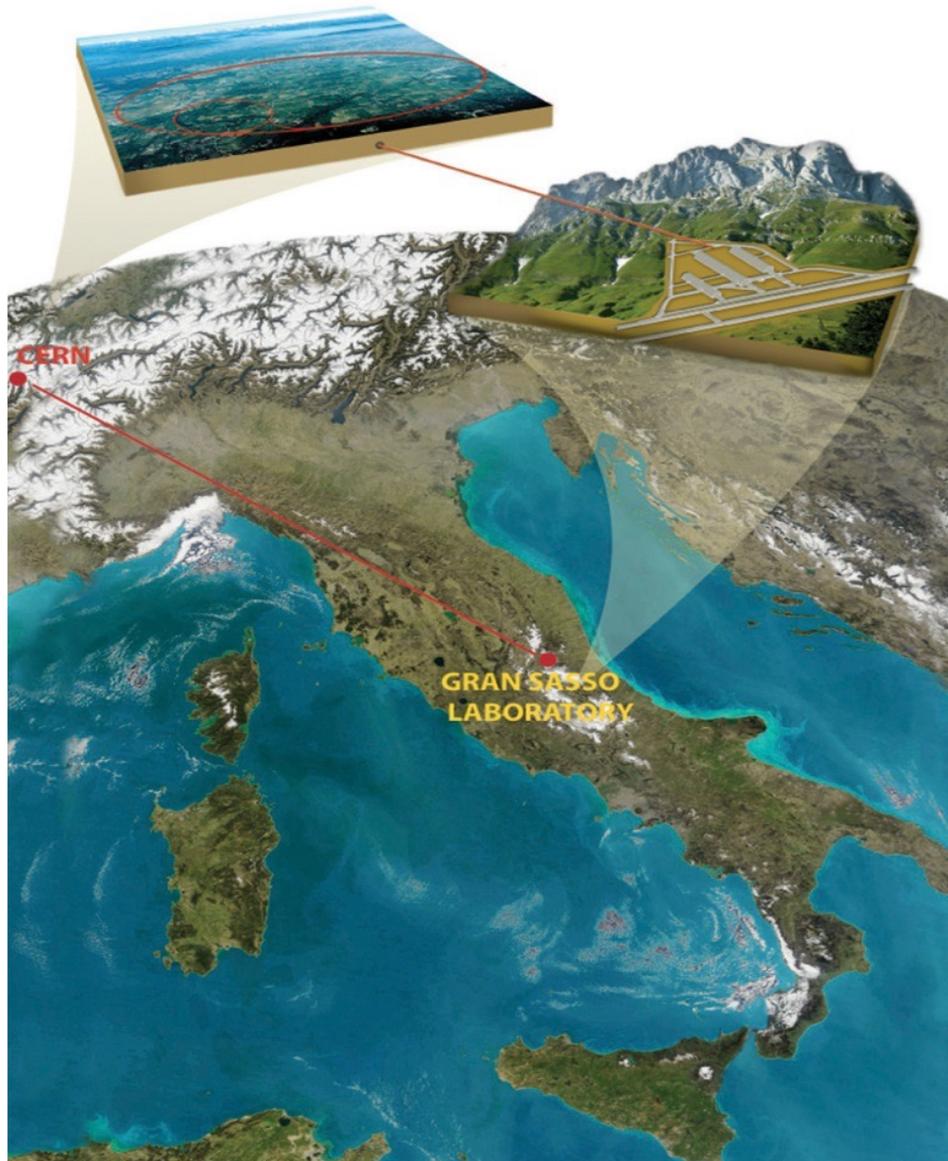


2200 foto-moltiplicatori



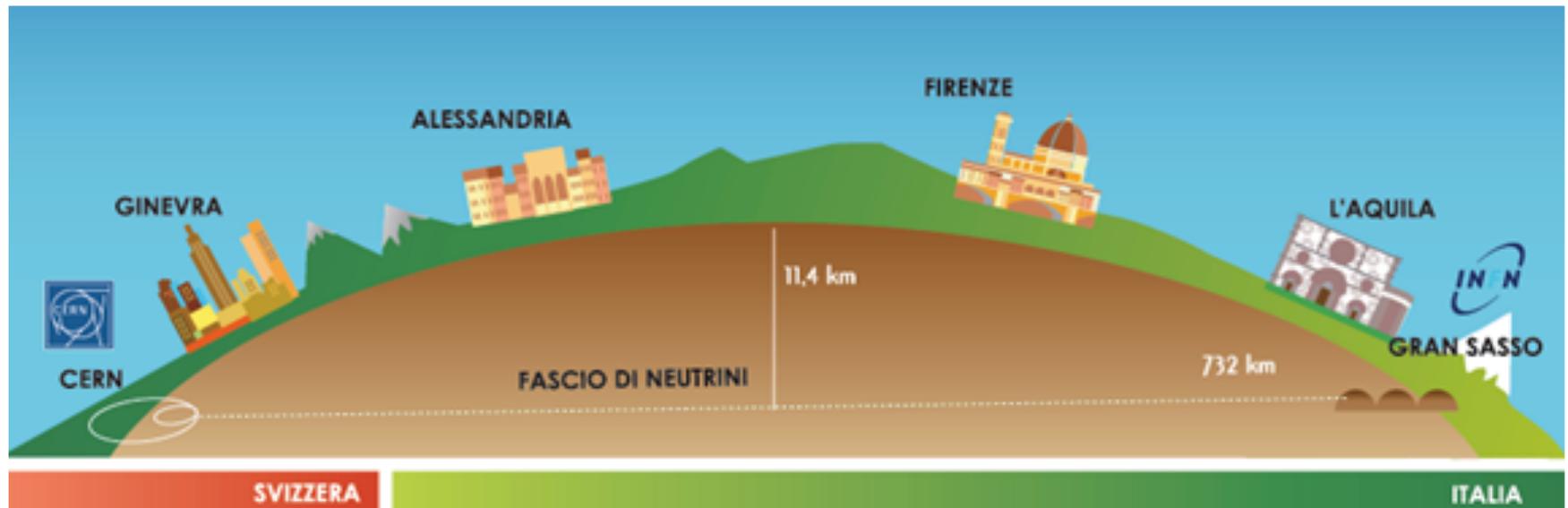
300 tonnellate di
liquido scintillatore

CNGS: CERN Neutrino to Gran Sasso



Lo scopo del progetto è quello di studiare le oscillazioni dei neutrini attraverso l'osservazione ai LNGS dell'apparizione dei neutrini tau in un fascio di neutrini mu. Questi ultimi, infatti, inviati da un acceleratore distante 732 km, durante il loro percorso fino ai LNGS oscillano e si trasformano in neutrini di tipo tau.

