

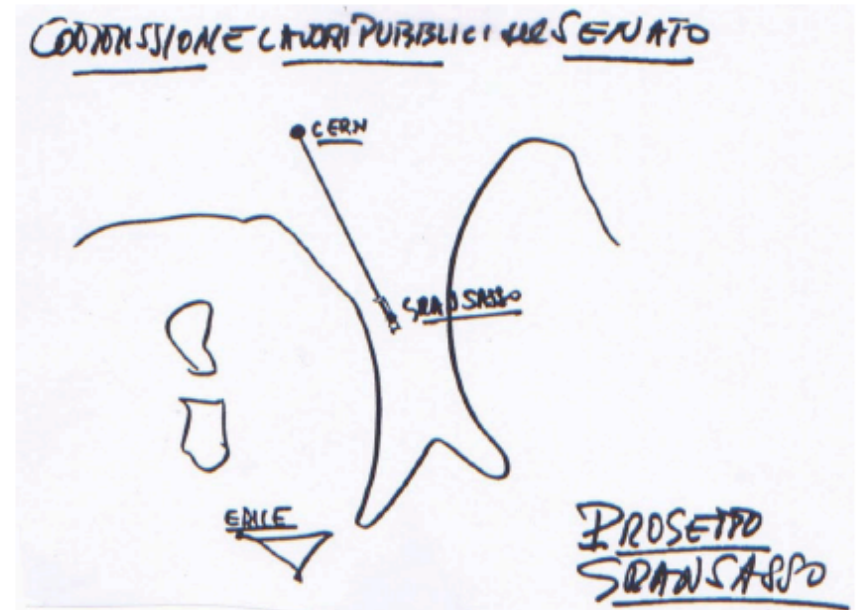
# Frontiere dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso



Stefano Ragazzi – Direttore LNGS - 2014

# LNGS

- 1979 proposta di A. Zichichi al Parlamento
- 1982: Legge di finanziamento
- 1987: fine della costruzione
- 1989: Il primo grande esperimento (MACRO) inizia la presa dati



Note manoscritte di A. Zichichi presentate nella Seduta della Commissione Lavori Pubblici del Senato convocata con urgenza dal Presidente del Senato per discutere la proposta del Progetto Gran Sasso (1979).

To summarize, the scientific aims of the "Gran Sasso" laboratory are the study of:

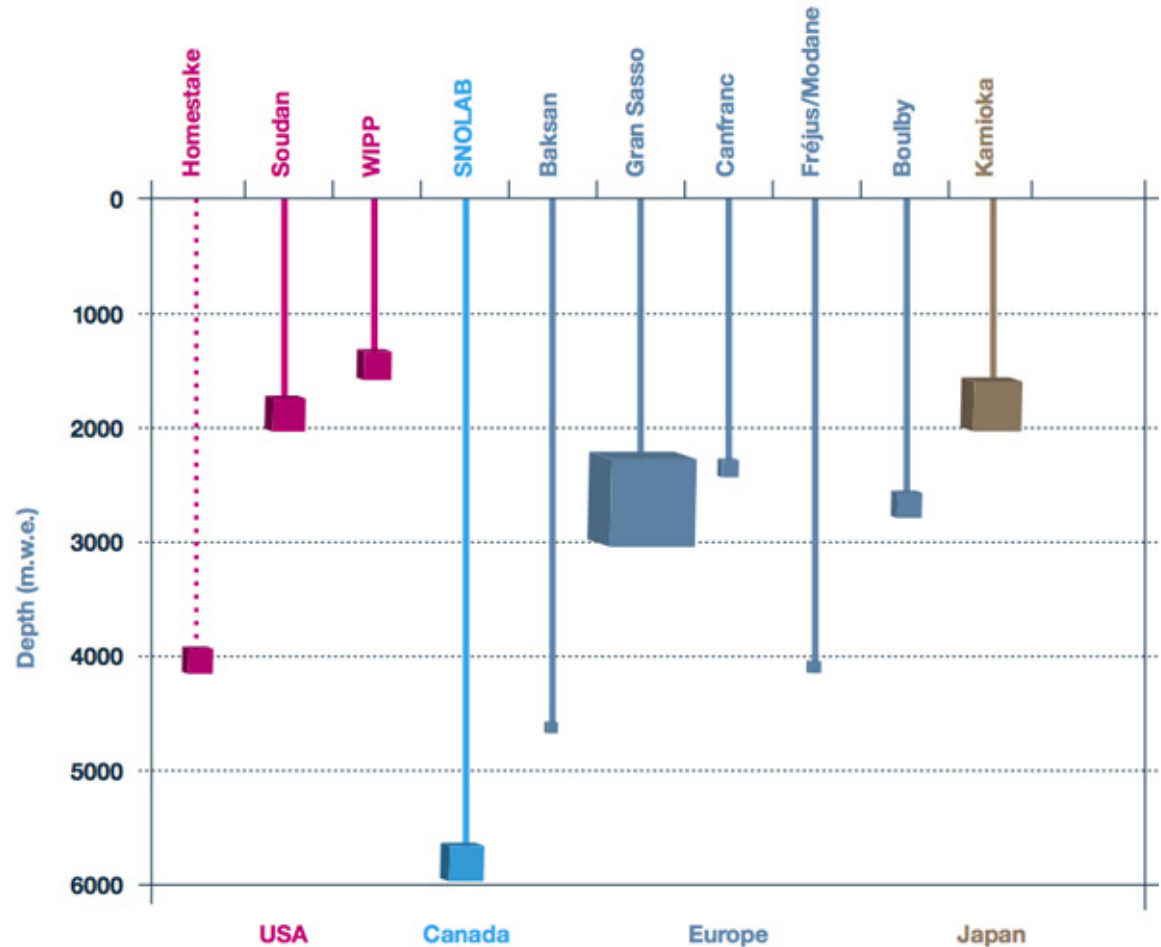
- 1) nuclear stability;
- 2) neutrino astrophysics;
- 3) new cosmic phenomenology;
- 4) neutrino oscillations;
- 5) biologically active matter;
- 6) ground stability.

Not only  
 $\tau_p \neq \infty$



# Laboratori Sotterranei

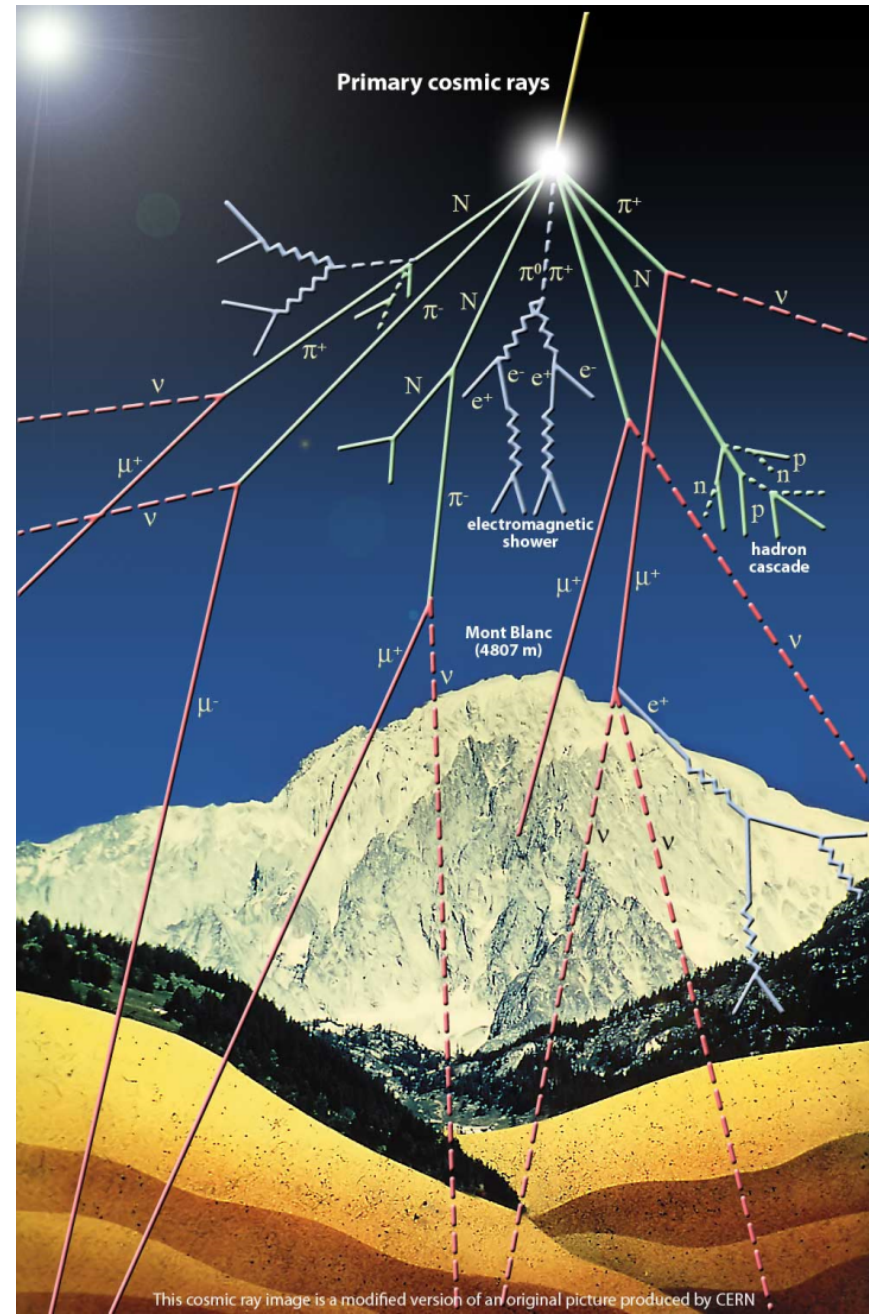
- LNGS
  - Più grande
  - Facilmente accessibile



