

# Benvenuti!

Alternanza Scuola Lavoro – Istituto Nazionale Fisica Nucleare  
(Sezione di Bologna)  
18 Giugno 2018 – 22 Giugno 2018



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

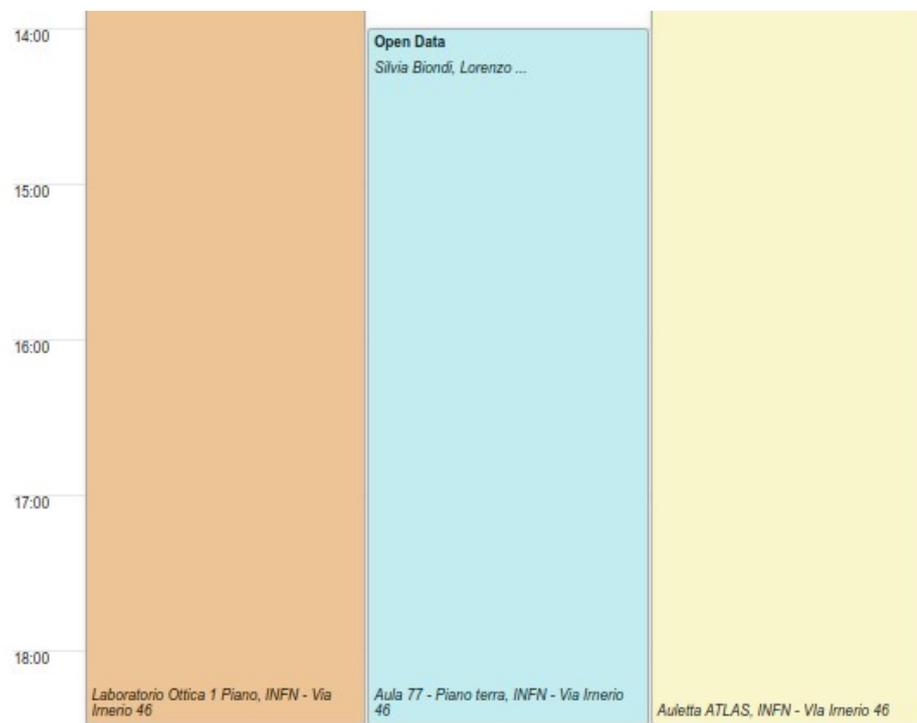
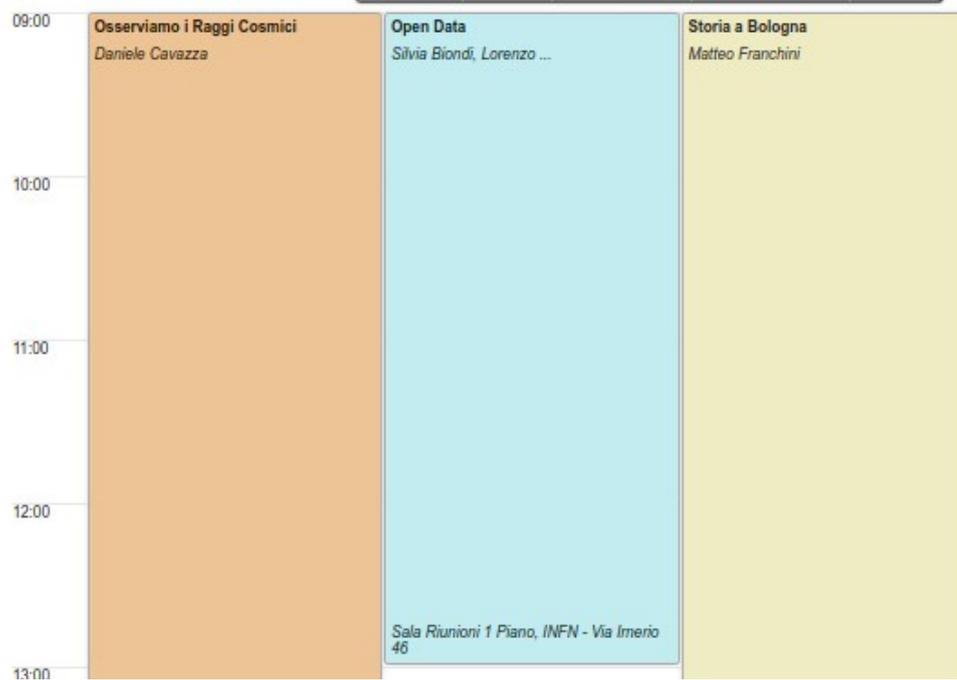
# Dettagli organizzativi

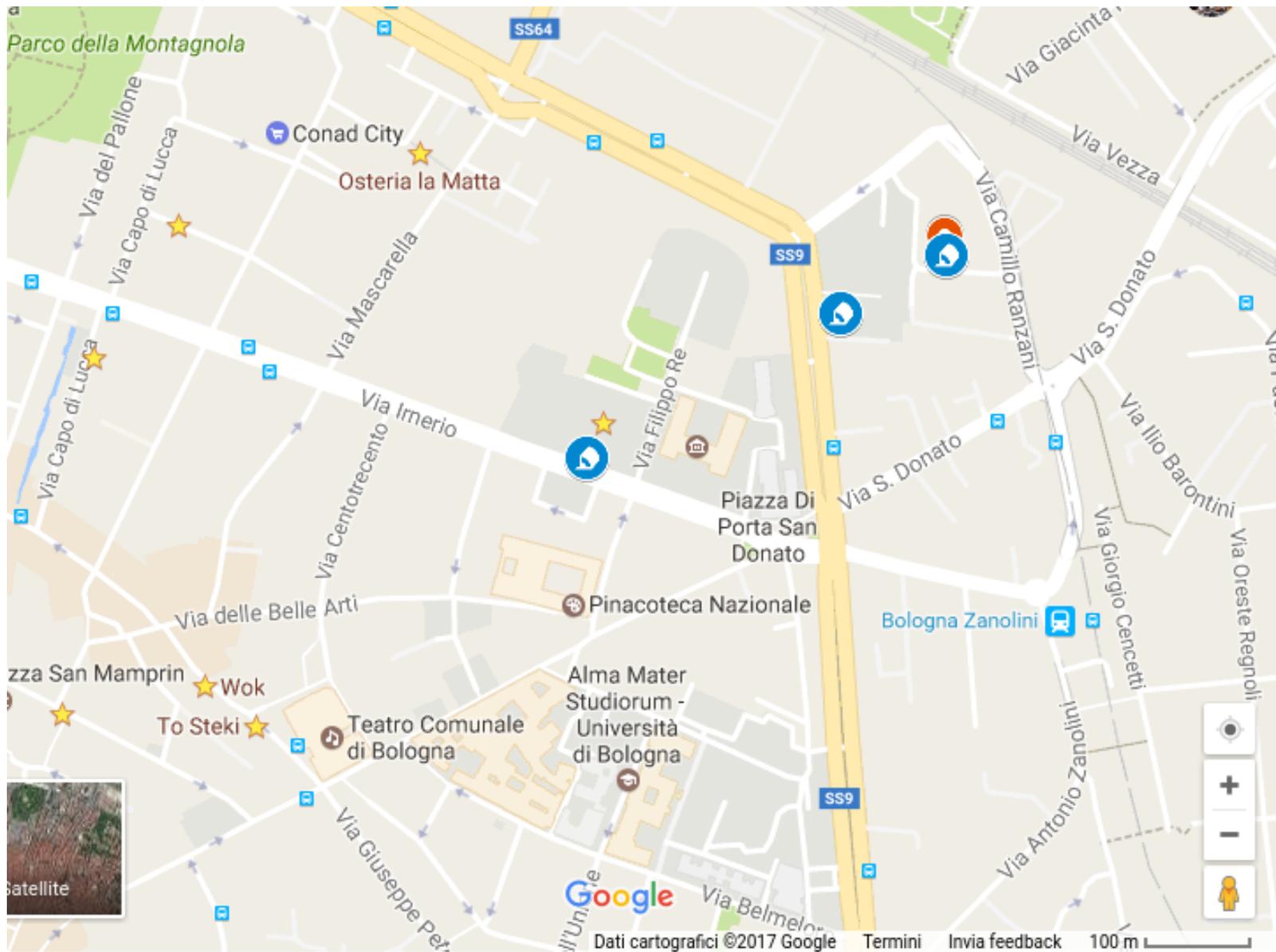
- Agenda (link a materiale)
- <https://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=15574>
  
- Inizio attività il pomeriggio dalle 09:00 alle 18:30 (più o meno) .
- Sede Attività Viale Berti Pichat
- Venerdì 22 Giugno è prevista la presentazione pubblica del vostro lavoro. Invitate amici, professori, genitori etc... (Stessa aula in Viale Berti Pichat 6/2)
- Per collegarvi in rete usate INFN-Web (diverse password e nome utente)
- Telefono cellulare per ogni evenienza: 3479939731  
Mail: [antonio.sidoti@bo.infn.it](mailto:antonio.sidoti@bo.infn.it)

# OGGI – Lunedì 18 Giugno 2018

14:00	<b>Introduzione</b>  <i>Sala Riunioni 1 Piano, INFN - Viale Berti Pichat 6/2</i> <span style="float: right;">14:00 - 15:00</span>		
15:00	<b>Osserviamo i Raggi Cosmici</b> <i>Daniele Cavazza</i>	<b>Open Data</b> <i>Silvia Biondi, Roberto ...</i>	<b>Storia a Bologna</b> <i>Matteo Franchini</i>
16:00			
17:00			
18:00	<i>Laboratorio Ottica 1 Piano, INFN - Via Imerio 46</i>	<i>Aula Riunioni 1 Piano, INFN - Via Berti Pichat 6/2</i>	<i>Auletta ATLAS 1 Piano, DIFA - Via Imerio 46</i>

# Domani – Martedì 18 Giugno 2018





9 APRILE 2018



INFN

*Antonio Sidoti*

*Ricercatore INFN Bologna*

[www.infn.it](http://www.infn.it)

[www.bo.infn.it](http://www.bo.infn.it)

6/18/18

**I**stituto  
**N**azionale di  
**F**isica  
**N**ucleare

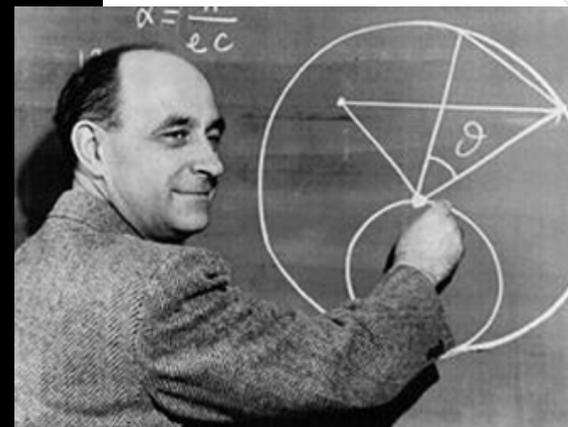
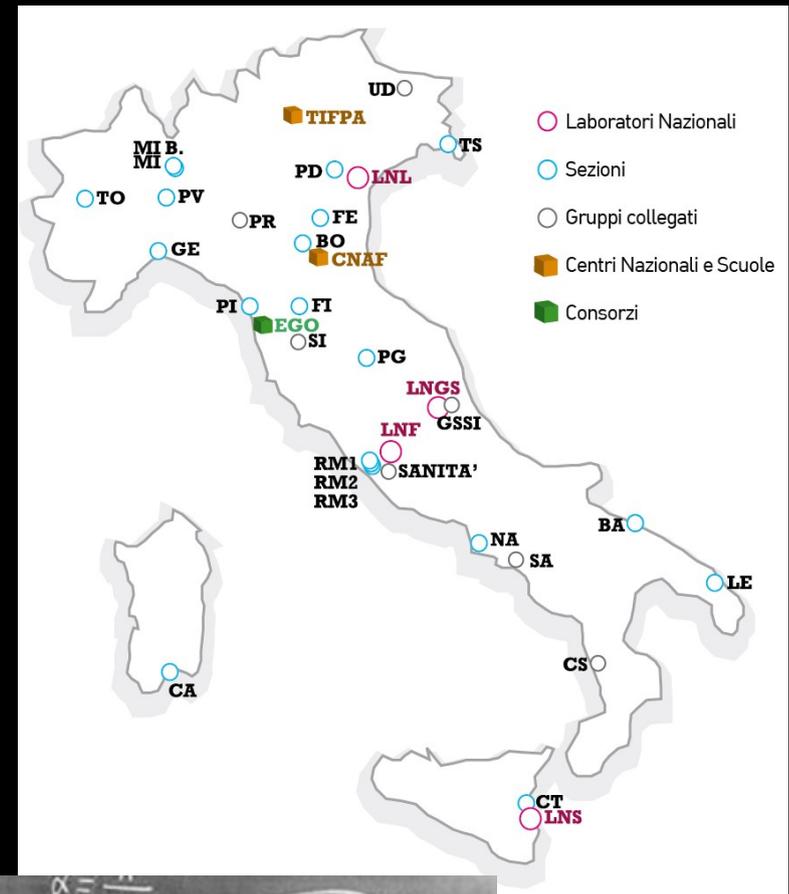
in numeri



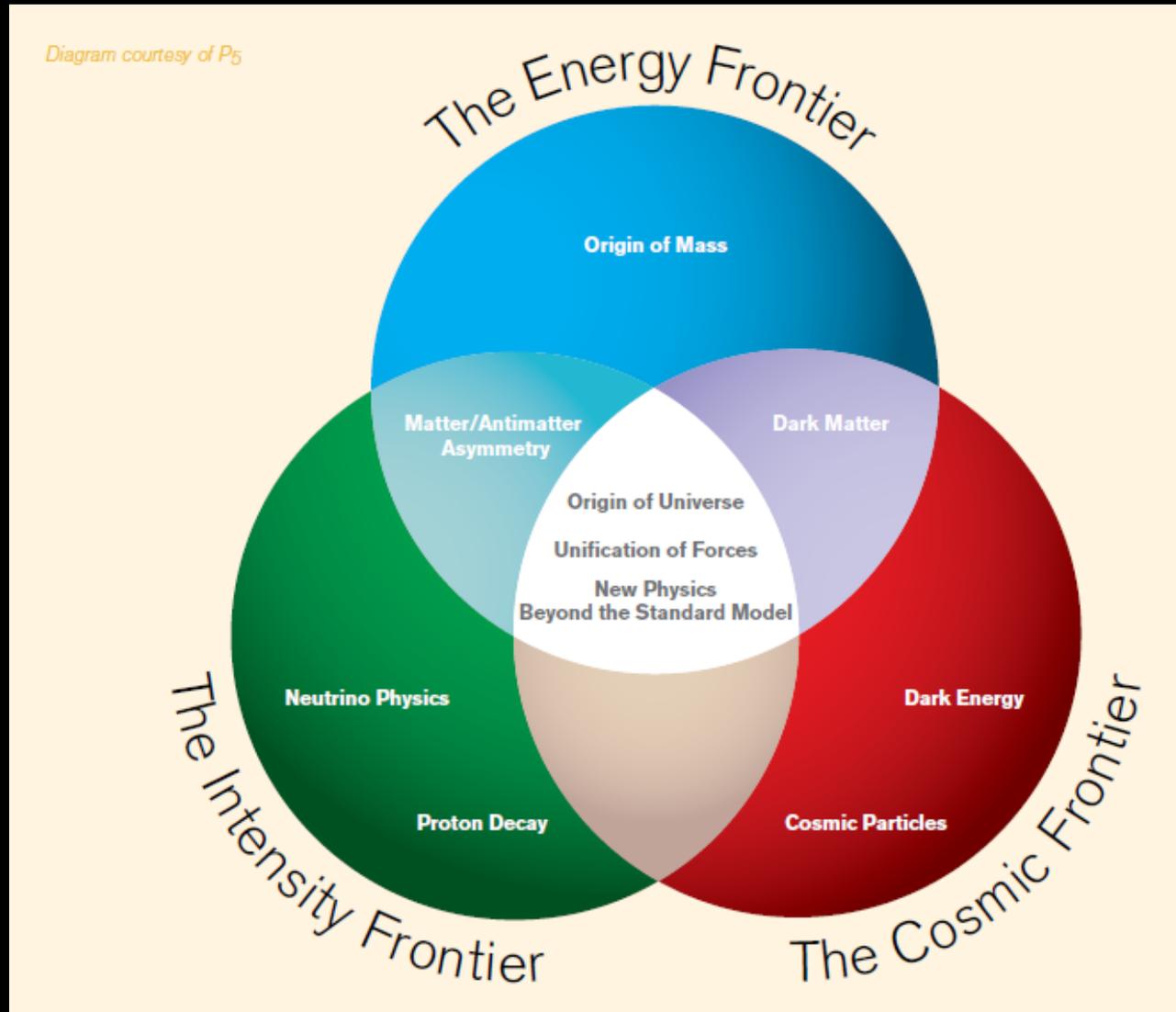
# INFN

- Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
  - Fondato l'8 Agosto del 1951
  - circa 2000 dipendenti e 3600 associati
  - 20 Sezioni e 4 Laboratori Nazionali (Catania, Frascati, Gran Sasso e Legnaro)
  - Contributo riconosciuto internazionalmente a non solo a livello europeo, ma mondiale

**Prosegue la scuola di Enrico Fermi degli anni 30 del 900, interrotta dalla II guerra mondiale**



# Siamo una comunita` di donne e uomini, di fisici che si occupa di “fisica fondamentale”



Siamo una comunita` di donne e uomini, di fisici che si occupa di “fisica fondamentale”

Fisica Fondamentale

Fare domande fondamentali

Costruire strumenti eccezionali per trovare le risposte

Nuove domande

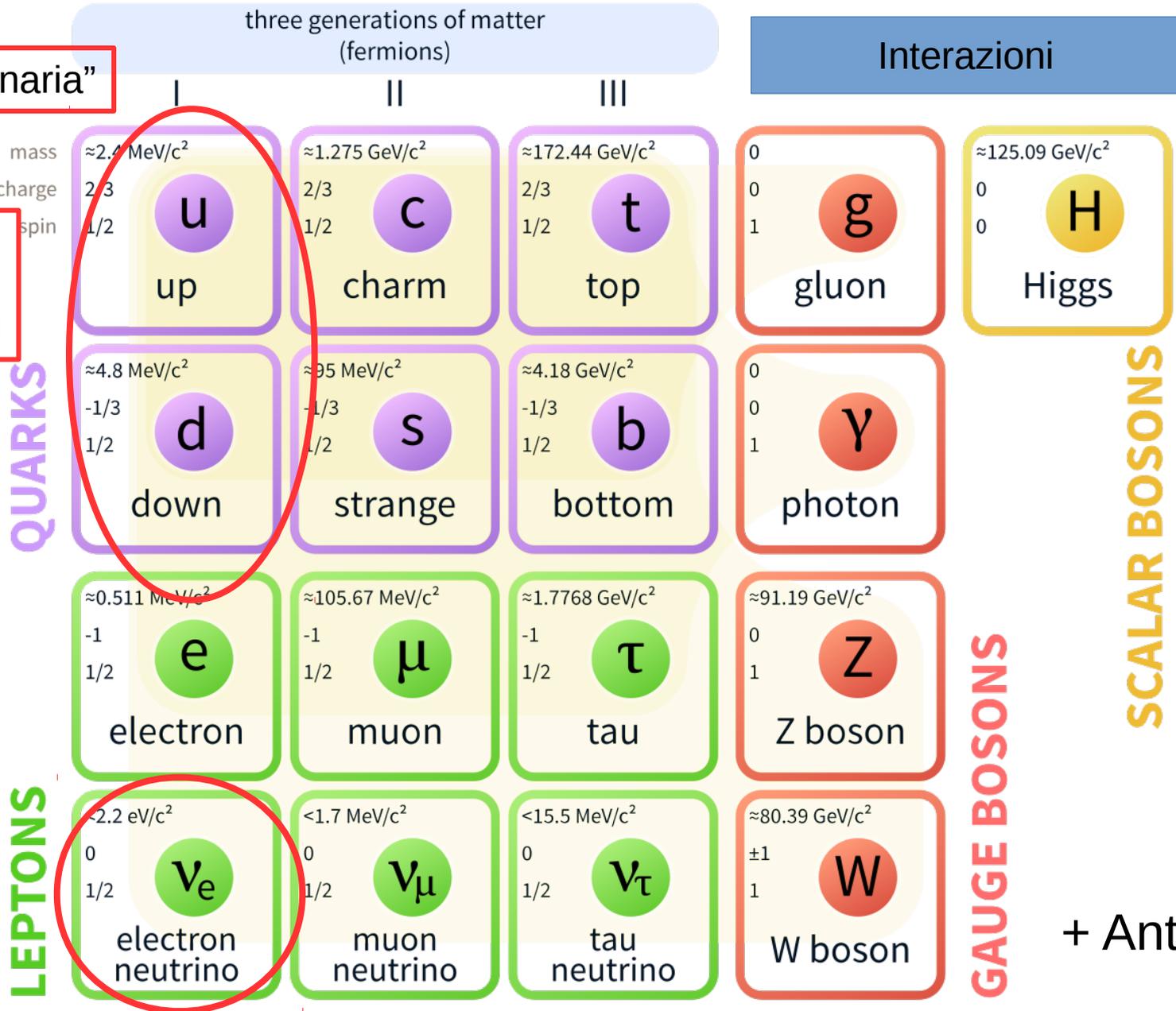
E cosi` via ... spingendosi oltre le frontiere della conoscenza



# Standard Model of Elementary Particles

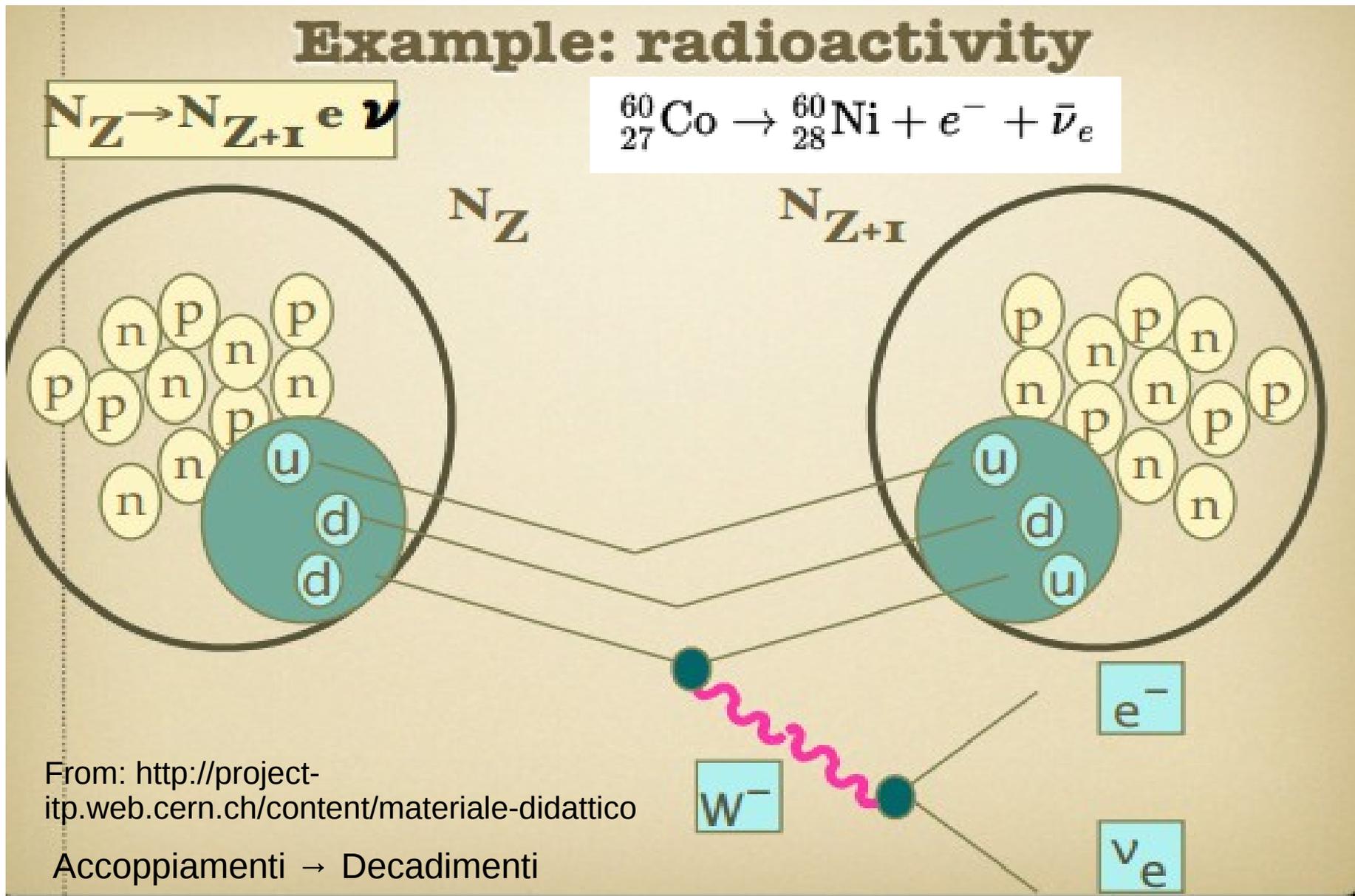
Materia "Ordinaria"

