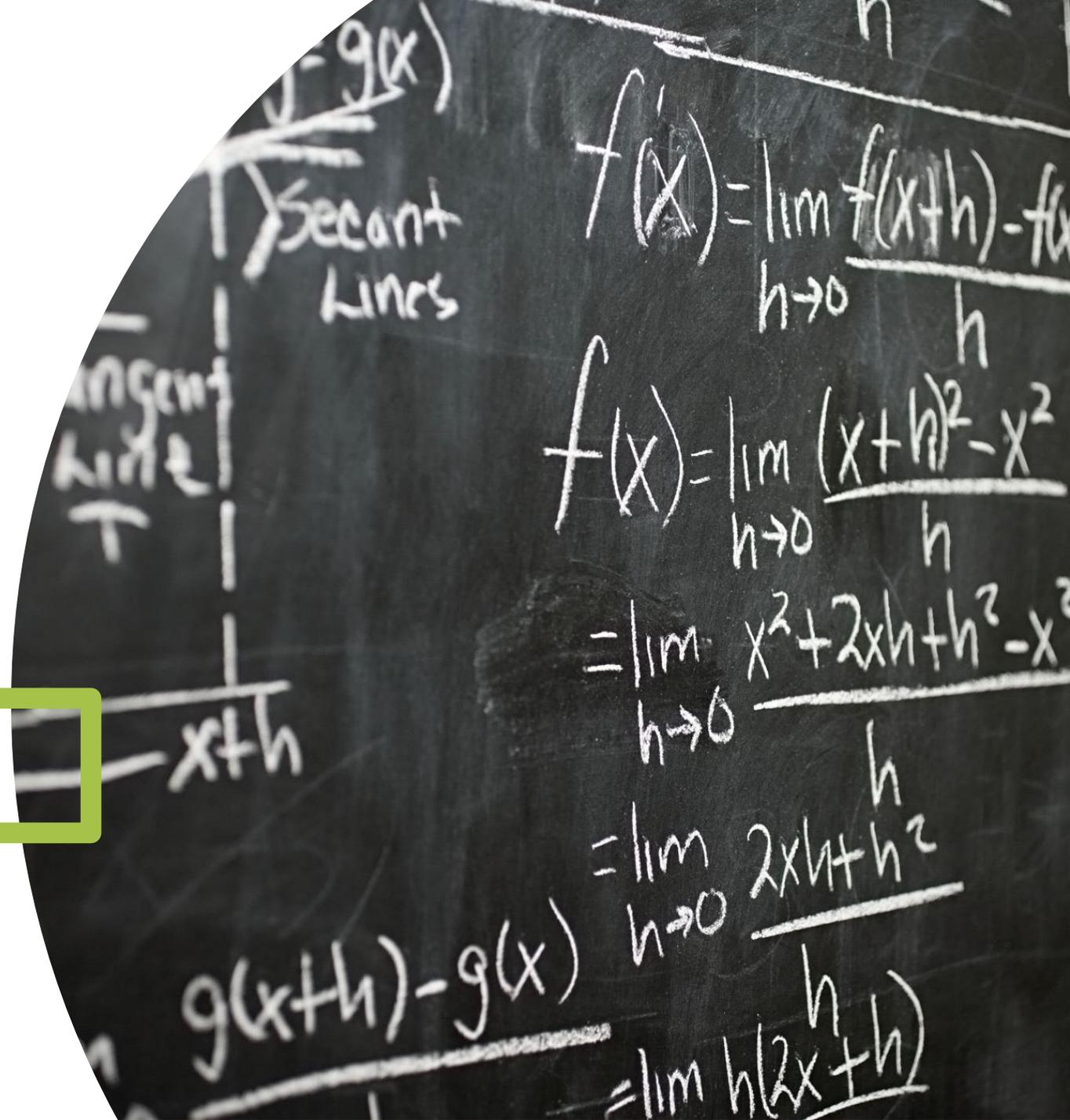


# Ask Me About Dark Matter

Introduzione al concorso per  
le scuole superiori Abruzzesi

Programma di outreach -  
IDM2024



# Indice

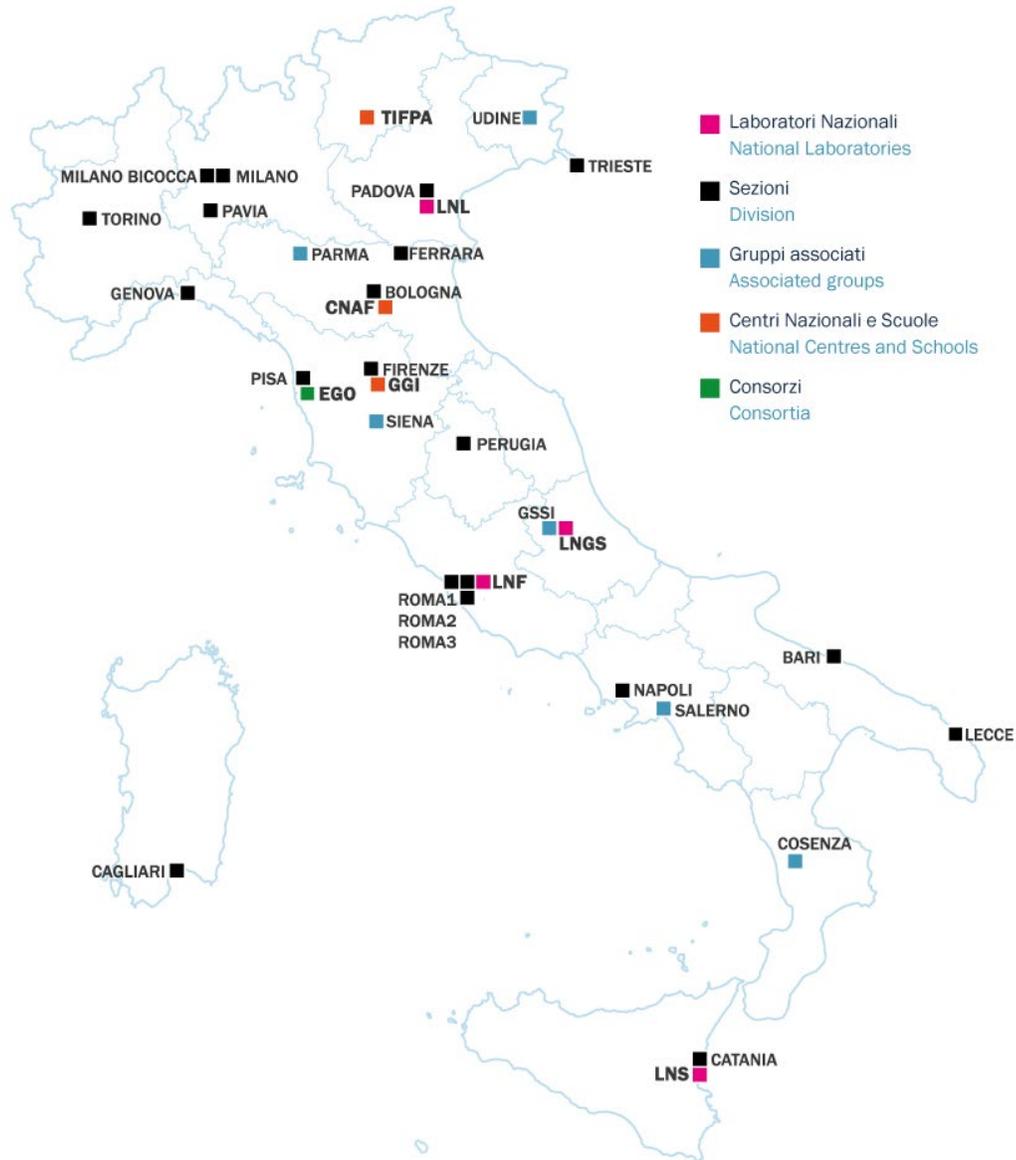
- Chi siamo
- Cosa facciamo
- Perché siete qui



# L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

- **L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)** è l'ente pubblico nazionale di ricerca, vigilato dal Ministero dell'Università e della Ricerca, dedicato allo studio dei costituenti fondamentali della materia e delle leggi che li governano.
- L'INFN è stato istituito **l'8 agosto 1951** da un decreto del presidente del Consiglio Nazionale Ricerche in accordo con gruppi delle Università di Roma, Milano, Padova, Torino per promuovere e proseguire la ricerca scientifica, teorica e sperimentale, iniziata con Enrico Fermi e i ragazzi di via Panisperna nel campo della fisica nucleare.

# INFN – la struttura



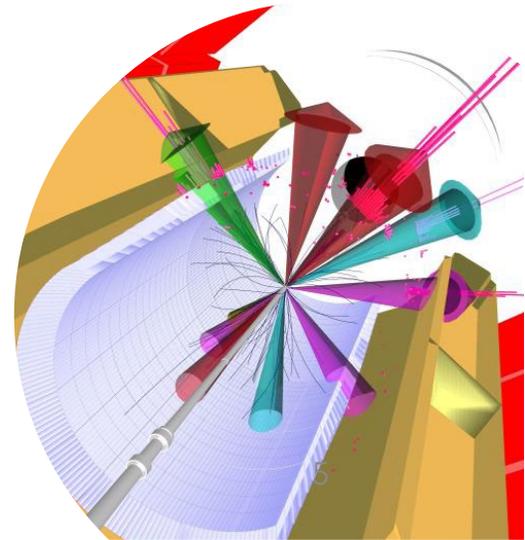
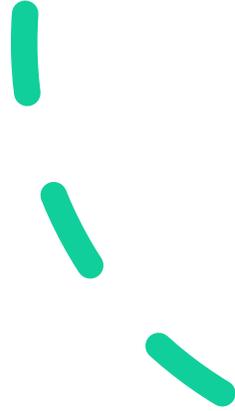
✓ **20 sezioni**  
**6 gruppi collegati**

✓ **4 laboratori nazionali**

- Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS)**
- Laboratori Nazionali di Frascati (LNF)**
- Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL)**
- Laboratori Nazionali del Sud (LNS)**

# INFN - Le linee di ricerca

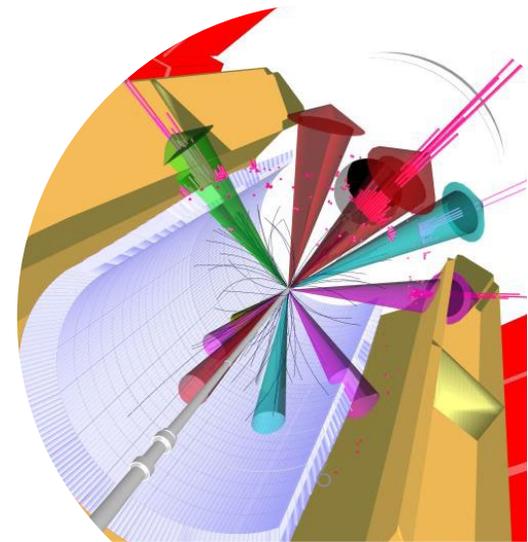
CSN1 - Fisica Particellare



# INFN - Le linee di ricerca

CSN1 - Fisica Particellare

CSN2 - Fisica  
Astroparticellare

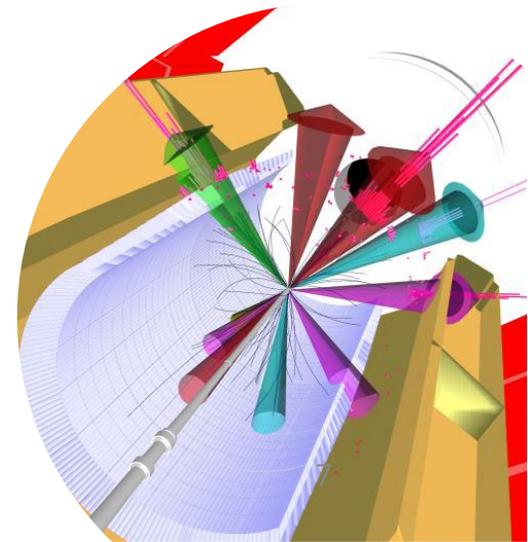
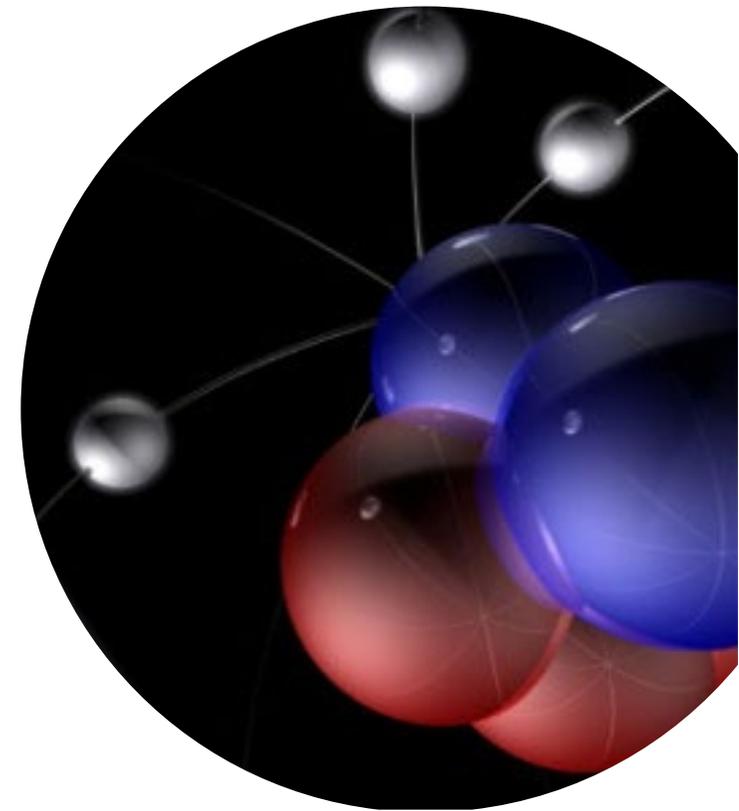


# INFN - Le linee di ricerca

CSN1 - Fisica Particellare

CSN2 - Fisica  
Astroparticellare

CSN3 - Fisica nucleare



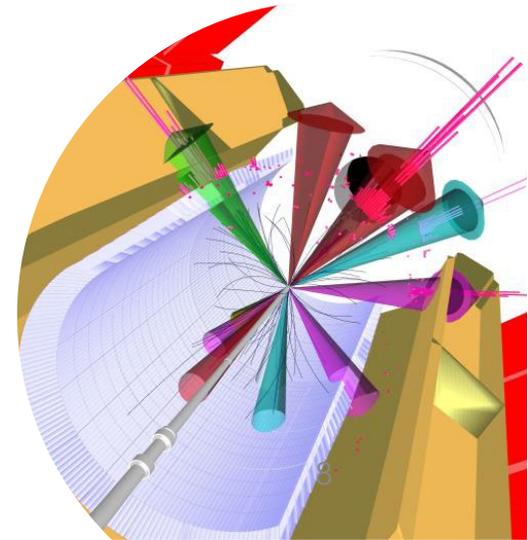
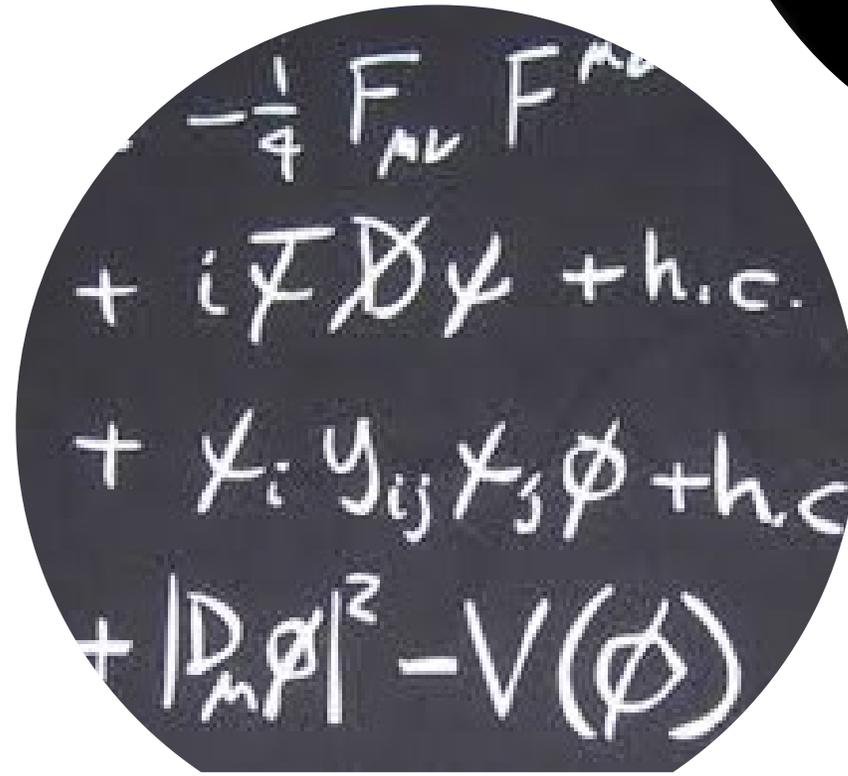
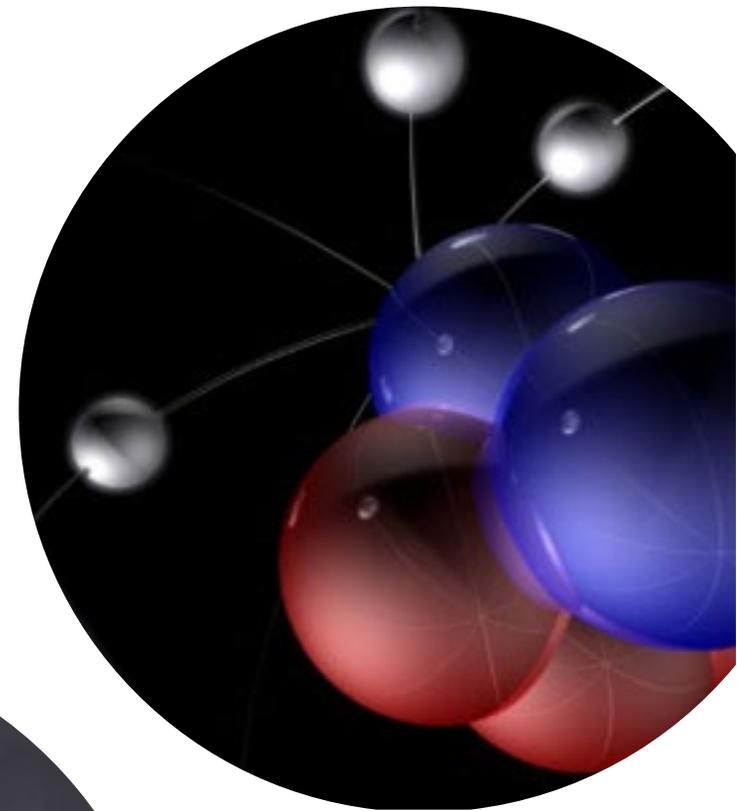
# INFN - Le linee di ricerca

