

Art & Science ACROSS ITALY

La divulgazione scientifica attraverso il linguaggio dell'Arte



*Firenze
Genova
Milano
Napoli
Padova/Venezia
Pisa/Livorno
Potenza/Matera
Roma
Torino*

Rino Castaldi
INFN Sezione di Pisa
(rino.castaldi@pi.infn.it)

Le fasi del progetto

I Fase: Formazione

Seminari a scuola

Visite ai laboratori INFN e dip. Fisica

Visite ai musei e strutture legate all' INFN

Teatro/Cinema

2019

II Fase: Progettazione

Elaborazione del progetto

30 Aprile 2019

Approvazione del progetto

20 Maggio 2019

III Fase: Esecuzione

Esecuzione del progetto

Approvazione del progetto

18 ottobre 2019

approvati

approvati

N.B. Tutte le date "locali" sono tentative e verranno confermate nelle prime settimane del 2019!

Nov/Dic 2019

Mostra locale

vincitori

Convention e mostra nazionale (Napoli)

Aprile 2020

Master al CERN

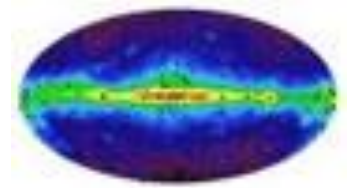
Settembre 2020

vincitori

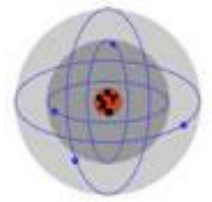
L' I.N.F.N. è l'ente pubblico che promuove e coordina la ricerca per lo studio dei costituenti fondamentali della materia e svolge la sua attività, teorica e sperimentale, nei campi della fisica subnucleare, nucleare e astroparticelle.



FISICA DELLE PARTICELLE



FISICA ASTROPARTICELLARE



FISICA NUCLEARE



FISICA TEORICA



RICERCA TECNOLOGICA

INFN-Sezione di Pisa: Edificio C

Ricercatori/Esperimenti

| Anno | Number of researchers | Number of experiments |
|------|-----------------------|-----------------------|
| 1960 | ~20 | ~5 |
| 1970 | ~80 | ~10 |
| 1980 | ~140 | ~15 |
| 1990 | ~230 | ~20 |
| 2000 | ~300 | ~25 |
| 2005 | ~350 | ~30 |

Art & Science across Italy

Dall'infinitamente grande all'infinitamente piccolo
per far luce sulle leggi dell' Universo

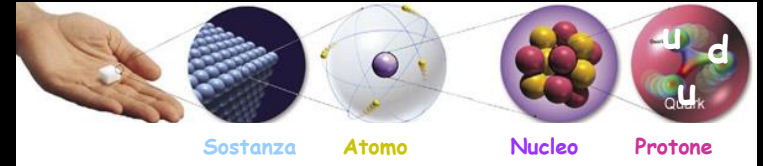
Lo spazio profondo

FISICA ASTROPARTICELLARE

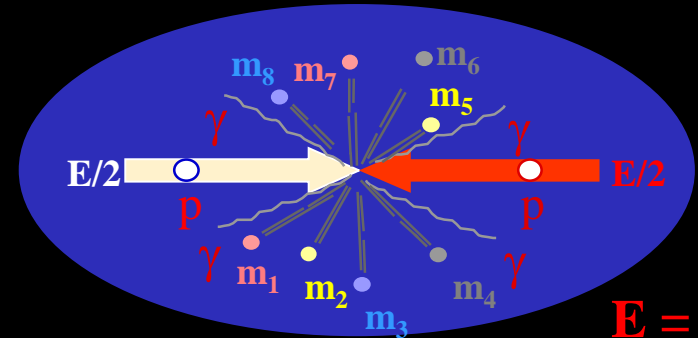
FISICA NUCLEARE

FISICA TEORICA

particelle elementari



Acceleratori di particelle



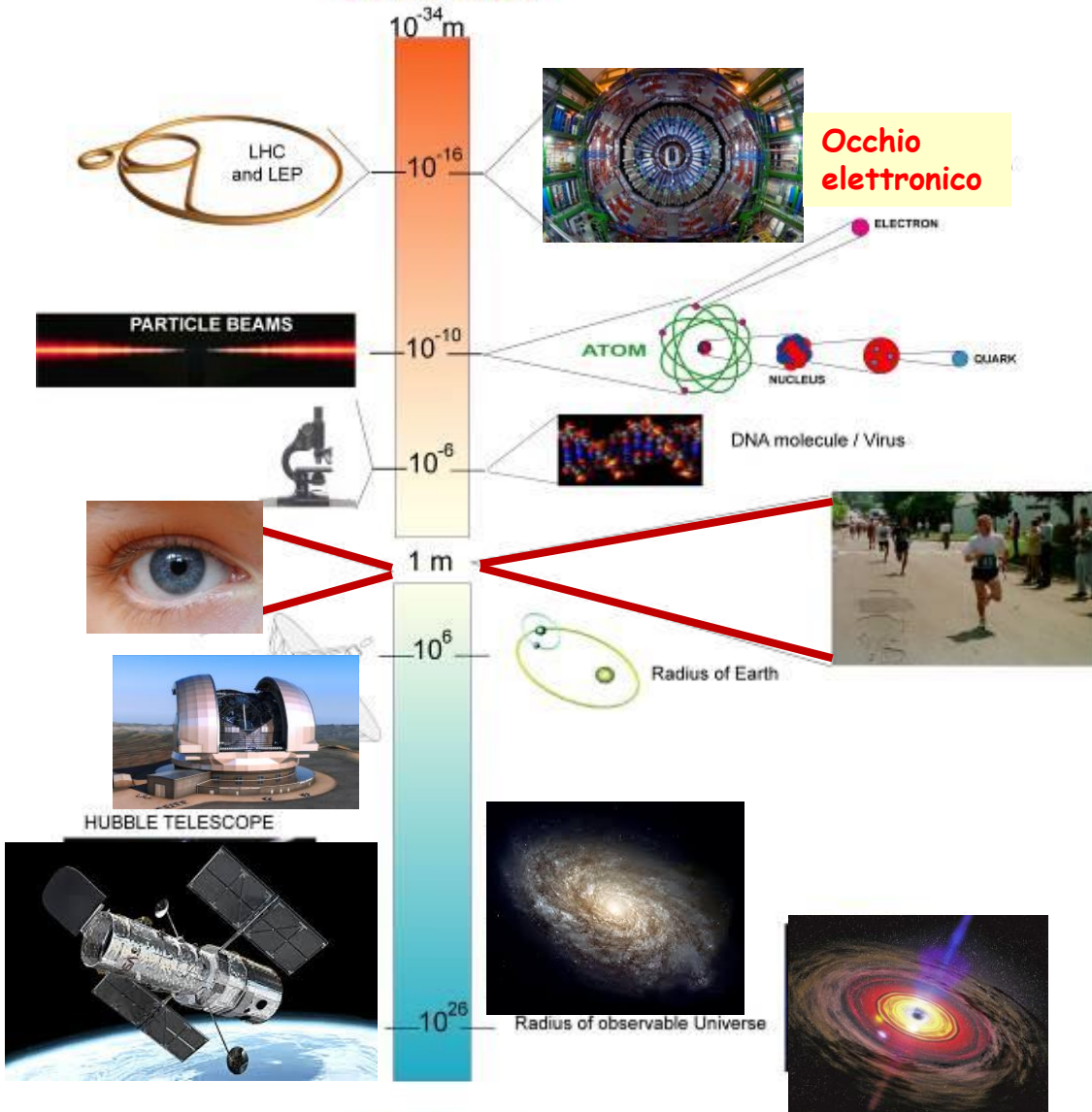
Nella collisione vengono prodotte molte
particelle sia di materia che di antimateria