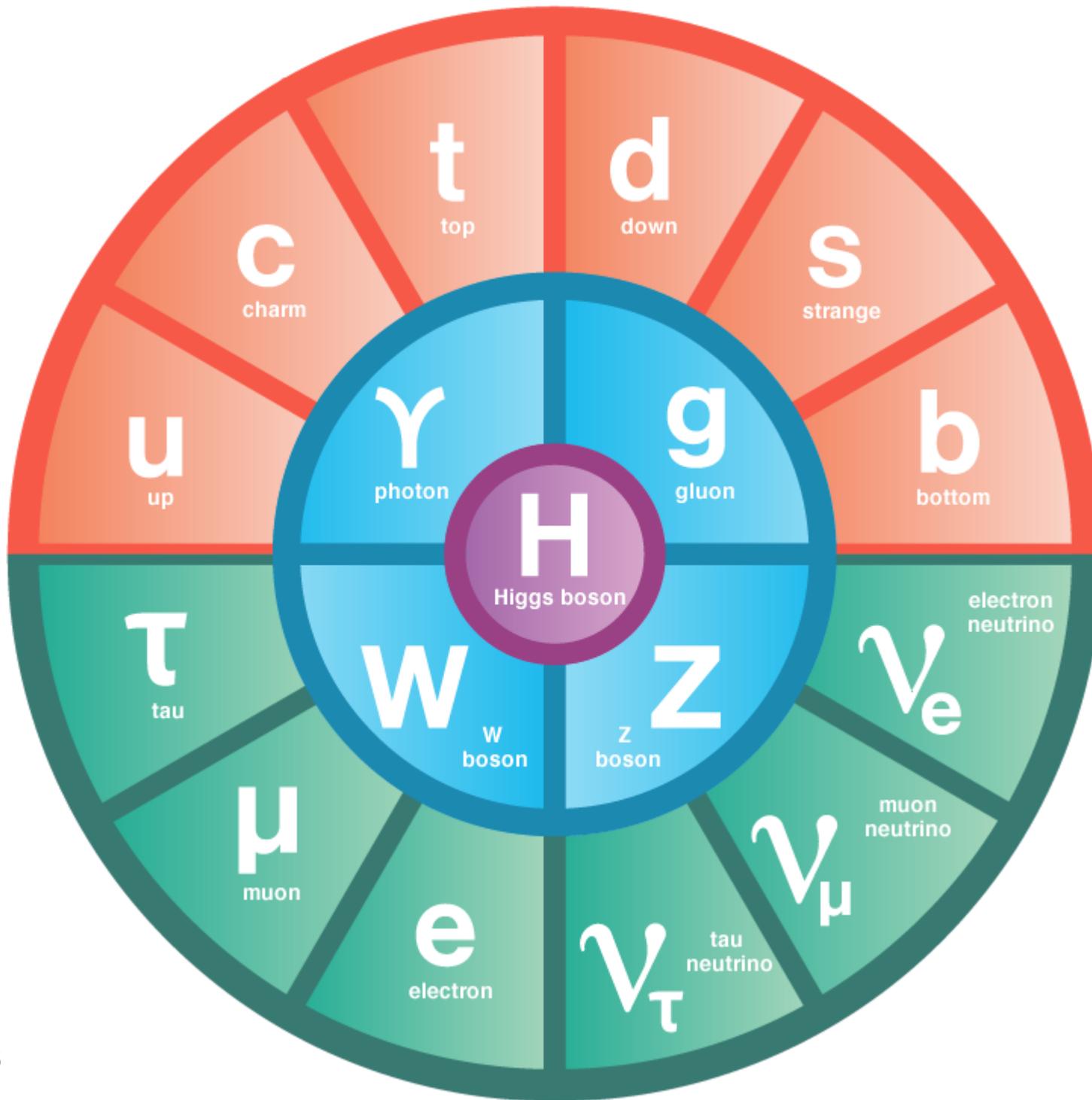
Protoni: uud  
Neutroni: udd



+ Antimateria

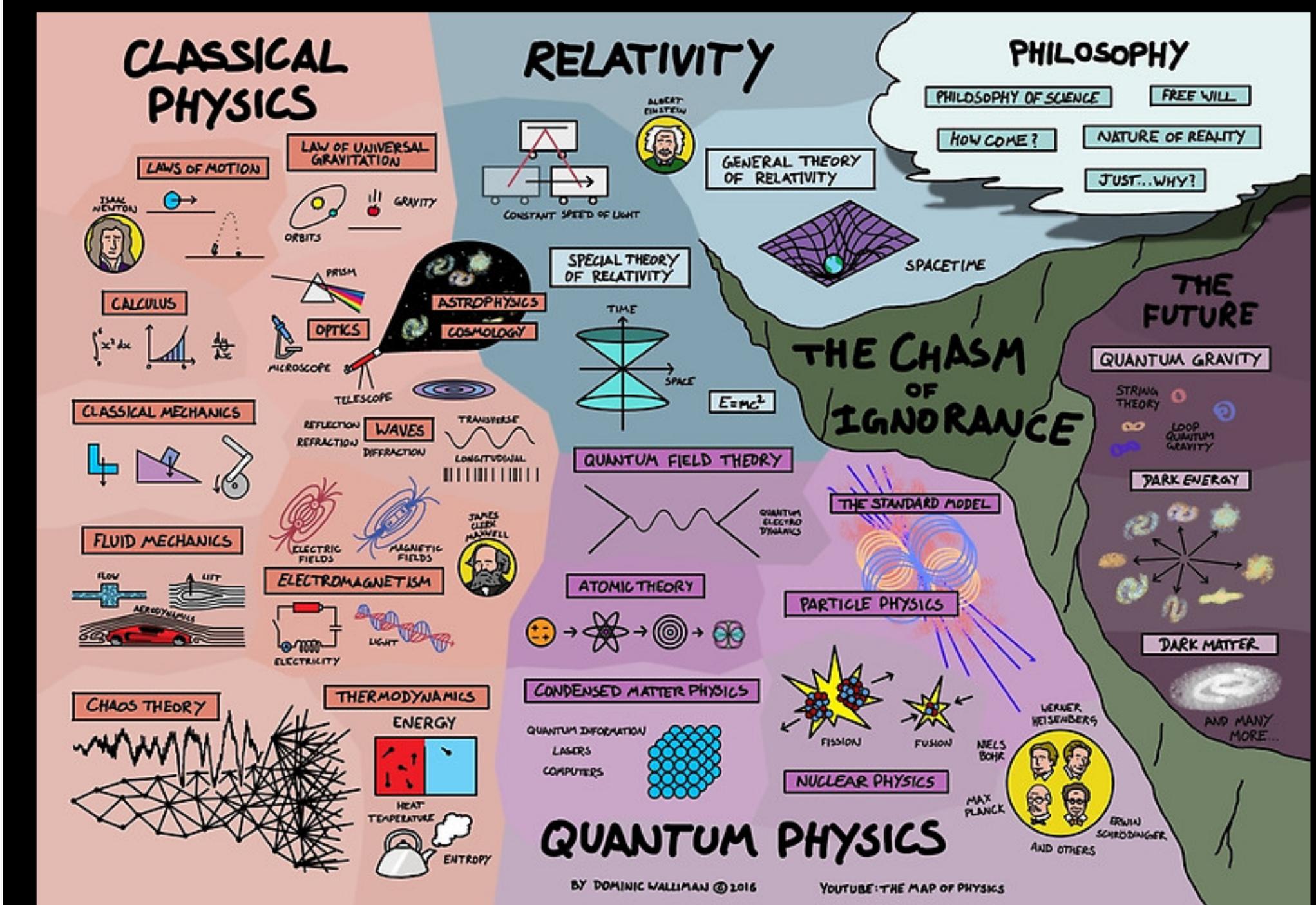
# Decadimento Beta





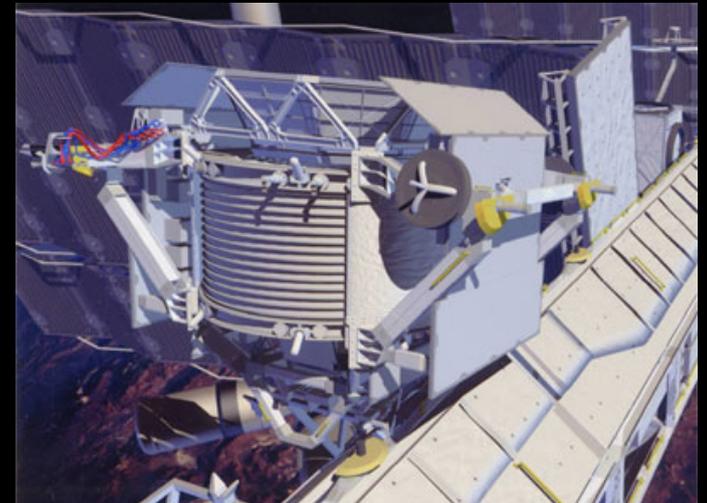
# Alcune domande “fondamentali”

- **Cosa c'è oltre il Modello Standard?** Si tratta di una teoria veramente incompleta? (Naturalezza, Massa dei neutrini, Natura dei neutrini)
- **Formulazione quantistica della gravità.** (Onde gravitazionali, buchi neri)
- **Di cosa sono composte la materia e l'energia oscura?** Origine dell'Universo e da cosa è guidata la sua evoluzione
- **C'è antimateria primordiale nell'Universo?** (Asimmetria barionica). Dov'è finita l'antimateria?
- **Dove vengono accelerati i raggi cosmici?**
- **Come “muore” una stella?**
- **Di che natura sono i neutrini?**

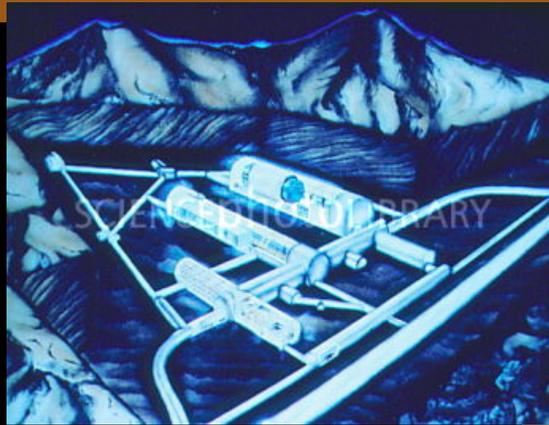
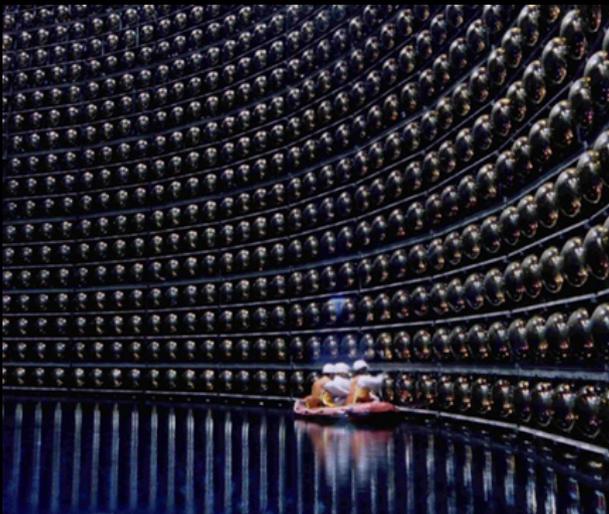
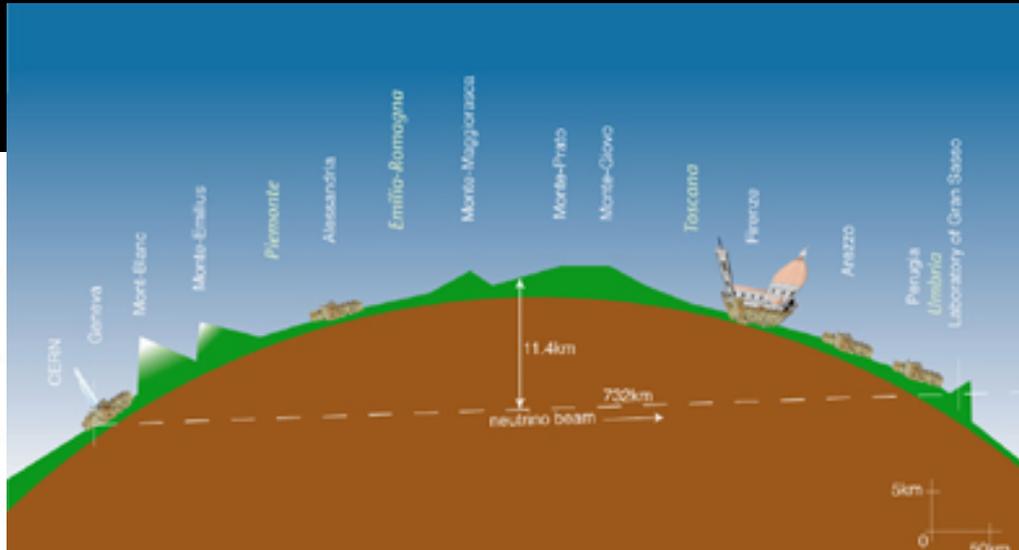


# Esperimenti nello spazio ...

AMS-02 dal 2012 sulla Stazione Internazionale (ISS)



# Esperimenti sotto terra ...



# Agli acceleratori ...



# Agli interferometri gravitazionali



H1- Hanford – Washington state



Virgo – Cascina (Pisa) – EGO site

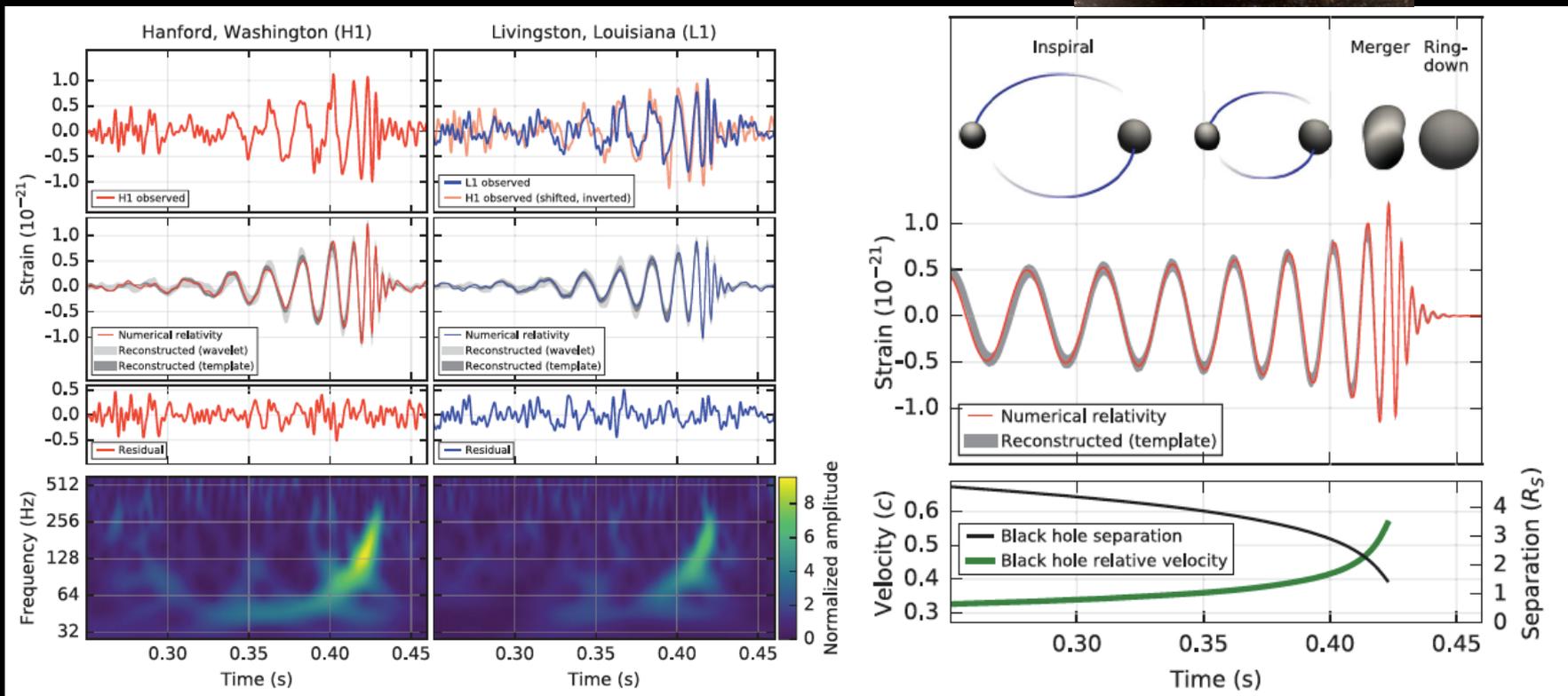


GEO600 – Hannover - Germany

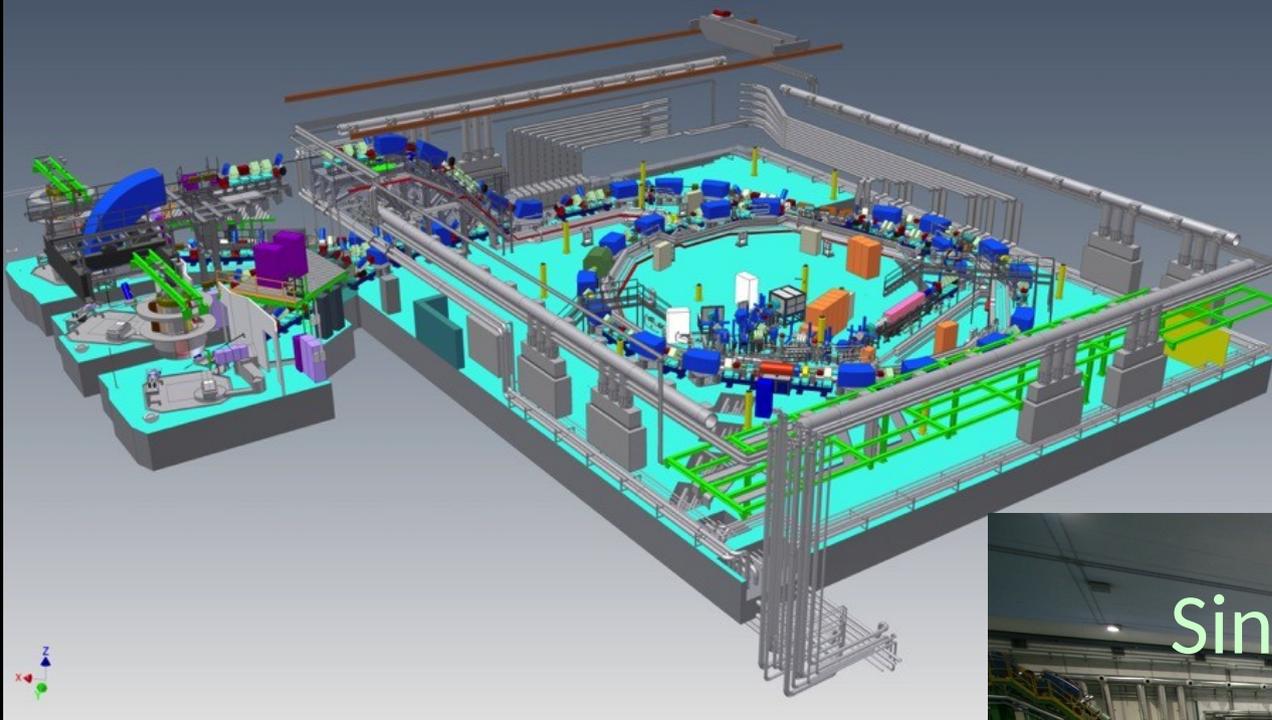


L1- Livingston – Louisiana state

# Osservazione delle onde gravitazionali



# Adroterapia



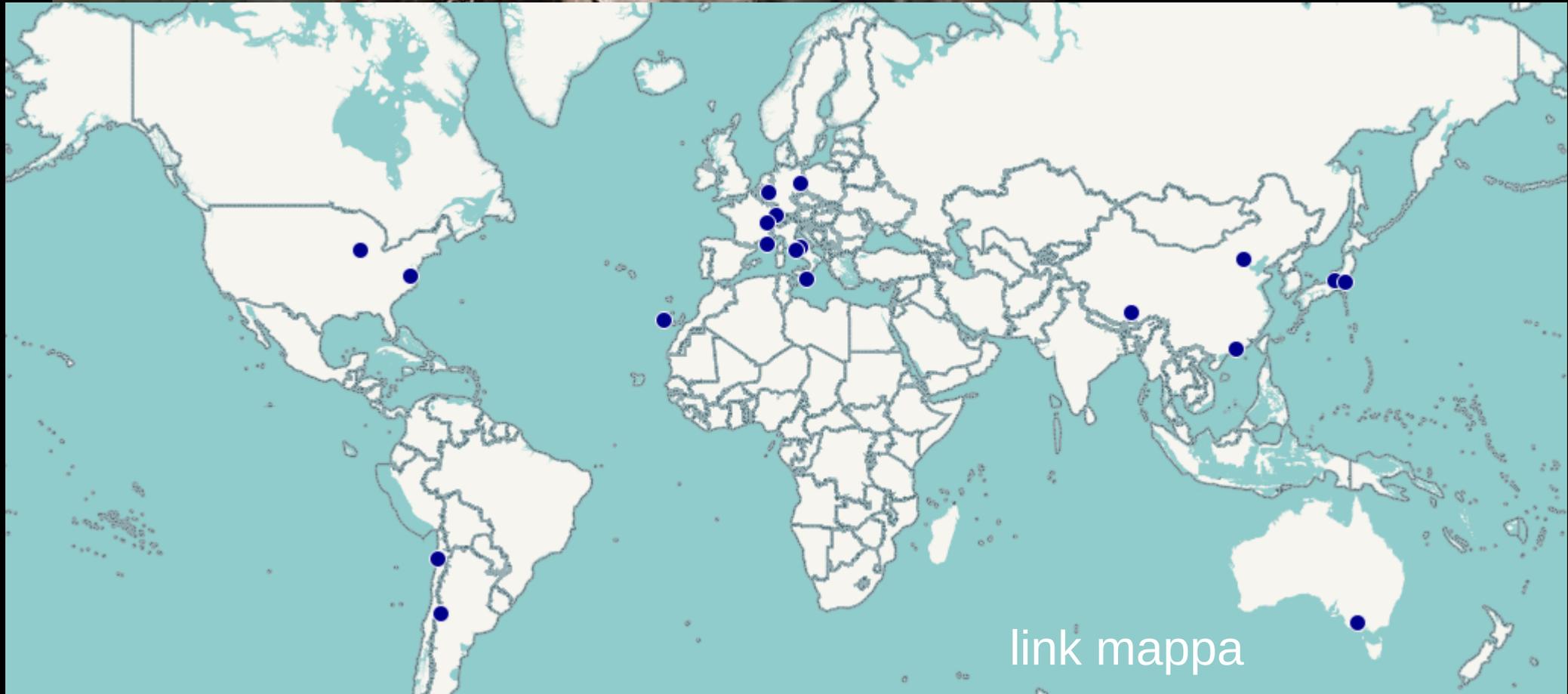
Catania, Pavia e  
Trento

Trasferimento  
tecnologico



**“Sugli esperimenti  
dell’INFN  
non tramonta  
mai il Sole!”**

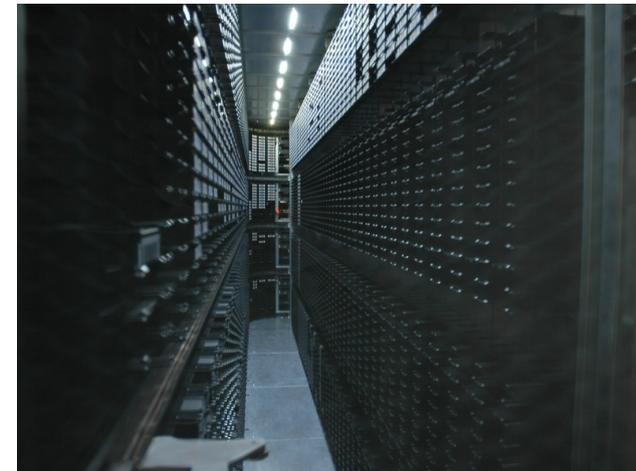
In aggiunta  
esperimenti nello  
spazio su  
International Space  
Station (ISS) e  
satelliti