CSN1 - Fisica Particellare

CSN2 - Fisica  
Astroparticellare

CSN3 - Fisica nucleare

CSN4 - Fisica teorica



# INFN - Le linee di ricerca

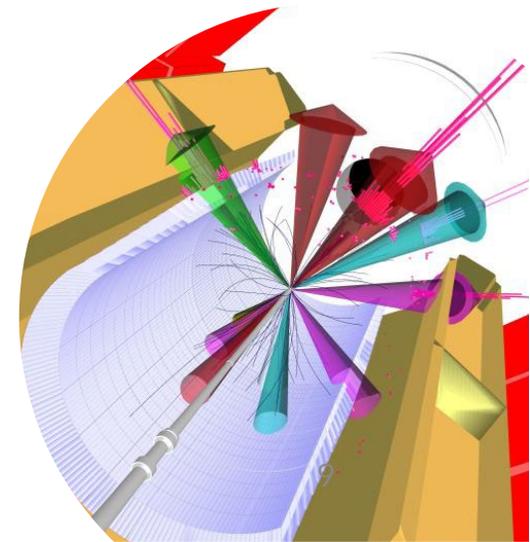
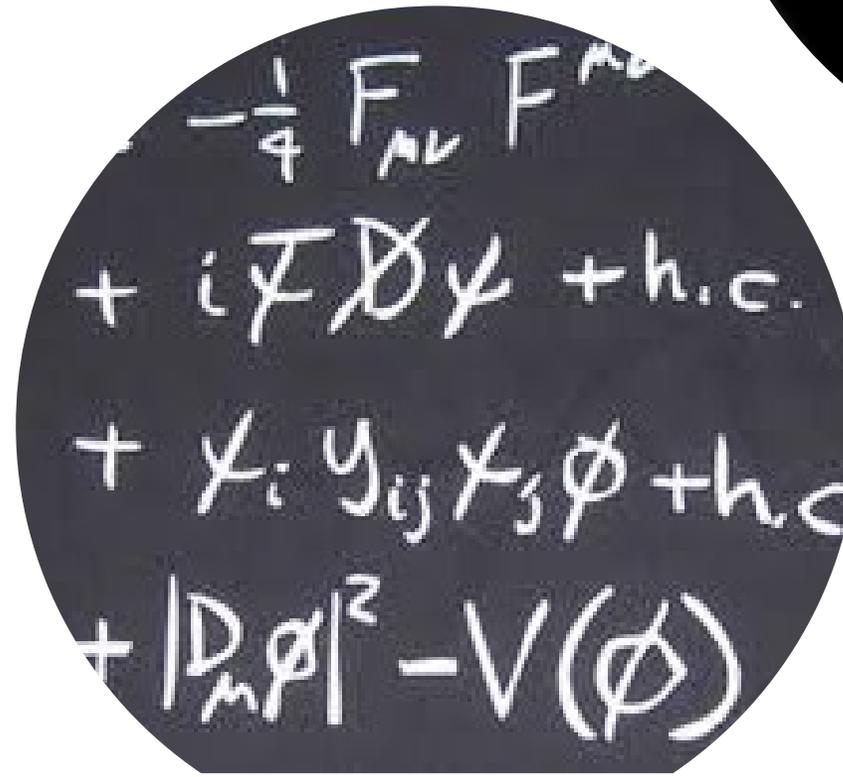
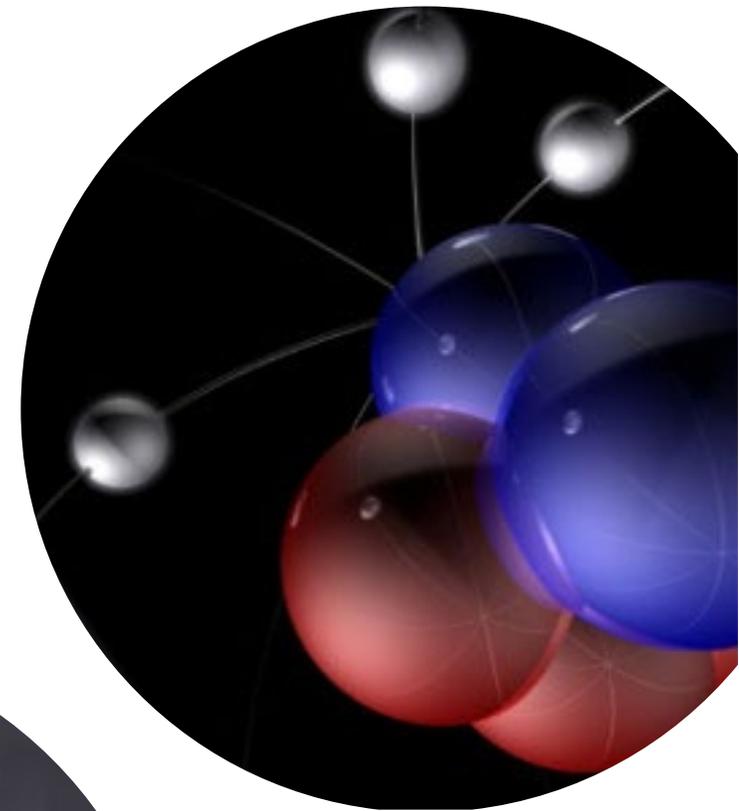
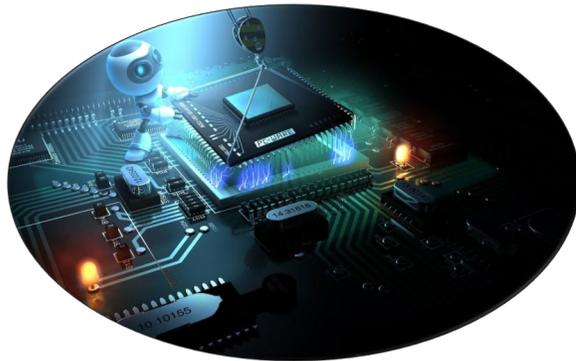
CSN1 - Fisica Particellare

CSN2 - Fisica  
Astroparticellare

CSN3 - Fisica nucleare

CSN4 - Fisica teorica

CSN5 - Ricerca tecnologica



# I Laboratori Nazionali del Gran Sasso



Submission to the Italian Parliament of the proposal about the realization of the Underground Laboratory

1979



Approval of the Parliament

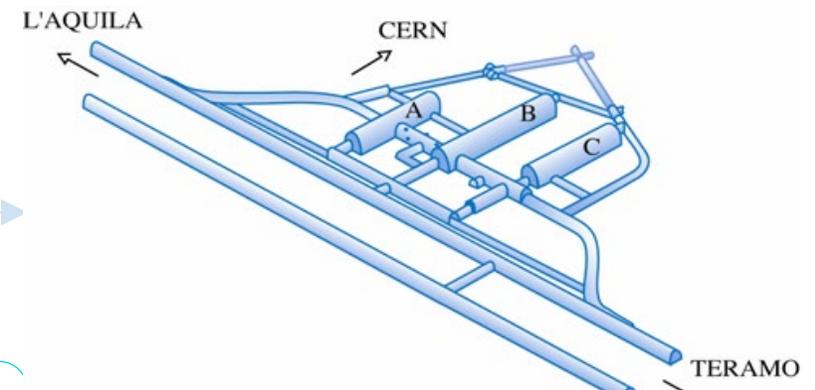
1982

The Underground Laboratory is completed

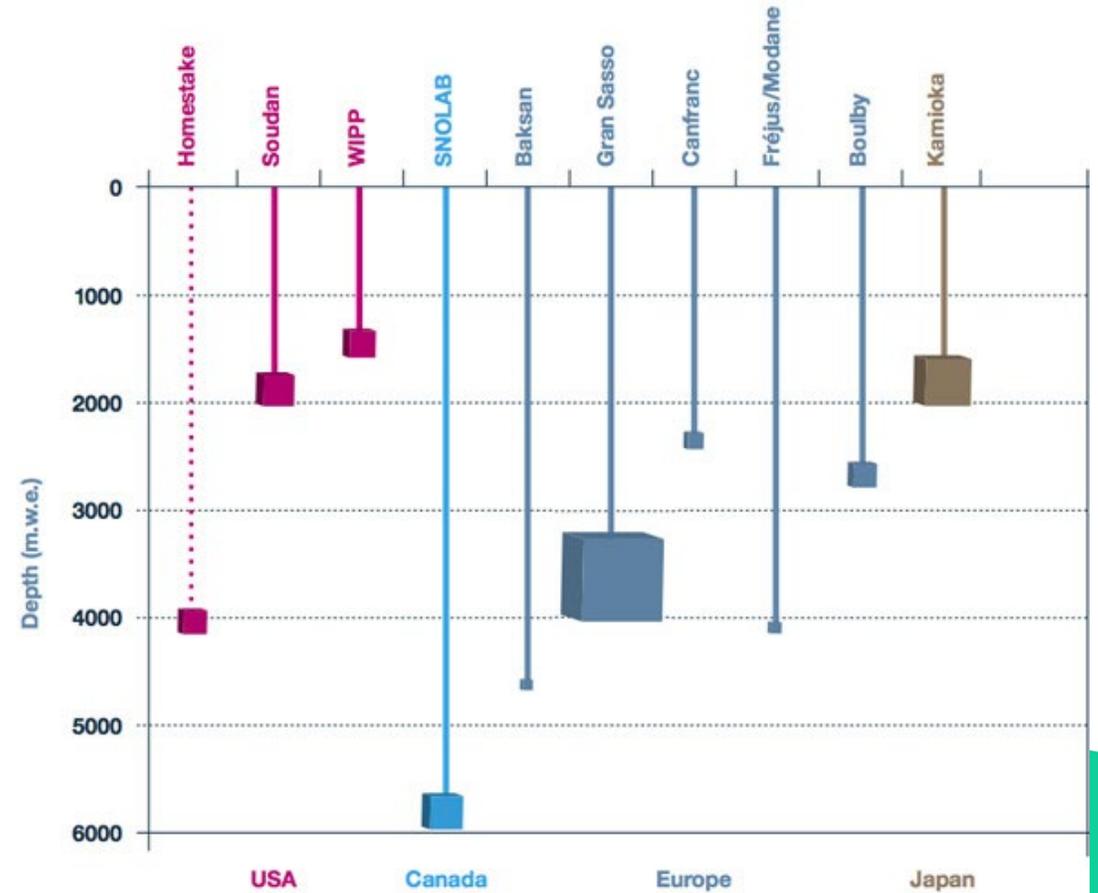
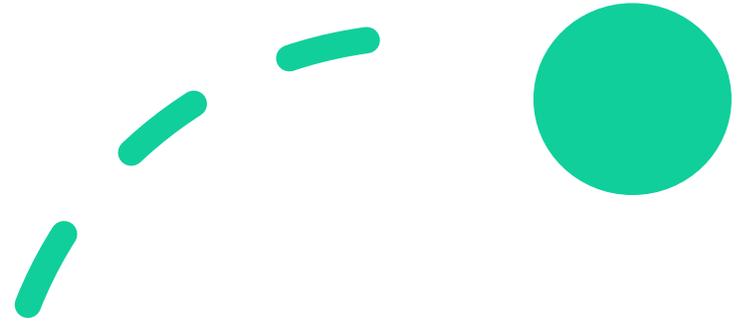
1987

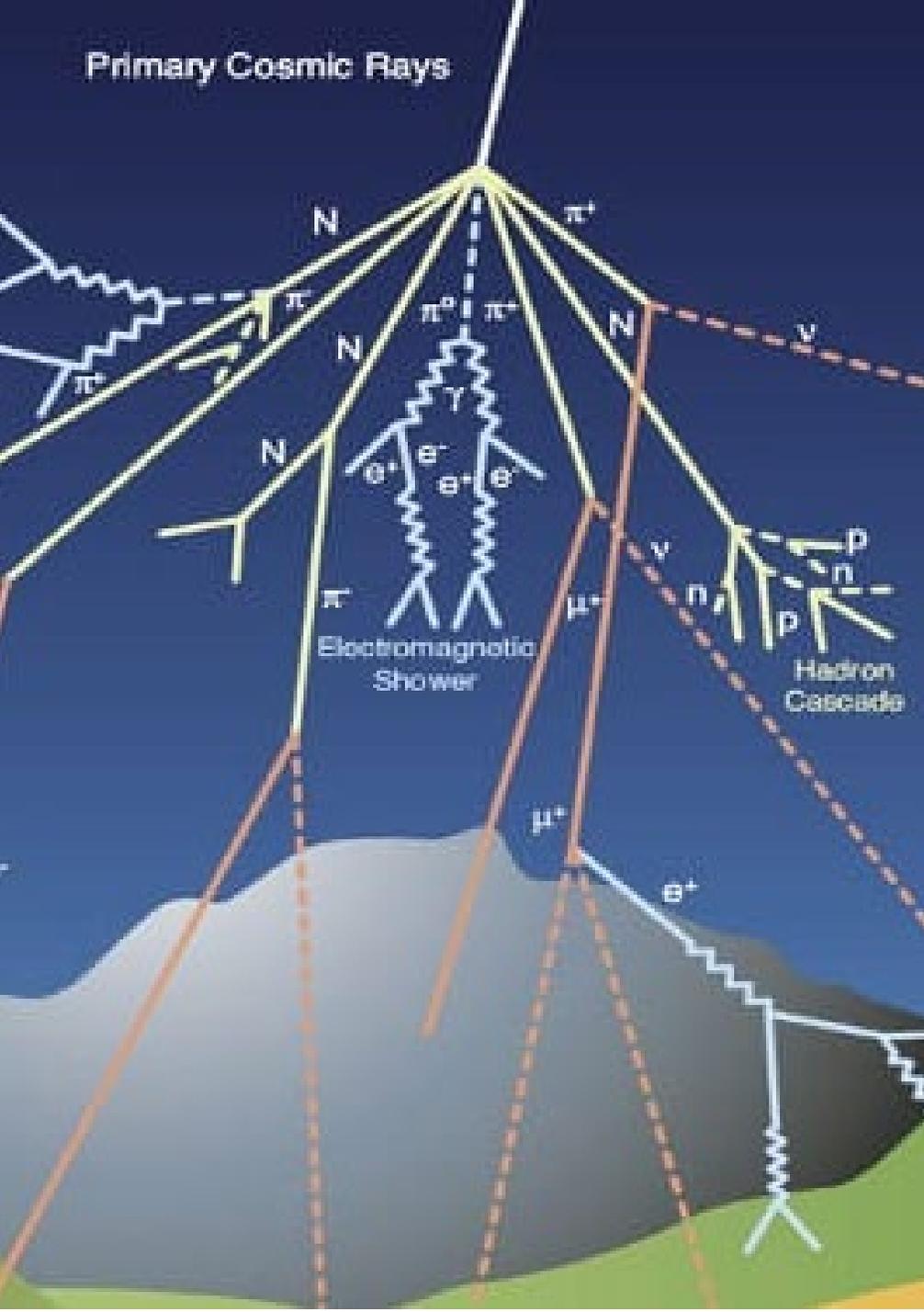
The first experimental apparatus, MACRO, begins the data taking.