Il viaggio dei neutrini



Essendo particelle neutre e quasi prive di massa i neutrini non interagiscono con la materia e possono attraversare indisturbati enormi spessori di roccia o terra senza essere assorbiti. Non hanno bisogno di tunnel!

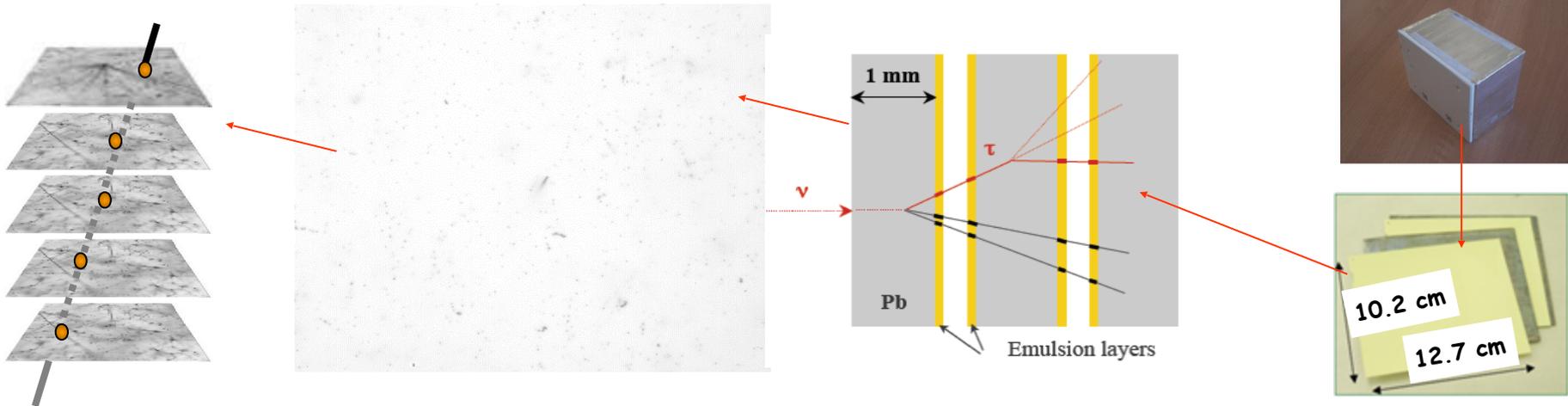
OPERA: Oscillation Project with Emulsion tRacking Apparatus



Una gigantesca macchina fotografica...