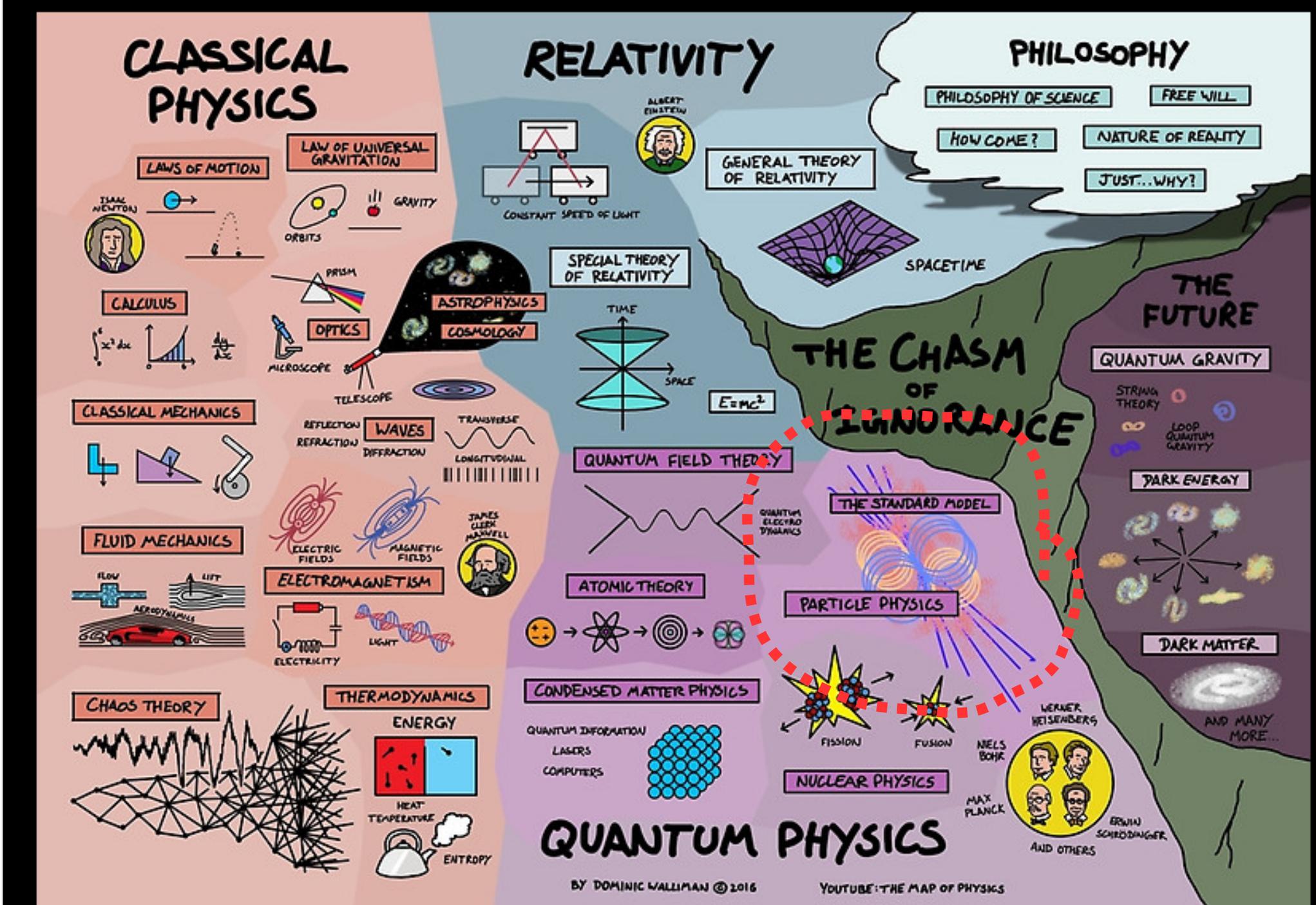


link mappa

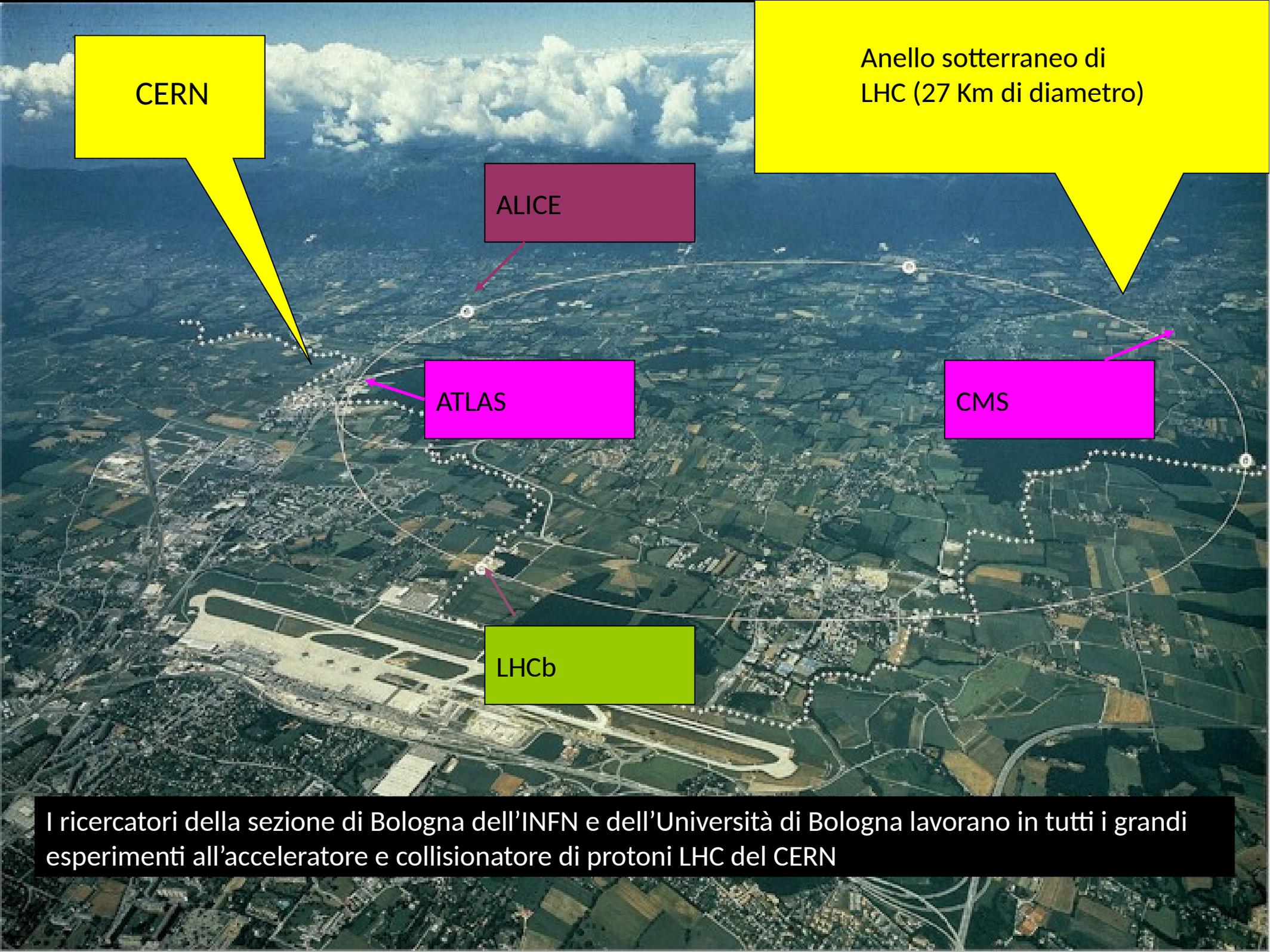
# Che cosa fa l'INFN a Bologna?

- Bologna e` Sezione INFN dal 1956
- Siamo ~100 dipendenti e 180 associati (professori universitari, PostDoc, Dottorandi di Ricerca, Laureandi Magistrali)
- Bologna e` anche sede del CNAF. Una delle piu` grandi infrastrutture di calcolo in Italia (Tier1 per LHC)





# Fisica agli Acceleratori

An aerial photograph of the CERN facility in Switzerland. A large circular tunnel, the LHC, is visible, with several experimental areas marked by colored boxes and arrows. The sky is blue with white clouds. The ground is a mix of green fields and grey infrastructure.

CERN

Anello sotterraneo di  
LHC (27 Km di diametro)

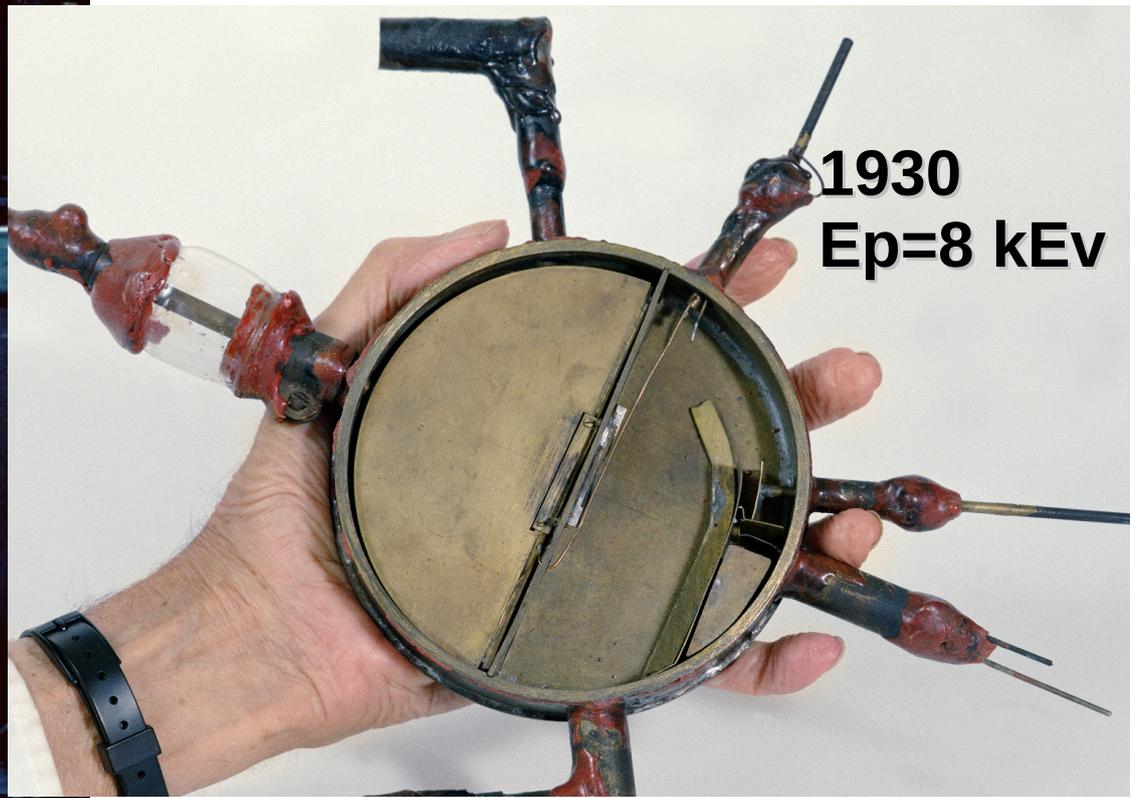
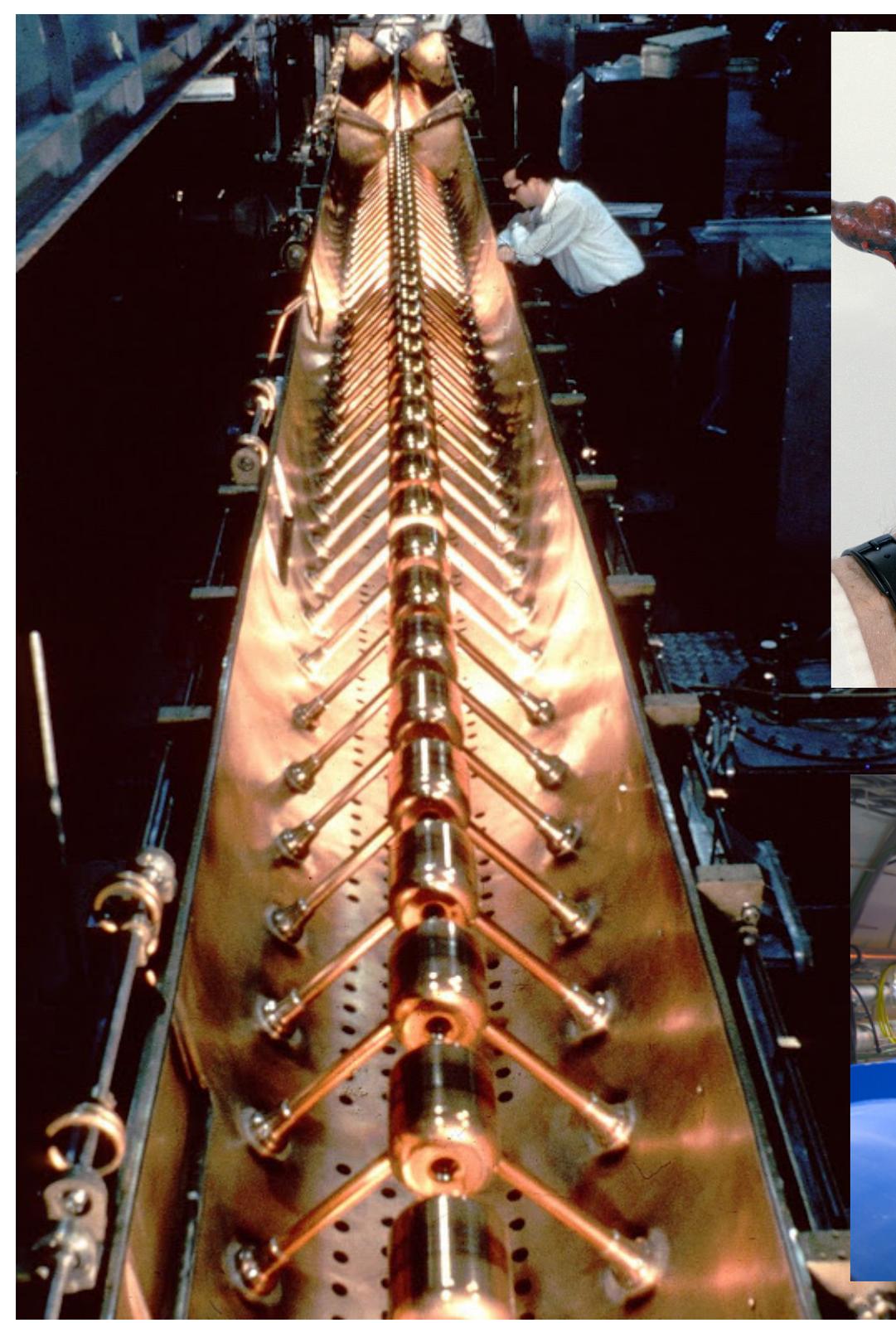
ALICE

ATLAS

CMS

LHCb

I ricercatori della sezione di Bologna dell'INFN e dell'Università di Bologna lavorano in tutti i grandi esperimenti all'acceleratore e collisionatore di protoni LHC del CERN

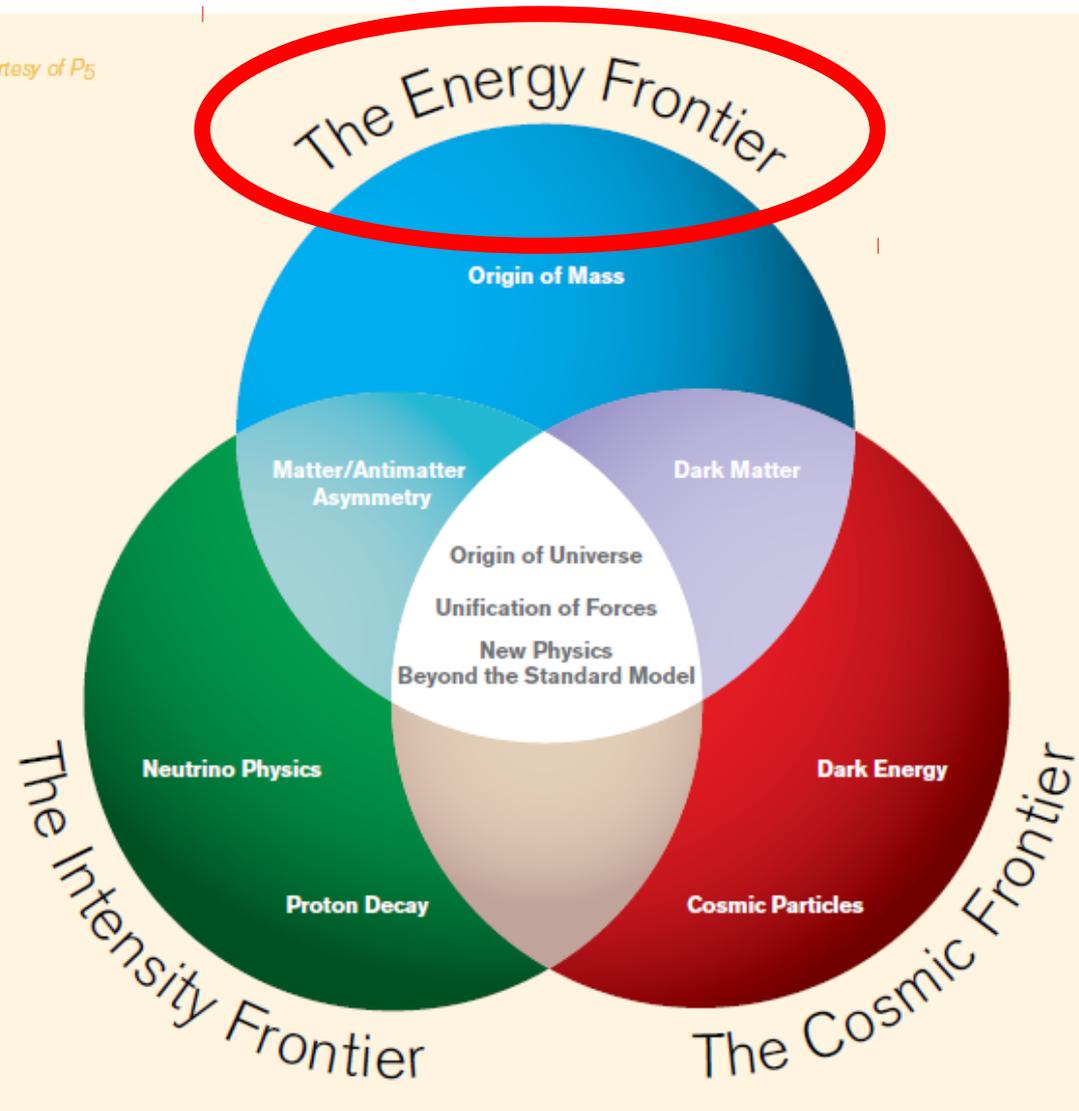


1930  
 $E_p=8$  kEv



2009  
 $E_p=6.5$  TeV

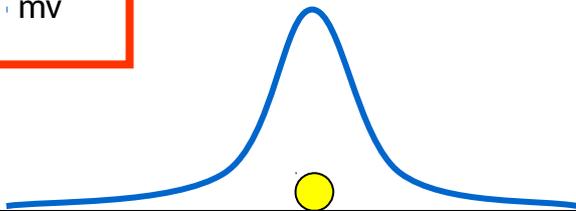
Diagram courtesy of P5



# Perchè la fisica delle alte energie ha bisogno di **alte energie**?

Due rivoluzioni del XX secolo: Relativita` (speciale) e meccanica quantistica

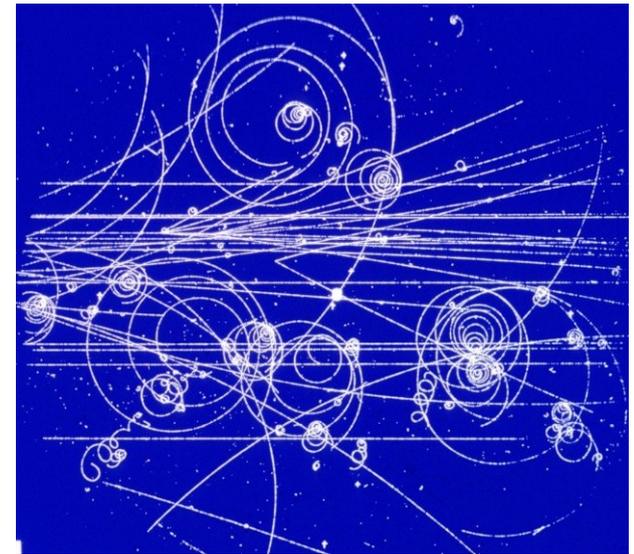
$$\lambda = \frac{h}{mv}$$



Per riuscire a “vedere” i dettagli più piccoli della materia e dei suoi componenti fondamentali

$$E=mc^2$$

Per avere l'energia sufficiente per “creare” nuove particelle e poterle così scoprire e studiare