Plot adapted from <http://www.deepscience.org/contents/facilities.shtml>

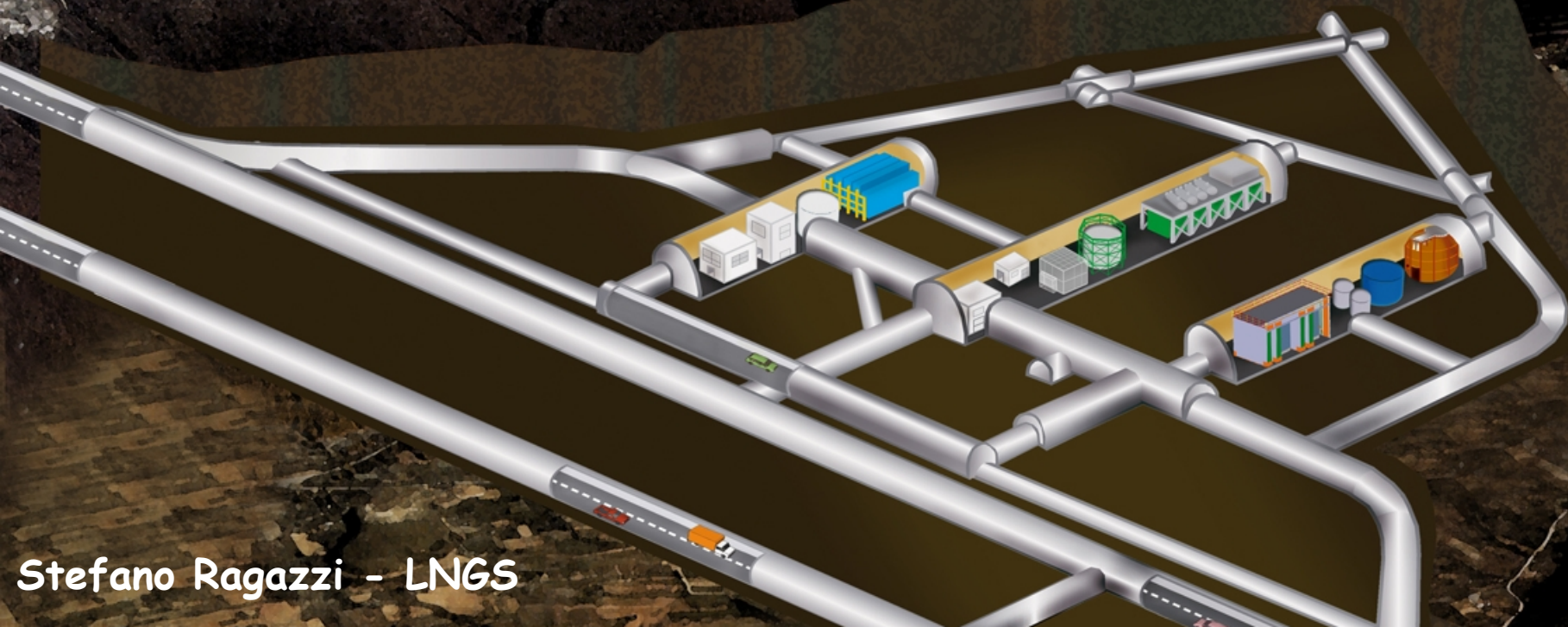
# Perché si realizzano laboratori sotterranei

- Tutti noi siamo esposti a radiazioni ionizzanti
- Contributi alla dose (approx):
  - 1/3 raggi cosmici
  - 1/3 radioattività ambientale
  - 1/3 dose interna ( $^{40}\text{K}$ )
- La terra è costantemente bombardata da particelle cariche (prevalentemente p e He) che interagiscono nell'alta atmosfera e generano cascate di particelle
- Tra queste, i muoni vivono abbastanza a lungo per raggiungere la superficie e sono così energetici da poter penetrare centinaia di metri di roccia

