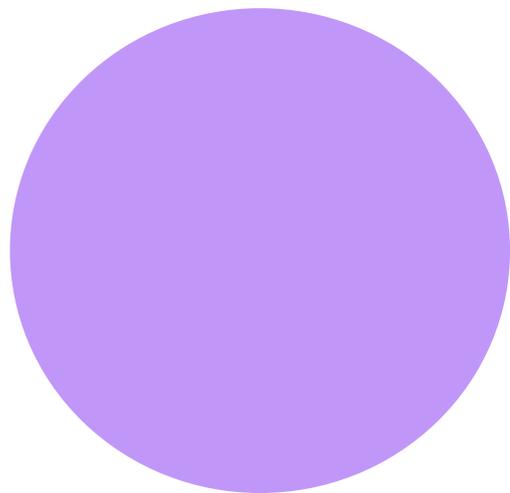




Per studiare la natura  
ci vuole il fisico!

Sara Cutini (INFN Perugia)



Comune di Perugia



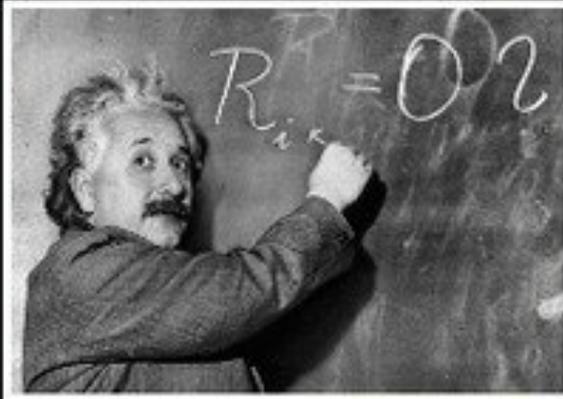
Regione Umbria

A.D. 1308  
**unipg**

DIPARTIMENTO  
DI FISICA E GEOLOGIA

DIPARTIMENTO DI ECCELLENZA  
MUR 2023/2027

# PHYSICIST



WHAT SOCIETY THINKS I DO



WHAT MY MUM THINKS I DO



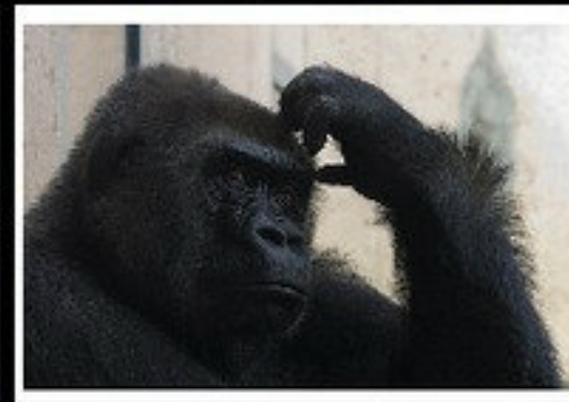
WHAT MY FRIENDS THINK I DO



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?

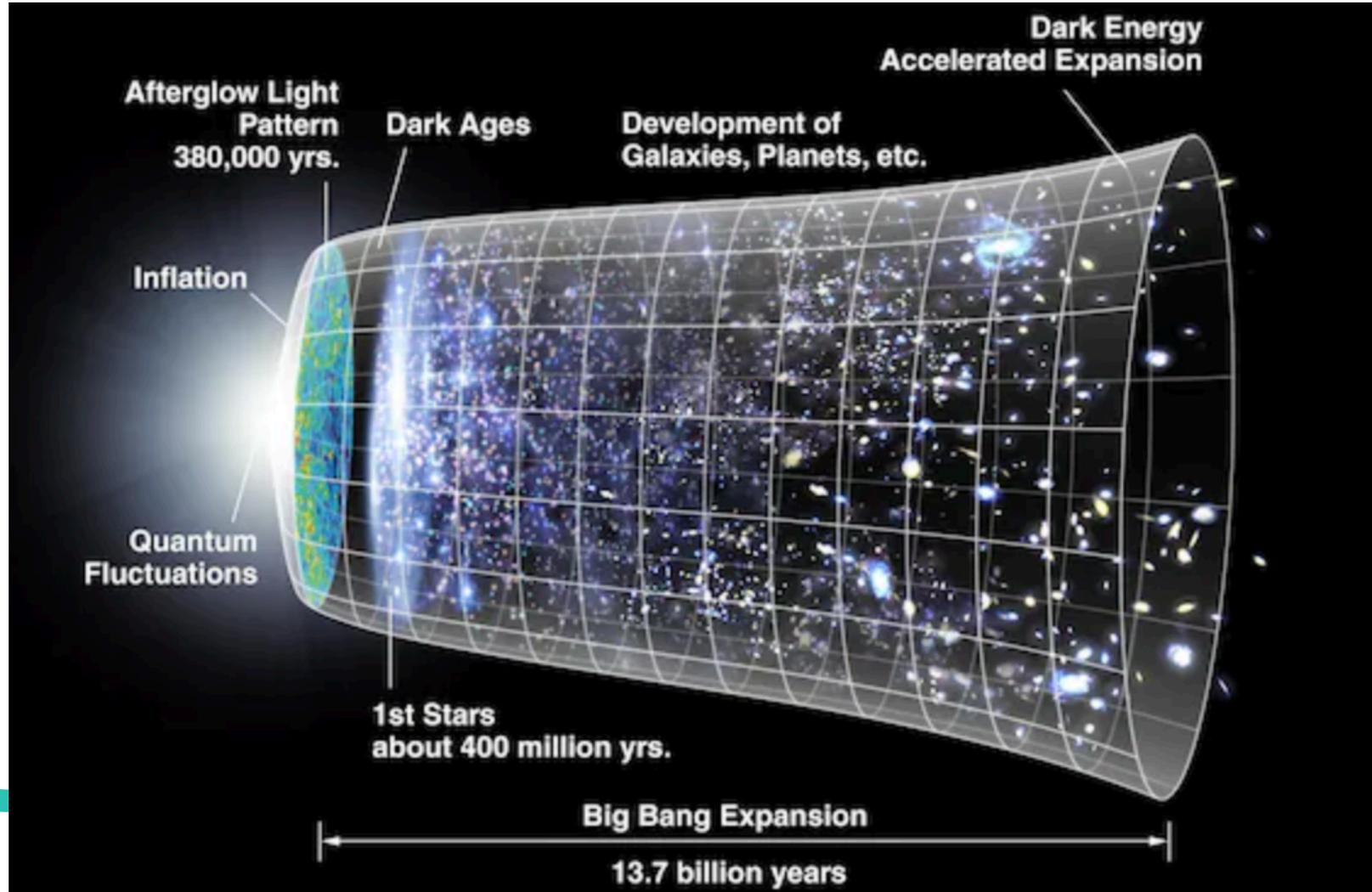
Cosa è la materia e quali sono i suoi componenti elementari?

Quali le forze che governano l'Universo?

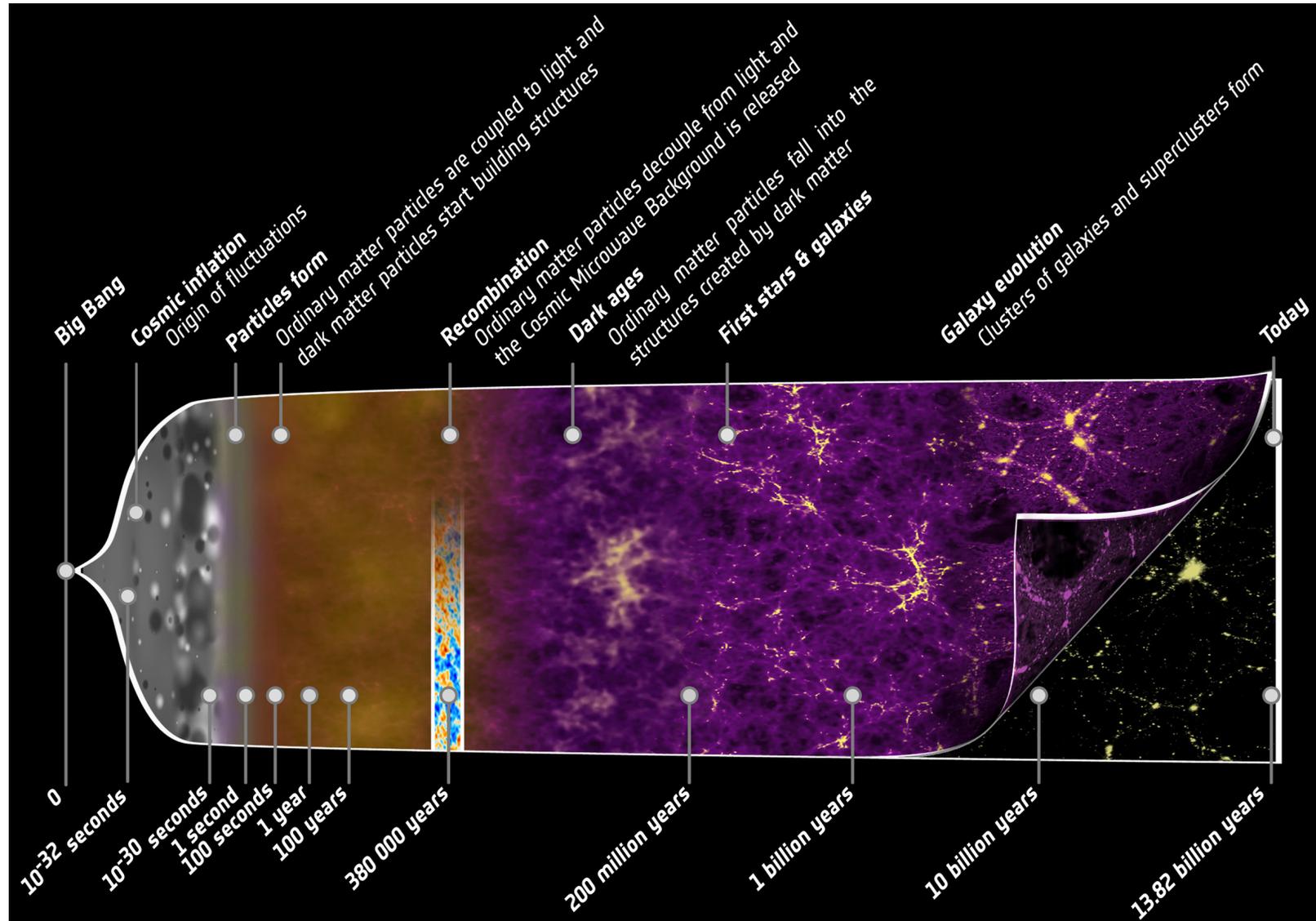
Cosa c'è oltre i nostri occhi?

Come si è  
formato  
l'Universo?

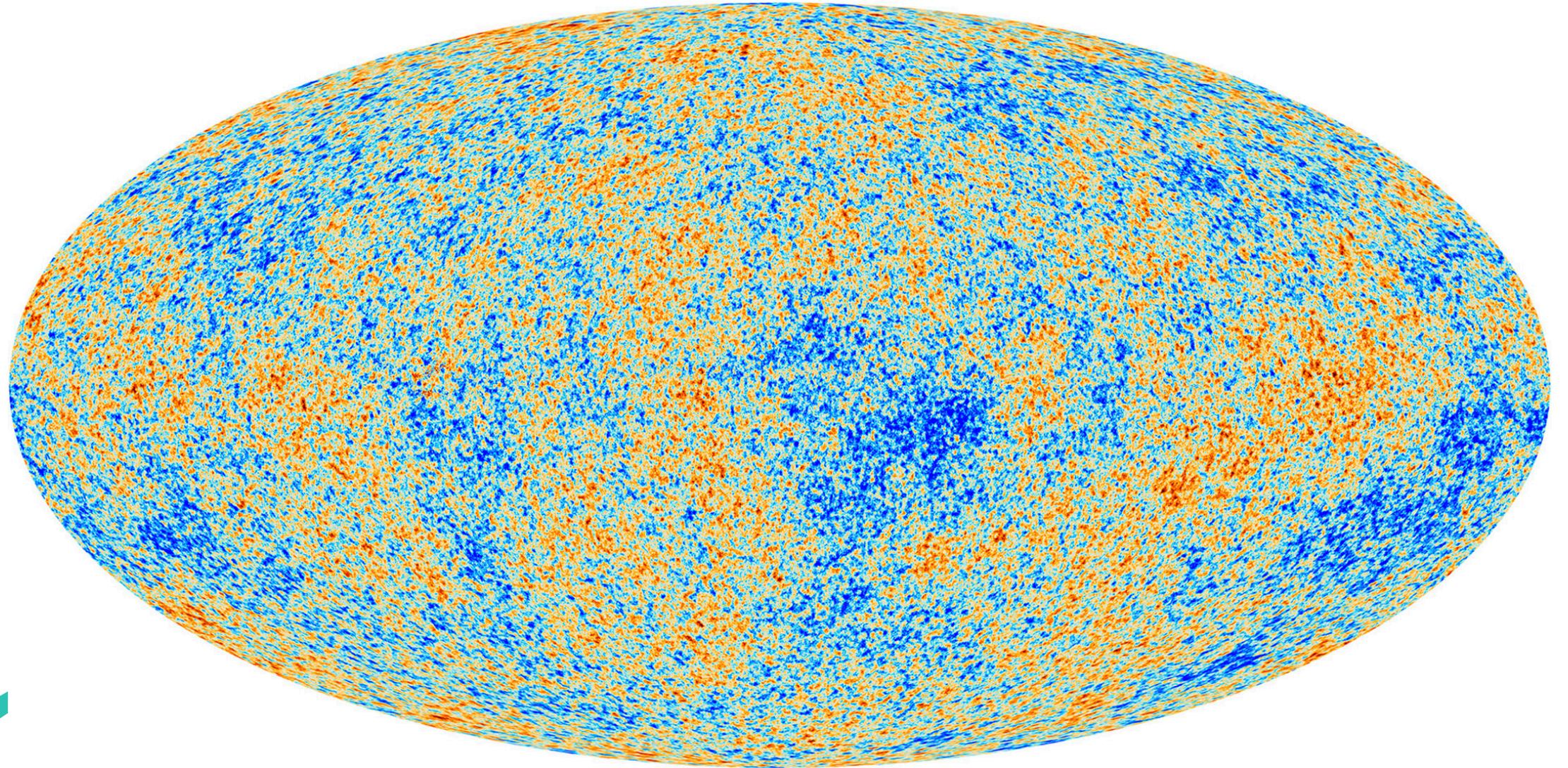
# Teoria del big bang



# Epoca della ricombinazione

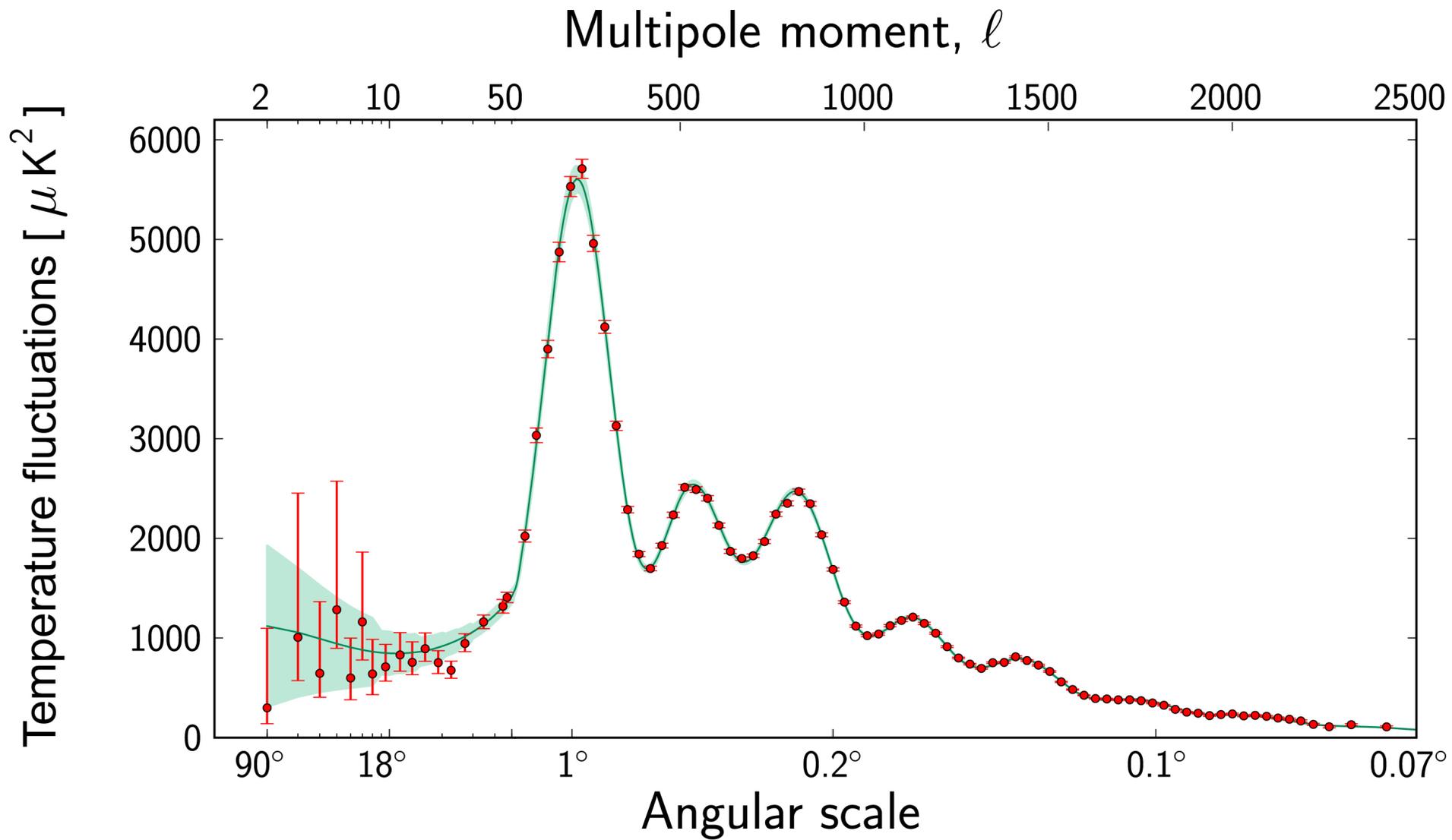


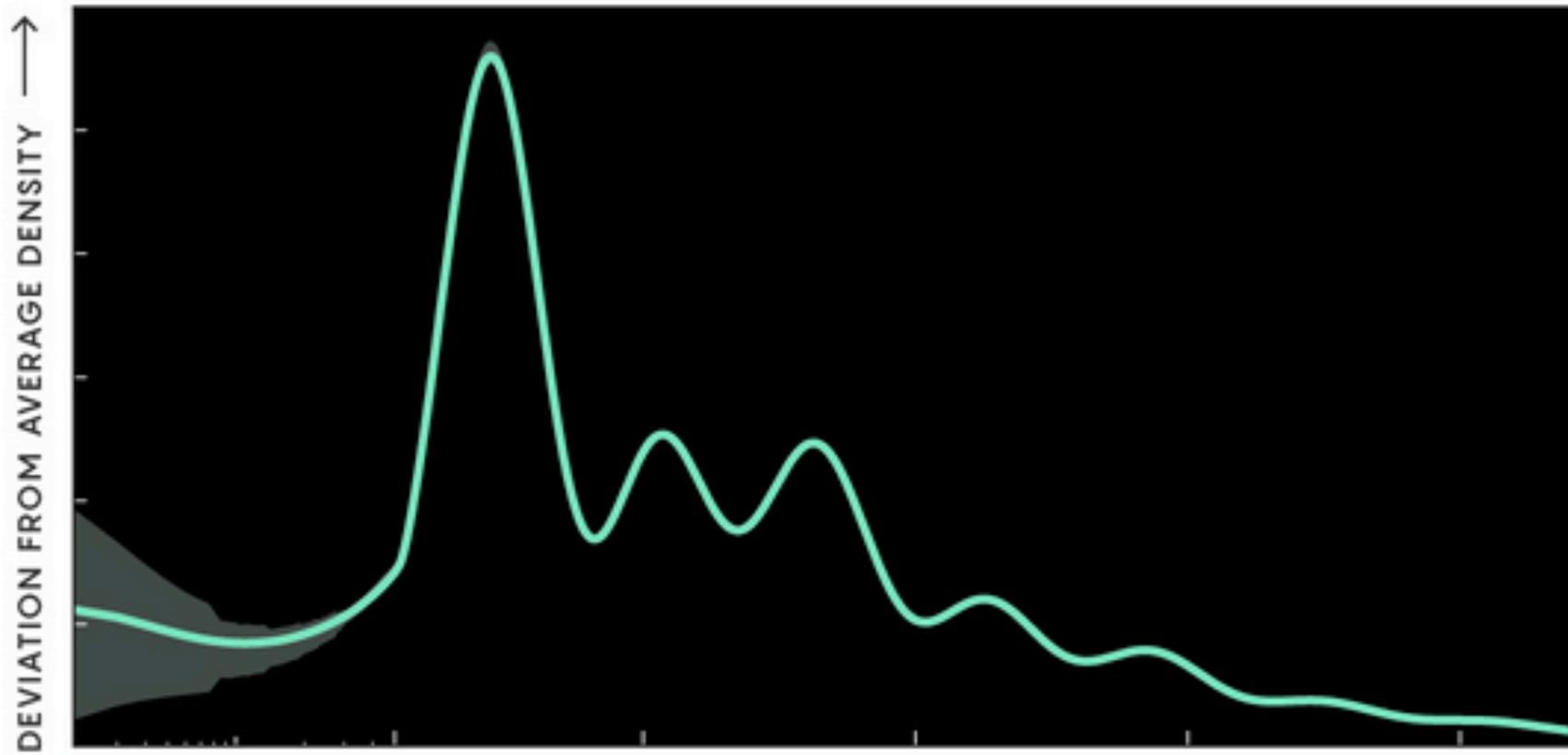
# La prima luce!



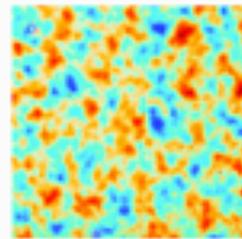
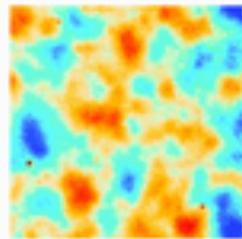
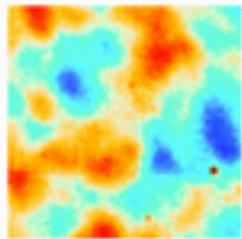
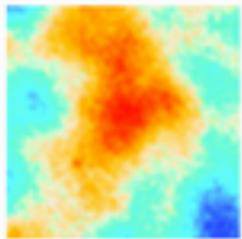
Da cosa è  
formato  
l'Universo?