1989



# Laboratori sotterranei nel mondo

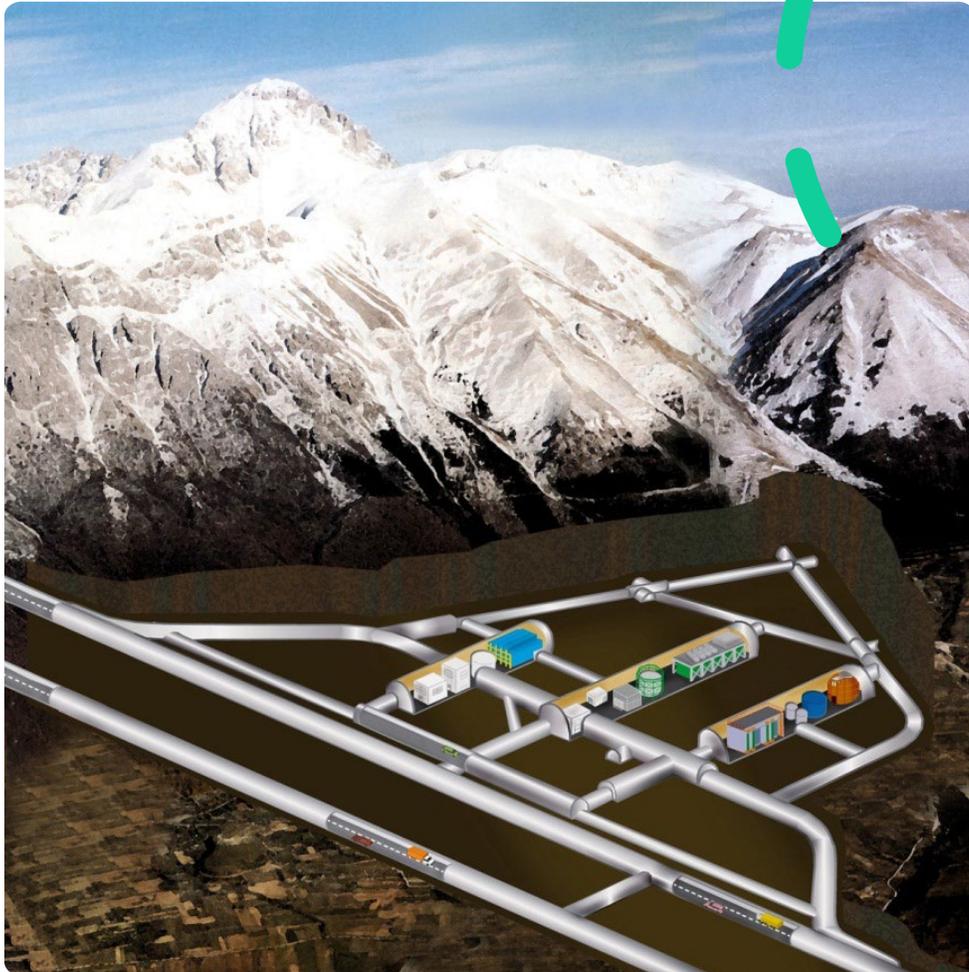




# Laboratori sotterranei nel mondo

Underground laboratories are **shielded** by layers of **ROCK** and offer the unique possibility of studying **rare physics phenomena** in an environment that is almost free from cosmic ray background

# I Laboratori Nazionali del Gran Sasso



- Shield of rock **1400 m** thick
- Factor of ***muon flux reduction***:  
 $10^6$  ( $\sim 1 \text{ m m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ )
- Underground Volume:  $180000 \text{ m}^3$
- Underground Surface:  $17800 \text{ m}^3$



# I Laboratori Nazionali del Gran Sasso

- Fifteen experiments
- **800 researchers** coming from **25 countries**.



# Università degli Studi dell'Aquila

The University of L'Aquila is a well-established reality with its 17000 students and 7 departments, including **Physics and Chemistry**, Engineering, and Humanities

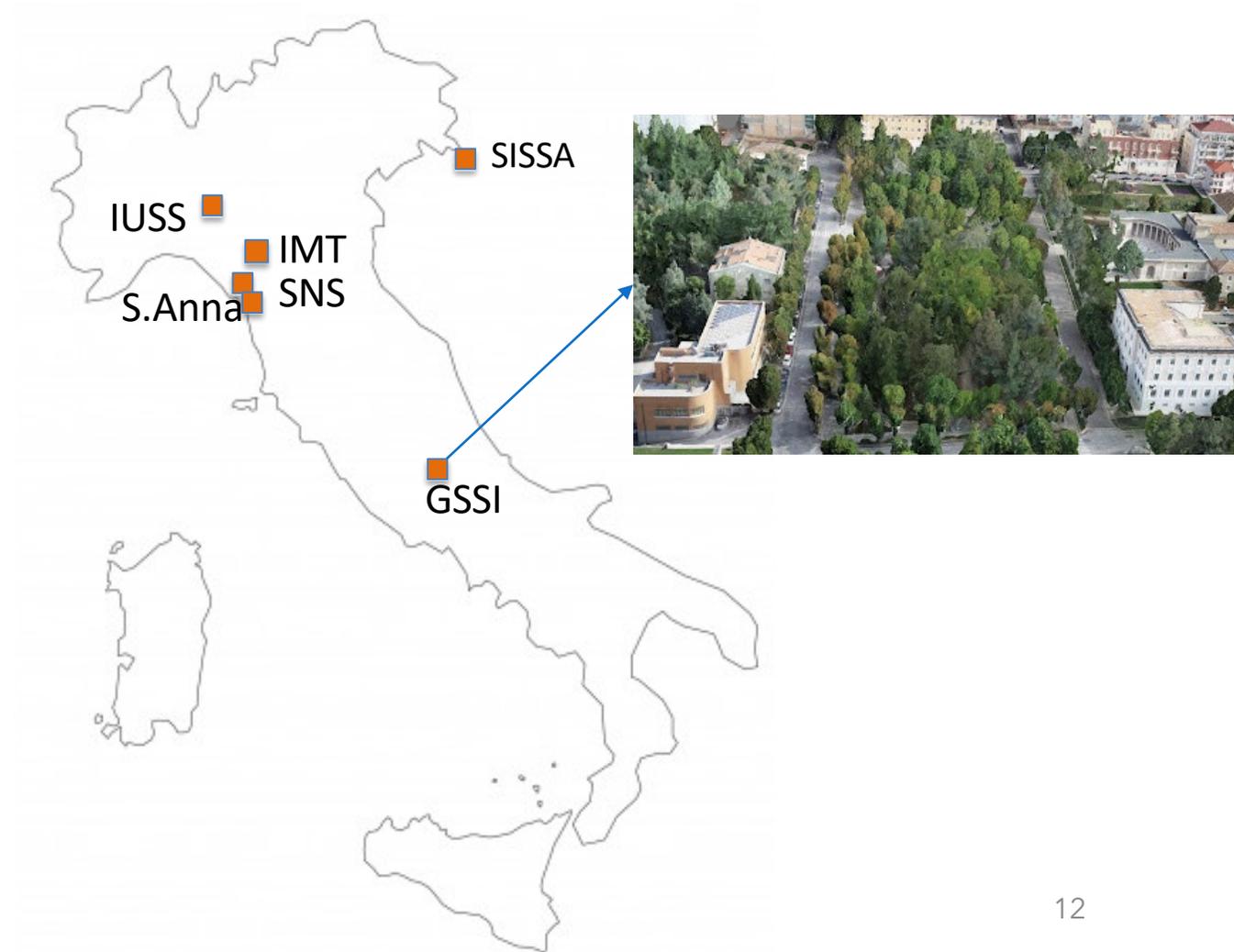


**DSFC**  
Dipartimento  
di Scienze Fisiche  
e Chimiche

# Gran Sasso Science Institute



- International PhD school and a center for research and higher education
- 4 areas: Physics, Mathematics, Computer Science, and Social Sciences
- >160 PhD students from 15 countries
- 130 researchers and professors



Chi è il  
FISICO/la  
FISICA?

PHYSICIST

(noun)\_ fiz/uh/sist

☆☆☆

someone who solves a problem

you didn't know you had in

a way you don't understand.

[see also: wizard, magician]

# Astroparticle physics

“Vi chiedo di guardare in entrambe le direzioni. Perché la strada per la conoscenza delle stelle conduce all'atomo; e l'importante conoscenza dell'atomo è stata raggiunta attraverso le stelle.”

Sir Arthur Eddington

(1882-1944)



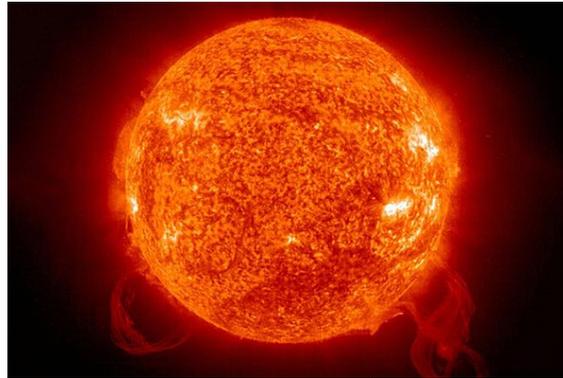
# Astroparticle physics @LNGS

- Ricerca di *materia oscura*
- Ricerca sulle proprietà e sulla natura dei *neutrini*

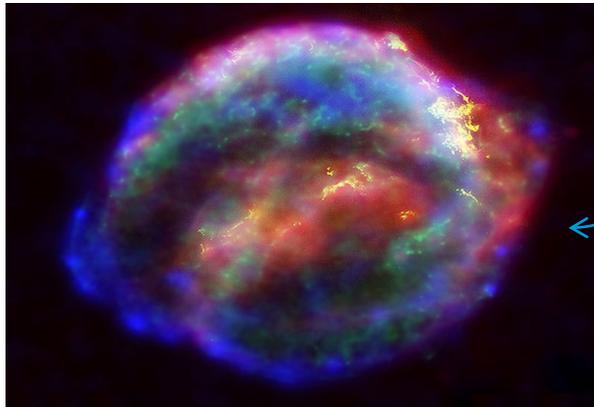


# Neutrino sources

Solar

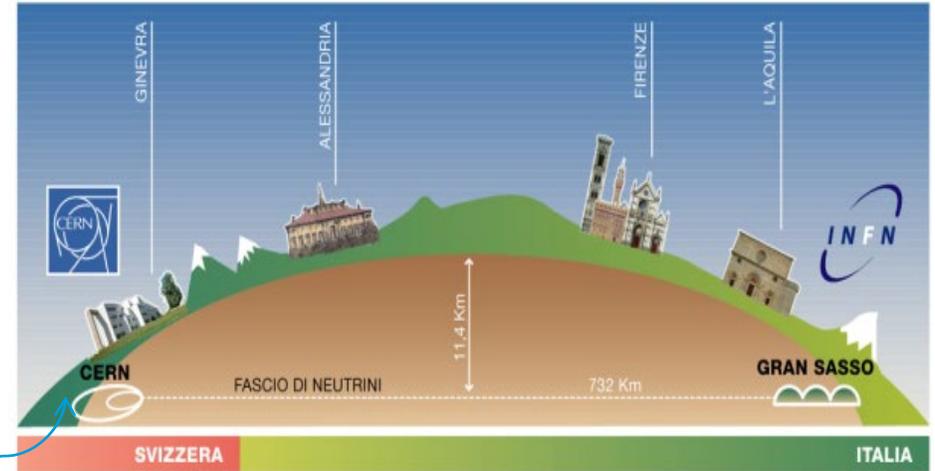


SuperNovae

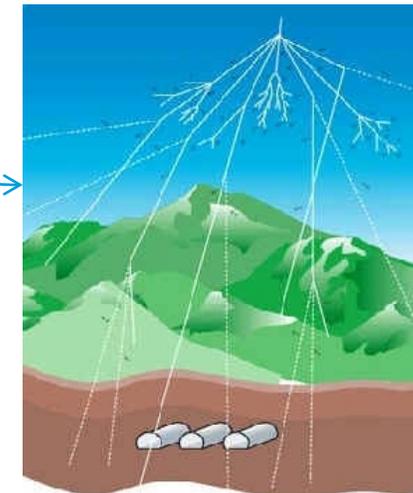


$\nu$

Accelerator



Reactor



Atmospheric

# What's so special about neutrino?



Elementary particle



No electrical charge



(incredibly) small mass (...not yet measured)



Neutrino oscillation  
(Nobel Prize to Kajita and McDonald in 2015)



Huge flux on earth:  $O(10 \times 10^9 \text{ } \nu/\text{cm}^2/\text{s})$



Very weakly with matter →  
 $O(10^{21} \text{ cm H}_2\text{O to stop a solar } \nu)$

## But...

- Why the mass is so small?
- Neutrino is a Dirac or a Majorana particle?  
(i.e. is  $\nu = \bar{\nu}$ ?)
- Mass hierarchy?
- 1 or more **sterile** neutrinos?



# La natura del neutrino: Dirac o Majorana?



I neutrini appartengono alla classe di particelle chiamate *fermioni*, i quali hanno un partner distinto, chiamato *antifermione*, con la stessa massa ma con carica opposta

**Ettore Majorana,**  
1937:

$$\nu = \bar{\nu}$$

## Teoria simmetrica dell'elettrone e del positrone

NOTA DI ETTORE MAJORANA

"Il Nuovo Cimento", vol. 14, 1937, pp. 171-184.

**Sunto.** — Si dimostra la possibilità di pervenire a una piena simmetrizzazione formale della teoria quantistica dell'elettrone e del positrone facendo uso di un nuovo processo di quantizzazione. Il significato delle equazioni di DIRAC ne risulta alquanto modificato e non vi è più luogo a parlare di stati di energia negativa; né a presumere per ogni altro tipo di particelle, particolarmente neutre, l'esistenza di "antiparticelle" corrispondenti ai "vuoti" di energia negativa.