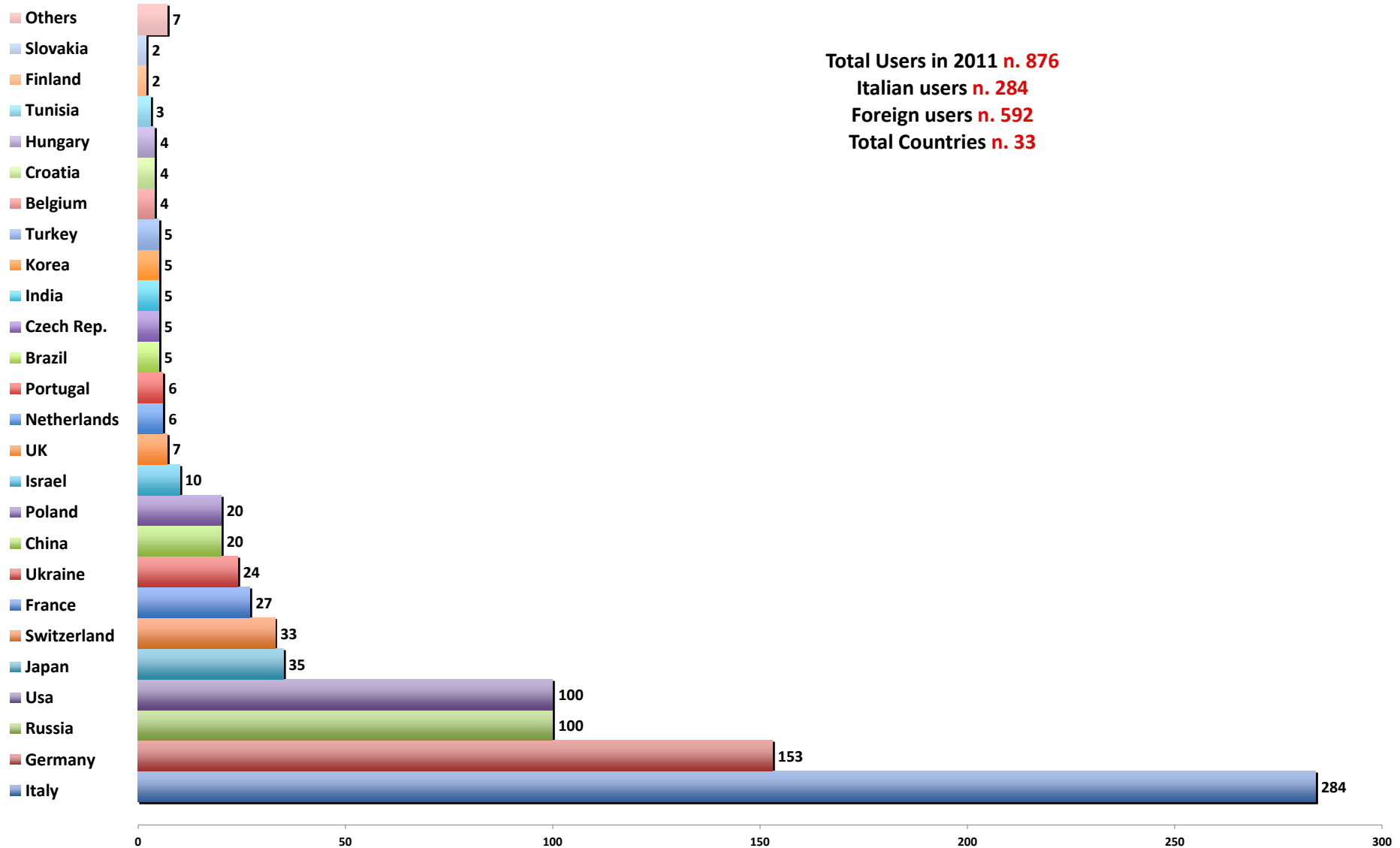




- 1400 m di roccia sovrastante
- Volume sotterraneo: 180000 m<sup>3</sup>

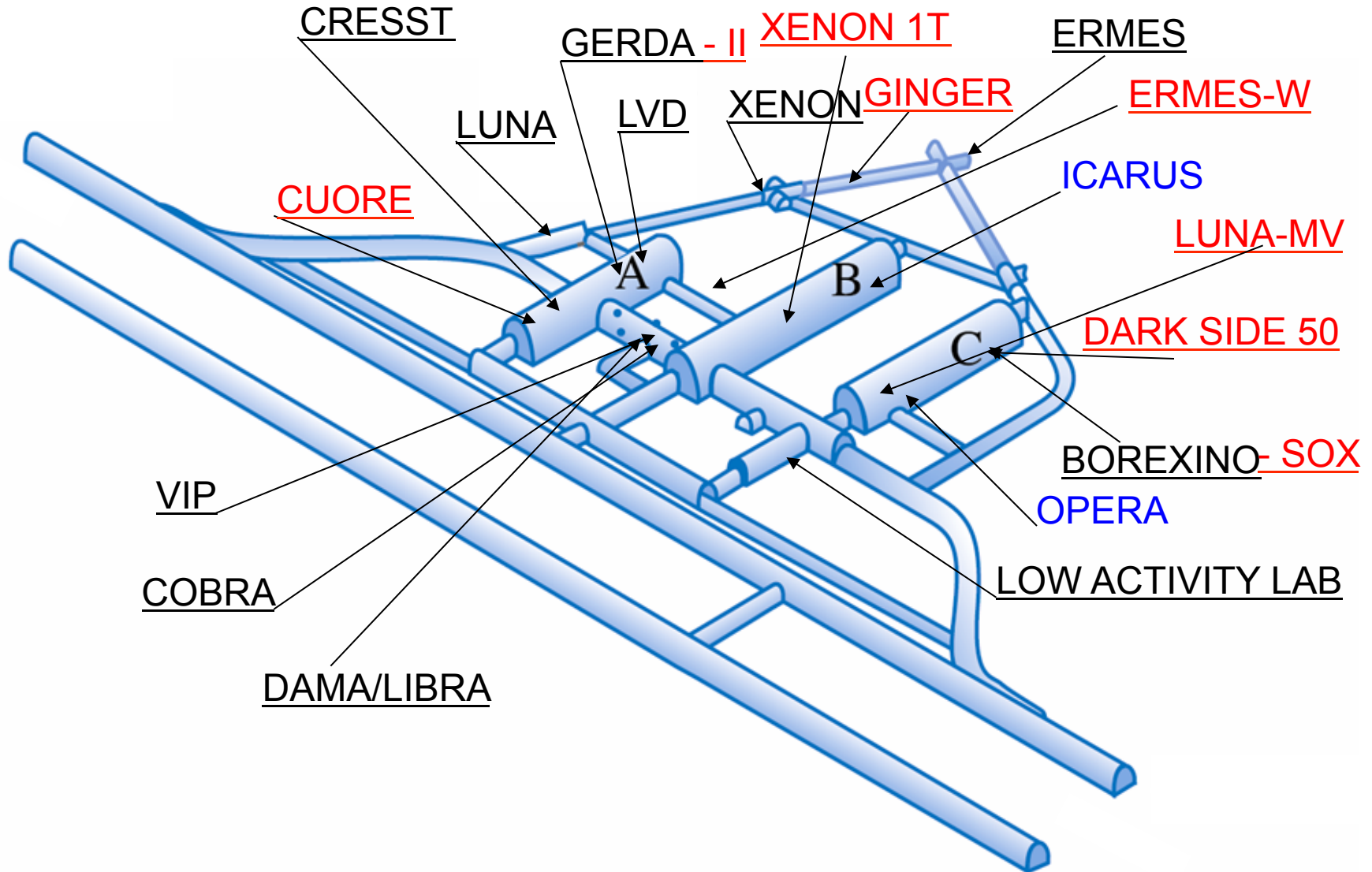


# Laboratorio internazionale





# Attività Intense



# Questioni fondamentali di fisica

- Esperimenti alla **frontiera** della precisione
  - Sfida all'abilità sperimentale e alle tecnologie
  - Test dell'ingegno teorico
  - Un continuo progresso:
    - Una scoperta
      - Apre un nuovo settore della fisica
    - Una misura che corrobora le attese
      - Un importante vincolo per “nuova fisica”

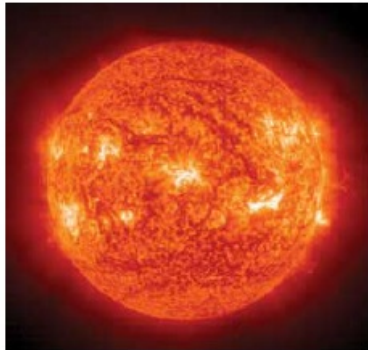


# Fisica dei neutrini

- Neutrini di alta energia
  - Fascio CNGS *concluso*
- Neutrini cosmogenici e solari
  - Attesa di Supernova galattica
  - Misure di precisione di neutrini solari: **Borexino**
- Natura del neutrino (Dirac/Majorana)
  - Ricerche decadimento doppio  $\beta$

# I Neutrini

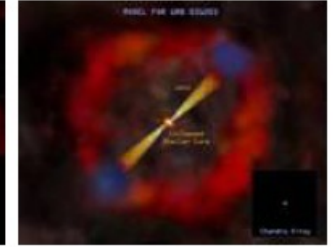
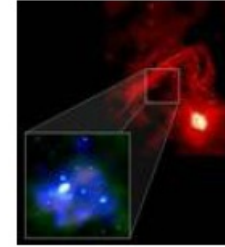
- Esistono **3 diversi tipi** di neutrino:  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$  e  $\nu_\tau$
- Hanno **carica elettrica nulla** e una **massa "piccolissima"**. Riescono ad attraversare la materia senza interagire o essere assorbiti: la loro **rivelazione è perciò estremamente difficile**.
- Considerate particelle prive di massa fino alla scoperta delle cosiddette **"oscillazioni di neutrini"**.



**Neutrini Solari**  
**Produzione:** reazioni termonucleari  
**Energia:** 0.1 - 18.8 MeV  
(Borexino-Icarus-GNO)



**Neutrini Fossili**  
**Produzione:** Big Bang  
**Energia:** < 1 milionesimo dell'energia dei neutrini solari



**Neutrini Astrofisici**  
**Produzione:** AGN, SN remnants, GRB, ...  
**Energia:**  $10^6 - 10^{11}$  GeV

**Neutrini Atmosferici**  
**Produzione:** interazioni di raggi cosmici in atmosfera  
**Energia:** 100 MeV -  $10^6$  GeV  
(MACRO- ~ OPERA-ICARUS)

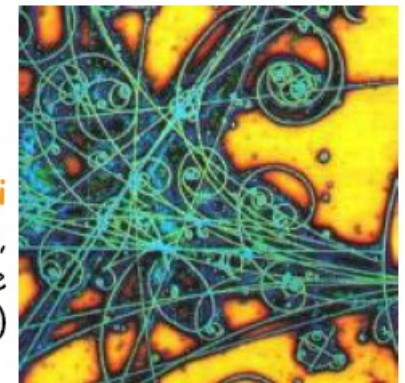


**Neutrini da Supernova**  
**Produzione:** collasso del nucleo  
**Energia:** diverse decine di MeV  
(~ Borexino-LVD-ICARUS)