**Lo studio degli urti fra particelle ad energie altissime permette di capire:**

**1) Come è fatta la materia su scale estremamente piccole**

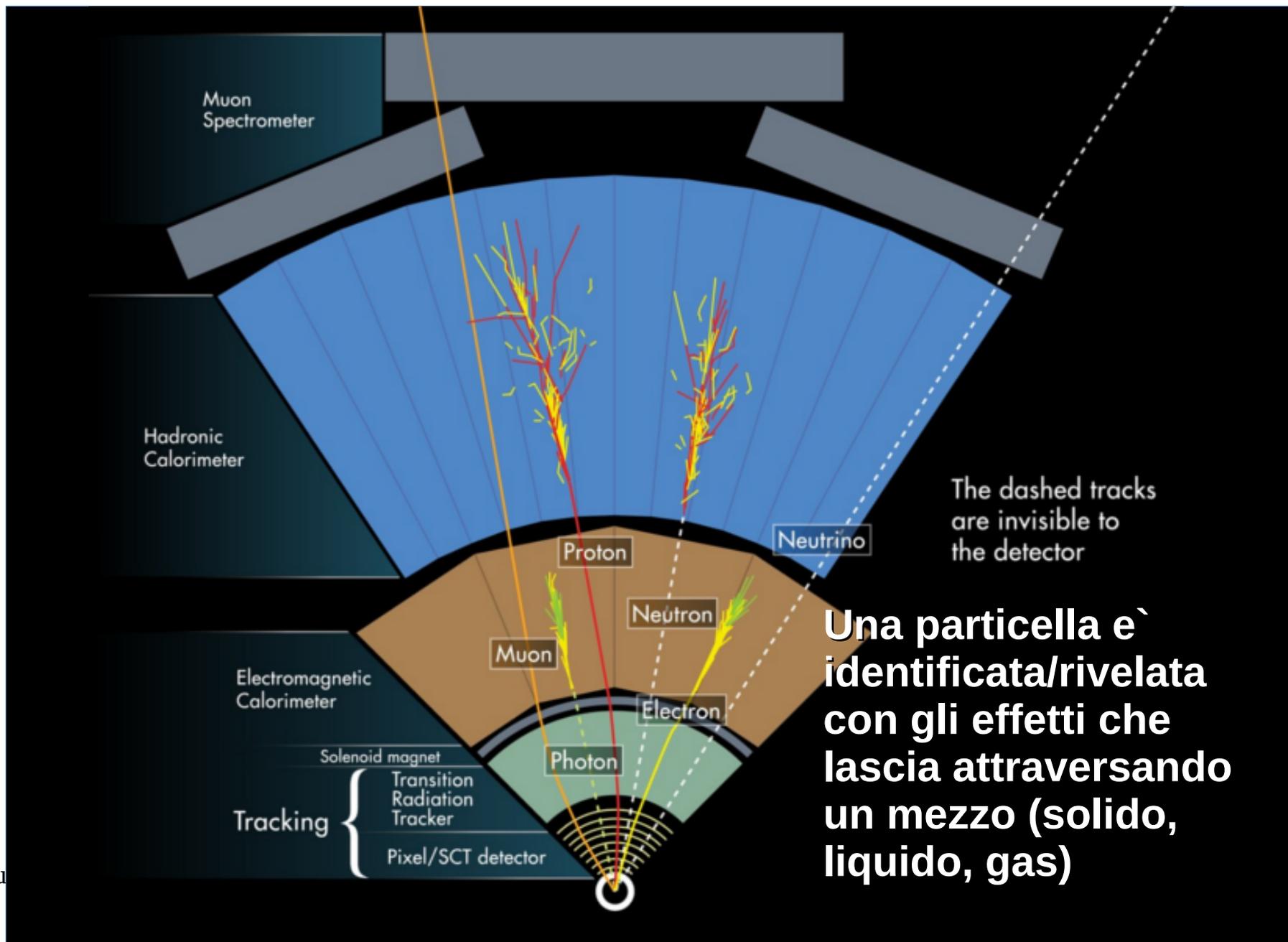
**2) Quali sono le “forze” (le interazioni) che regolano il comportamento della materia su scala così piccola.**

**La fisica agli acceleratori permette di avere uno stato iniziale noto e sotto controllo, consentendo uno studio più preciso degli stati finali interessanti**

**Bisogna però “rivelare” le particelle che sono state prodotte nell’urto, identificarle, e ricostruire la dinamica complessiva dell’evento:**

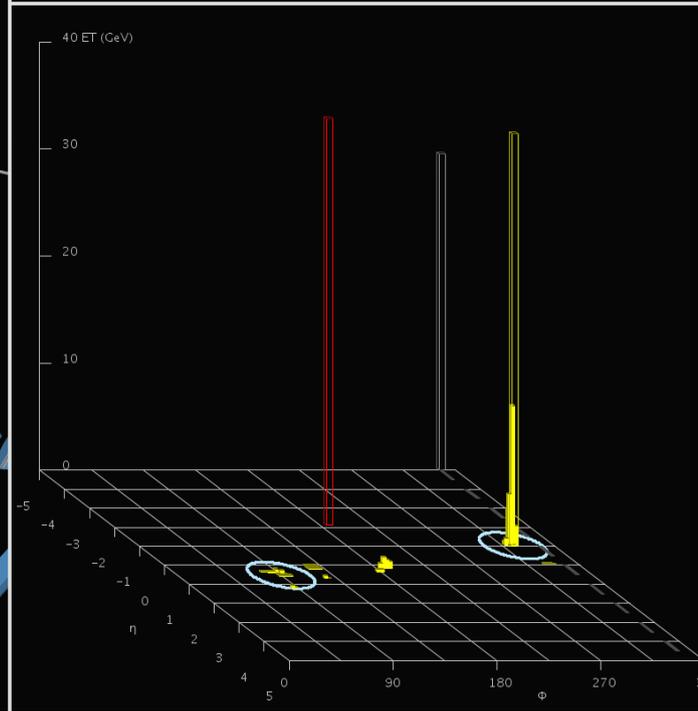
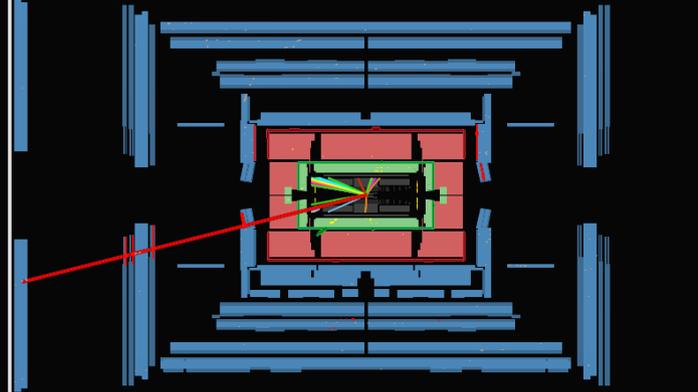
**Esperimenti agli acceleratori di particelle**

# Rivelatori ai Collider





# ATLAS EXPERIMENT



Calorimetro  
Elettromagnetico

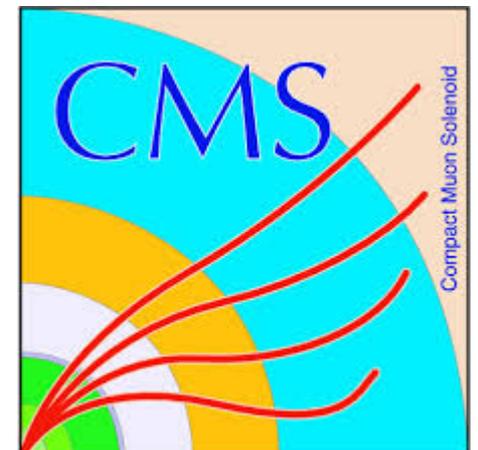
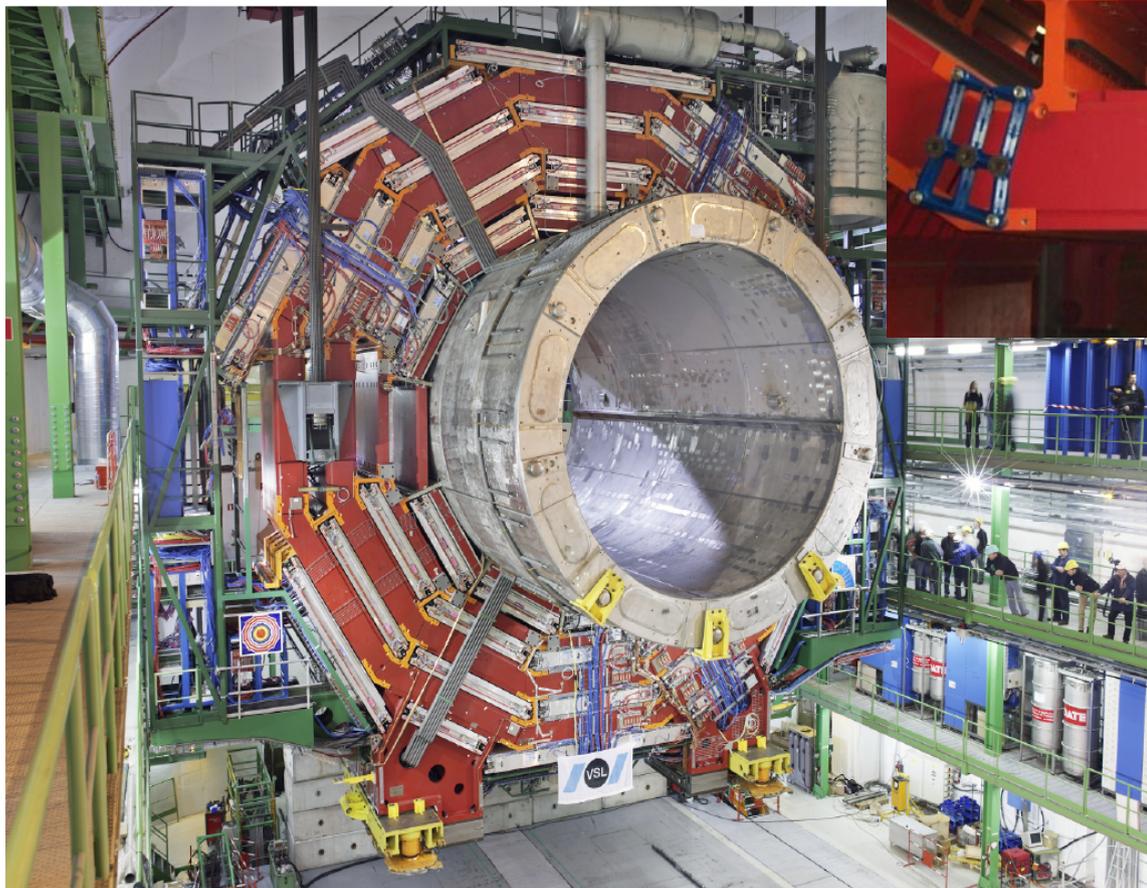
Tracciatore

Calorimetro  
Adronico

Spettrometro  
a Muoni

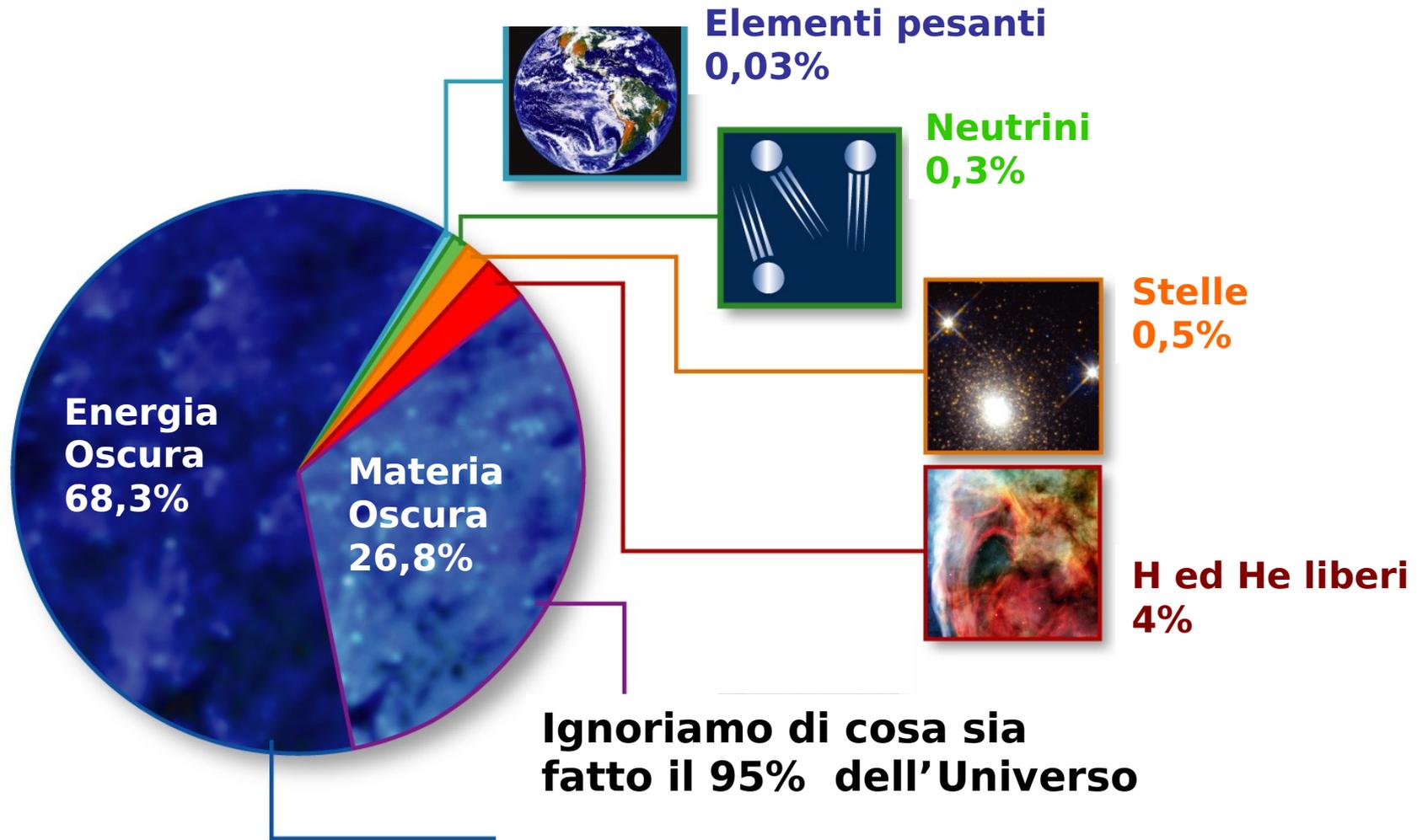
Run 167776 Event 166138878  
Date 2010-10-28 10:56:32 UTC

## Produzione e assemblaggio delle camere a mu centrali di CMS



**Buon Lavoro!**

# Il Lato Oscuro dell'Universo

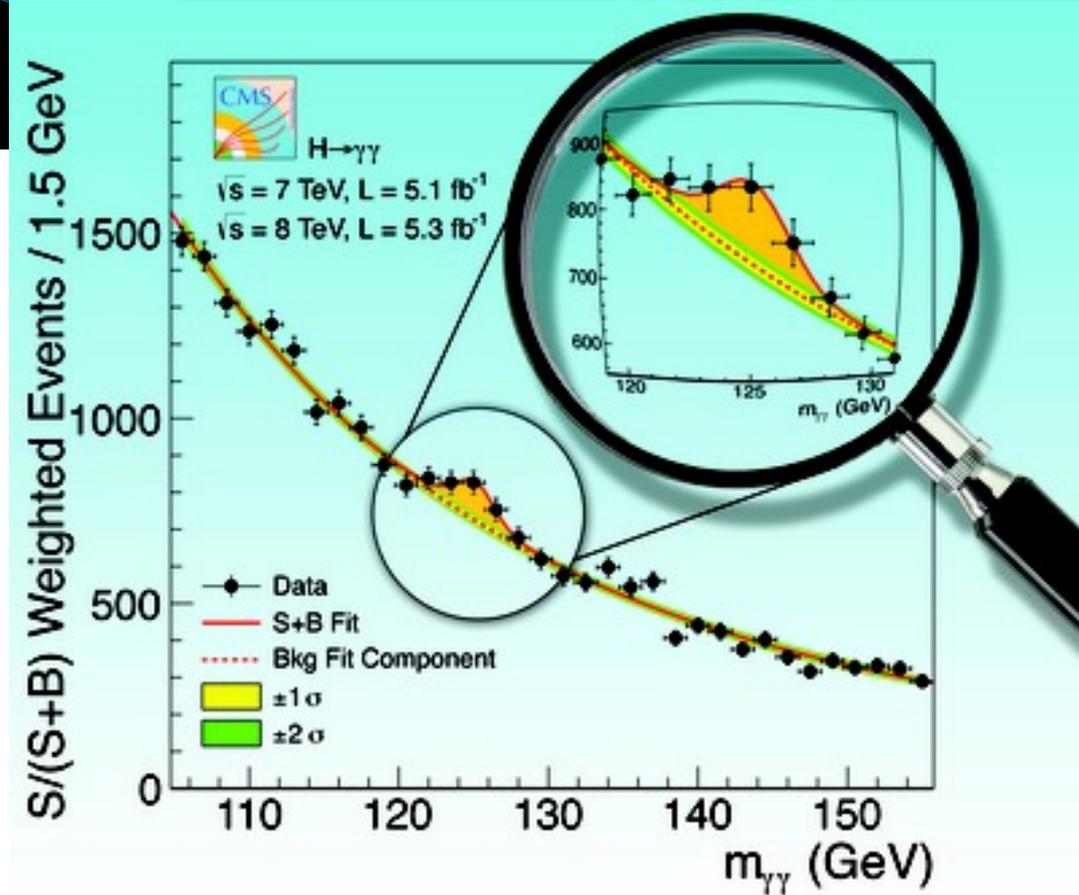
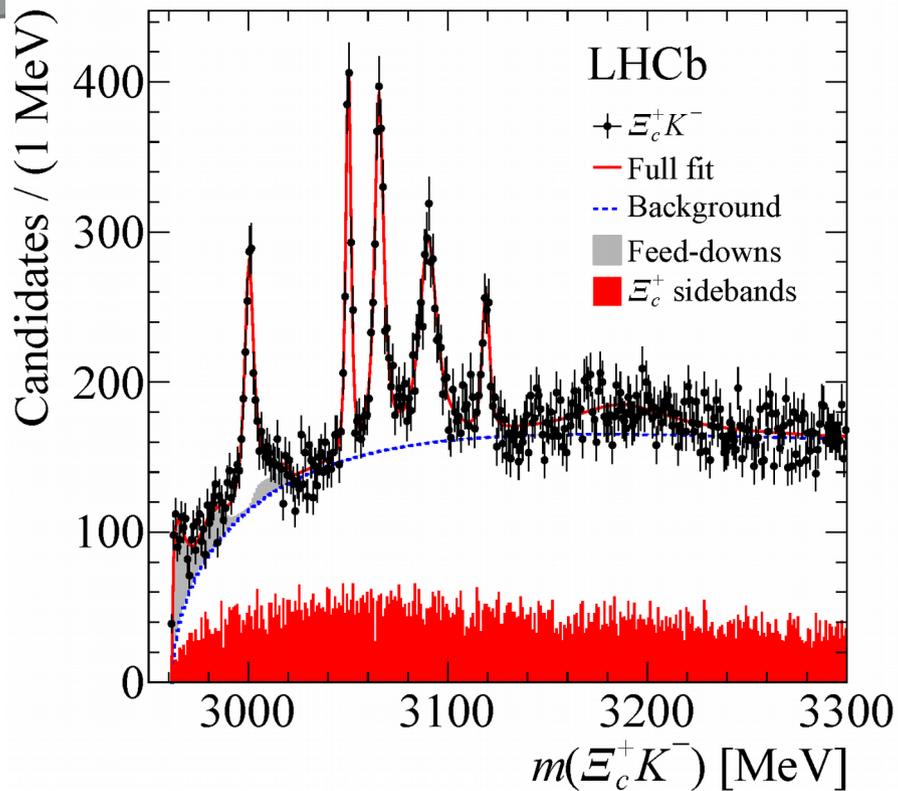


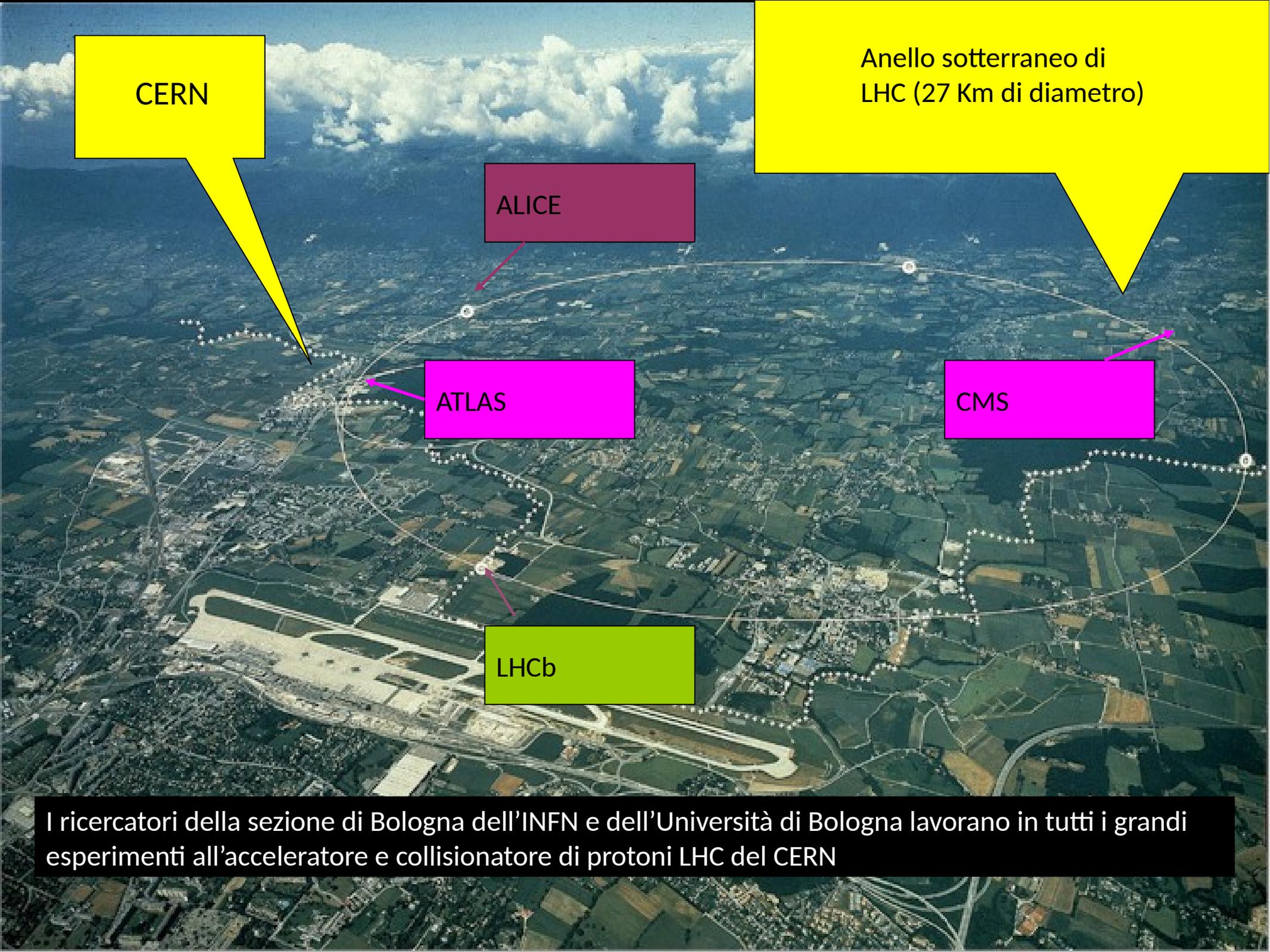
Ipotesi corrente: materia oscura potrebbe essere fatta di particelle non ancora scoperte che interagiscono debolmente con la materia.

Run: 209109  
Event: 76170653  
2012-08-24 09:31:00 CEST <http://atlas.ch>

ATLAS  
EXPERIMENT

Dai rivelatori ai  
risultati di fisica



An aerial photograph of the CERN facility in Switzerland. A large circular tunnel, the LHC, is visible, with several experimental areas marked by colored boxes and arrows. The sky is blue with white clouds. The ground is a mix of green fields and grey infrastructure.

