

# Fisica delle particelle: cosa facciamo?

Viacheslav Duk (INFN Perugia)

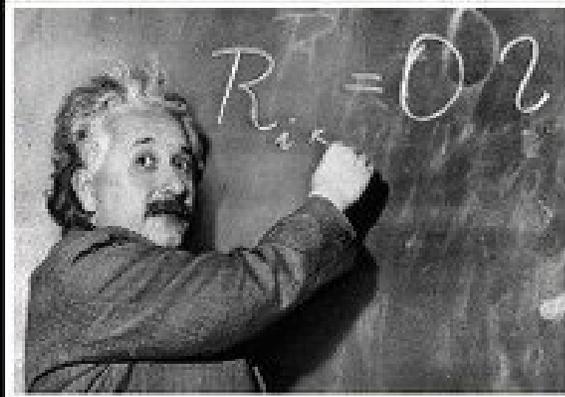


con il patrocinio di



DIPARTIMENTO  
DI FISICA E GEOLOGIA  
DIPARTIMENTO DI ECCELLENZA  
MUR 2023/2027

# PHYSICIST



WHAT SOCIETY THINKS I DO



WHAT MY MUM THINKS I DO



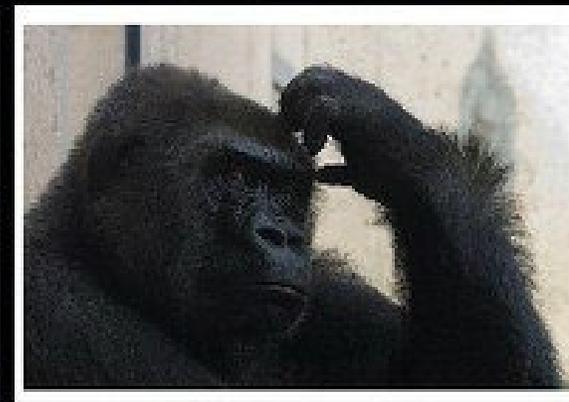
WHAT MY FRIENDS THINK I DO



WHAT THE GOVERNMENT THINKS I DO



WHAT I THINK I DO



WHAT I ACTUALLY DO

Il nostro  
lavoro  
consiste nel  
cercare  
risposte a  
domande  
aperte!

Com'è nato l'universo?

Da cosa è formato?

Cosa è la materia e quali sono i suoi componenti elementari?

Quali le forze che governano l'Universo?

Cosa c'è oltre i nostri occhi?

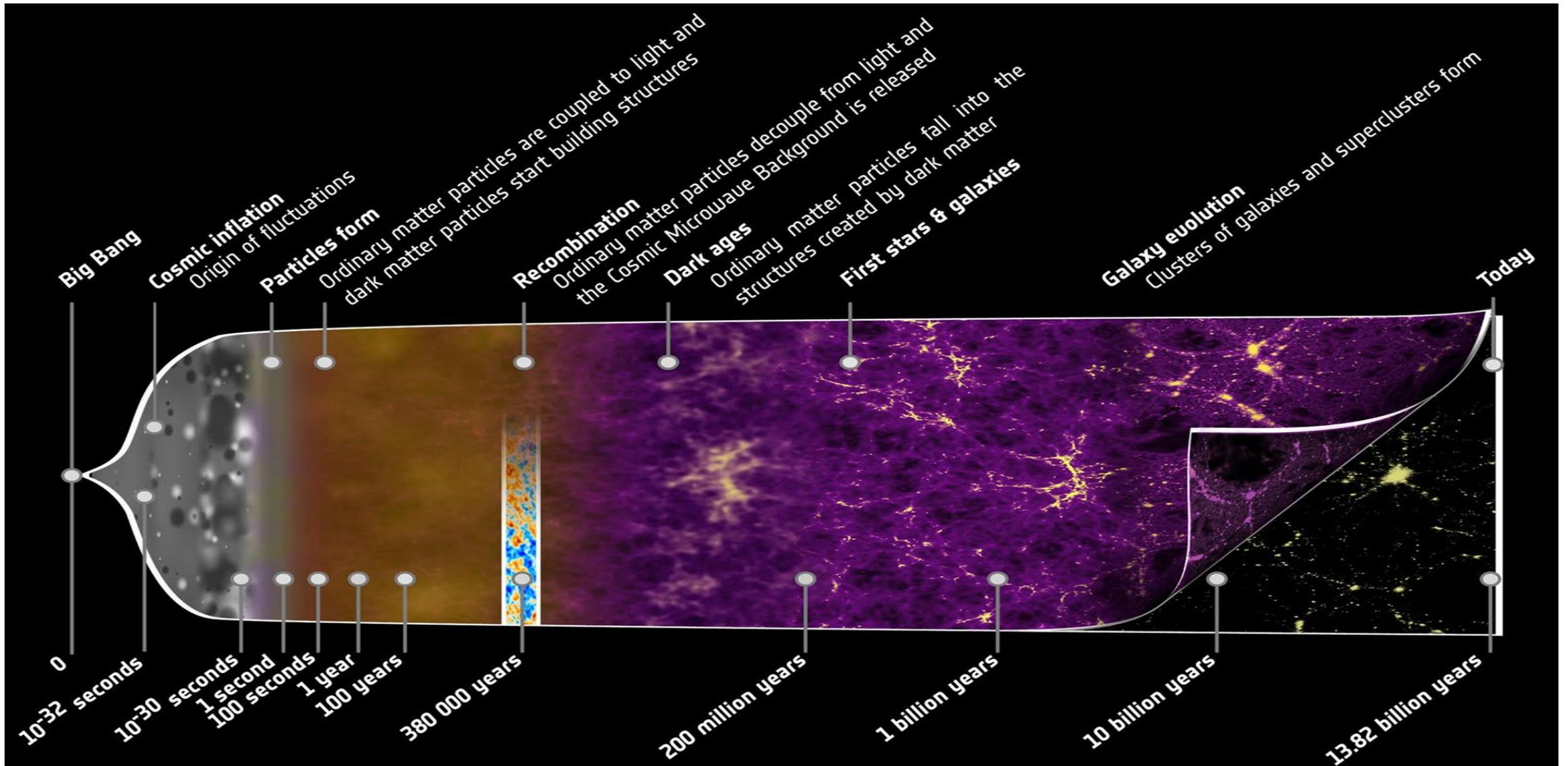
Come si è  
formato  
l'Universo?



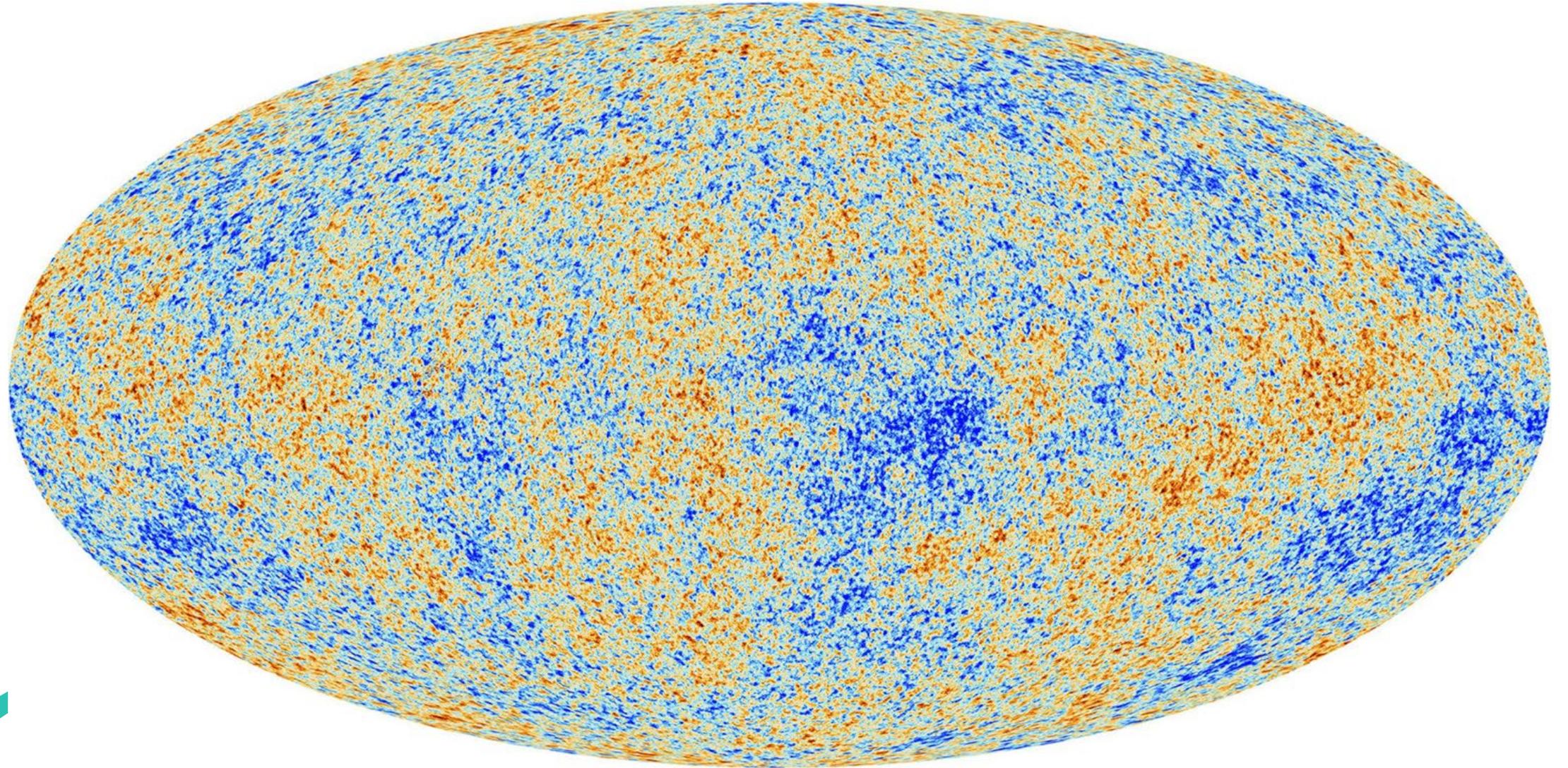
# Teoria del Big Bang



# Epoca della ricombinazione



# La prima luce!



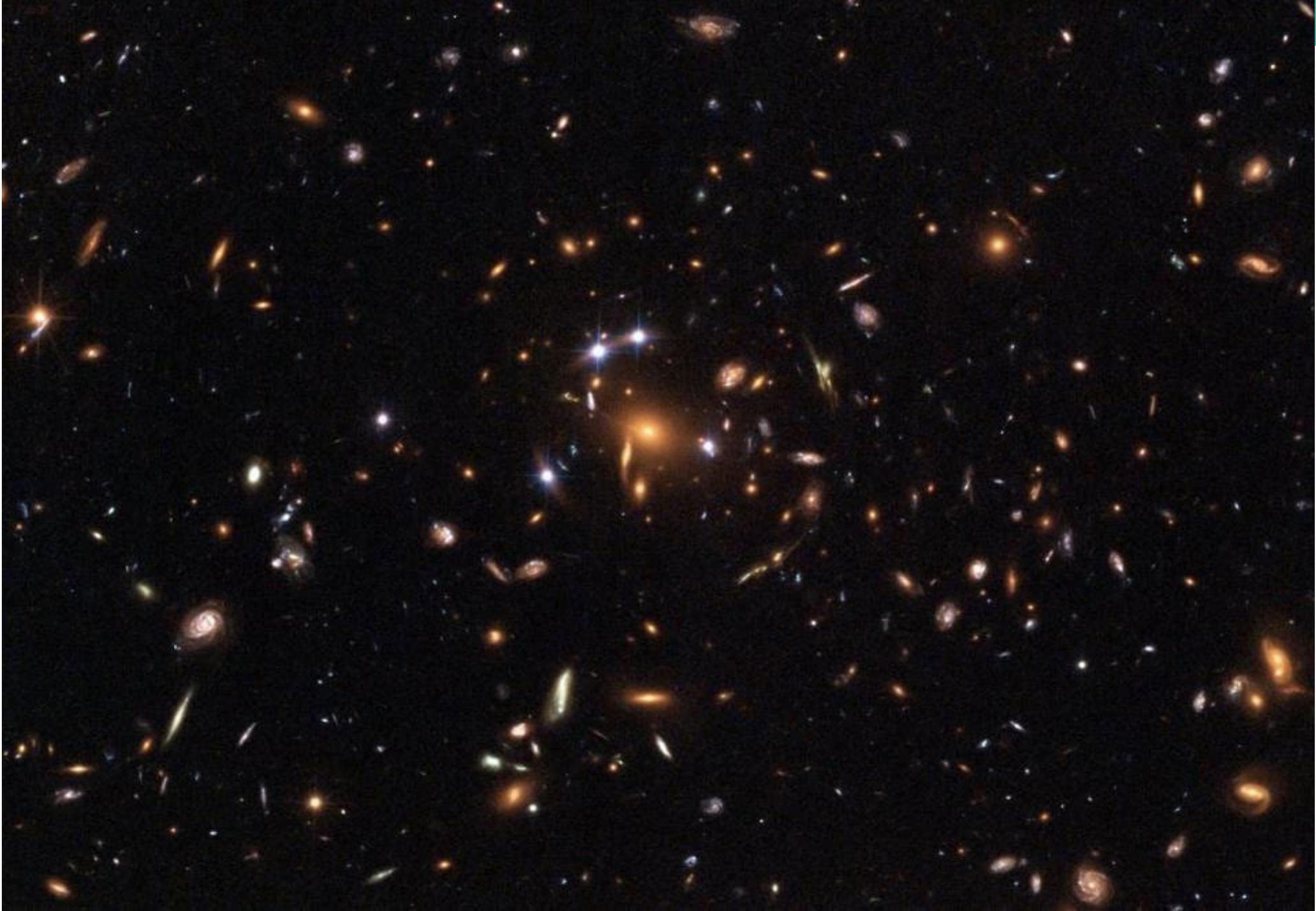
Da cosa è  
formato  
l'Universo?



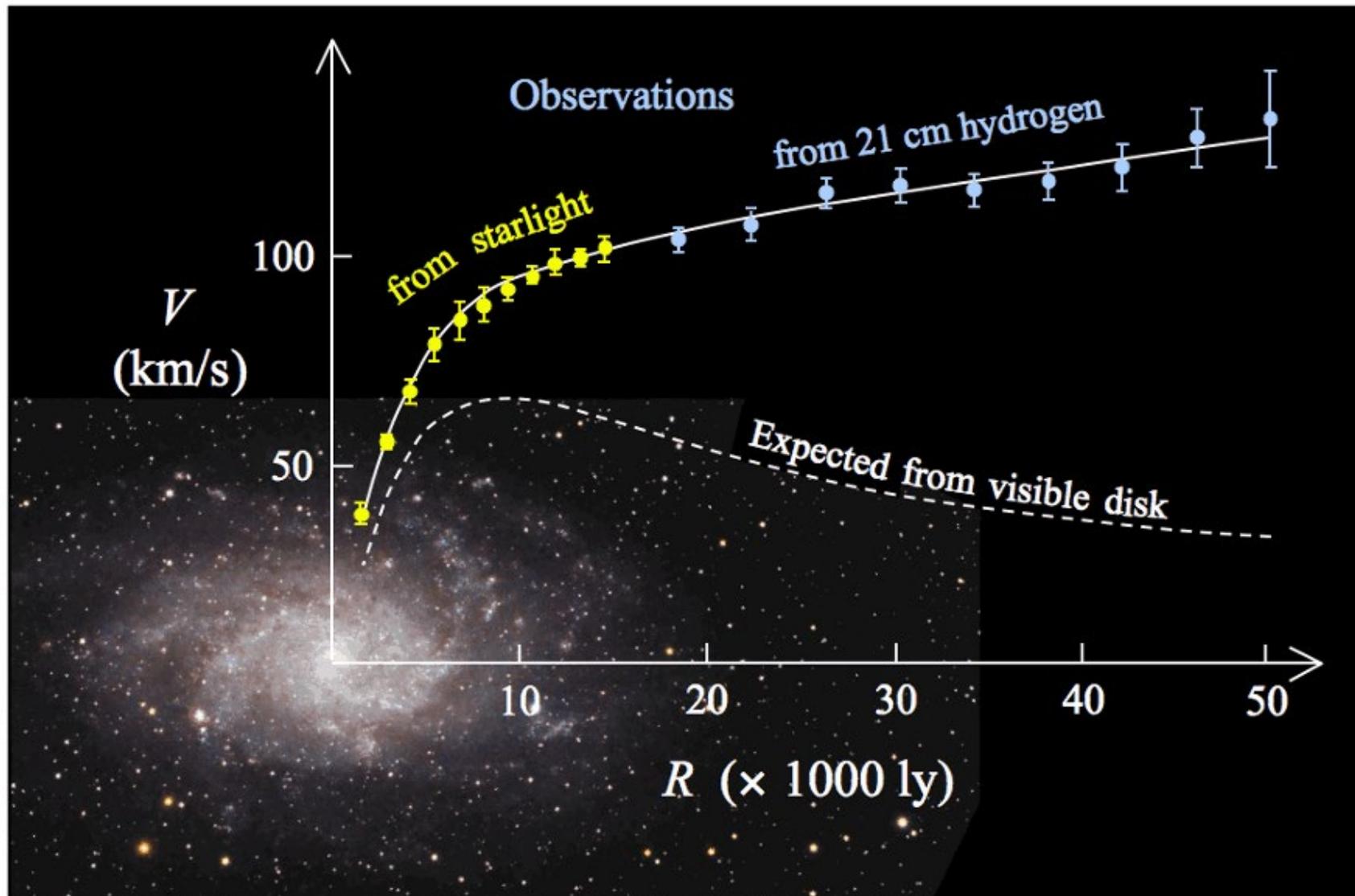
# COMPOSITION OF THE UNIVERSE



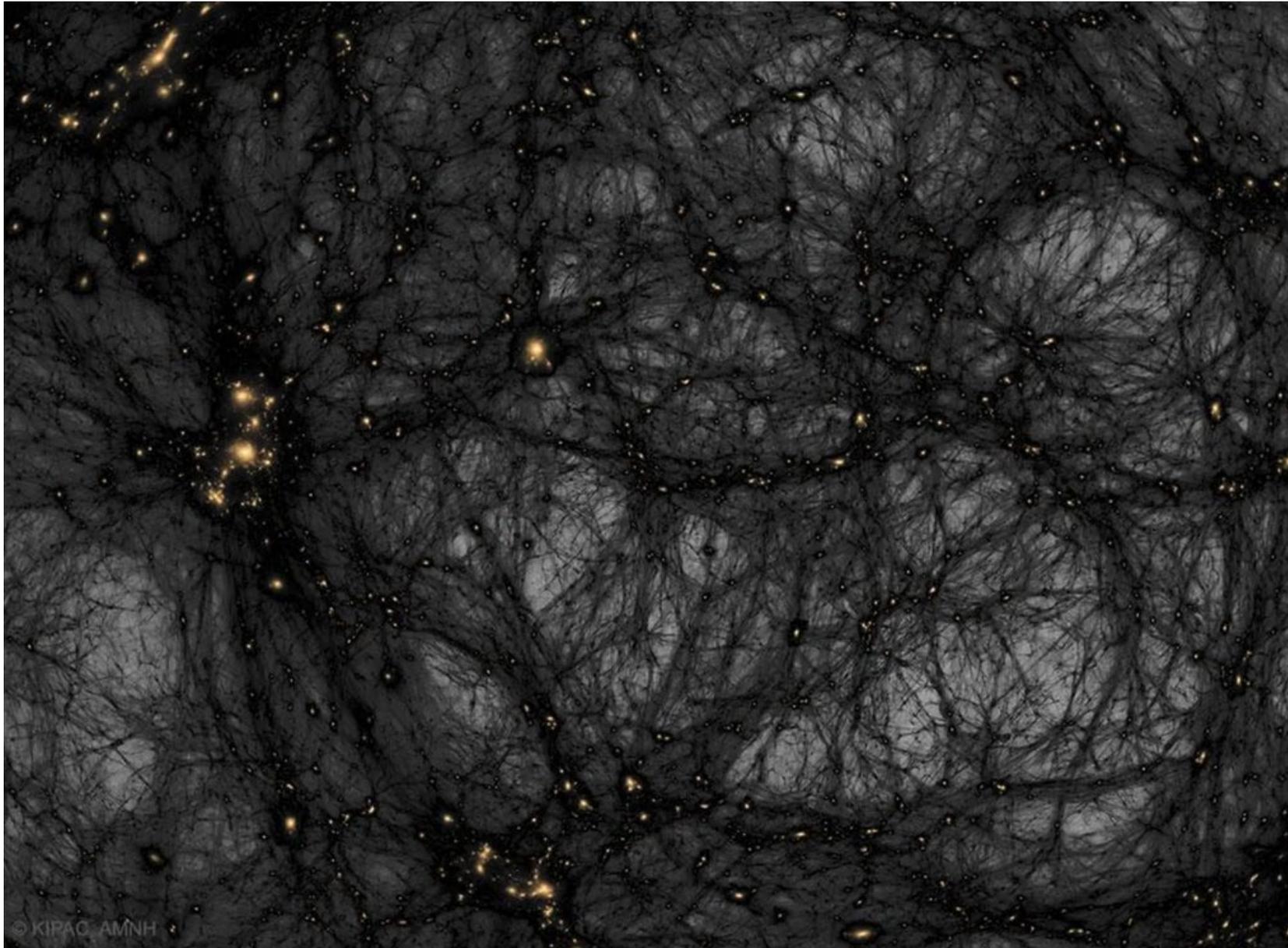
Cosa c'è oltre la materia  
visibile...?