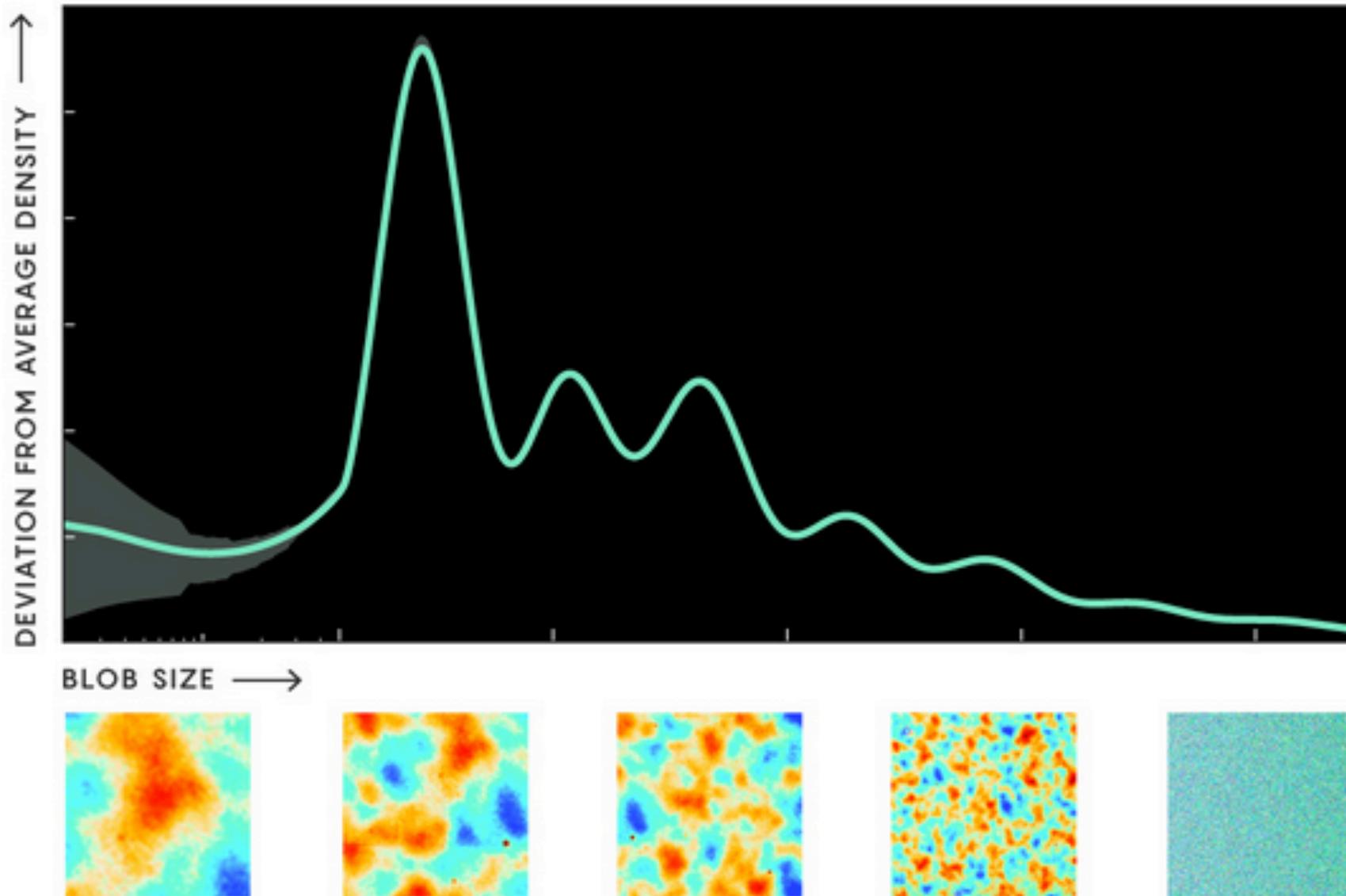




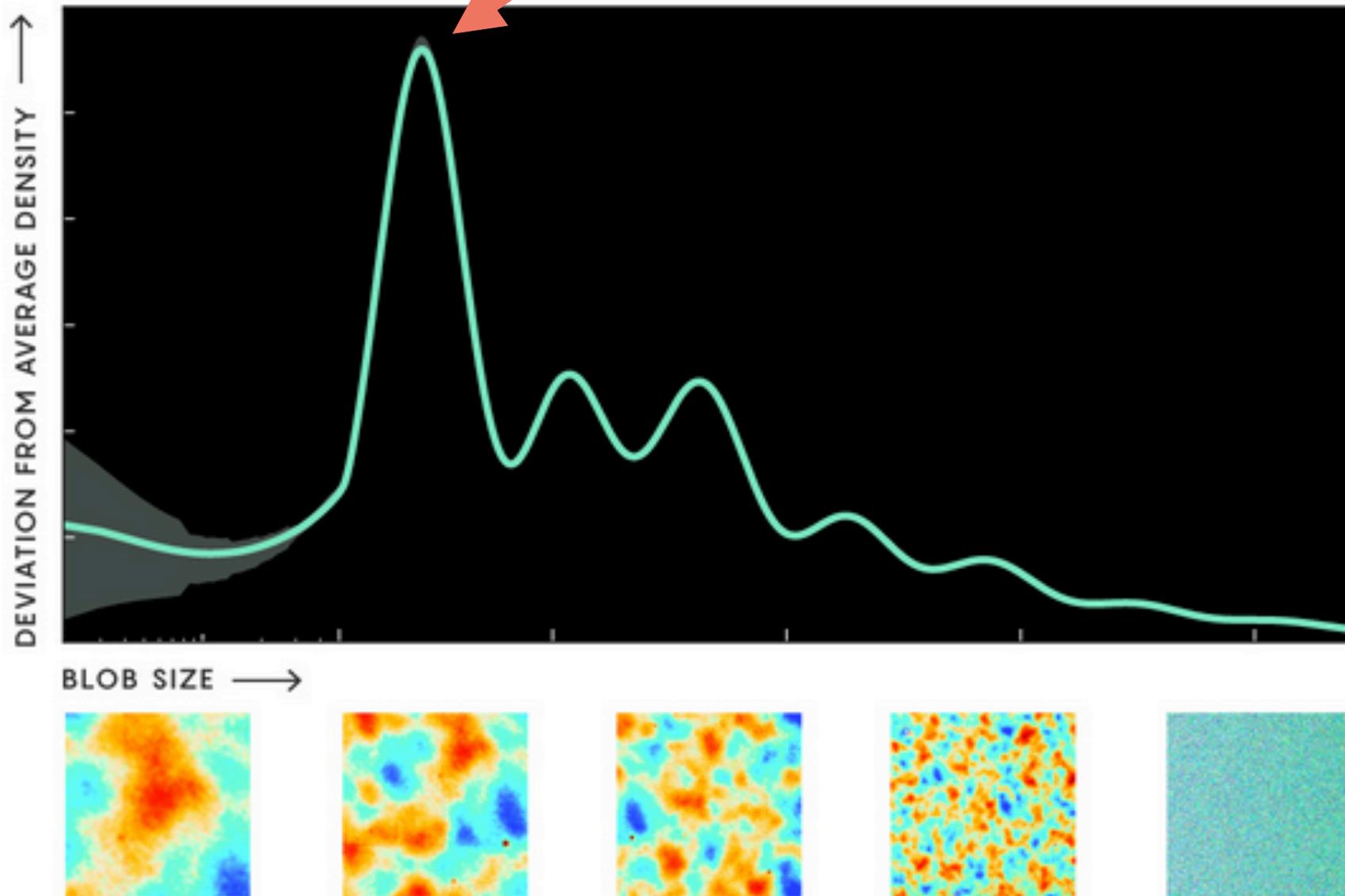
BLOB SIZE →



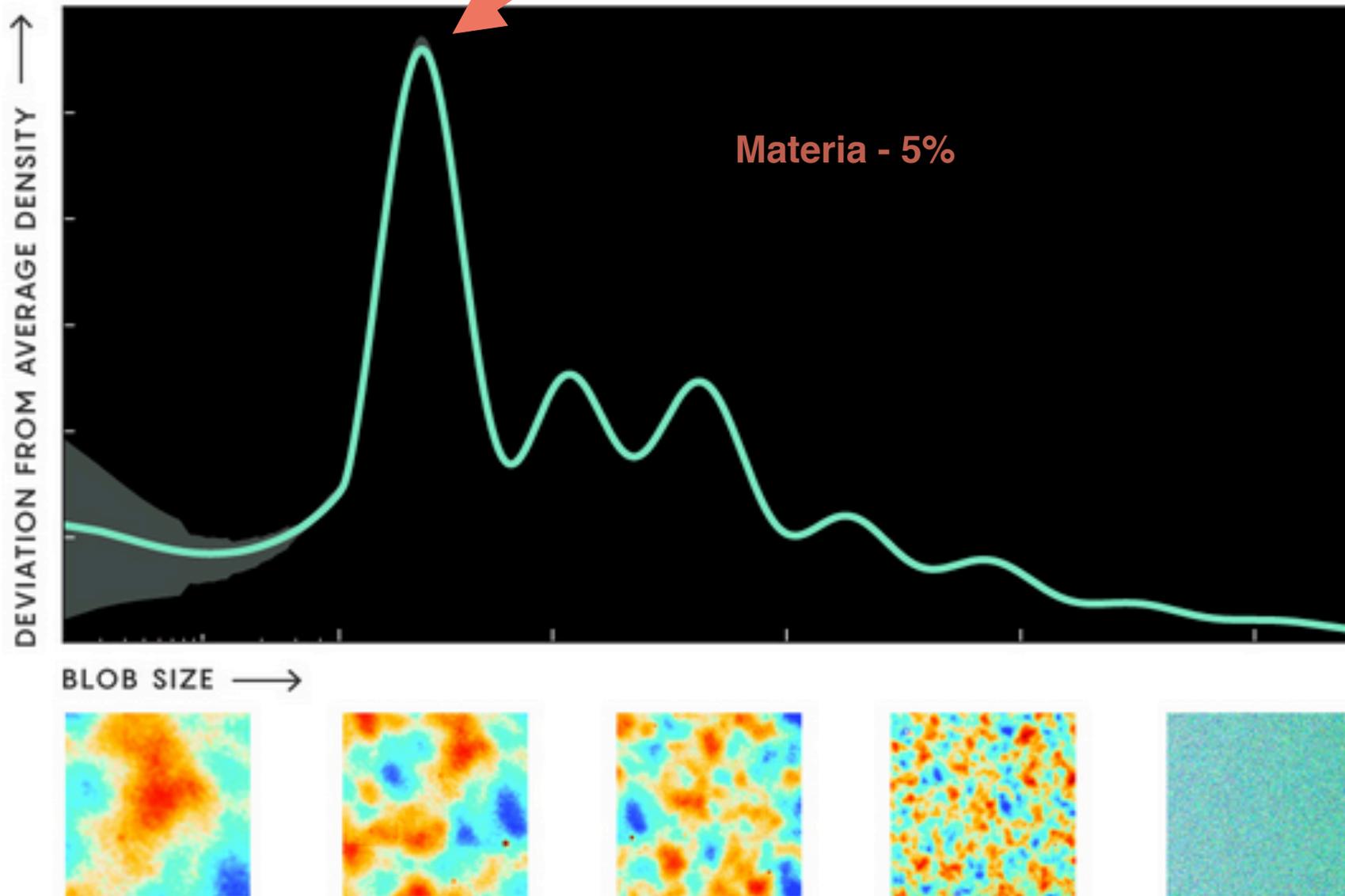
# Curvatura dell'Universo - PIATTO



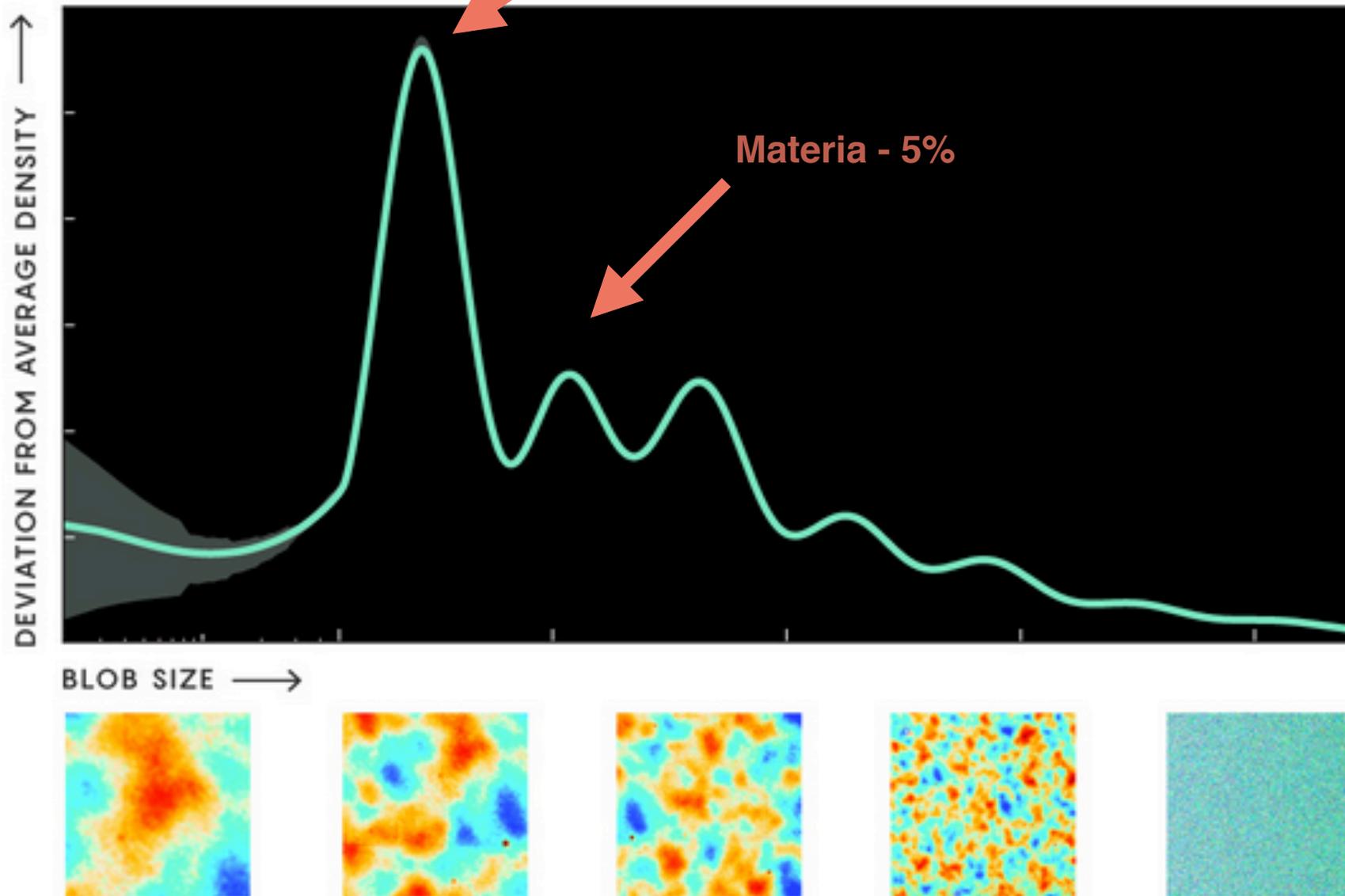
# Curvatura dell'Universo - PIATTO



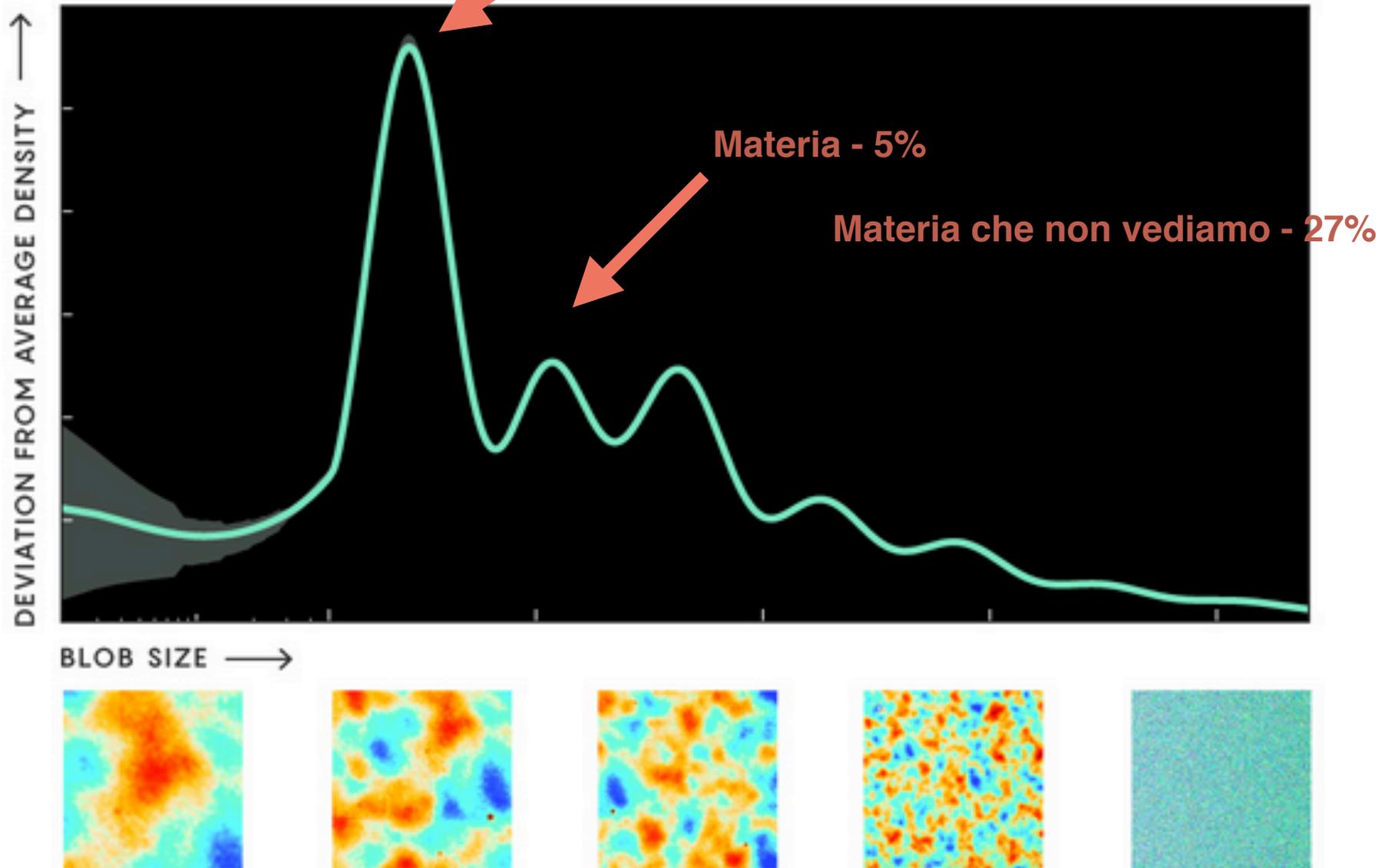
# Curvatura dell'Universo - PIATTO



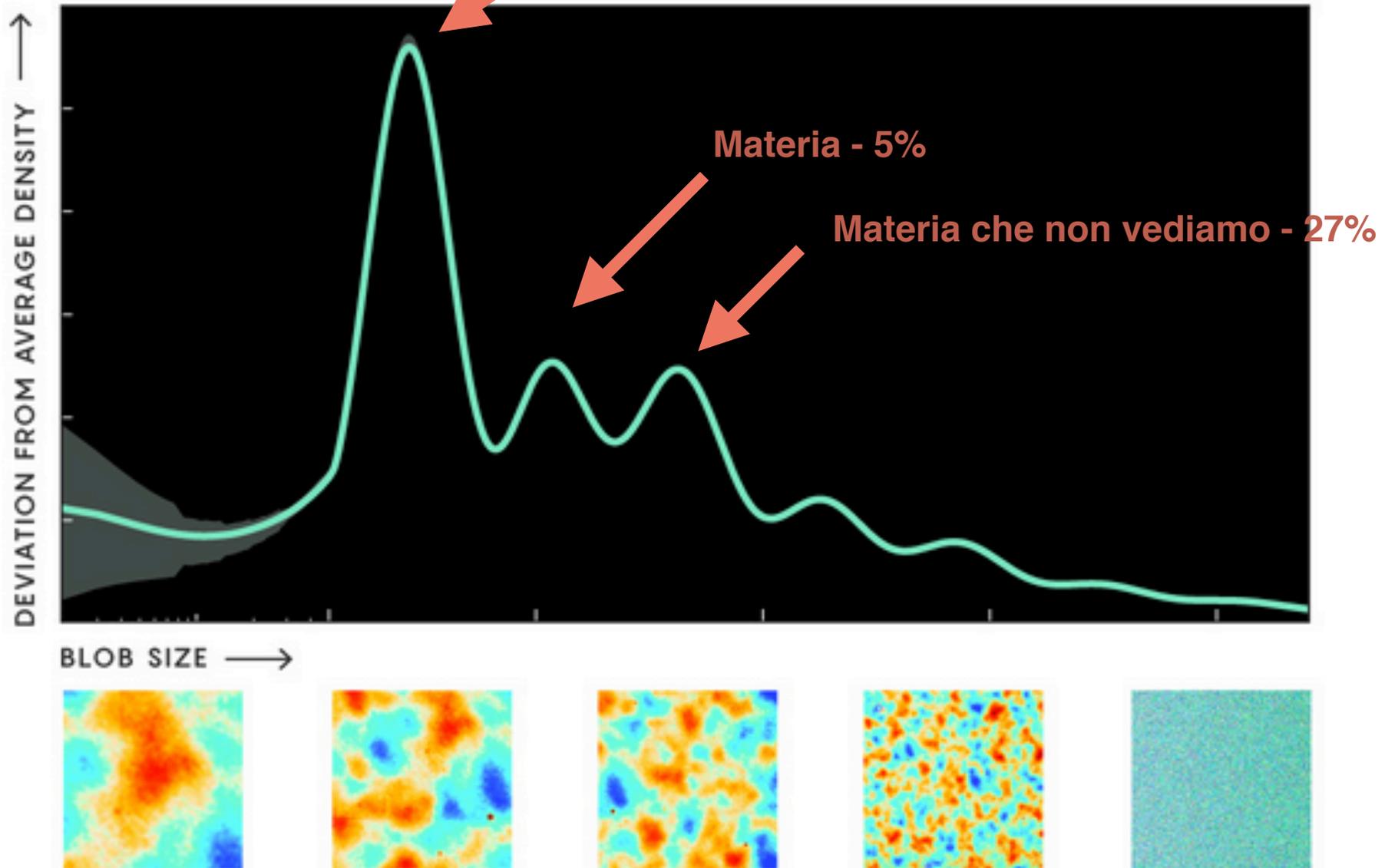
# Curvatura dell'Universo - PIATTO



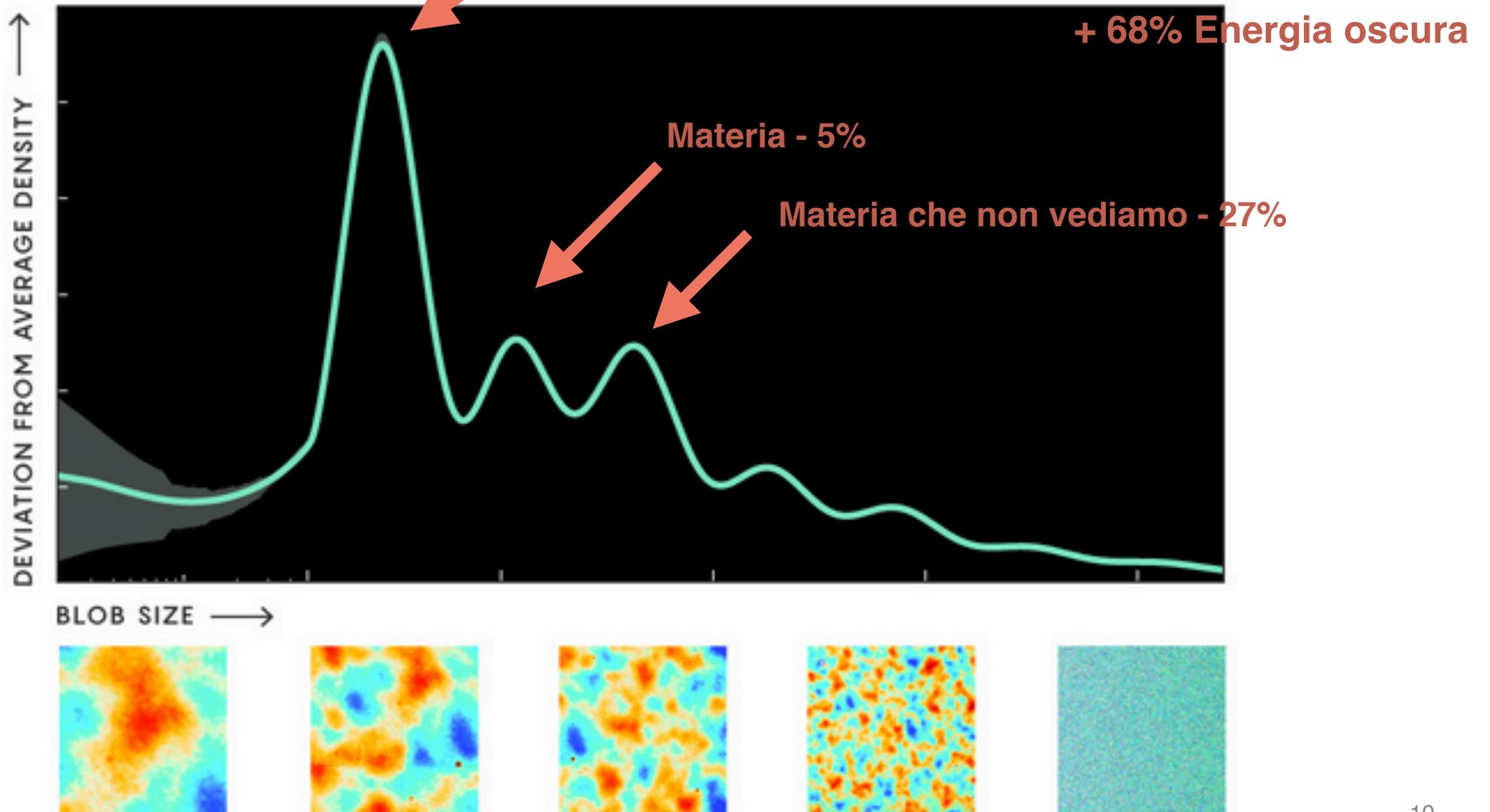
# Curvatura dell'Universo - PIATTO



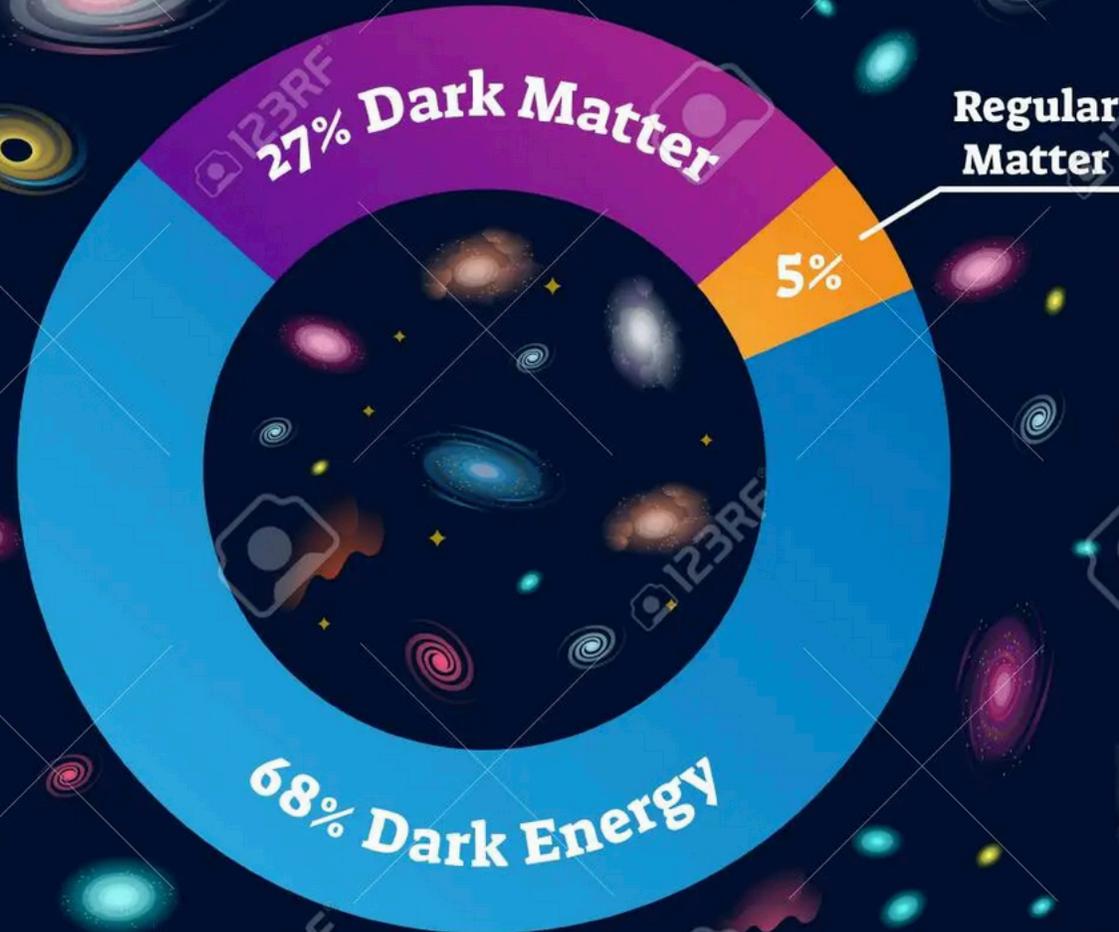
# Curvatura dell'Universo - PIATTO



# Curvatura dell'Universo - PIATTO

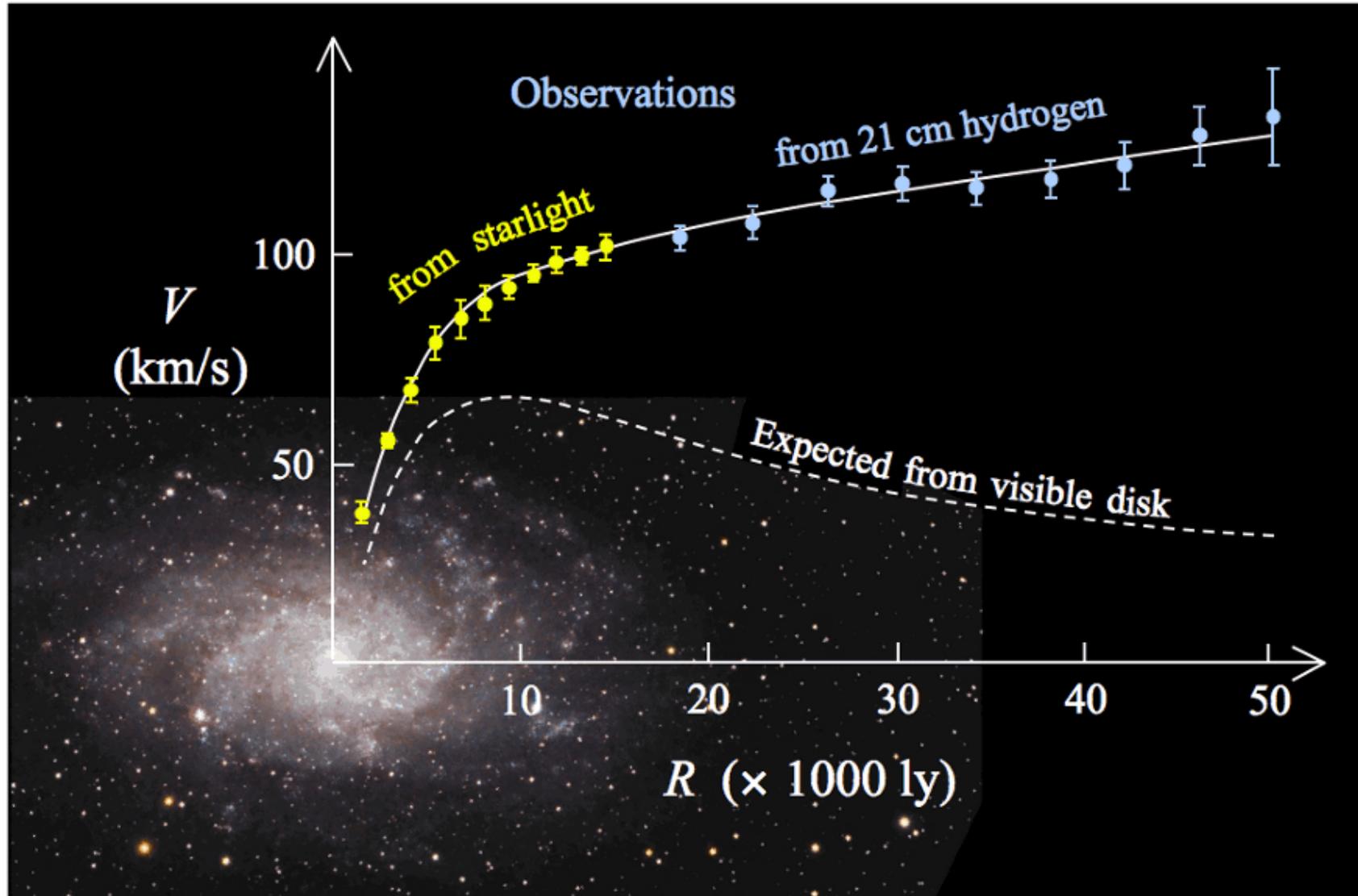


# COMPOSITION OF THE UNIVERSE

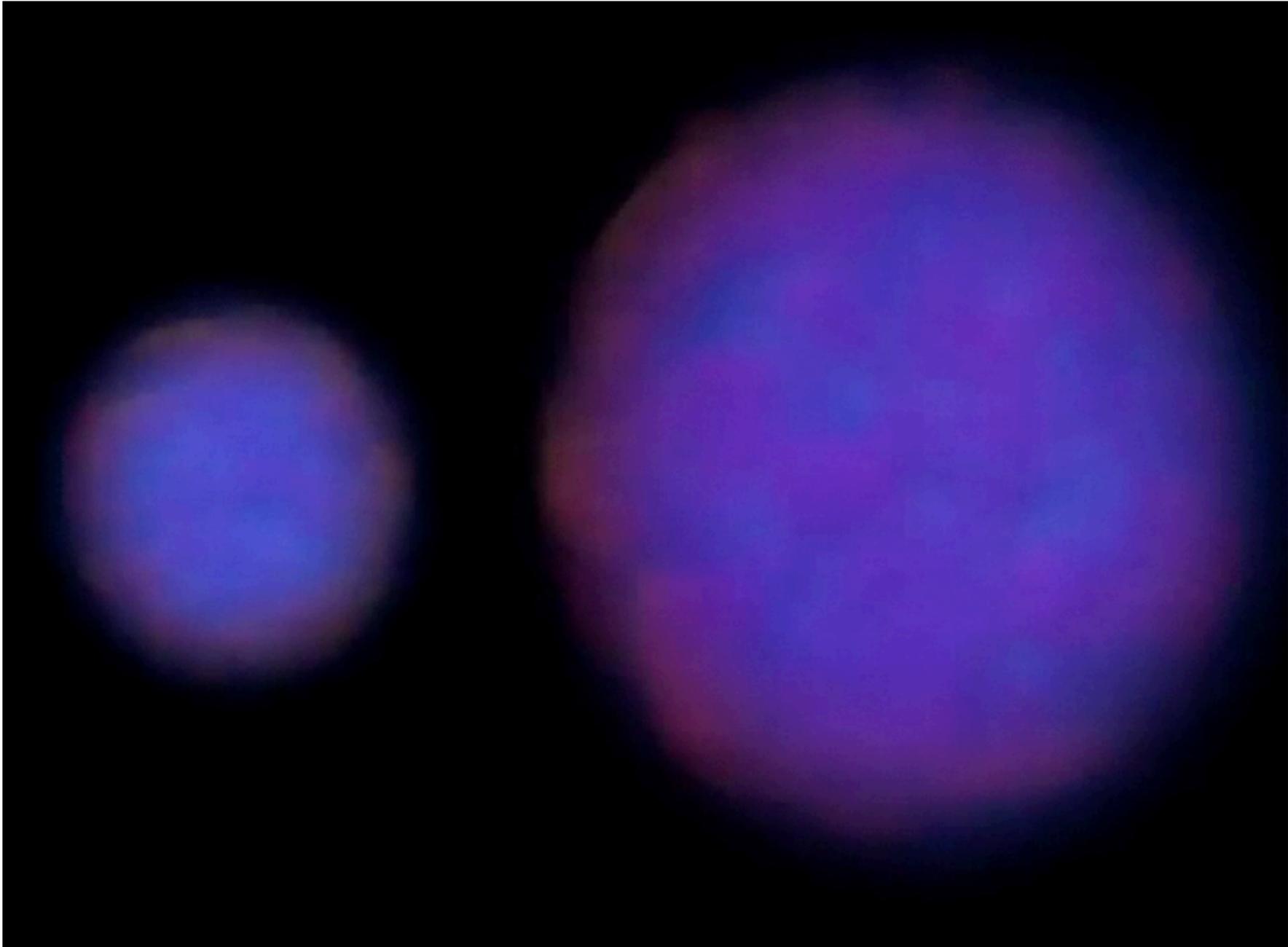


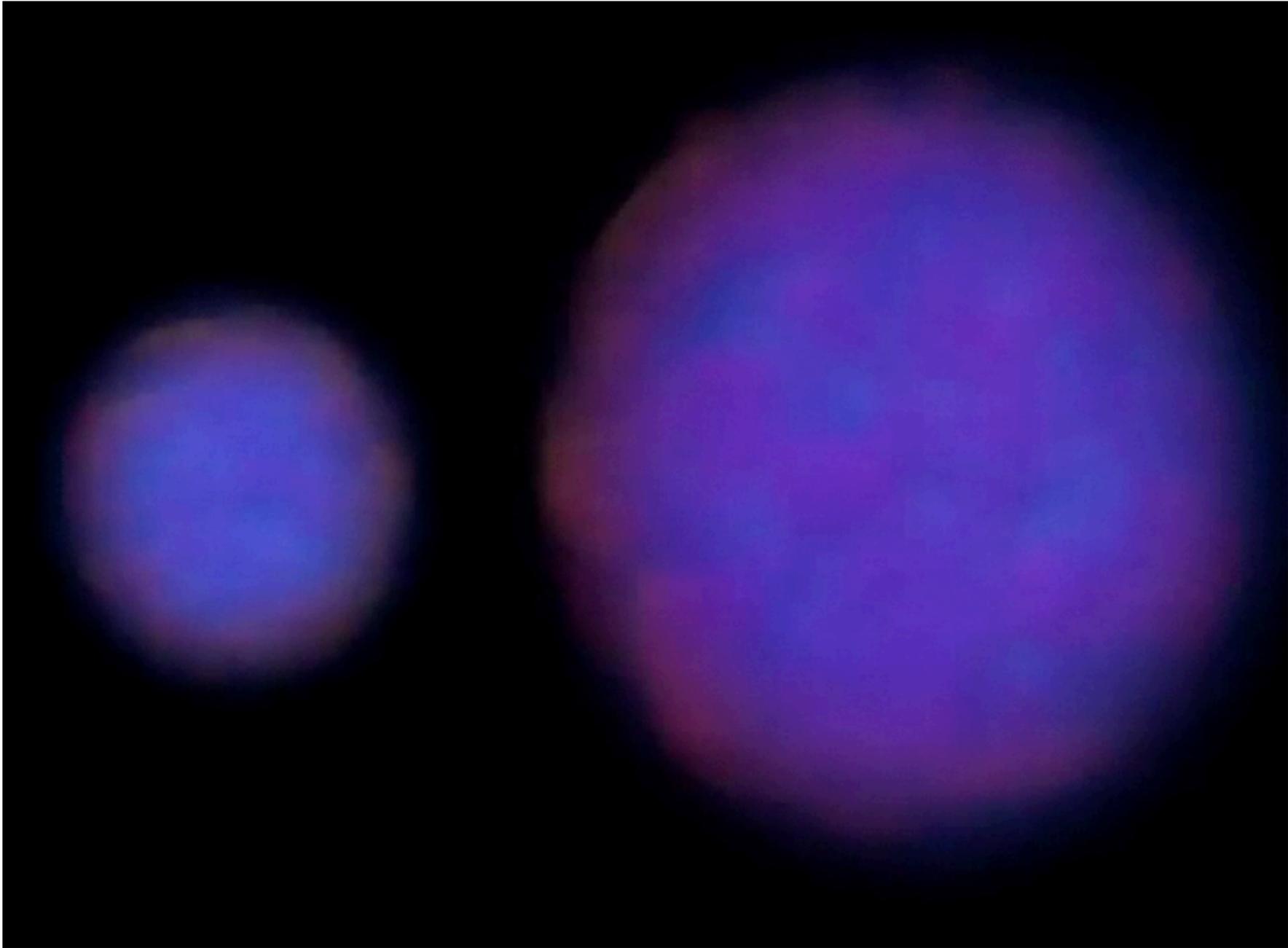
Cosa c'è oltre la materia  
visibile...?

# Materia oscura





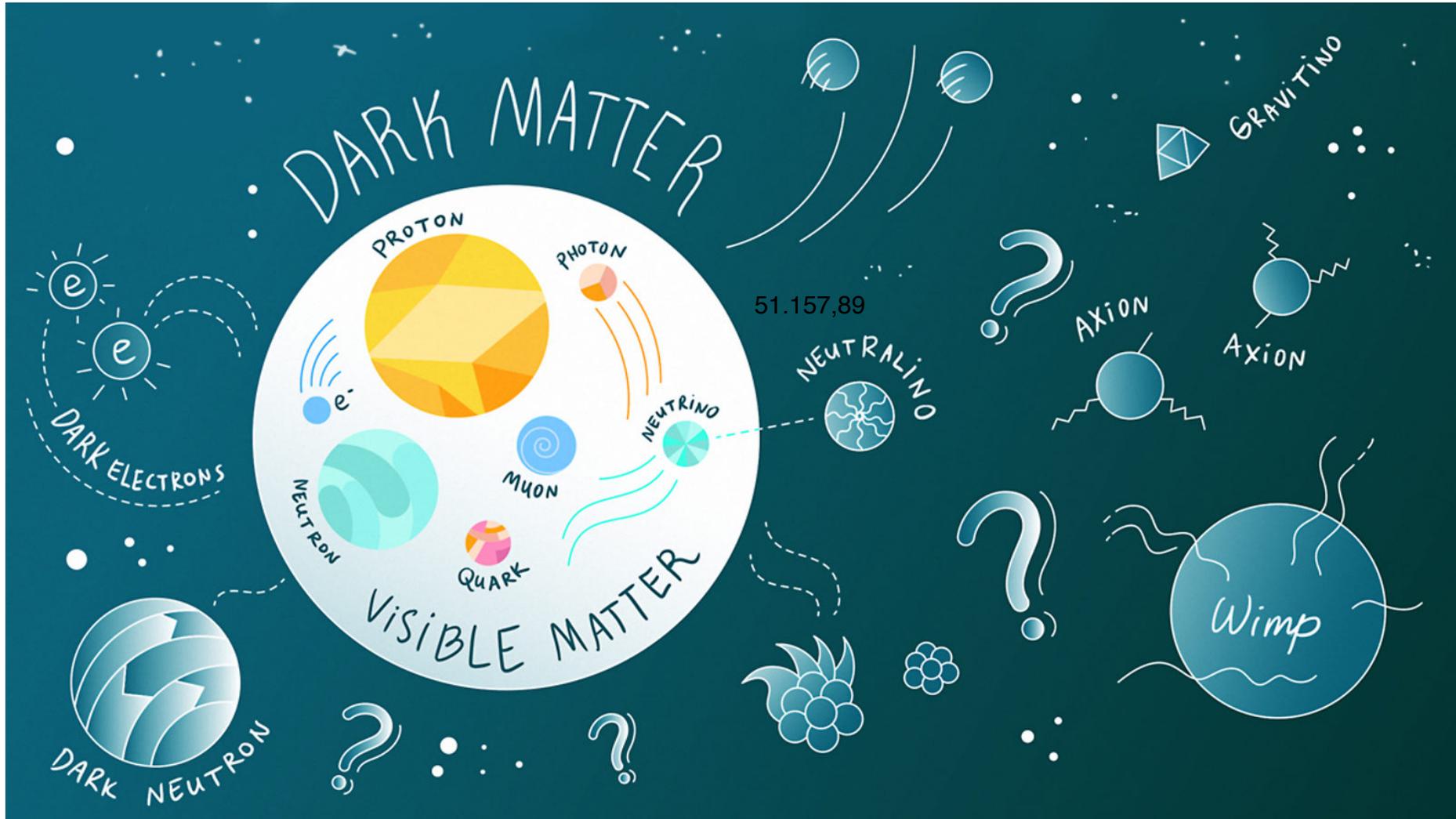




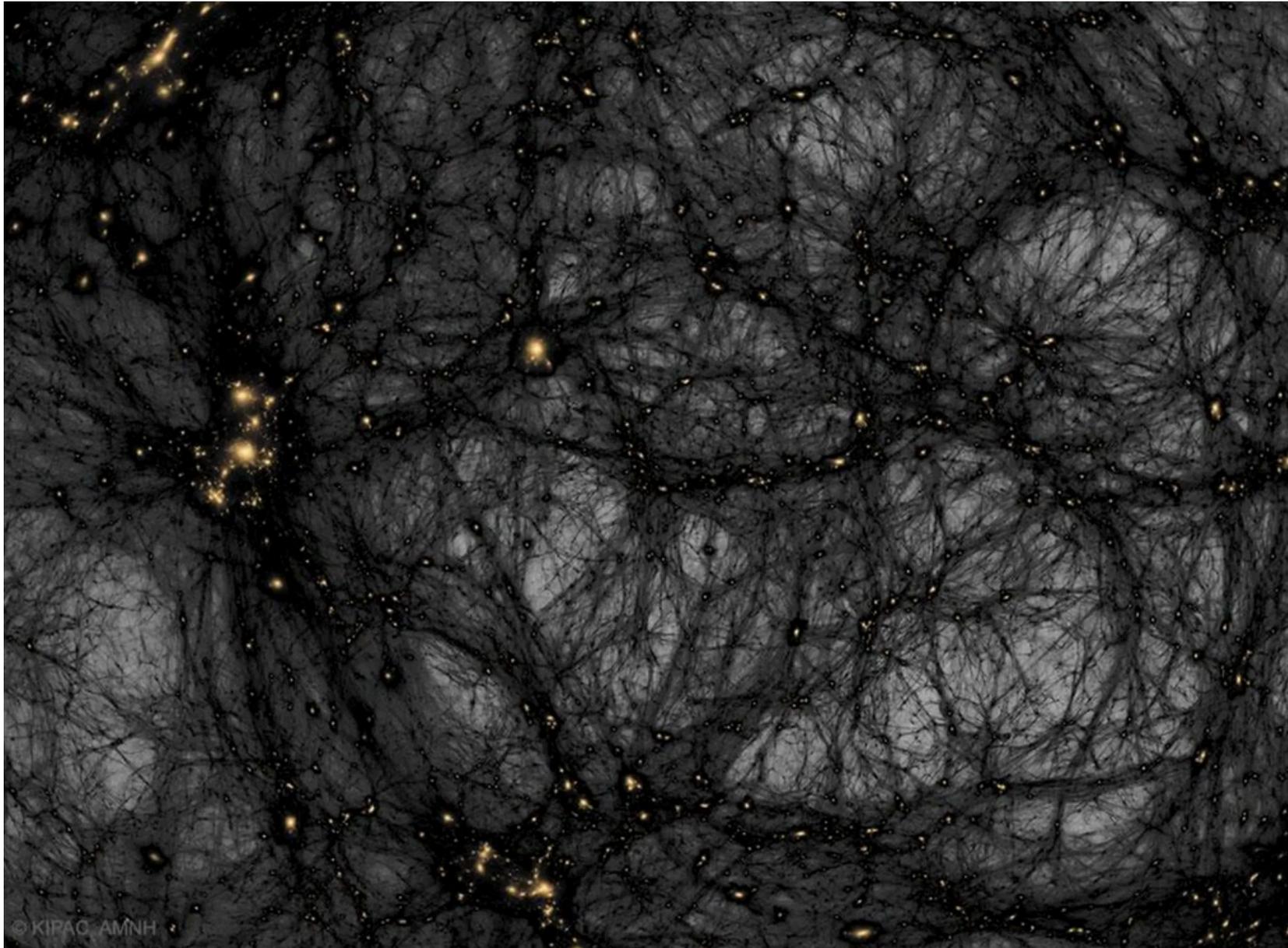


# Materia oscura

- Possiamo vederla solo indirettamente



# Materia oscura



# ENERGIA OSCURA



[CARTE MAGIA ⬇]

ANDYCARDS



1ª Edizione

MIK-1019

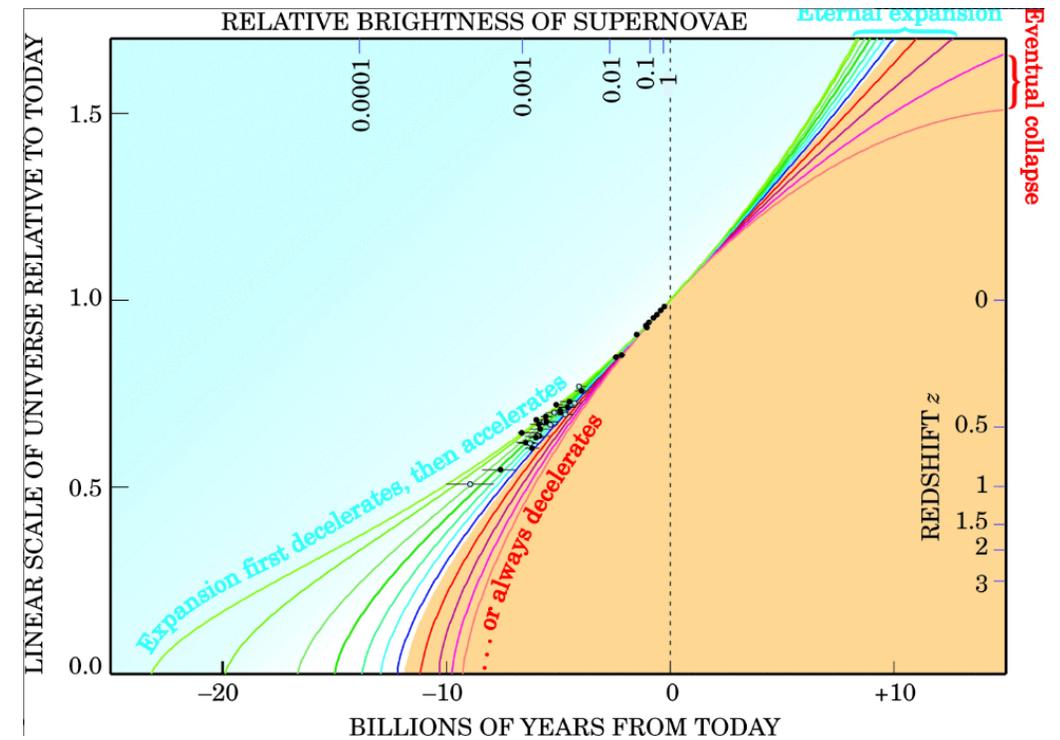
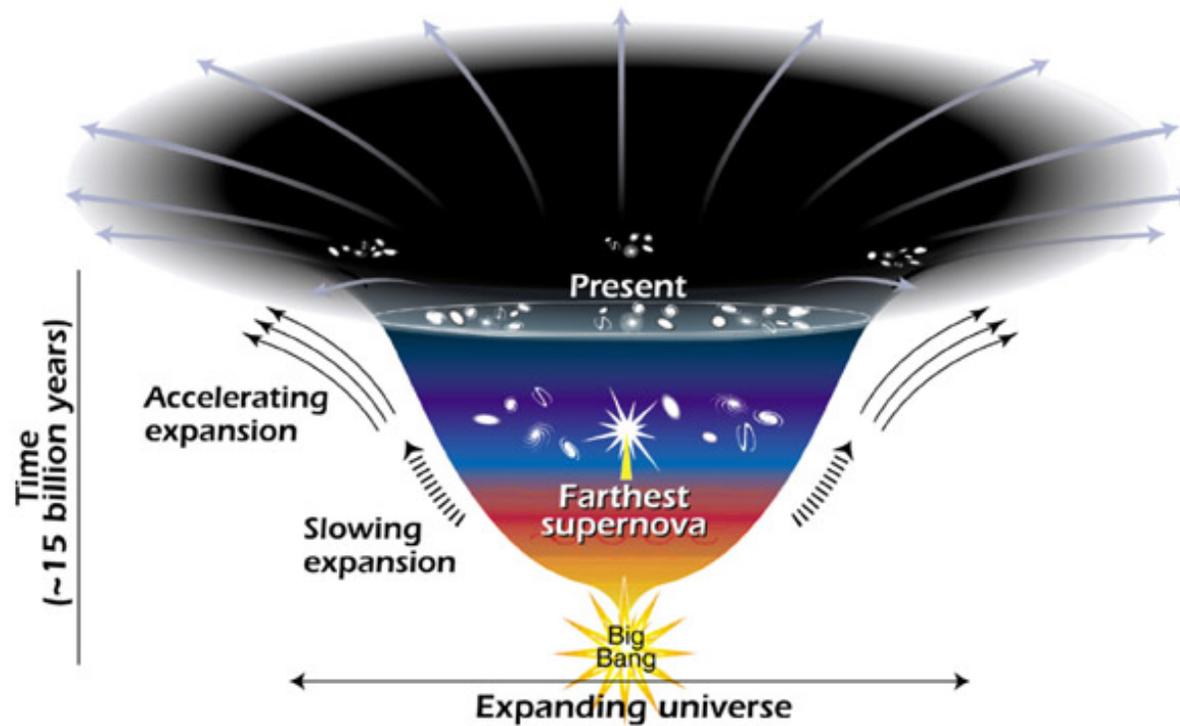