2 super-moduli per un totale di 1300 t di massa (oltre 150000 mattoni)



...Ogni giorno vengono estratti circa 25 mattoncini...

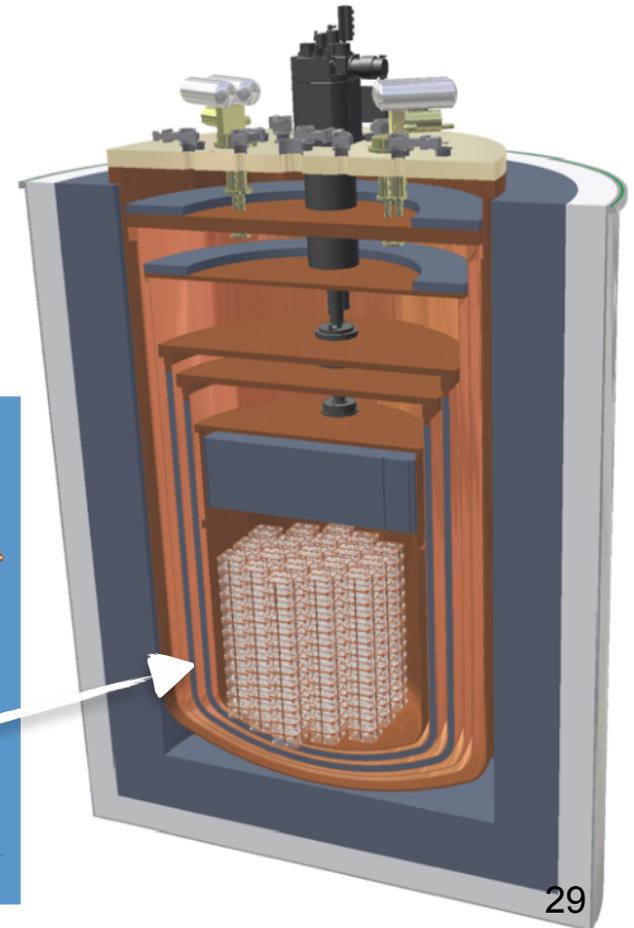
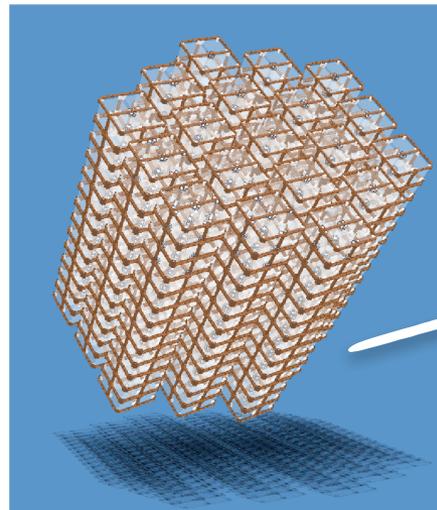
57 fogli di emulsioni nucleari intervallate con 56 fogli di piombo.