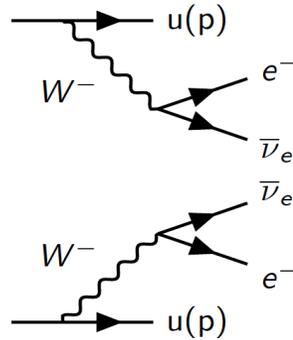
# Doppio decadimento beta

$2\nu\beta\beta$

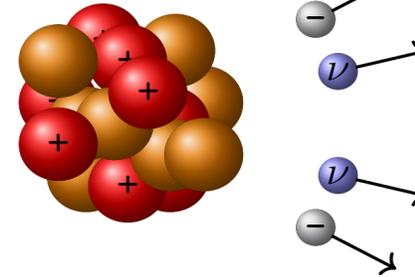


Maria Goeppert-Mayer (1935)

$T_{1/2} \sim 10^{21}$  yr (observed)



Standard Model



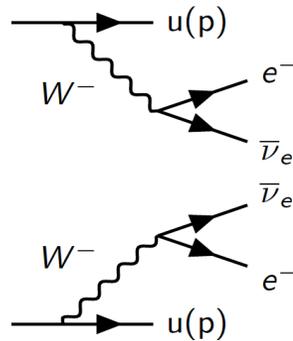
# Doppio decadimento beta

**$2\nu\beta\beta$**

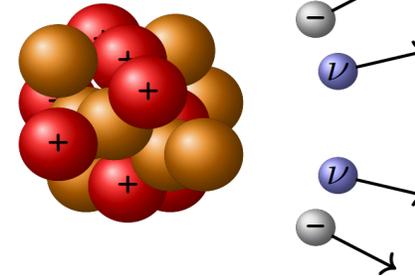
$$(A, Z) \rightarrow (A, Z + 2) + 2e^- + 2\bar{\nu}_e$$

Maria Goeppert-Mayer (1935)

$T_{1/2} \sim 10^{21}$  yr (observed)



**Standard Model**

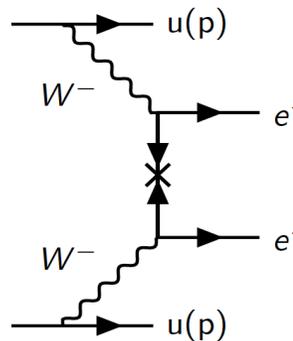


**$0\nu\beta\beta$**

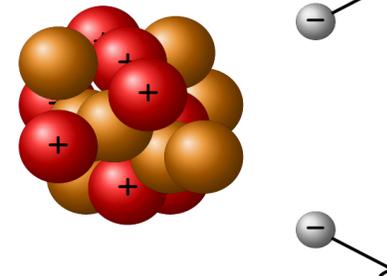
$$(A, Z) \rightarrow (A, Z + 2) + 2e^-$$

Wendell H. Furry (1939)

$T_{1/2} > 10^{26}$  yr



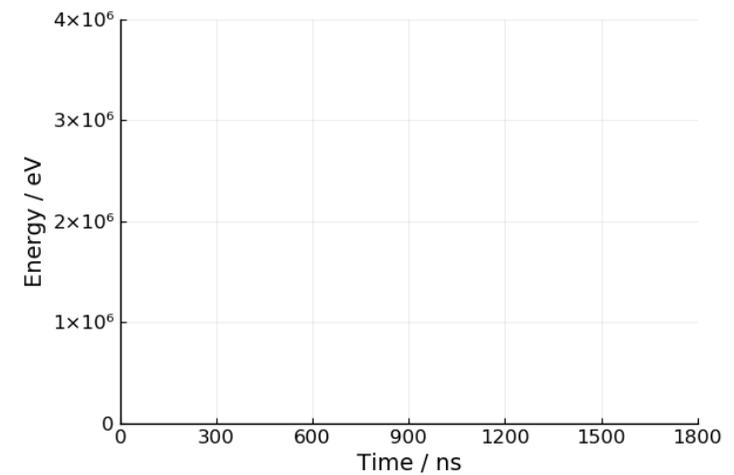
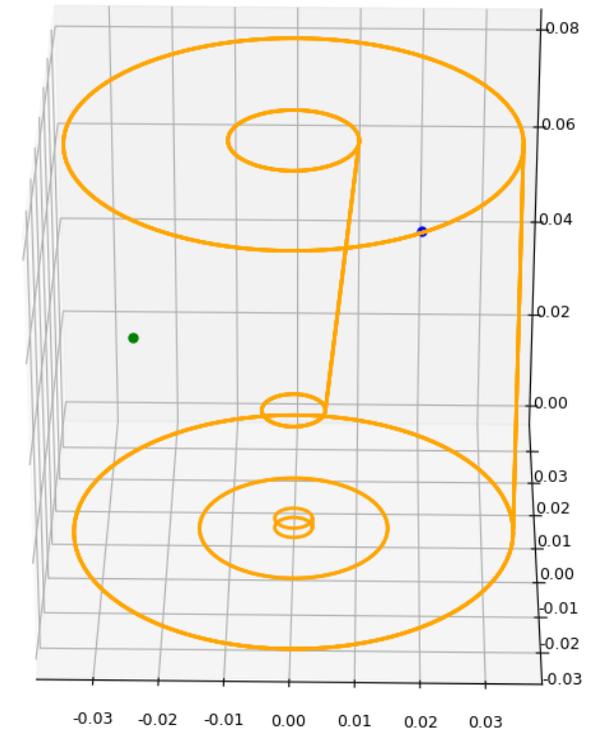
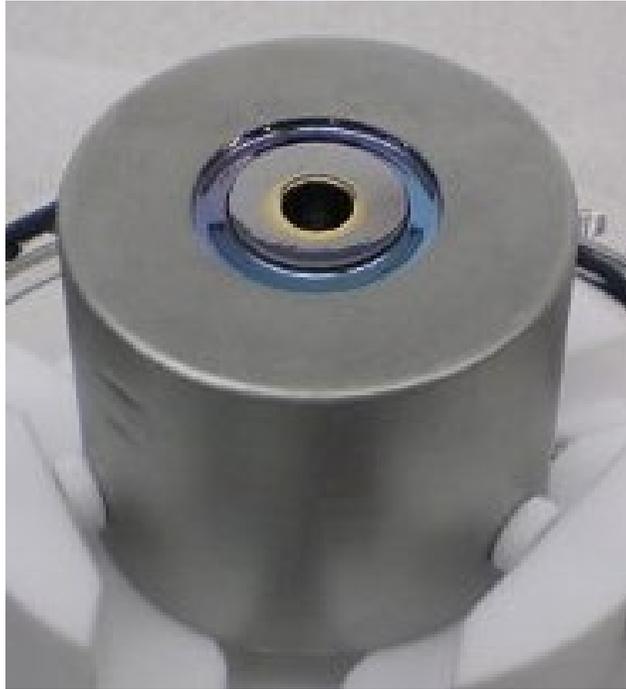
**Neutrino-less**



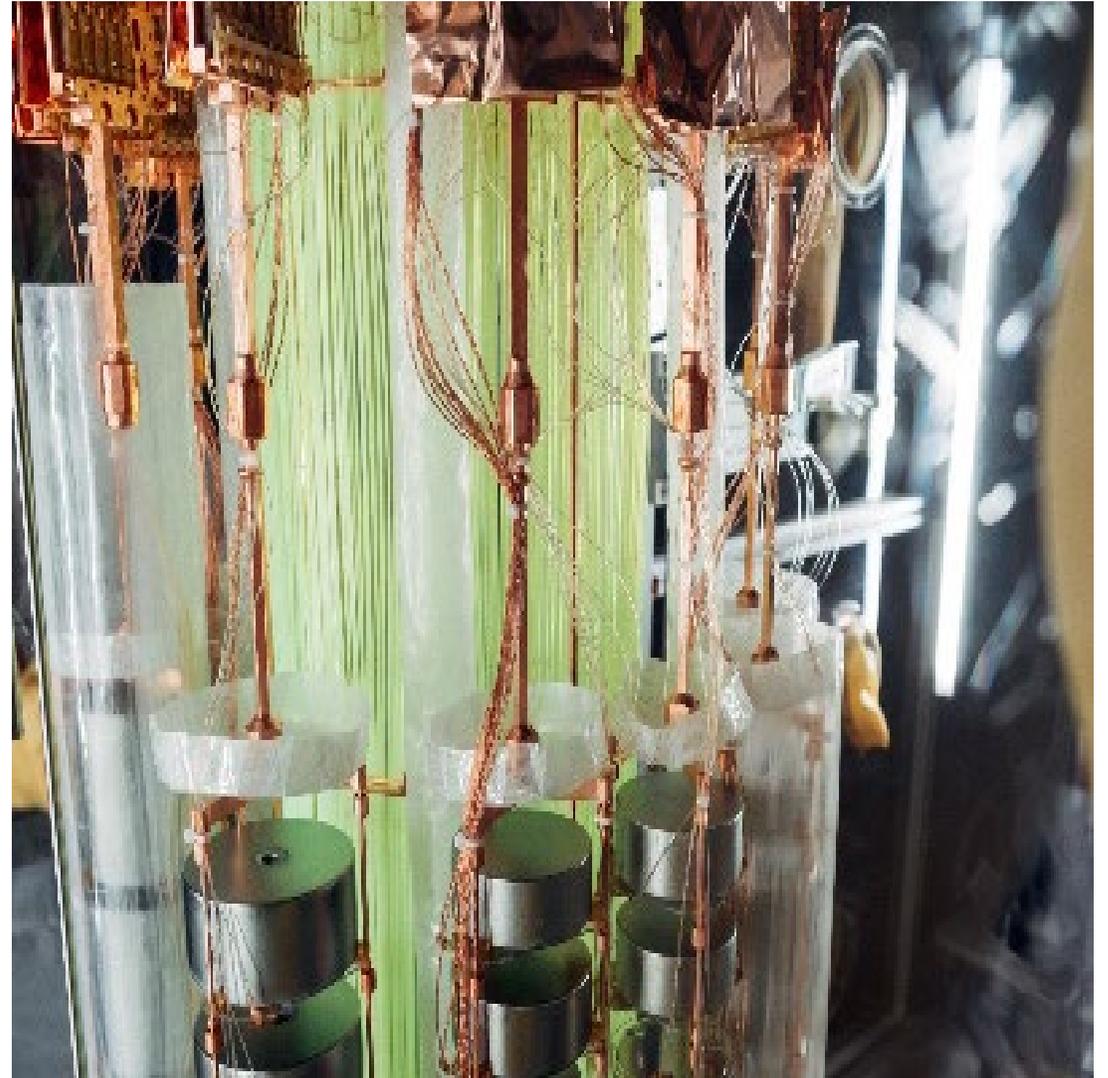
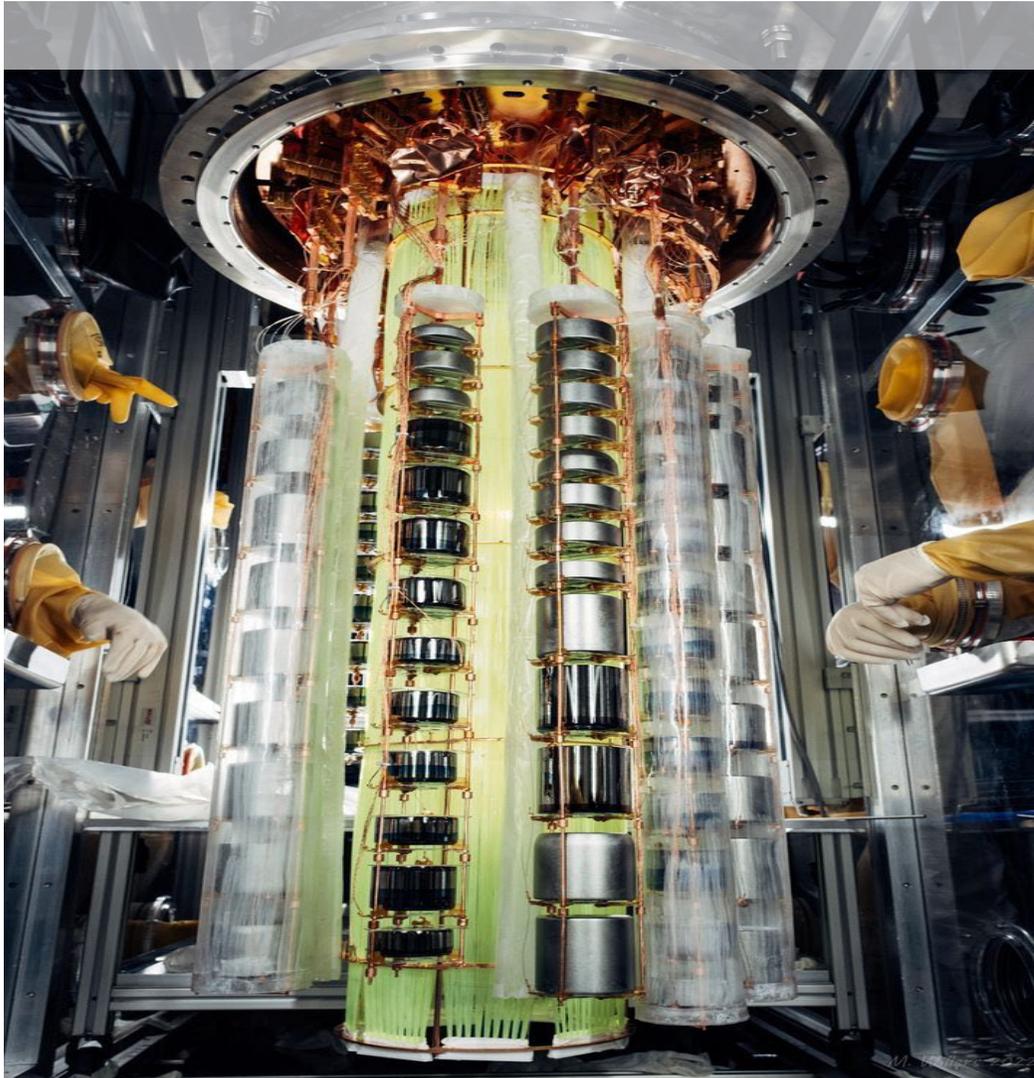
**$0\nu\beta\beta$  process:**

- $\Delta L = 2 \rightarrow$  fisica oltre il Modello Standard
- natura dei neutrini: particella di Majorana ( $\nu = \bar{\nu}$ ) o di Dirac?
- Informazioni sulla massa del  $\nu$