Un mostro di Tipo Demone equipaggiato con questa carta  
aumenta i propri ATK e DEF di 300 punti.

04614116

©1996 KAZUKI TAKAHASHI

II-YU  
-10-19  
a. 1/1

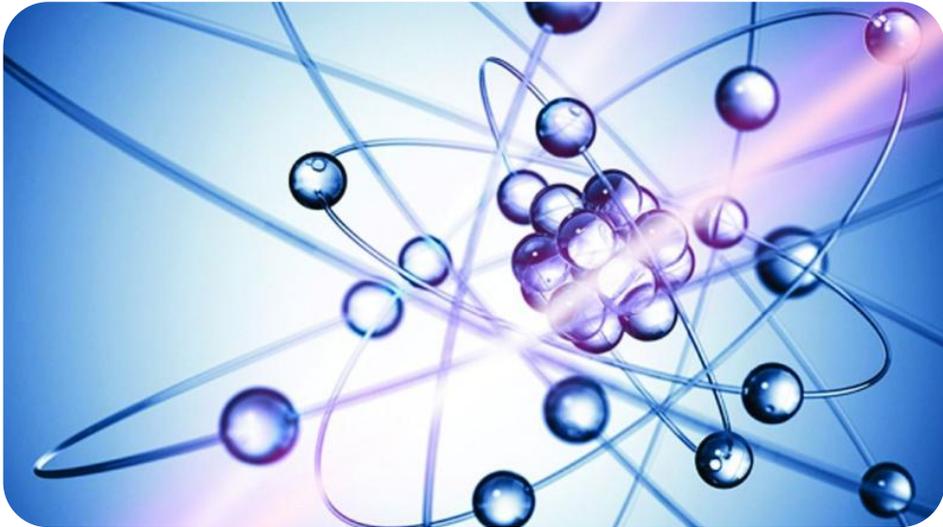
# Energia Oscura - Quintessenza!



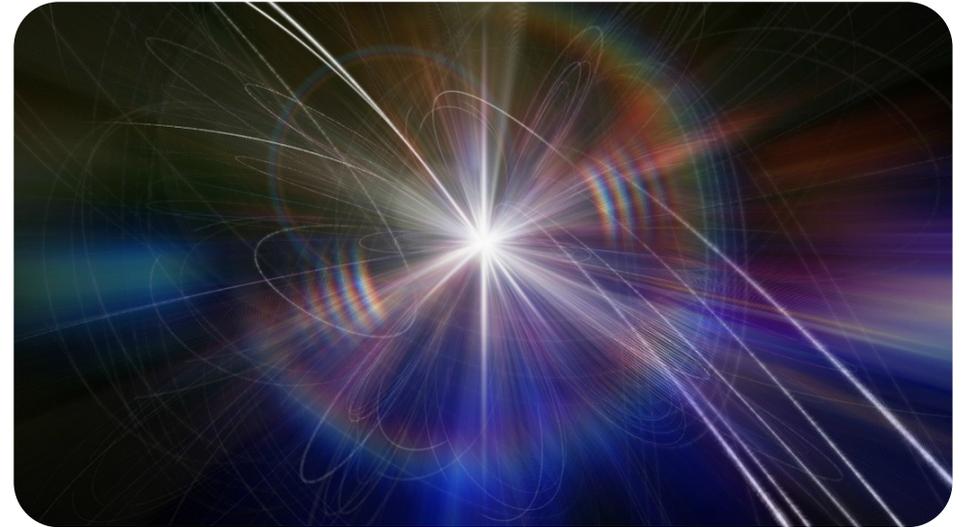
This diagram reveals changes in the rate of expansion since the universe's birth 15 billion years ago. The more shallow the curve, the faster the rate of expansion. The curve changes noticeably about 7.5 billion years ago, when objects in the universe began flying apart at a faster rate. Astronomers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

# L'universo visibile può essere descritto da:

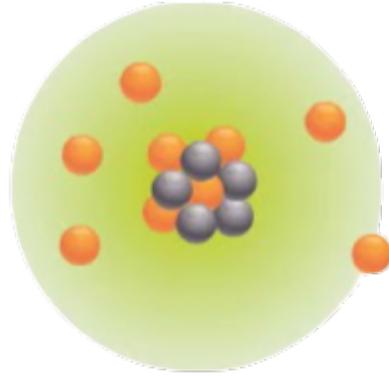
Materia



Forze



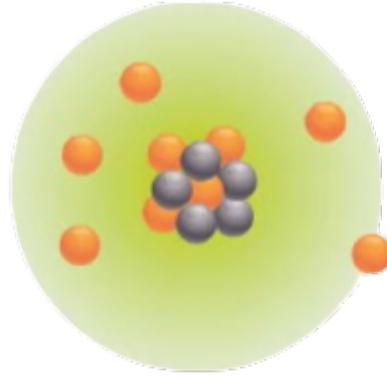
# Materia baronia



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

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

# Materia baronia



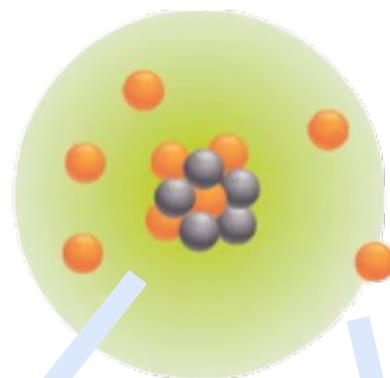
Atomo  
 $10^{-10}\text{m}$

“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  
 $< 10^{-18}\text{m}$



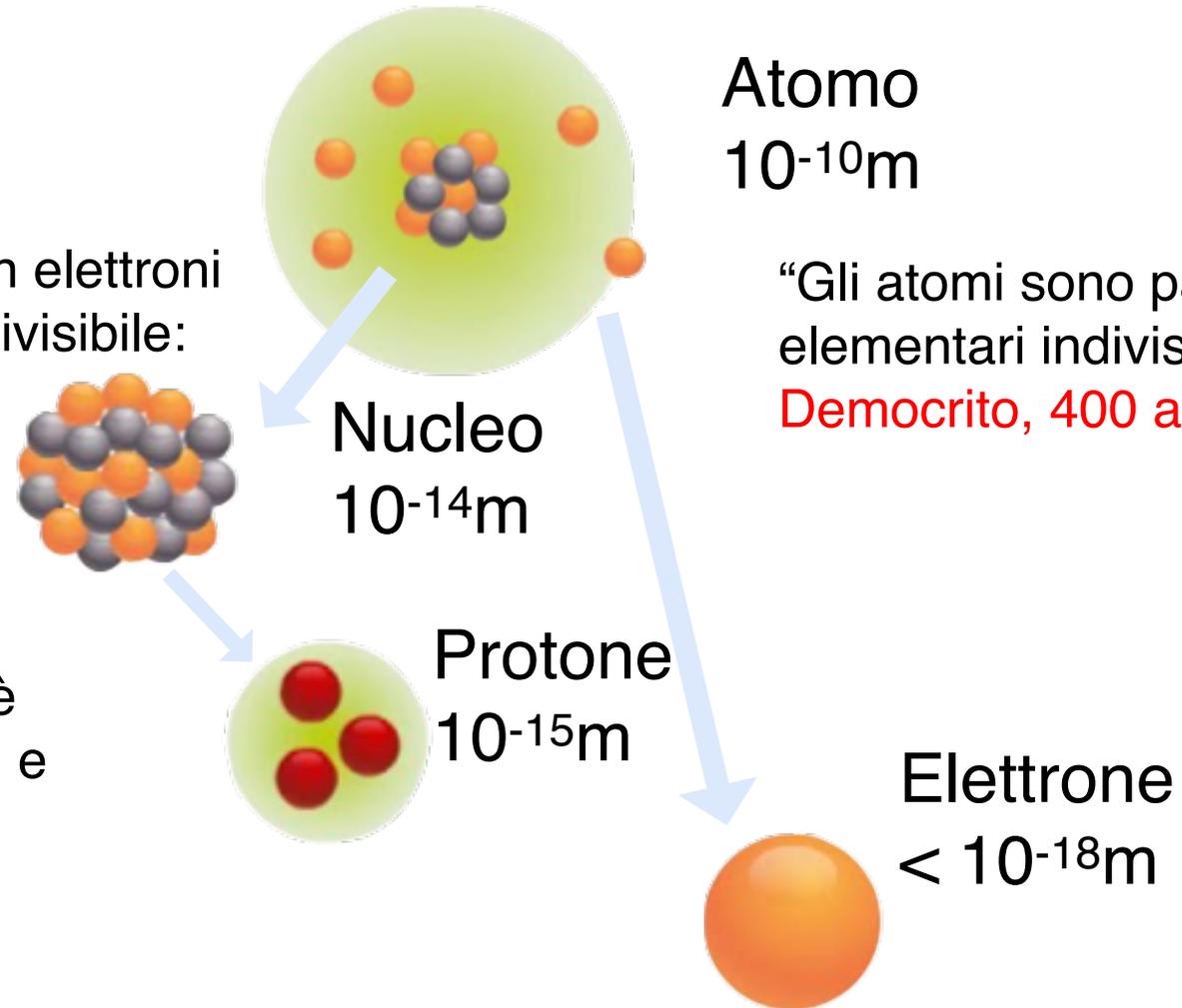
# Materia

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:

**Chadwich, 1932**



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

“Gli atomi sono particelle elementari indivisibili”:

**Democrito, 400 a.C.**

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

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

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

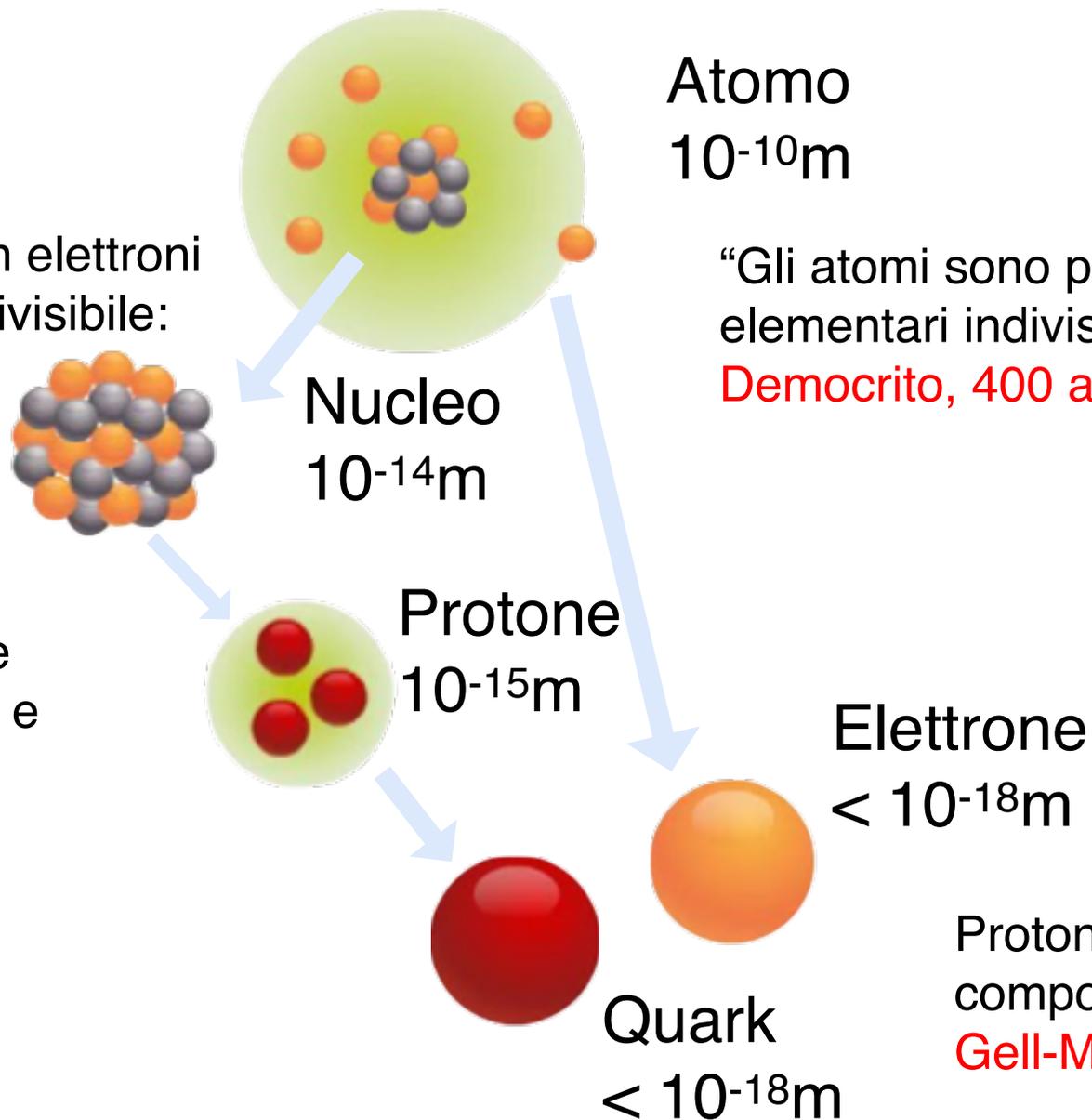
# Materia

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:

Chadwich, 1932



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

“Gli atomi sono particelle elementari indivisibili”:

Democrito, 400 a.C.

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

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

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

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

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

# Materia

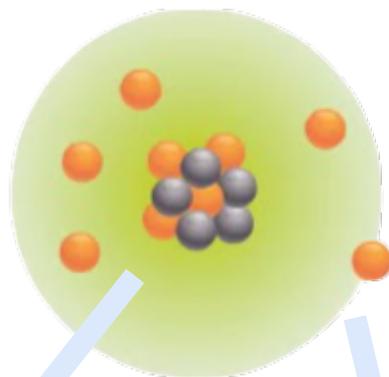
Modello planetario dell'atomo con elettroni in orbita attorno ad un nucleo indivisibile:

Rutherford, 1910

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

“Gli atomi sono particelle elementari indivisibili”:

Democrito, 400 a.C.



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



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



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



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



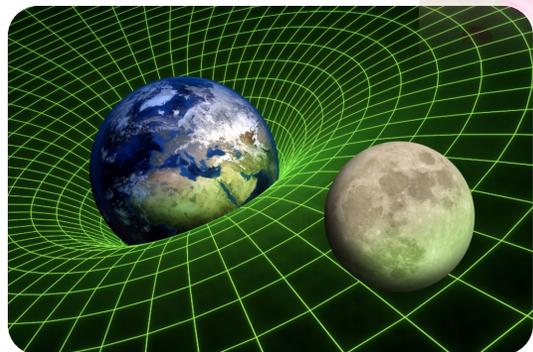
Protoni e neutroni sono composti da quark:  
Gell-Mann e Zweig, 1964

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

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

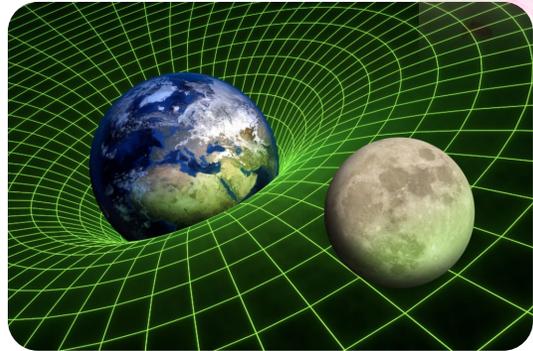


# Forze



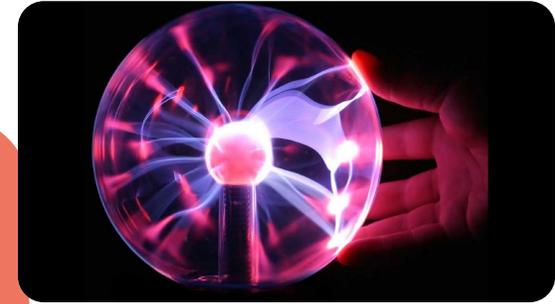
Forza  
gravità

# Forze



Forza  
gravità

Forza  
elettro  
magnetica



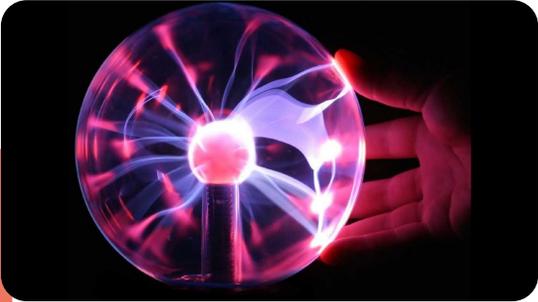
# Forze



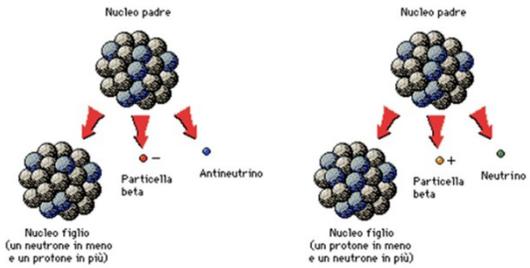
Forza gravità



Forza elettromagnetica



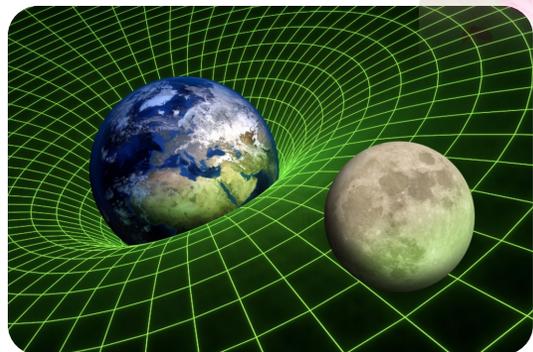
Forza debole



# Forze



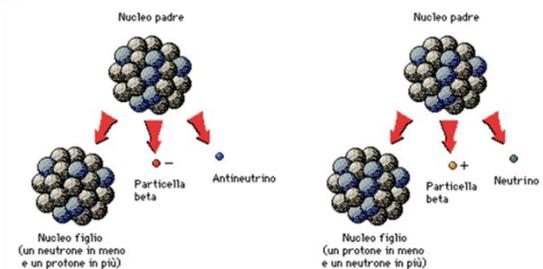
Forza gravità



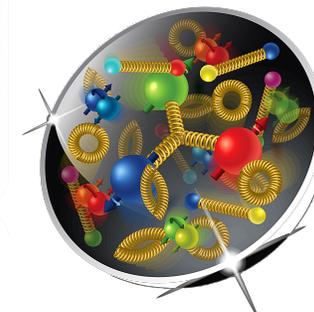
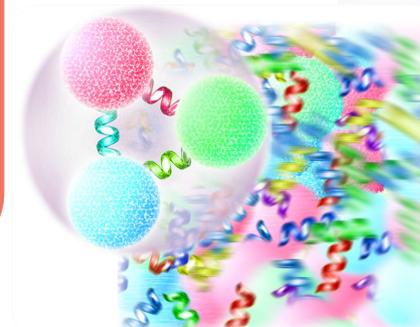
Forza elettromagnetica



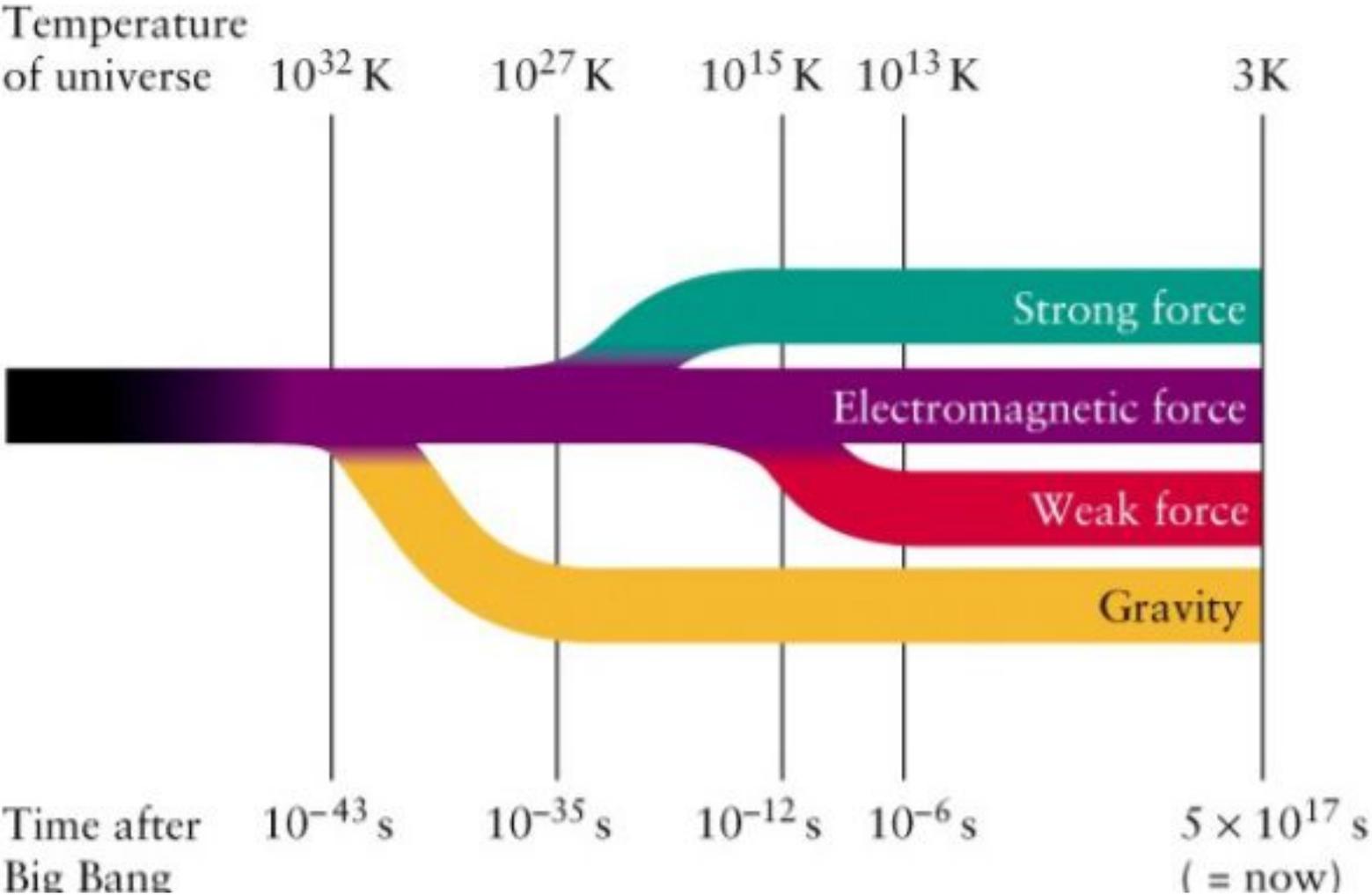
Forza debole



Forza forte



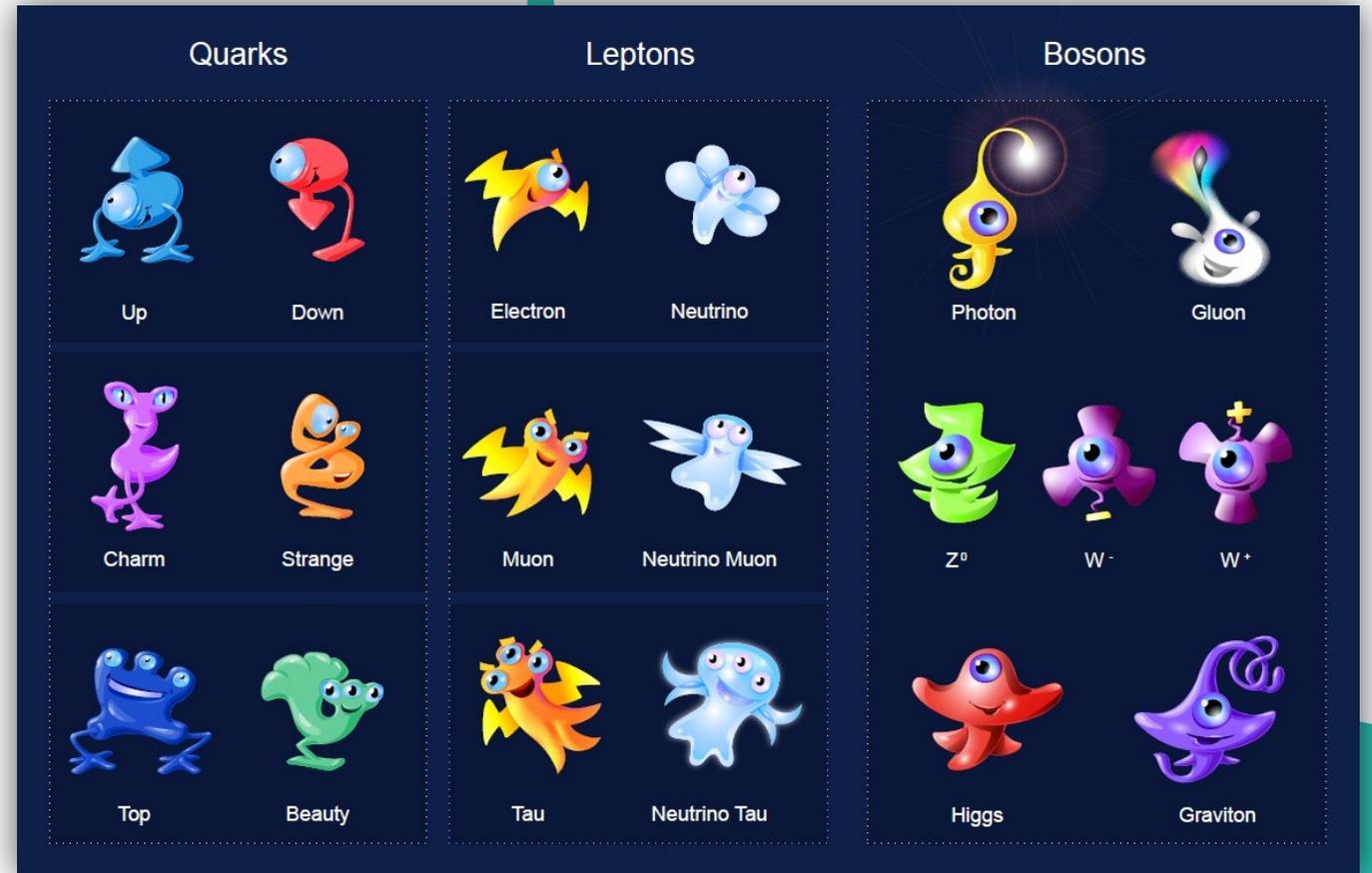
# Grande Unificazione



# Il Modello Standard

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

- Materia:
  - Quark
  - Leptoni
- Forze:
  - Bosoni





Da dove viene la parola quark?

Three quarks for Muster Mark!

Sure he hasn't got much of a bark

And sure any he has it's all beside the mark.

James Joyce - Finnegans Wake

# 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 ;)

Come facciamo a studiare  
il visibile e il non visibile?





Esperimenti a  
terra di fisica  
fondamentale

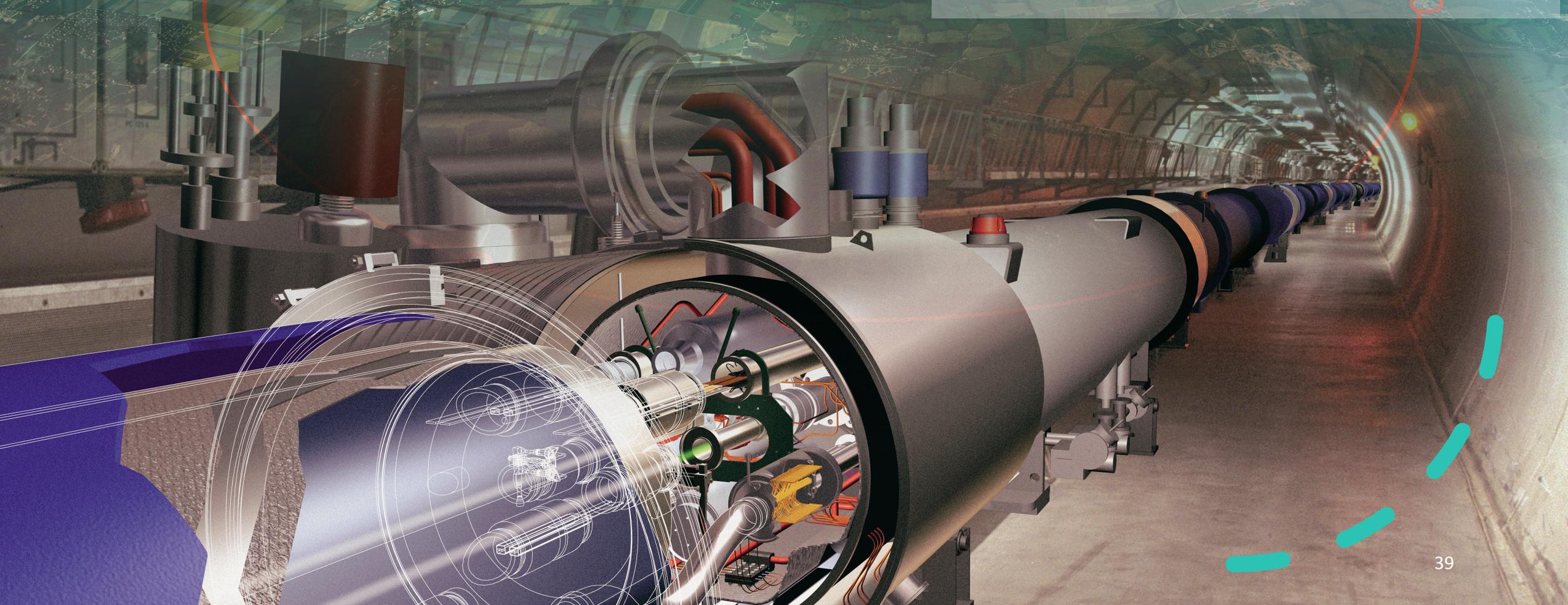


Large Hadron Collider @  
CERN

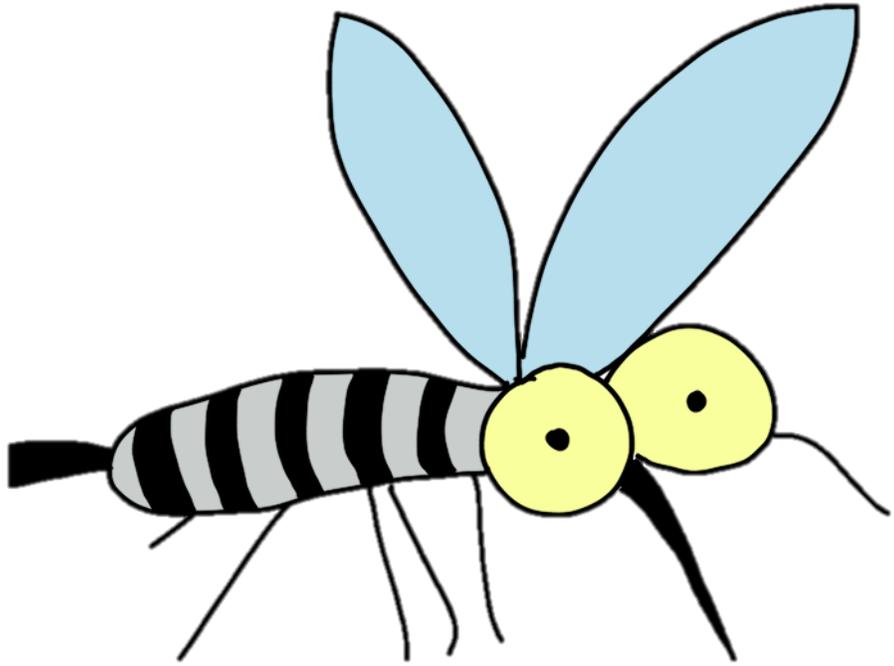
# l'esperimento dei record

Il più grande e potente  
collisionatore di particelle del  
mondo

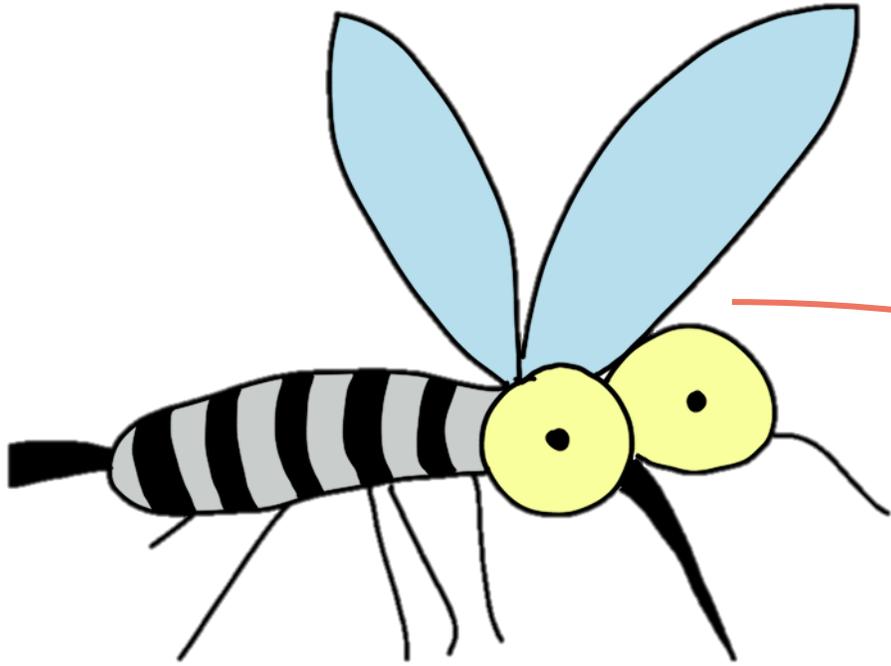
27 km di circonferenza al  
confine tra Francia e Svizzera



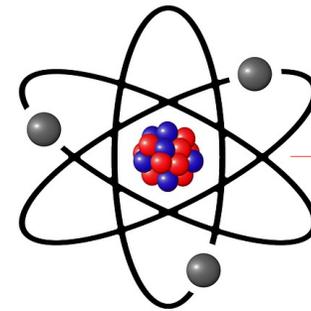
L'energia record...di una zanzara!



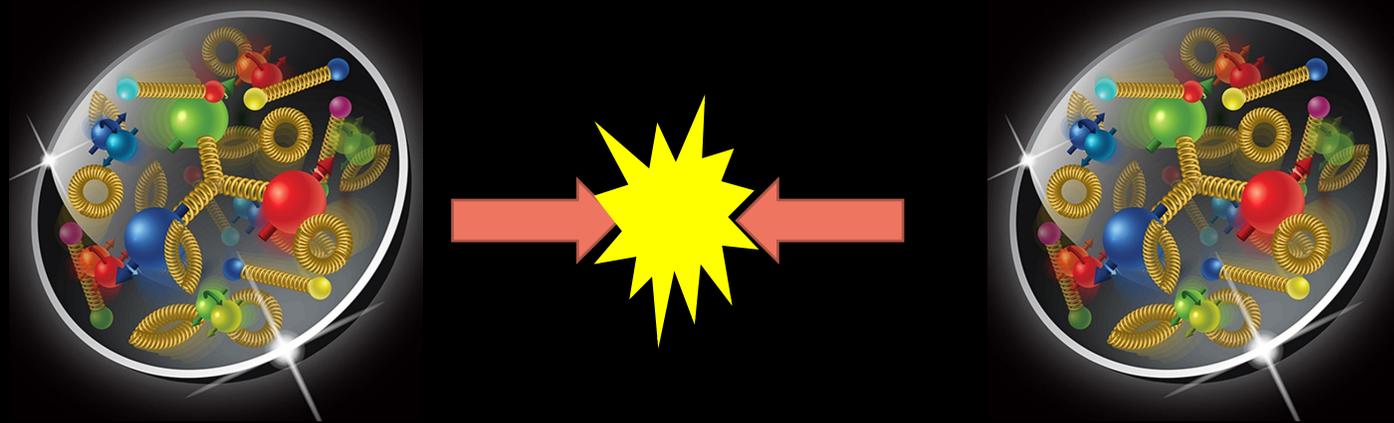
# L'energia record...di una zanzara!