CERN

Anello sotterraneo di  
LHC (27 Km di diametro)

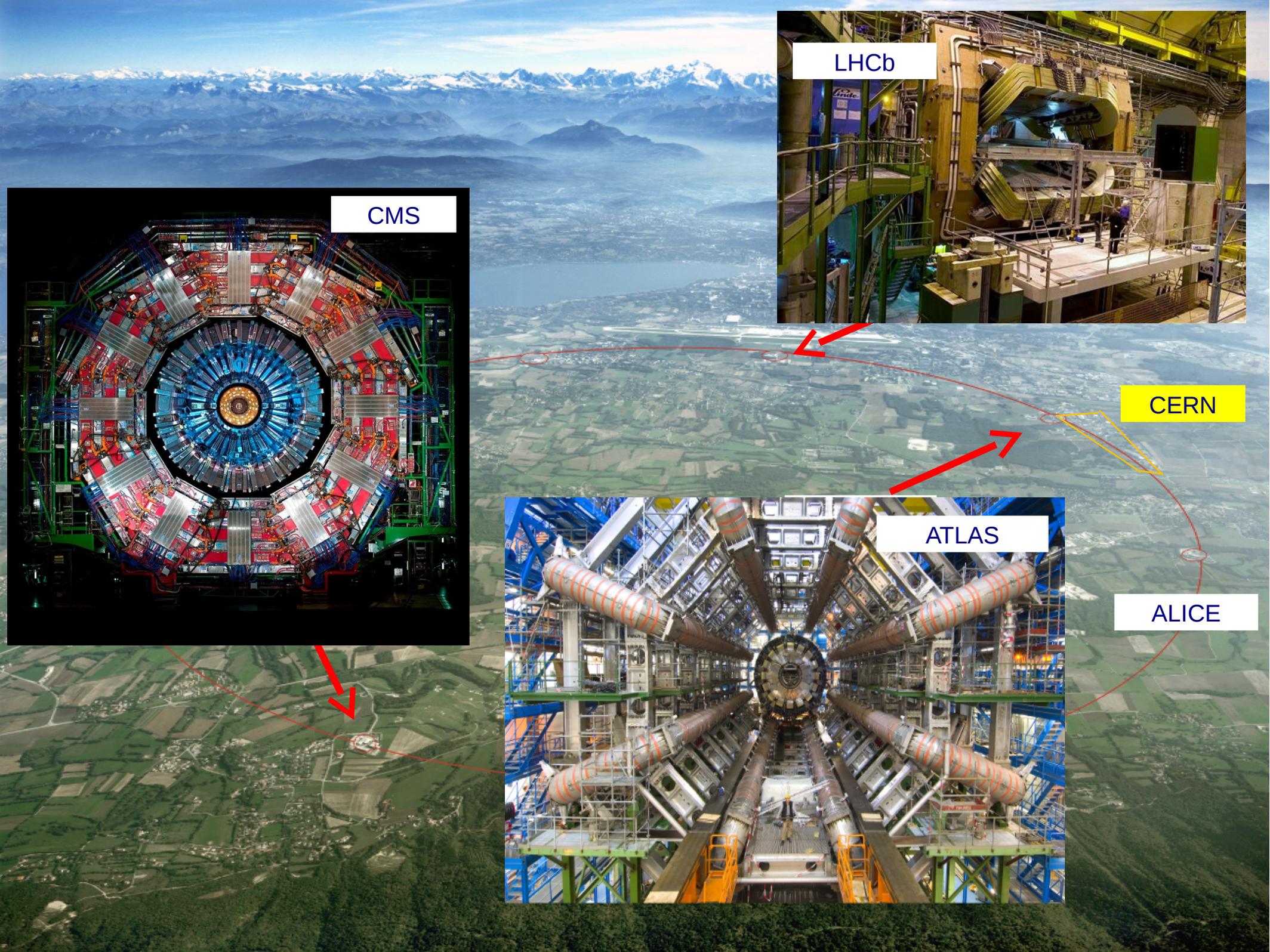
ALICE

ATLAS

CMS

LHCb

I ricercatori della sezione di Bologna dell'INFN e dell'Università di Bologna lavorano in tutti i grandi esperimenti all'acceleratore e collisionatore di protoni LHC del CERN



CMS

LHCb

ATLAS

CERN

ALICE

# Il CERN come Laboratorio Mondiale

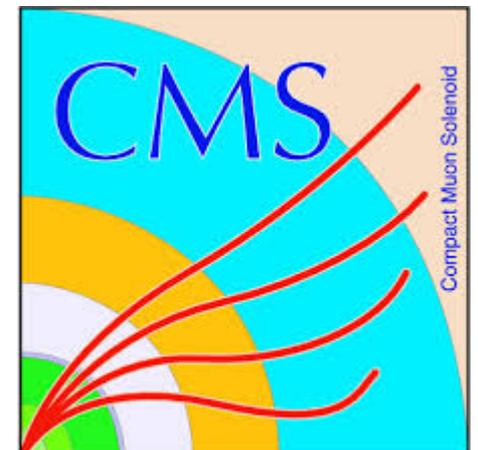
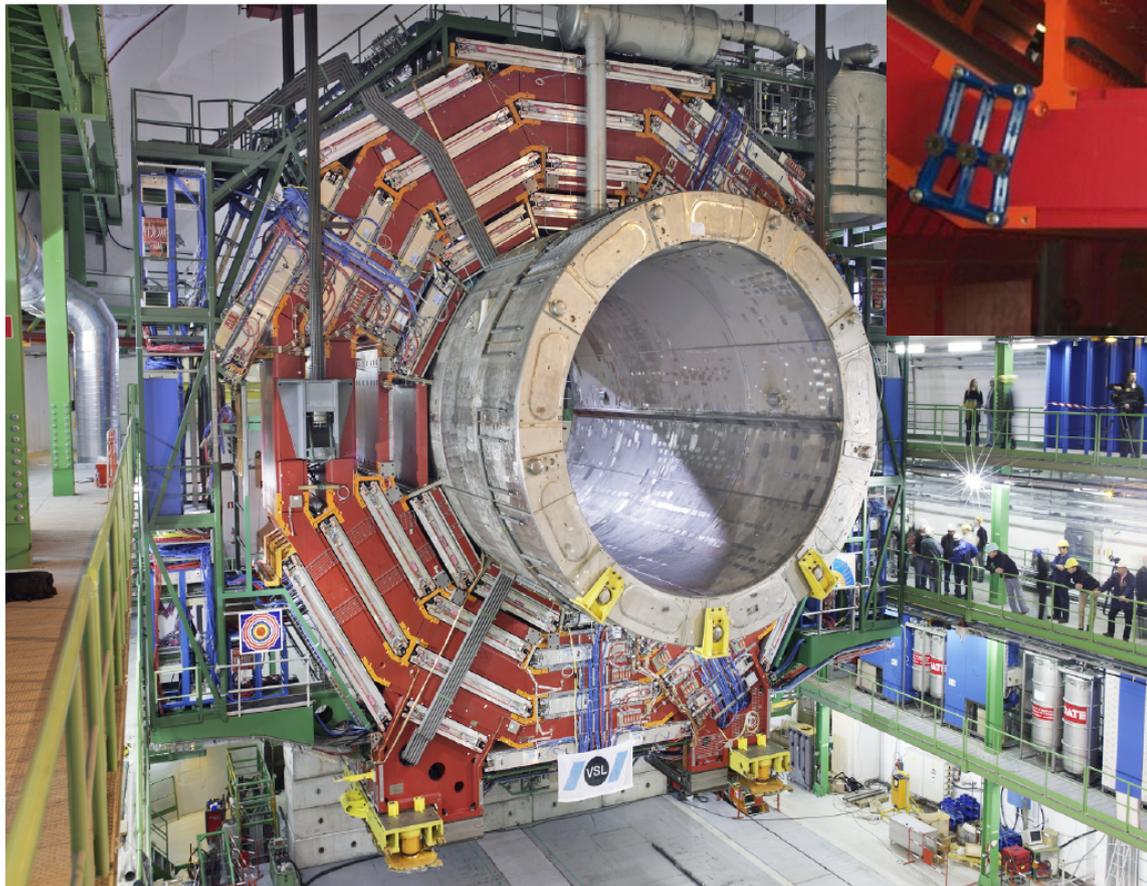


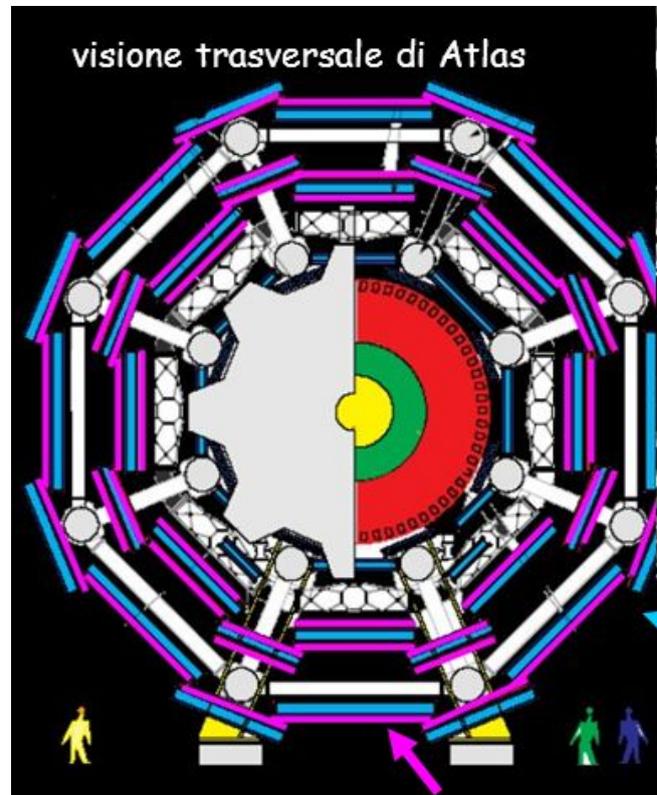
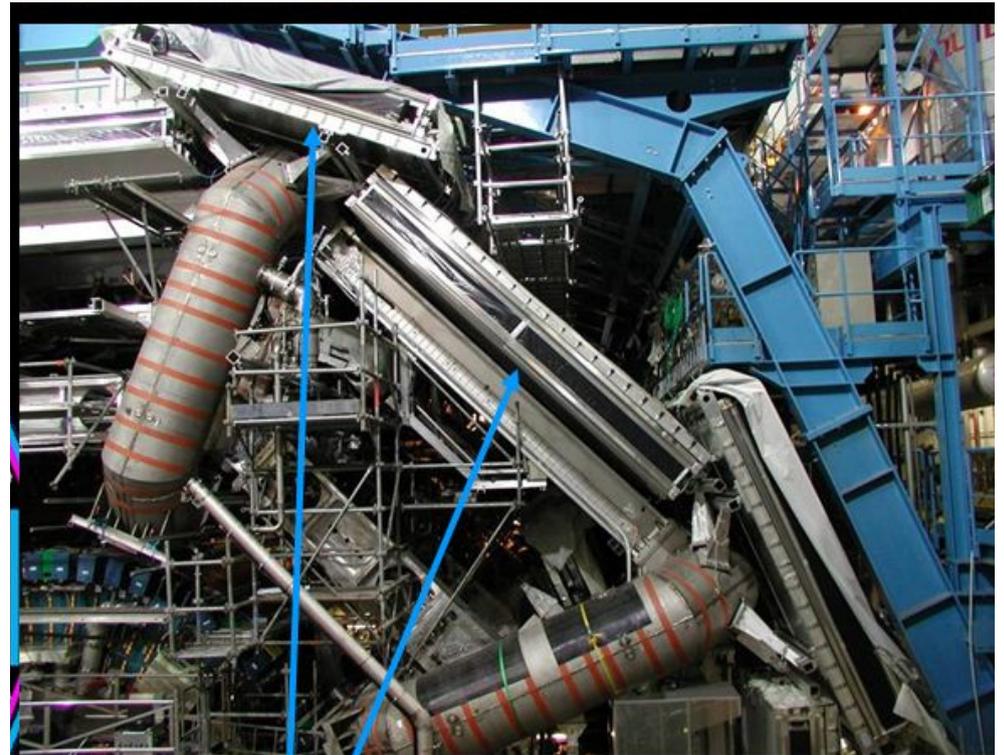
Gli esperimenti a LHC sono tutti delle grossissime collaborazioni di fisici, ingegneri e tecnici provenienti da tutto il mondo: più di 2000 collaboratori per **ATLAS** e **CMS**, poco meno per **LHCb** (e **ALICE**, che è un esperimento che studia gli urti di ioni pesanti), ognuno con le sue competenze e esperienze per potere:

- Progettare l'esperimento
- Costruire tutti i sottorivelatori che lo compongono, studiando e testando nuove tecnologie e soluzioni
- Progettare e programmare l'elettronica per acquisire i segnali rilasciati dai rivelatori e conservarli sotto forma di dati
- Scrivere il software per leggere e analizzare quei dati, oppure per simulare il passaggio delle particelle nel rivelatore
- Gestire il computing necessario per l'acquisizione, per il processamento e per la conservazione dei dati
- Produrre i risultati finali

**I gruppi sperimentali di Bologna sono coinvolti, con persone diverse, in ciascuna di queste attività nel loro esperimento di competenza**

## Produzione e assemblaggio delle camere a mu centrali di CMS





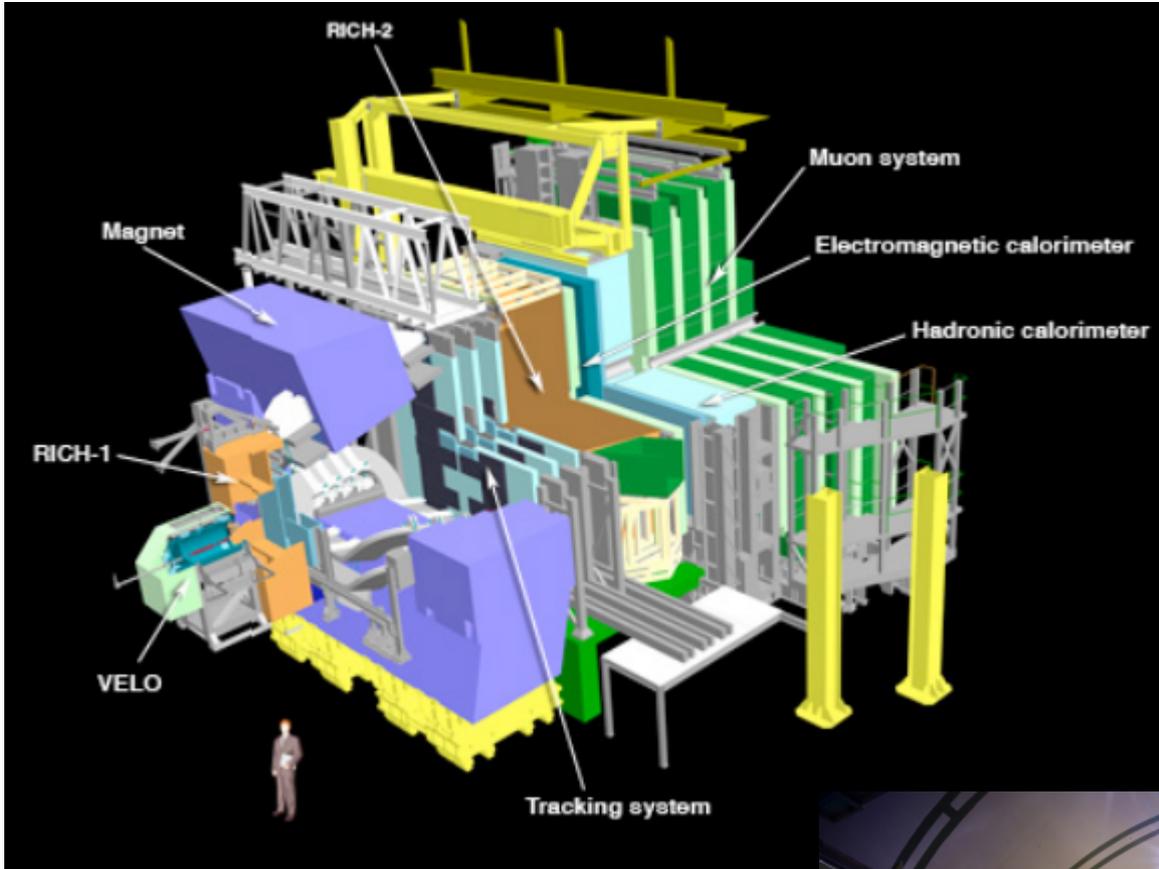
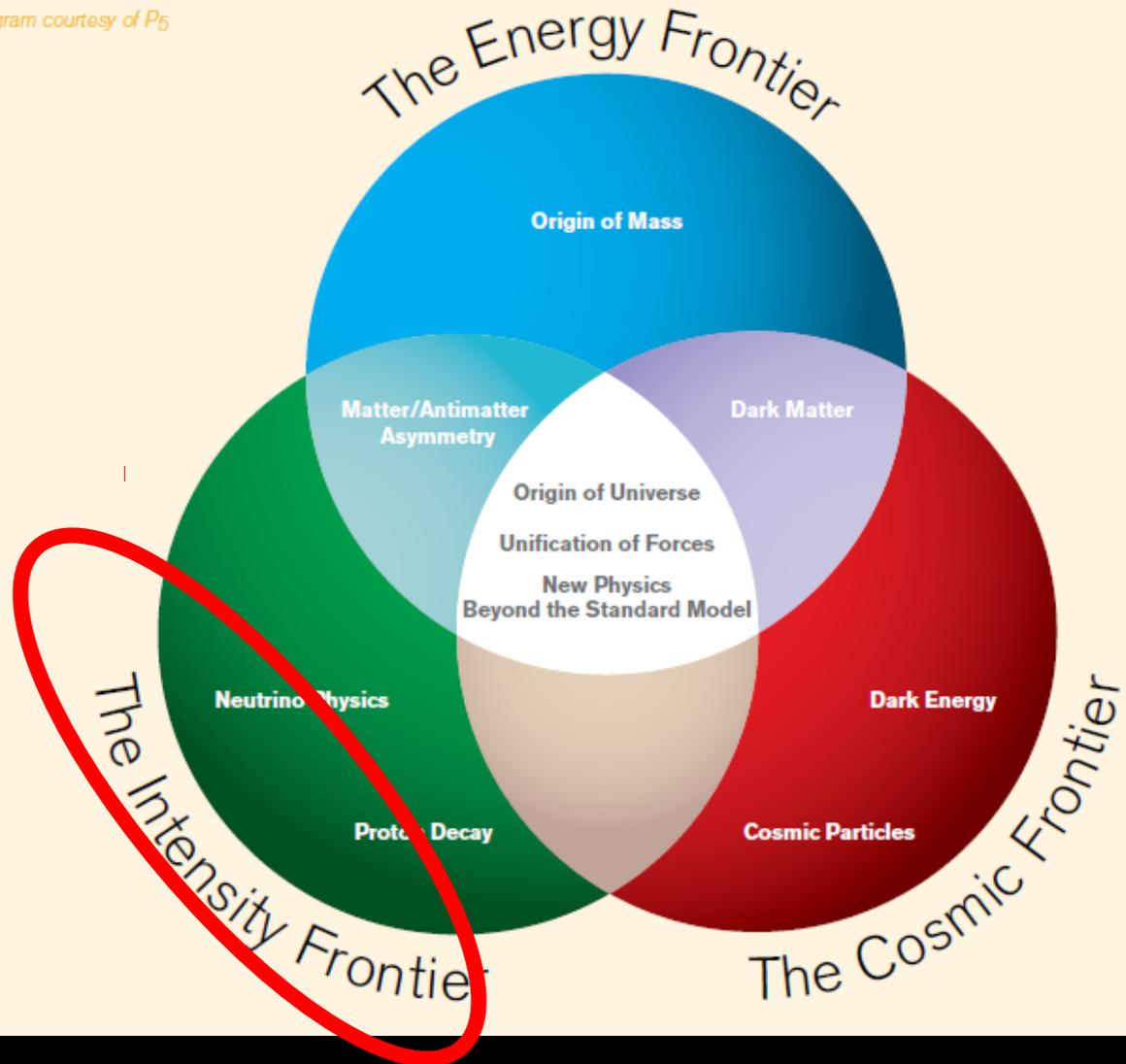


Diagram courtesy of P5



# PARTICLE ASTROPHYSICS



300 Km



40 Km

Atmosphere

Neutrinos

Primary Cosmic Rays

Secondary Particles

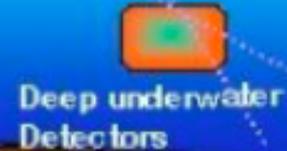
Neutrinos

EAS



Underground Detectors

Indirect Study



Deep underwater Detectors

# I Laboratori Nazionali dell'INFN al Gran Sasso



# XENON 1T



18-Giu-2018

Antonio Sidoti - Alternanza Scuola Lavoro  
2018

46

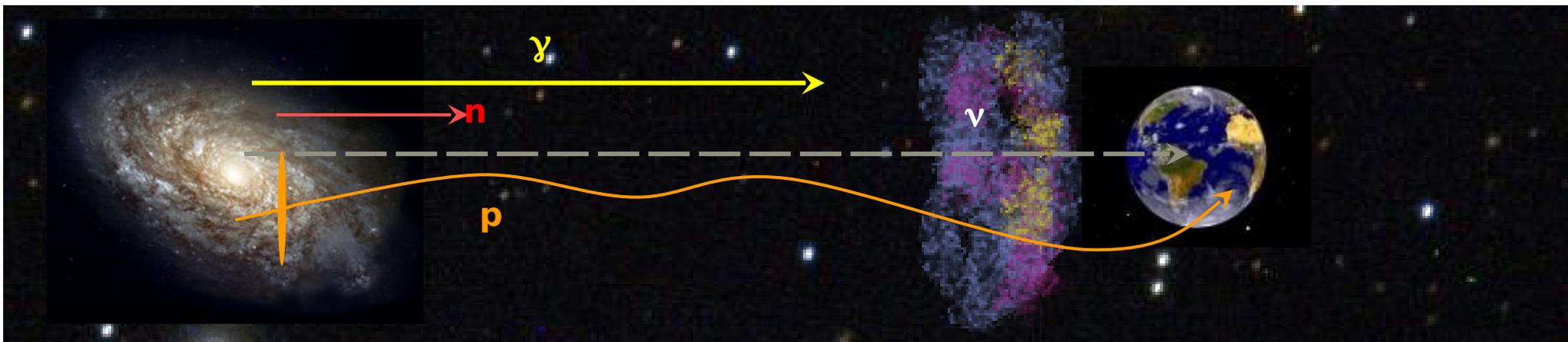
# Fisica Fondamentale con Neutrini

- Obiettivo principale ricerca di sorgenti dei Raggi Cosmici

Fotoni: interagiscono con la materia e la radiazione

Protoni : deflessi da campi magnetici

Neutroni: non sono stabili

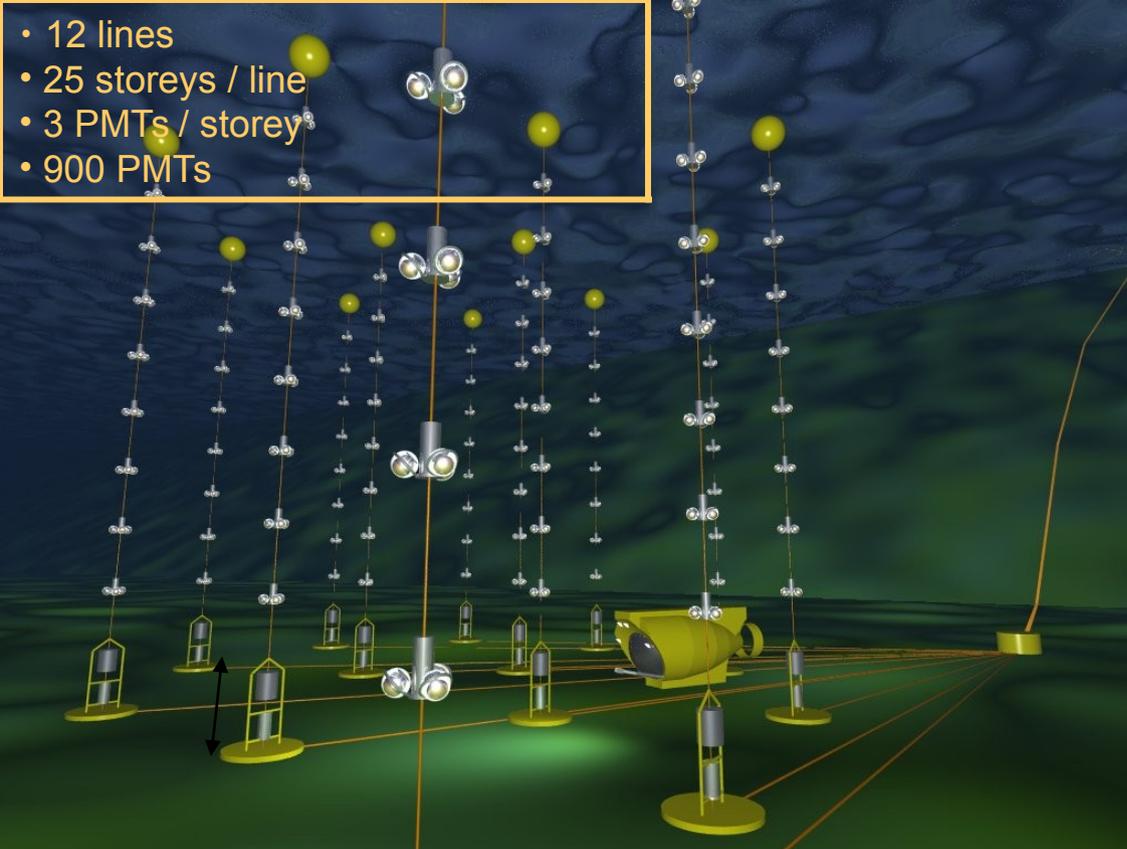


Neutrini: piccola sezione d'urto → enormi rivelatori (~Gton)