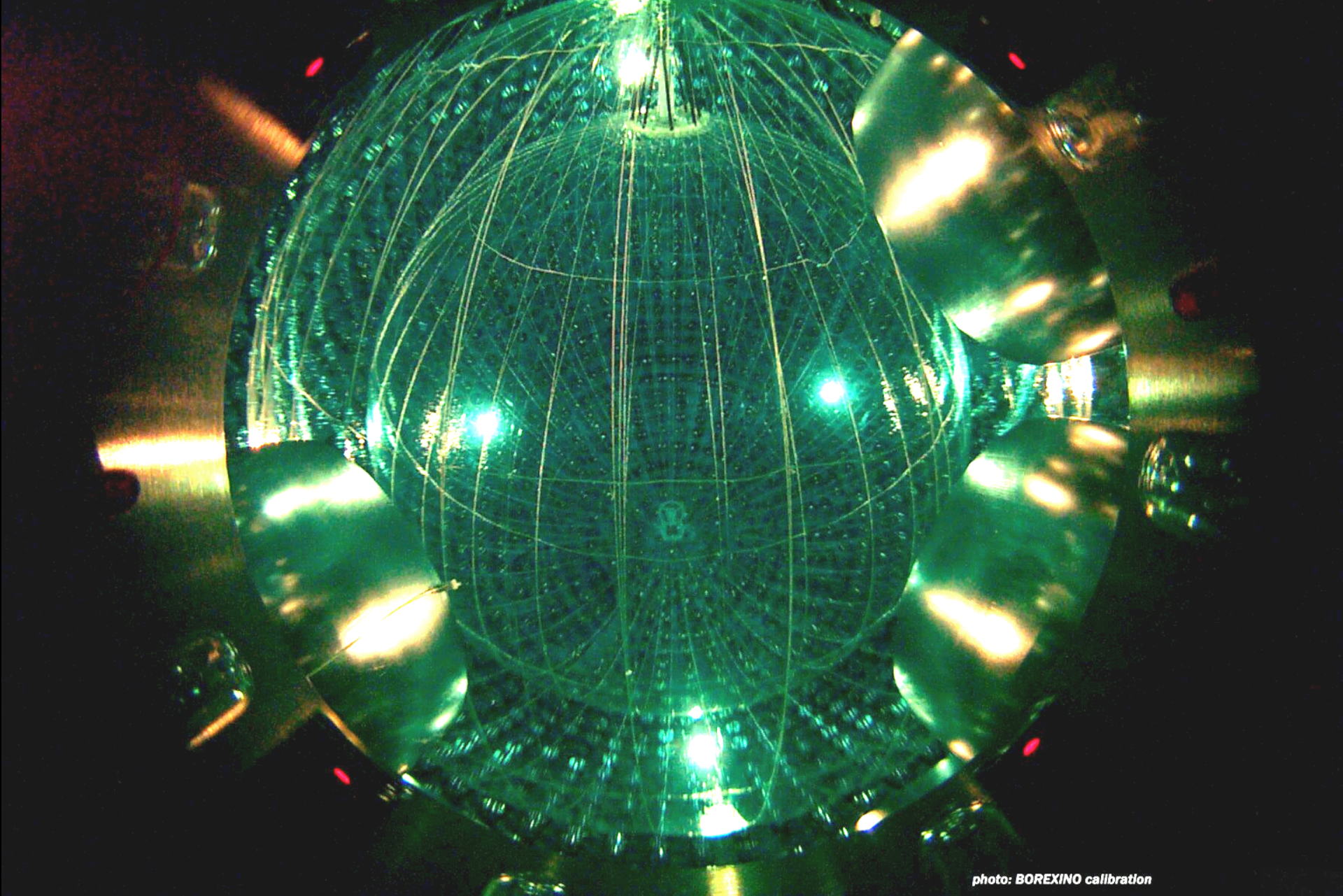


**Neutrini Terrestri**  
**Produzione:** decadimenti radioattivi  
**Energia:** MeV  
(Borexino)

**Neutrini Artificiali**  
**Produzione:** reattori nucleari, acceleratori di particelle  
(Icarus-OPERA)





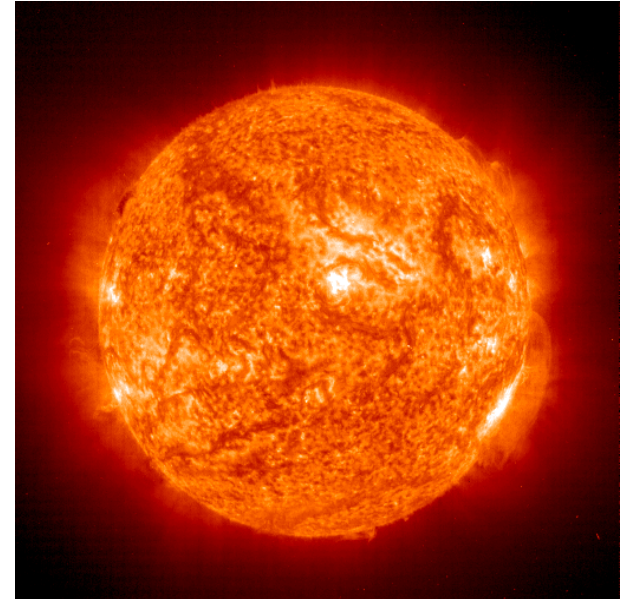


*photo: BOREXINO calibration*

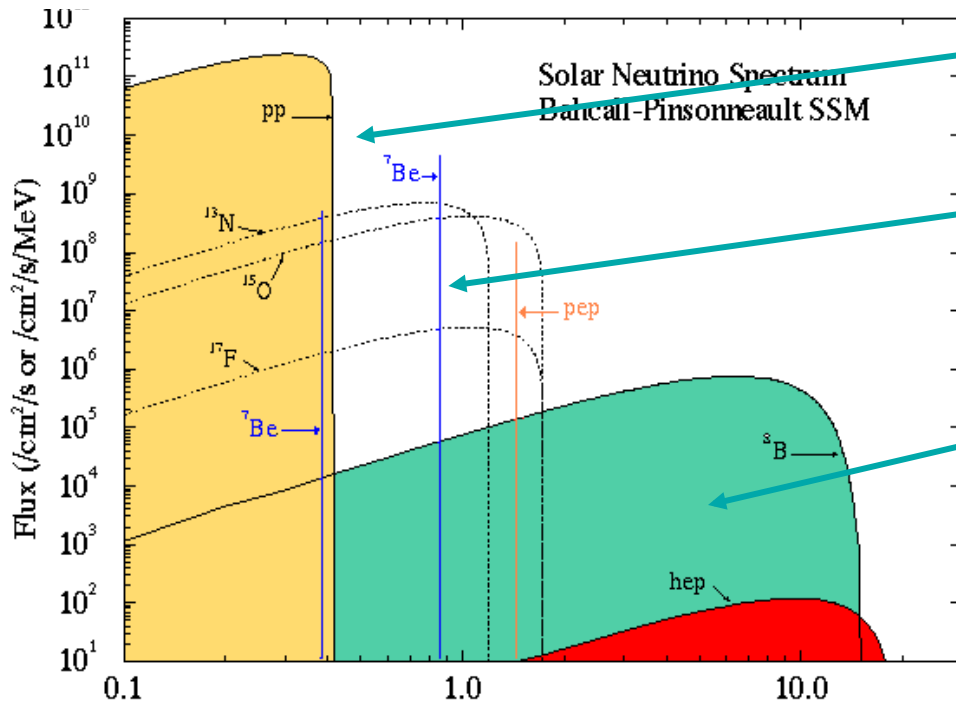
**BOREXINO è in grado di rivelare in tempo reale neutrini di bassa energia (ad esempio prodotti dal Sole e dal nostro pianeta) attraverso le loro interazioni in un “liquido scintillatore”.**



# Neutrini solari



- Neutrini vengono prodotti nelle reazioni di fusione nucleare nel sole
- Sono la sola misura **immediata** di ciò che avviene nel sole
- Borexino è il solo esperimento ad aver misurato i neutrini della reazione principale p-p



$pp \rightarrow ^2\text{H} + e^+ + \nu_e$	
$^2\text{H} + p \rightarrow ^3\text{He} + \gamma$	
$^3\text{He} + ^3\text{He} \rightarrow ^4\text{He} + 2p$	85%
$^3\text{He} + ^4\text{He} \rightarrow ^7\text{Be} + \gamma$	15%
$e^- + ^7\text{Be} \rightarrow ^7\text{Li} + \nu_e$	
$^7\text{Li} + p \rightarrow 2^4\text{He}$	
$p + ^7\text{Be} \rightarrow ^8\text{B} + \gamma$	0.02%
$^8\text{B} \rightarrow ^8\text{Be}^* + e^+ + \nu_e$	
$^8\text{Be}^* \rightarrow 2^4\text{He}$	