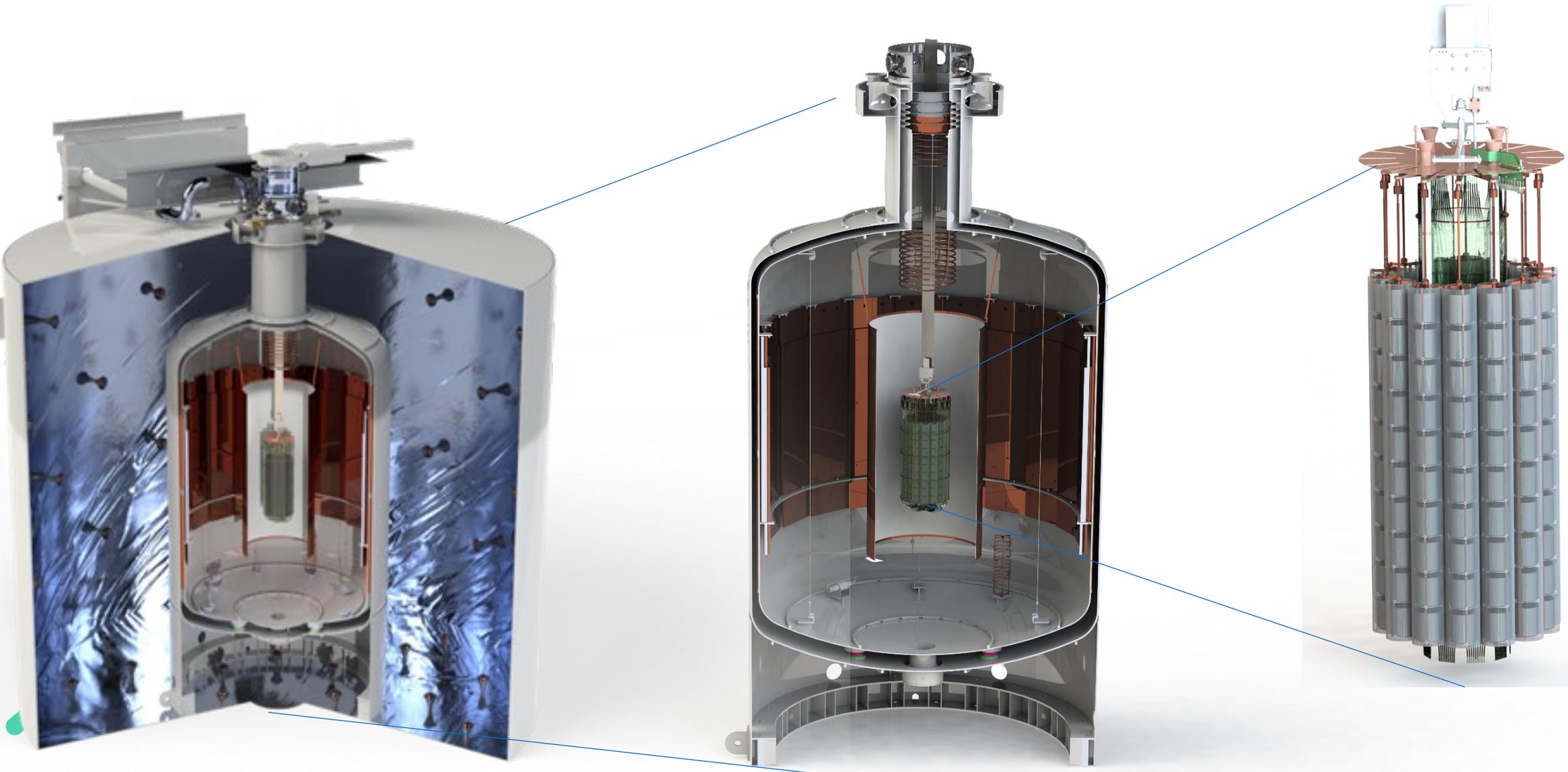
# Doppio decadimento beta



# Esperimento LEGEND



# Esperimento LEGEND

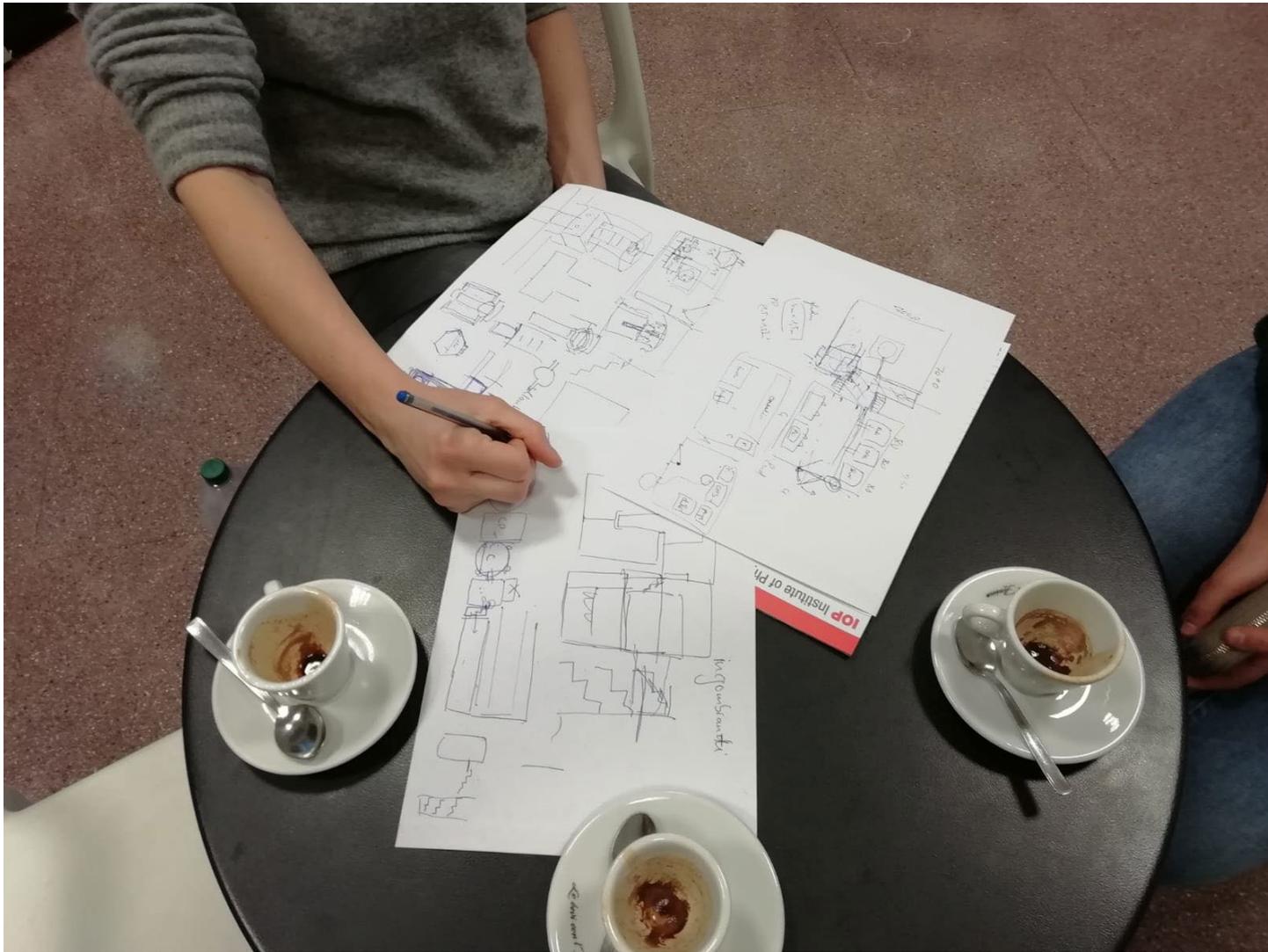


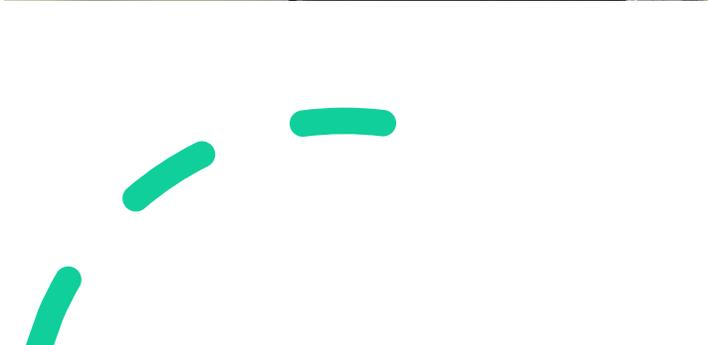
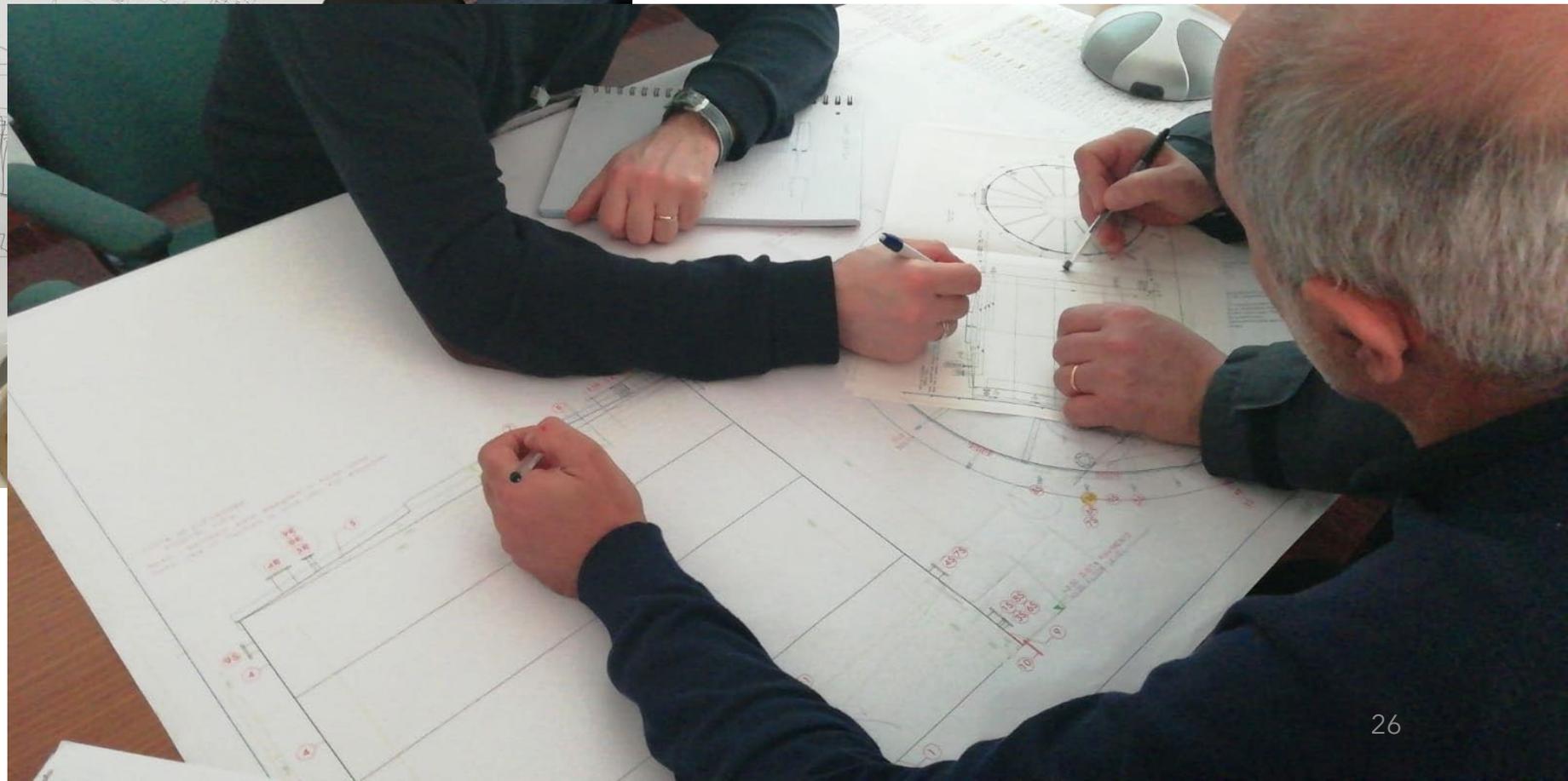
# Esperimento LEGEND200

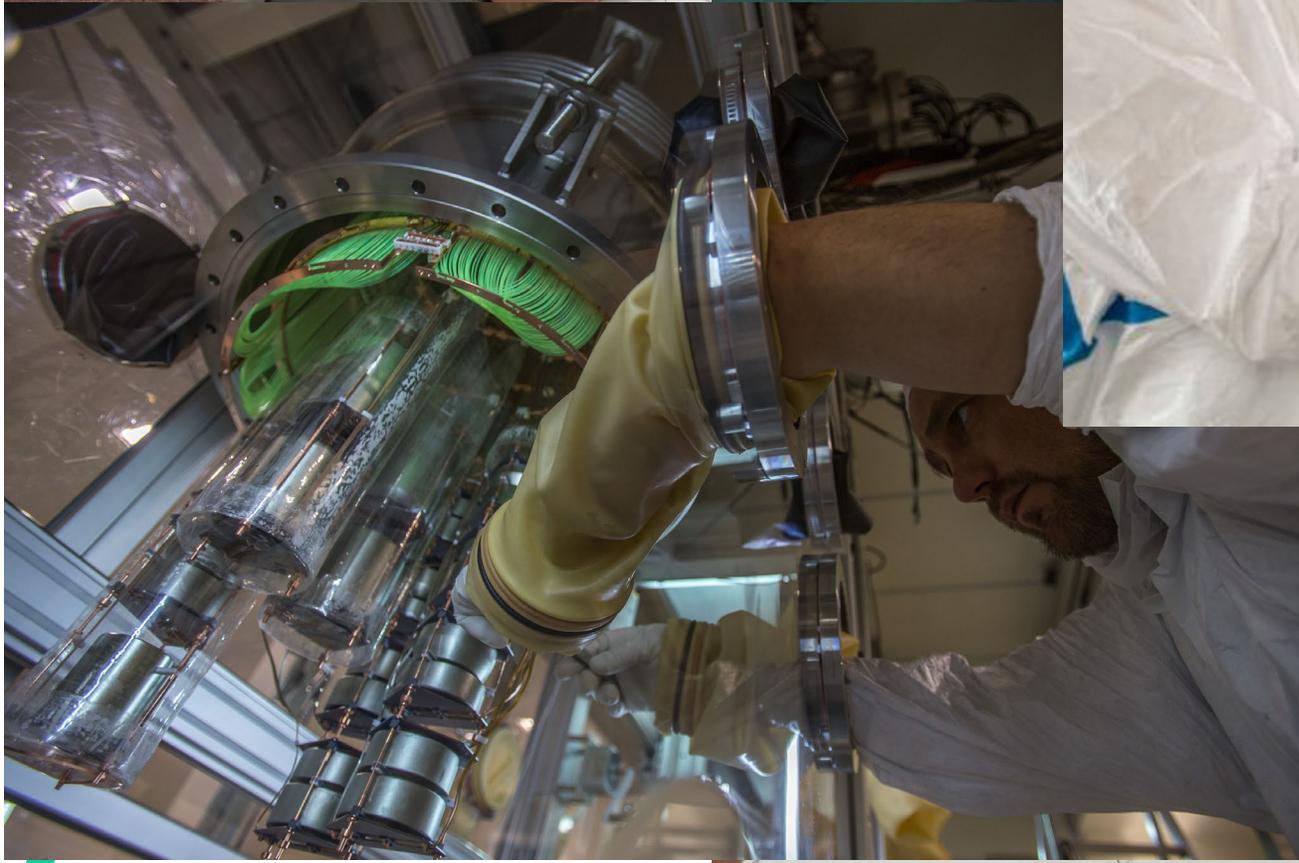
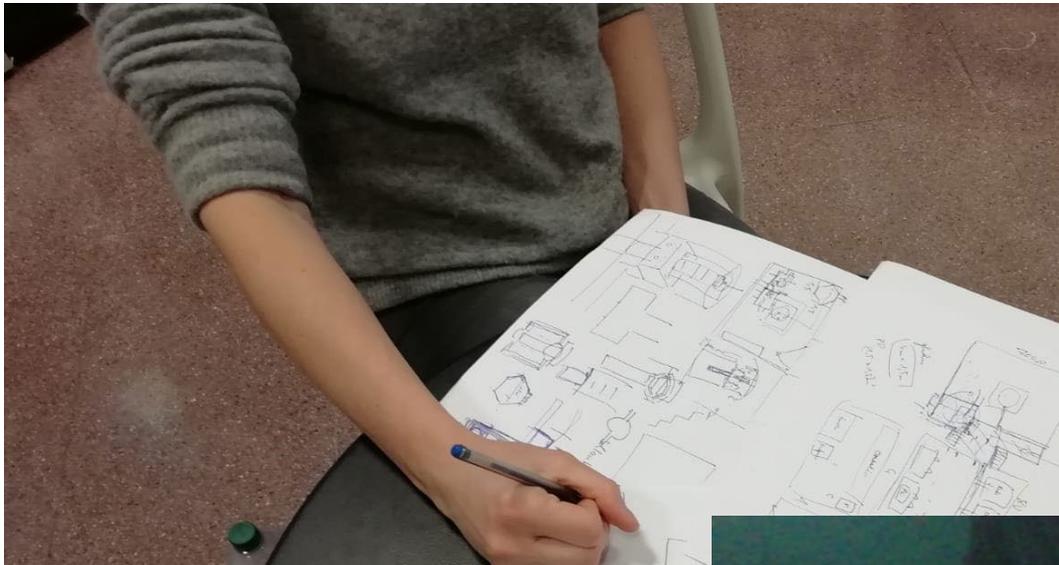


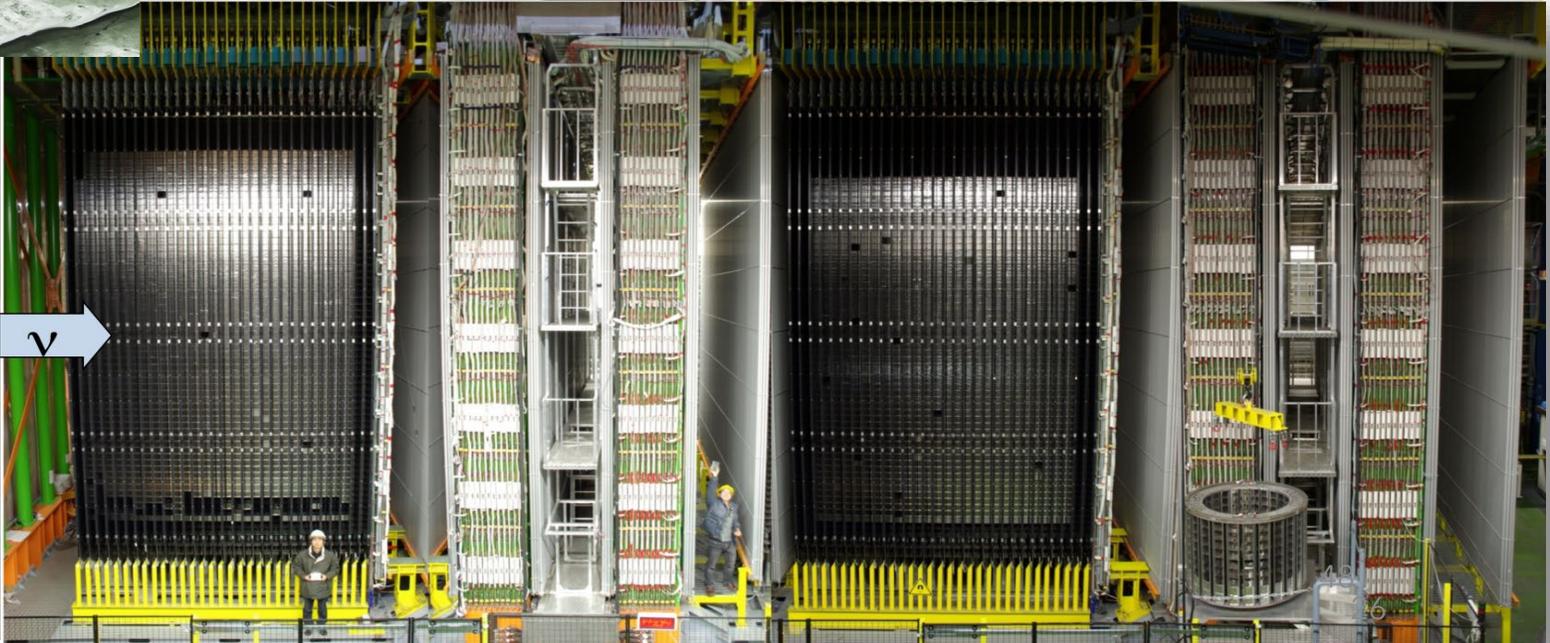
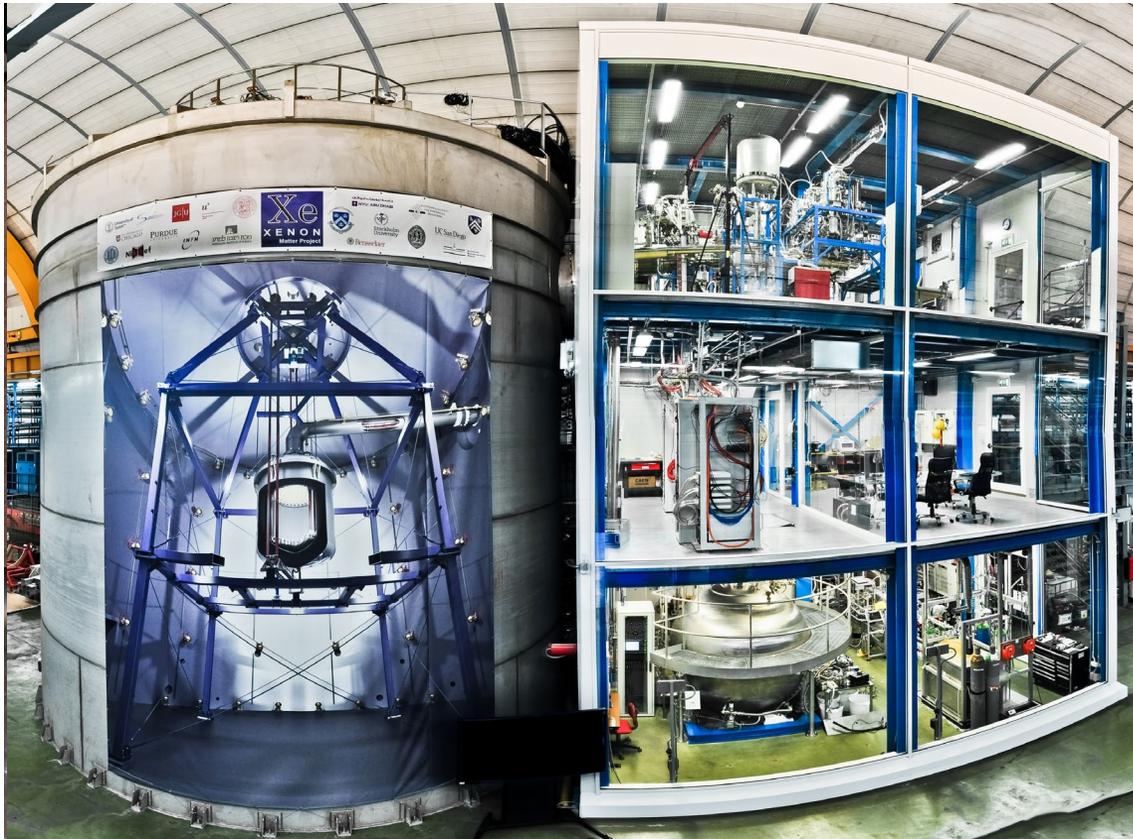
# Esperimento LEGEND1000