FISICA DELLE PARTICELLE

FISICA TEORICA

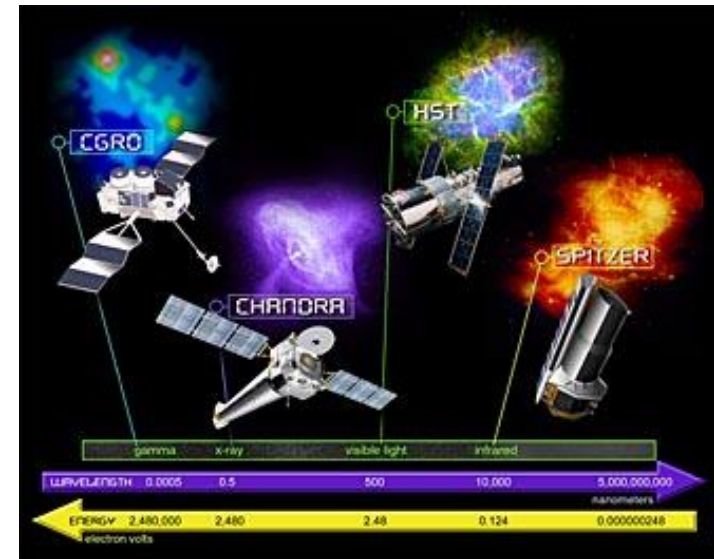
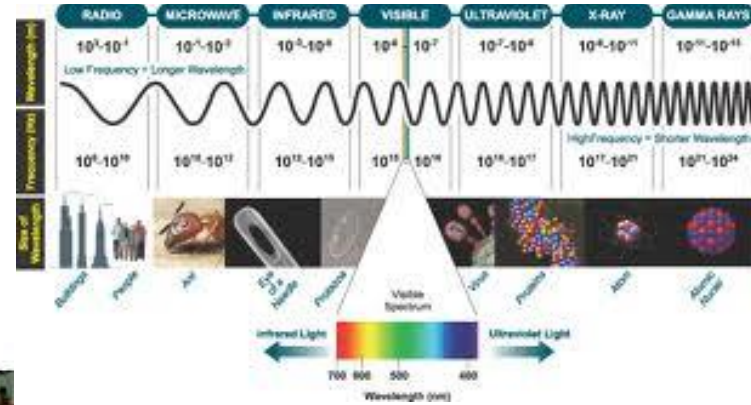
La nostra capacità di conoscere il mondo che ci circonda dipende dagli strumenti che utilizziamo !

The BIG BANG



La lunghezza d'onda con cui si osserva deve essere più piccola dell'oggetto osservato.
Sono necessari acceleratori di particelle:

$$\lambda = h/p$$



The Universe

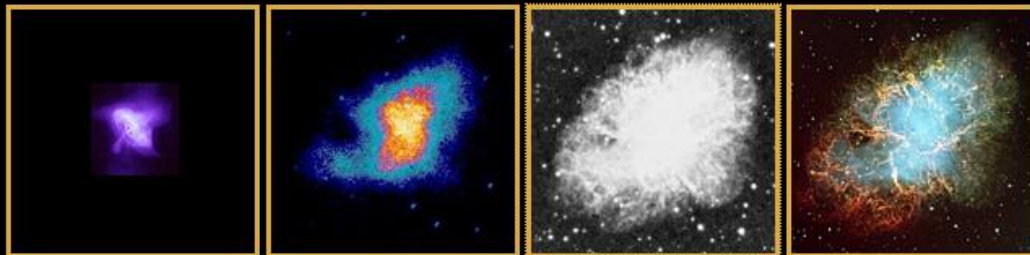
L'Universo non visto dai nostri occhi

Guardando a frequenze (energie) diverse si vedono immagini molto diverse che dipendono dai processi di emissione a quelle frequenze

Distance: 6300 light-years (1.9 kpc)

Image Size = 6.5 x 6.5 arcmin

Visual Magnitude = 8.4

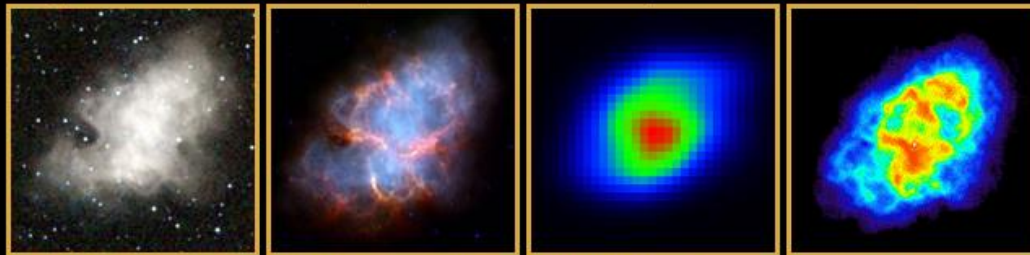


X-Ray: Chandra

Ultraviolet: ASTRO-1

Visible: DSS

Visible: Color VLT



Near-Infrared: 2MASS

Mid-Infrared: Spitzer

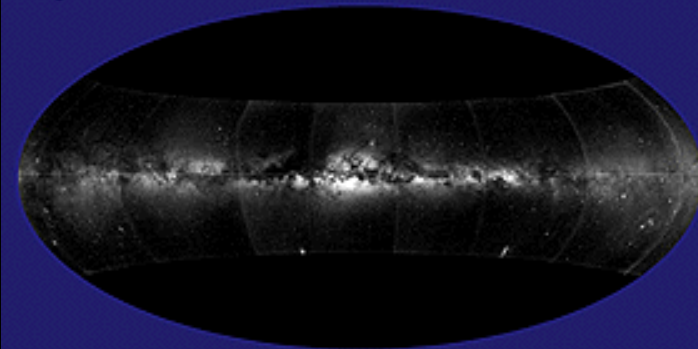
Far-Infrared: IRAS

Radio: NRAO

The Crab Nebula is the remnant of a supernova explosion that was seen on Earth in 1054 AD. It is 6000 light years from Earth. At the center of the bright nebula is a rapidly spinning neutron star, or pulsar that emits pulses of radiation 30 times a second.

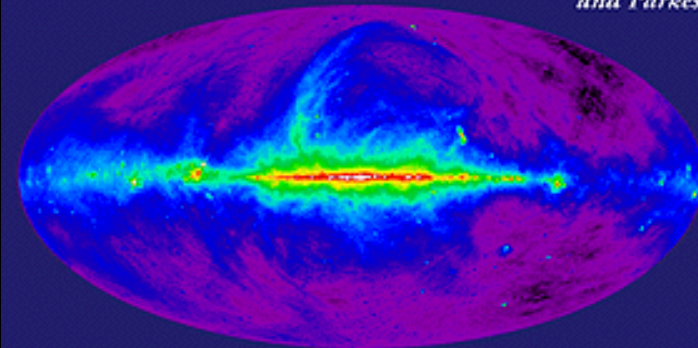
Optical

Laustsen et al. Photomosaic



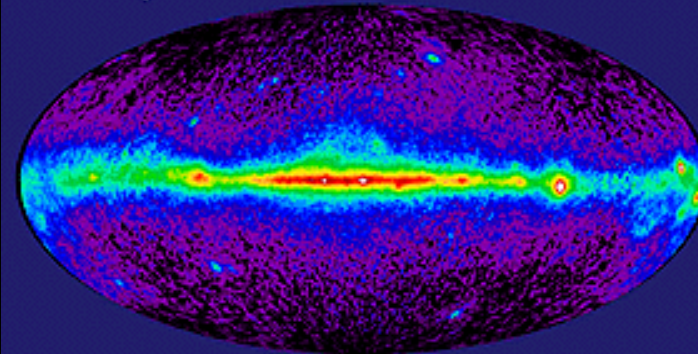
Radio Continuum (408 MHz)