# Una risposta mancante



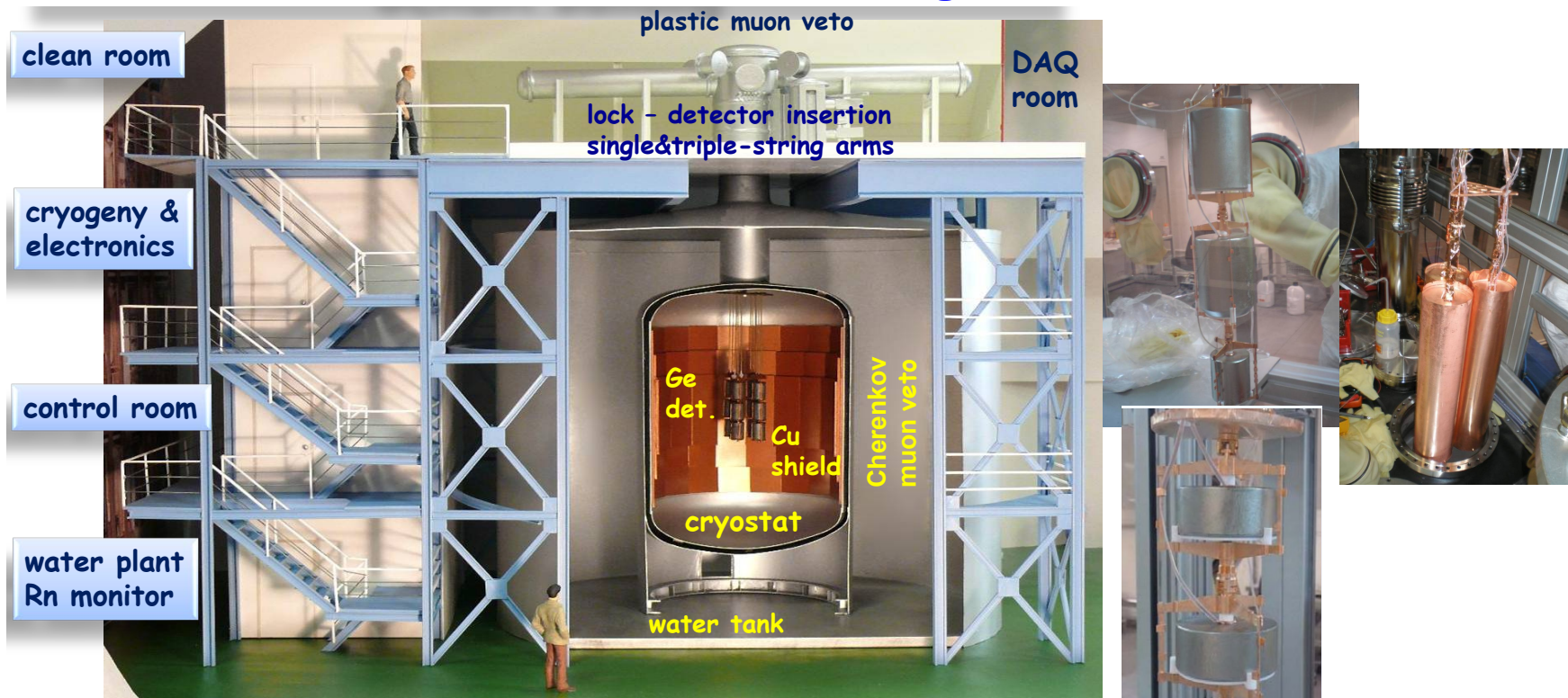
$$\mathbf{V}_L^M \begin{array}{c} \xleftarrow{\text{CPT}} \\ \xrightarrow{\text{Lorentz}} \end{array} \mathbf{V}_R^M$$

Majorana

$$\begin{array}{ccc} \mathbf{V}_L^D & \xleftrightarrow{\text{Lorentz}} & \mathbf{V}_R^D \\ \text{CPT} \updownarrow & & \updownarrow \text{CPT} \\ \overline{\mathbf{V}}_R^D & \xleftrightarrow{\text{Lorentz}} & \overline{\mathbf{V}}_L^D \end{array}$$

Dirac

# GERDA



The GERDA collaboration, Eur. Phys. J. C 73 (2013)

- 3 + 1 strings
- 8 enriched Coaxial detectors: working mass 14.6 kg (2 of them are not working due to high leakage current)
- GTF112 natural Ge: 3.0 kg
- 5 enriched BEGe: working mass 3.0 kg (testing Phase II concept)



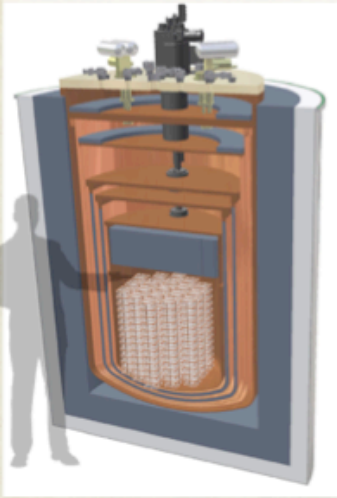
# GERmanium Detector Array



L'esperimento GERDA è dedicato allo studio del decadimento  $\beta\beta$  senza neutrini dell'isotopo  $^{76}\text{Ge}$  approfondendo lo studio fatto dall'esperimento Heidelberg-Moscow, che è stato in funzione in questi laboratori per più di 10 anni e che fino ad ora rimane il più sensibile al mondo in questo campo di ricerca. GERDA, utilizza rivelatori a semiconduttore arricchiti nell'isotopo  $^{76}\text{Ge}$  che funzioneranno immersi in una schermatura criogenica.

# CUORE

Searching for neutrinoless double beta  
decay of  $^{130}\text{Te}$



200 Kg

$^{130}\text{Te}$



**CUORE Hut**



Expected 5 Years sensitivity:  
 $T_{1/2} = 2.1 \times 10^{26} \text{ y}$ ,  $m_{\beta\beta} = 41-95 \text{ meV}$   
background counting rate  
 $10^{-2} \text{ c/keV/kg/y}$

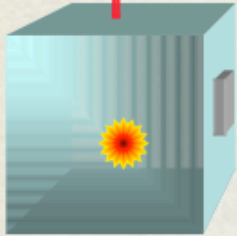


# CUORE Principle

heat sink ( $T_0$ )



(thermal conductance  $G$ )



thermometer

$\beta\beta$  atom x-tal

$T_0 \sim 10$  mK

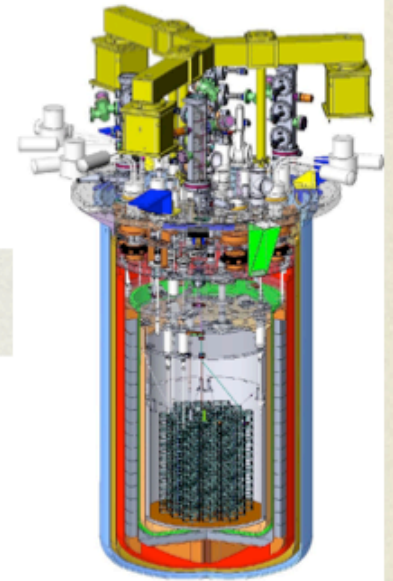
$C \sim 2$  nJ/K  $\sim 1$  MeV/0.1 mK

$G \sim 4$  pW/mK

Basic Physics:  $\Delta T = E/C$

$$C(T) = \beta \frac{m}{M} \left( \frac{T}{\Theta_D} \right)^3$$

$$\Delta T(t) = \frac{\Delta E}{C} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$