300 neutrini per  $\text{cm}^3$  di Universo. Dopo i fotoni, le particelle più comuni nell'Universo!  
 $10^{12}$  Neutrini passano ogni secondo per  $1 \text{ cm}^2$

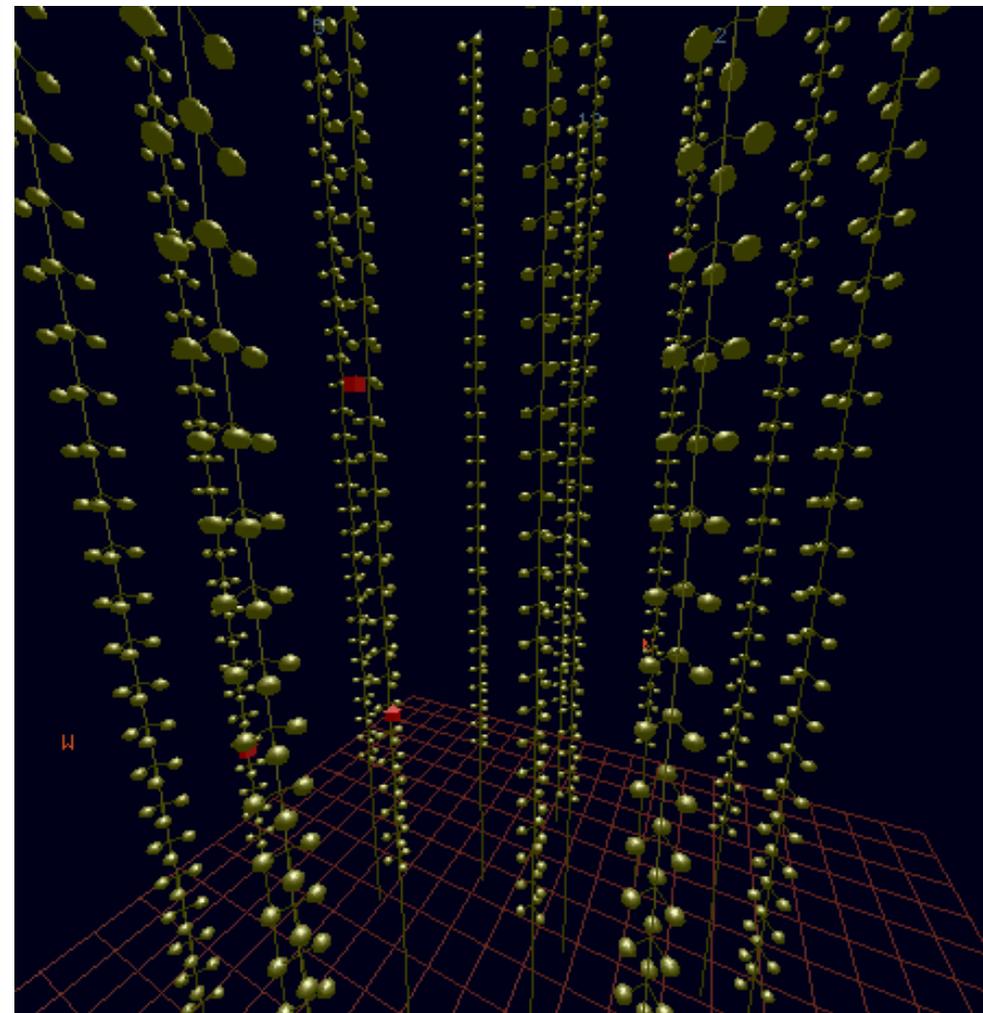
Interagiscono solo con l'interazione debole

- Per stoppare una particella di 1 MeV occorre:  
100  $\mu\text{m}$  di Pb per protone
- 10 mm di Pb per fotone
- 10 anni luce di Pb per neutrini



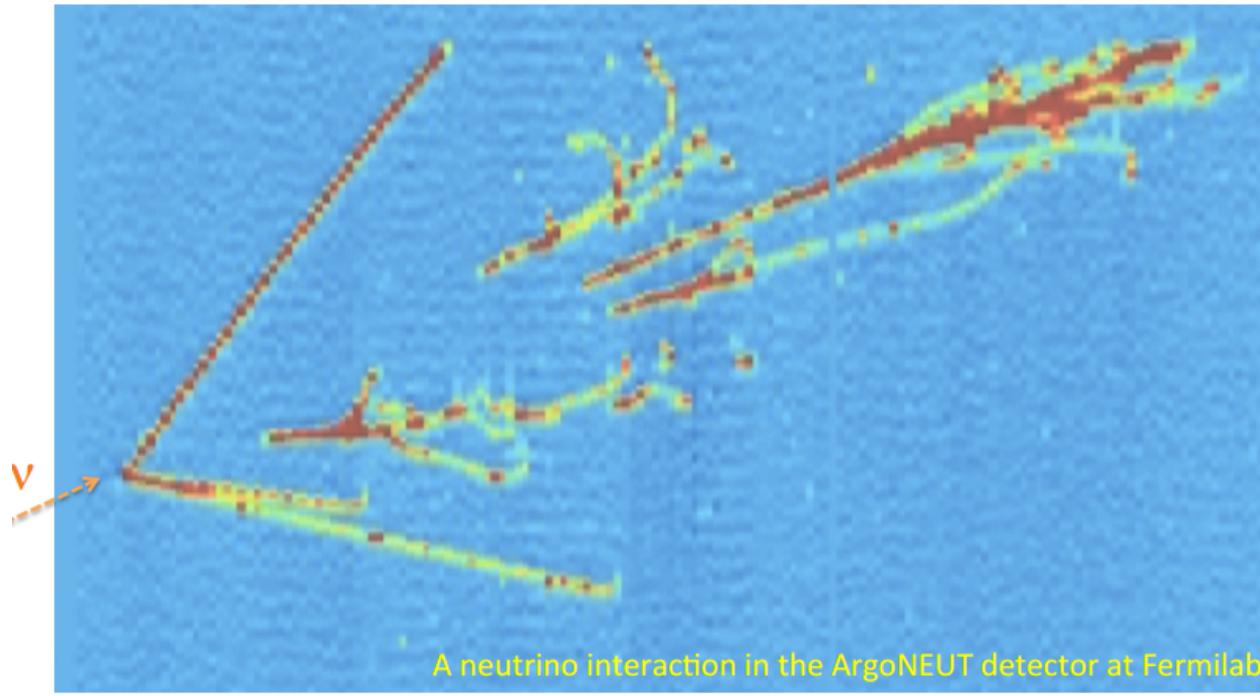
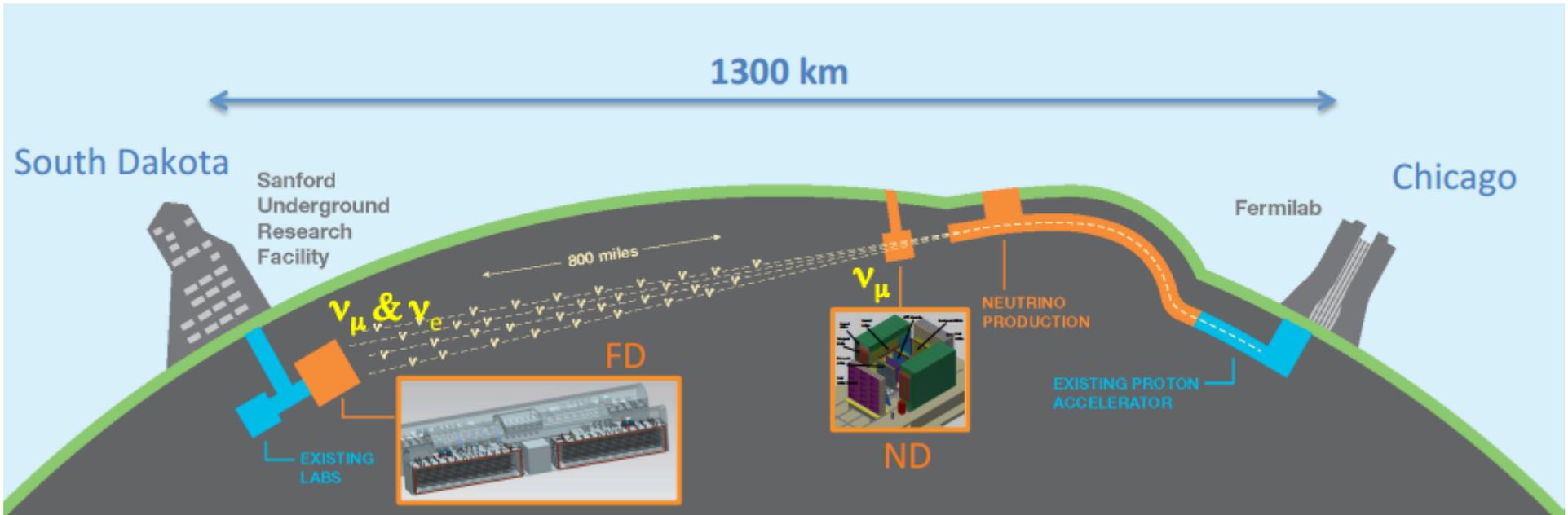
Tipico “telescopio” marino:  
ANTARES a 2500 m di profondità  
(al largo di Tolone ,Costa Azzurra)

un muone da 1.2 TeV che attraversa il rivelatore



FUTURO :KM3 (rivelatore di 1km<sup>3</sup>)  
In installazione al largo della Sicilia

# DUNE



# Fisica Nucleare

# A Large Ion Collider:

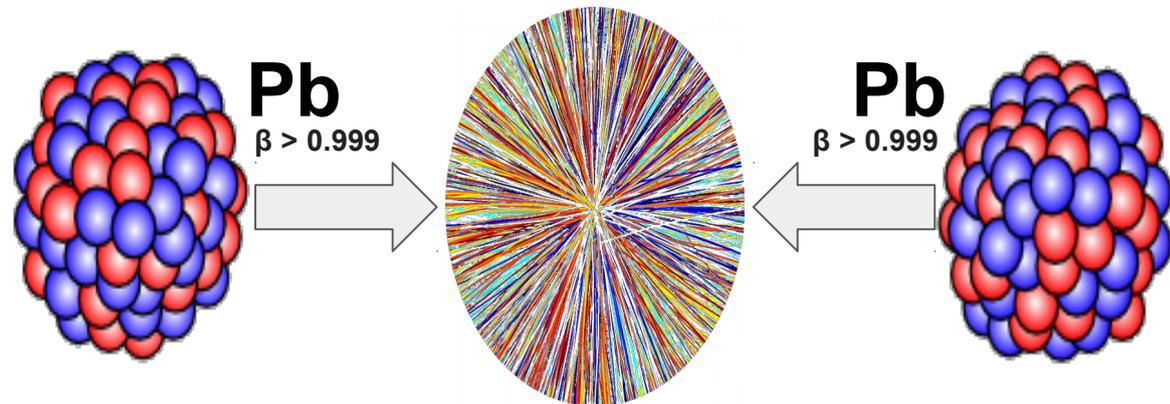
# ALICE

Alice e la zuppa di quark e gluoni



Particelle prodotte

Ione di Piombo



Collisione

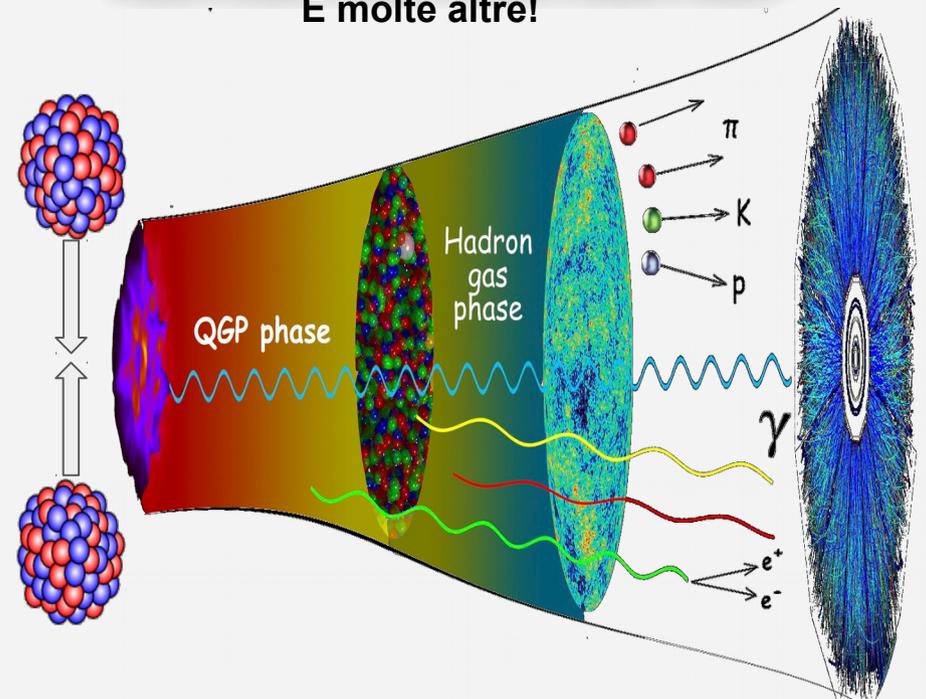
- Scopo principale della ricerca: studiare lo stato deconfinato della materia nucleare:
  - Il Plasma di Quark e Gluoni **QGP**
- Realizzato raggiungendo densità di energia estreme
  - Vengono “**sciolti**” i nuclei ed le loro componenti fondamentali (protoni e neutroni)
- Si suppone che condizioni simili siano state raggiunte nei primi istanti successivi al **Big Bang**

# Come fare per studiare il sistema ?

- Ogni collisione viene **“fotografata”**
  - Approssimativamente vengono scattate 1000 fotografie in un secondo
  - Di che riempire **1 DVD ogni 3 secondi**
  - Una pila alta quanto il Monte Bianco!
- Osservando le particelle (tra cui anche nuclei leggeri) che vengono prodotte nella collisione è possibile studiare il QGP
- **L’identificazione** di queste particelle è un passaggio fondamentale per avere una fotografia completa del sistema
- Le proprietà accessibili del QGP sono quelle tipiche di un liquido:
  - Temperatura, viscosità, densità e altre
- Il campo riserva molte sorprese e cose inaspettate!

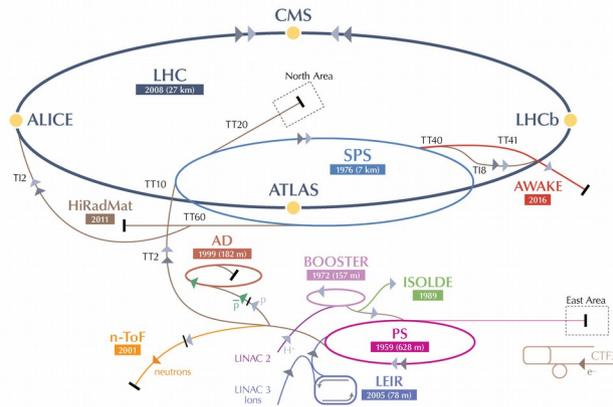
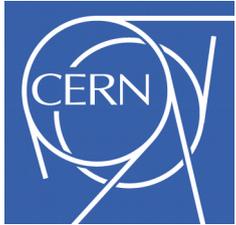


E molte altre!





# n\_TOF: neutroni per la **Scienza** e la **Tecnologia**

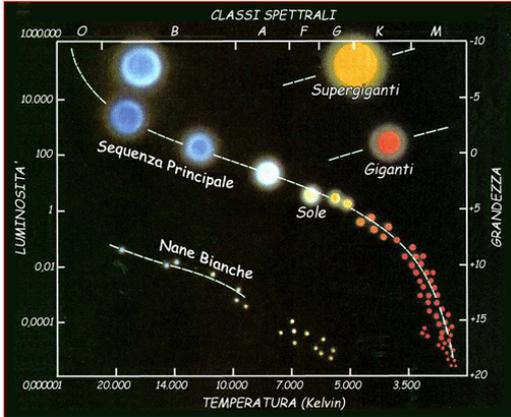


**Astrofisica Nucleare:**

- ✓ Nucleosintesi degli elementi pesanti
- ✓ Studio dell'evoluzione delle stelle
- ✓ Nucleosintesi del **Big Bang**

**Tecnologie nucleari e applicazioni mediche:**

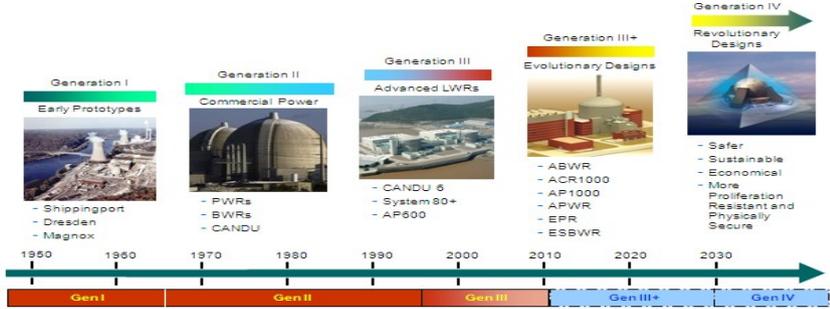
- ✓ Reattori di IV generazione
- ✓ Fusione
- ✓ Smaltimento delle scorie
- ✓ Neutron capture therapy (adroterapia)



**Fisica Nucleare di base**

- ✓ Effetti di struttura nucleare nella fissione
- ✓ Spin parità di risonanze

## Evolution of Nuclear Power



**33 Istituti di Ricerca internazionali ≈ 100 Ricercatori**  
**Italia: ENEA ed INFN – Bologna, Bari, LNL, LNS, Trieste**

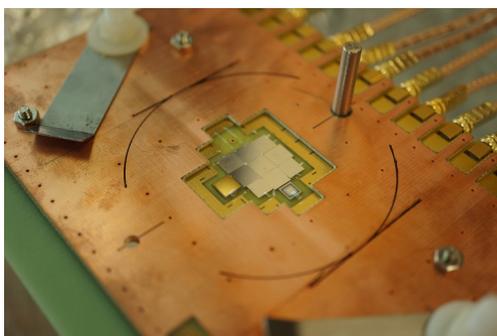
**Contratti Commissione Europea**  
**Progetto Quadro FP5, FP6, FP7, ...**



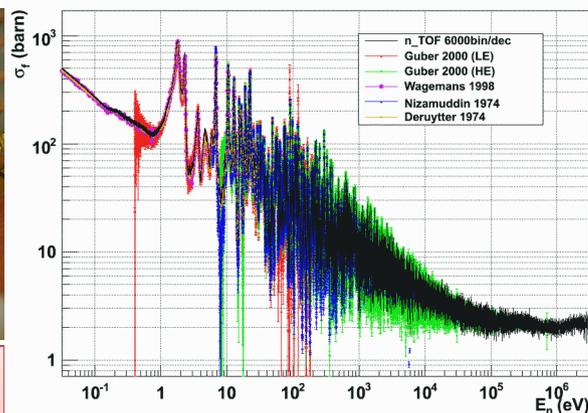
# n\_TOF: neutroni per la **Scienza e la Tecnologia**

- Misure di sezioni d'urto di reazioni:  $(n, \gamma)$   $(n, \alpha)$   $(n, f)$
- Test e sviluppo di rivelatori innovativi

2 Linee di fascio con base di volo di 185 e 20 m  
 ✉ **sorgente di neutroni più luminosa al mondo**  
 per misure TOF di neutroni

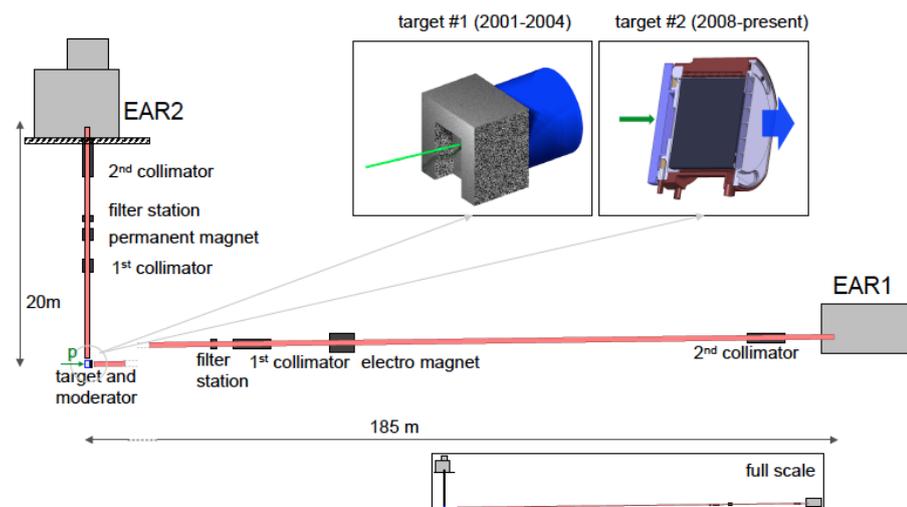
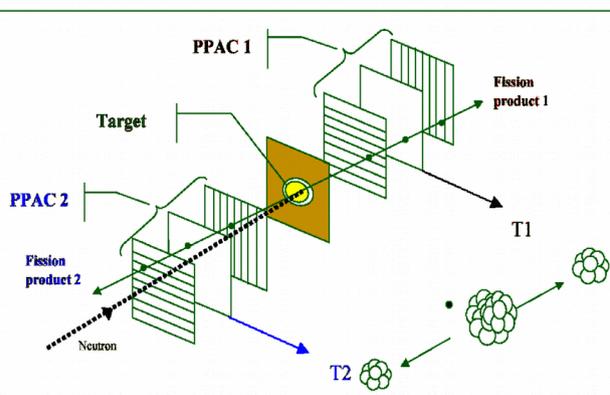


Rivelatore al diamante  
 misure  $(n, \alpha)$



Rivelatore  $4\pi$  per  $\gamma$

Rivelatore per la fissione +  
 distribuzione angolare

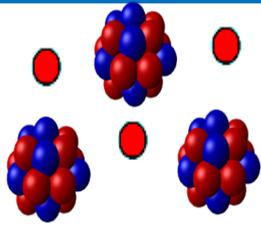


I **neutroni** sono prodotti per **spallazione di protoni**, accelerati fino a **20 GeV/c** dal PS del CERN, su un bersaglio di piombo.  
 Ogni protone genera circa 400 neutroni ✉  
 ~  **$3 \times 10^{15}$**  neutroni per pacchetto.