Bonn, Jodrell Bank, and Parkes



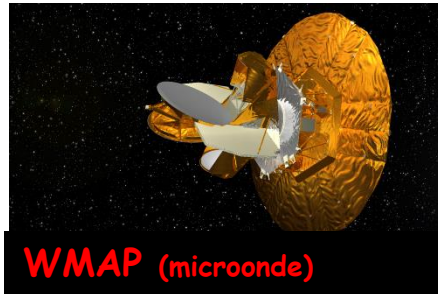
Gamma Ray

>100MeV CGRO/EGRET



Messaggeri cosmici

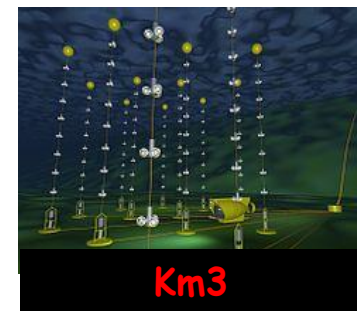
Fotoni



Raggi cosmici



Neutrini

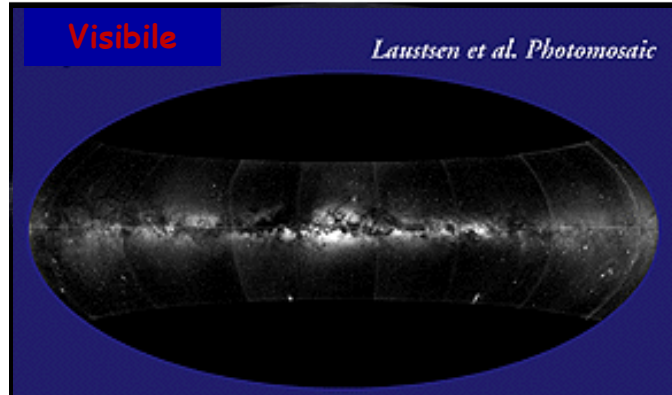


Onde gravitazionali

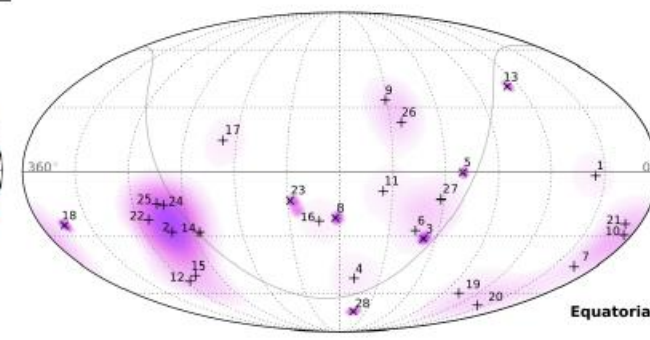
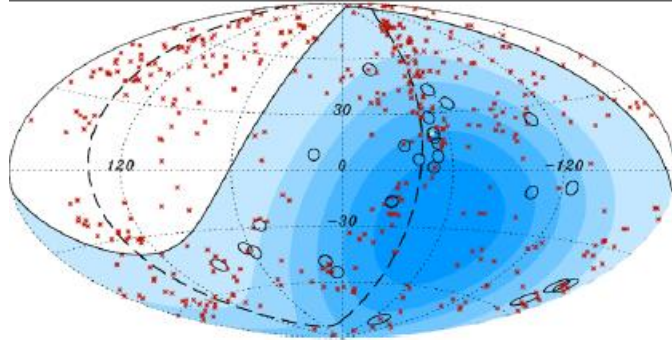
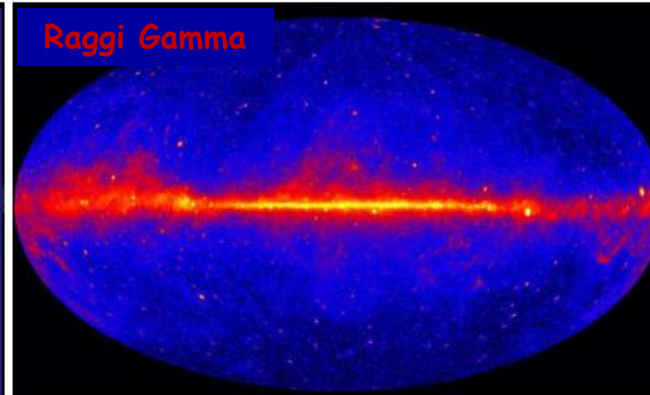


Messaggeri Cosmici

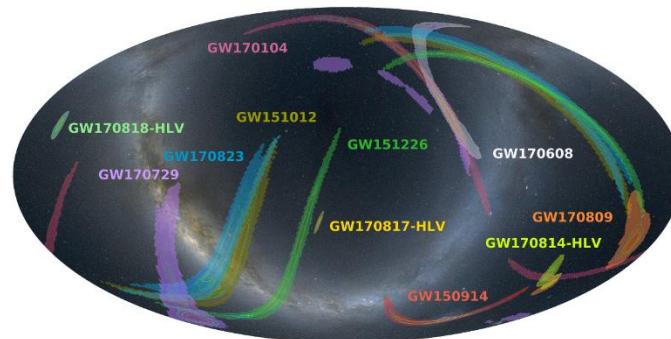
Optical (APOD)



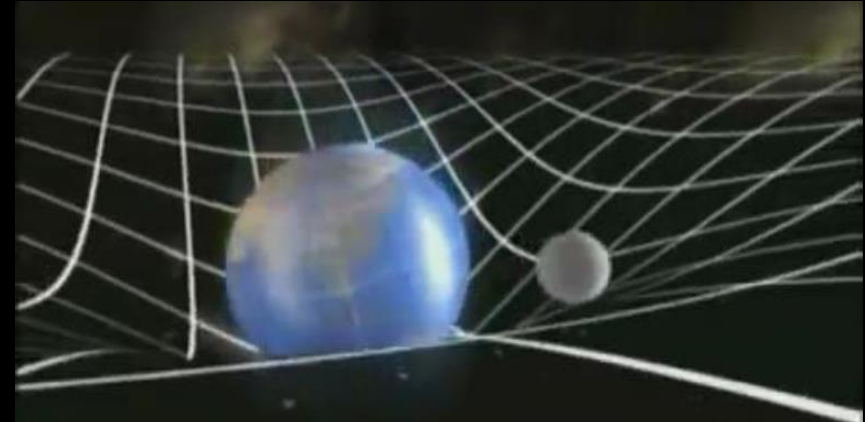
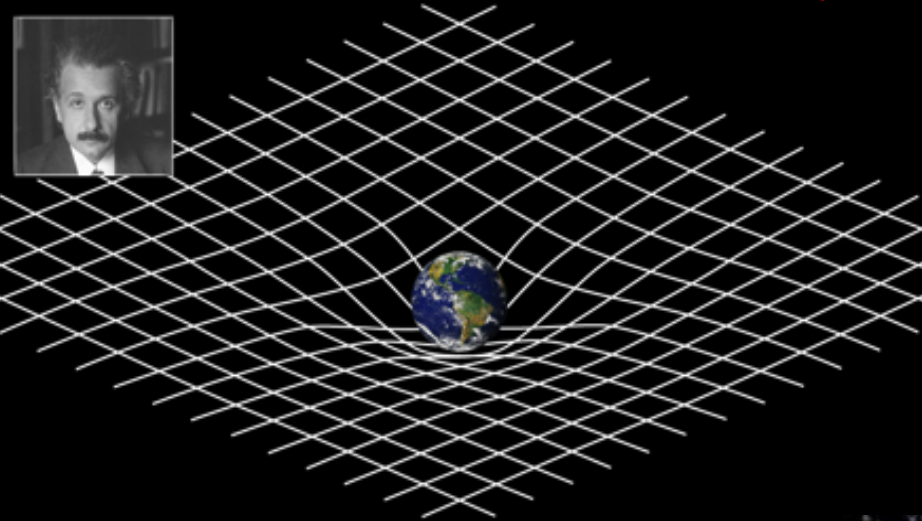
Gamma rays > 0.1 GeV (Fermi-LAT, 2013)



Onde Gravitazionali



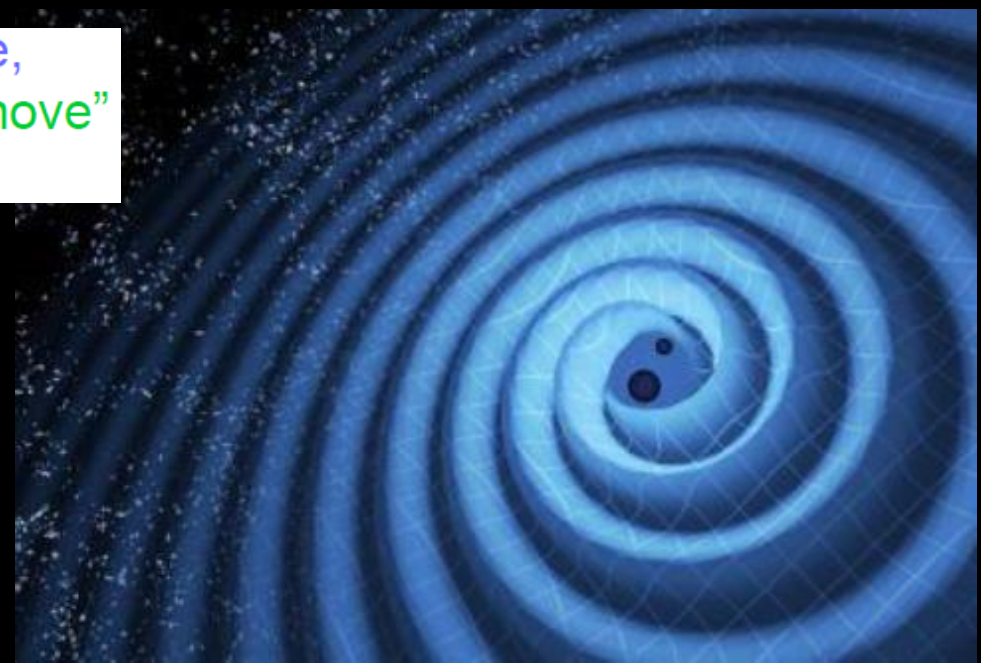
ONDE GRAVITAZIONALI (1915)