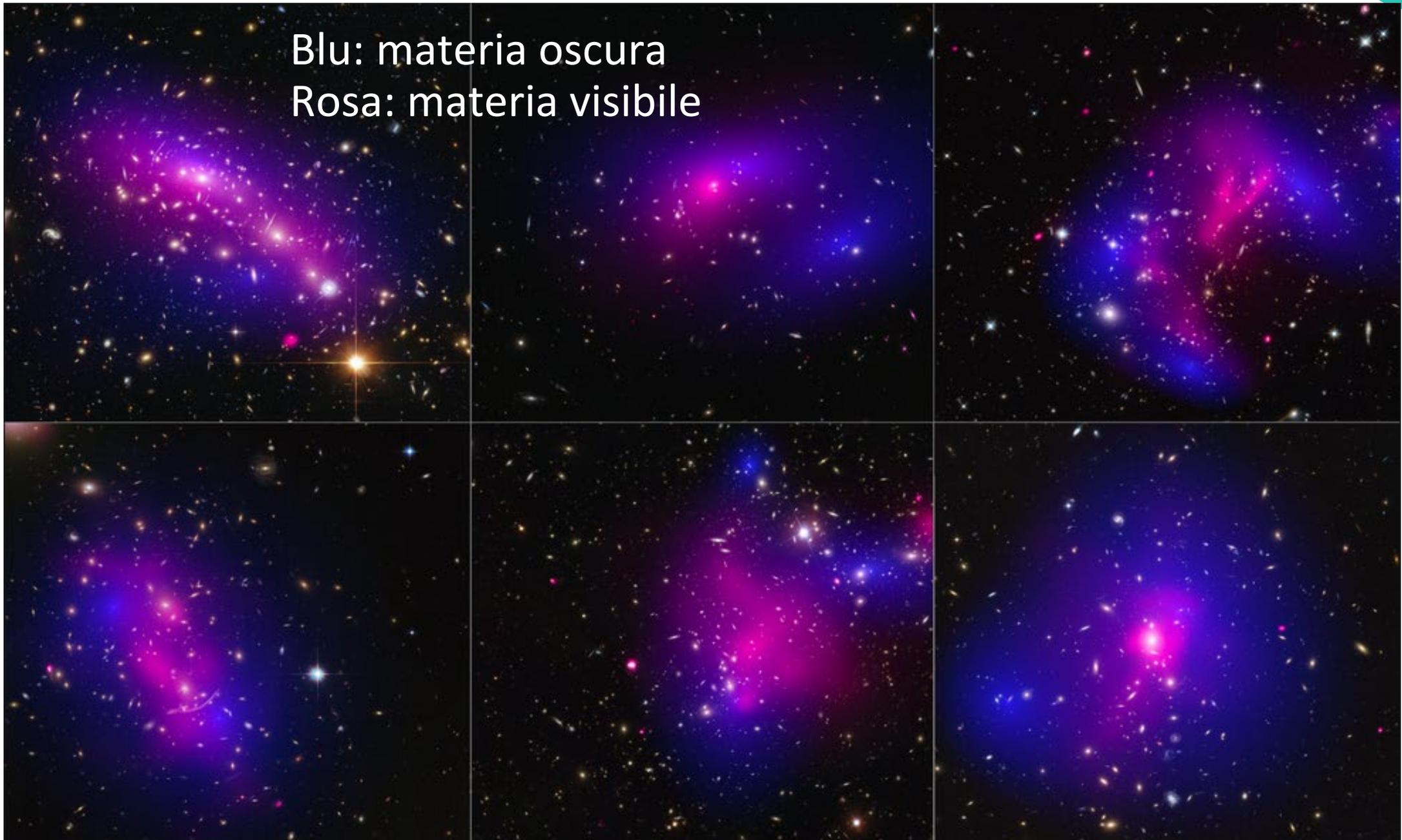
# Materia oscura

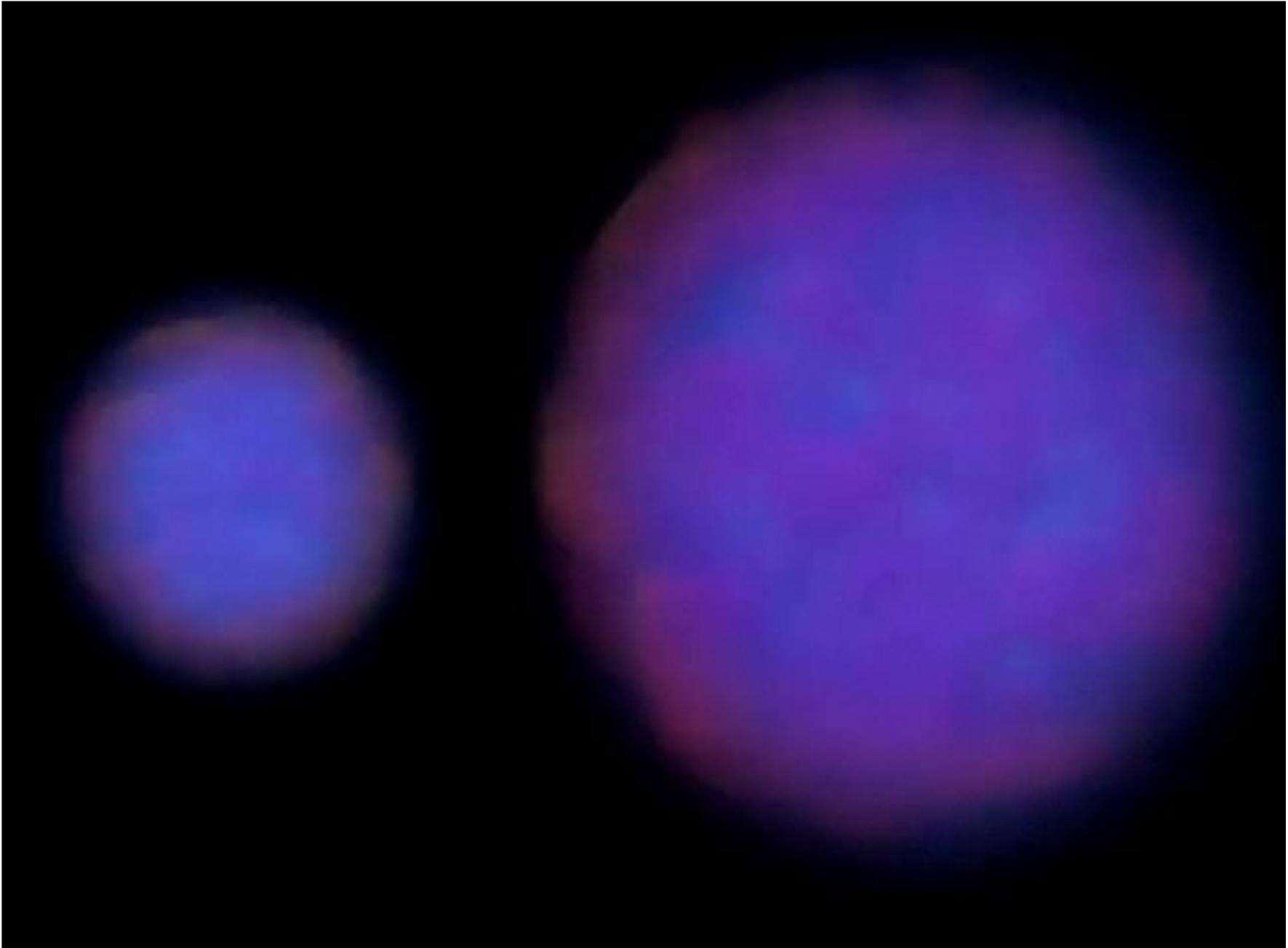


# Materia oscura



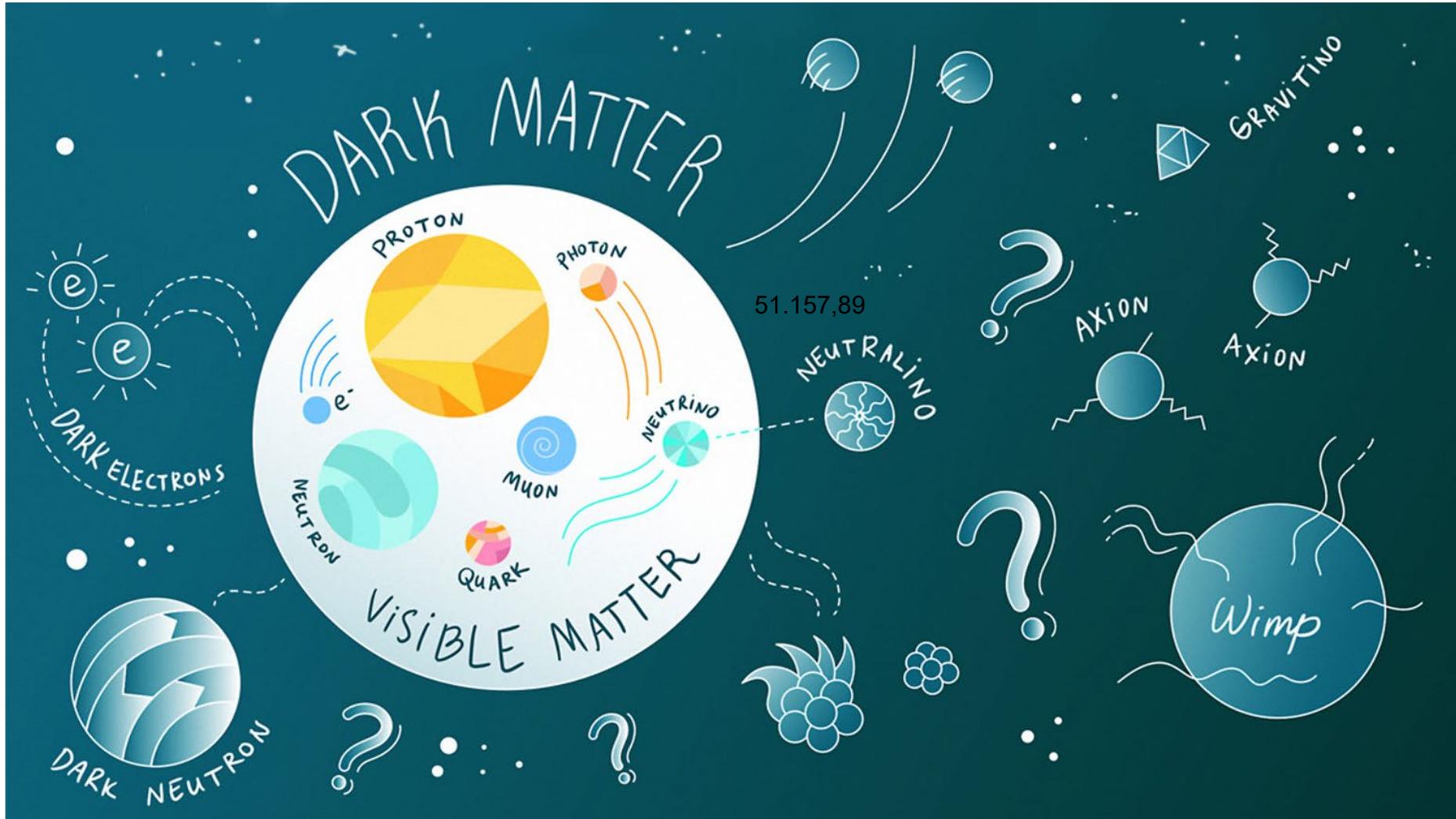
Blu: materia oscura  
Rosa: materia visibile



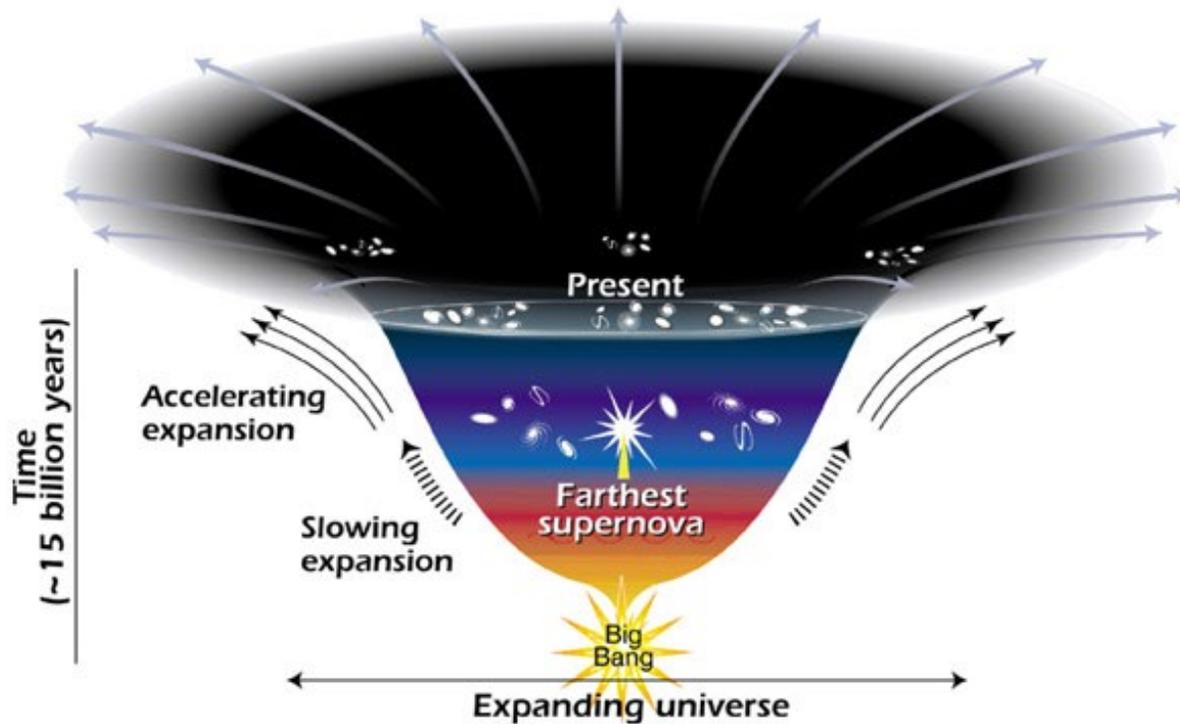


# Materia oscura

- Possiamo vederla solo indirettamente



# Energia Oscura



This diagram reveals changes in the rate of expansion since the universe's birth 15 billion years ago. The more shallow the curve, the faster the rate of expansion. The curve changes noticeably about 7.5 billion years ago, when objects in the universe began flying apart at a faster rate. Astronomers theorize that the faster expansion rate is due to a mysterious, dark force that is pushing galaxies apart.

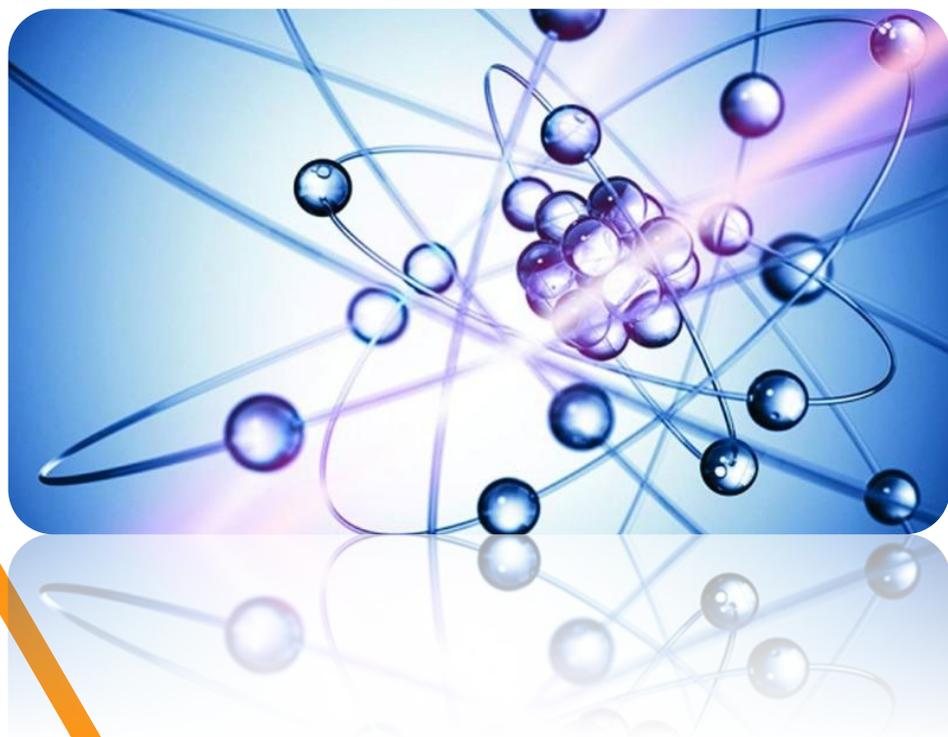
- Ipotetica forma di energia
- Pressione negativa
- Non direttamente rivelabile
- **Spiega l'espansione accelerata dell'Universo**

An abstract painting with a rich, textured surface. The composition is dominated by warm, earthy tones like ochre, yellow, and orange, which blend into cooler blues and purples towards the bottom. The brushstrokes are thick and expressive, creating a sense of depth and movement. In the lower center, there's a cluster of dark, star-like shapes with bright spots, possibly representing a galaxy or a nebula. The overall effect is one of dynamic energy and complex visual information.

Ma l'Universo  
visibile?

# L'universo visibile può essere descritto da:

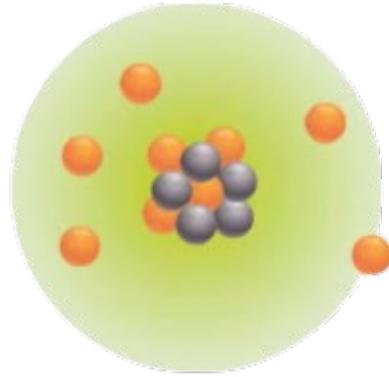
Materia



Forze



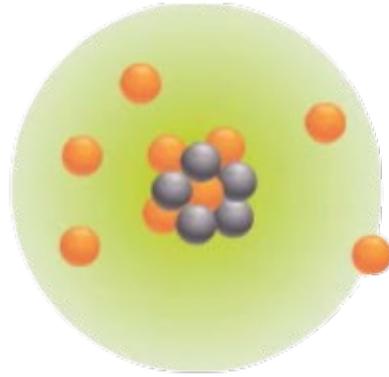
# Materia



Atomo  
 $10^{-10}\text{m}$

“Gli atomi sono particelle  
elementari indivisibili”:  
Democrito, 400 a.C.

# Materia



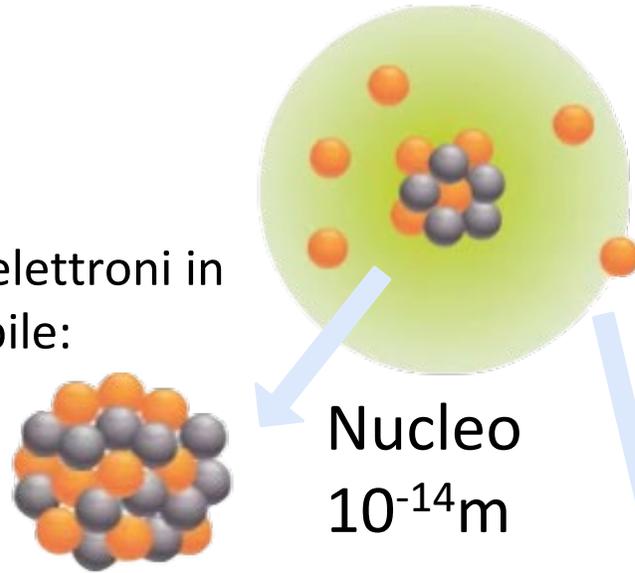
Atomo  
 $10^{-10}\text{m}$

“Gli atomi sono particelle  
elementari indivisibili”:  
Democrito, 400 a.C.

# Materia

Modello planetario dell'atomo con elettroni in orbita attorno ad un nucleo indivisibile:

Rutherford, 1910



Nucleo  
 $10^{-14}\text{m}$

Atomo  
 $10^{-10}\text{m}$

“Gli atomi sono particelle elementari indivisibili”:

Democrito, 400 a.C.