# FOOT: un esperimento per l'Adroterapia

Adroterapia:  
Uso di protoni o ioni pesanti

Chemioterapia: uso dei farmaci



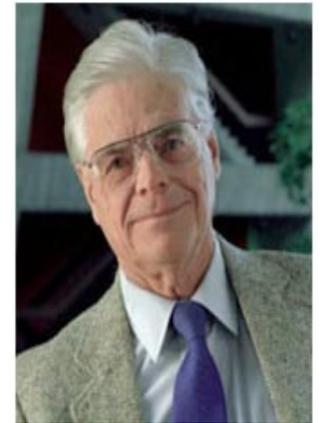
Radioterapia: uso di radiazioni



trattamento dei tumori

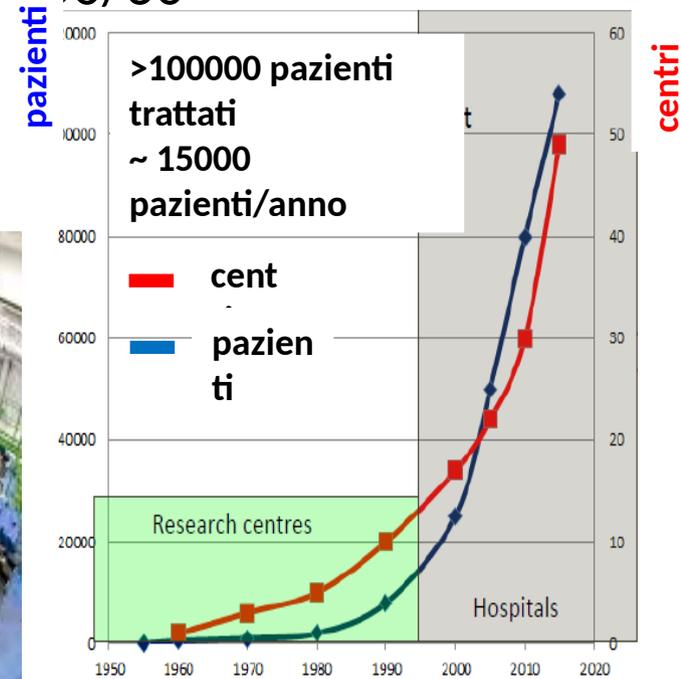
- Catania
- Pavia (CNAO)
- Trento

Padre fondatore:

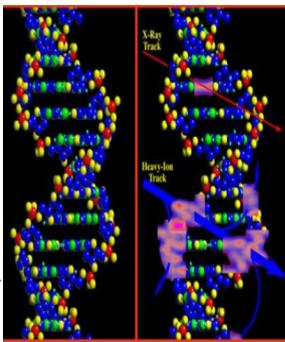


Robert Wilson

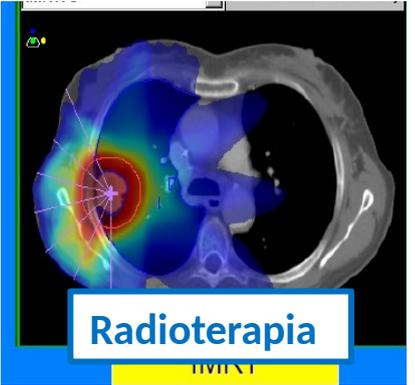
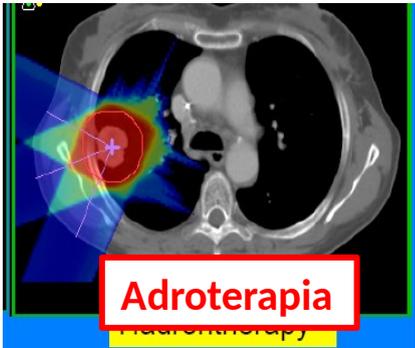
Primi trattamenti anni 50/60



inneggiamento delle cellule e del DNA



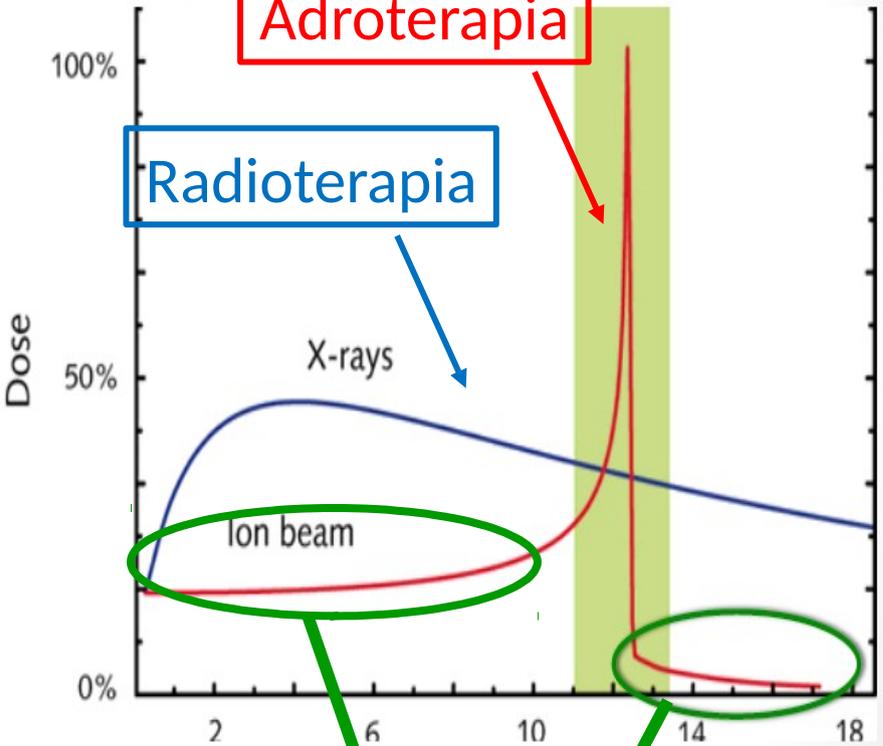
# FOOT: un esperimento per l'Adroterapia



tumore

Adroterapia

Radioterapia



## Vantaggio:

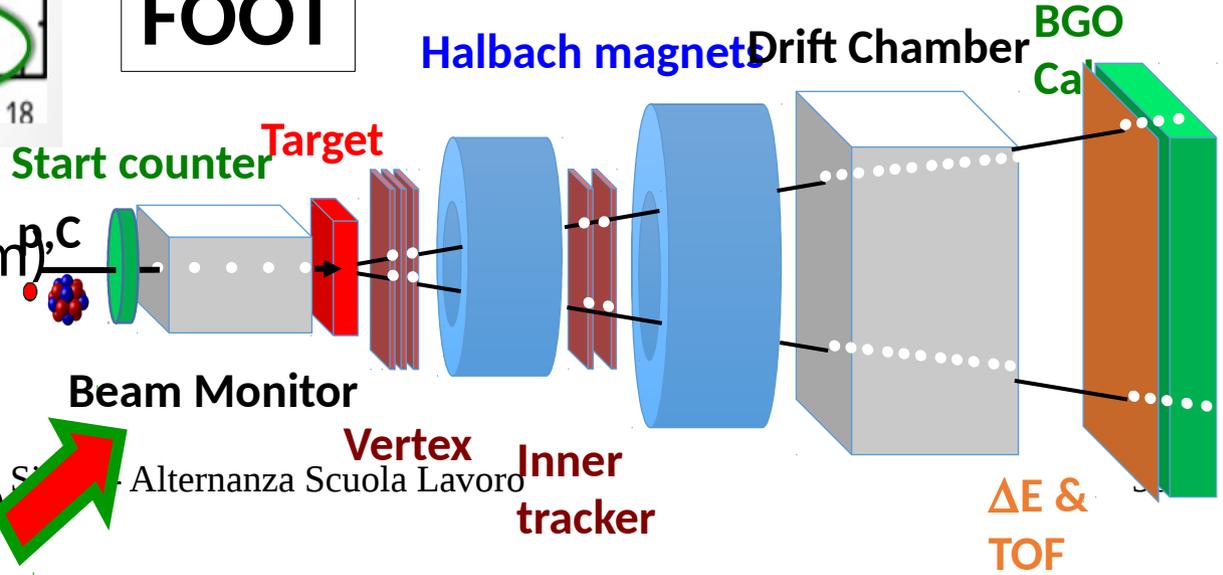
- Gran parte del danno prodotto nel tumore

## Svantaggi:

- Costosa (per il momento)
- Aspetti ancora da capire

**FOOT**

Profondità nel corpo umano (cm)



studio dei danni (frammentazione dei nuclei atomici prima e dopo il tumore)

18-Giu-2018

Antonio S. Alternanza Scuola Lavoro

# Research & Development

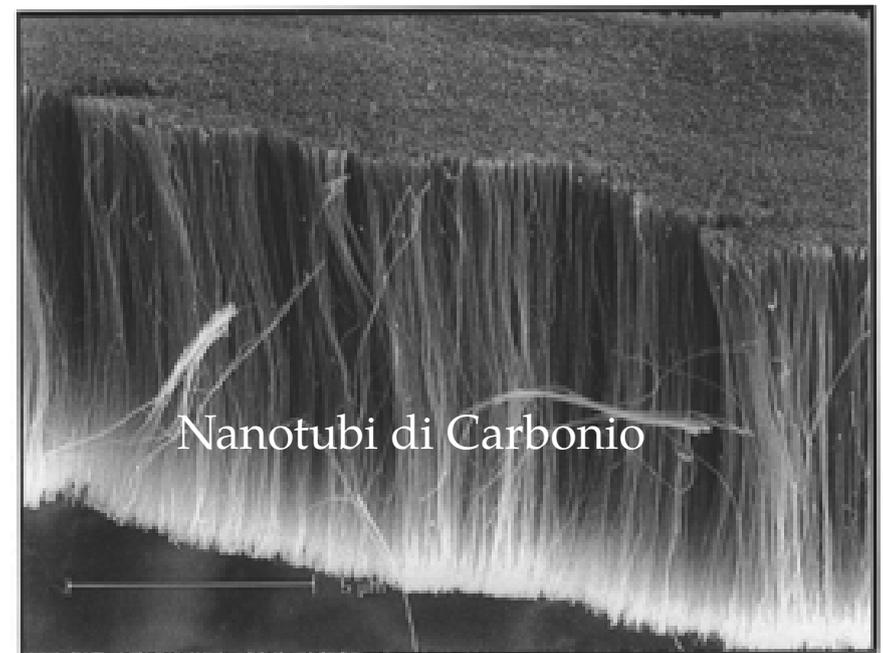
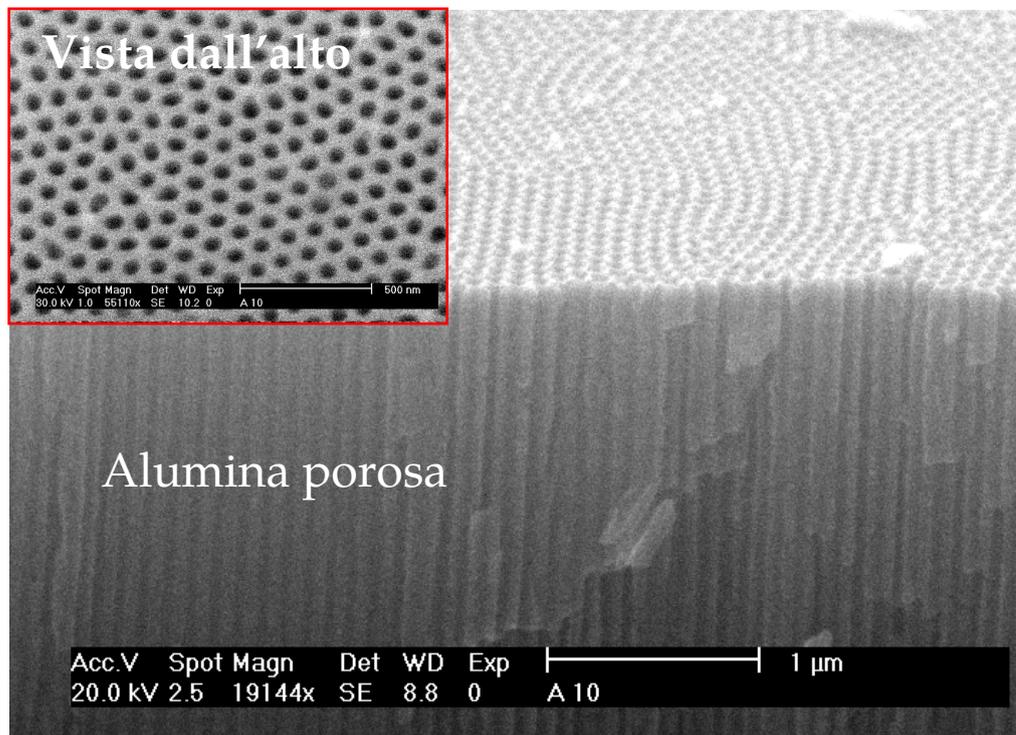
# Commissione Scientifica Nazionale 5

La CSN5 coordina le **ricerche tecnologiche** e lo sviluppo di **applicazioni** e promuove l'utilizzo, in altri settori, di strumenti, metodi e tecnologie della fisica fondamentale. L'INFN è un solido riferimento a livello nazionale e internazionale per lo sviluppo dei **futuri prototipi** e la realizzazione degli odierni **acceleratori di particelle**. Questi sono utilizzati, oltre che nelle ricerche di fisica fondamentale, in altri campi di ricerca e della vita economica e sociale.

Segue una carrellata con alcune esempi di tematiche portate avanti nella Sezione INFN di Bologna

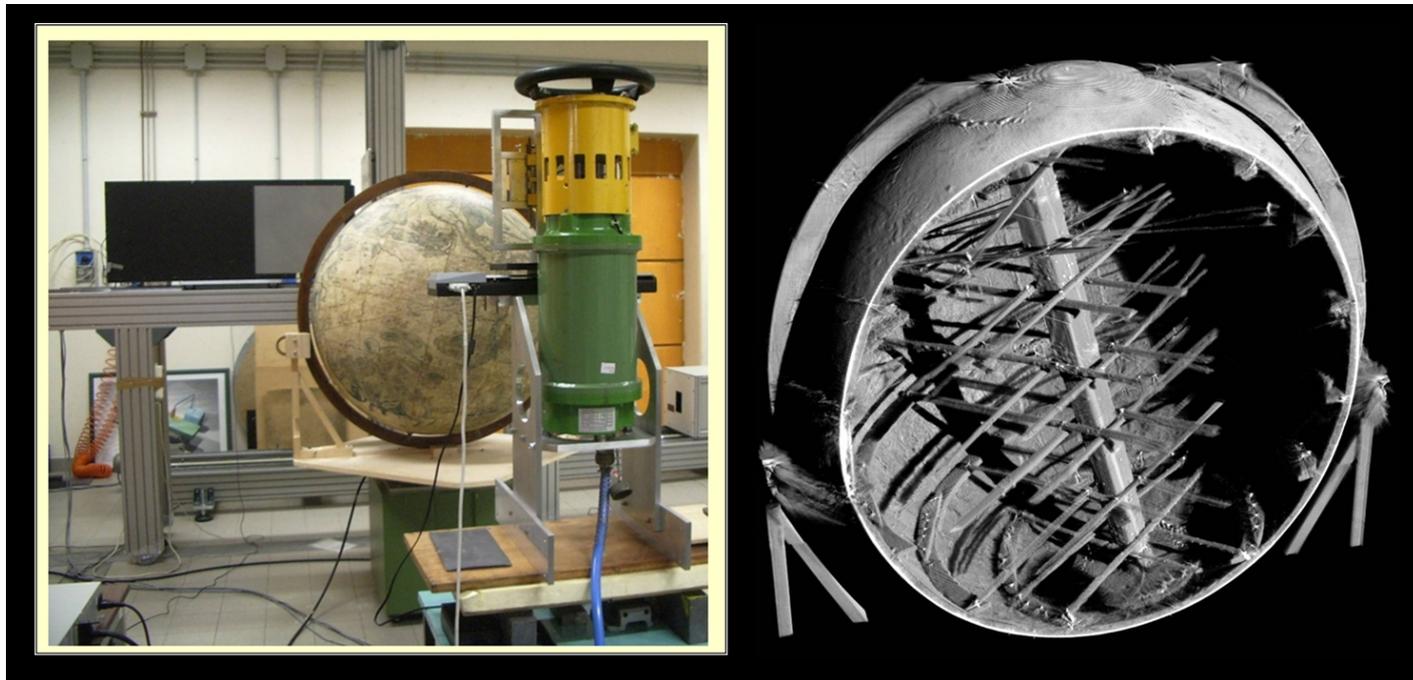
# Nanotecnologie

- Sintesi di materiali con dimensioni di  $\sim$  nm:
  - nanofili, nanotubi di carbonio, alumina porosa
- Proprieta' elettriche e meccaniche uniche, utili in molteplici applicazioni



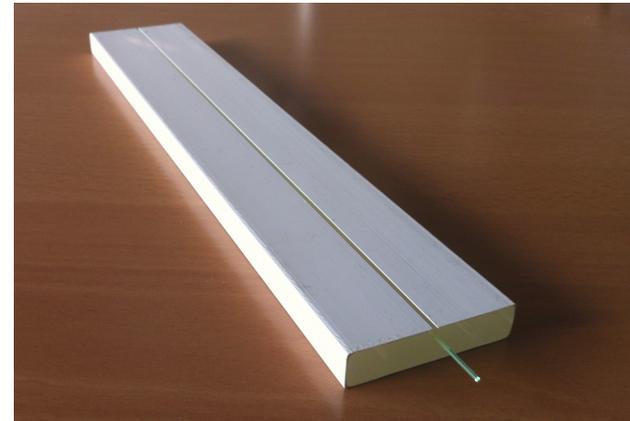
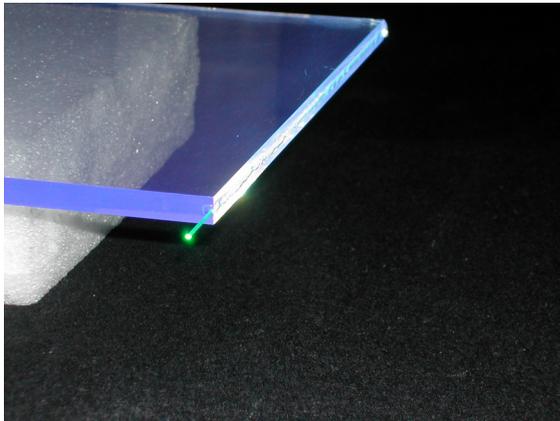
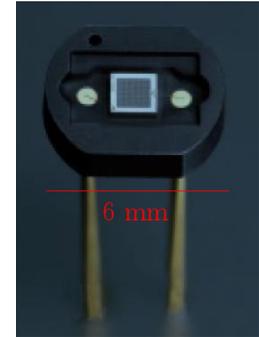
# Ricostruzioni tomografiche

- Software parallelo su cluster INFN- TIER1
- Sviluppo di hardware dedicato ad applicazioni particolari



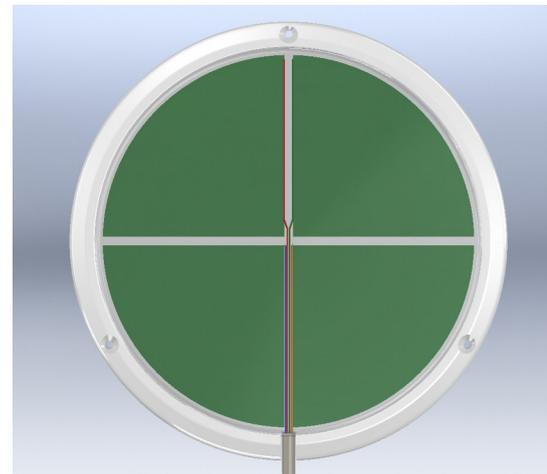
# Sensori

- Silicon Photo Multipliers (SiPM):  
sensori di luce sensibili al singolo fotone !
- Scintillatori plastici ( letti con SiPM o Fotodiodi):  
rivelatori di radiazione ionizzante



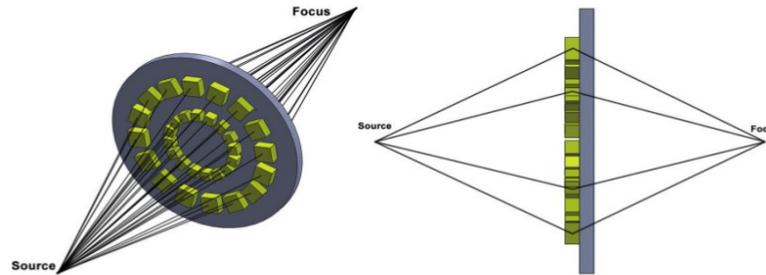
# Applicazioni di sensori: dosimetri

- Dosimetro in vivo e online per Radioterapia Intraoperatoria (brevettato)
  - basato su scintillatore plastico
  - verifica centratura del fascio e dose sul target

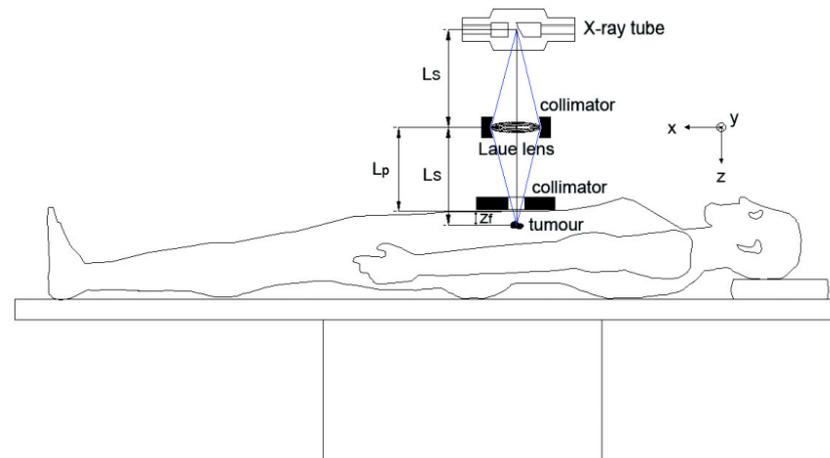


# Lenti focalizzanti per RX

- Sviluppo di lenti basate su cristalli per focalizzare RX prodotti da tubi convenzionali



- Fascio focalizzato in spot di  $\sim$  mm per applicazioni di radioterapia



# Fisica Teorica



**Teorici**  
**Thinkers**

**Sperimentali**  
**Makers**



$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\Psi}\not{D}\Psi + h.c. \\ & + \bar{\Psi}_i\gamma_{ij}\Psi_j\Phi + h.c. \\ & + |D_\mu\Phi|^2 - V(\Phi) \end{aligned}$$



# INFIN Chi è il fisico teorico?

- Cosa viene in mente quando si parla di Fisica



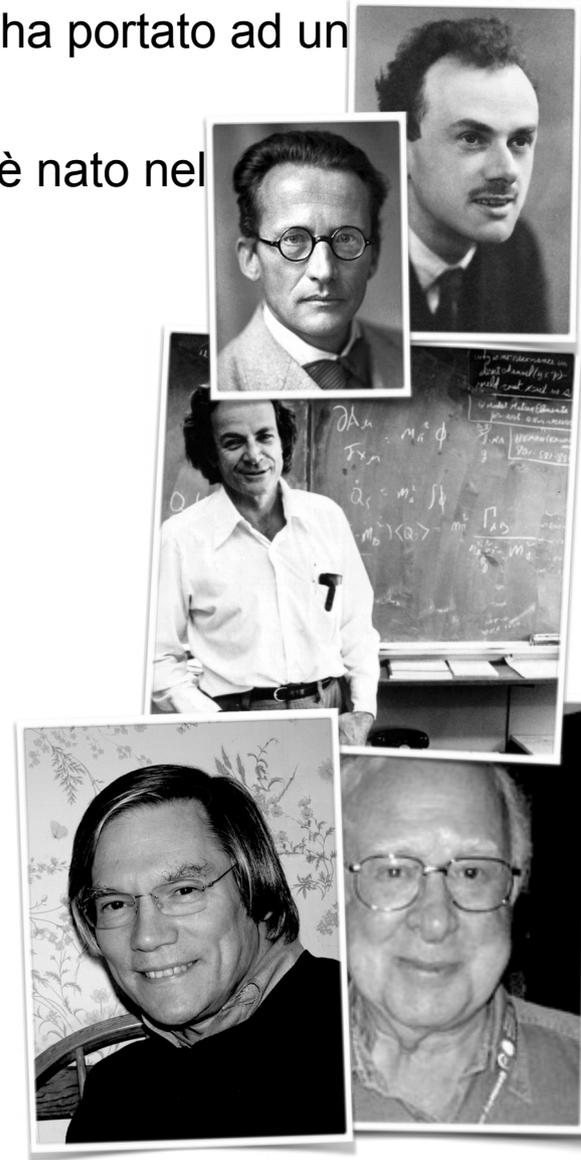
# INFN Chi è il fisico teorico?