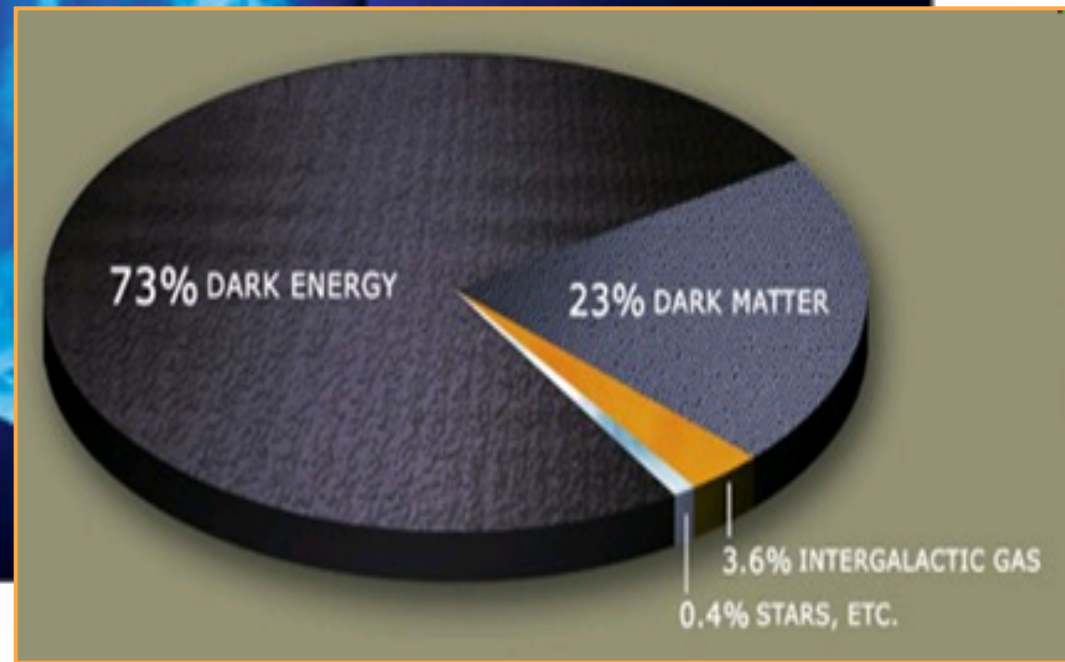
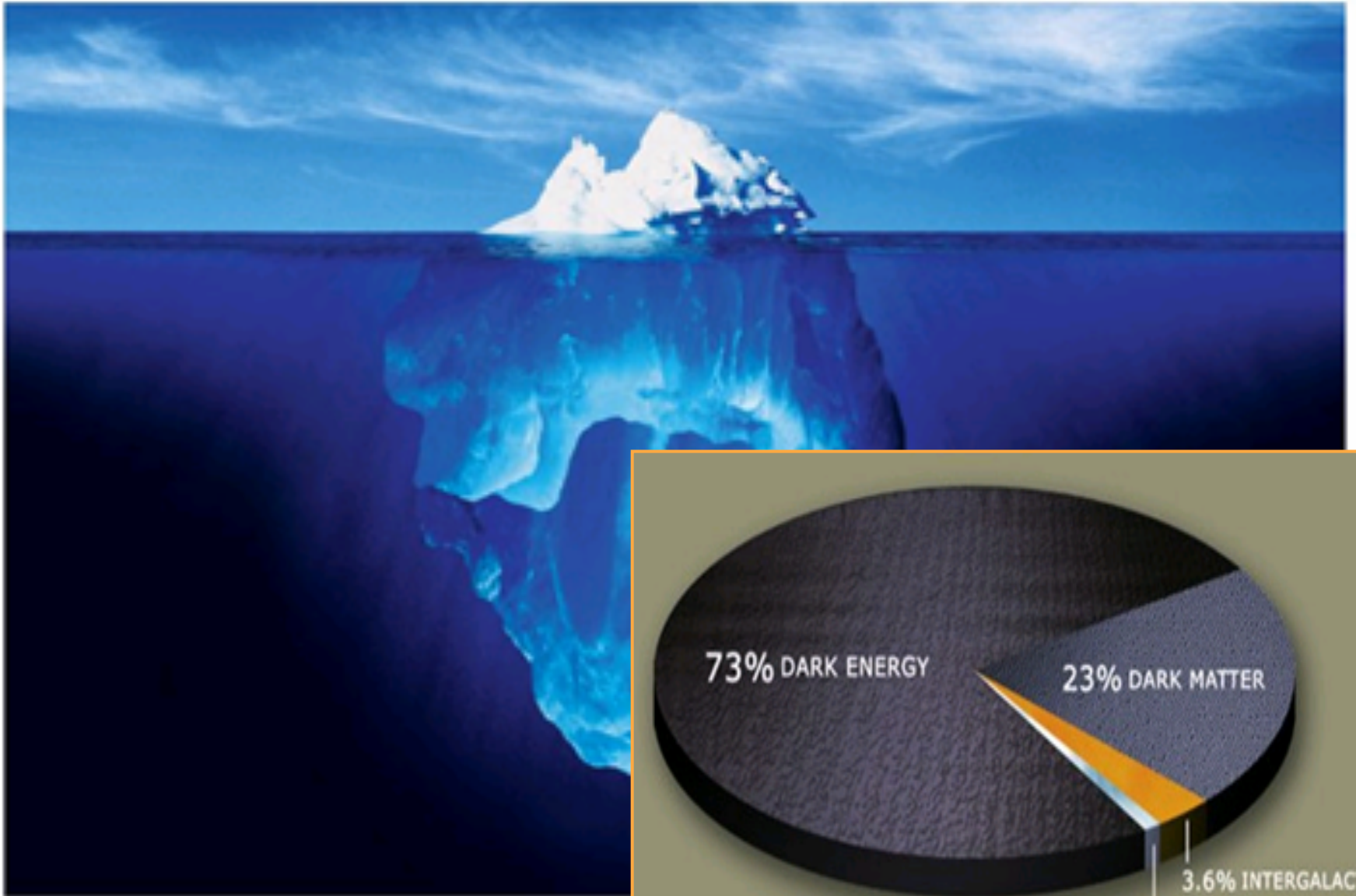


# LUNA

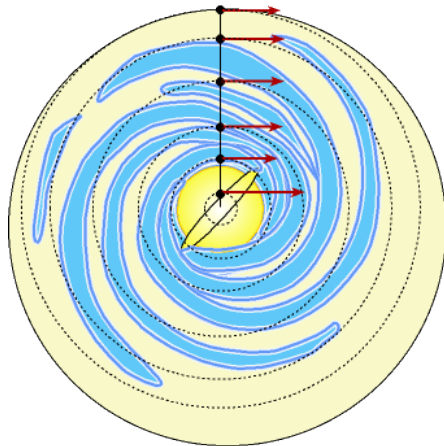
## Una famiglia di acceleratori sotterranei per comprendere la nucleosintesi

- Neutrini solari:
  - ${}^3\text{He}({}^3\text{He}, 2p){}^4\text{He}$ ,  ${}^3\text{He}({}^4\text{He}, \gamma){}^7\text{Be}$ ,  ${}^{14}\text{N}(p, \gamma){}^{15}\text{O}$
- Età di globular cluster:
  - ${}^{14}\text{N}(p, \gamma){}^{15}\text{O}$
- Nucleosintesi dei nuclei leggeri
  - ( ${}^{17/18}\text{O}$  abundances,  ${}^{19}\text{F}$  production,  ${}^{26}\text{Mg}$  excess,...):
    - ${}^{15}\text{N}(p, \gamma){}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{17}\text{N}(p, \gamma){}^{18}\text{O}$ ,  ${}^{25}\text{Mg}(p, \gamma){}^{26}\text{Al}$
- Nucleosynthesis al Big Bang:
  - ${}^2\text{H}(\alpha, \gamma){}^6\text{Li}$ ,  ${}^3\text{He}({}^4\text{He}, \gamma){}^7\text{Be}$ ,  ${}^2\text{H}(p, \gamma){}^3\text{He}$
- Programma futuro:
- Nucleosintesi dei nuclei leggeri:
  - ${}^{17}\text{O}(p, \alpha){}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{22}\text{Ne}(p, \gamma){}^{23}\text{Na}$ ,  ${}^{23}\text{Na}(p, \gamma){}^{24}\text{Mg}$ ,  ${}^{18}\text{O}(p, \gamma){}^{19}\text{F}$ ,  ${}^{18}\text{O}(p, \alpha){}^{15}\text{N}$
- “He burning” ed evoluzione stellare:
  - ${}^{12}\text{C}(\alpha, \gamma){}^{16}\text{O}$
- s process nucleosynthesis:
  - ${}^{13}\text{C}(\alpha, n){}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{22}\text{Ne}(\alpha, n){}^{25}\text{Mg}$