CUORE: Cryogenic Underground Observatory for Rare Events

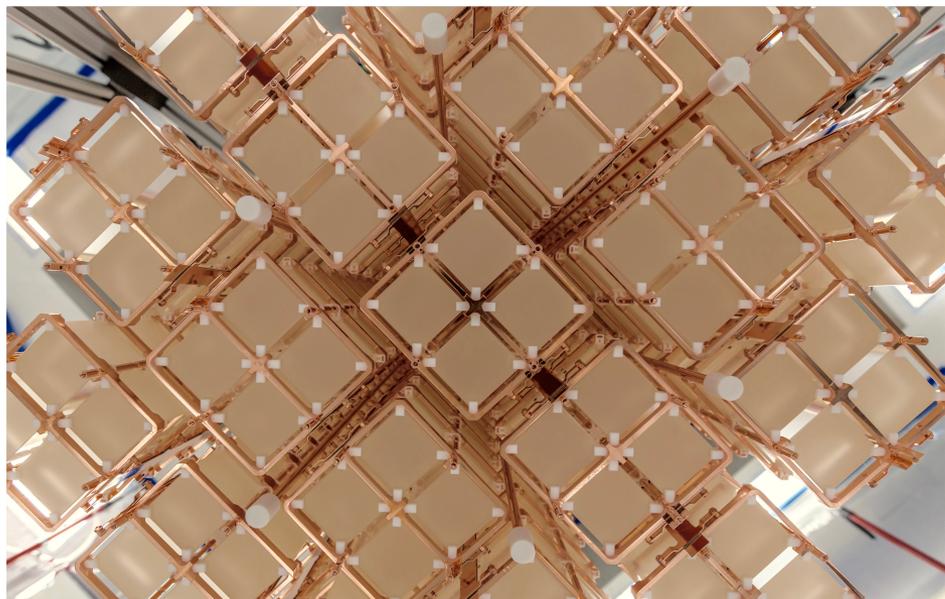
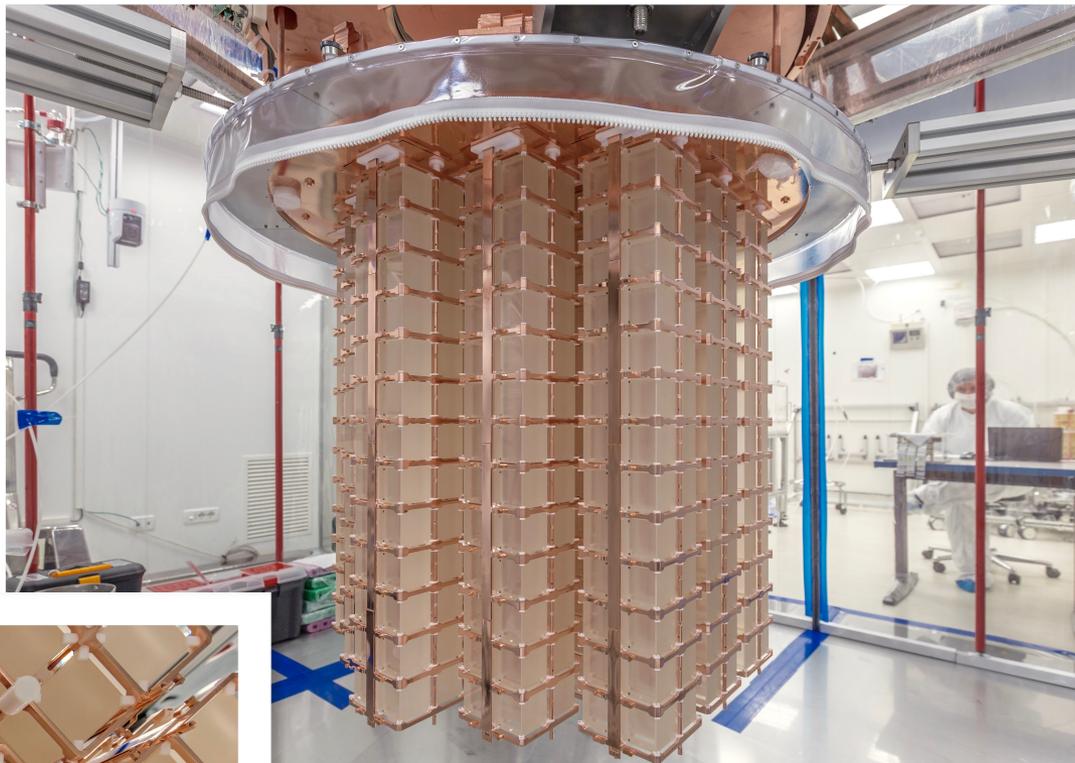
CUORE vuole osservare il decadimento doppio beta senza neutrini del tellurio utilizzando circa 1000 rivelatori di diossido di tellurio (TeO_2), per un totale di circa 750 kg.

I rivelatori di CUORE vengono raffreddati a una temperatura criogenica (10 mK).

Il segnale di un eventuale decadimento causa un riscaldamento del cristallo che viene rivelato da un termometro estremamente sensibile.