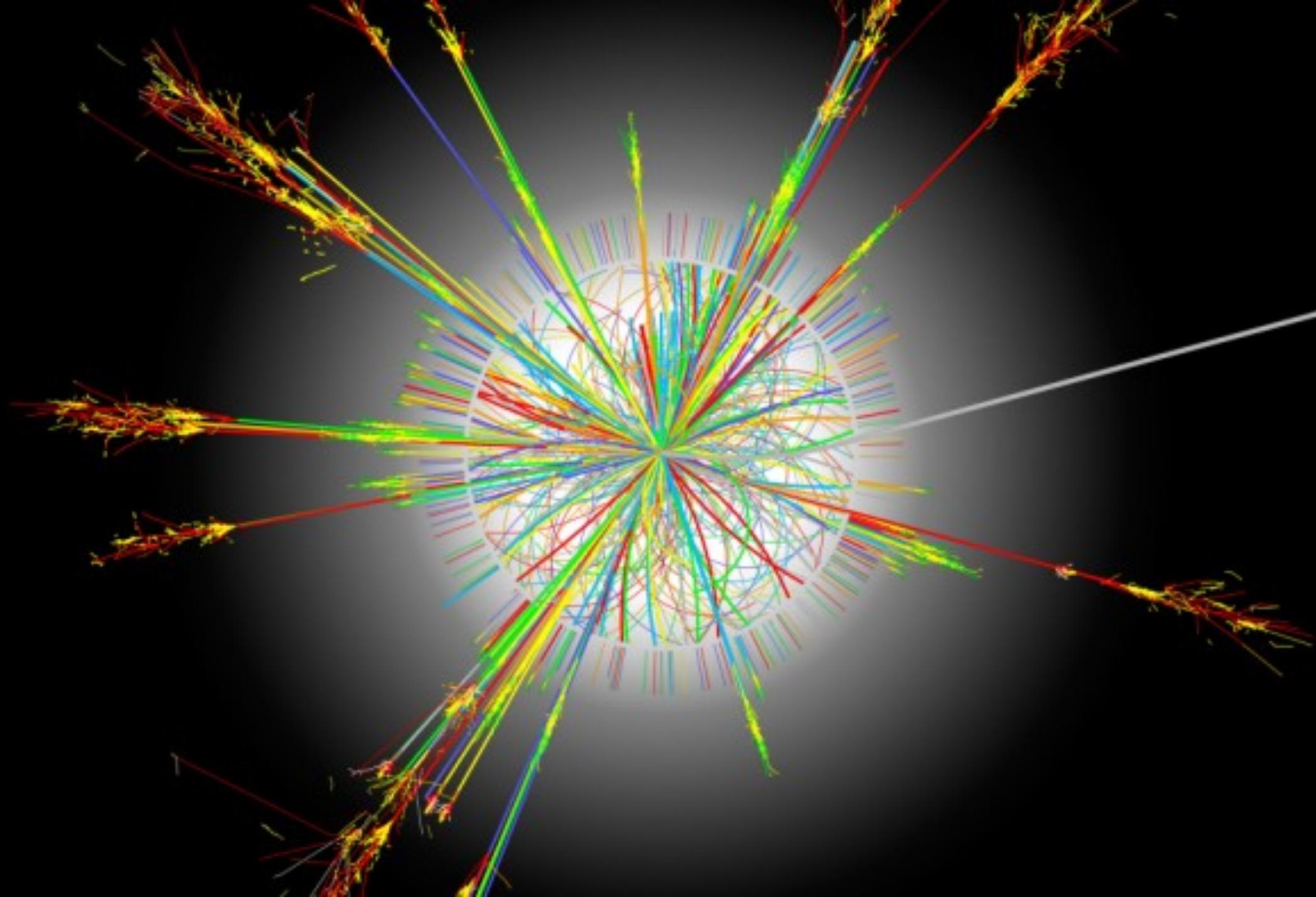


....ma condensata su un  
singolo protone!

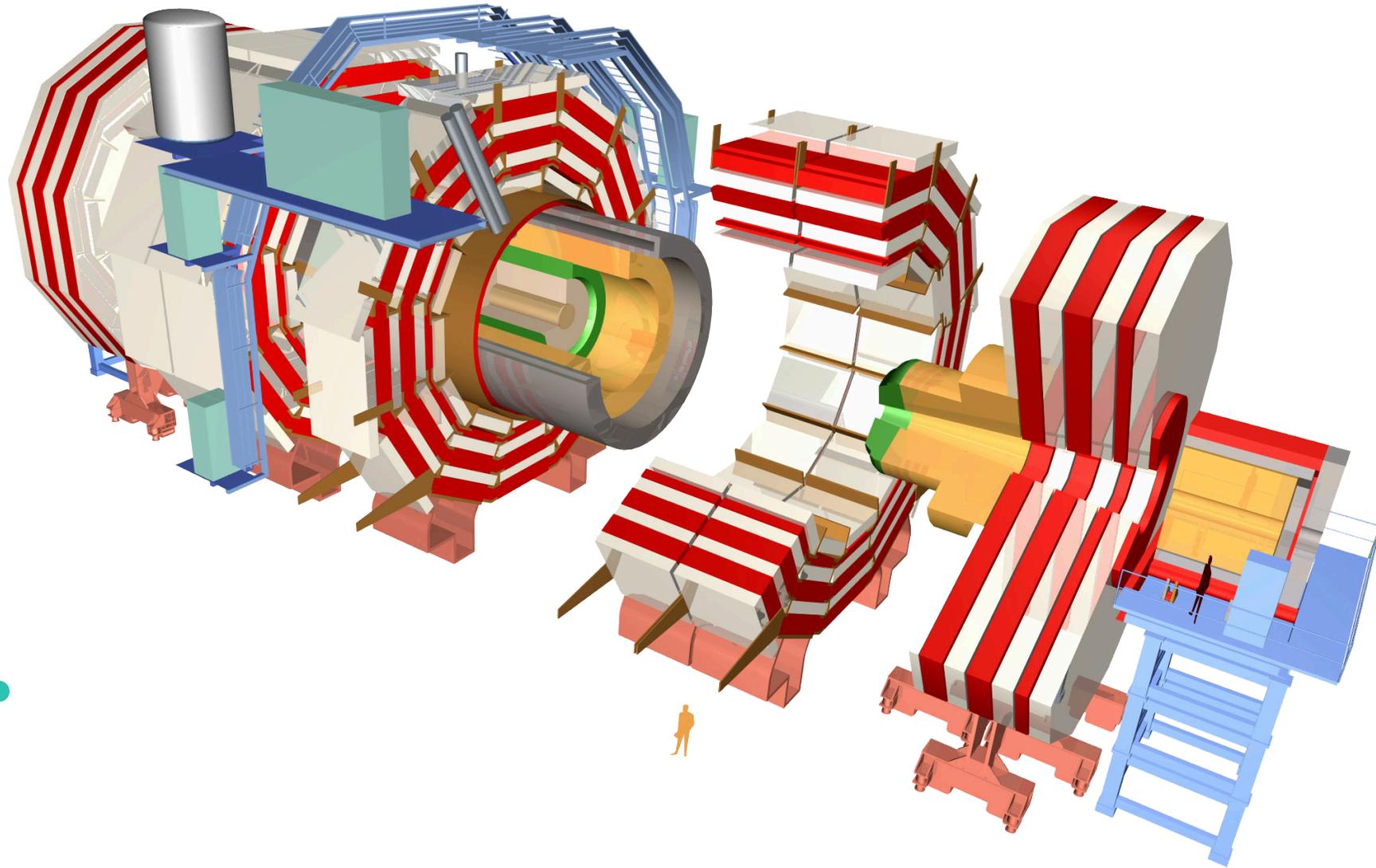


→ **Protone**

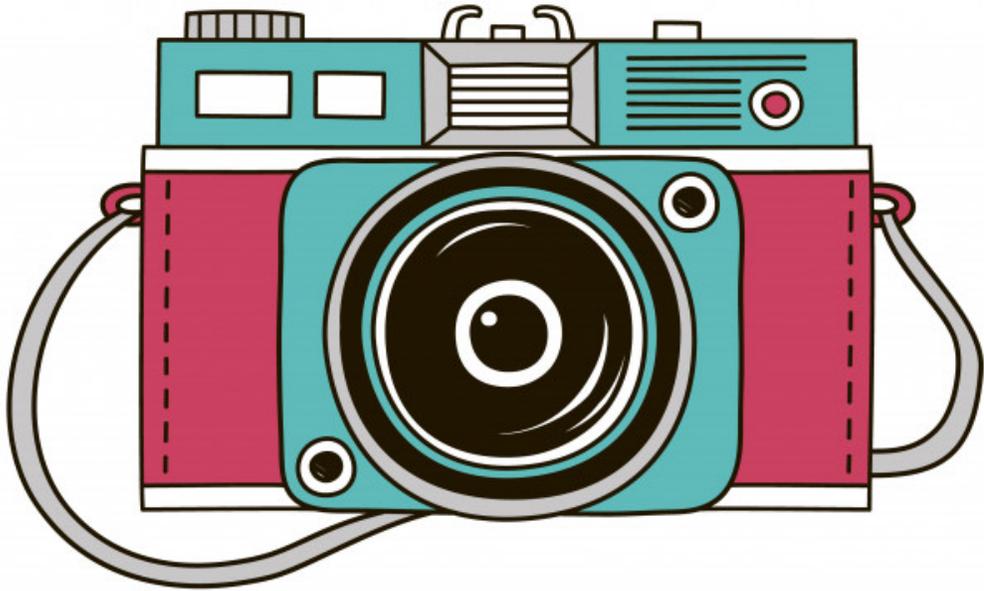




Dobbiamo “fotografare” queste collisioni



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  $\mu\text{m}$ )  $\sim 16\text{m}^2$   $\sim 66\text{M}$  channels  
Microstrips (80x180  $\mu\text{m}$ )  $\sim 200\text{m}^2$   $\sim 9.6\text{M}$  channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID  
Niobium titanium coil carrying  $\sim 18,000\text{A}$

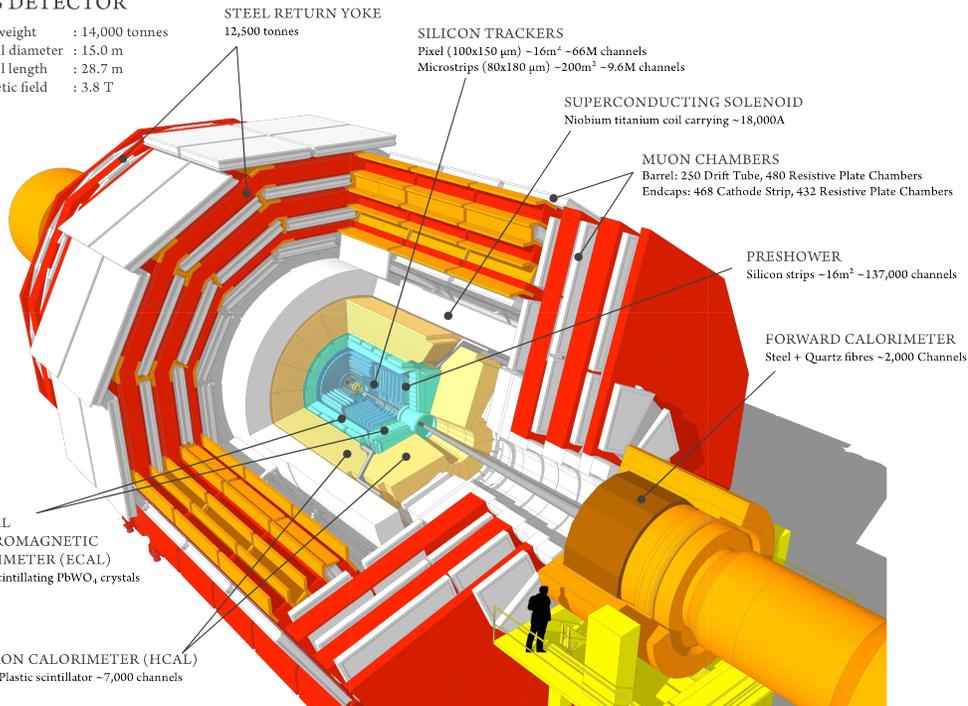
MUON CHAMBERS  
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers  
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER  
Silicon strips  $\sim 16\text{m}^2$   $\sim 137,000$  channels

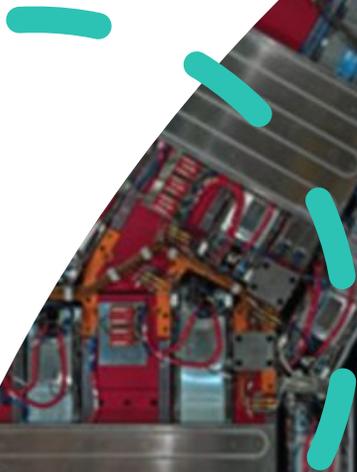
FORWARD CALORIMETER  
Steel + Quartz fibres  $\sim 2,000$  Channels

CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)  
 $\sim 76,000$  scintillating PbWO<sub>3</sub> crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)  
Brass + Plastic scintillator  $\sim 7,000$  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**

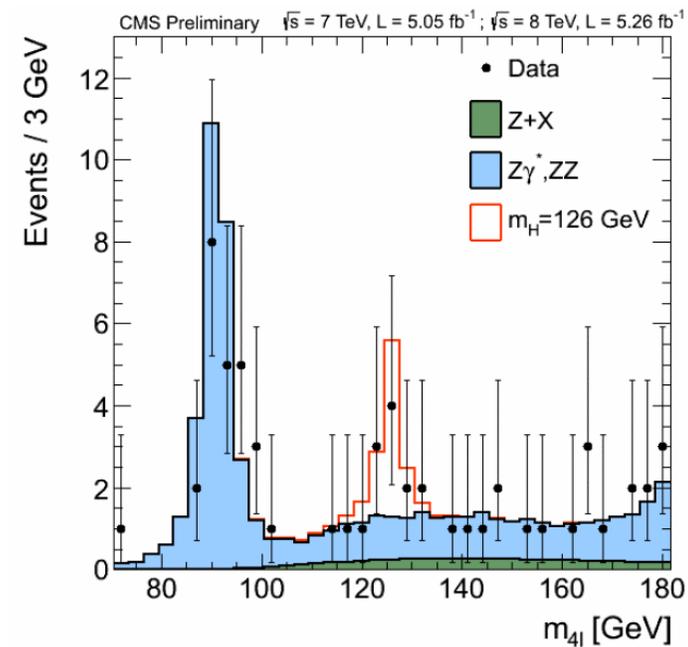
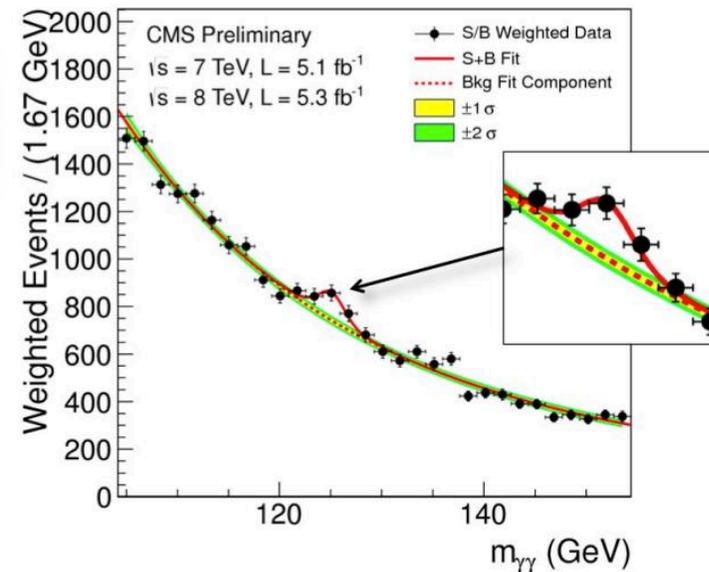


Fonte: Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

# 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**



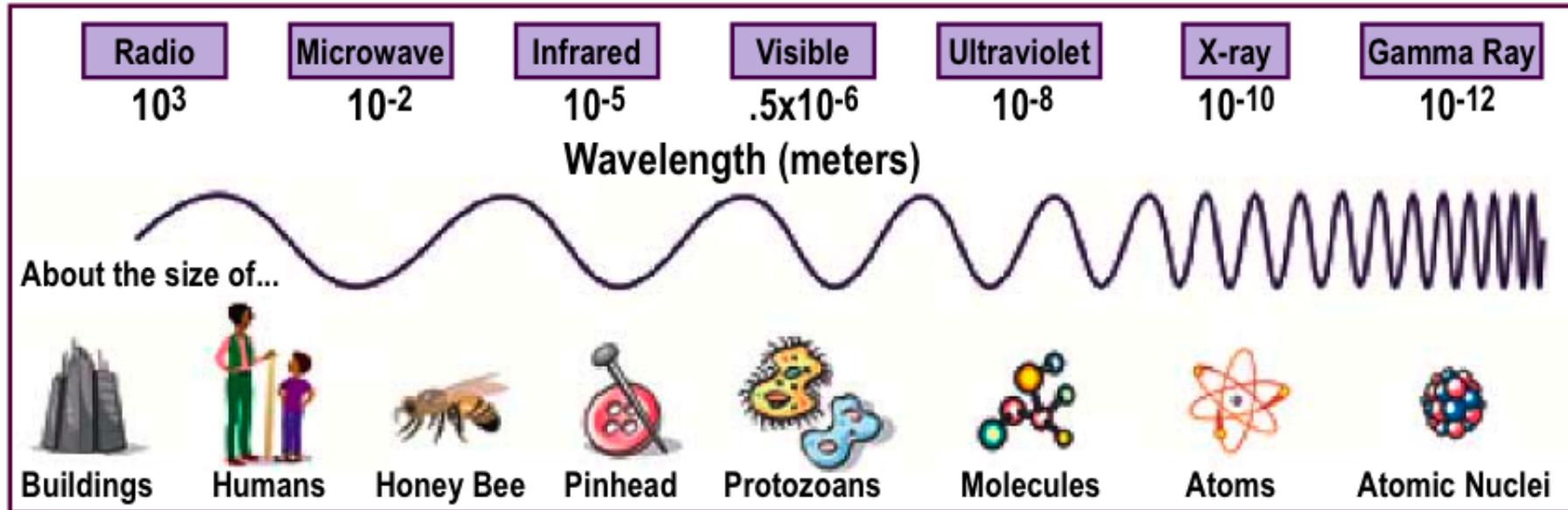


# Esperimenti nello spazio



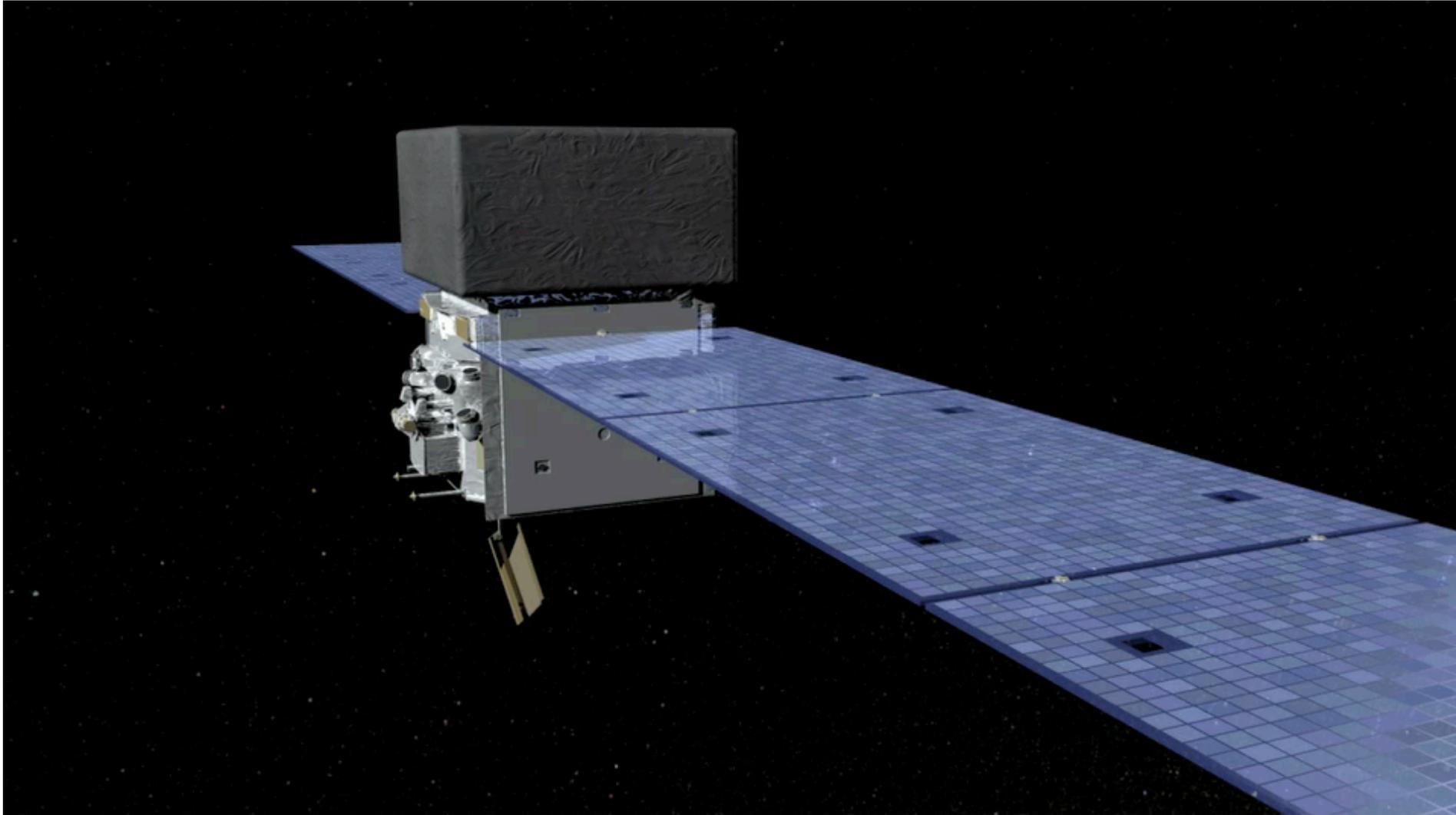
Fermi Space Science Gamma-  
ray Telescope

# Raggi Gamma

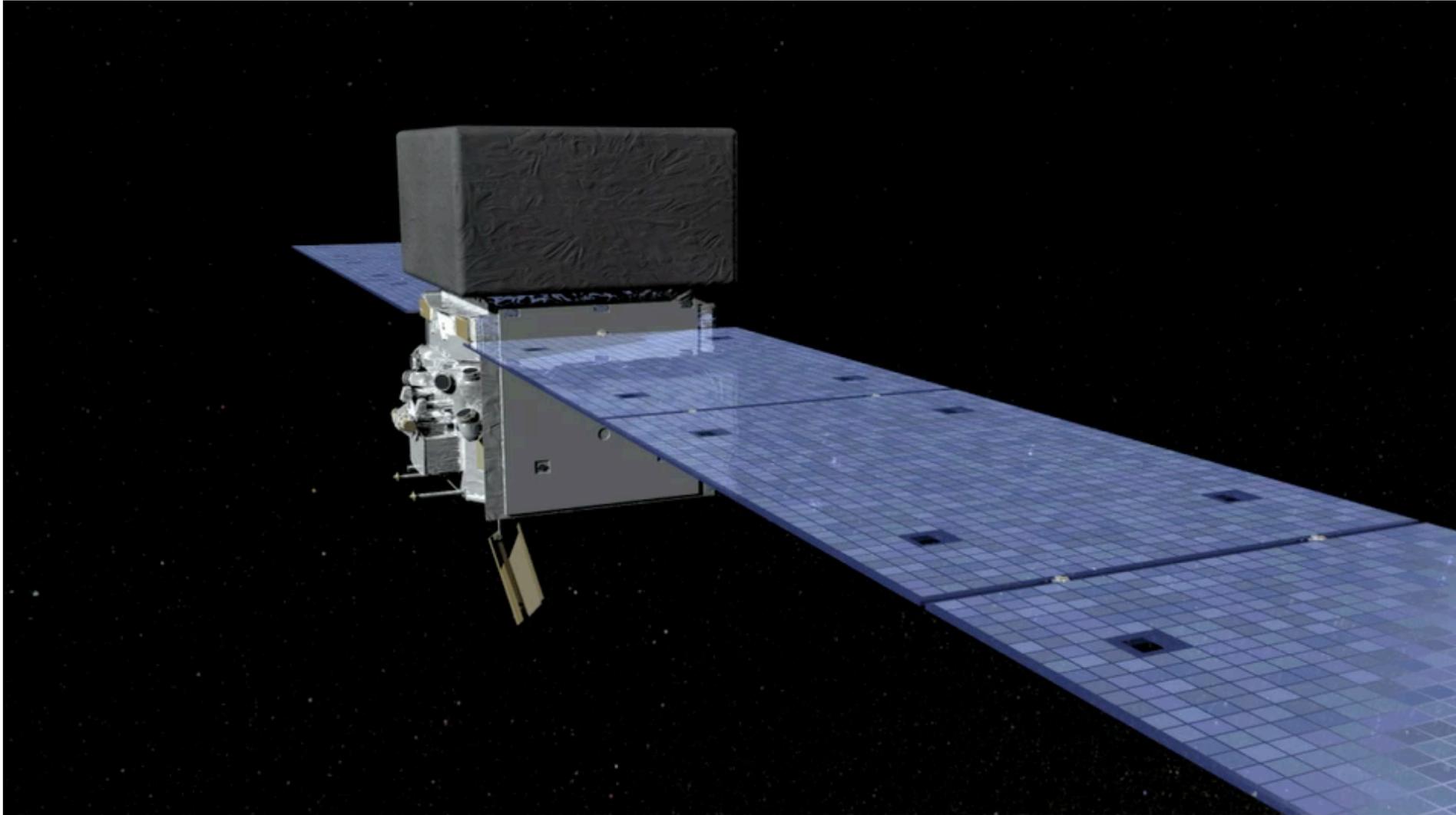


*Credit: NASA / Ruth Jennings*

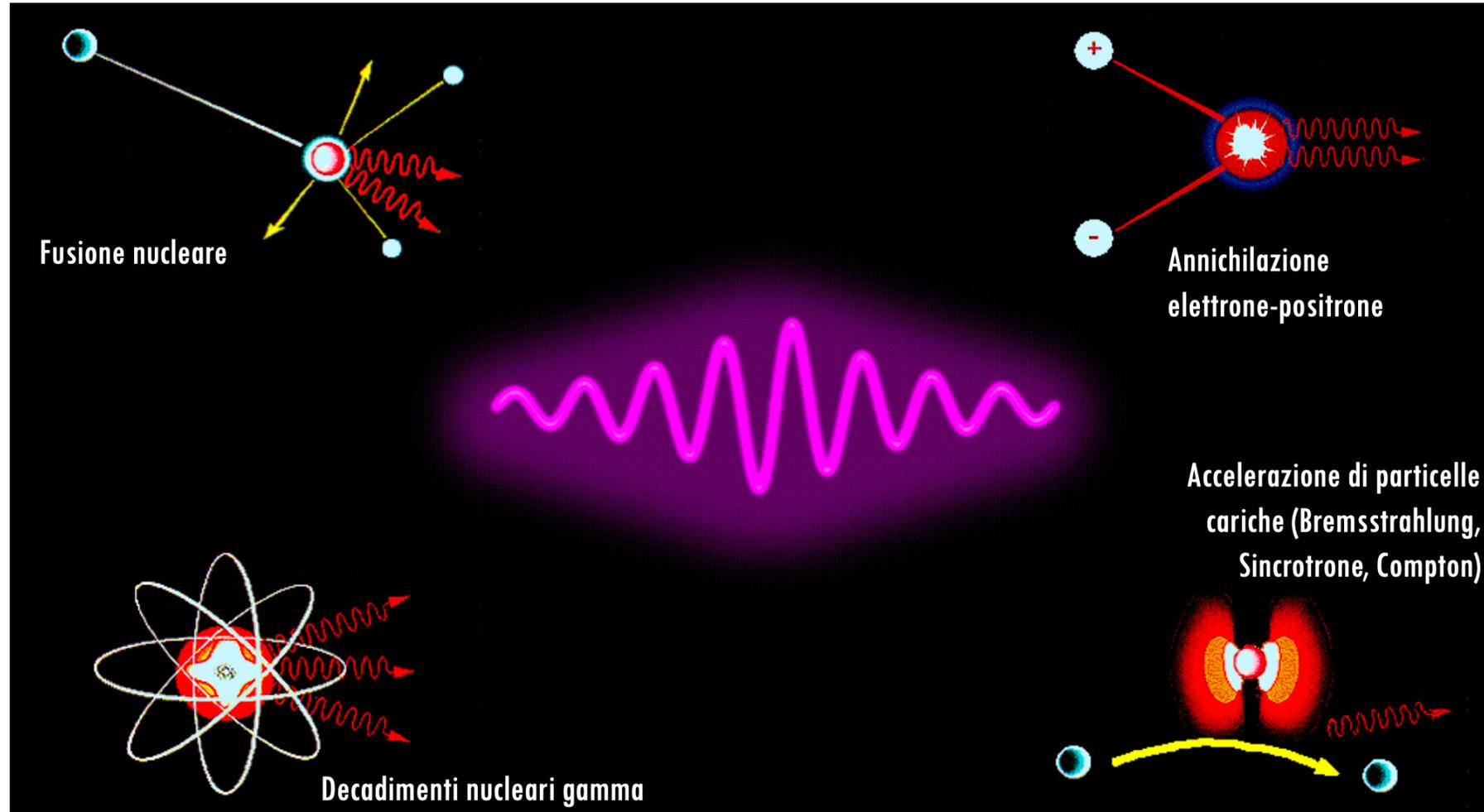
# Fermi Space Science Gamma-ray Telescope