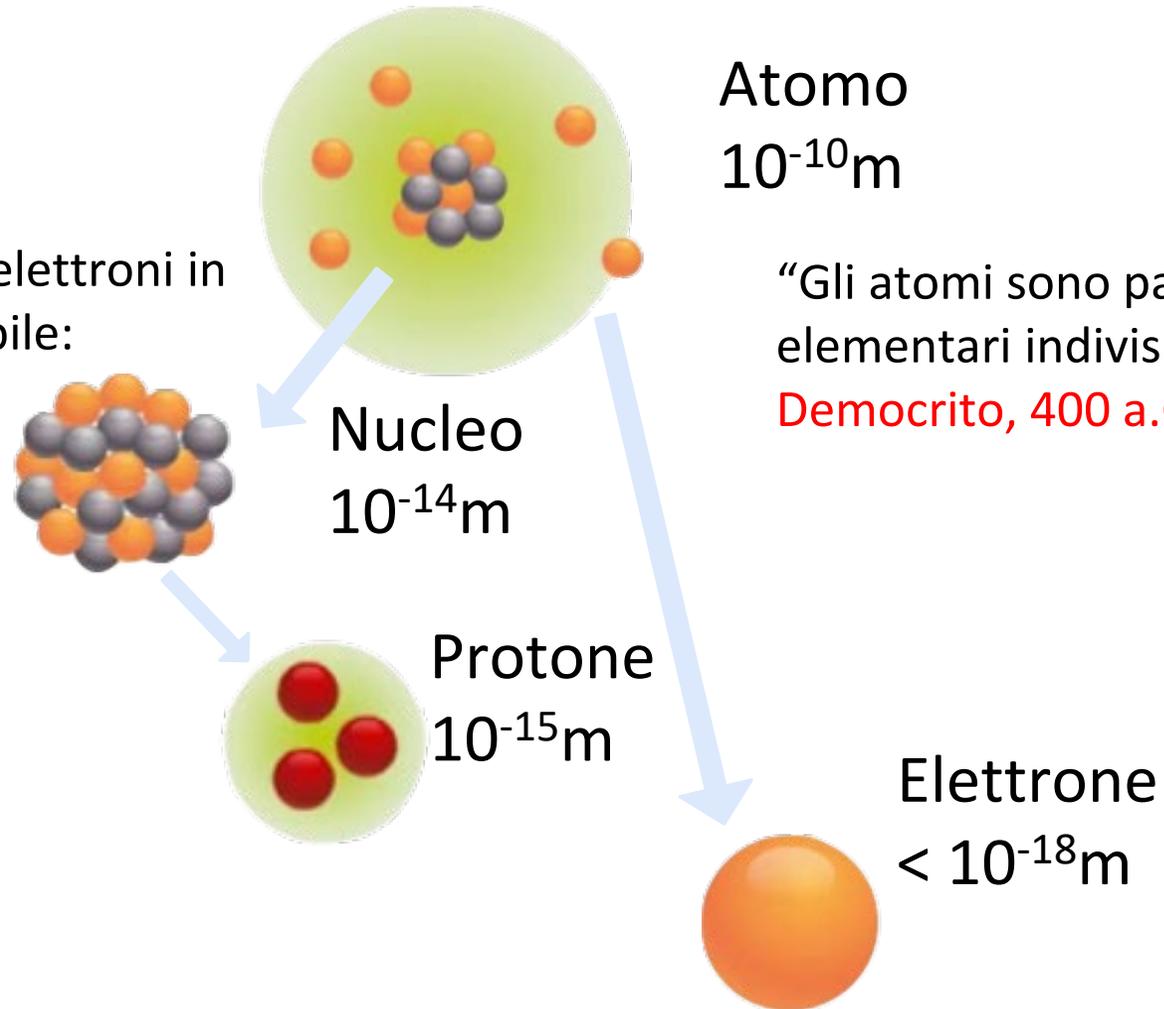
Elettrone  
 $< 10^{-18}\text{m}$

# Materia

Modello planetario dell'atomo con elettroni in orbita attorno ad un nucleo indivisibile:

Rutherford, 1910

Scoperta neutroni -> il nucleo non è indivisibile ma composto da protoni e neutroni: Chadwick, 1932

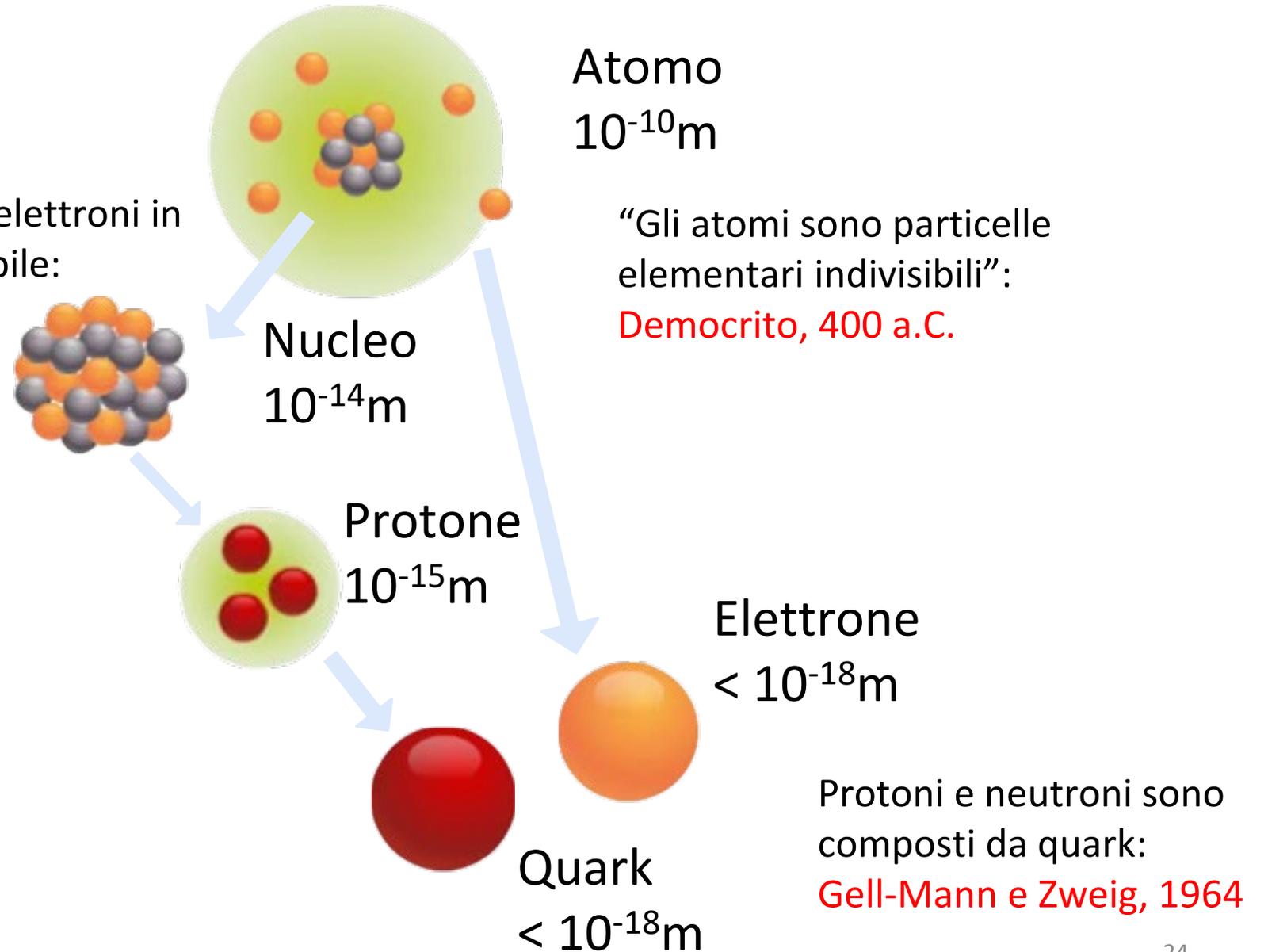


# Materia

Modello planetario dell'atomo con elettroni in orbita attorno ad un nucleo indivisibile:

Rutherford, 1910

Scoperta neutroni -> il nucleo non è indivisibile ma composto da protoni e neutroni: Chadwick, 1932



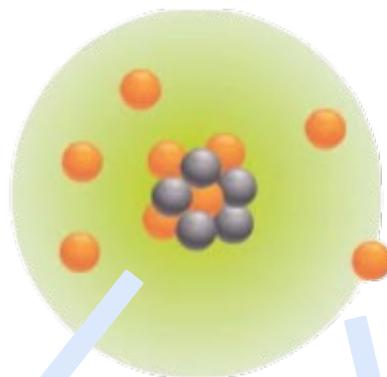
# Materia

Modello planetario dell'atomo con elettroni in orbita attorno ad un nucleo indivisibile:

Rutherford, 1910

Scoperta neutroni -> il nucleo non è indivisibile ma composto da protoni e neutroni: Chadwick, 1932

Sono elementari o hanno una struttura interna che **oggi** non vediamo?



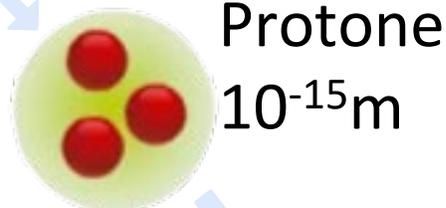
Atomo  
 $10^{-10}\text{m}$

“Gli atomi sono particelle elementari indivisibili”:

Democrito, 400 a.C.



Nucleo  
 $10^{-14}\text{m}$



Protone  
 $10^{-15}\text{m}$



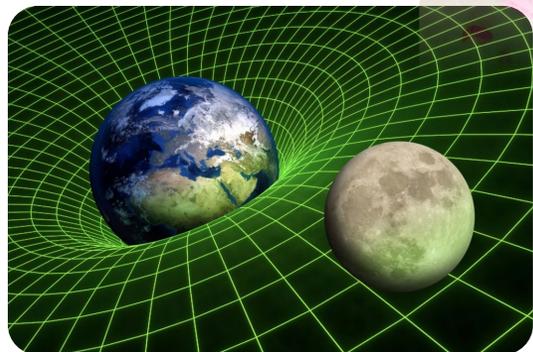
Quark  
 $< 10^{-18}\text{m}$



Elettrone  
 $< 10^{-18}\text{m}$

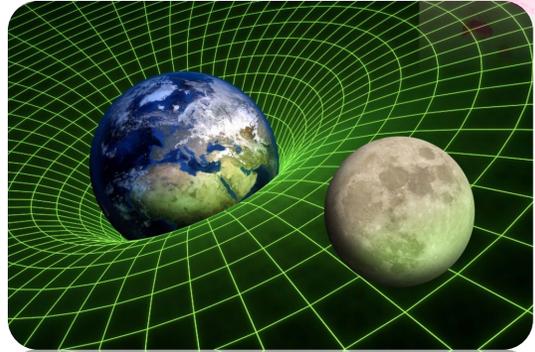
Protoni e neutroni sono composti da quark:  
Gell-Mann e Zweig, 1964

# Forze



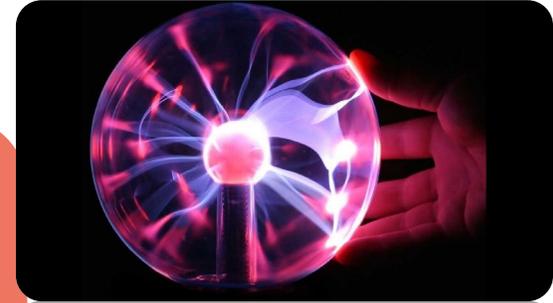
Forza  
gravità

# Forze



Forza  
gravità

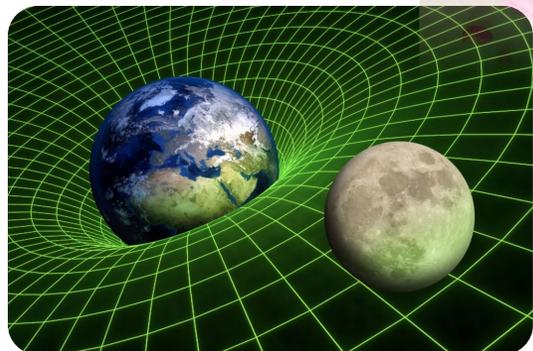
Forza  
elettro  
magnetica



# Forze



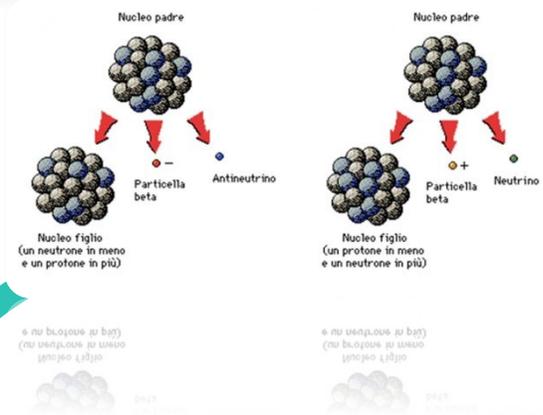
Forza gravità



Forza elettromagnetica



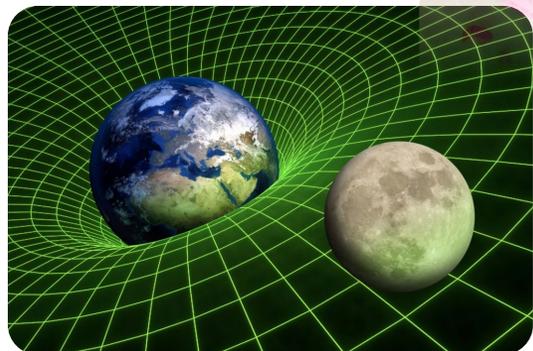
Forza debole



# Forze



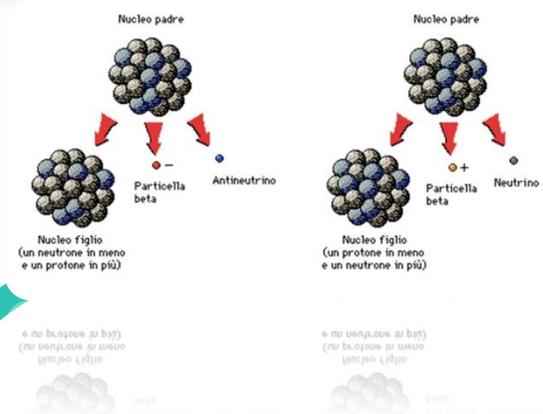
Forza gravità



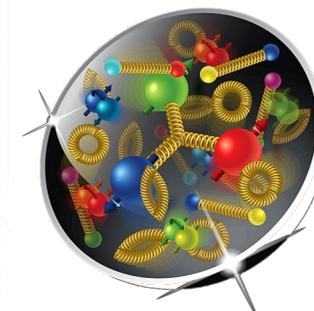
Forza elettromagnetica



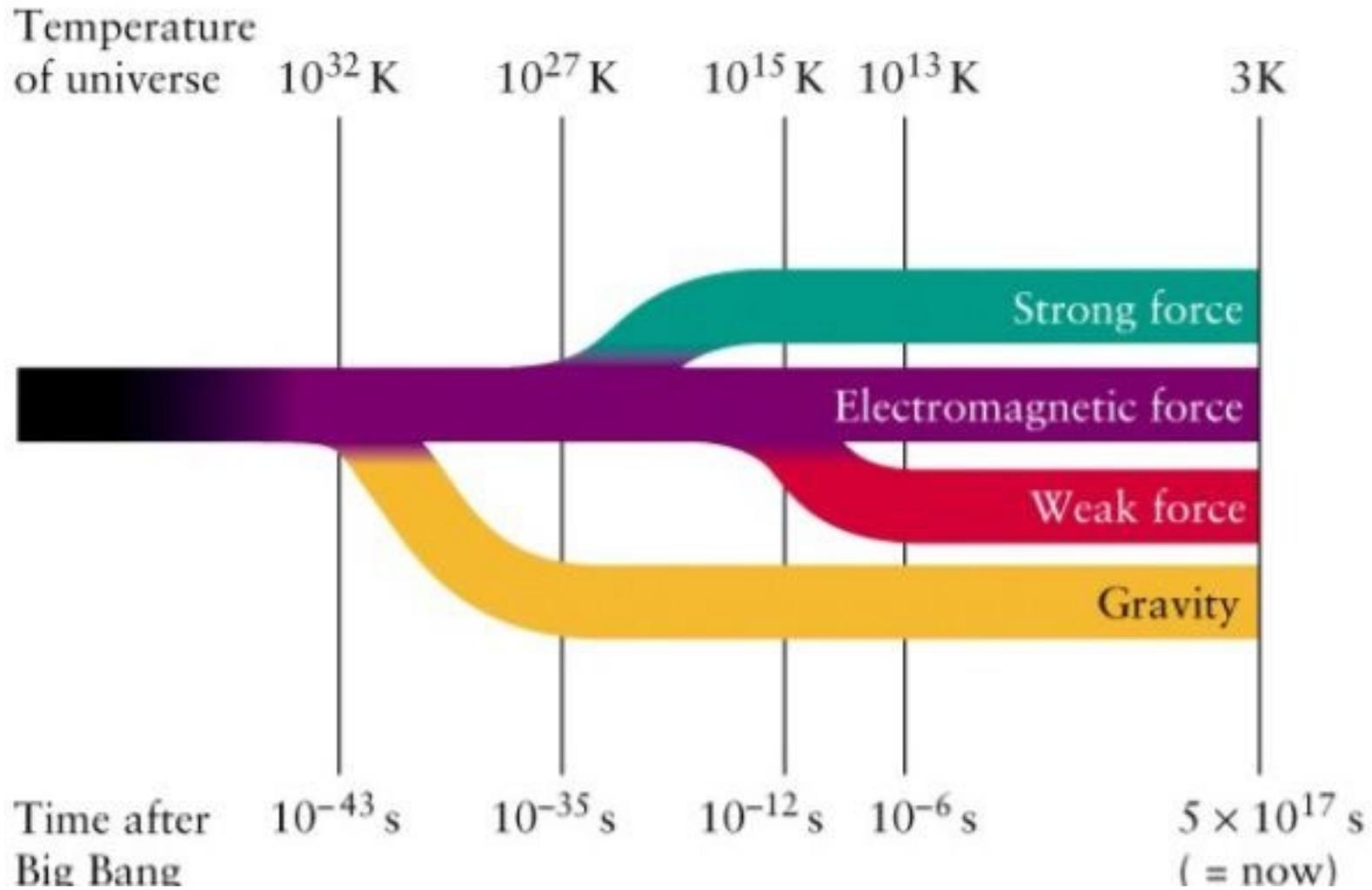
Forza debole



Forza forte



# Grande Unificazione



# Il Modello Standard

La teoria del Modello Standard descrive tutto quello che sappiamo su:

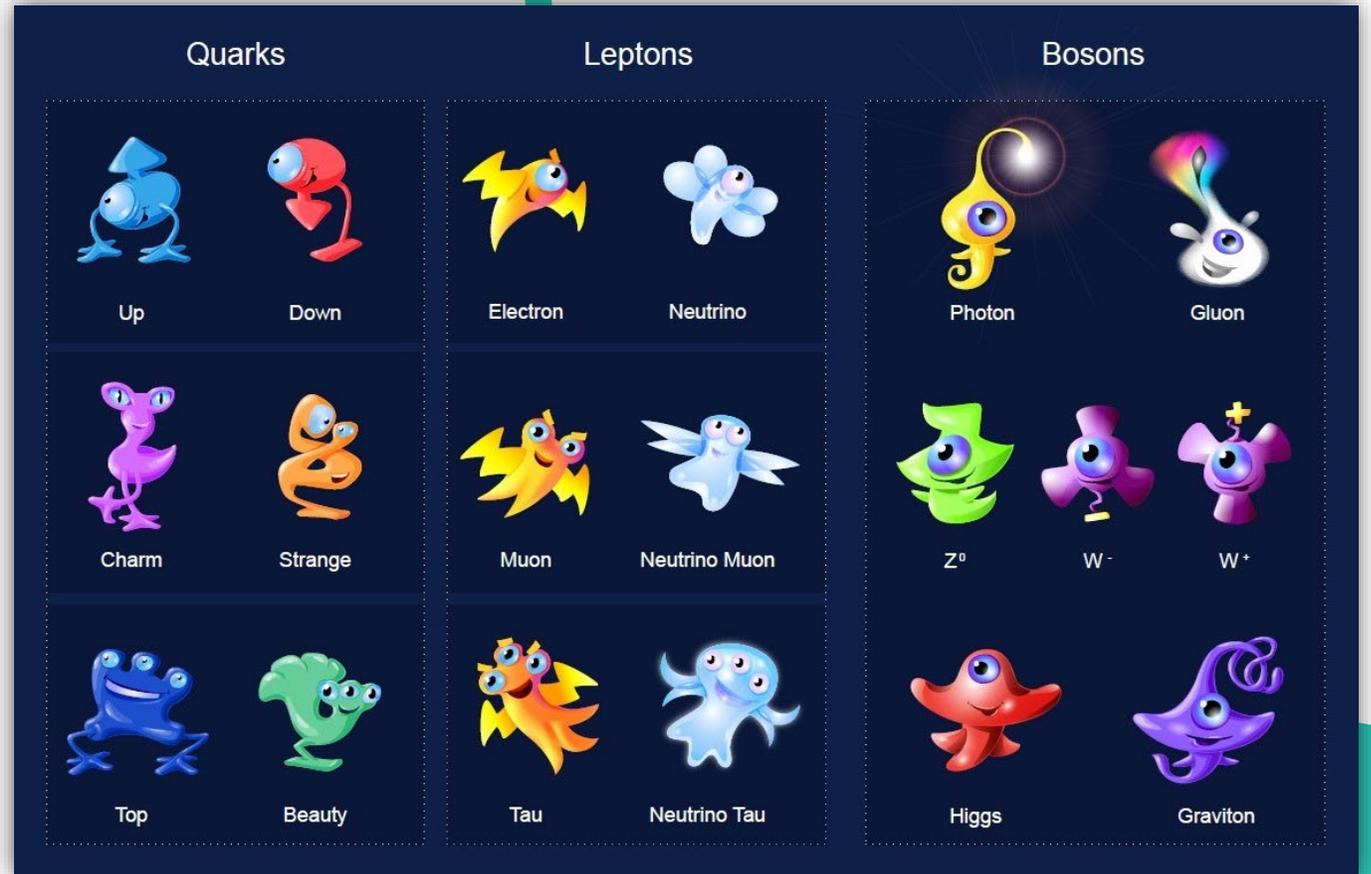
➤ Materia:

➤ Quark

➤ Leptoni

➤ Forze:

➤ Bosoni



# What flavor of quark are you?



- Up
- Lightweight
  - High all the time
  - Turns into Down Quark if left alone long enough



- Down
- "D quark"
  - dominant in neutrons
  - Bare mass not well understood
  - Kinda sad



- Strange
- found in Strange D mesons
  - Sideways
  - Could be a strangelet
  - Doesn't really know what's going on



- Charm
- Charming
  - Second Gen™
  - Color: yes :)
  - Really just okay
  - Happy to be here



- Top
- "truth quark"
  - Strong interactions
  - Hard to find
  - Literally over 40 times as big as everyone else



- Bottom
- "beauty quark"
  - Stable af
  - Confident in itself
  - Comes from top quarks ;)

# What flavor of quark are you? 2025 edition

up



charm



top



down



strange



bottom



Come facciamo a studiare il  
visibile e il non visibile?