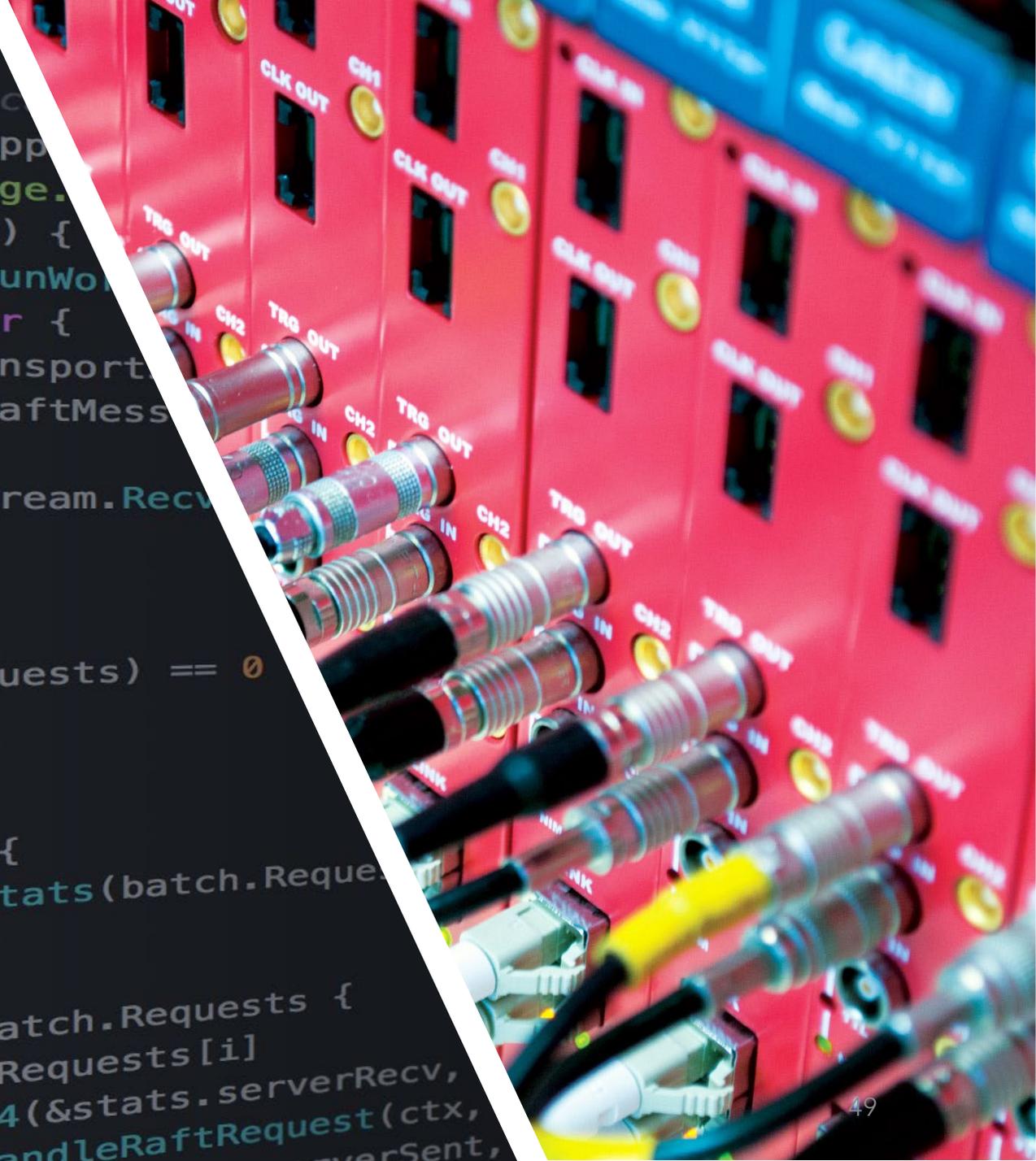




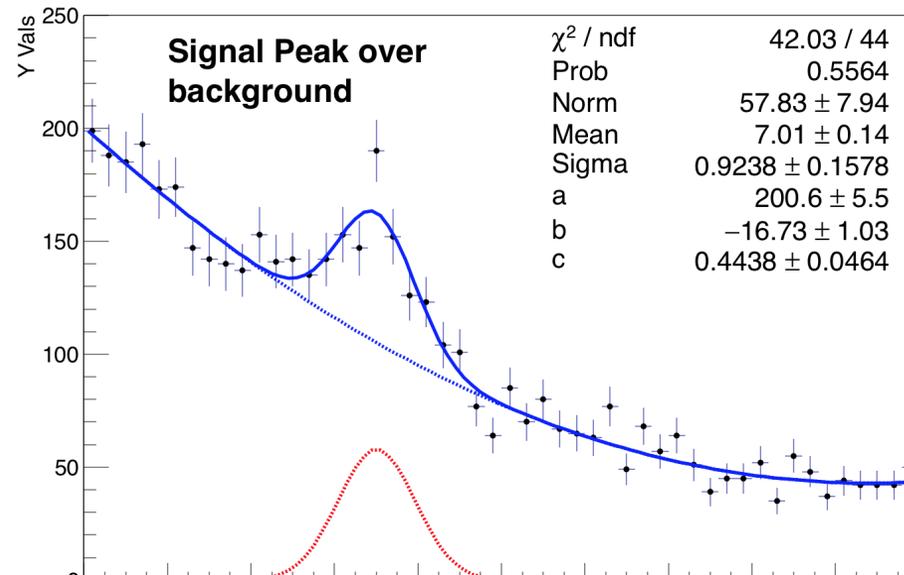
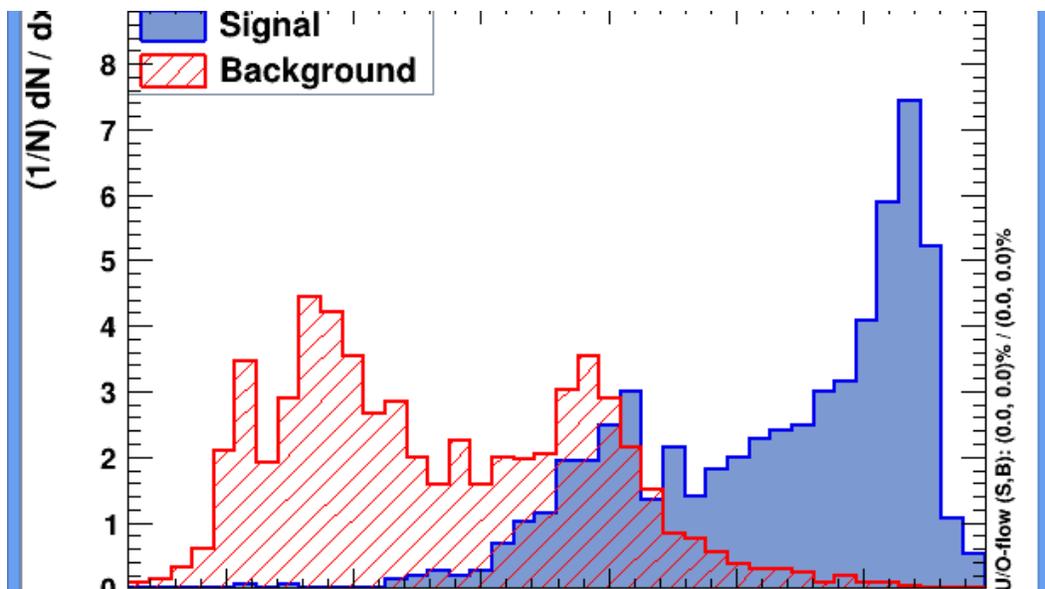
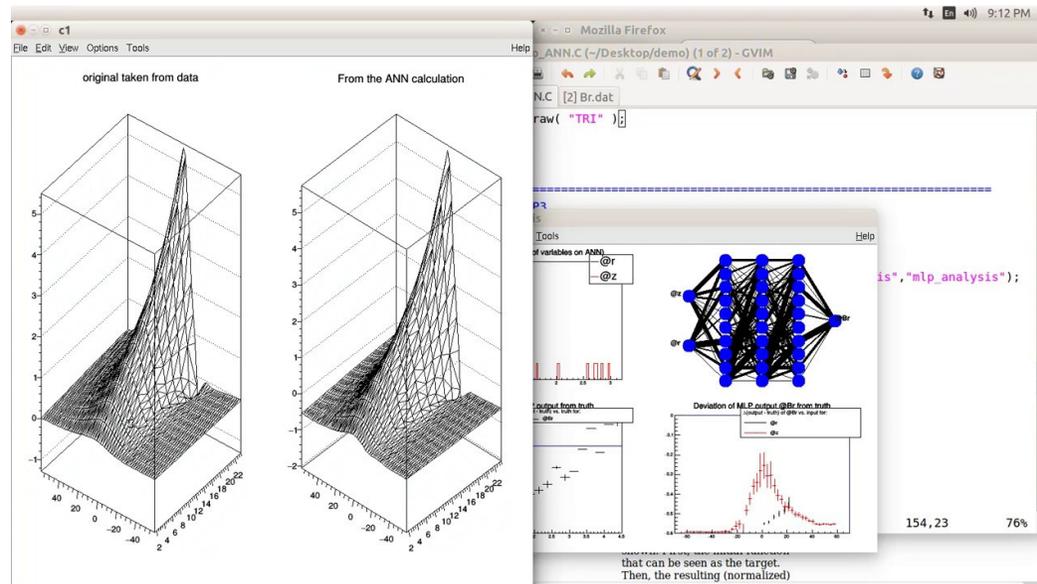
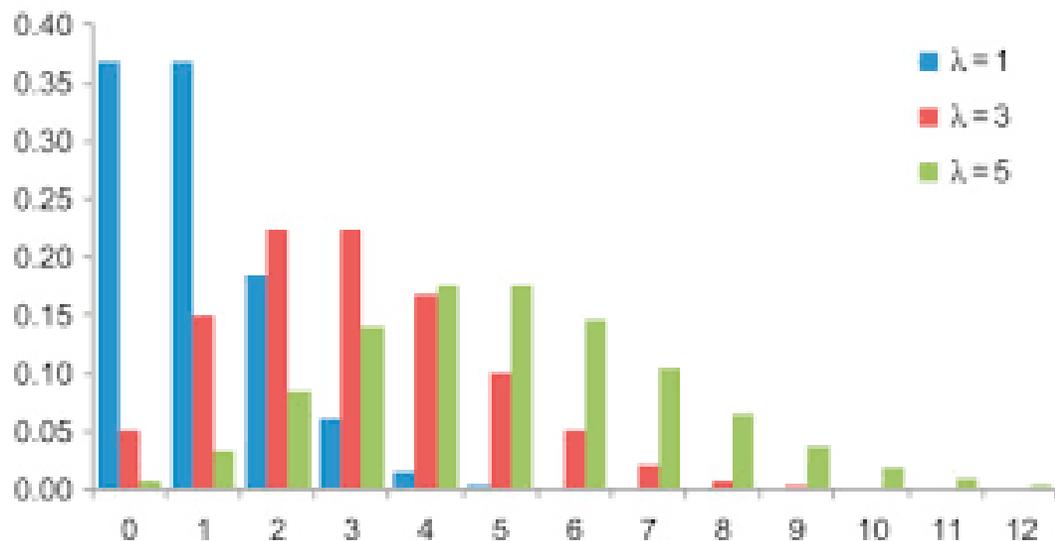




```
17 // Node stopping error is c
18 if err := t.rpcContext.Stopp
19 stream.Context(), "storage.
20 func(ctx context.Context) {
21     t.rpcContext.Stopper.RunWo
22     errCh <- func() error {
23         var stats *raftTransport
24         stream := &lockedRaftMess
25         for {
26             batch, err := stream.Recv
27             if err != nil {
28                 return err
29             }
30             if len(batch.Requests) == 0
31                 continue
32             }
33             if stats == nil {
34                 stats = t.getStats(batch.Reque
35             }
36             for i := range batch.Requests {
37                 req := &batch.Requests[i]
38                 atomic.AddInt64(&stats.serverRecv,
```



### POISSON DISTRIBUTION



# Conferenza!

- I risultati delle nostre ricerche non sono mai segreti! (publish or perish)
- I ricercatori competono per essere i primi a presentare un determinato risultato nelle più prestigiose *conferenze internazionali!*
- Il meccanismo di *peer-review* che assicura l'affidabilità della ricerca svolta
- **Un esperimento solo non basta!** Vengono condotti in parallelo molti esperimenti sui neutrini o sulla materia oscura, con tecniche a volte complementari.



# Identification of Dark Matter 2024

[www.idm2024.eu](http://www.idm2024.eu)

- IDM2024 si svolgerà a L'Aquila dall'**8 al 12 Luglio 2024**
- Sono attesi circa **250** tra i migliori ricercatori al mondo nel campo della materia oscura
- Si parlerà per una settimana di **WIMP, assioni, PRIMORDIAL BLACK HOLES** e degli sforzi teorici e sperimentali della comunità internazionale per gettare luce sul mistero della Dark Matter
- E' qui che entrate in gioco voi...