Le 19 torri di
CUORE, per un
totale di 988
cristalli



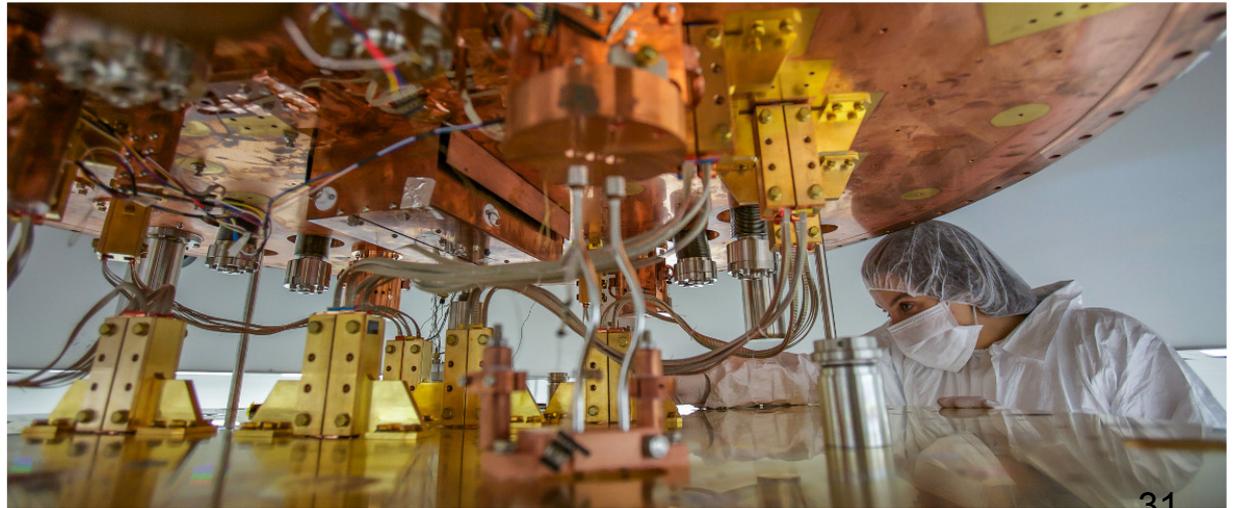
Inaugurato a Ottobre 2017

Curiosità su CUORE...



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, recuperato da una nave affondata e rimasta sott'acqua per secoli.

CUORE, raffreddato a 10 mK, è il metro cubo più freddo dell'intero Universo.



GERDA: GERmanium Detector Array

Lo scopo è scoprire il decadimento doppio beta senza neutrini del Germanio.

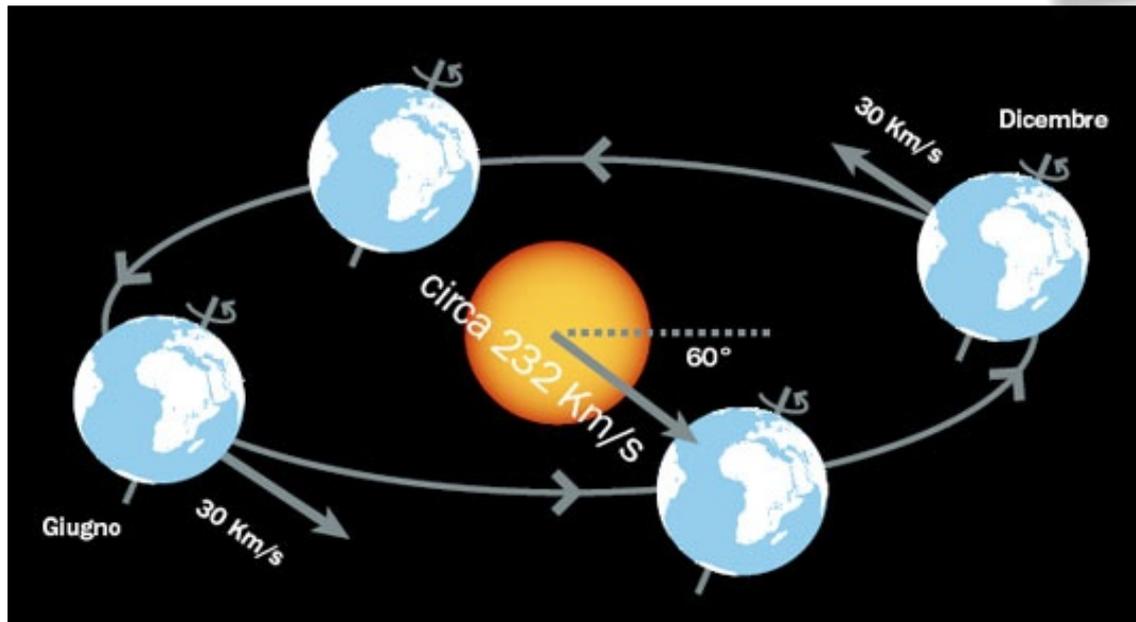
GERDA utilizza rivelatori a germanio immersi in un bagno di argon liquido.



Il tutto all'interno di un gigantesco schermo di acqua.