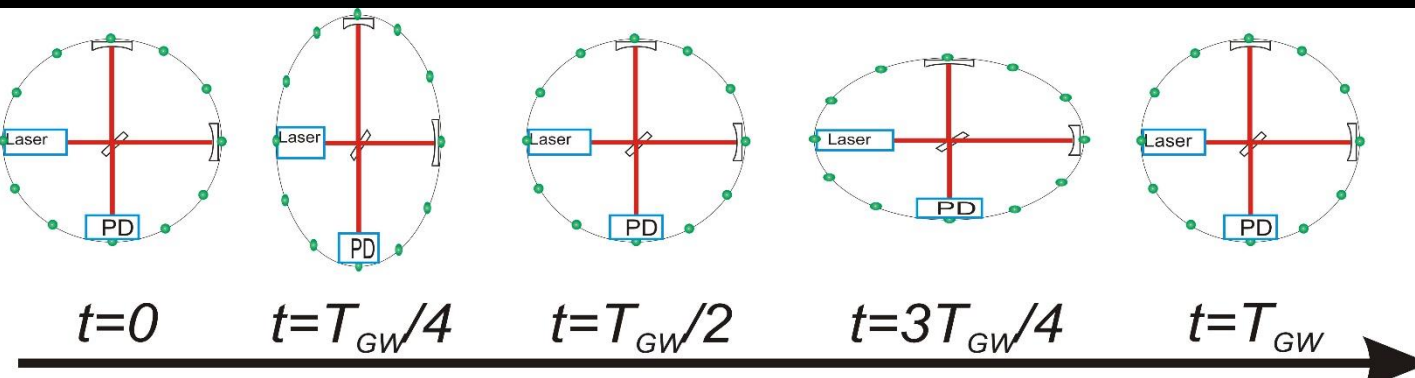
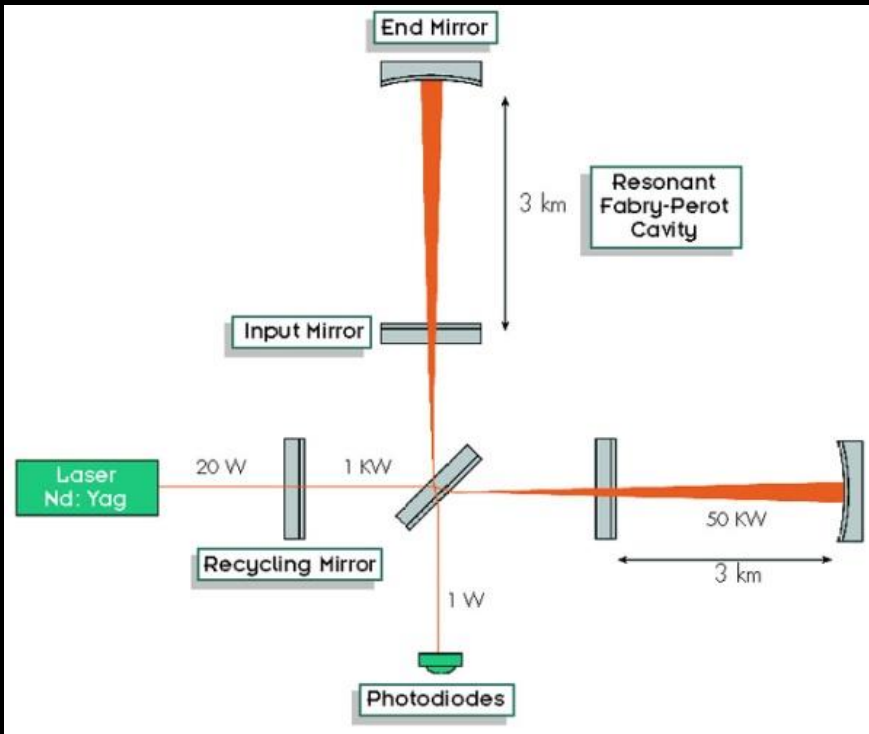
“Mass tells space-time how to curve,
and space-time tells mass how to move”
(J. Wheeler)

$$G_{mn} = \frac{8pG}{c^4} T_{mn}$$

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) h_{mn} = 0$$



Gli effetti di un'onda gravitazionale

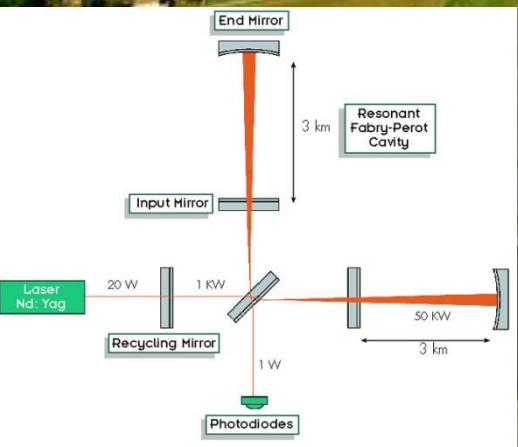
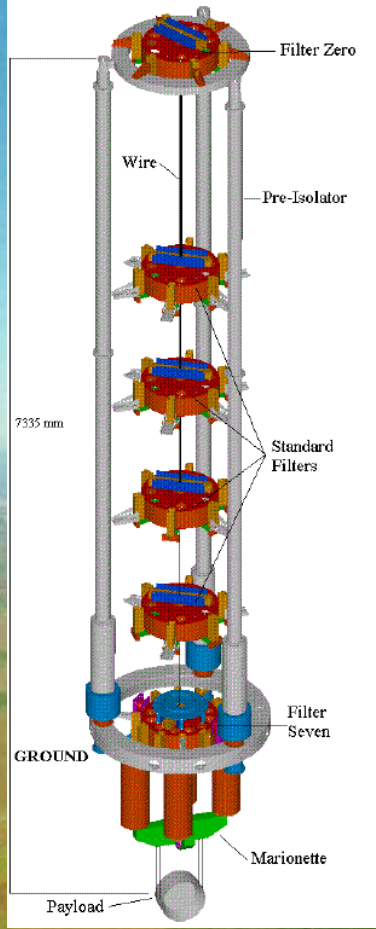
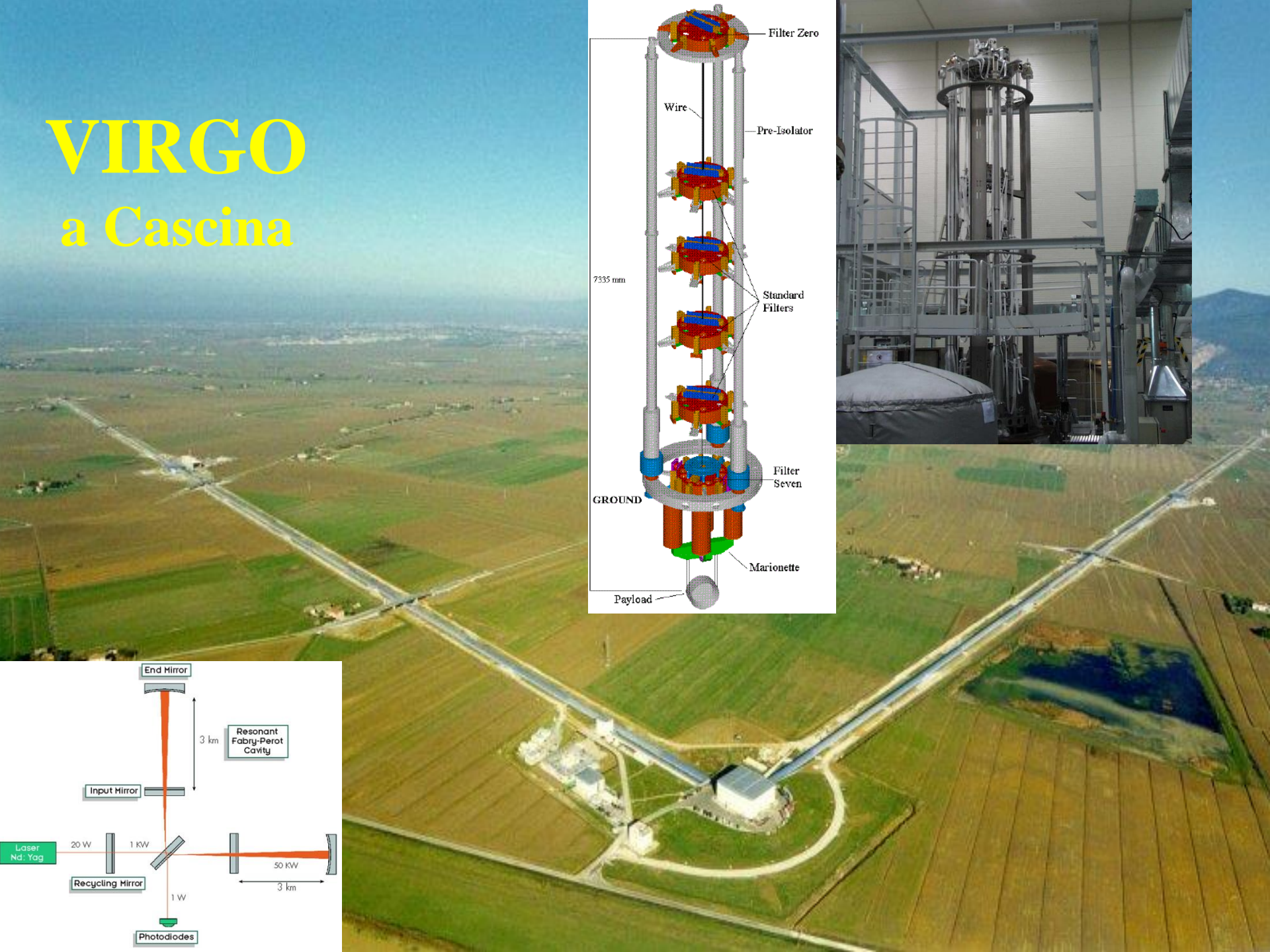