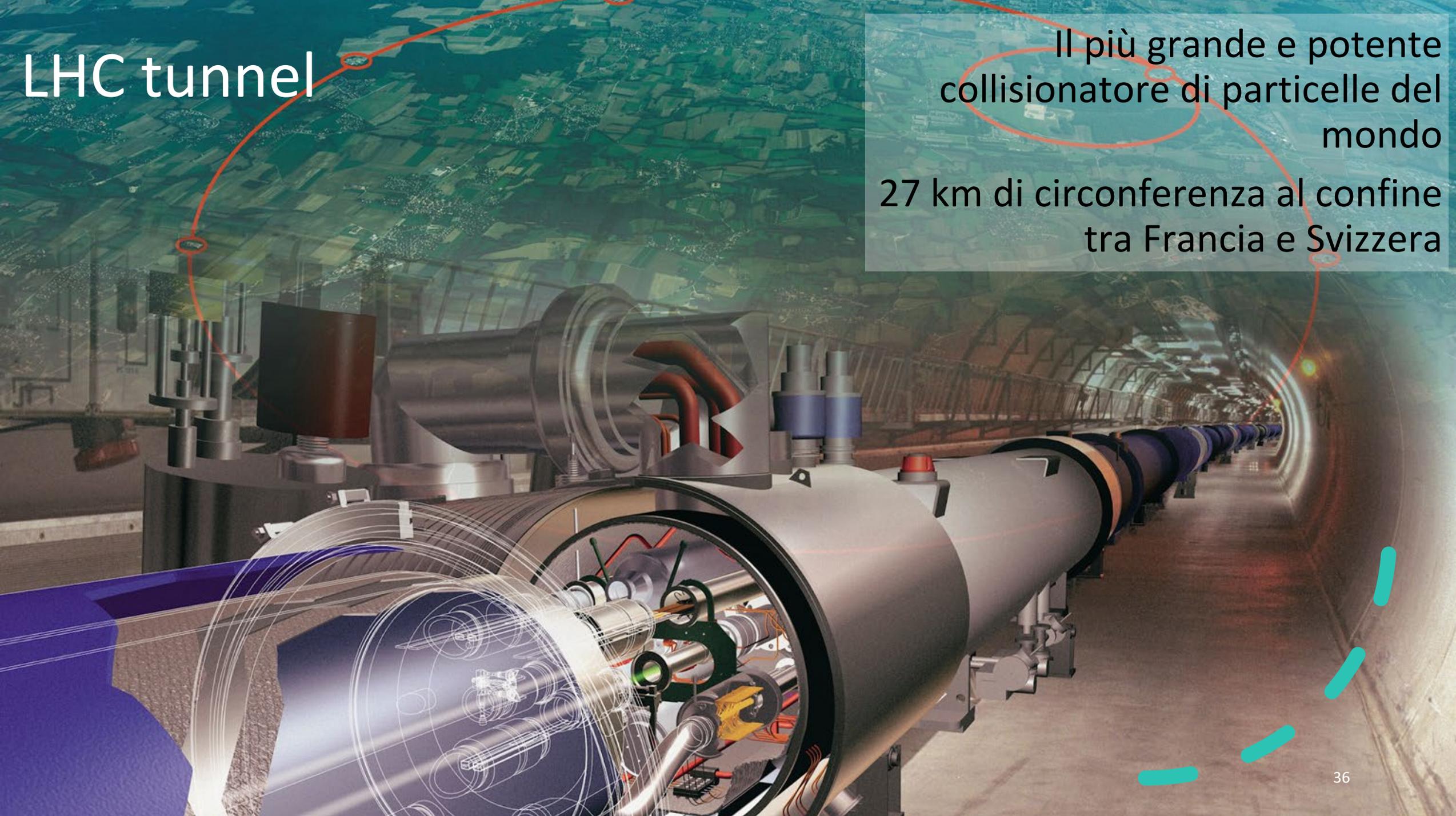


Esperimenti a  
terra di fisica  
fondamentale



Large Hadron Collider @ CERN

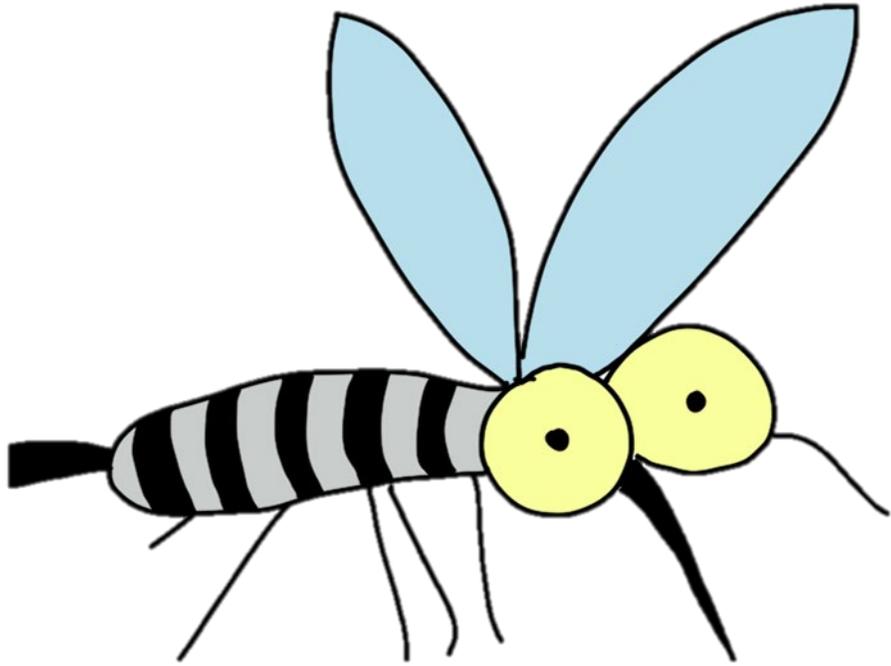
# LHC tunnel



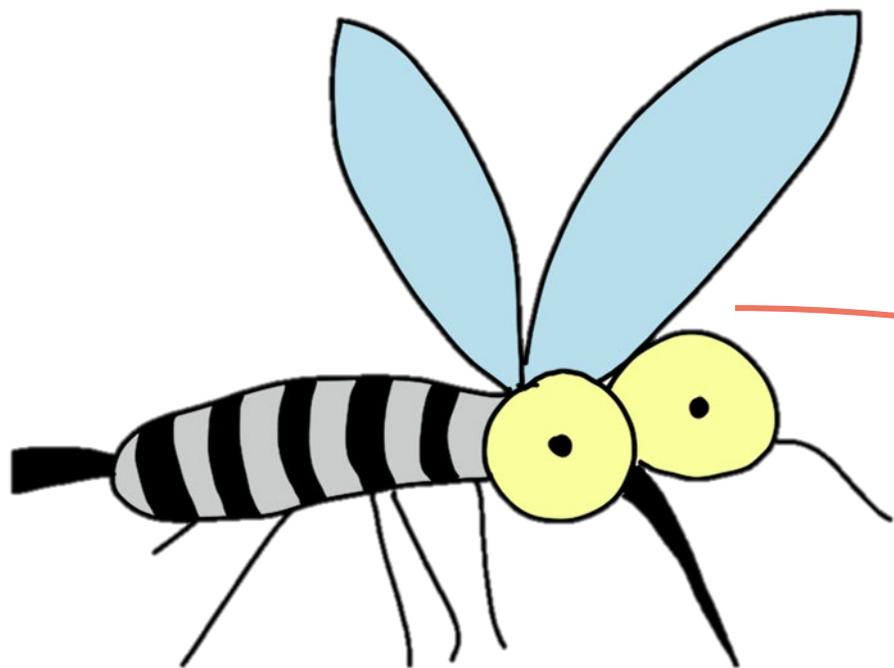
Il più grande e potente  
collisionatore di particelle del  
mondo

27 km di circonferenza al confine  
tra Francia e Svizzera

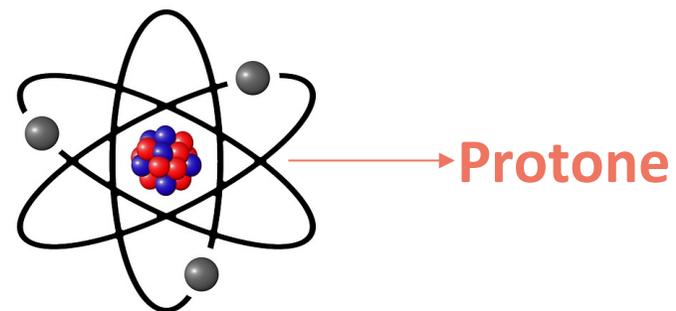
L'energia record...di una zanzara!!

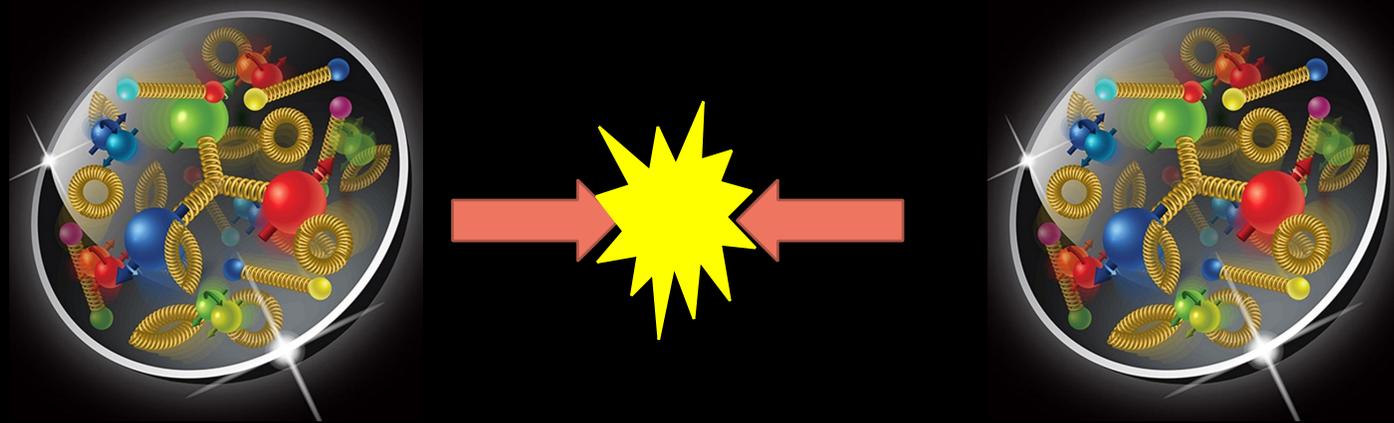


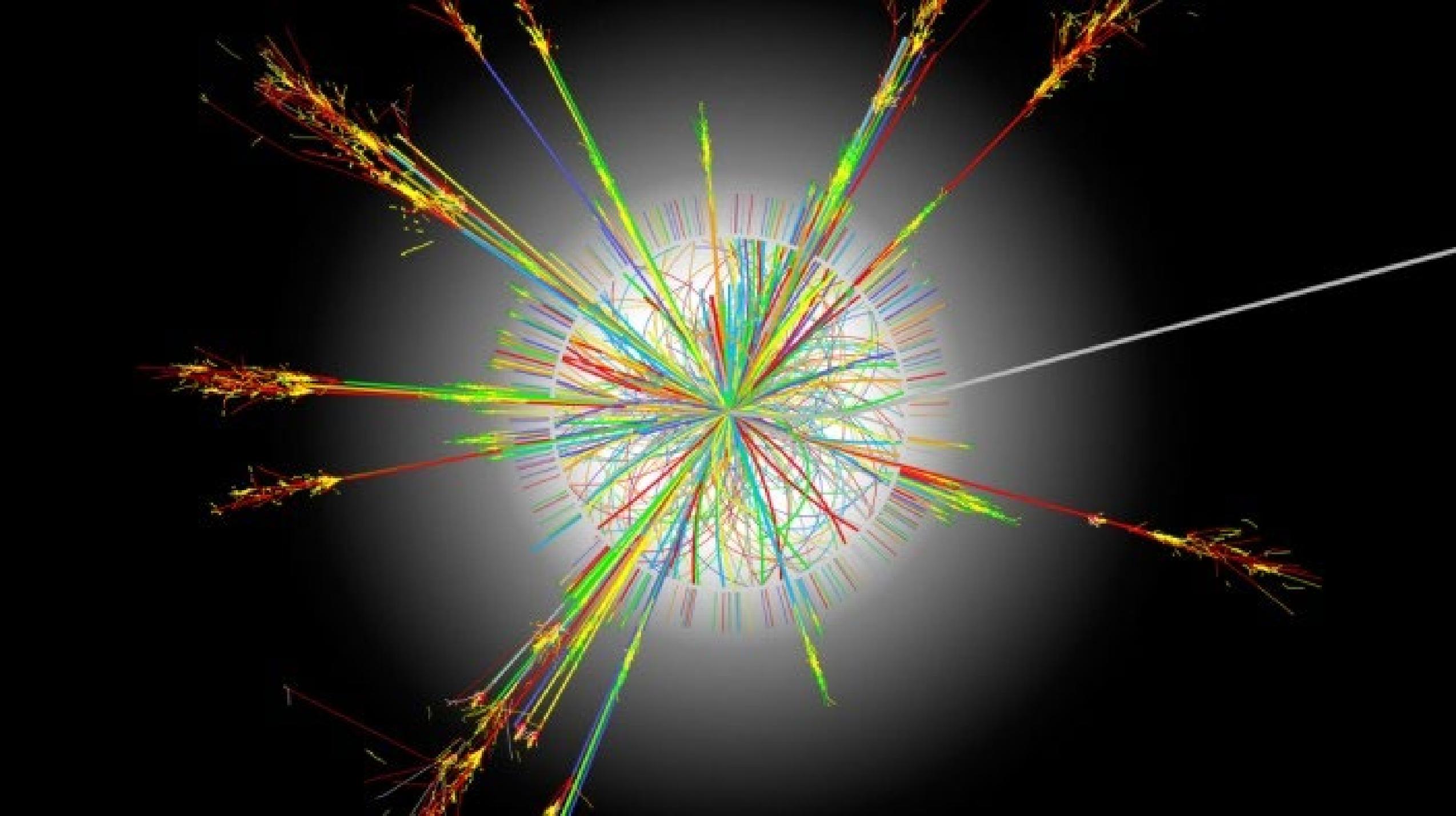
# L'energia record...di una zanzara!!



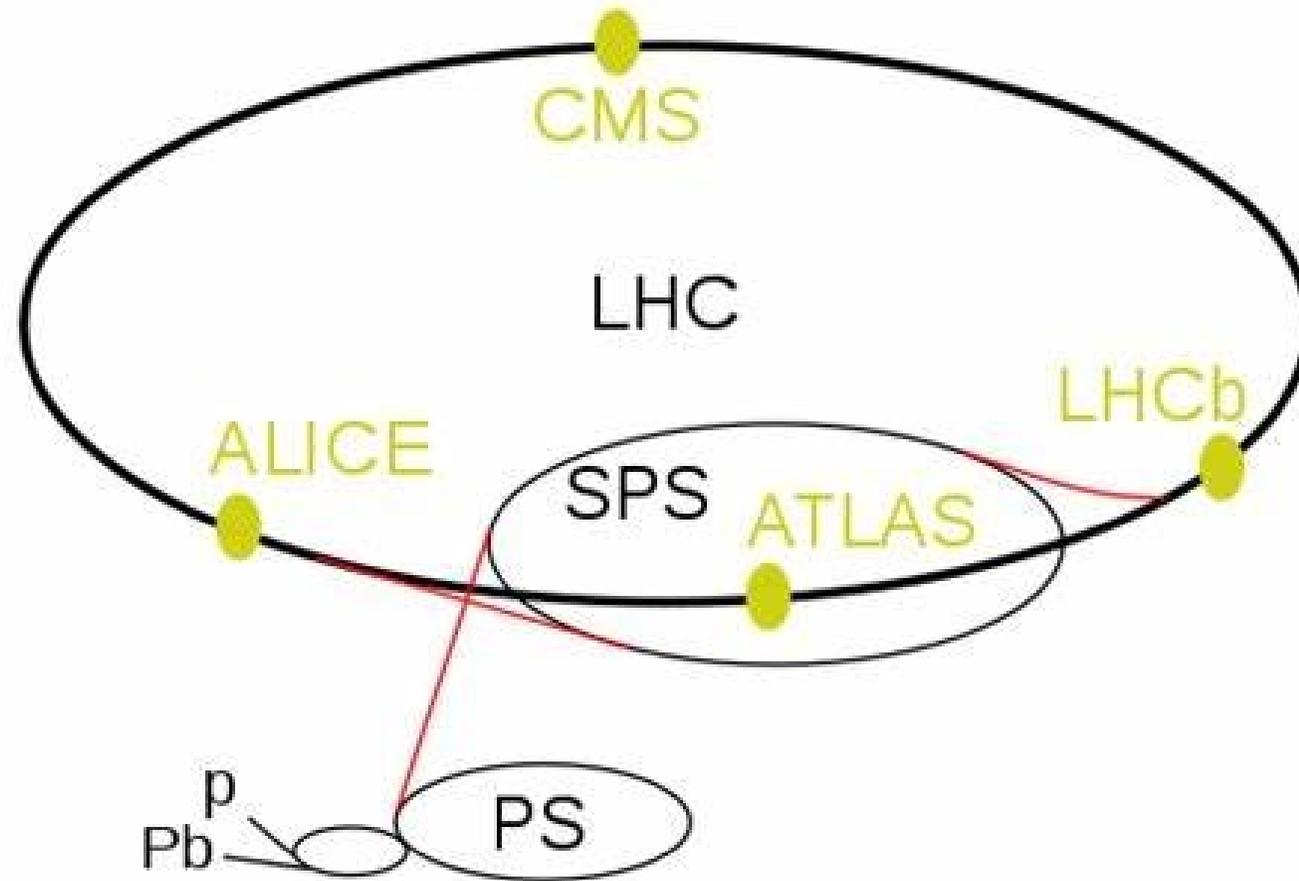
....ma condensata su un  
singolo protone!



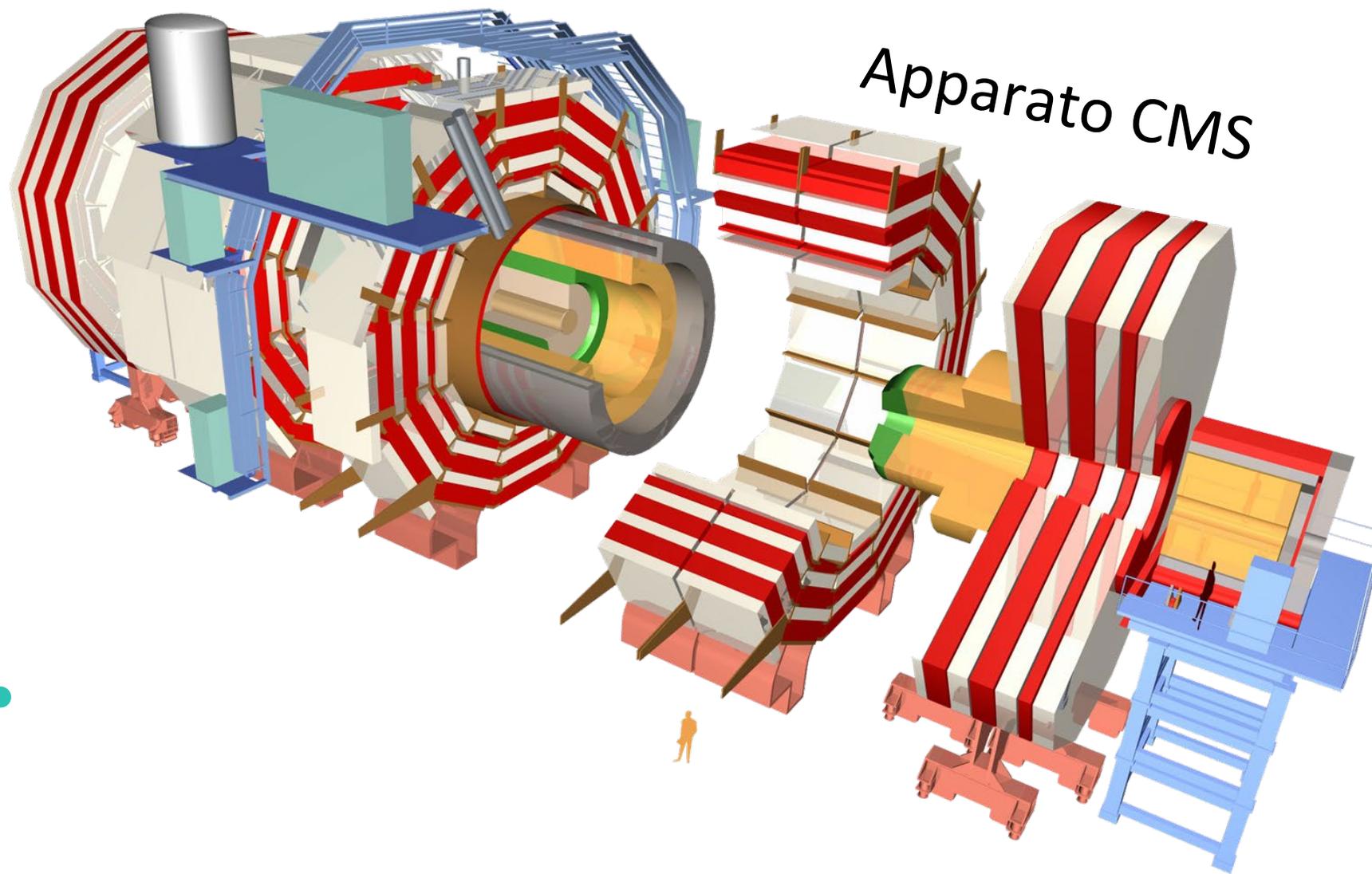




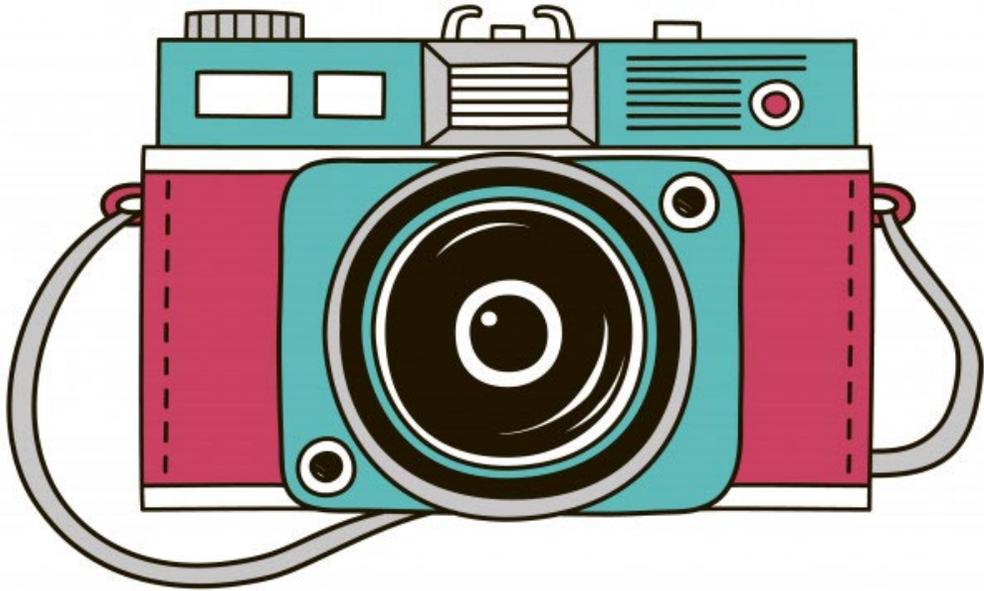
# 4 esperimenti principali all'LHC



# Dobbiamo “fotografare” queste collisioni



JUST SAY  
CHEESE



CMS “scatta” 40 milioni di foto al secondo!

## CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes  
Overall diameter : 15.0 m  
Overall length : 28.7 m  
Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE  
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS  
Pixel (100x150  $\mu\text{m}$ ) ~16M<sup>2</sup> ~66M channels  
Microstrips (80x180  $\mu\text{m}$ ) ~200m<sup>2</sup> ~9.6M channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID  
Niobium titanium coil carrying ~18,000A

MUON CHAMBERS  
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers  
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER  
Silicon strips ~16m<sup>2</sup> ~137,000 channels

FORWARD CALORIMETER  
Steel + Quartz fibres ~2,000 Channels

CRYSTAL  
ELECTROMAGNETIC  
CALORIMETER (ECAL)  
~76,000 scintillating PbWO<sub>4</sub> crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)  
Brass + Plastic scintillator ~7,000 channels



CMS pesa 2 volte la Tour Eiffel



# La più famosa....



Il campo **permea tutto l'universo**.  
Le particelle che lo attraversano  
avvertono ognuna  
una resistenza diversa.  
Questa **resistenza** è quella  
che chiamiamo **massa**



Fonte: Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

# Come possiamo identificare il bosone di Higgs?

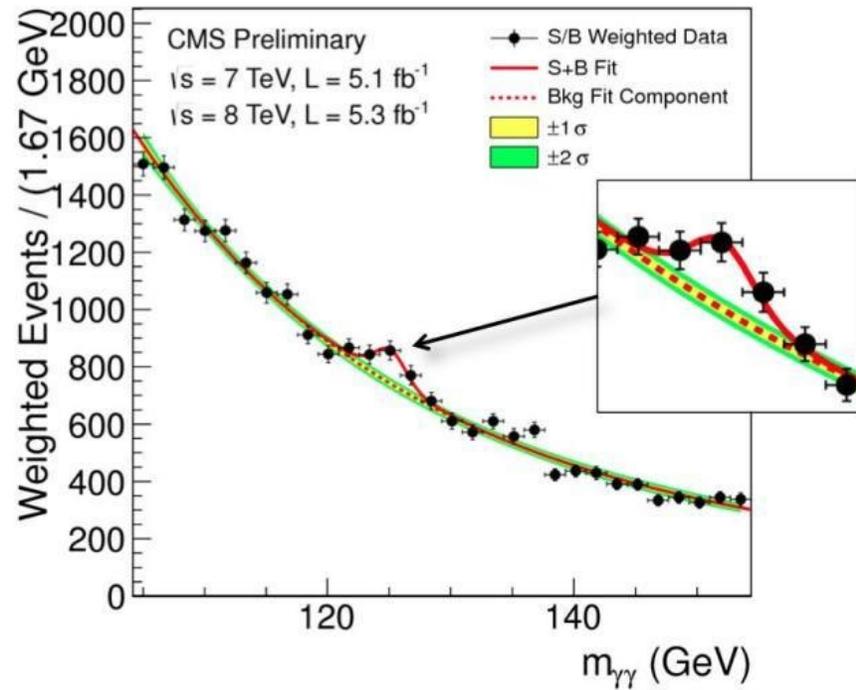
Bisogna “restaurare” il bosone dai frammenti (ricostruire prodotti di decadimento)



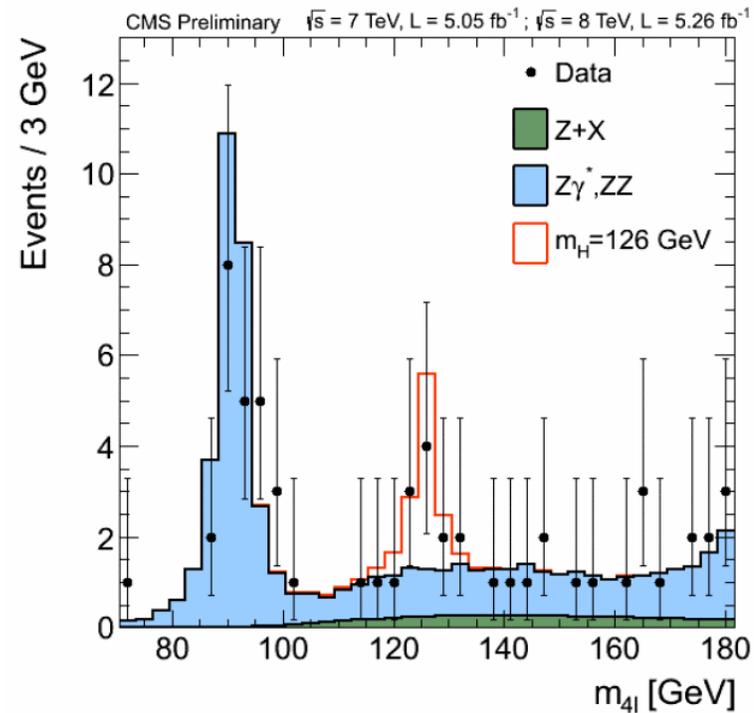
# La scoperta del Higgs @ CMS....



$H \rightarrow \gamma\gamma$



$H \rightarrow 4 \text{ leptoni}$



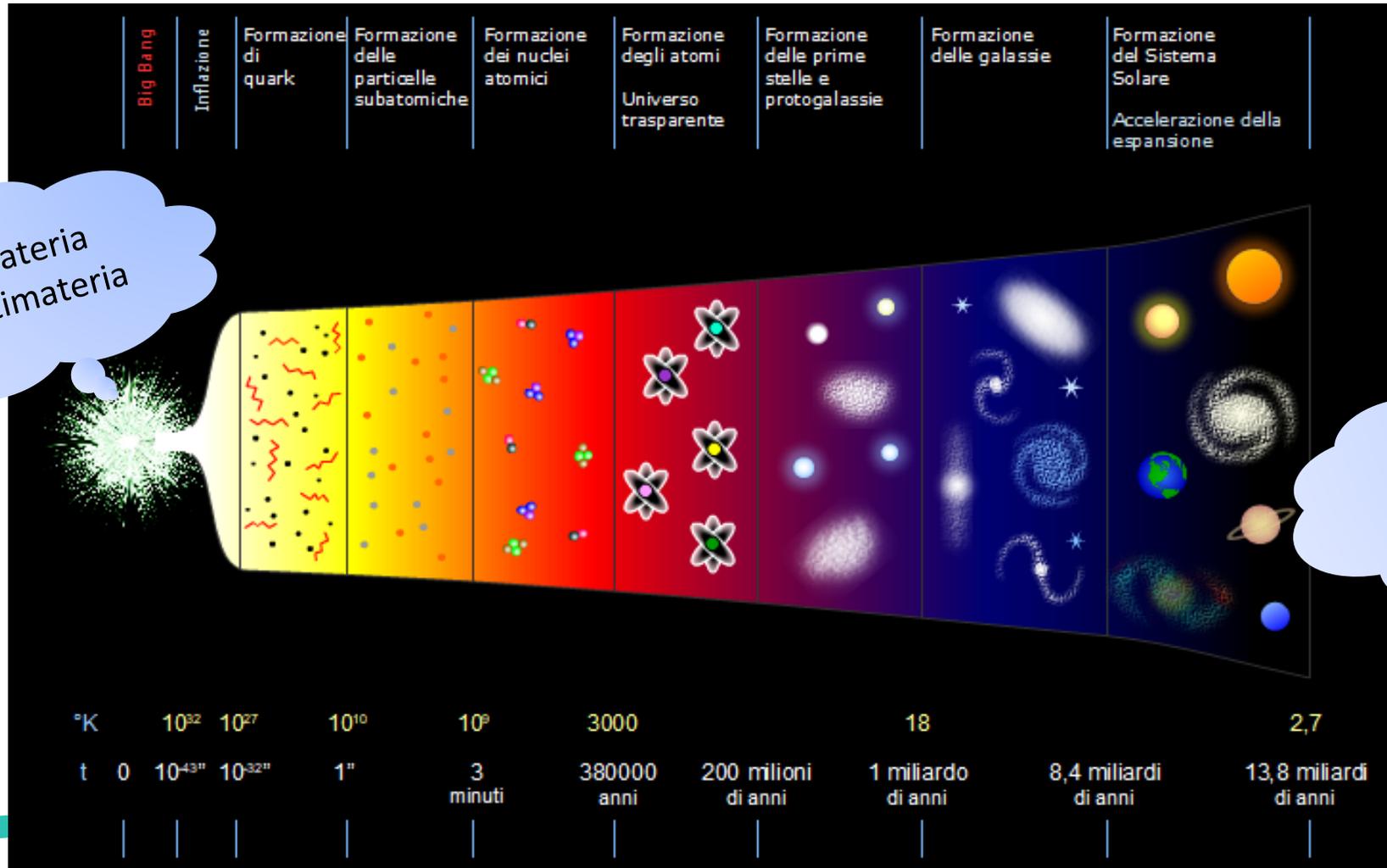


# Materia e Antimateria



Esperimento LHCb @ CERN

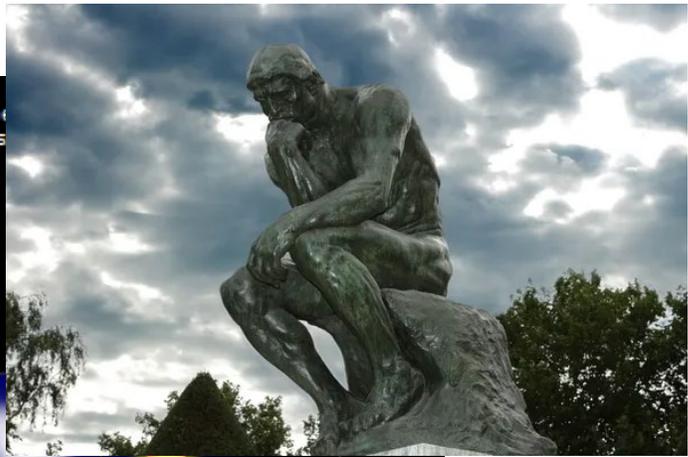
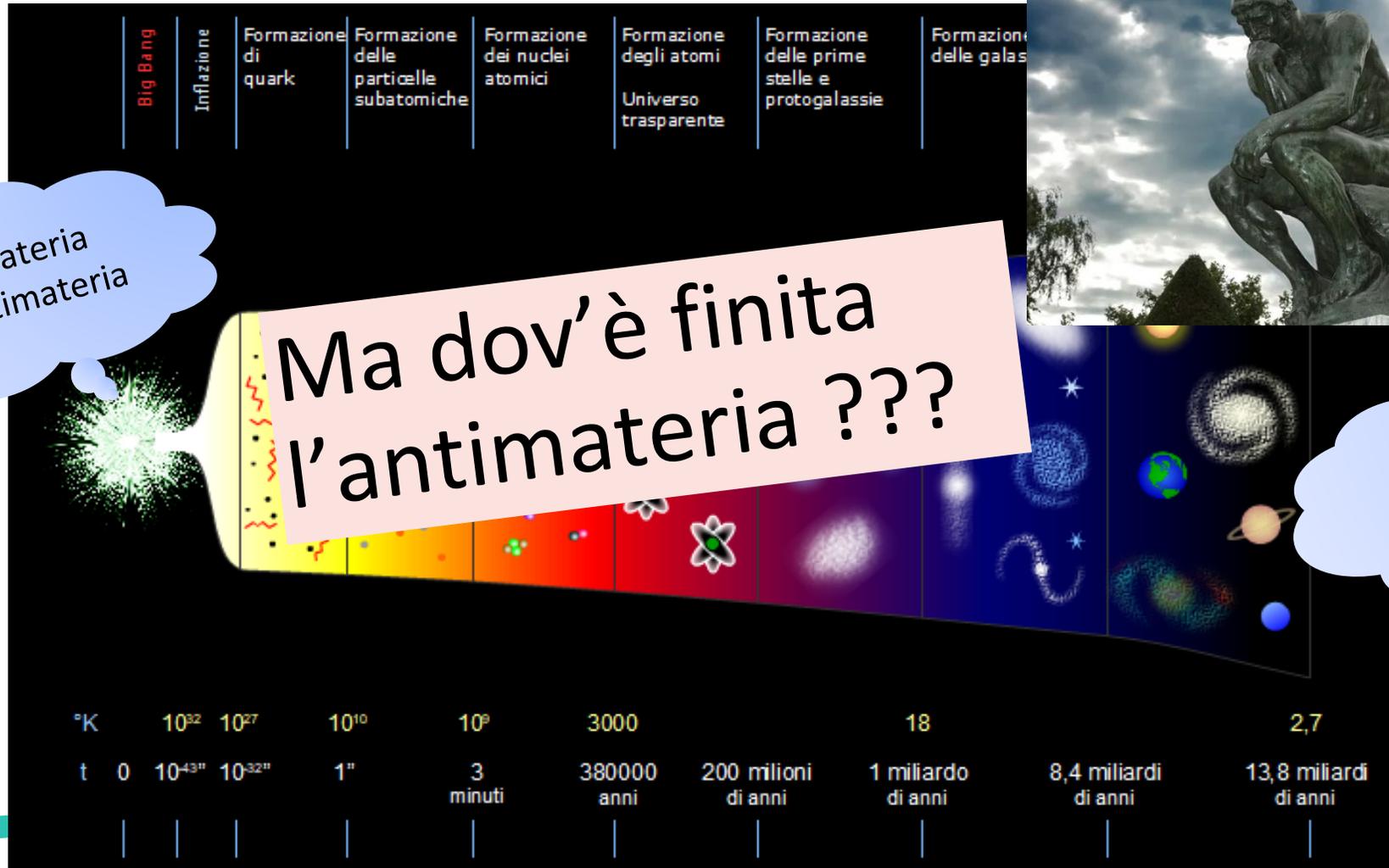
# Teoria del Big Bang



50% materia  
50% antimateria

100% materia

# Teoria del Big Bang



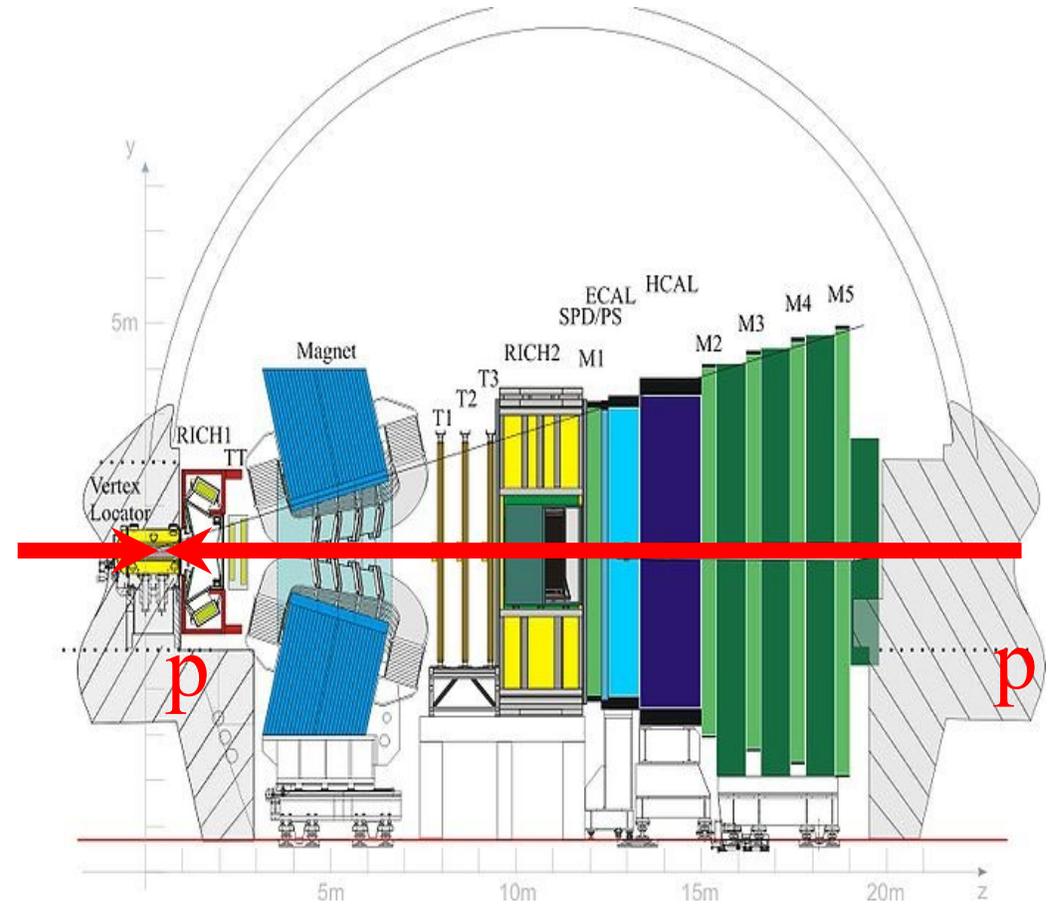
Ma dov'è finita l'antimateria ???