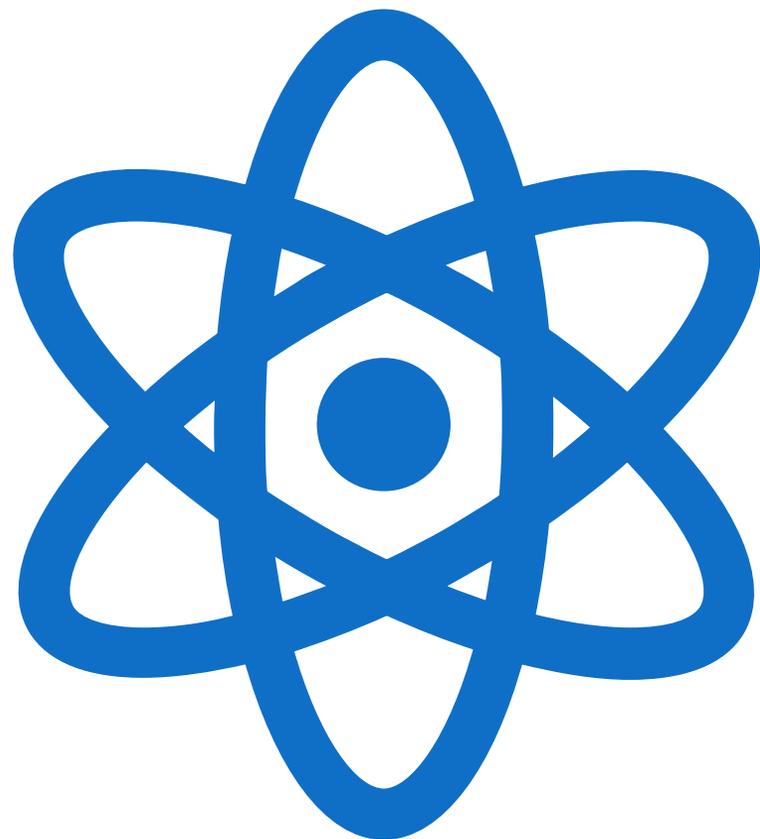
# Identification of Dark Matter 2024

[www.idm2024.eu](http://www.idm2024.eu)

Programma di outreach di IDM2024

- Concorso scuole media del comune dell'Aquila per disegnare il *logo* della conferenza:
  - 6 scuole, 800 iscritti, circa 250 elaborati, 20 finalisti... 1 vincitore
- Concorso per le scuole superiori:
  - Spieghiamo insieme la Materia Oscura
  - Realizzare un *progetto di divulgazione* (exhibit, installazione, video, etc) che abbia come oggetto la Materia Oscura e che spieghi in modo semplice e originale di cosa si tratta e come facciamo a sapere che esiste.
- Per la cittadinanza: *public lecture/spettacolo* a tema scientifico durante la conferenza





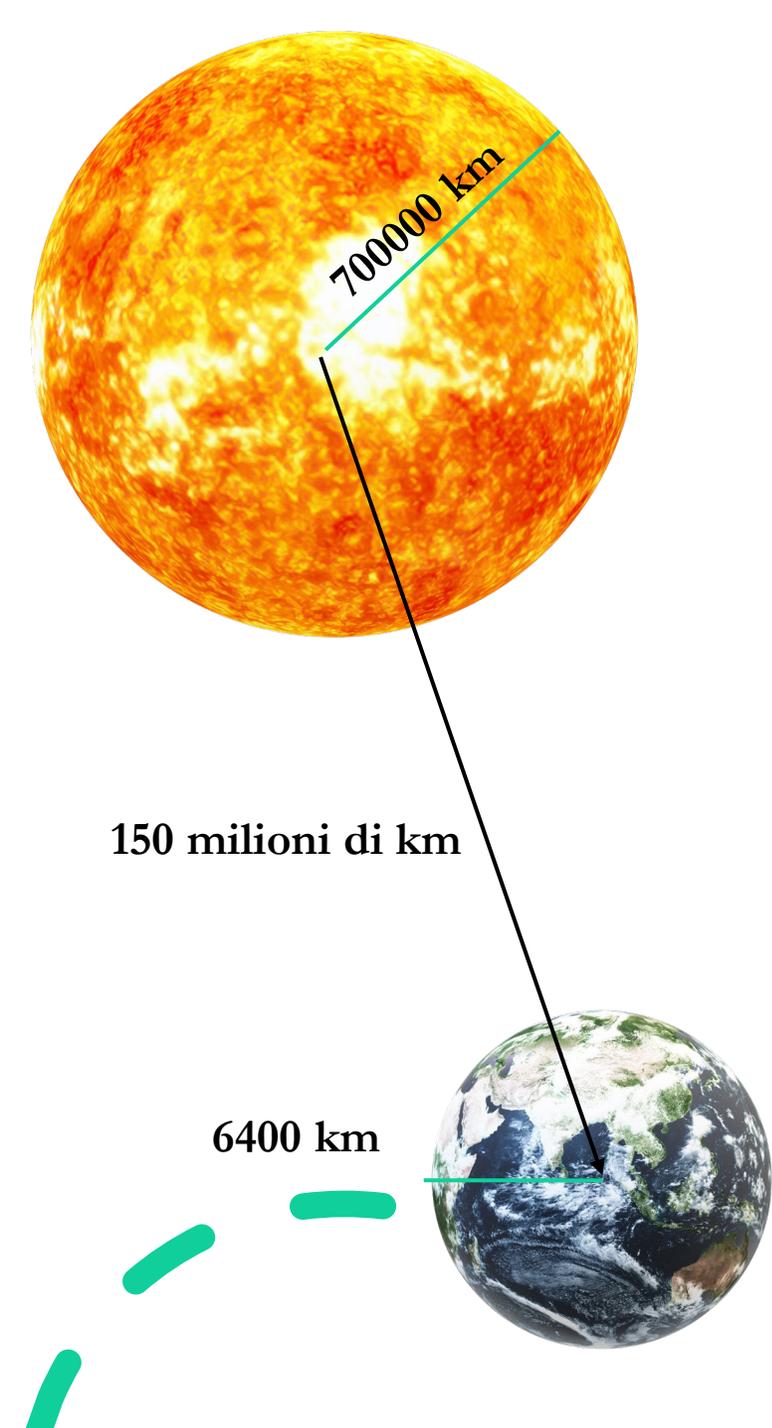
**Domande?**

Nella scienza esiste solo la Fisica; tutto il resto è collezione di francobolli.

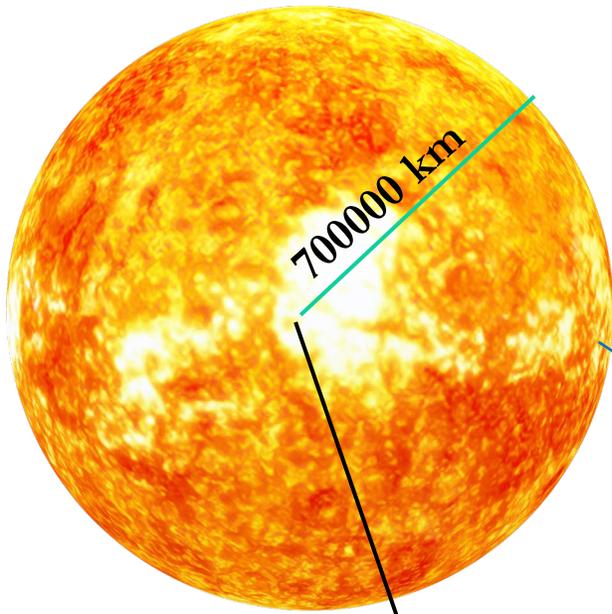
*ERNEST RUTHERFORD*

- backup

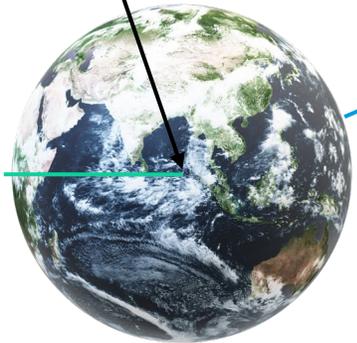
# Di cosa è fatto l'universo?



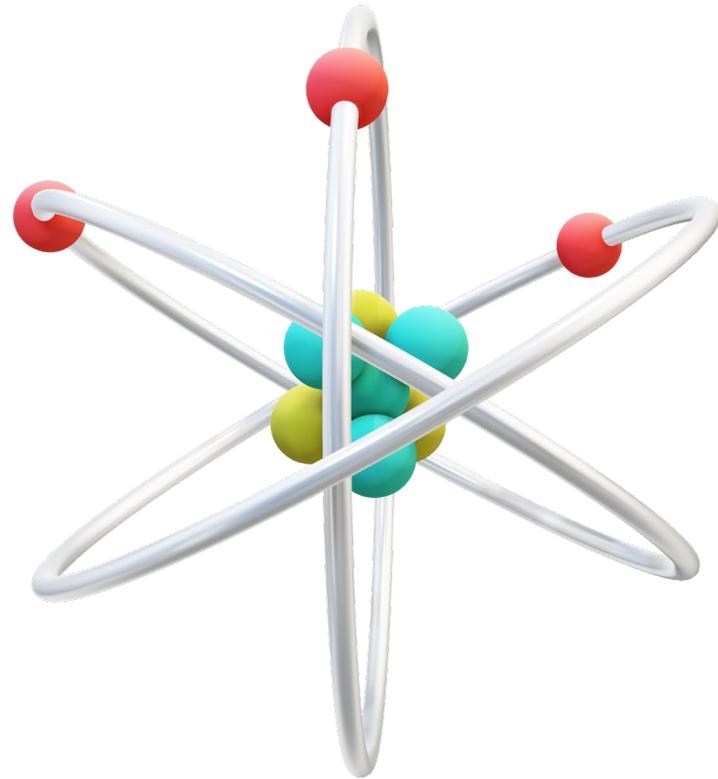
# Di cosa è fatto l'universo?



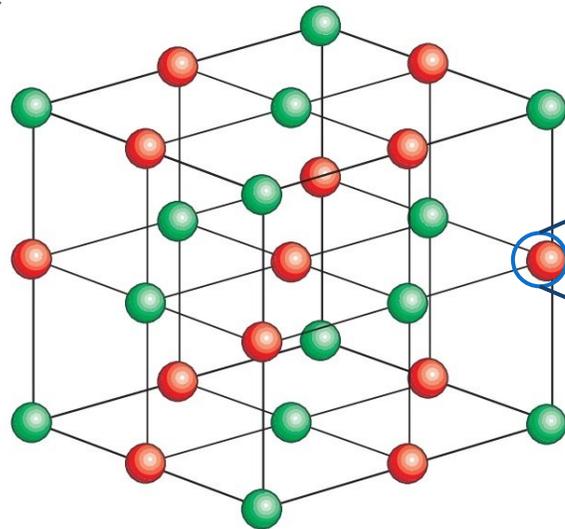
150 milioni di km



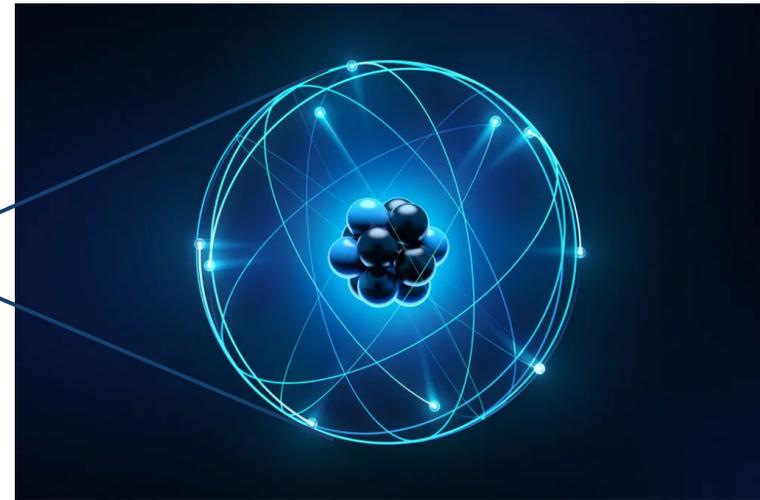
6400 km



# Dentro la materia

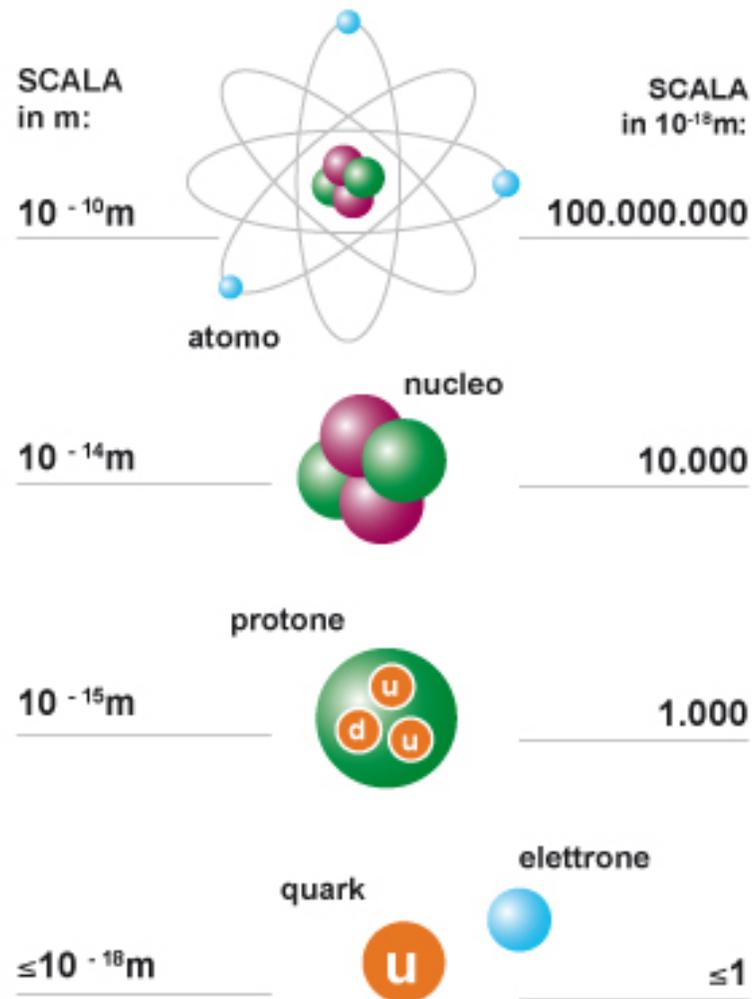


● atomo di sodio (Na) ● atomo di cloro (Cl)