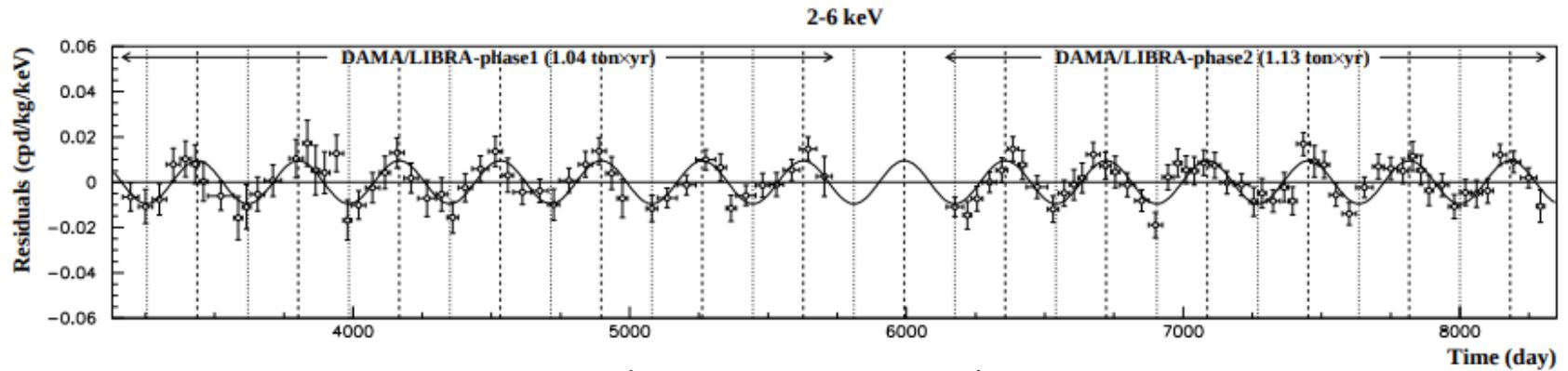
DAMA/LIBRA

Si propone di rivelare l'esistenza di candidati di particelle di materia oscura presenti nella nostra Galassia tramite l'osservazione dell'effetto chiamato **modulazione annuale**.



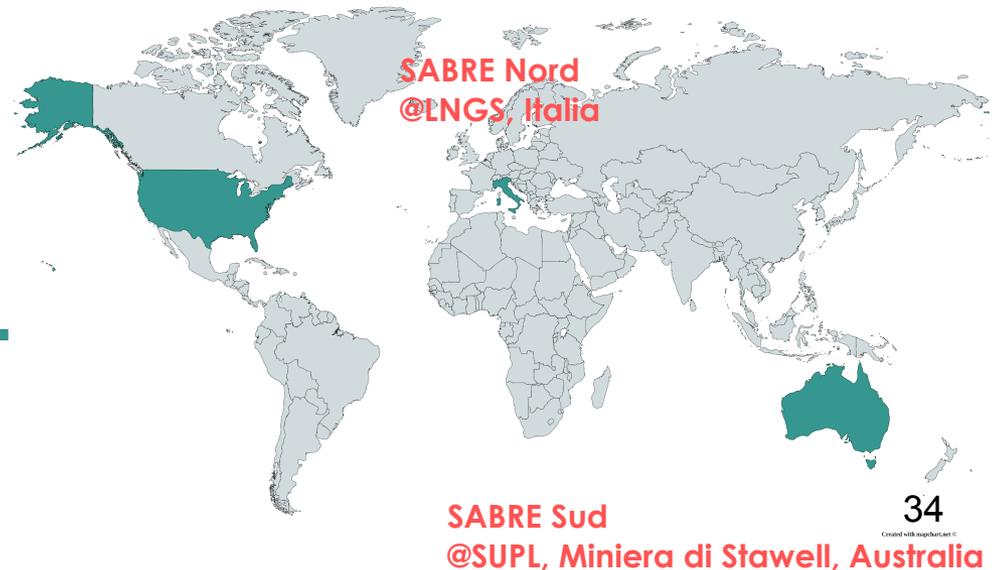
A causa del moto della Terra intorno al Sole, ci aspettiamo di vedere un segnale maggiore in estate che in inverno.

... è davvero Materia Oscura?



Un segnale come quello atteso dalle particelle di Materia Oscura viene osservato dall'esperimento DAMA/LIBRA da quasi 20 anni!

L'esperimento SABRE vuole ripetere la misura nei due emisferi terrestri per dimostrare che è davvero 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.



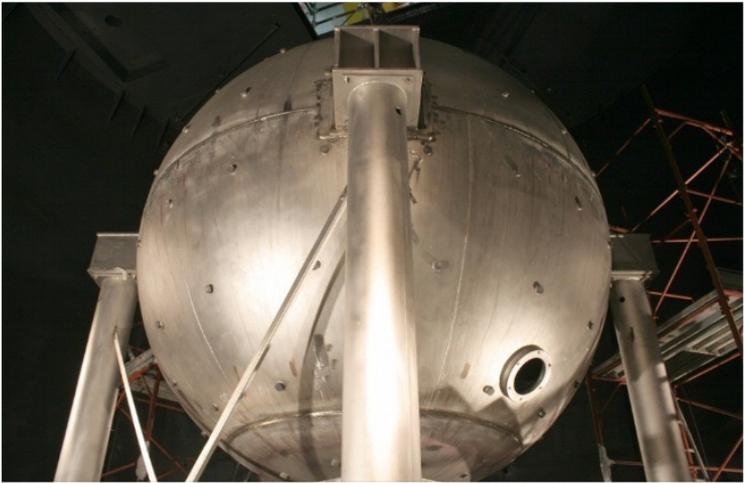
Xenon utilizza come materiale bersaglio dell'esperimento il gas nobile Xeno, sia in fase liquida che gassosa.