50% materia  
50% antimateria

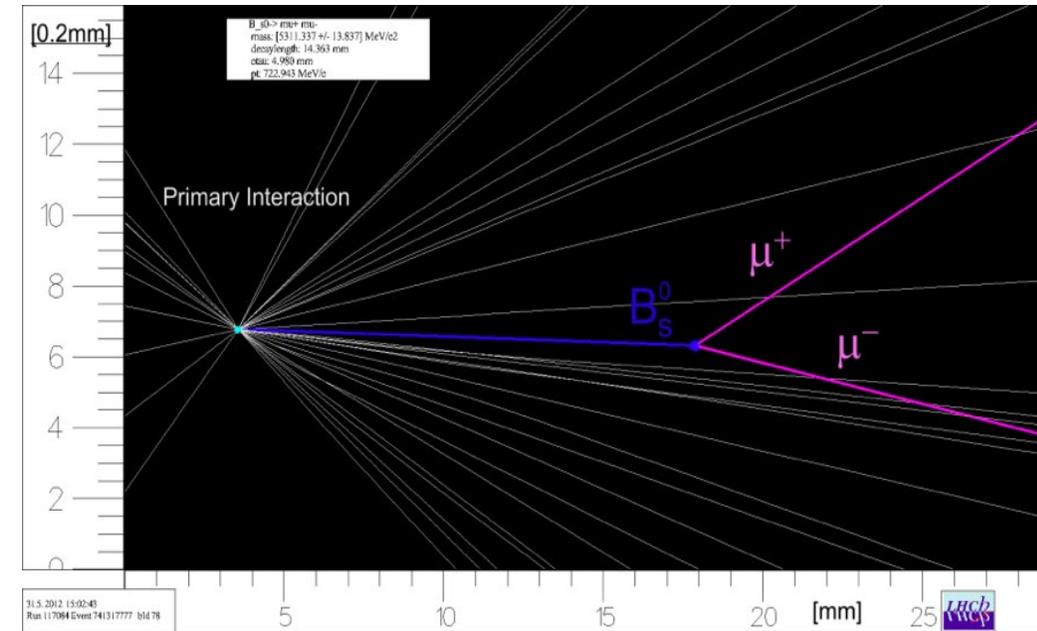
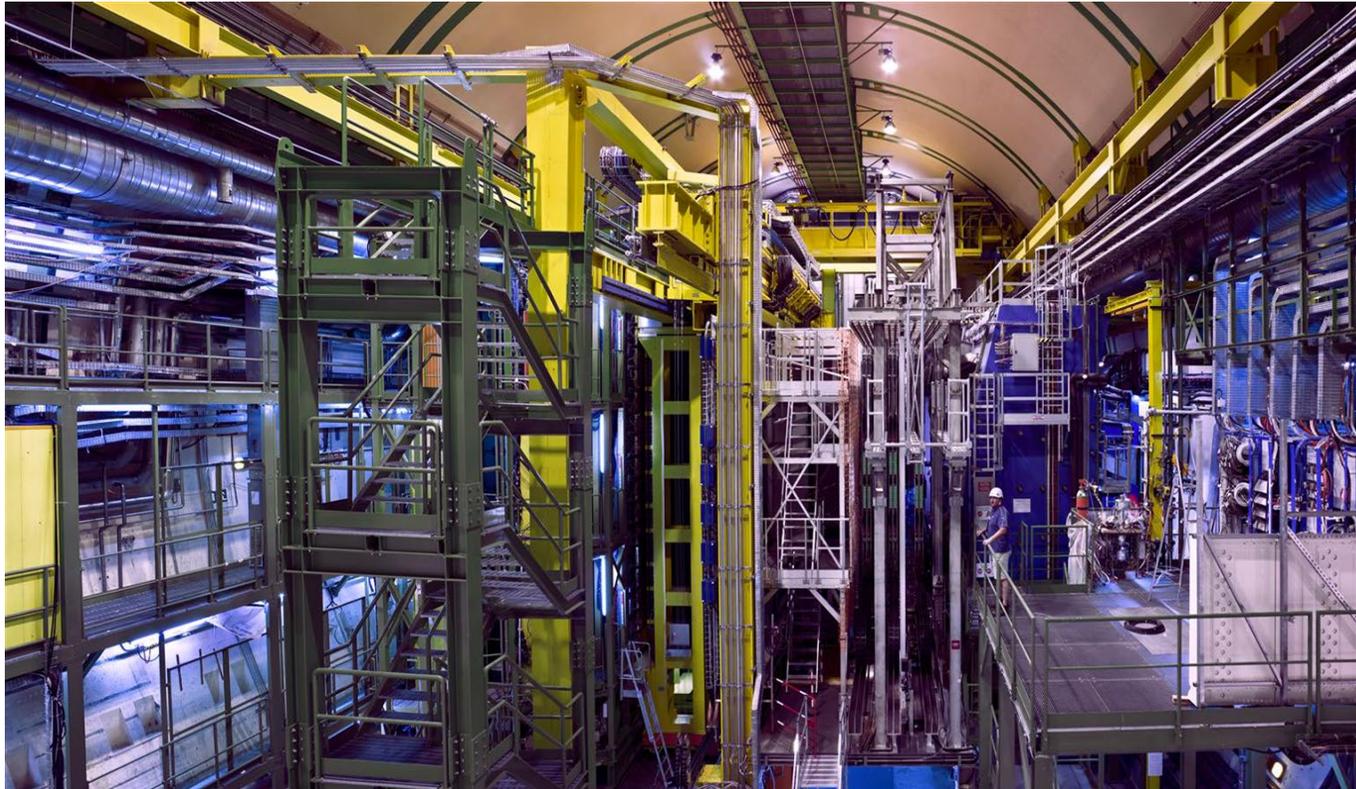
100% materia

# Come studiare l'asimmetria tra materia e antimateria?

- A LHC si riproducono le condizioni dei primi secondi dopo il Big Bang.
- L'esperimento LHCb è disegnato per rivelare decadimenti rari dove l'asimmetria si manifesta



# Esperimento LHCb



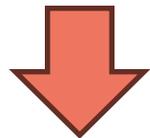
# 2025 Breakthrough Prize in fundamental physics

## Breakthrough Prize aka Oscars of science

- Fondato da S. Brin, P. Chan and M. Zuckerberg, Julia and Yuri Milner, and A. Wojcicki
- Ogni premio \$3M (Life Sciences, Fundamental Physics, Mathematics)
- 2025 fundamental physics: a **13000 membri di CMS, ATLAS, LHCb, ALICE** (Perugia: CMS, LHCb)
- Premio dato per l'analisi dati del Run 2 (2015-2018)

## Dove vanno i (nostri) soldi?

- CERN&Society foundation
- I grant per i dottorandi per lavorare al CERN



Forse ad alcuni di voi!

## The LHC experiment collaborations at CERN receive Breakthrough Prize

The Breakthrough Prize in Fundamental Physics was awarded to the ALICE, ATLAS, CMS and LHCb collaborations during a ceremony held in Los Angeles on 5 April

7 APRIL, 2025



From left to right: Andreas Hoecker, former ATLAS spokesperson; Patricia McBride, former CMS spokesperson; Marco Van Leeuwen, ALICE spokesperson and Vincenzo Vagnoni, LHCb spokesperson (courtesy of Getty Images for Breakthrough Prize)



# Applicazioni

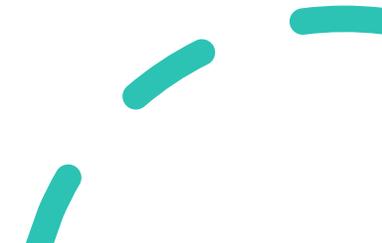


Fare **ricerca di base** vuol dire soddisfare il bisogno di conoscenza più profondo della natura e del suo funzionamento, dell'universo e della origine...della vita!

Ma non esiste ricerca di base senza uno sviluppo tecnologico.

Le ricadute sulla società sono innumerevoli e ad ampio spettro.

**É un guadagno per tutti!!**



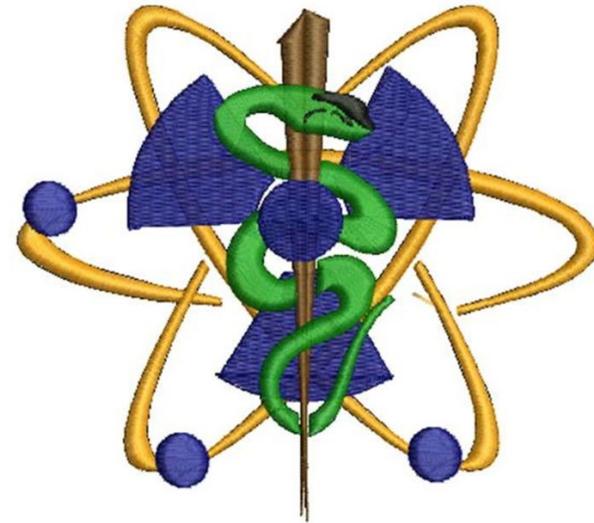


# I due esempi più celebri

## Word Wide Web



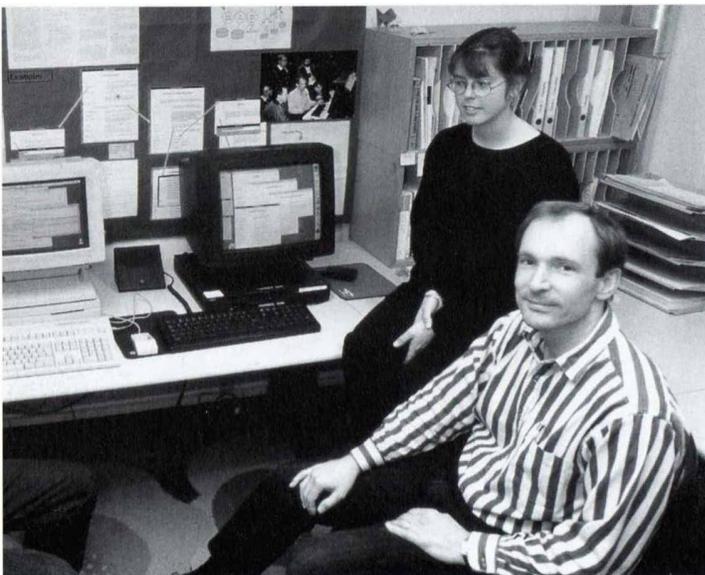
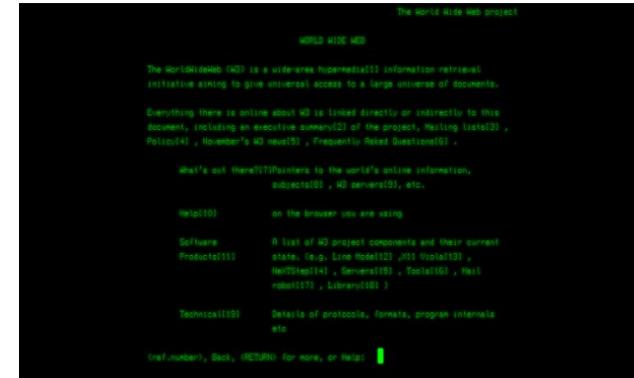
## Fisica medica



# World Wide Web

La prima pagina web della storia è stata creata da un fisico del CERN Tim Berners-Lee nel 1989.

<http://info.cern.ch/hypertext/WWW/TheProject.html>



Serviva per soddisfare la domanda di condivisione automatica delle informazioni tra scienziati di tutto il mondo.

Uno strumento prettamente scientifico...

# Word Wide Web

...poi sappiamo tutti com'è andata!



# Fisica medica

Fisica e medicina collaborano allo scopo comune di risolvere i quesiti clinici con la mentalità, l'approccio e la **metodologia scientifica**.

L'impiego di nuove tecniche e tecnologie sviluppate dai fisici e riadattati all'ambito sanitario hanno implicazioni enormi nel progresso delle cure e della diagnosi.

# Fisica medica

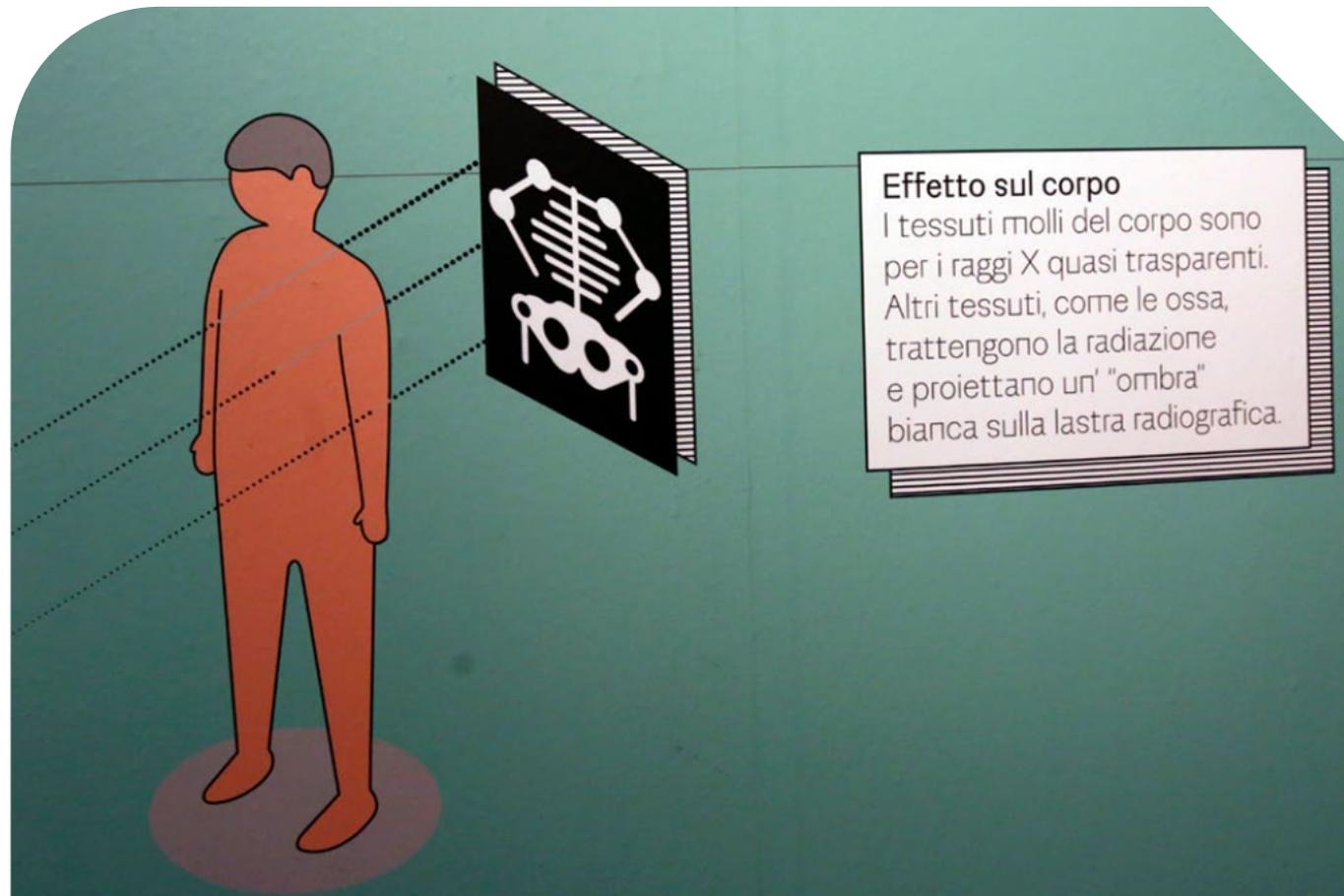
Nasce a fine '800 con la scoperta dei raggi X e della radioattività



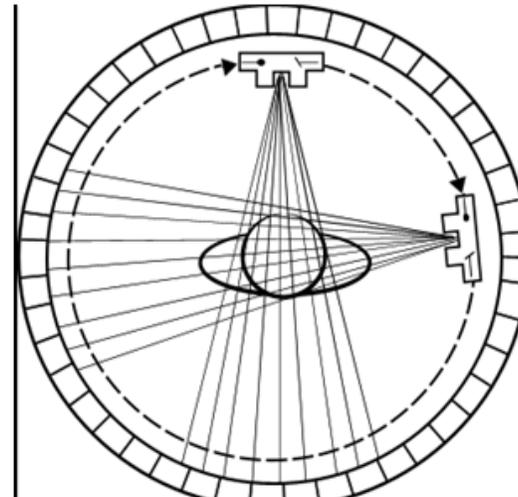
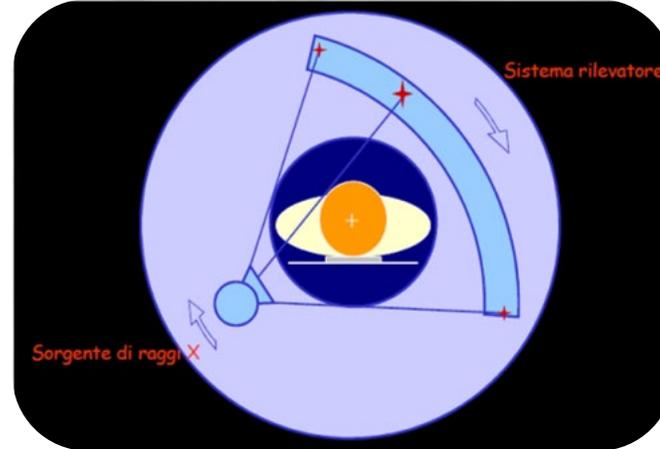
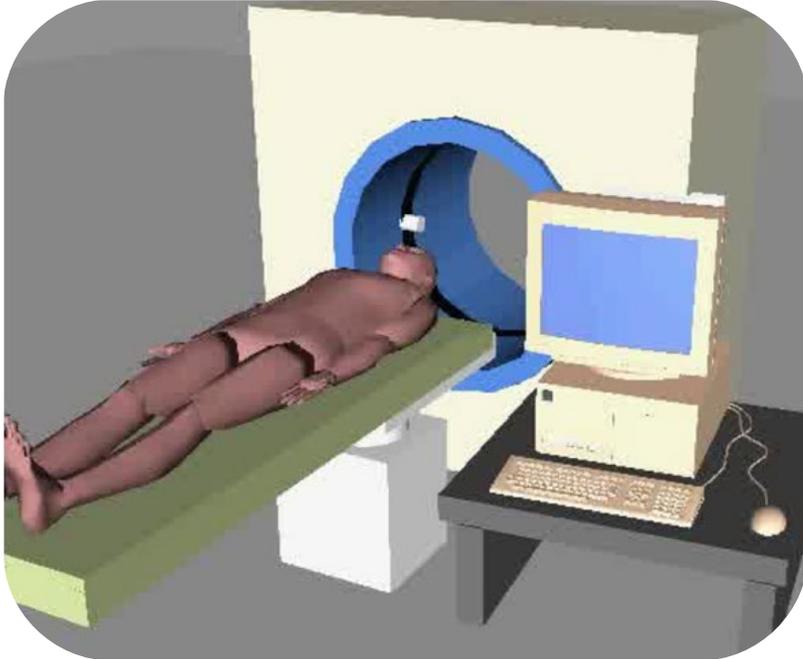
Ha continuato a svilupparsi negli anni, intensificandosi.

# DIAGNOSTICA: Come funziona la radiografia bidimensionale?

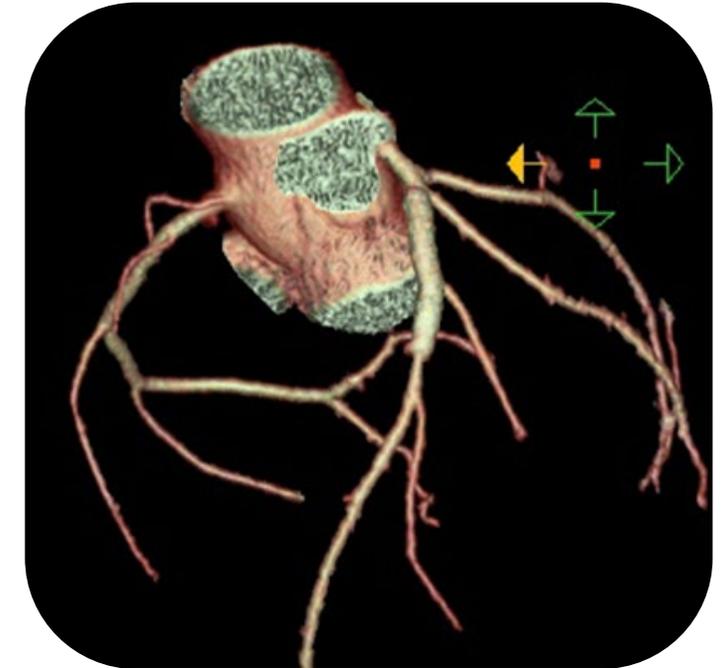
L'immagine del corpo da studiare viene realizzata **misurando l'attenuazione di un fascio di raggi X** che lo attraversa.



# DIAGNOSTICA: E se volessimo avere immagini tridimensionali? La TAC



Molte "fette" → molte immagini che vengono usate per ricostruire la vista tridimensionale.



Fondamentale la modellizzazione matematica, gli algoritmi e l'uso dei computer.

# Arte Fisica Medicina Tecnologia



## Ma come convivono arte e scienza?

L'arte è la creatività, la capacità e la facoltà cognitiva della mente di creare e inventare. Senza questo ingrediente, le competenze scientifiche non basterebbero per ottenere dei reali avanzamenti tecnologici.