0,000000000001 m =  $10^{-10}$  m

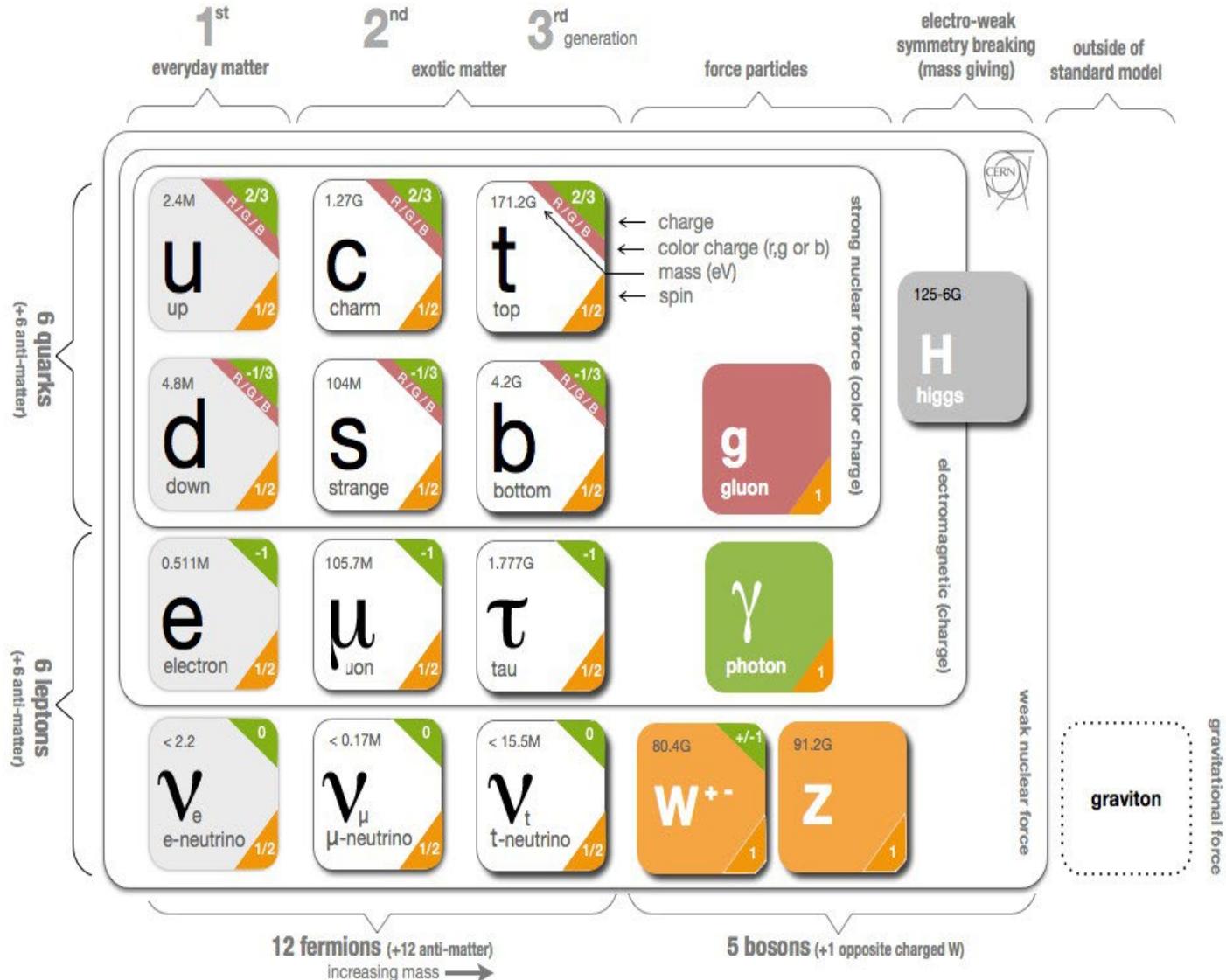
# Dentro l'ATOMO



WWW.ANDREAMININI.COM

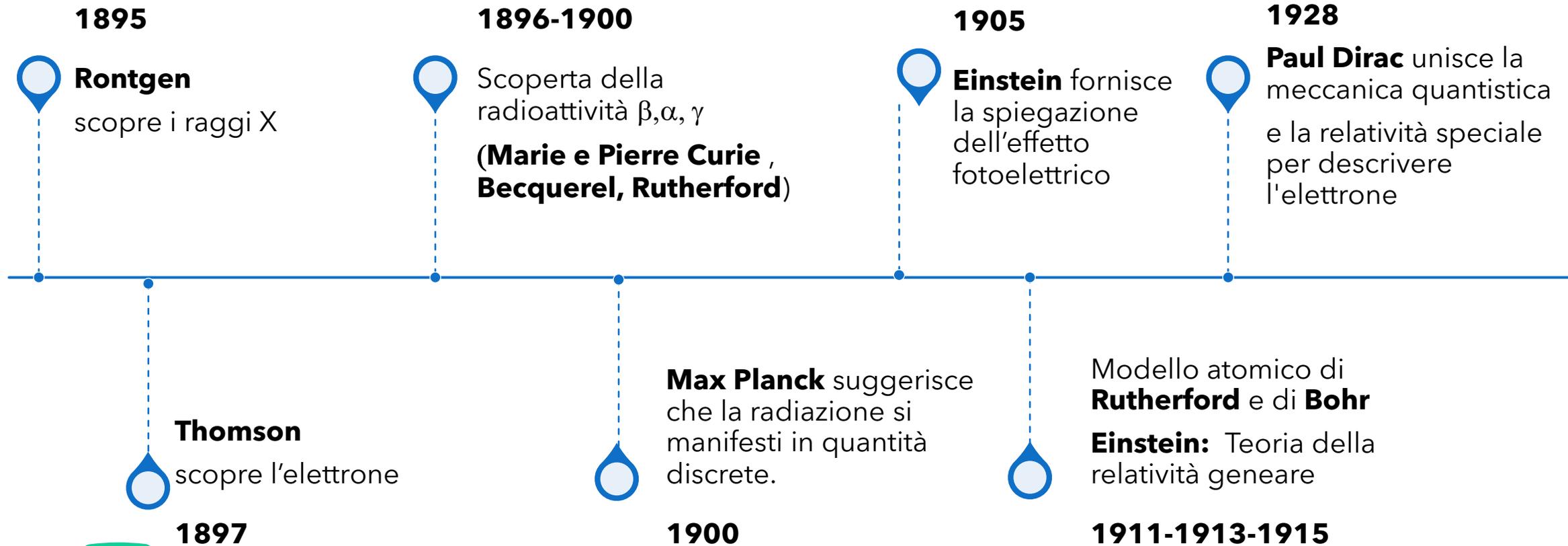
Nota: il confronto è indicativo per avere un'idea, il raggio dell'orbitale più vicino al nucleo è pari a  $5,291 \times 10^{-11}$  metri (raggio di Bohr) mentre il nucleo è grande  $10^{-15}$  metri.

# Il Modello Standard delle particelle elementari

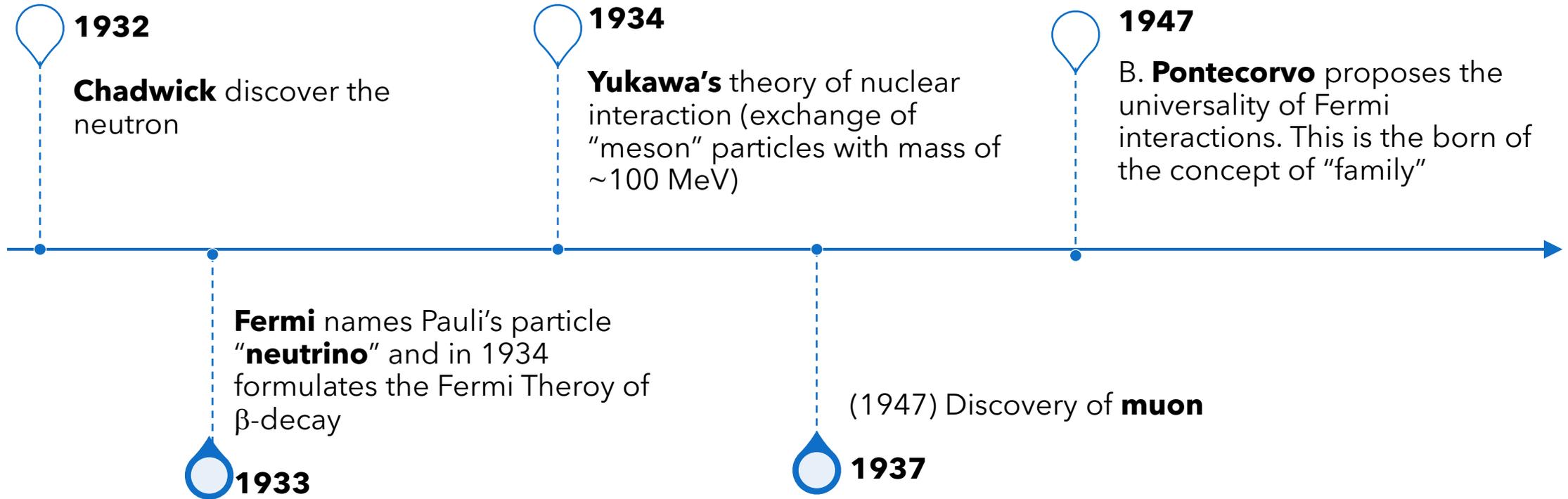


$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \\
 & + i\bar{\psi} \not{D} \psi + h.c. \\
 & + \chi_i y_{ij} \chi_j \phi + h.c. \\
 & + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)
 \end{aligned}$$

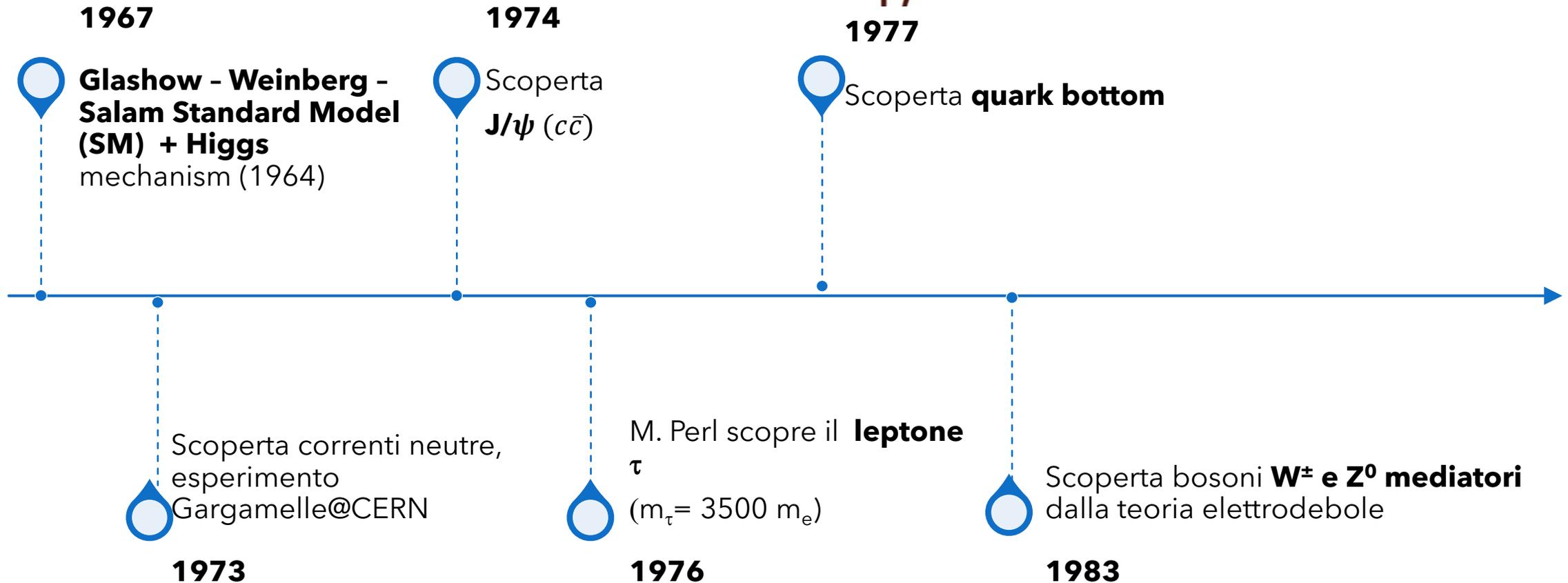
# La linea temporale del MS



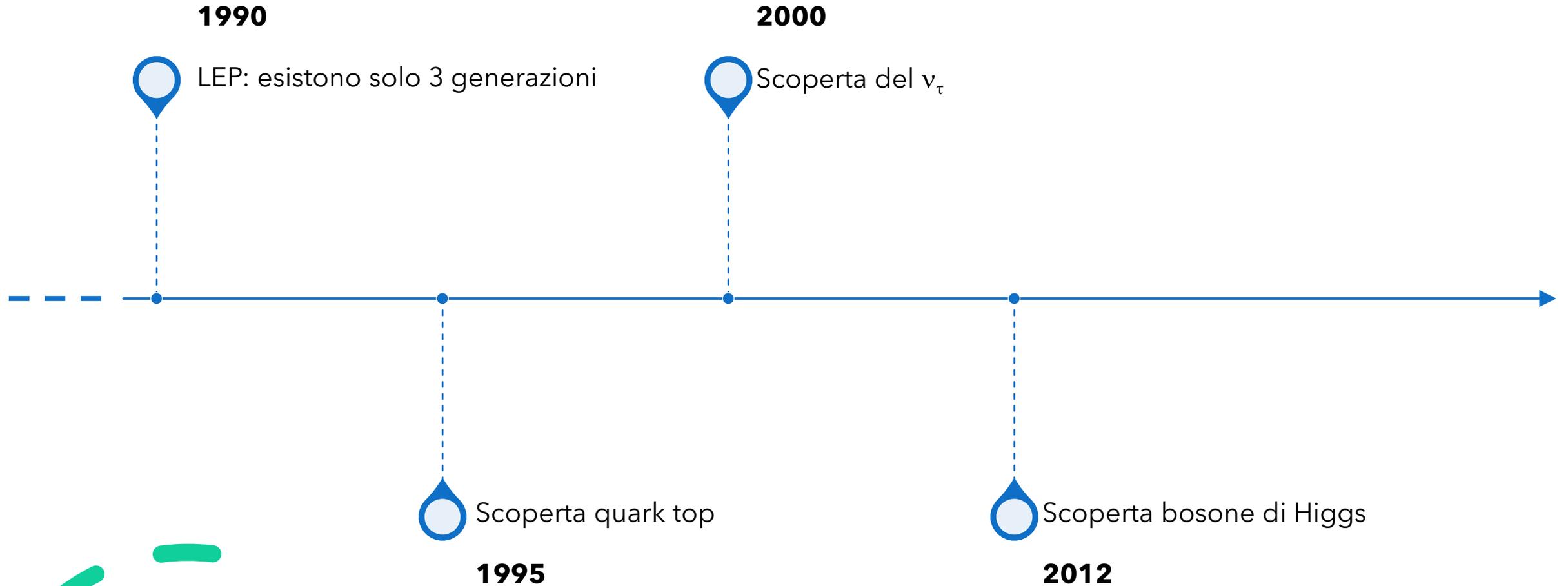
# La linea temporale del MS



# La linea temporale del MS



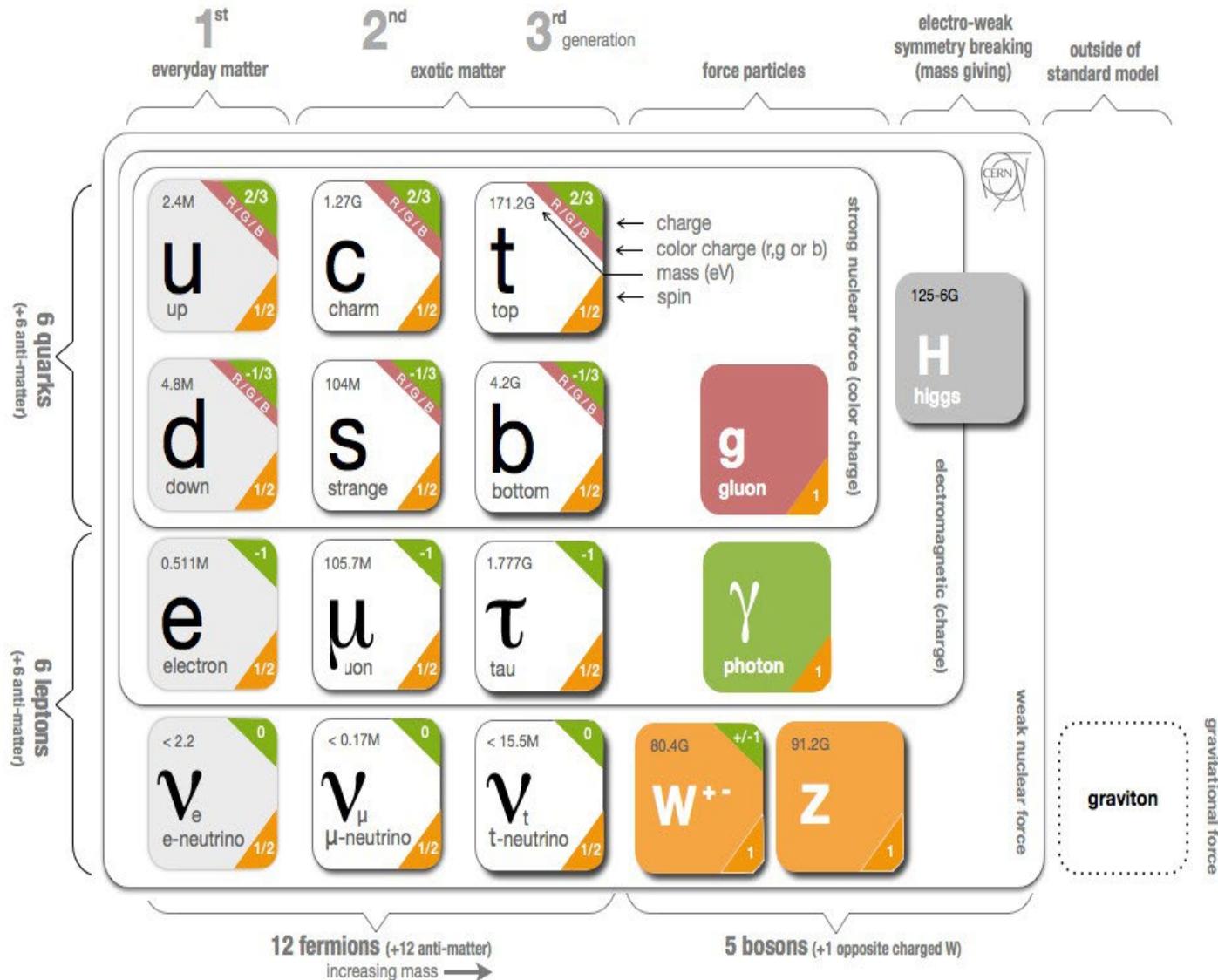
# La linea temporale del MS



WOOHOO!!!



# Verso la nuova fisica oltre il Modello Standard...



Perché l'Universo è fatto di materia e non di antimateria???

I neutrino hanno massa?

Perché è così piccola?

Unificazione relatività e meccanica quantistica??

E la materia oscura???