I fotomoltiplicatori sono utilizzati per rivelare il lampo di luce prodotto nell'interazione.

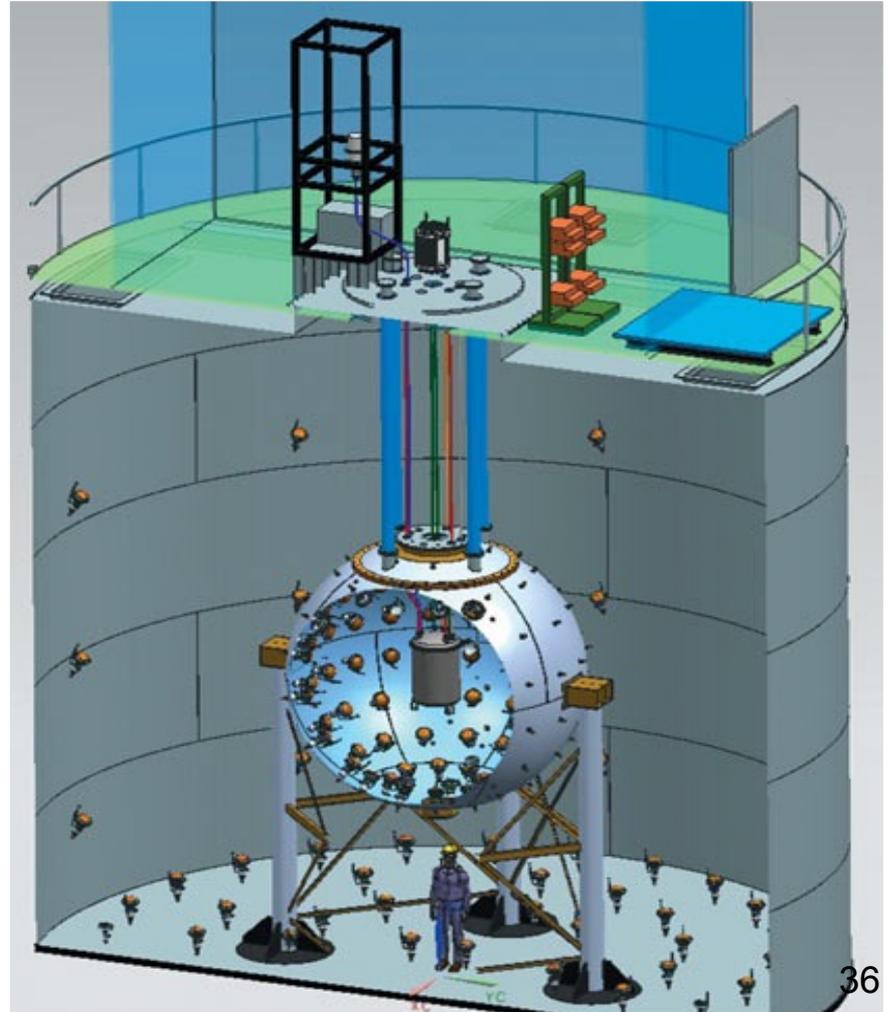


DarkSide

Lo scopo del progetto Dark Side è quello di rivelare le interazioni tra le particelle di Materia Oscura con i nuclei di Argon.



Simile a Xenon ma utilizza come materiale bersaglio il gas nobile Argon, sia in fase liquida che gassosa.