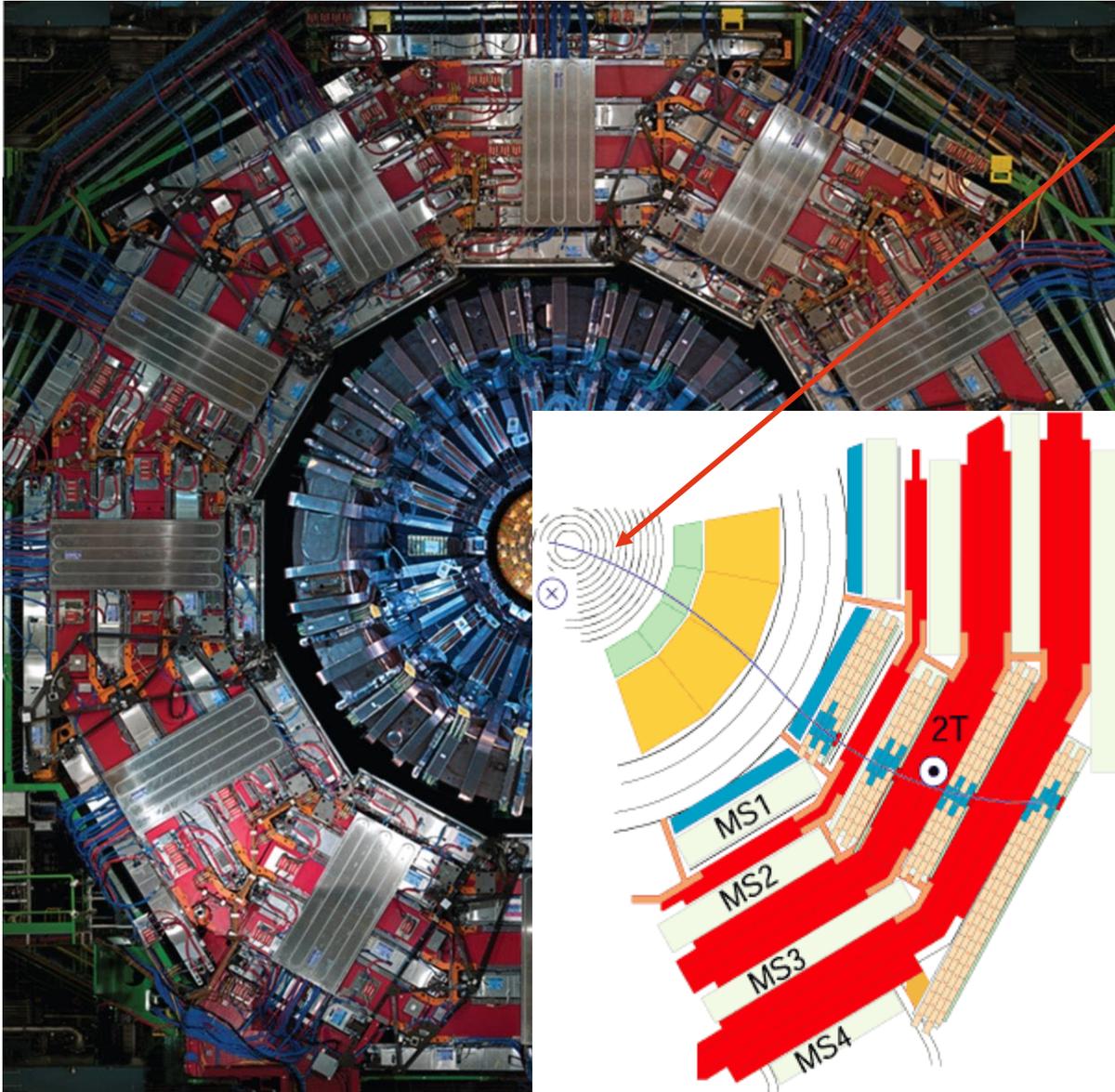
Grazie



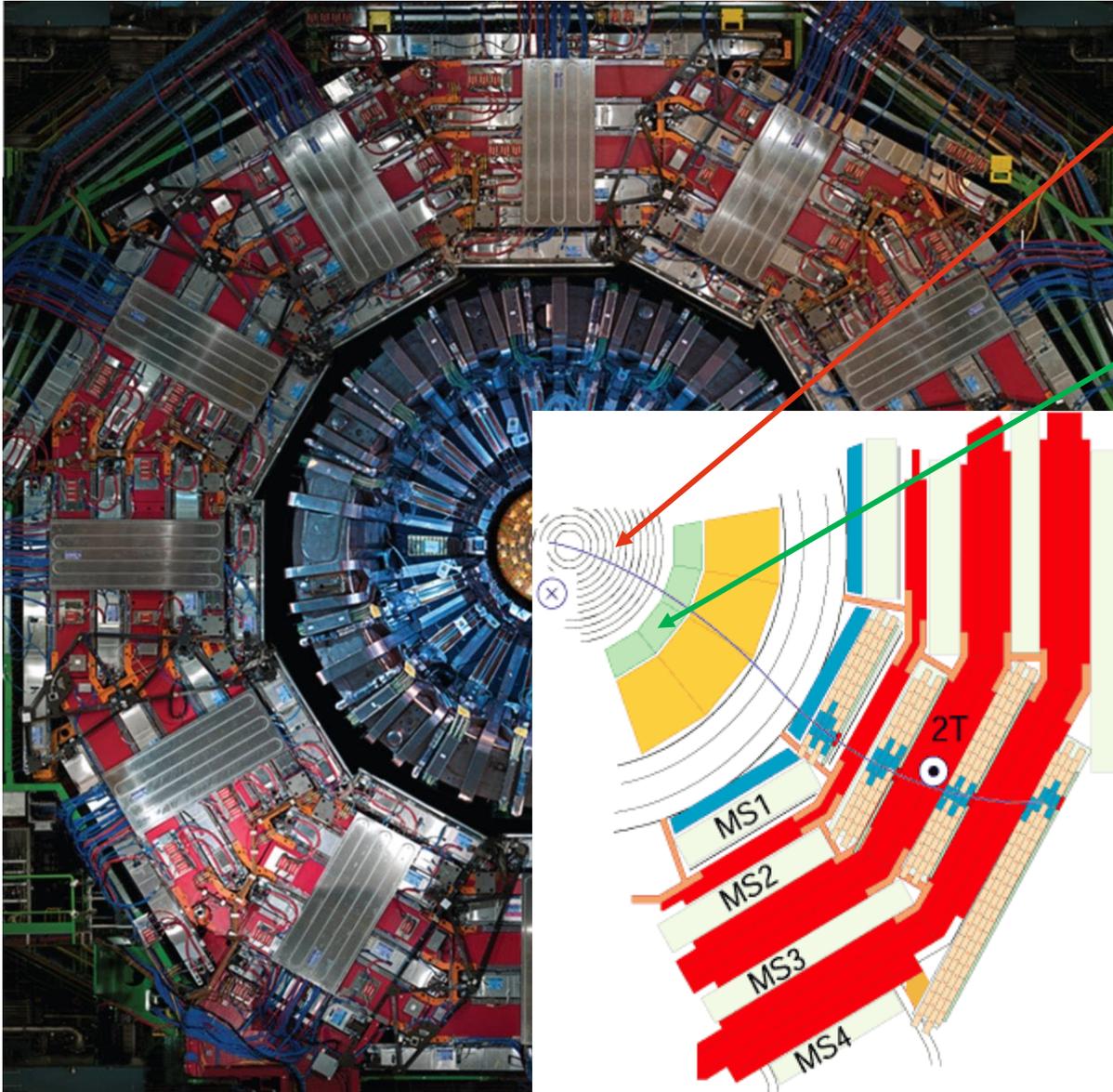
**Domande!**

backup



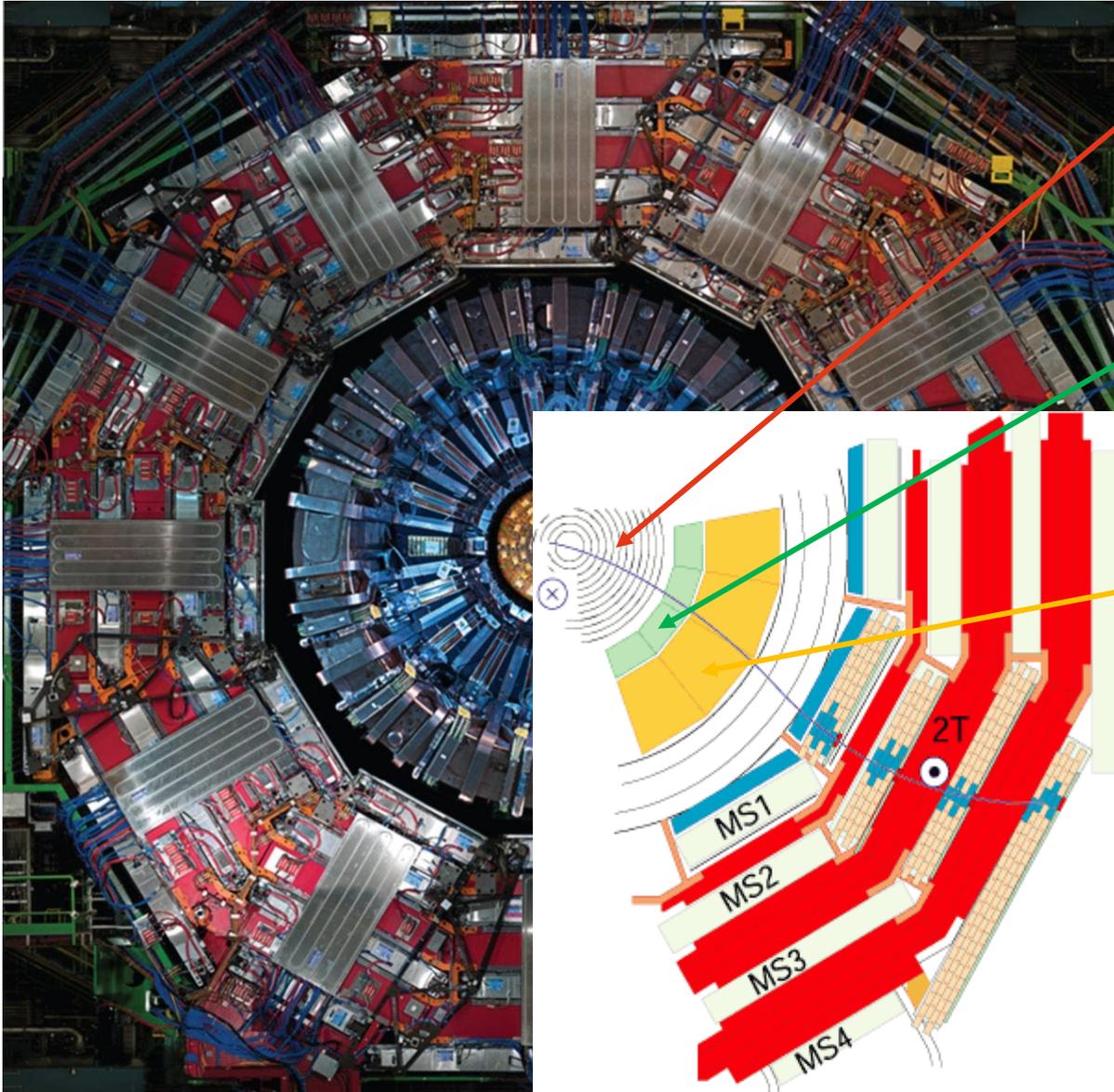


**Tracciatore:** serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.



**Tracciatore:** serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.

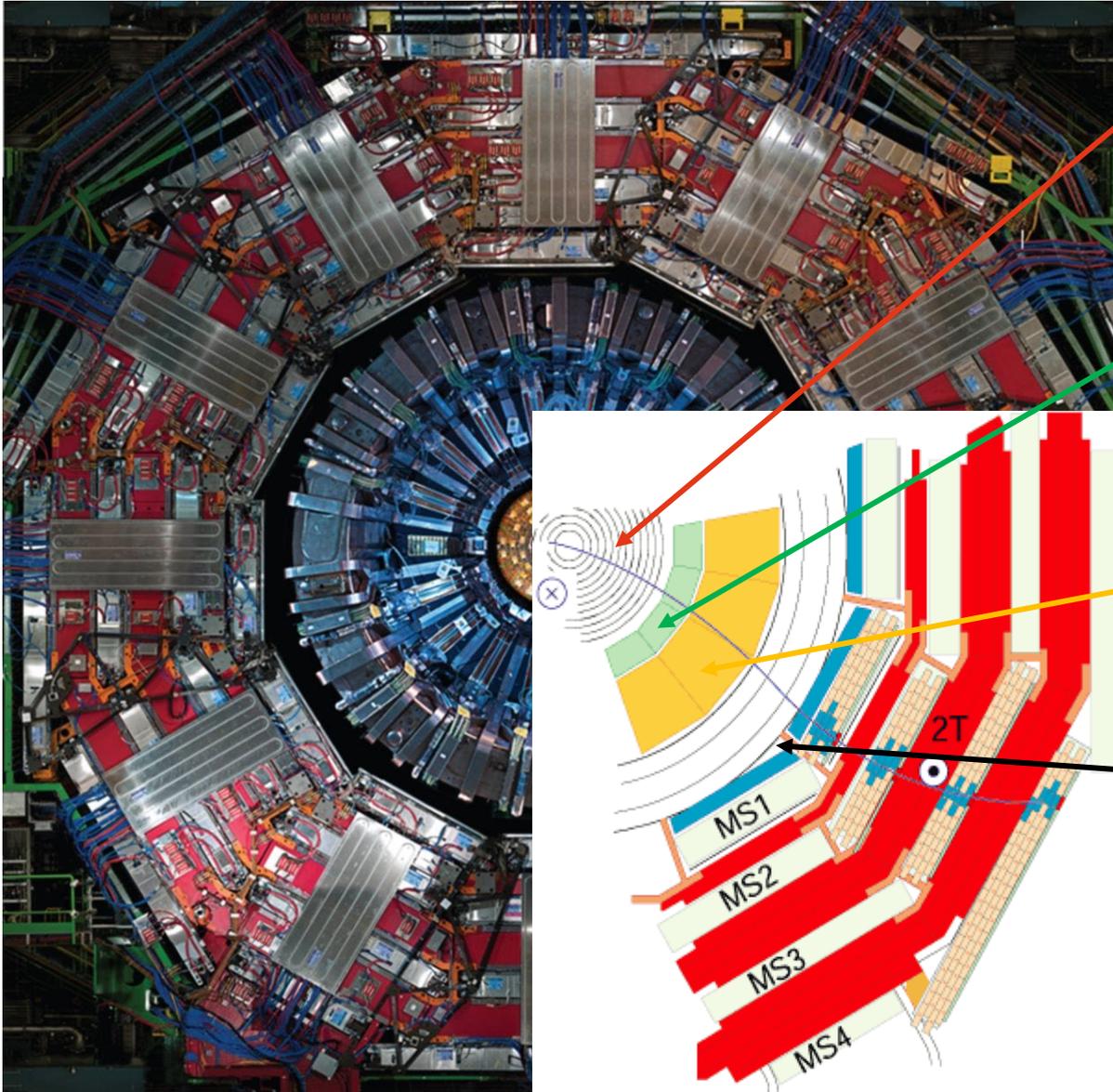
**Calorimetro elettromagnetico:** serve a misurare l'energia di elettroni e fotoni. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)



**Tracciatore:** serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.

**Calorimetro elettromagnetico:** serve a misurare l'energia di elettroni e fotoni. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

**Calorimetro adronico:** serve a misurare l'energia degli adroni, sia carichi che neutri. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

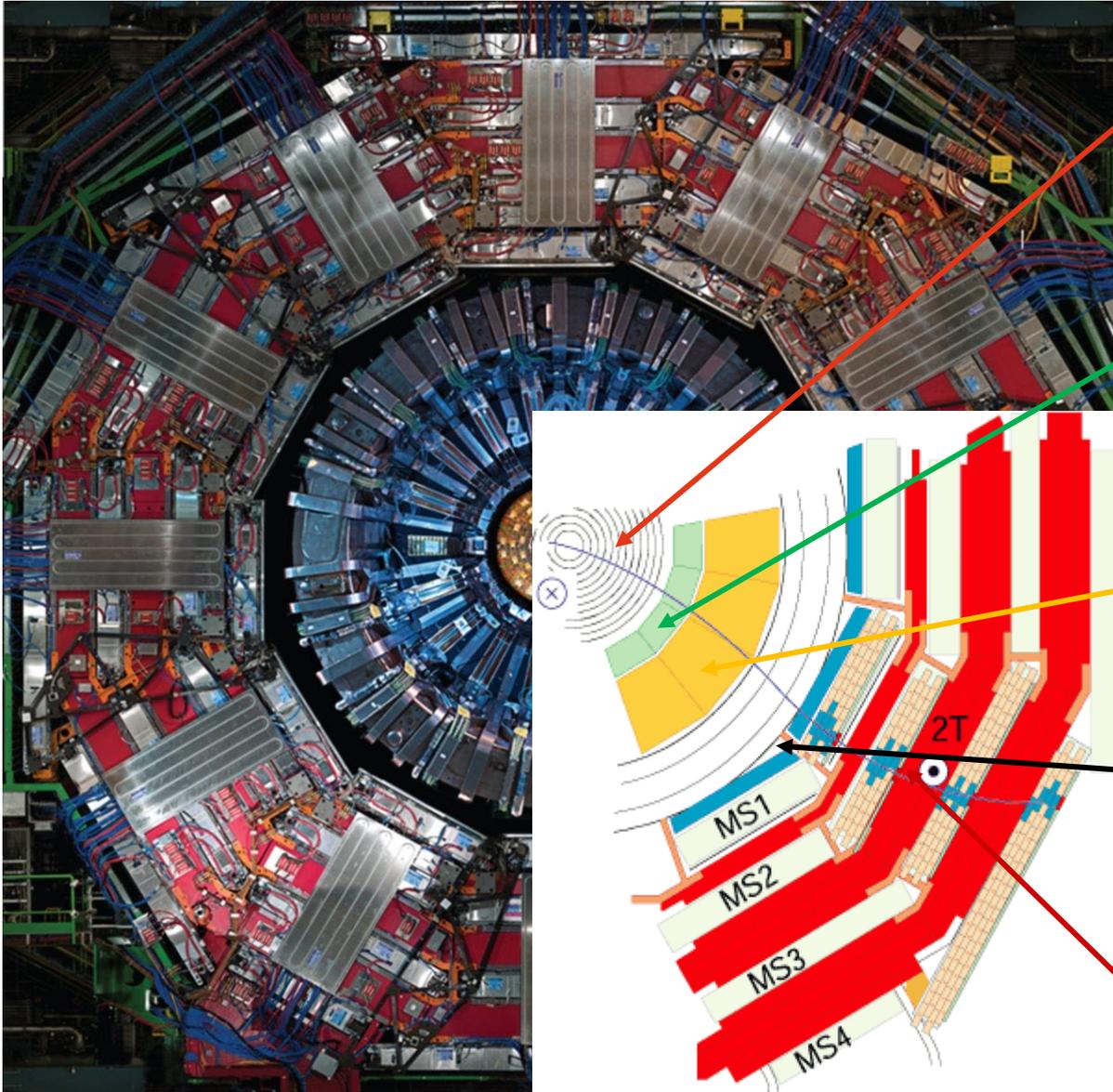


**Tracciatore:** serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.

**Calorimetro elettromagnetico:** serve a misurare l'energia di elettroni e fotoni. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

**Calorimetro adronico:** serve a misurare l'energia degli adroni, sia carichi che neutri. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

**Solenioide:** genera un campo magnetico che serve a curvare le particelle cariche.



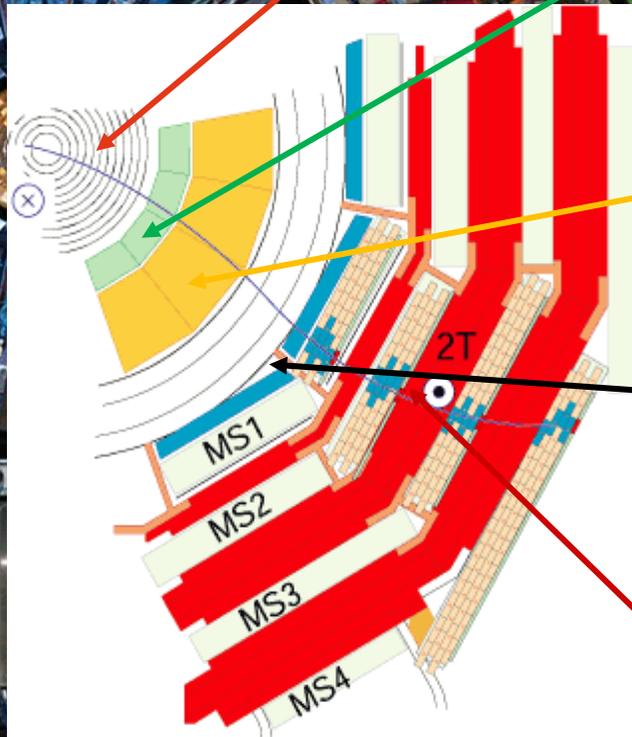
**Tracciatore:** serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.

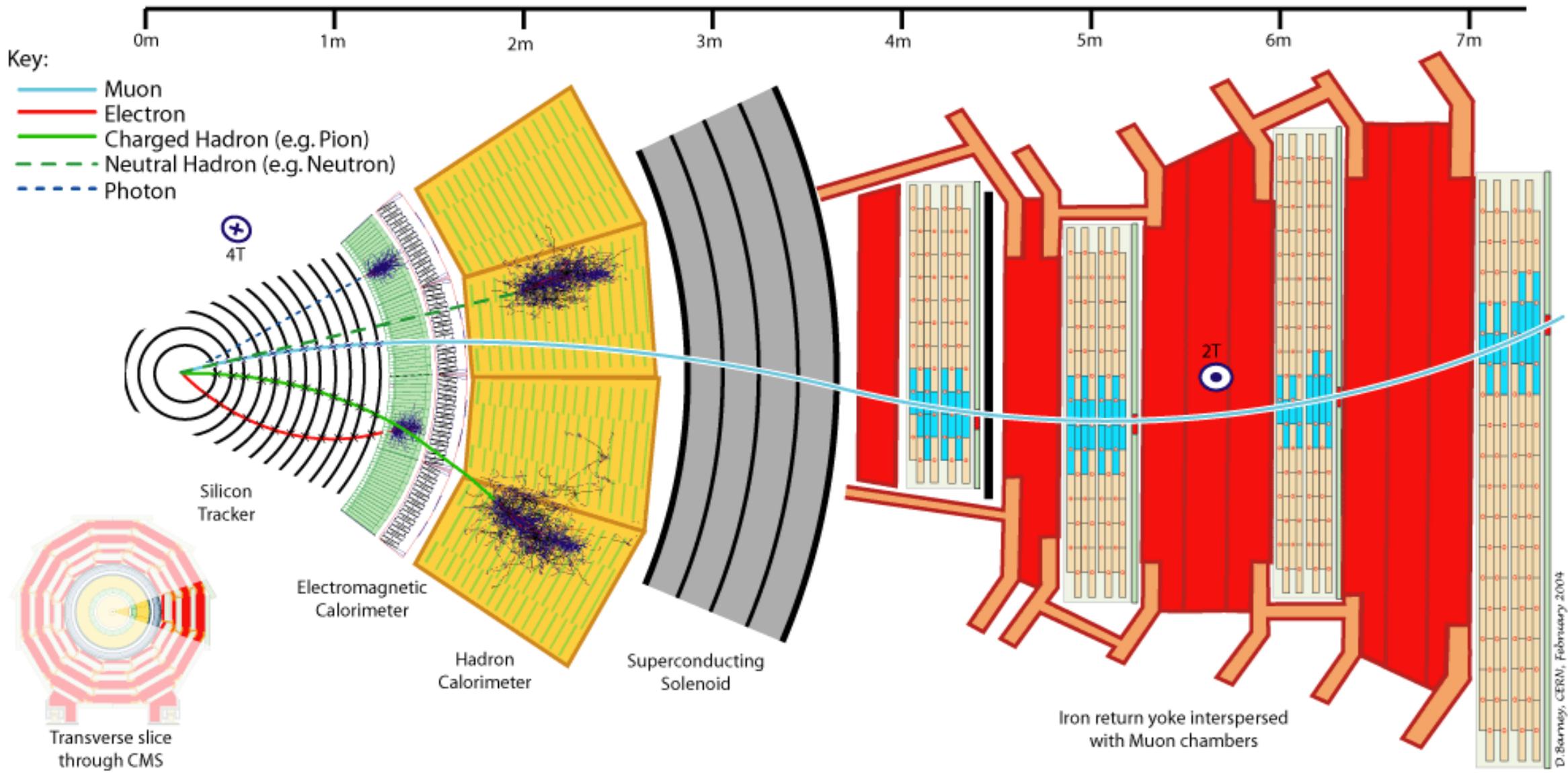
**Calorimetro elettromagnetico:** serve a misurare l'energia di elettroni e fotoni. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

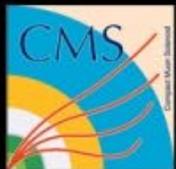
**Calorimetro adronico:** serve a misurare l'energia degli adroni, sia carichi che neutri. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

**Solenoid:** genera un campo magnetico che serve a curvare le particelle cariche.

**Rivelatori di muoni:** i muoni sono particelle che interagiscono poco con la materia, quindi riescono ad attraversare tutti i rivelatori senza essere assorbite. Importante ricostruirli perché molte particelle, anche il bosone di Higgs, decadono in muoni.