$$\Delta L/L \sim 10^{-21}$$

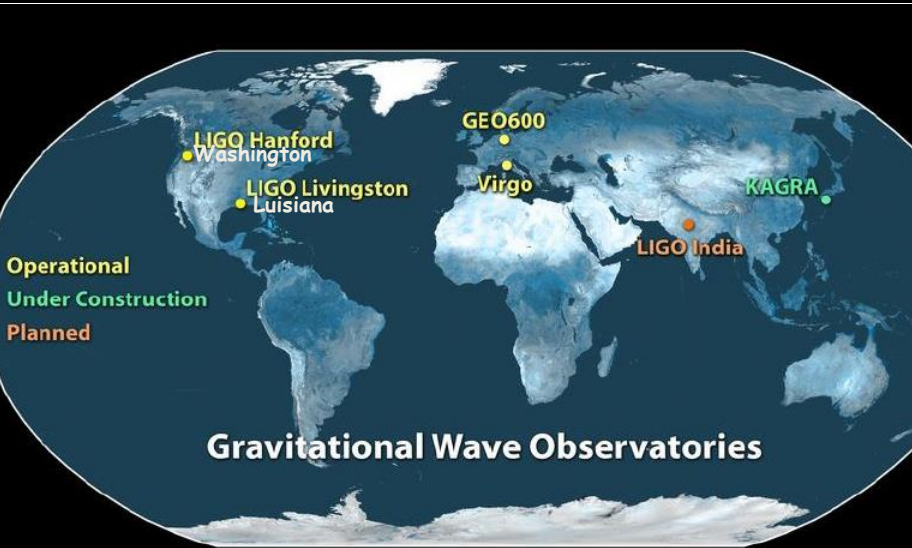
se $L=1\text{Km}$

$$\Delta L \sim 10^{-18}\text{m} !!$$

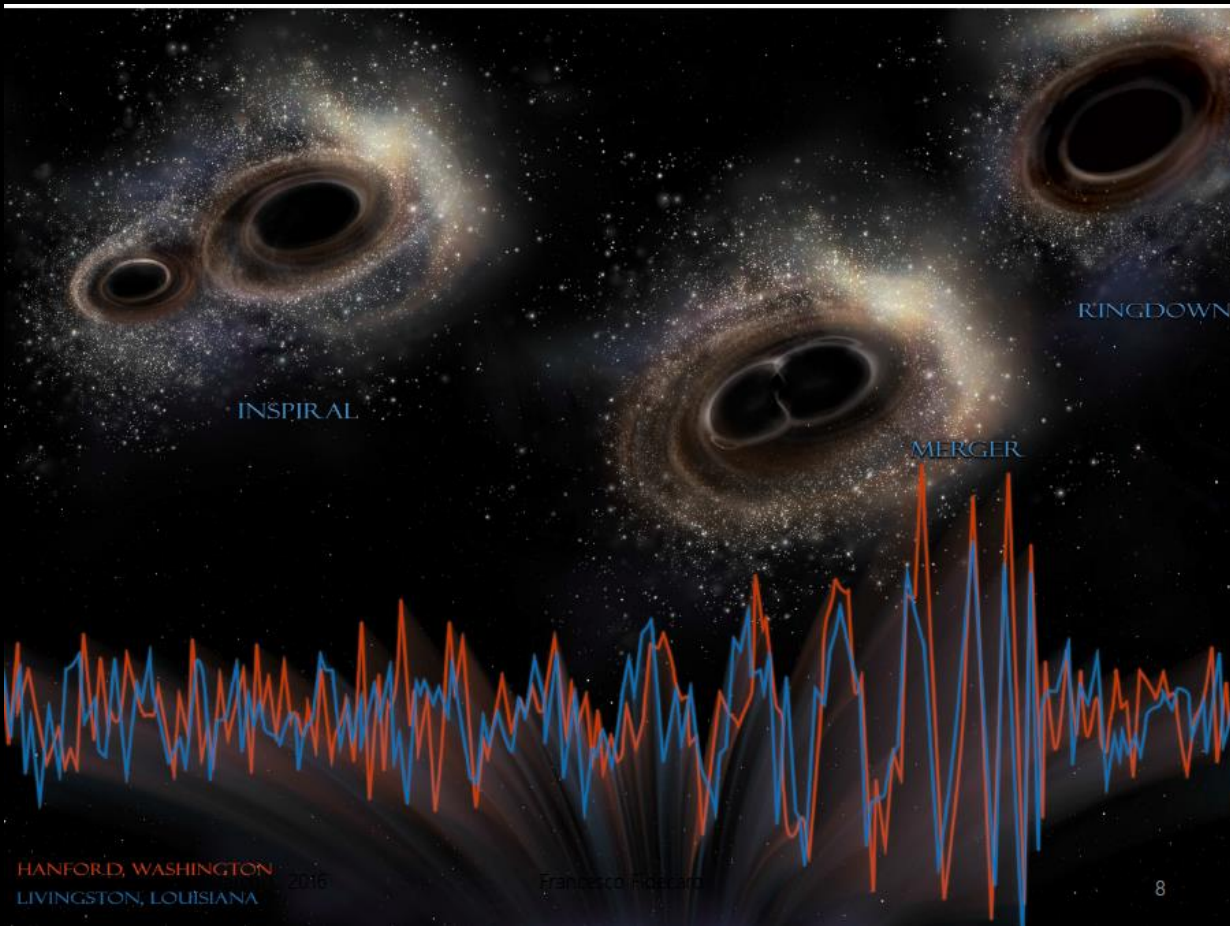
VIRGO a Cascina



Interferometri LIGO-VIRGO



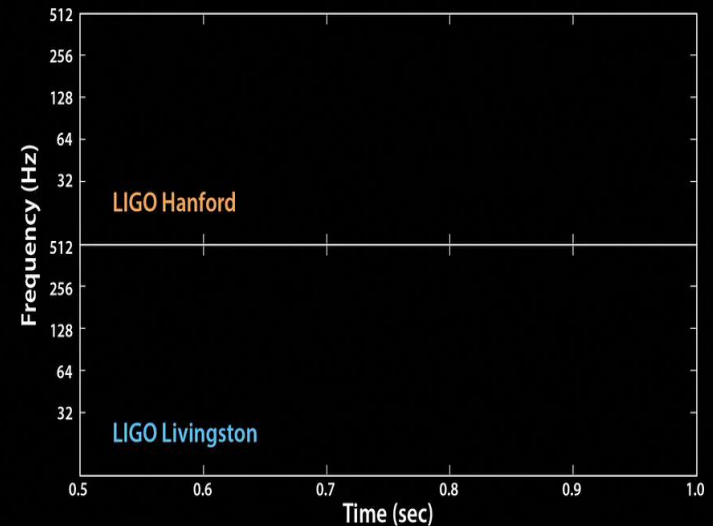
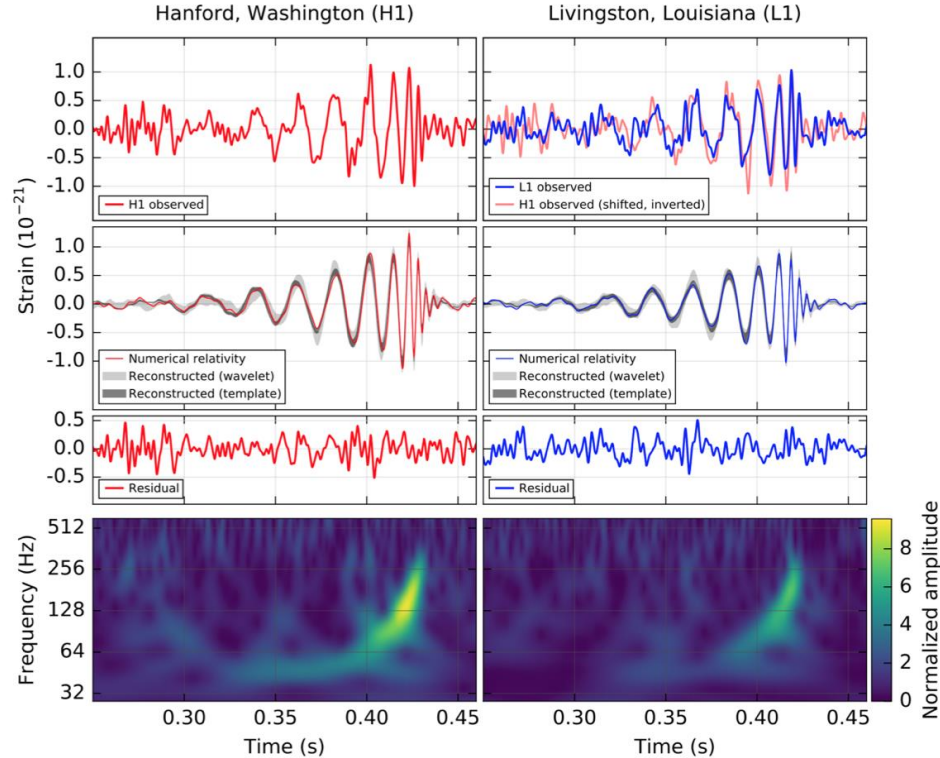
14 settembre 2015 alle 11:45:50 (1,3 miliardi di anni fa)



| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Primary black hole mass | $36^{+5}_{-4} M_{\odot}$ |
| Secondary black hole mass | $29^{+4}_{-4} M_{\odot}$ |
| Final black hole mass | $62^{+4}_{-4} M_{\odot}$ |