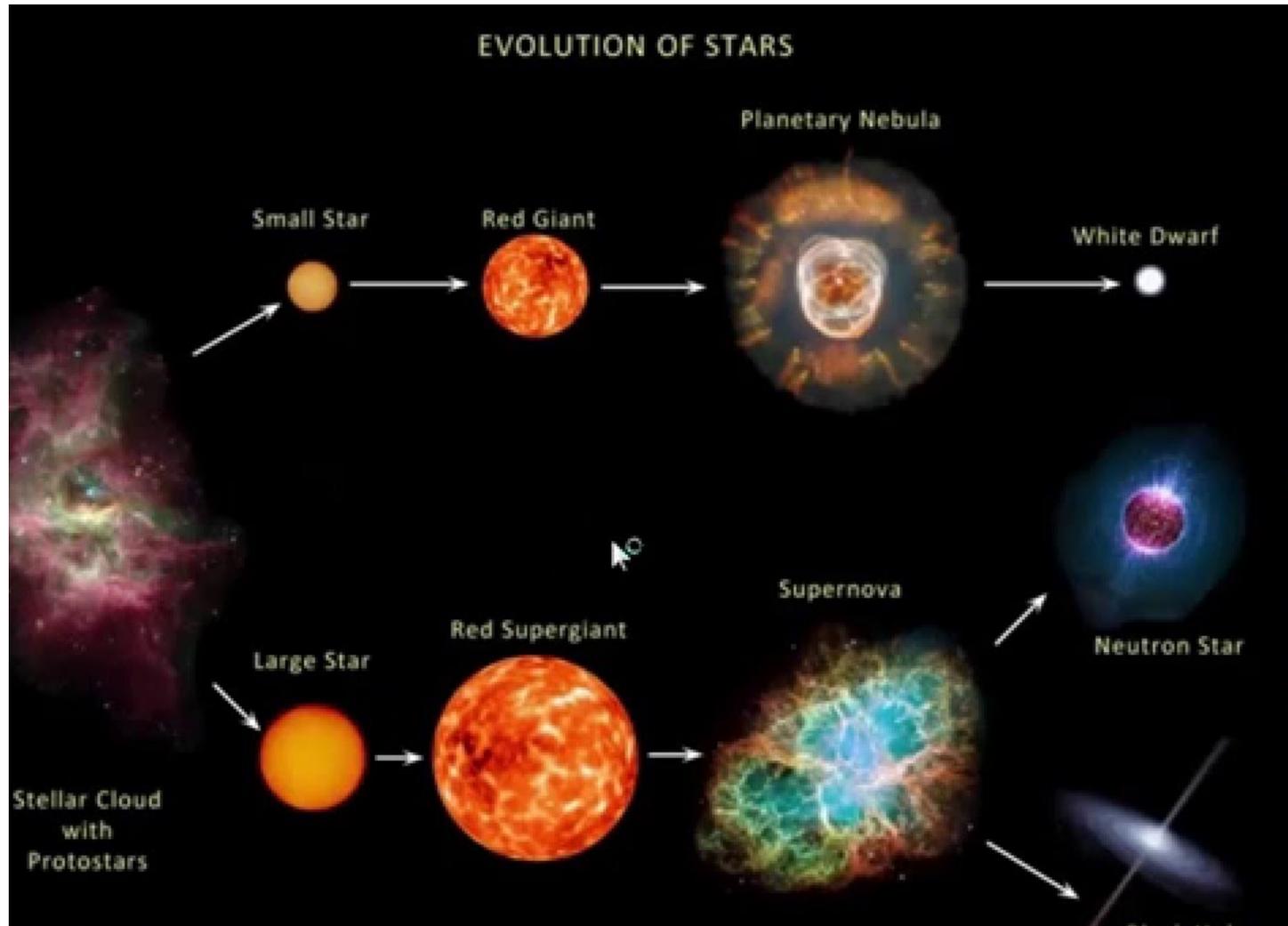
# Fermi Space Science Gamma-ray Telescope



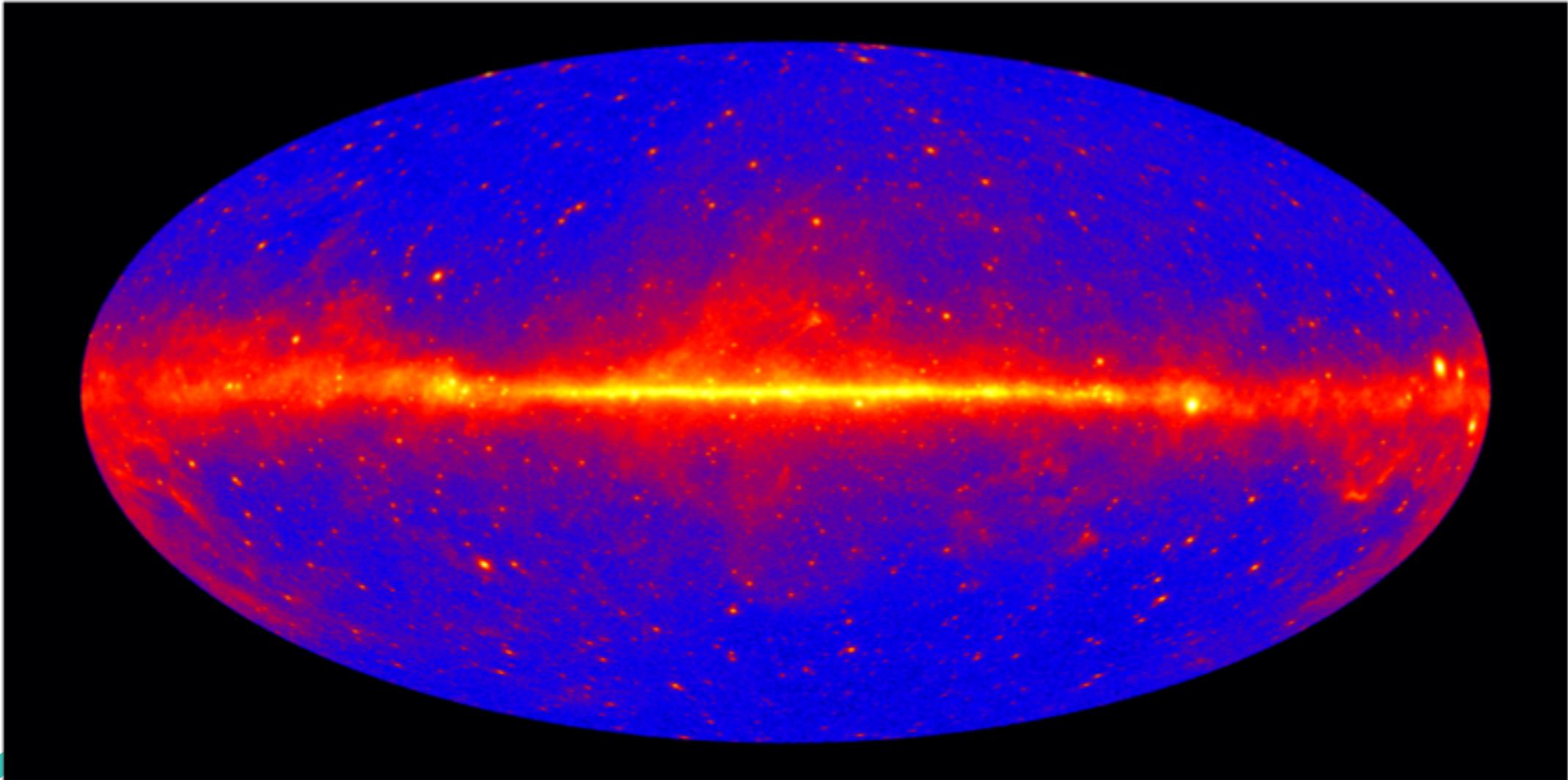
# Come vengono prodotti i raggi gamma

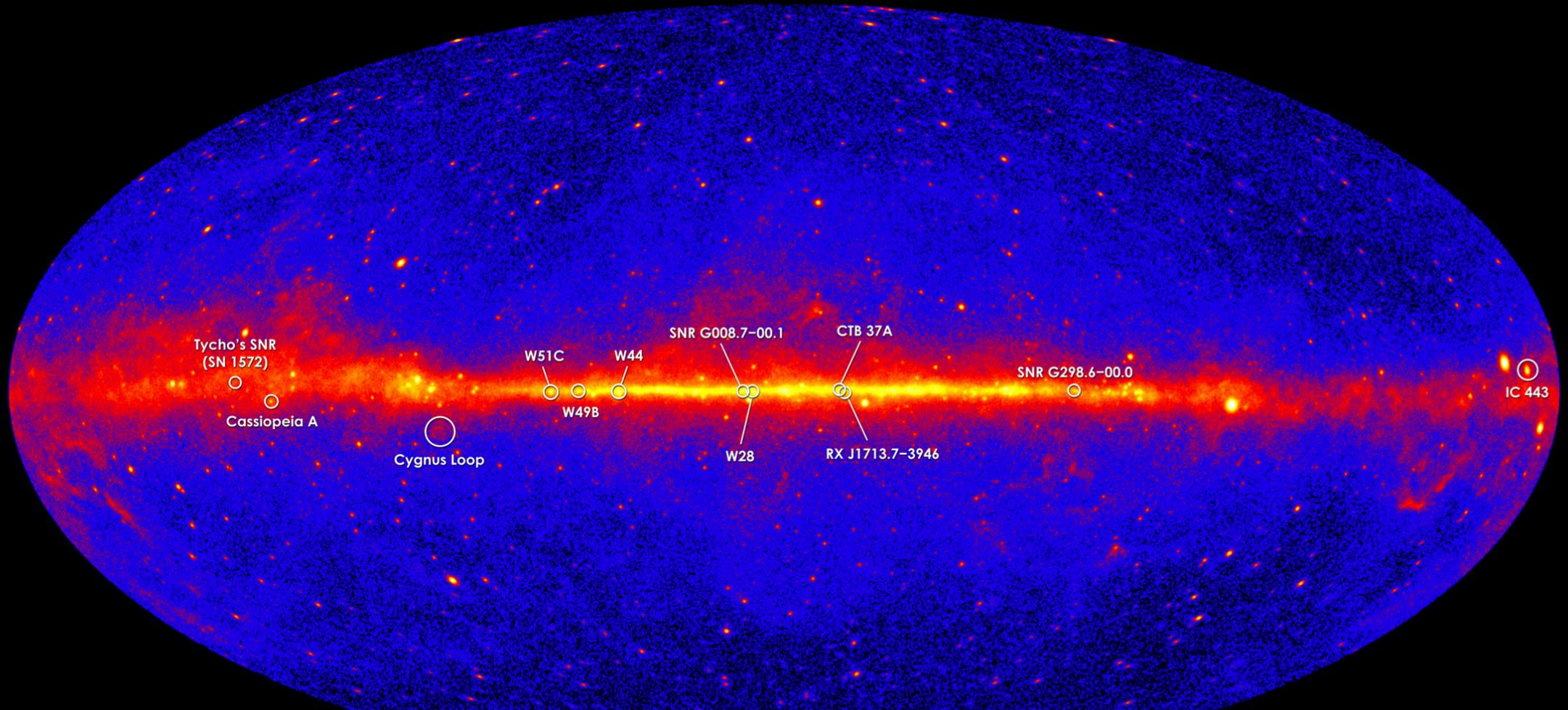


# Cosa studiamo attraverso i raggi gamma

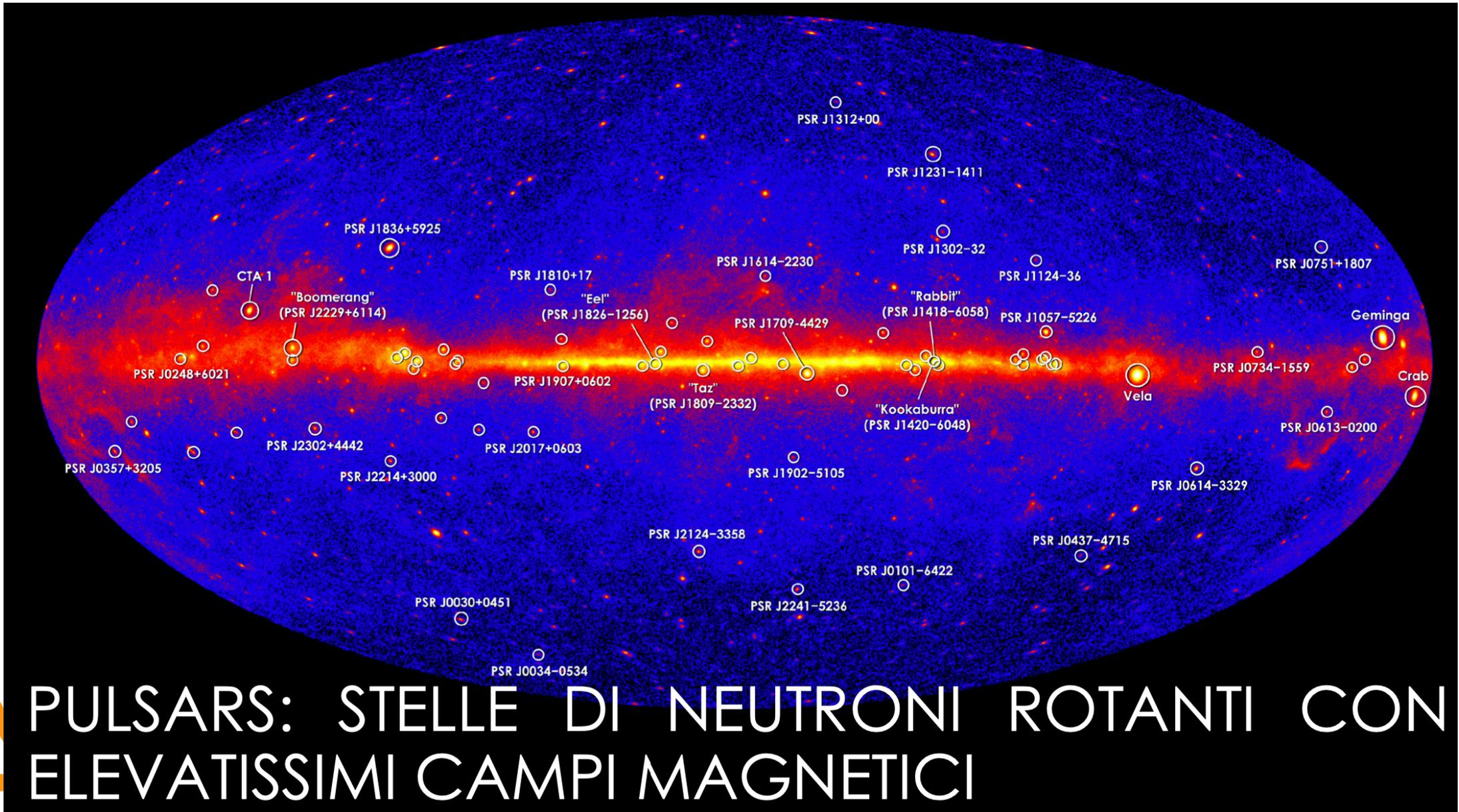


# L'universo visto attraverso gli occhi di Fermi



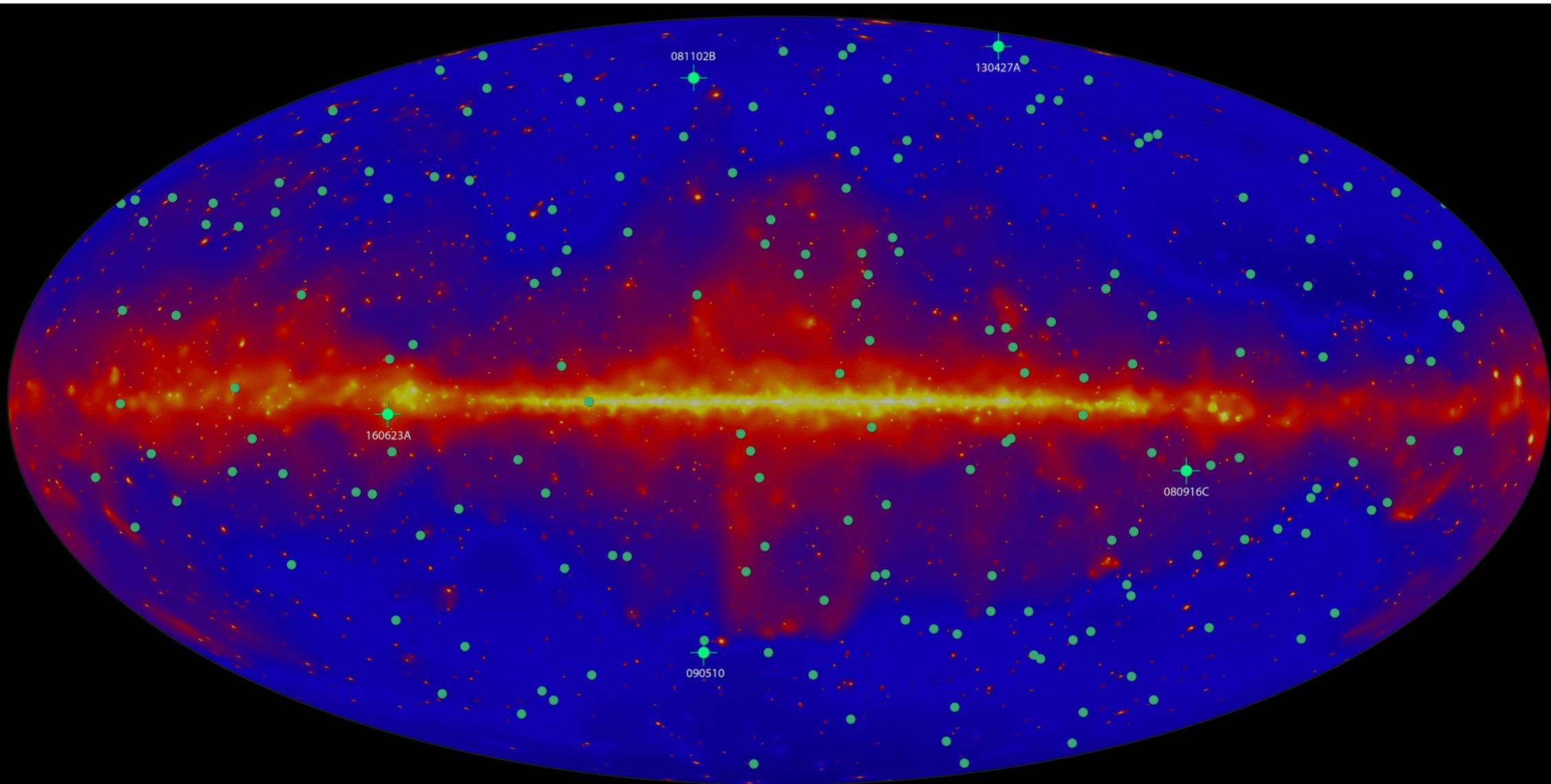


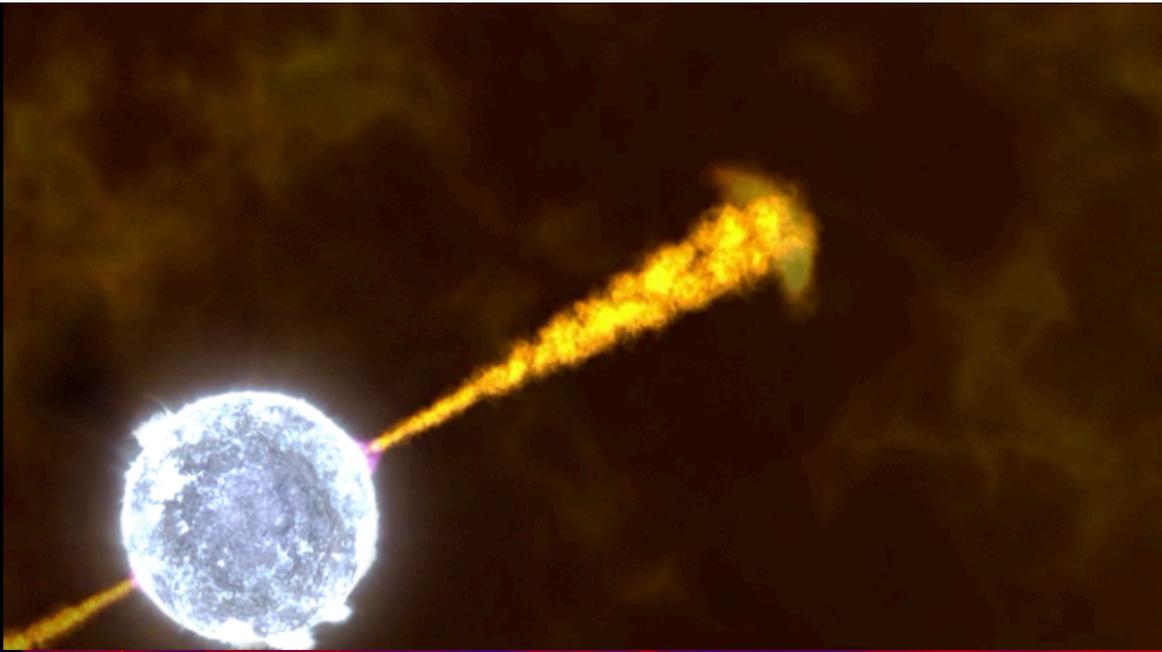
# RESTI DI SUPERNOVA: POTENTI SHOCK DOPO ESPLOSIONI STELLARI



PULSARS: STELLE DI NEUTRONI ROTANTI CON ELEVATISSIMI CAMPI MAGNETICI

# GAMMA RAY BURST (GRB): LAMPI DI RAGGI GAMMA





Long GRB (durata  $> 2$  secondi):  
Collasso di stella massiccia

Short GRB (durata  $< 2$  secondi):  
Fusioni di Stelle di Neutroni (o Buchi Neri)

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 848:L12 (59pp), 2017 October 20  
© 2017. The American Astronomical Society. All rights reserved.

<https://doi.org/10.3847/2041-8213/aa91e9>

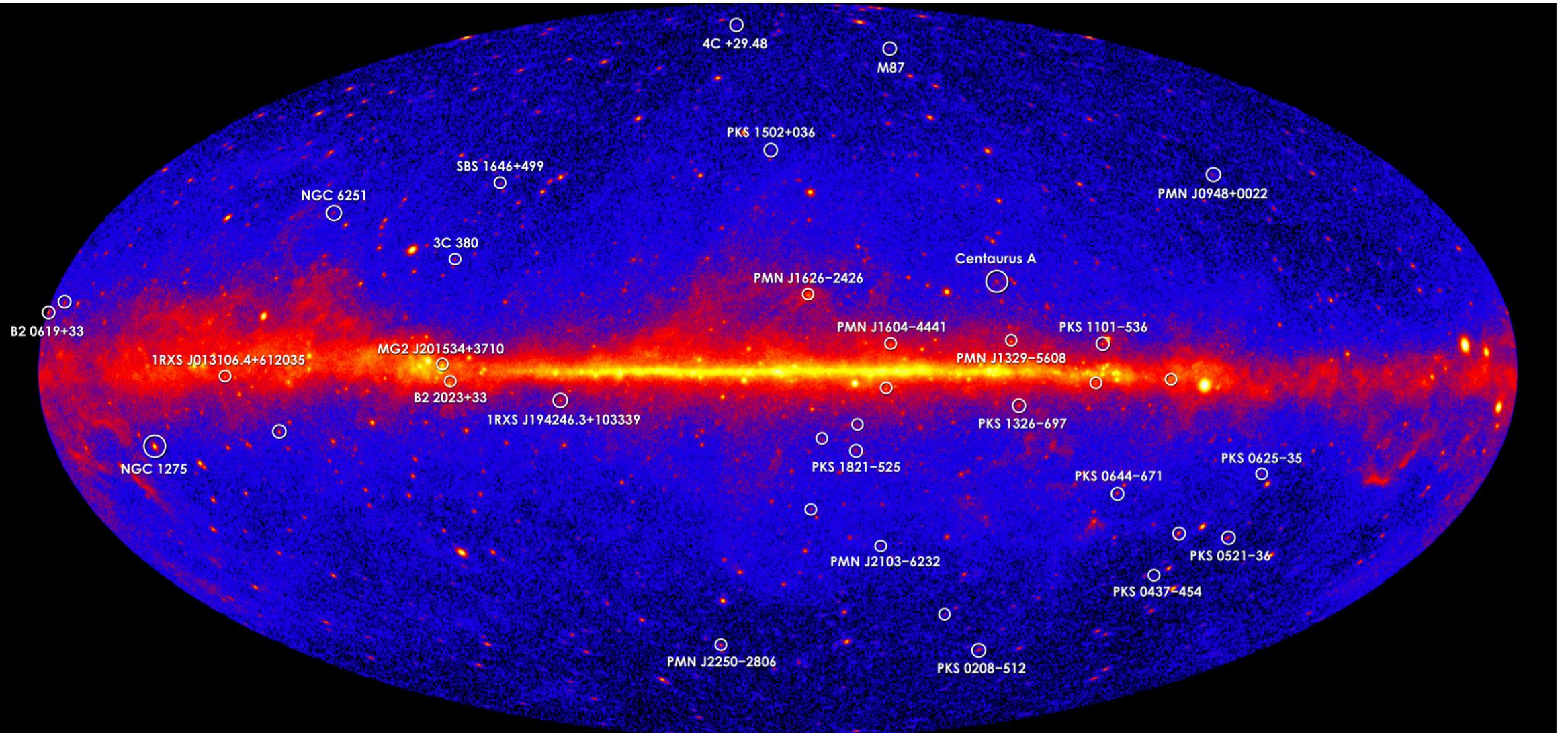
OPEN ACCESS



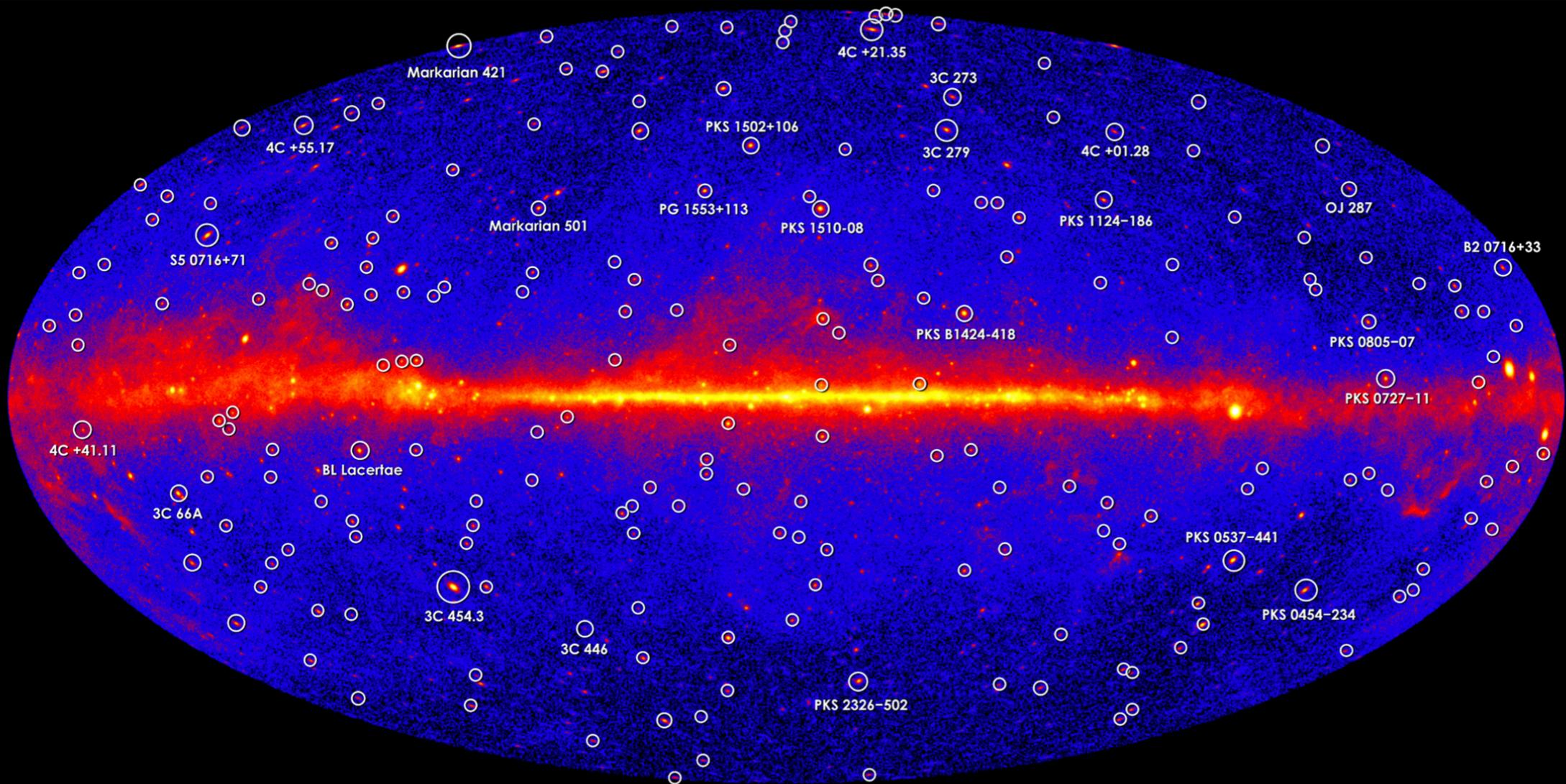
### Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger\*

LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration, Fermi GBM, INTEGRAL, IceCube Collaboration, AstroSat Cadmium Zinc Telluride Imager Team, IPN Collaboration, The Insight-HXMT Collaboration, ANTARES Collaboration, The Swift Collaboration, AGILE Team, The IM2H Team, The Dark Energy Camera GW-EM Collaboration and the DES Collaboration, The DLT40 Collaboration, GRAWITA: GRAVitational Wave Inaf TeAm, The Fermi Large Area Telescope Collaboration, ATCA: Australia Telescope Compact Array, ASKAP: Australian SKA Pathfinder, Las Cumbres Observatory Group, OzGrav, DWF (Deeper, Wider, Faster Program), AST3, and CAASTRO Collaborations, The VINROUGE Collaboration, MASTER Collaboration, J-GEM, GROWTH, JAGWAR, Caltech-NRAO, TTU-NRAO, and NuSTAR Collaborations, Pan-STARRS, The MAXI Team, TZAC Consortium, KU Collaboration, Nordic Optical Telescope, ePESSTO, GROND, Texas Tech University, SALT Group, TOROS: Transient Robotic Observatory of the South Collaboration, The BOOTES Collaboration, MWA: Murchison Widefield Array, The CALET Collaboration, IKI-GW Follow-up Collaboration, H.E.S.S. Collaboration, LOFAR Collaboration, LWA: Long Wavelength Array, HAWC Collaboration, The Pierre Auger Collaboration, ALMA Collaboration, Euro VLBI Team, Pi of the Sky Collaboration, The Chandra Team at McGill University, DFN: Desert Fireball Network, ATLAS, High Time Resolution Universe Survey, RIMAS and RATIR, and SKA South Africa/MeerKAT (See the end matter for the full list of authors.)