# La sfida più difficile...

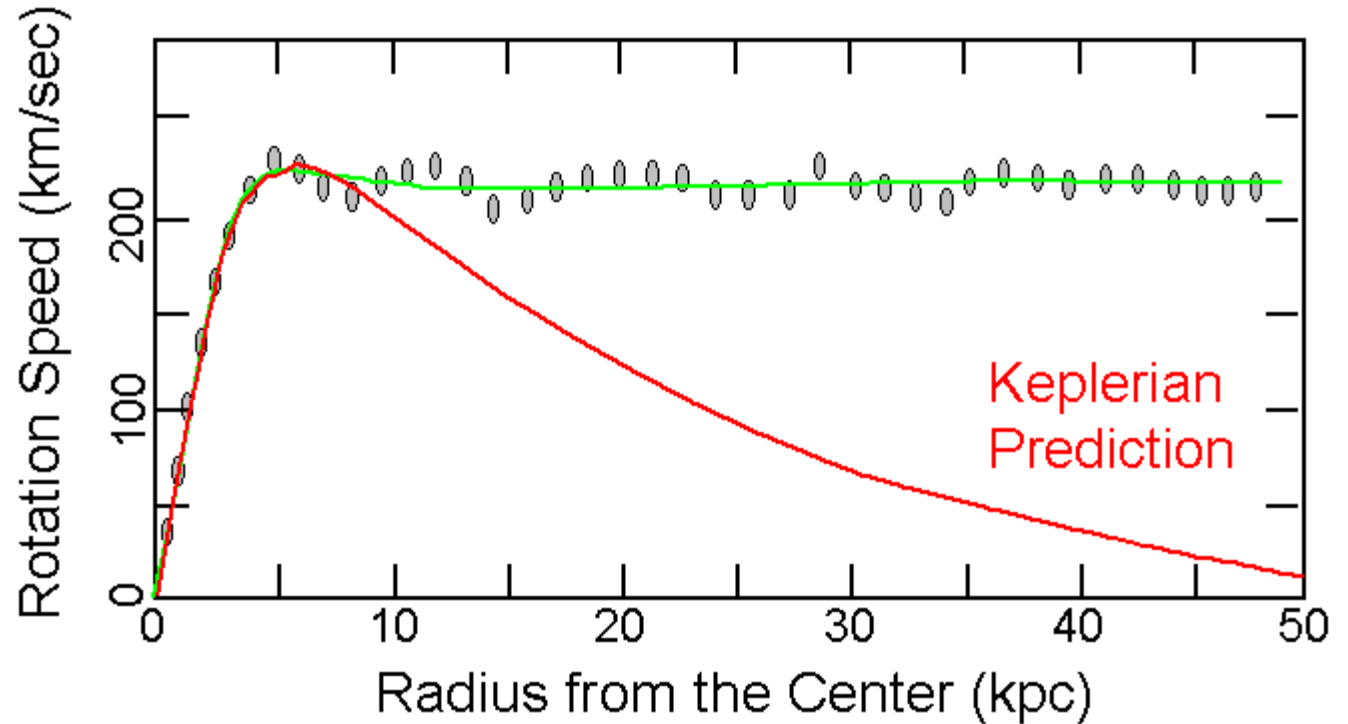


# Rotazione delle galassie



The mass inside an orbit can be found using the size of the orbit and the orbital speed. The arrows show the speeds for certain points on the **rotation curve** for this galaxy.

## Observed vs. Predicted Keplerian





# Lenti gravitazionali



**Gravitational Lens**  
**Galaxy Cluster 0024+1654**

HST · WFPC2

PRC96-10 · ST ScI OPO · April 24, 1996

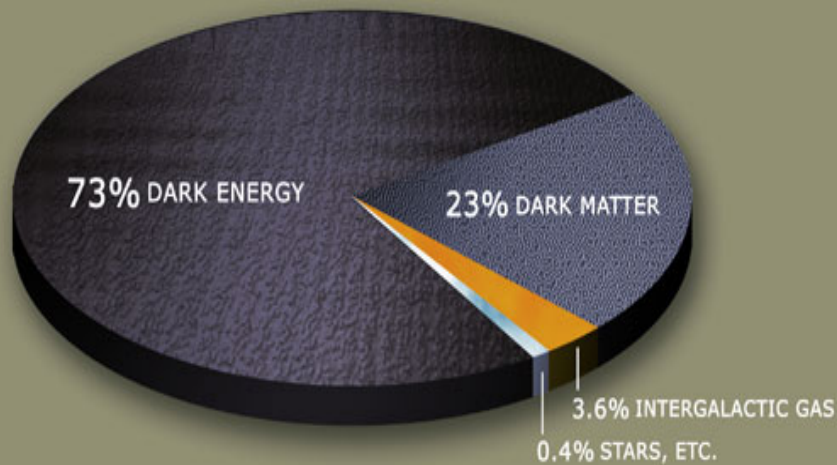
W.N. Colley (Princeton University), E. Turner (Princeton University),  
J.A. Tyson (AT&T Bell Labs) and NASA

# 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**



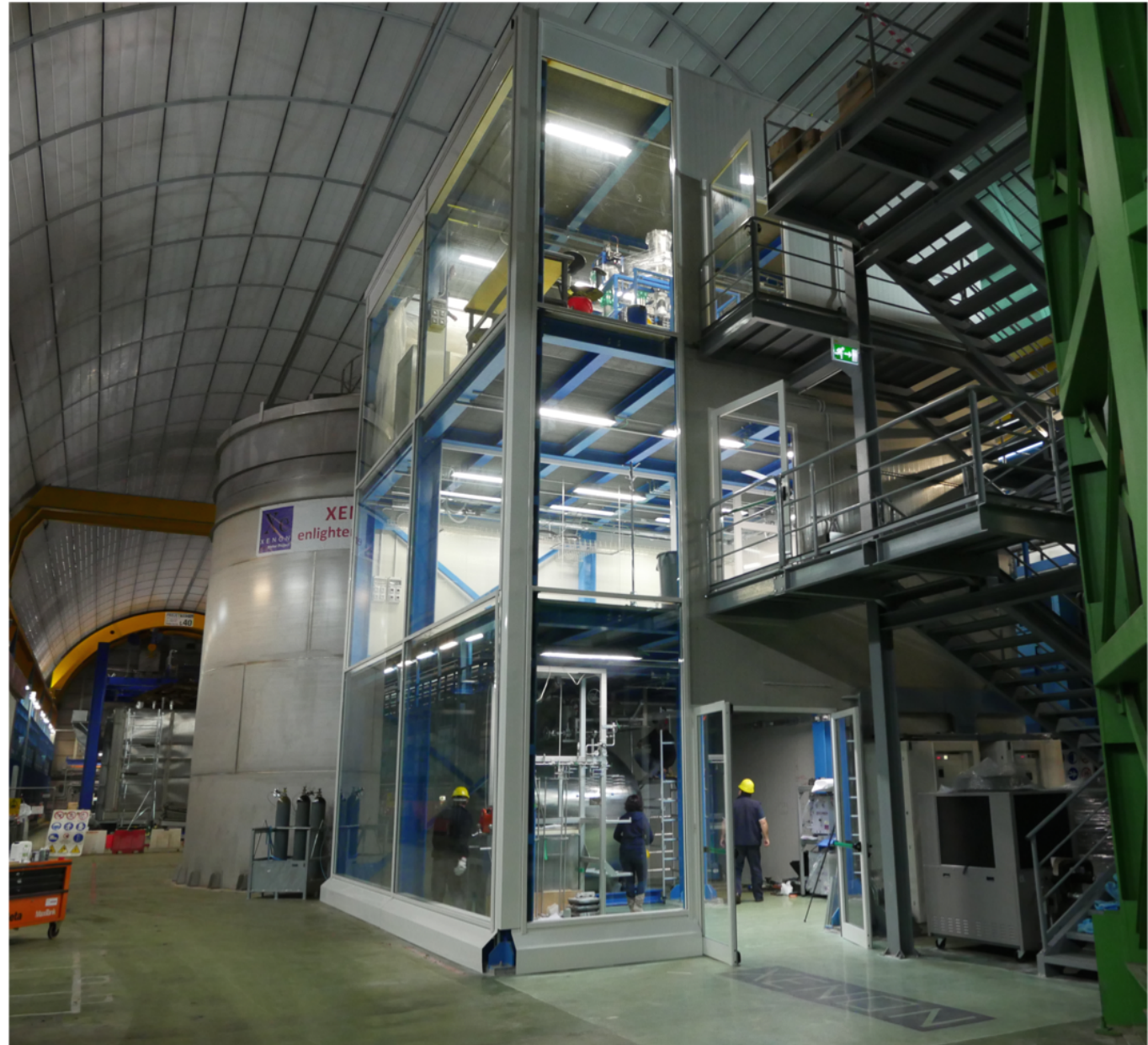
La **materia oscura** è circa **5 volte** più abbondante della **materia visibile** (fagioli colorati)