GW150914: The First Binary Black Hole Merger

Andy Bohn, François Hébert, and William Throwe, SXS Collaboration



Abbott, et al. ,LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration,
"Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger" [Phys. Rev. Lett. 116, 061102 \(2016\)](#)

LIGO'S **GRAVITATIONAL-WAVE** DETECTIONS

36+29 in 62 S.M.

[GW150914]
 DISCOVERED:
14.09.2015
1.3 BILLION LIGHT-YEARS AWAY
62 SOLAR MASSES
366 KILOMETRES IN DIAMETER

-3 S.M.

14+8 in 21 S.M.

[GW151226]
 DISCOVERED:
26.12.2015
1.4 BILLION LIGHT-YEARS AWAY
21 SOLAR MASSES
124 KILOMETRES IN DIAMETER

-1 S.M.

32+19 in 49 S.M.

[GW170104]
 DISCOVERED:
04.01.2017
3 BILLION LIGHT-YEARS AWAY
49 SOLAR MASSES
289 KILOMETRES IN DIAMETER

-2 S.M.

1 BILLION LIGHT YEARS

2 BILLION LIGHT YEARS

3 BILLION LIGHT YEARS

4 BILLION LIGHT YEARS

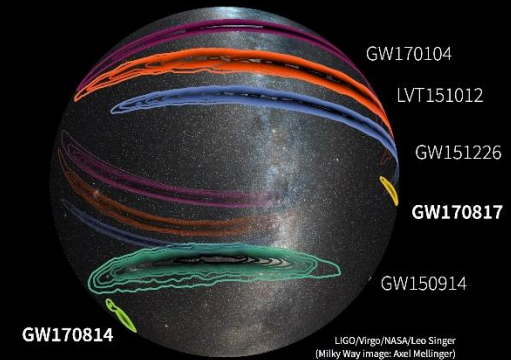
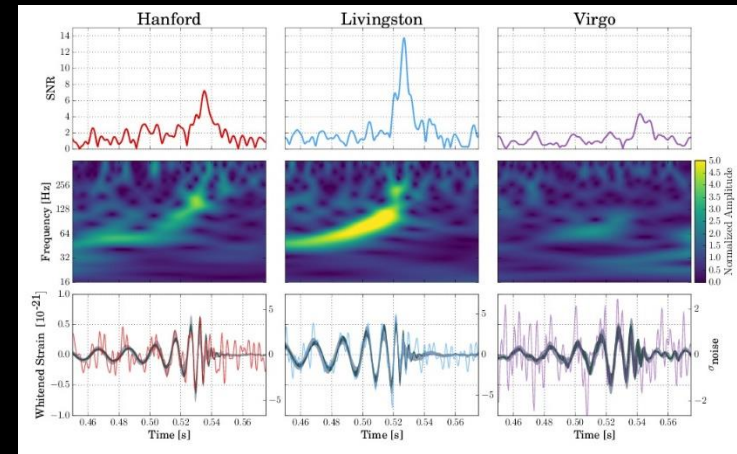
YOU ARE
HERE

DID YOU KNOW ?

THE SOLAR MASS IS A STANDARD UNIT OF MASS IN ASTRONOMY
 IT IS EQUAL TO THE MASS OF THE SUN
 EQUAL TO APPROXIMATELY
 1.99×10^{30} KG

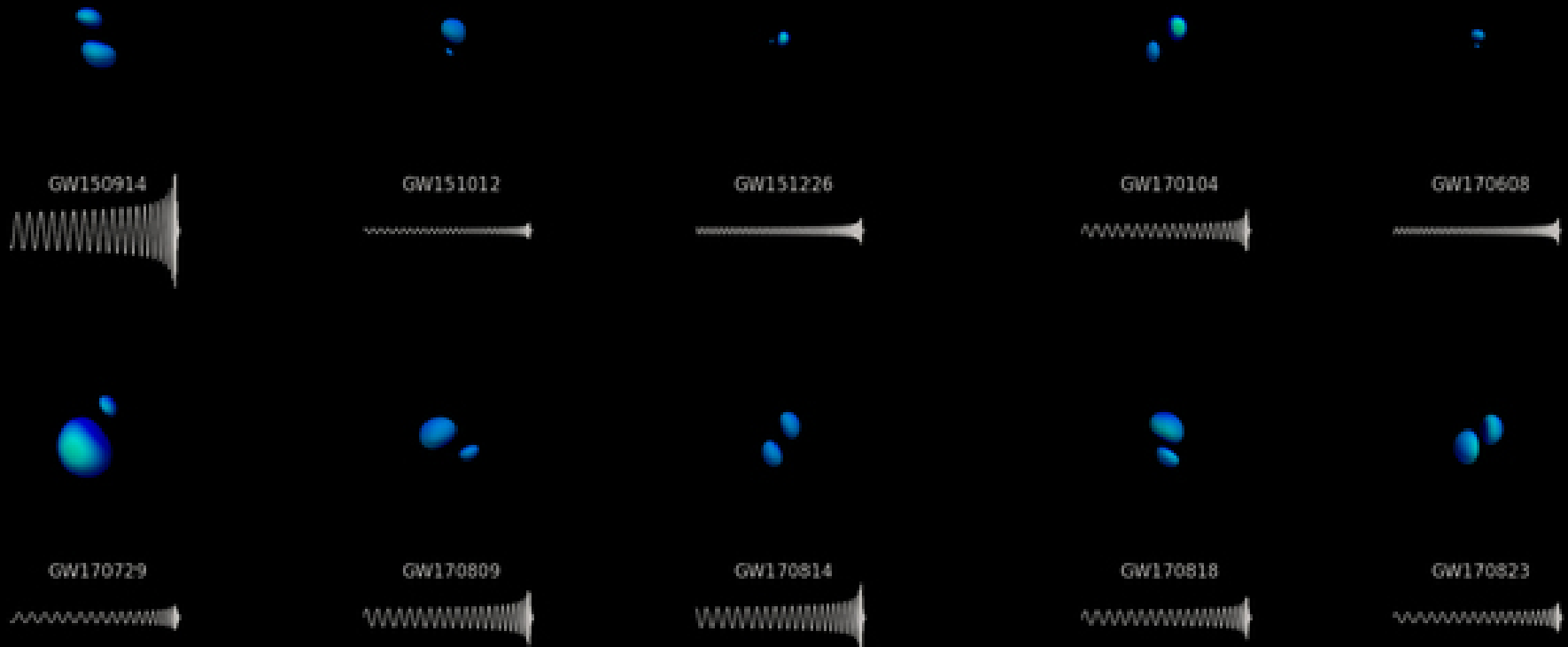
Interferometro Virgo a Cascina

https://www.ego-gw.it/public/about/visits/ego_IT.aspx



Il **1 agosto 2017** finalmente Virgo entra in presa dati con LIGO.
Il **14 agosto** alle ore 10:30:43 è stato rivelato dai tre interferometri contemporaneamente un segnale di coalescenza di **due buchi neri** di 31 e 25 masse solari in un buco nero di 53 masse solari a una distanza di 1.8 miliardi di anni luce.
Il **17 agosto** vengono osservati i segnali della fusione di **due stelle di neutroni** a 130 milioni di anni luce.