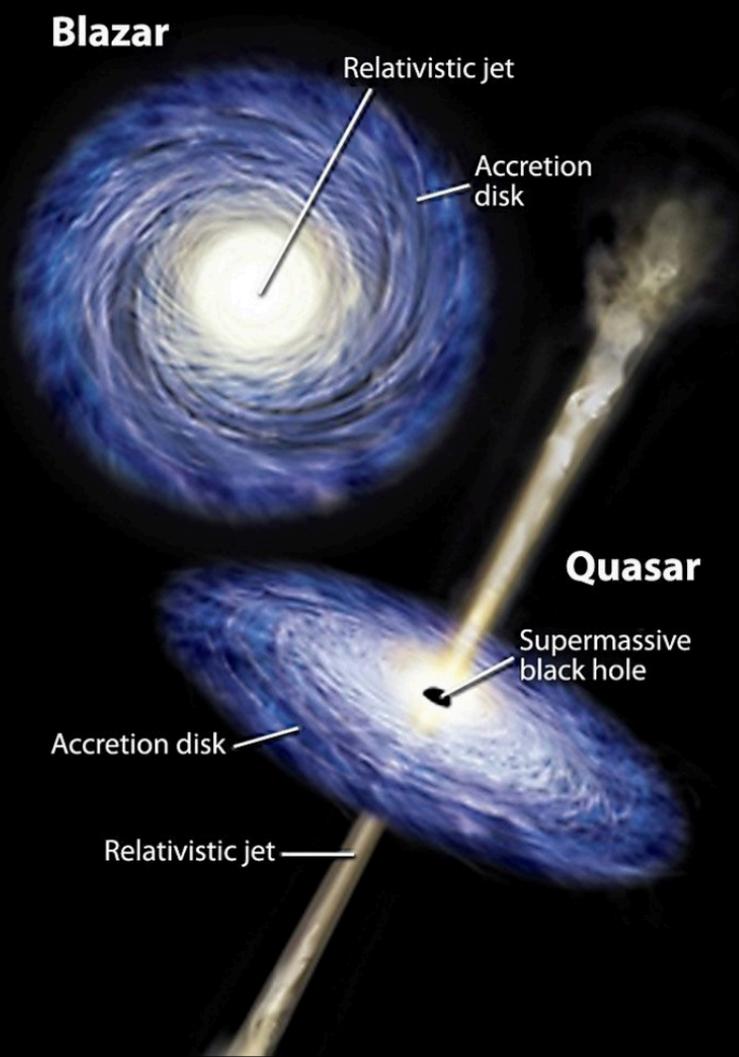
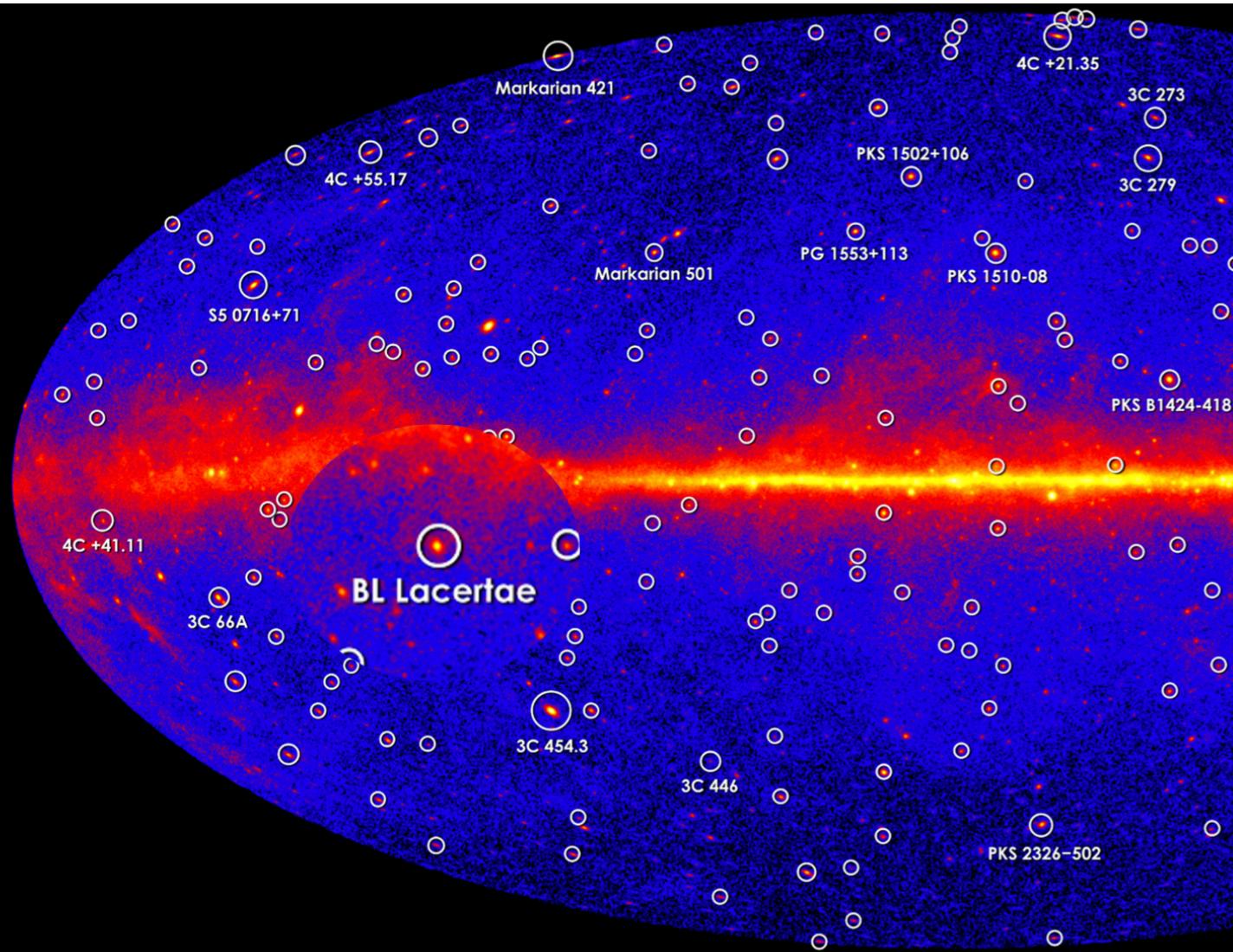
Onde  
Gravitazionali!



NUCLEI GALATTICI ATTIVI (AGN): BUCHI NERI SUPER  
MASSICCI CON ENORMI GETTI DI PARTICELLE

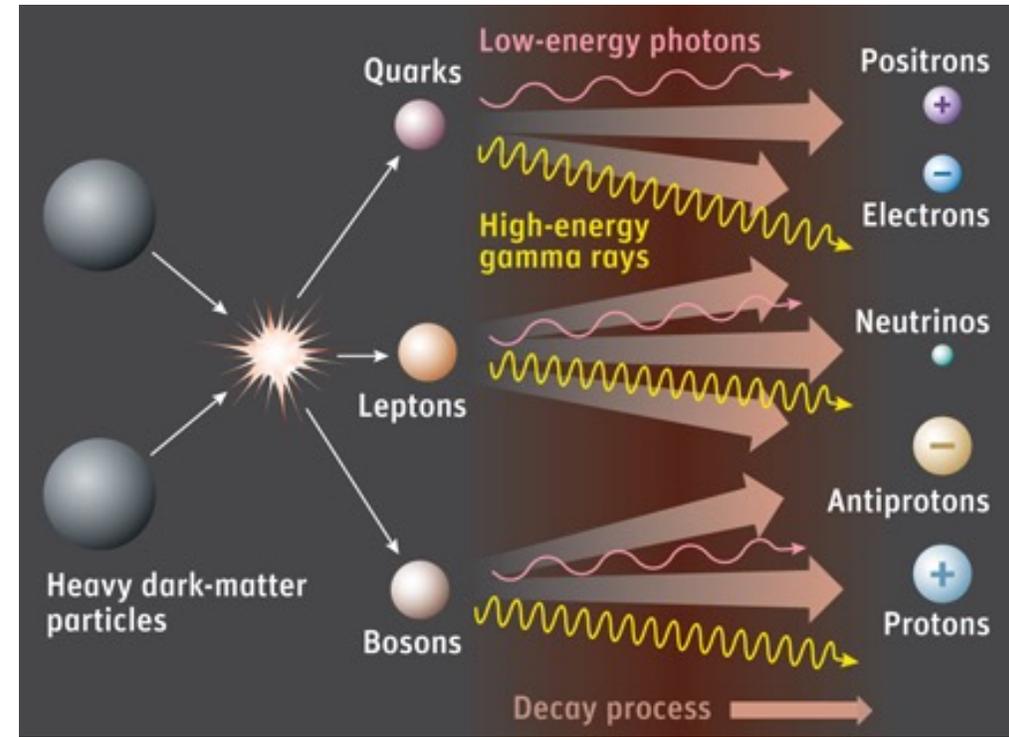
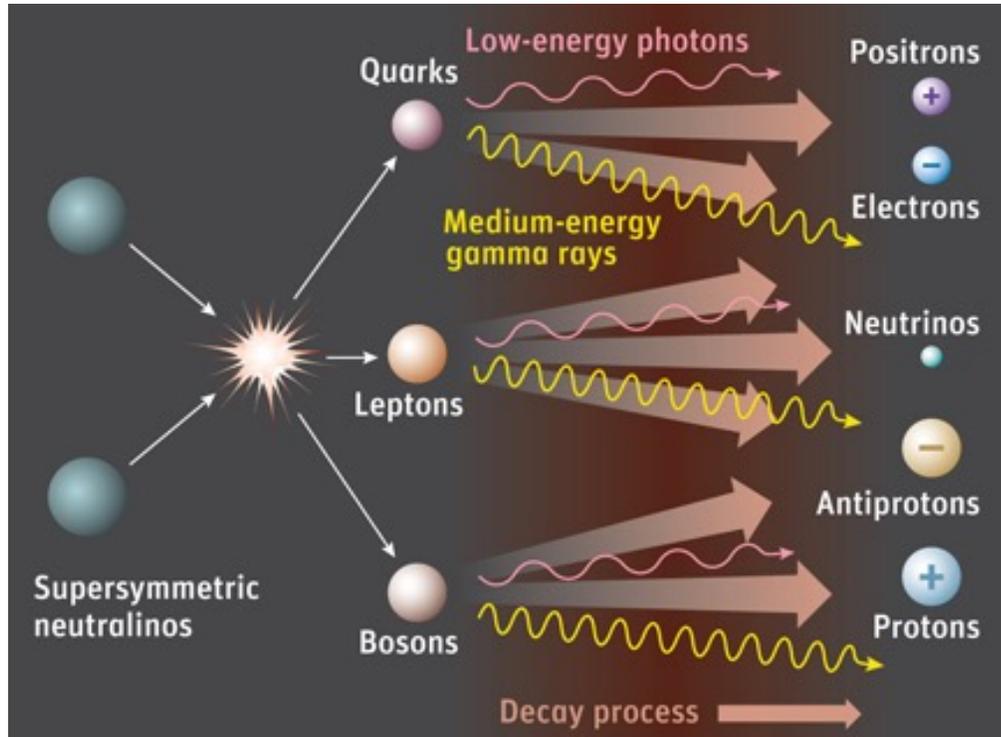


BLAZAR: IL GETTO È DIRETTO VERSO DI NOI



**BLAZAR: IL GETTO È DIRETTO VERSO DI NOI**

# Ricerca indiretta di materia oscura





Applicazioni

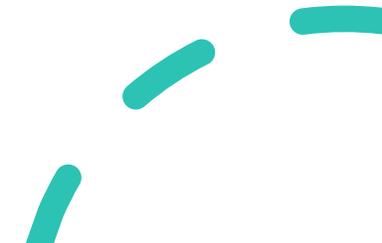


Fare **ricerca di base** vuol dire soddisfare il bisogno di conoscenza più profondo della natura e del suo funzionamento, dell'universo e della origine...della vita!

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!!**





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

# I due esempi più celebri

## Word Wide Web

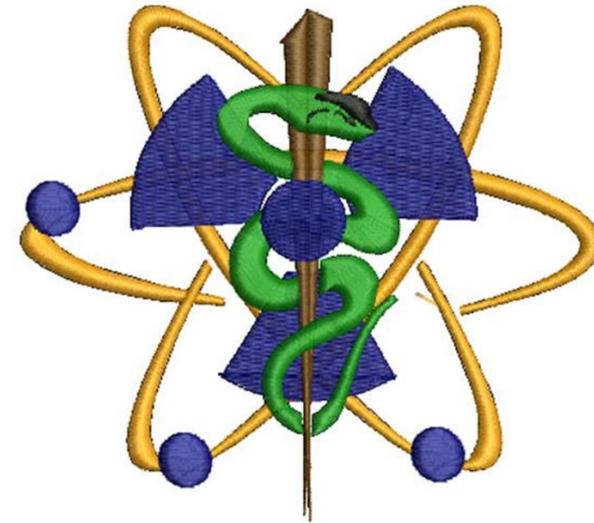


# I due esempi più celebri

## World Wide Web



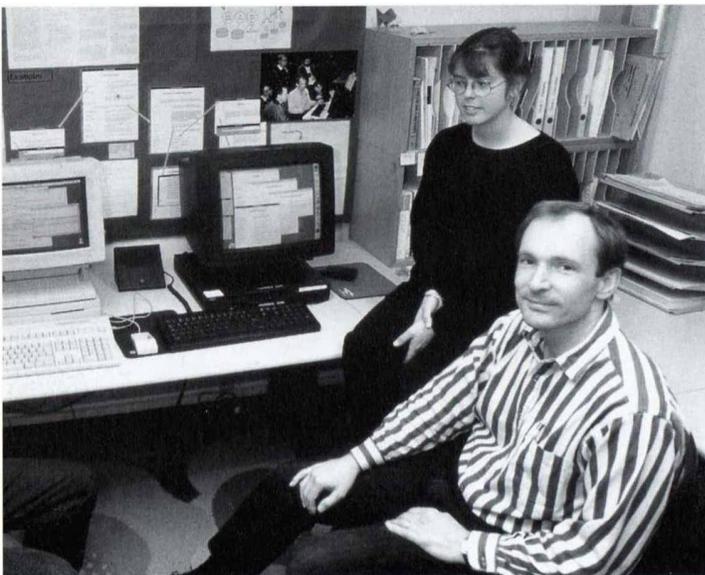
## Fisica medica



# Word Wide Web

La prima pagina web della storia è stata creata da un fisico del CERN Tim Bernes-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!

# Word Wide Web

...poi sappiamo tutti com'è andata!



# Word Wide Web

...poi sappiamo tutti com'è andata!



# Fisica medica

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



Ha continuato a svilupparsi negli anni, intensificandosi.

# 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

Connubio particolarmente vincente nella lotta ai tumori.

L'uso delle radiazioni ionizzanti e non ionizzanti trova ampio spazio:

- nella cura (radioterapia da acceleratori)
- nella diagnosi (TAC, PET, risonanza magnetica, ecografia)