- Cosa viene in mente quando si parla di Fisica



# La Fisica Teorica Moderna

- Negli ultimi 100 anni la complessità degli esperimenti e delle teorie ha portato ad una divisione piuttosto netta fra la ricerca teorica e quella sperimentale.
  - In questo senso potremmo dire che il mestiere di fisico teorico è nato nel
- Il fisico teorico elabora una teoria
  - con l'intento di giustificare un certo fenomeno fisico osservato
  - ispirato da principi di simmetria-semplificazione-unificazione
  - compatibile con le conoscenze pregresse
  - matematicamente consistente
- La fisica teorica moderna si spinge anche oltre:
  - affronta problemi concettuali
  - generalizza la teoria portandola ad un livello più astratto e formale
  - “attende” i dati sperimentali e si “prepara” a spiegarli
  - guida il fisico sperimentale alla ricerca di nuove scoperte

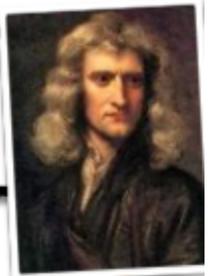


# Da Newton a Einstein

## Comprensione e descrizione matematica della gravità

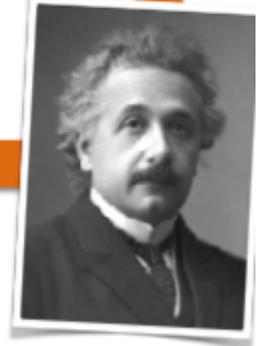
Osservazione del moto  
dei gravi e dei pianeti

Teoria matematica della  
legge universale di Newton



La **Relatività Generale di Einstein** è frutto di pura astrazione teorica

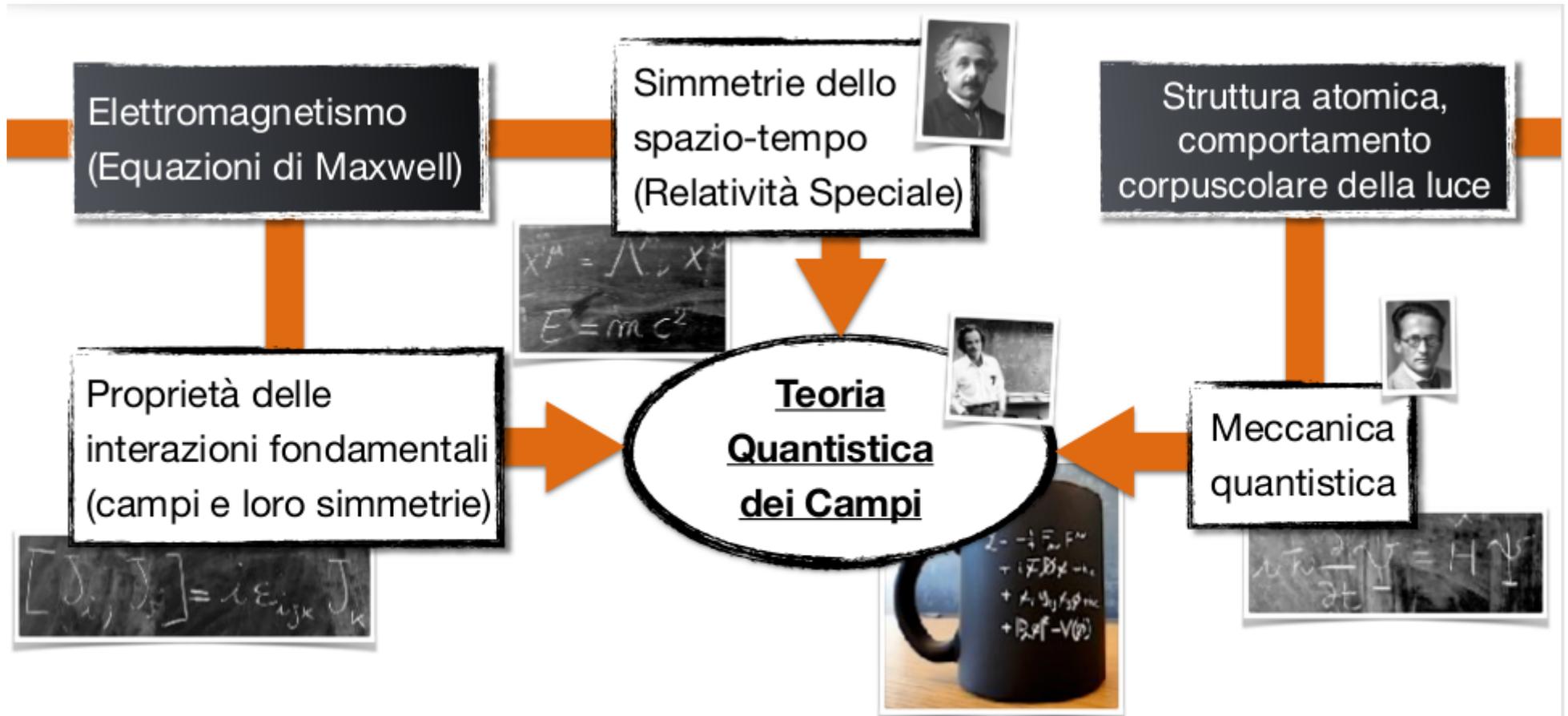
Newton  $F_G = G_N \frac{m_1 m_2}{r^2}$   $\longrightarrow$   $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G_N}{c^4} T_{\mu\nu}$  Einstein



L'interazione gravitazionale è interpretabile come curvatura dello spazio-tempo, che si deforma in presenza di massa ed energia

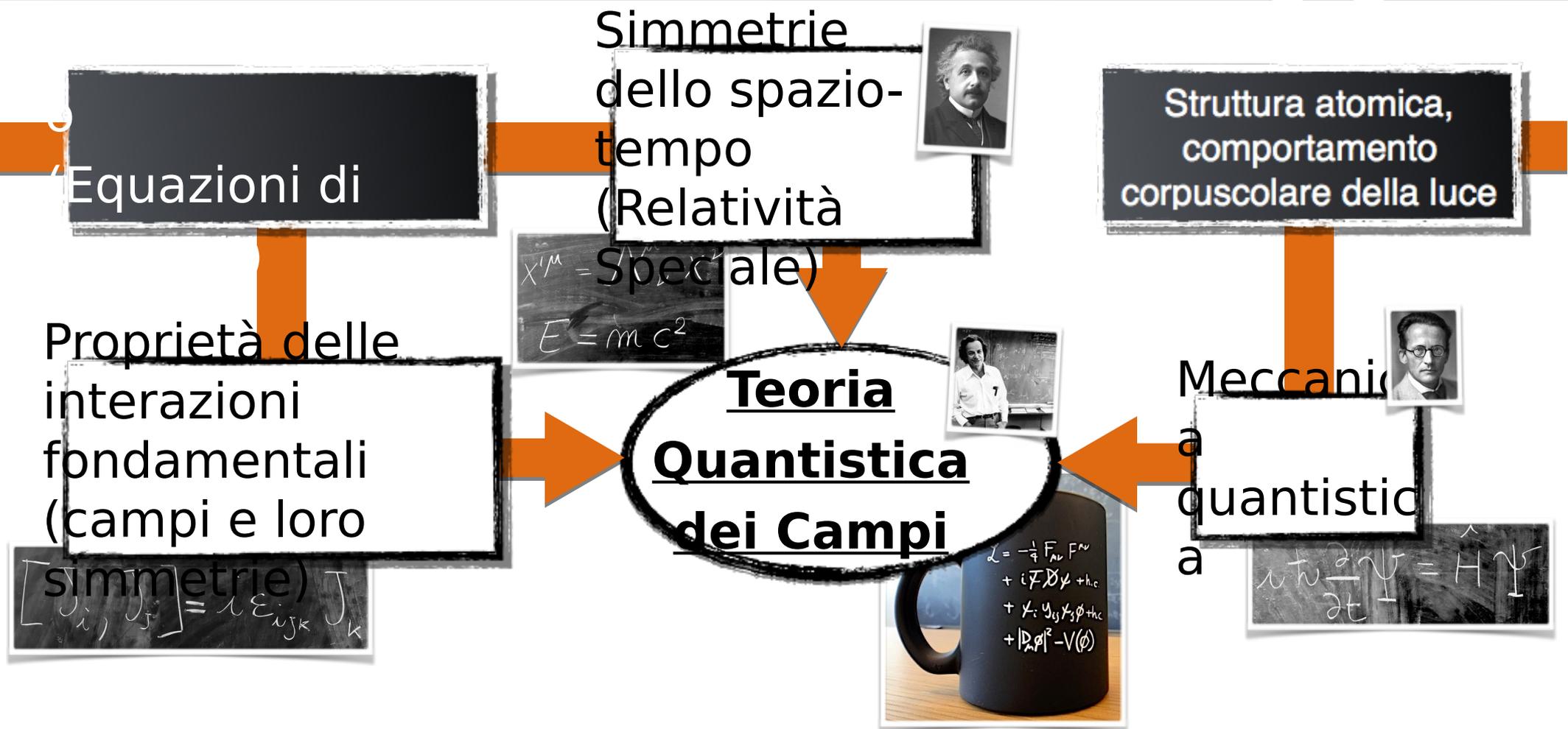


# Da Maxwell a Higgs



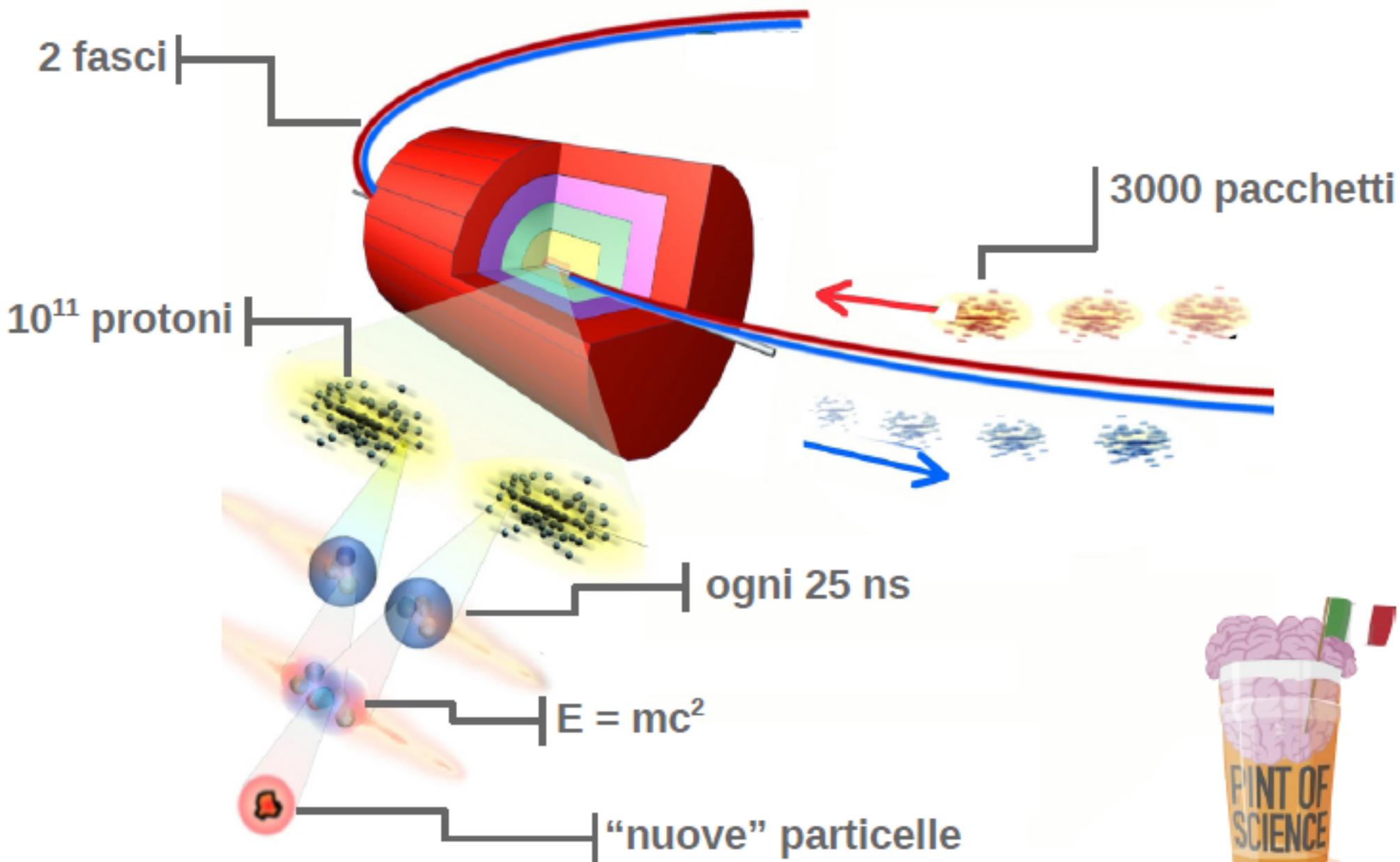
- La comprensione teorica dell'elettromagnetismo e il superamento della fisica classica nella descrizione dei fenomeni microscopici ha condotto, nel secolo scorso, alla formulazione matematica della fisica delle alte energia: la **teoria quantistica dei campi**.
- Il linguaggio matematico della teoria dei campi descrive il **modello standard** delle particelle elementari

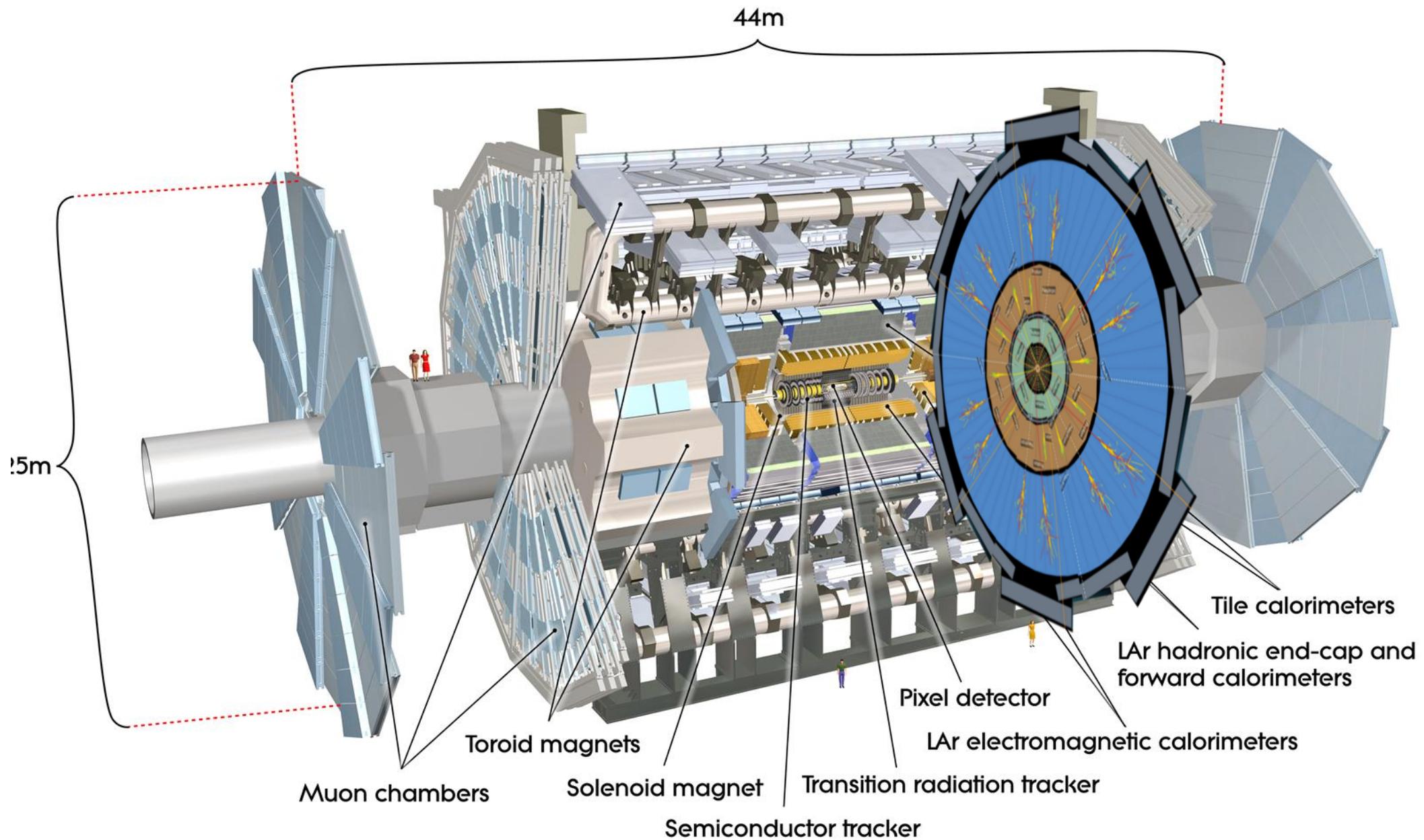
# INFN Da Maxwell ad Higgs



- La comprensione teorica dell'elettromagnetismo e il superamento della fisica classica nella descrizione dei fenomeni microscopici ha condotto, nel secolo scorso, alla formulazione matematica della fisica delle alte energie: la **teoria**

# LHC e ATLAS





# Alla ricerca di Particelle Instabili

La maggior parte delle particelle che studiamo hanno tempi di vite medie molto brevi → Decadono prima di poter essere rilevate

H (bosone Higgs):  
**Tempo proprio** di decadimento  
 $10^{-11}$  ps

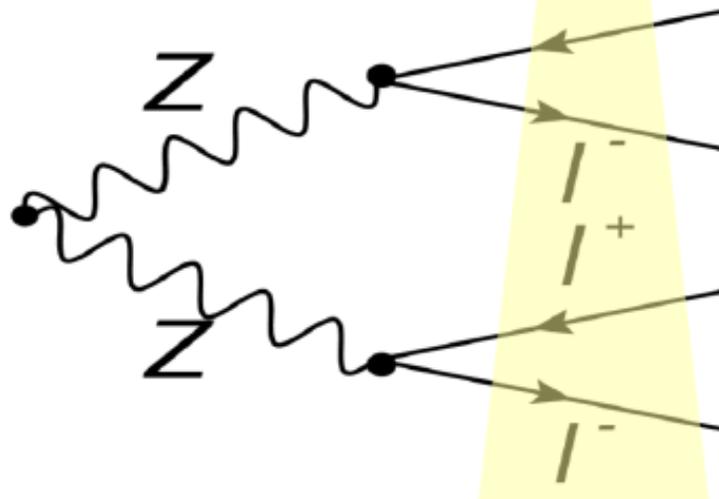


$H$

Z (Bosone elettrodebole neutro):  
**Tempo proprio** di decadimento  
 $10^{-14}$  ps



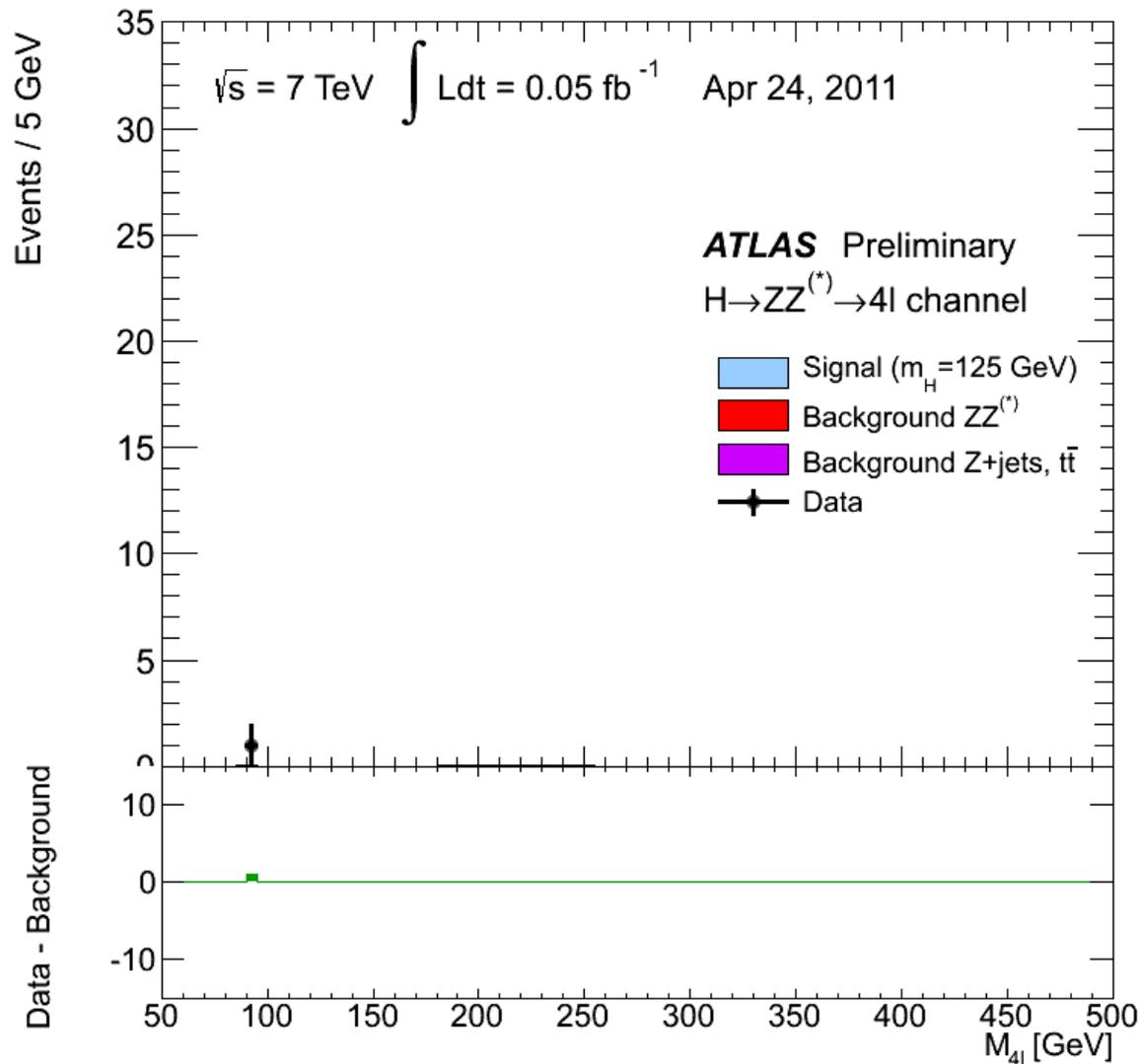
leptoni: **Tempo proprio** di decadimento:  
 ele :  $\infty$   
 mu :  $2 \cdot 10^6$  ps  
 tau :  $0.2 \cdot 10^{-3}$  ps



Attenzione!  
 Non confondere  
 Tempo Proprio con  
 Tempo Nel Sistema di  
 Riferimento del  
 Laboratorio!  
 (Dilatazione del  
 tempo → Relatività  
 Speciale)

18- In 1 ps la luce percorre ~ 300  $\mu$ m

# Scoperta del Bosone di Higgs



# Risonanze