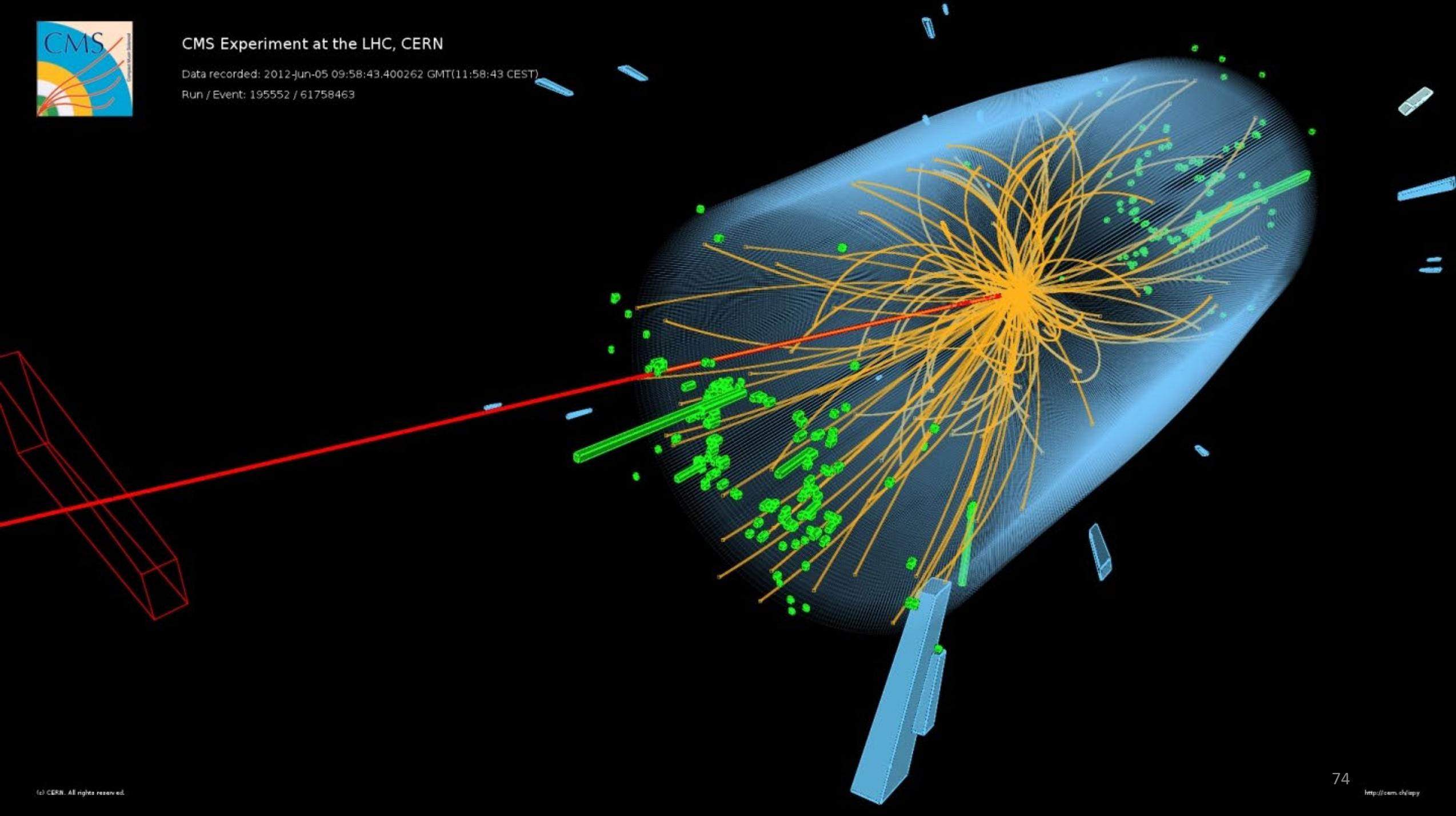




# CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2012-Jun-05 09:58:43.400262 GMT(11:58:43 CEST)

Run / Event: 195552 / 61758463



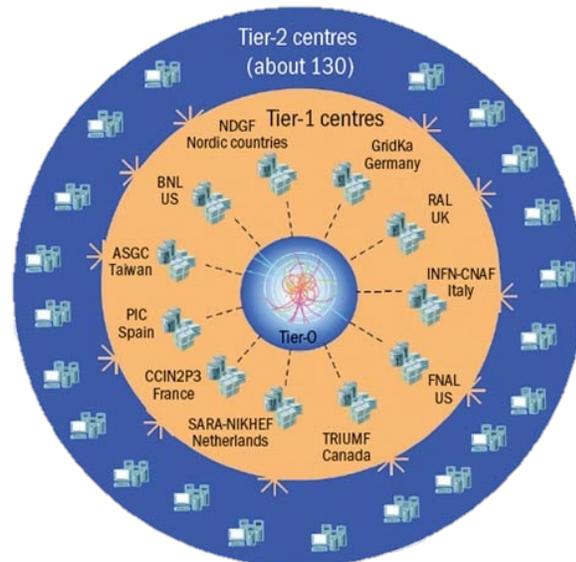
# Come si analizzano i dati?

Per analizzare i dati di LHC servirebbero 100000 PC -> il CERN da solo non può fornire una tale potenza di calcolo.

# Come si analizzano i dati?

Per analizzare i dati di LHC servirebbero 100000 PC -> il CERN da solo non può fornire una tale potenza di calcolo.

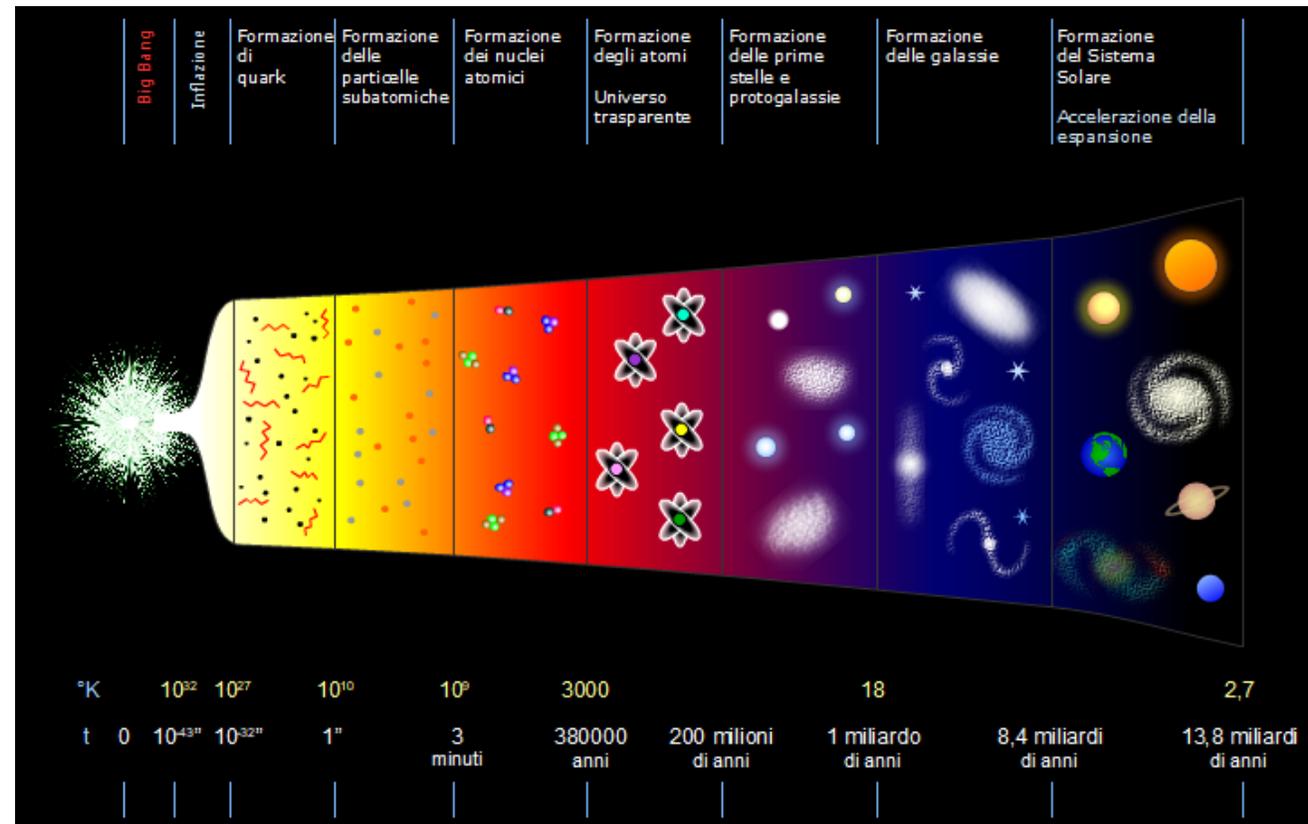
Serve una rete mondiale:  
la GRID



# A cosa serve CMS?

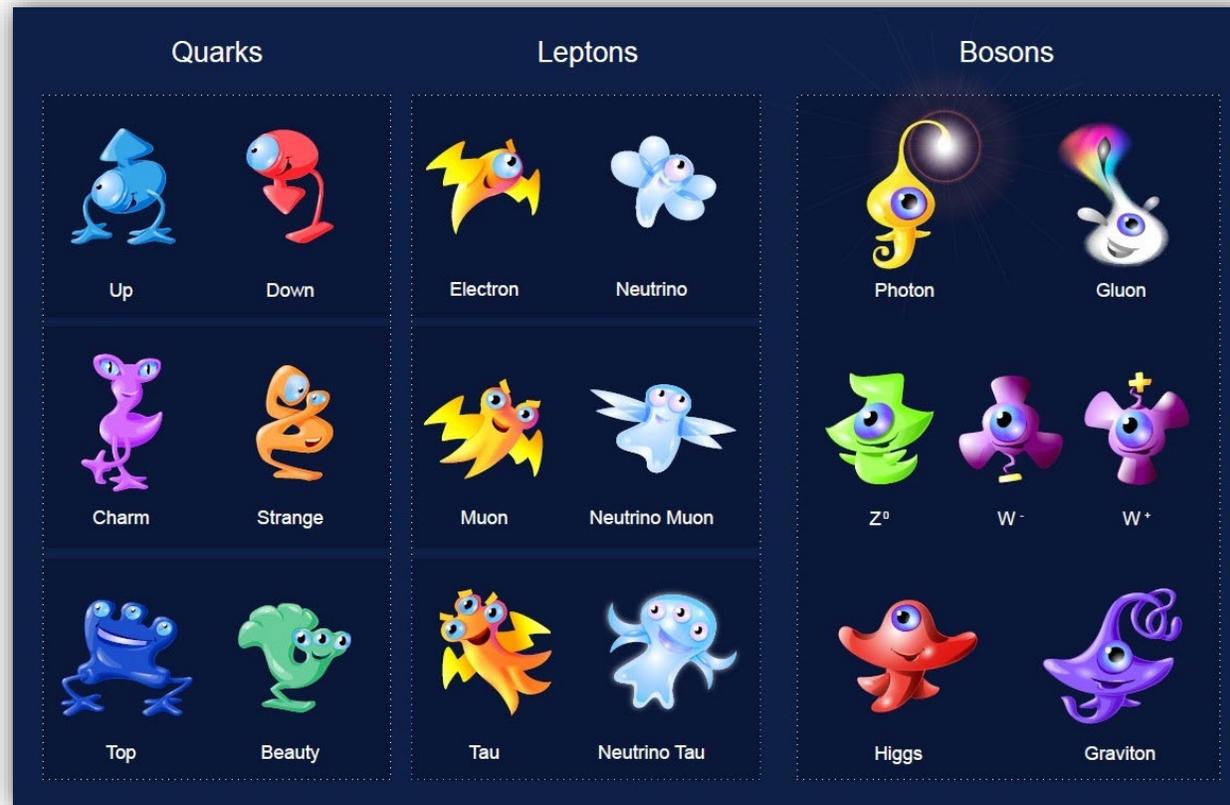
In laboratori come il CERN si fa **ricerca di base**

- Cerchiamo di rispondere alle domande sull'origine dell'universo, la composizione della materia, le grandi questioni ancora irrisolte....



# Le particelle elementari note

Con esperimenti come CMS (e ATLAS) abbiamo completato la nostra conoscenza sulle particelle del Modello Standard



# La più famosa....



Il campo **permea tutto l'universo**.  
Le particelle che lo attraversano  
avvertono ognuna  
una resistenza diversa.  
Questa **resistenza** è quella  
che chiamiamo **massa**



Fonte: Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

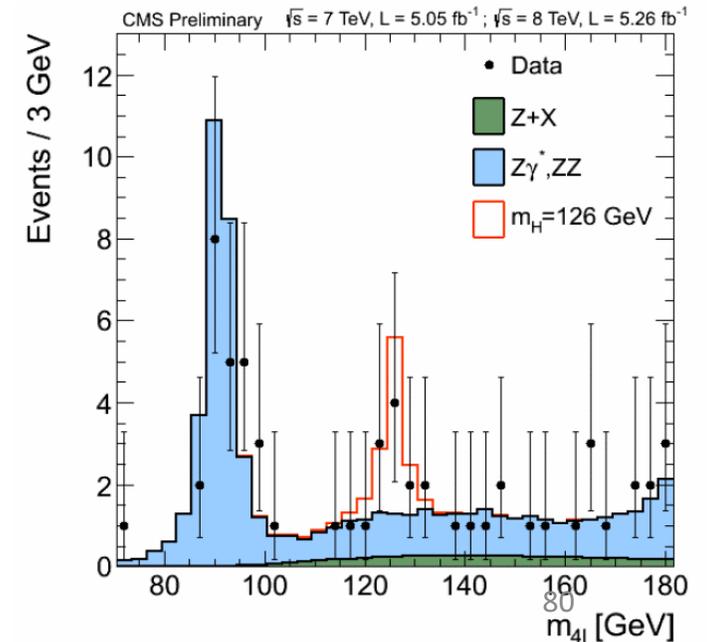
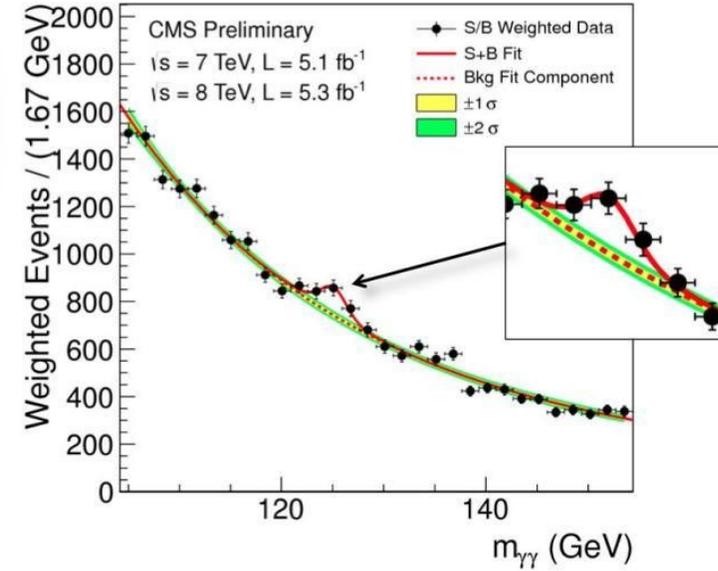
# La più famosa....



Il campo **permea tutto l'universo**.  
Le particelle che lo attraversano  
avvertono ognuna  
una resistenza diversa.  
Questa **resistenza** è quella  
che chiamiamo **massa**



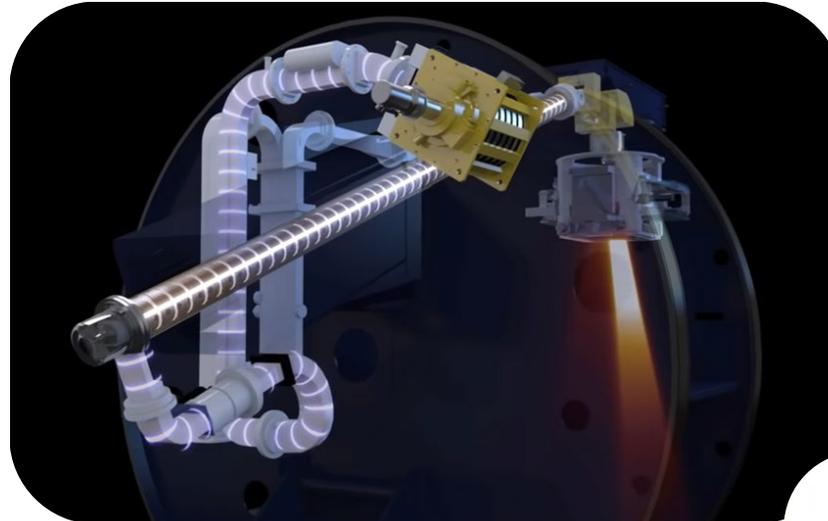
Fonte: Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



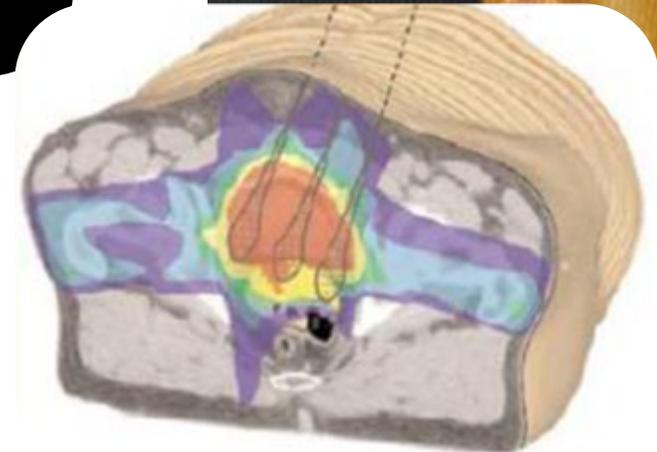
# TERAPIA oncologica

**Distruggere le cellule tumorali e  
ALLO STESSO TEMPO  
risparmiare quelle sane**

Radioterapia — si utilizzano fotoni o elettroni



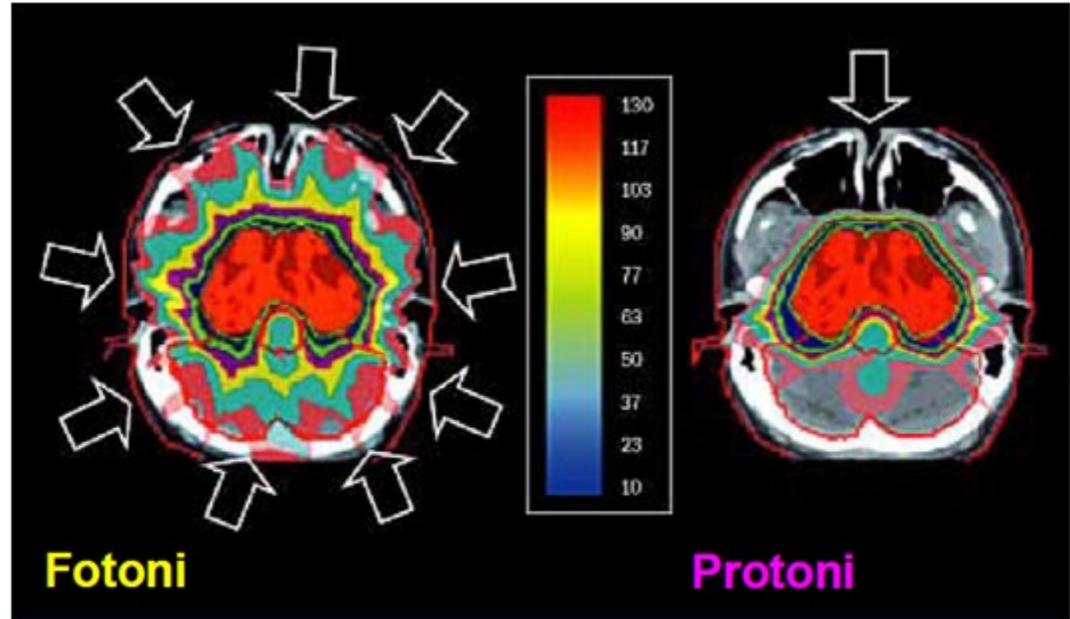
**Attraverso il sistema di lamelle si  
definisce precisamente la regione da irraggiare.  
La tecnica si chiama IMRT.**



# TERAPIA oncologica

Adroterapia  si utilizzano protoni o ioni carbonio

**Distruggere le cellule tumorali e  
ALLO STESSO TEMPO  
risparmiare quelle sane**



L'adroterapia è una forma superiore di terapia oncologica, più precisa e con meno effetti collaterali