LIGO-VIRGO catalogo di fusione di buchi neri

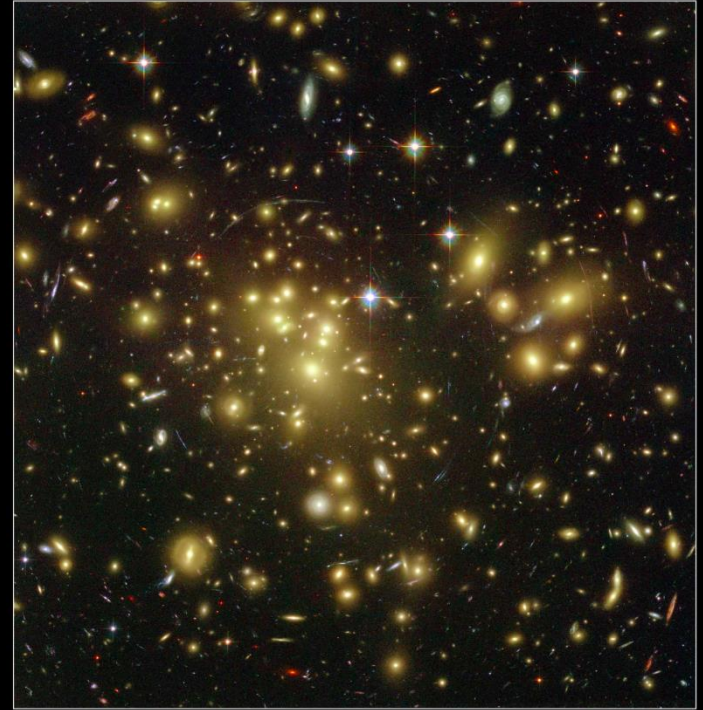


<https://youtu.be/gmmD72cFOU4>

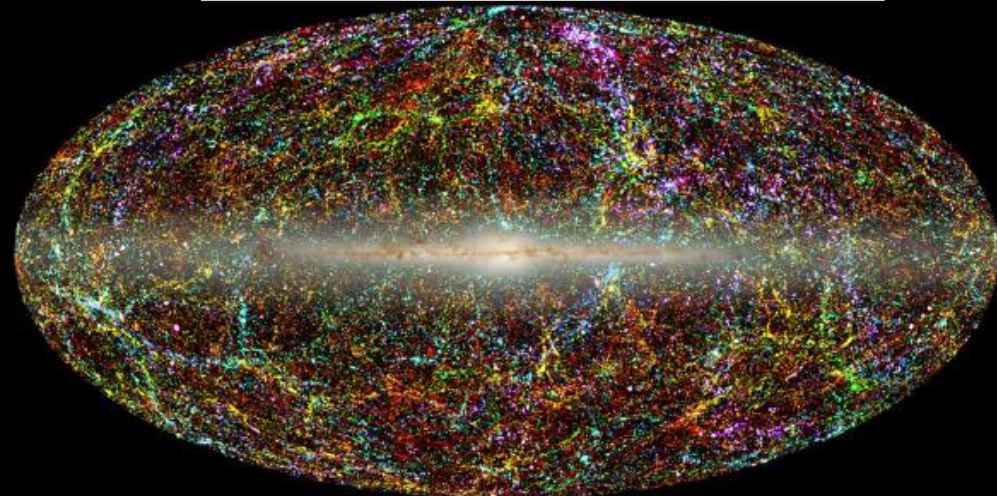
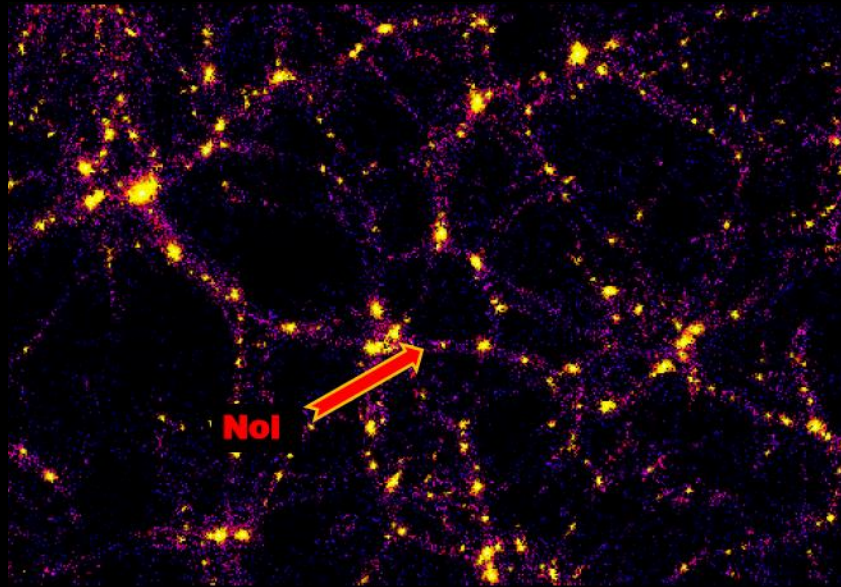
Stelle e Galassie intorno a noi

Spiral Galaxy NGC 4414

POSIZIONE DEL SOLE
(SE VEDESSIMO LA NOSTRA
GALASSIA DALL' ESTERNO)



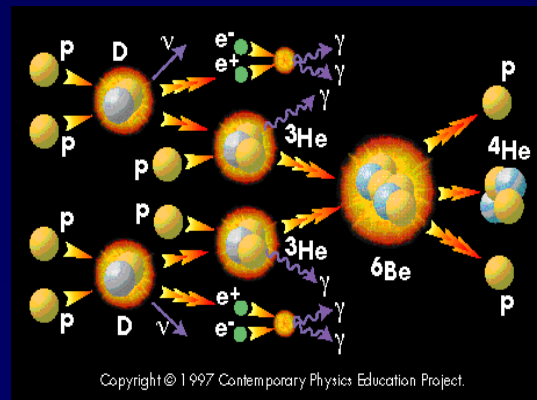
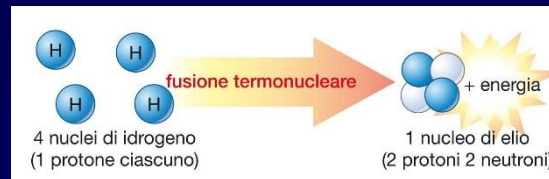
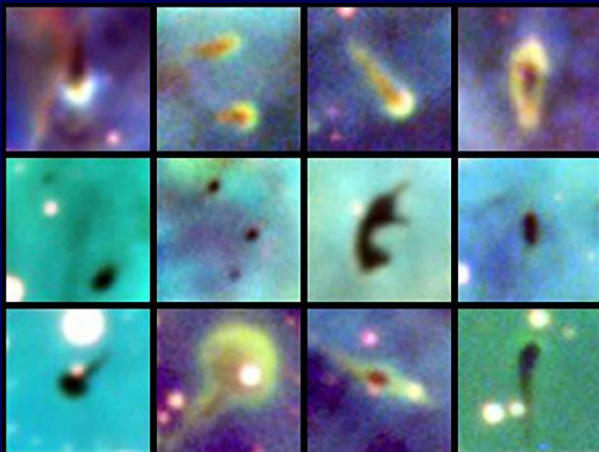
Galaxy Cluster Abell 1689
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys



Nascita, Vita e Morte di una Stella

La nascita della stella avviene quando una grande quantità di materia (soprattutto gas di idrogeno e di elio) si concentra sotto l'azione della forza di gravità.

Le stelle nascono nelle **nebulose**, ossia nei resti delle immani esplosioni che hanno segnato la fine di altre stelle preesistenti.



Nella fusione viene emessa un'energia di alcuni MeV (contro i 20 eV delle reazioni chimiche)

Nel Sole, a ogni secondo, 564.500 kg di idrogeno si convertono in 560.000 kg di elio

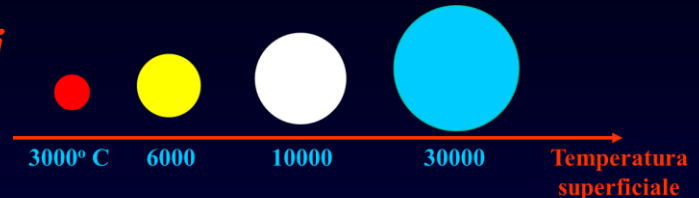


La vita della stella dipende essenzialmente dalla sua **massa iniziale**. Più è grande e più corta sarà la sua **esistenza**

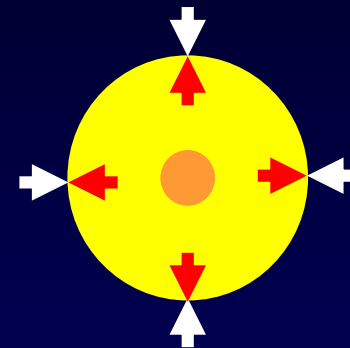
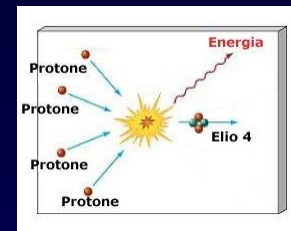
Le più piccole (Sole) vivono più di **10 miliardi di anni**