Neutrini dalle stelle

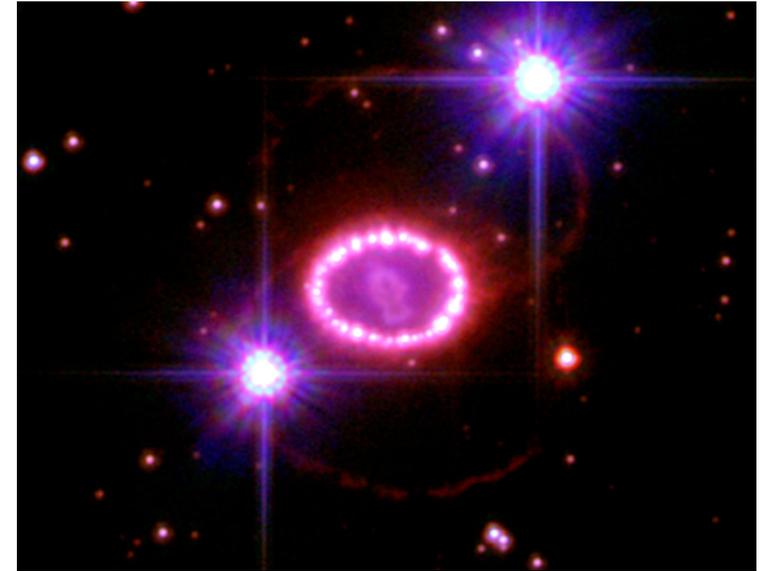
LVD: Large Volume Detector



LVD contiene 1000 t di liquido scintillatore, se una Supernova esplodesse nel centro della nostra Galassia (8.5 kpc) o in una delle Galassie vicine (Nubi di Magellano), sarebbe in grado di rivelare centinaia di neutrini.

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.



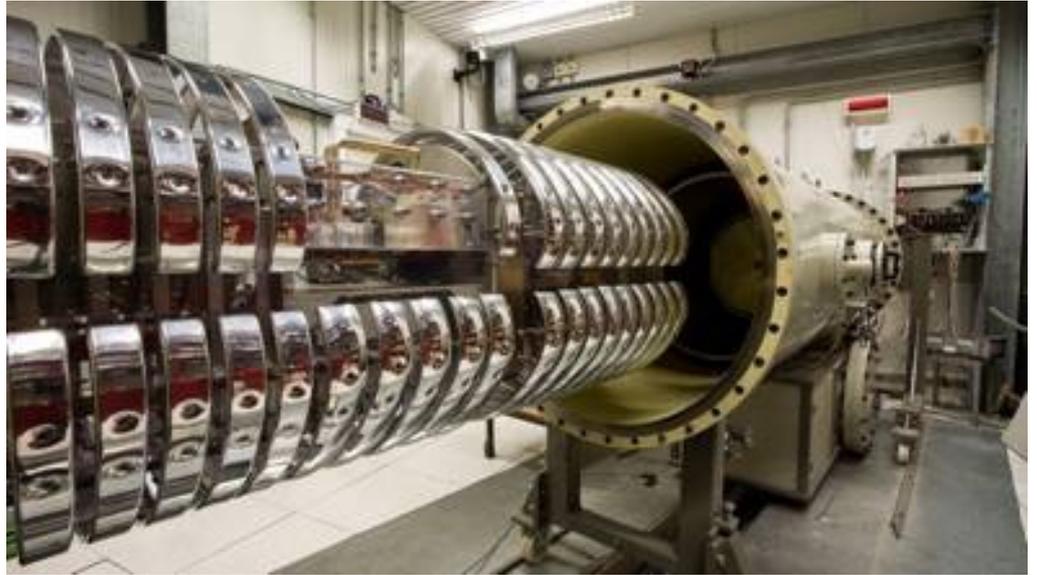
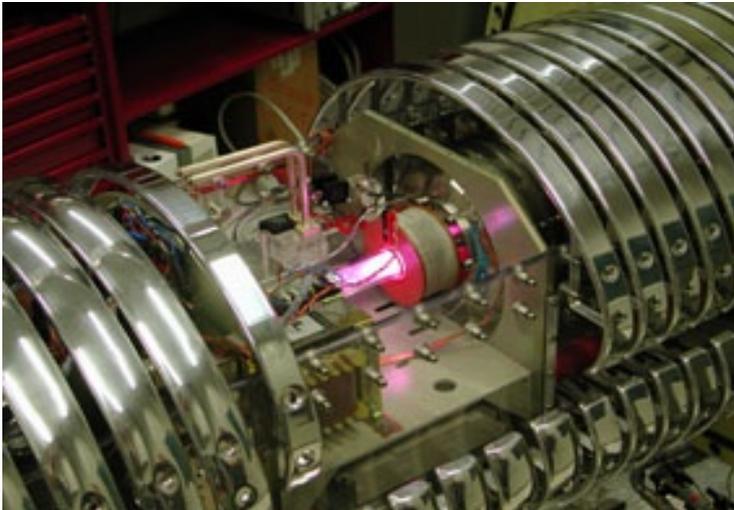
La frequenza attesa di esplosioni di Supernovae nella nostra Galassia è di 2-4 per secolo: per questo motivo l'apparato è in continua presa dati dal 1992!

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.

Riproduce e studia alcune reazioni fondamentali per la vita delle stelle.



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