# XENON1T

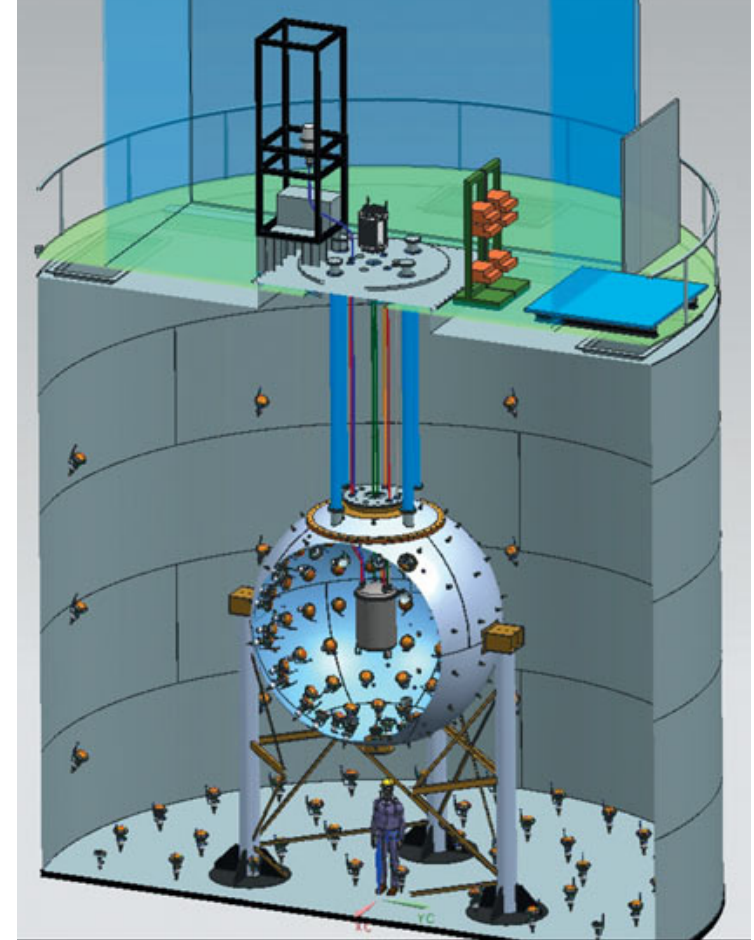
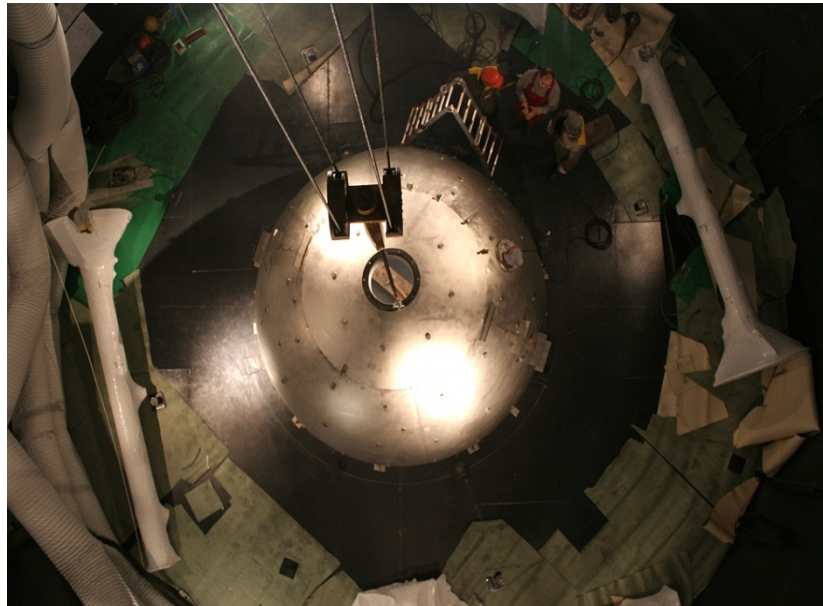
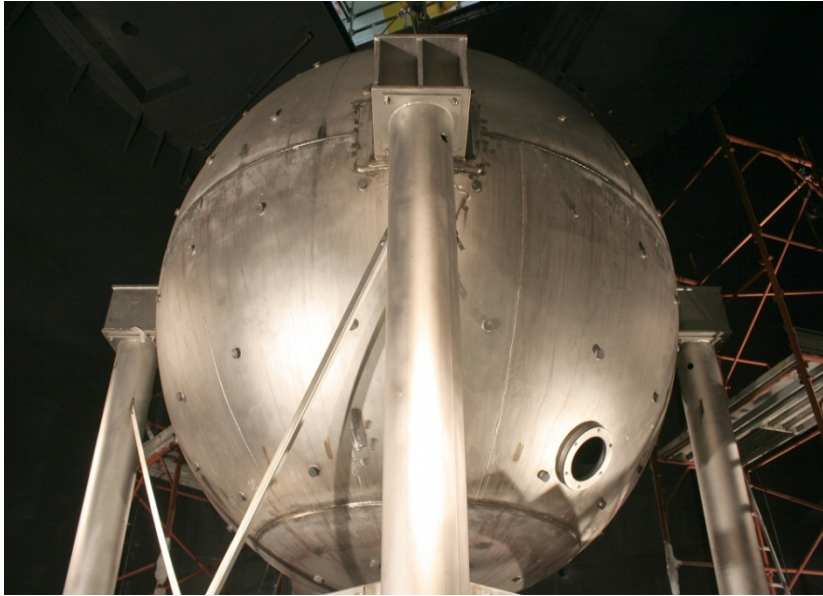
HALL-B  
Sett. 2014

Dati nell'estate 2015





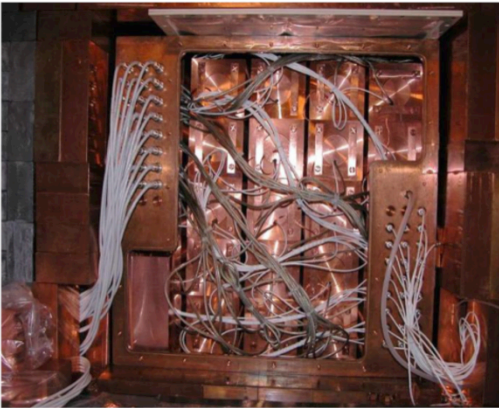
# DarkSide50 experiment



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.

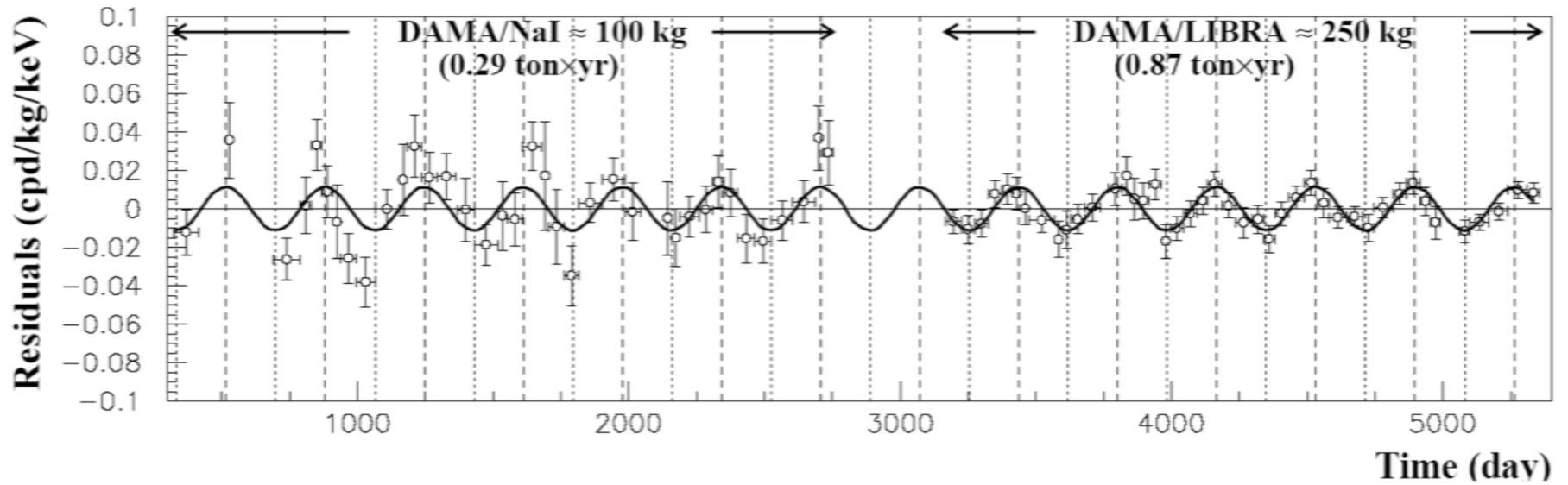
# DAMA/LIBRA

- Na(Tl) ultrapuri
  - Contaminazione residua
    - $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  and  $^{40}\text{K}$   $\sim 10^{-12}$  g/g



# Modulazione annua

DAMA





# Disseminazione



OPEN DAY :1.500-2.000 visitatori/anno



Visite ai laboratori sotterranei  
8000 visitatori/anno

# Prepariamo il futuro



Laboratori per i più giovani:  
500-1000 studenti-anno



Premi su progetti competitivi: 1700 studenti/  
anno



Summer Schools for  
students and teachers