Grazie

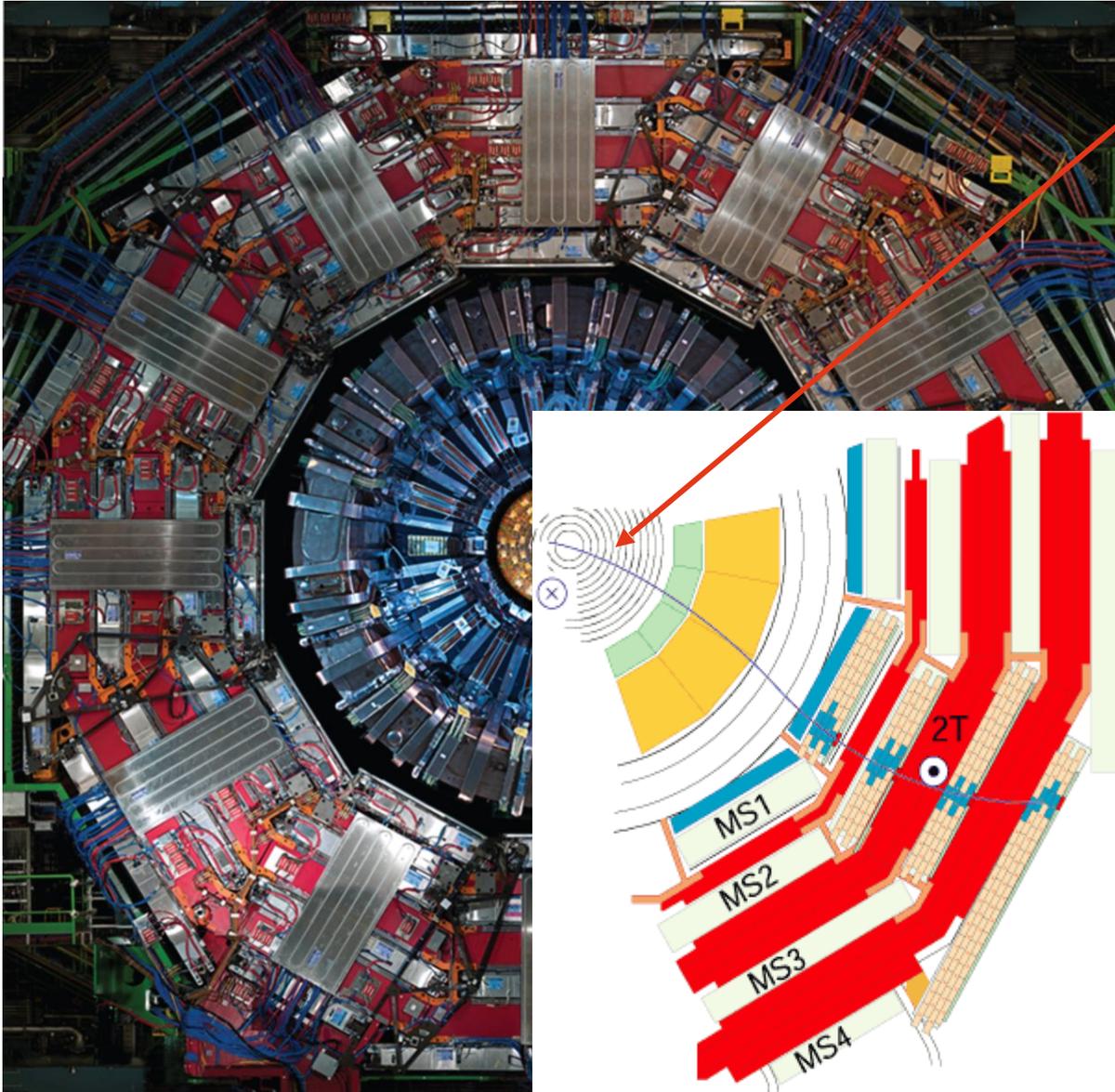
**Domande!**

Grazie

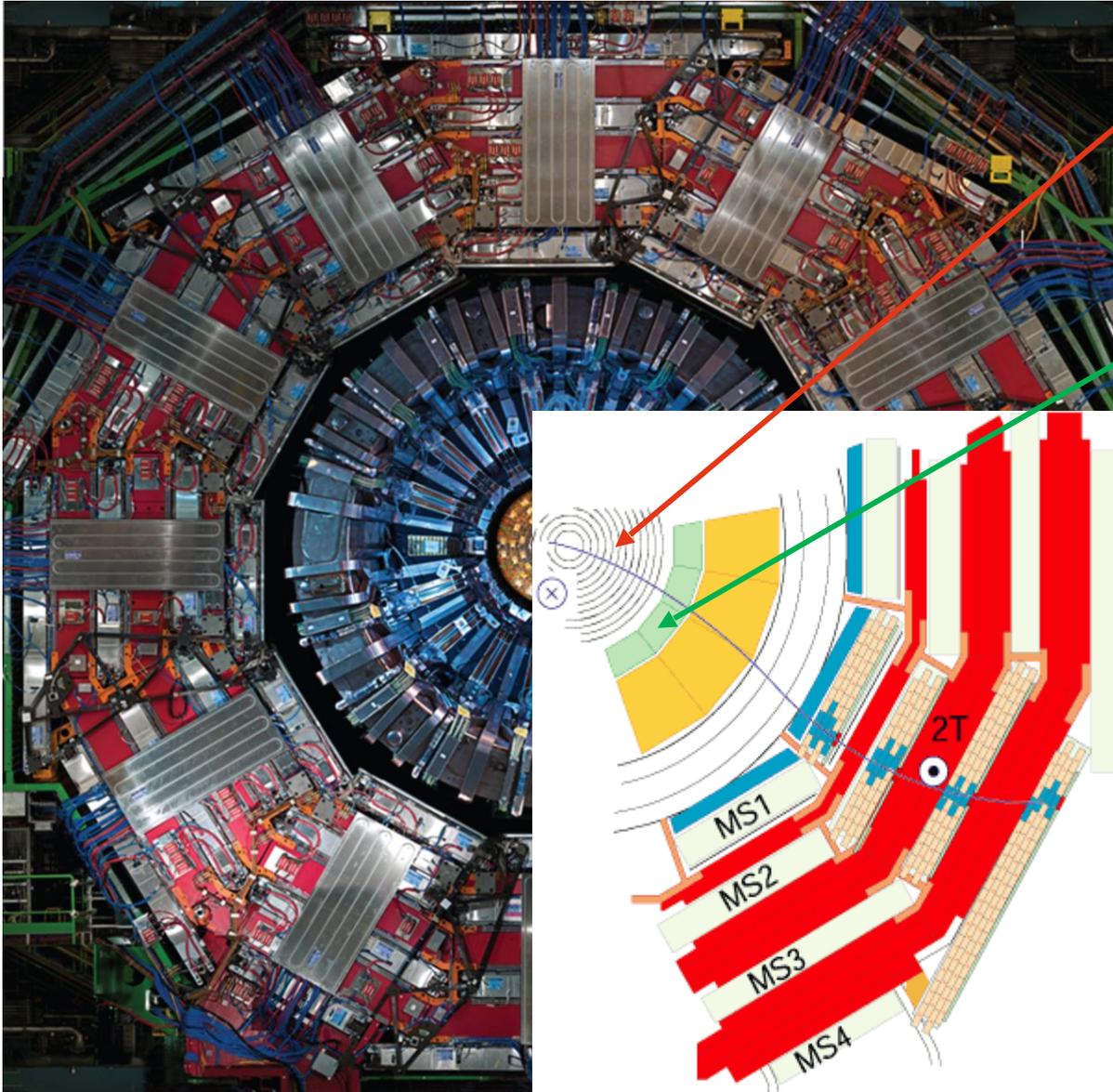


**Domande!**

backup

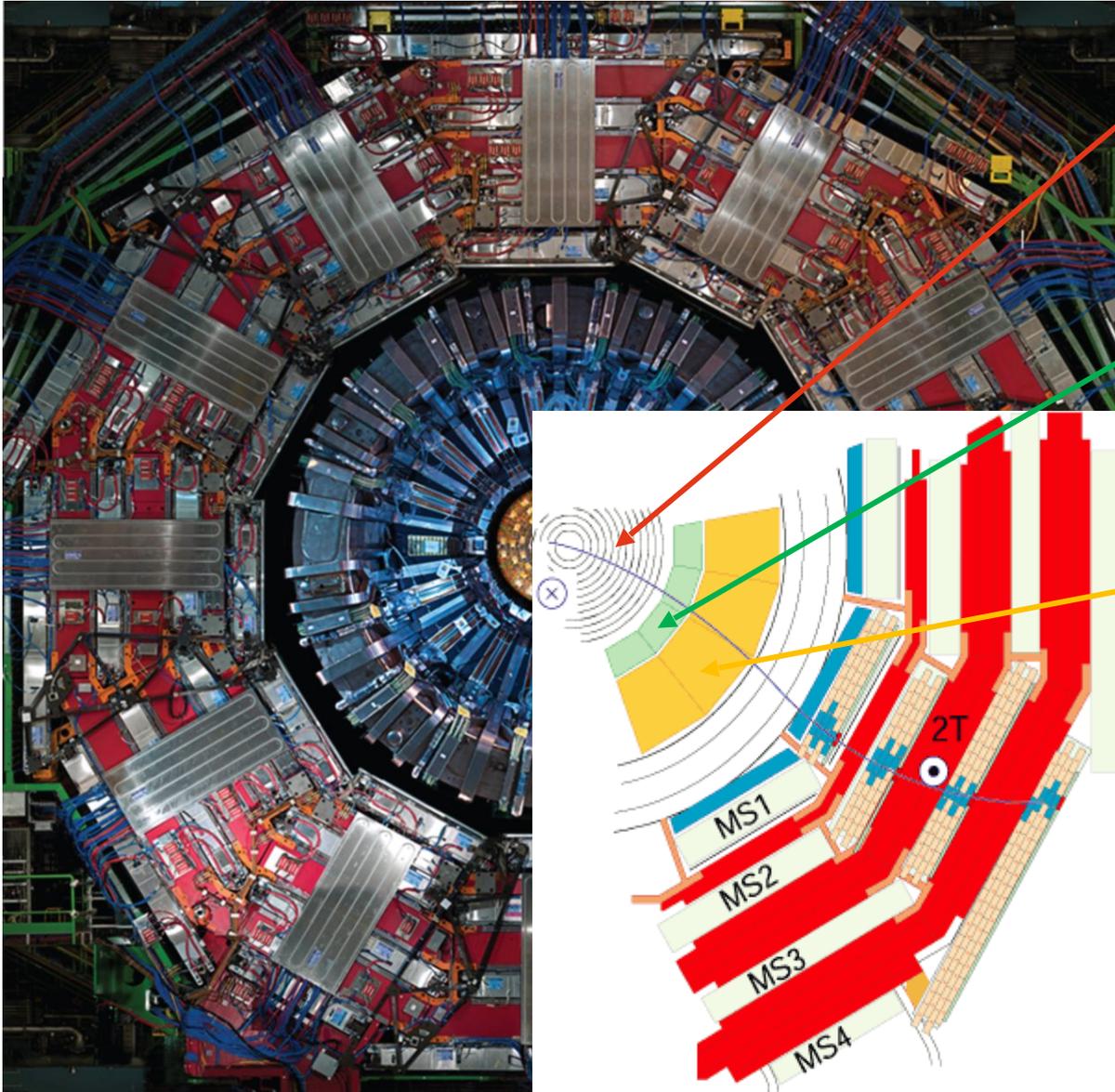


**Tracciatore:** serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.



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

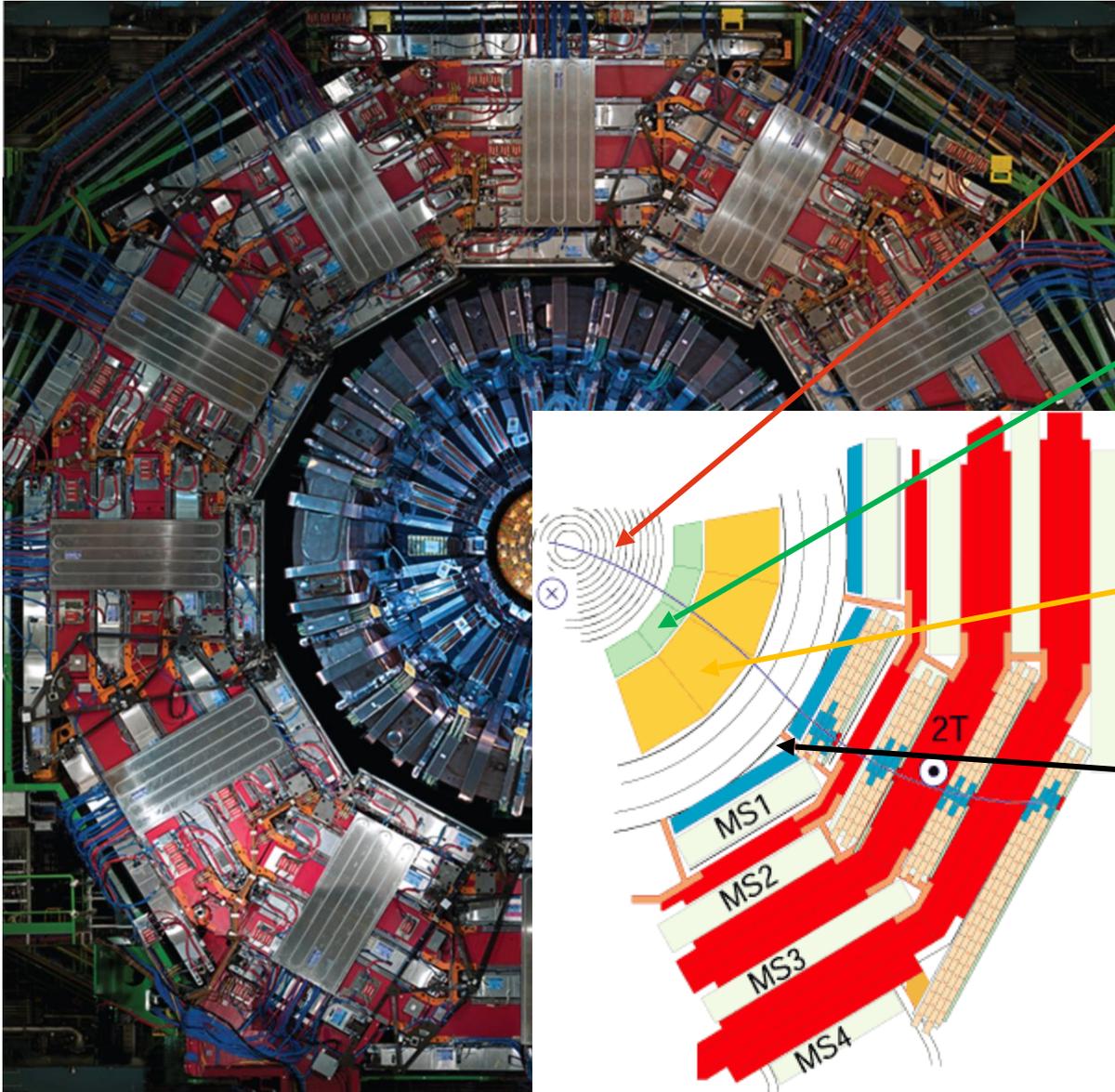
**Calorimetro elettromagnetico:** serve a misurare l'energia di elettroni e fotoni. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)



**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)

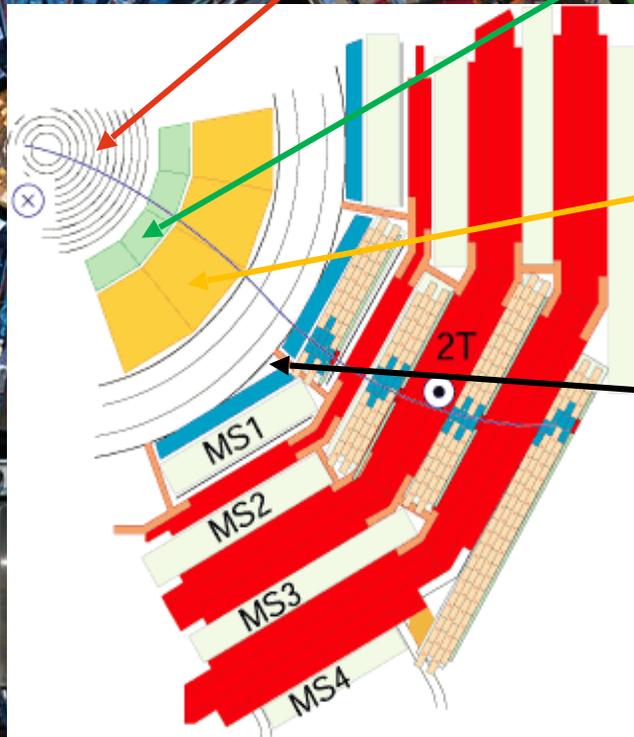


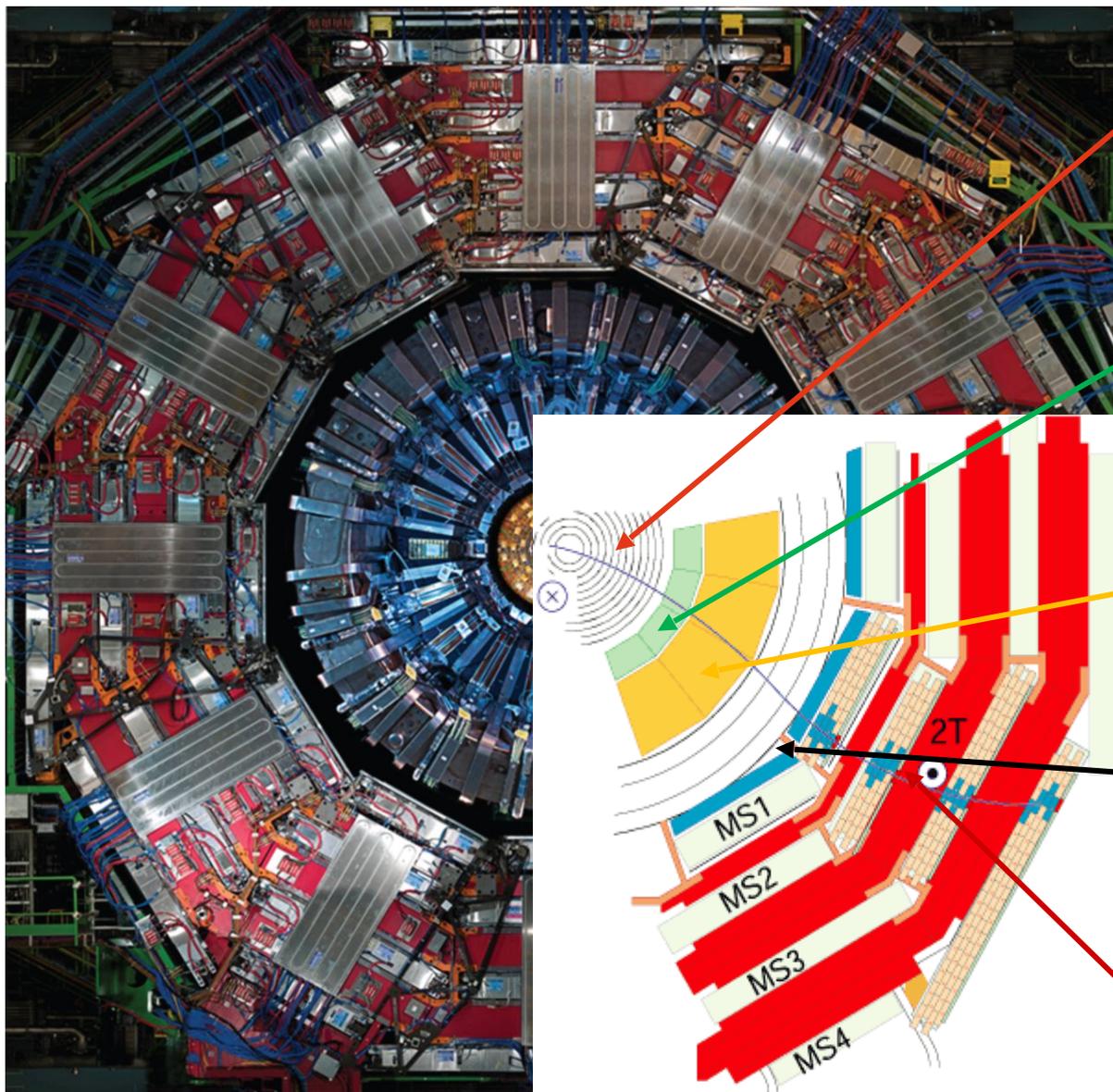
**Tracciatore:** serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.

**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.





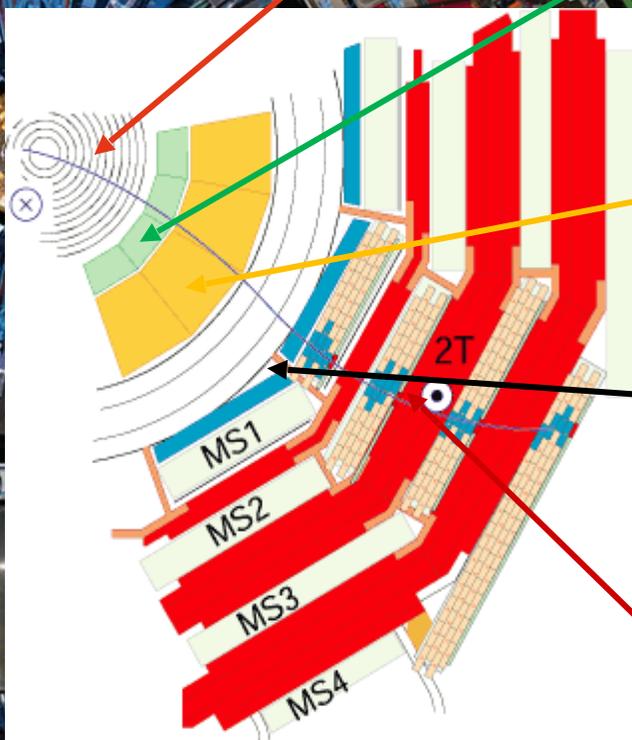
**Tracciatore:** serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.

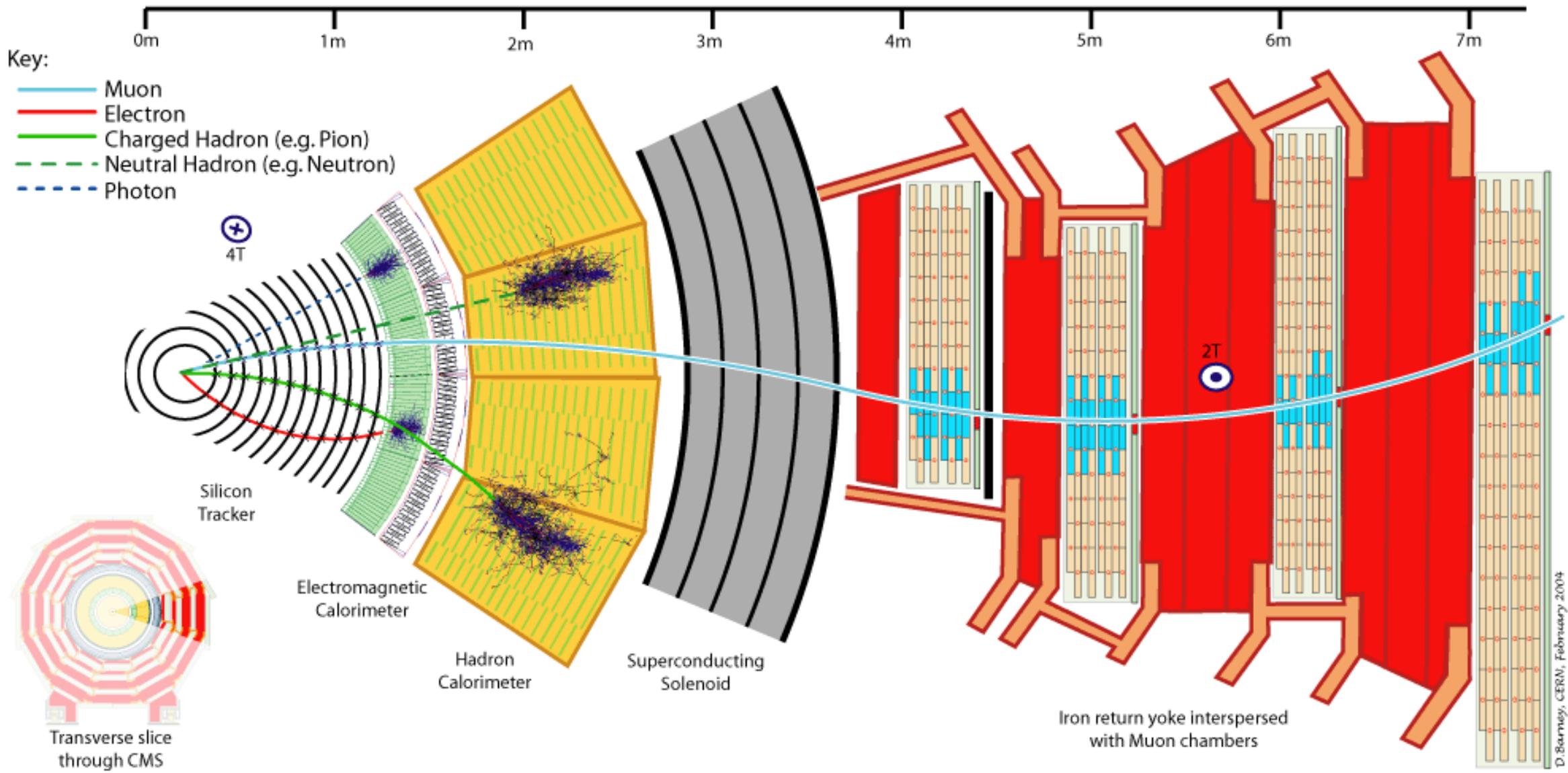
**Calorimetro elettromagnetico:** serve a misurare l'energia di elettroni e fotoni. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

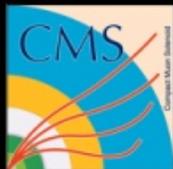
**Calorimetro adronico:** serve a misurare l'energia degli adroni, sia carichi che neutri. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

**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.



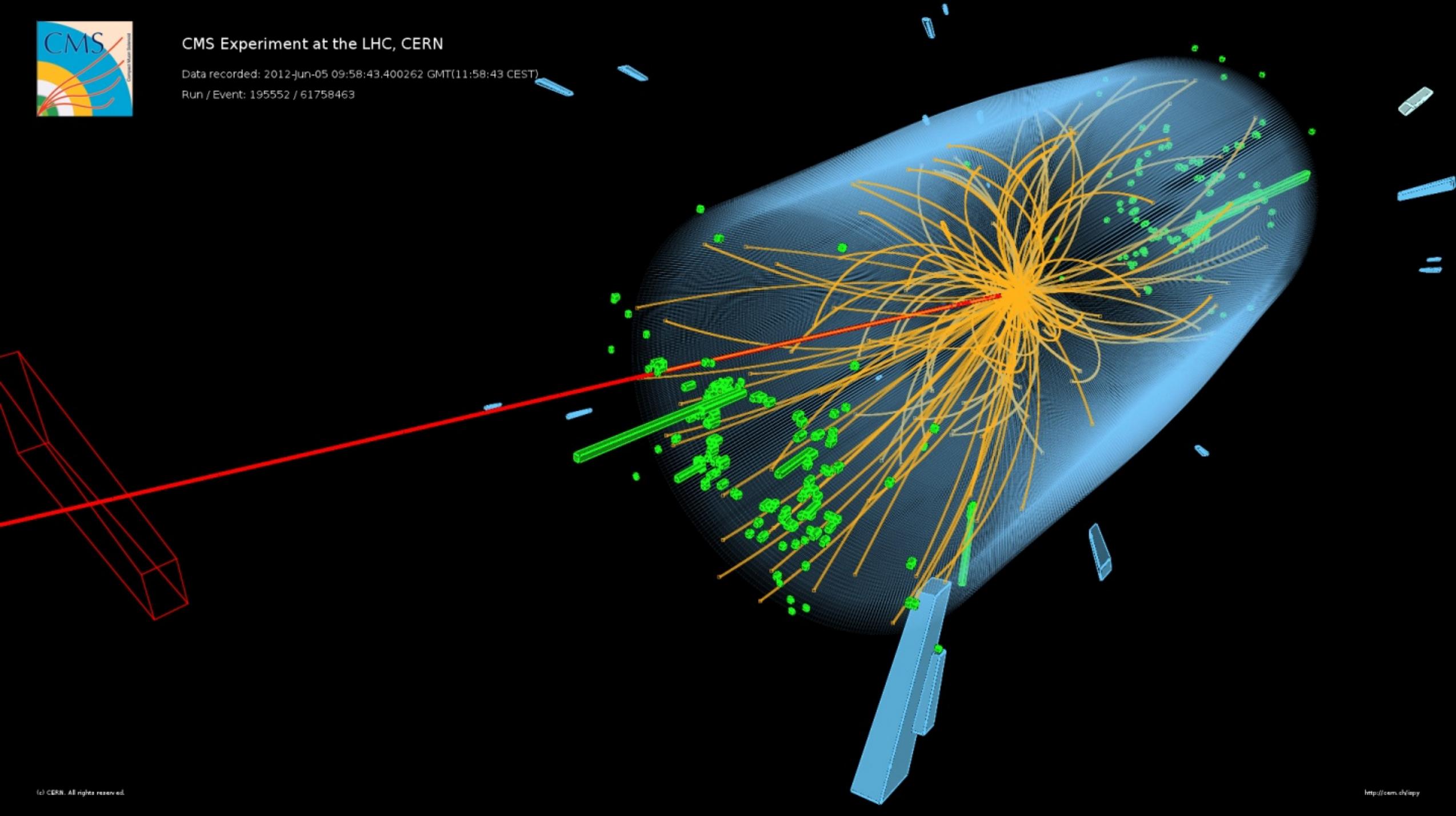




# CMS Experiment at the LHC, CERN

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

Run / Event: 195552 / 61758463



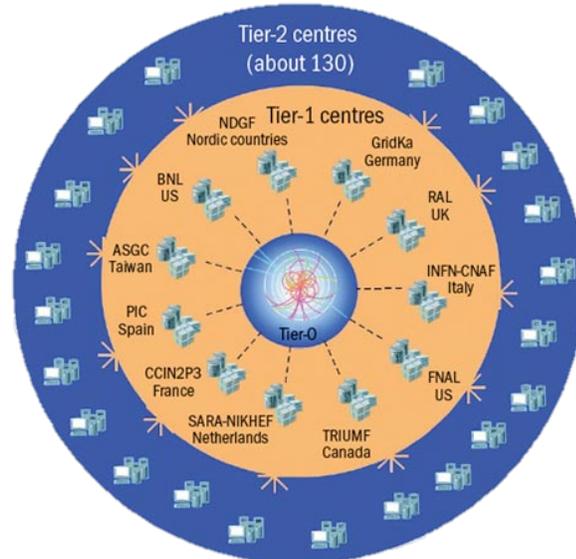
# Come si analizzano i dati?

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.

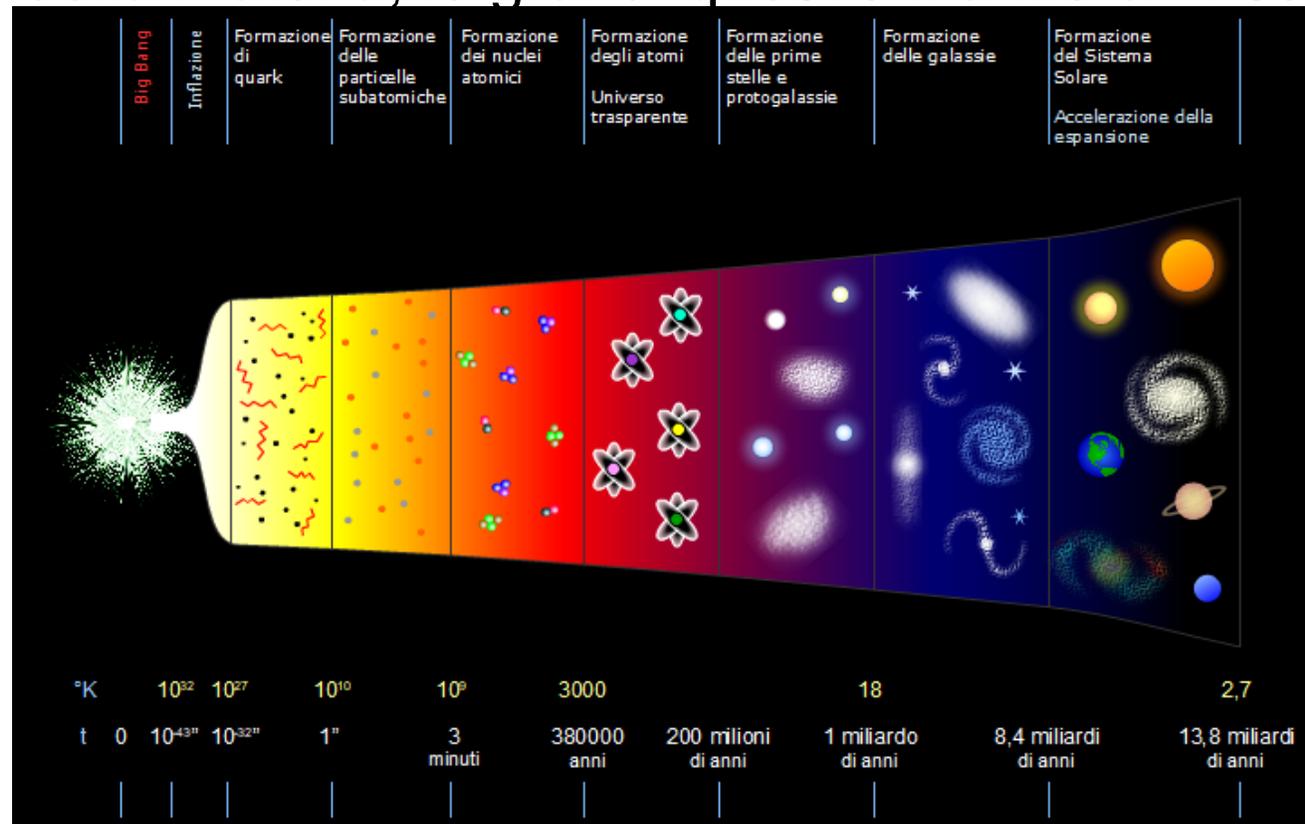
Serve una rete mondiale:  
la GRID



# A cosa serve CMS?

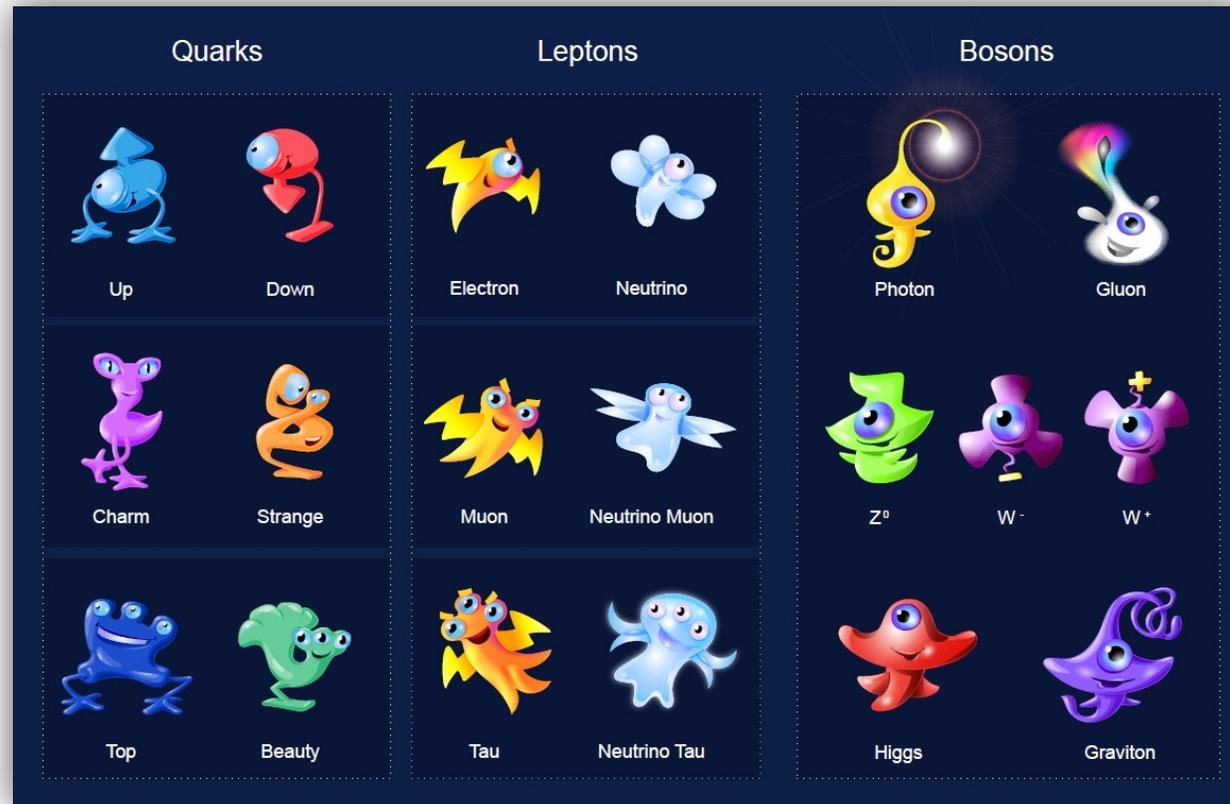
In laboratori come il CERN si fa **ricerca di base**

- 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**