Le più grandi vivono una **decina di milioni di anni**

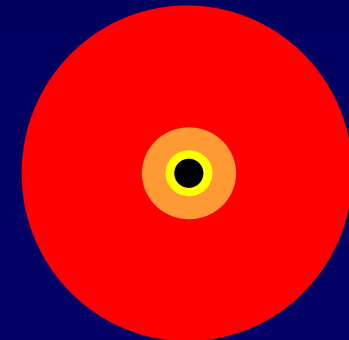
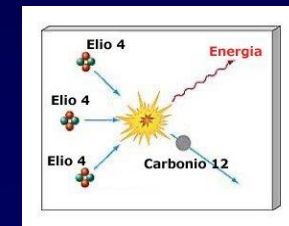
Le stelle più grandi sono anche le più calde



L'energia che si origina nel nucleo produce una **pressione** che spinge verso l'**esterno**. La forza di gravità spinge verso l'interno. La stella raggiunge l'**equilibrio** quando le due forze si equivalgono

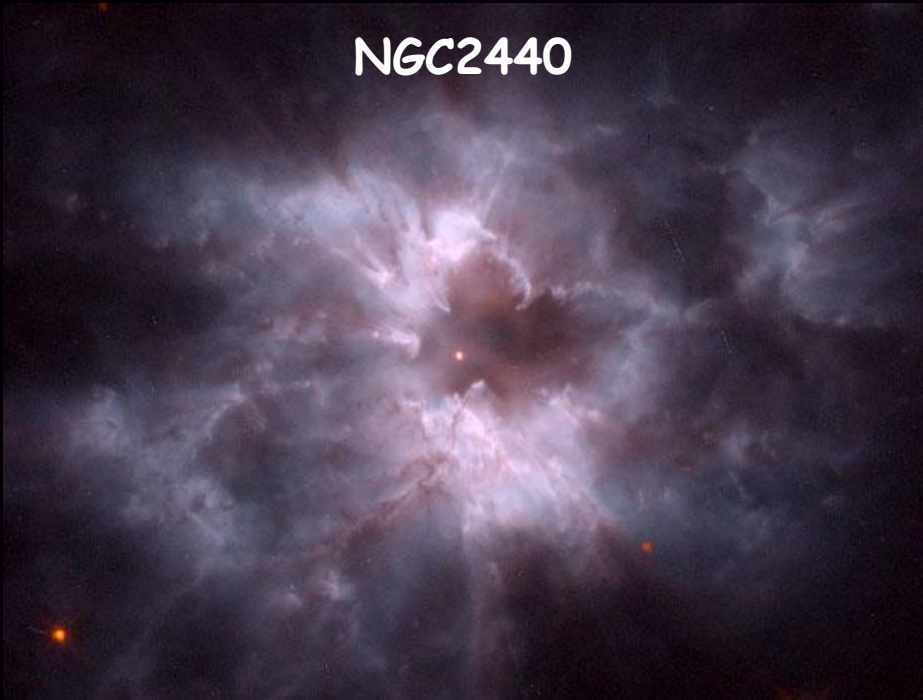


Una stella come il sole vive in queste condizioni stabili per circa **10 miliardi di anni** fino a che il nucleo non si trasforma tutto in **elio** ed il motore si spegne. Senza più **pressione** verso l'esterno la gravità comprime il nucleo che comincia a scaldarsi sempre di più fino a innescare la fusione di **elio** in **carbonio**. La stella ha una struttura a **quattro strati** l'**idrogeno** all'esterno, il **guscio di idrogeno** che continua la fusione in elio, il **guscio di elio** che si trasforma in carbonio ed il **nucleo di carbonio** inerte che aumenta sempre più (**gigante rossa**). Dopo qualche decina di anni **collassa** in una **nana bianca**.



Una stella delle dimensioni del Sole si trasforma in una nana bianca (100 volte più piccola del Sole), mentre nello spazio si propaga una **nebulosa (detta planetaria)**

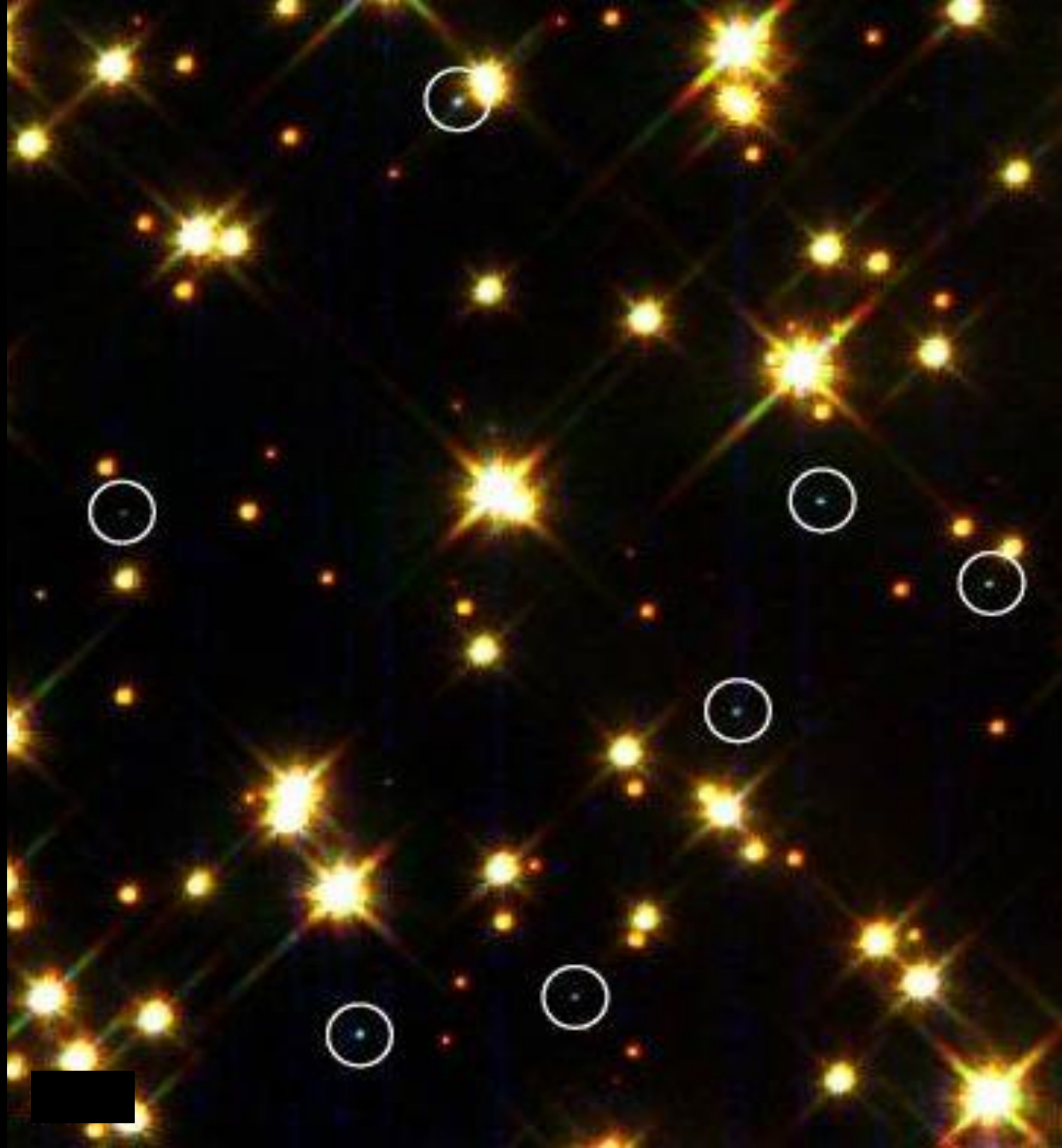
NGC2440



Nebulosa Stingray

la più giovane (dopo il 1987)





Le stelle più **grandi** del Sole (almeno **8** volte) hanno una vita molto più breve (non più di qualche decina di milioni di anni)

Raggiunta la fase di gigante o super-gigante rossa, la loro massa è tale da mantenere una temperatura elevatissima nel nucleo (fino ad un **miliardo** di gradi) e riuscire a trasformare gli elementi fino al **ferro** (una cipolla con molti strati).

La **fusione del ferro** non produce più energia, anzi la assorbe, e quindi la stella compressa dalla forza di gravità **esplode** in modo catastrofico

Si produce una **supernova**, una delle esplosioni più grandi dell'universo, durante la quale si producono tutti gli **elementi più pesanti**, quali l'oro, l'argento, l'uranio, ecc. **Gli strati esterni della stella si disperdono nello Spazio sottoforma di una nebulosa**



Nebulosa del Granchio,
originatasi nel **1054**



La supernova del 1987,
prima e dopo l'esplosione

Supernova del 1994 in una galassia lontana



Ricapitolando ...

Stelle con $M \leq 8 M_{\text{sole}}$ → Nana Bianca espellendo una **nebulosa planetaria**

Stelle con $M > 8 M_{\text{sole}}$ → esplodono in una Supernova

Dopo l'esplosione della Supernova:

➤ La nebulosa che si forma si disperde nello spazio a formare nuove stelle e pianeti

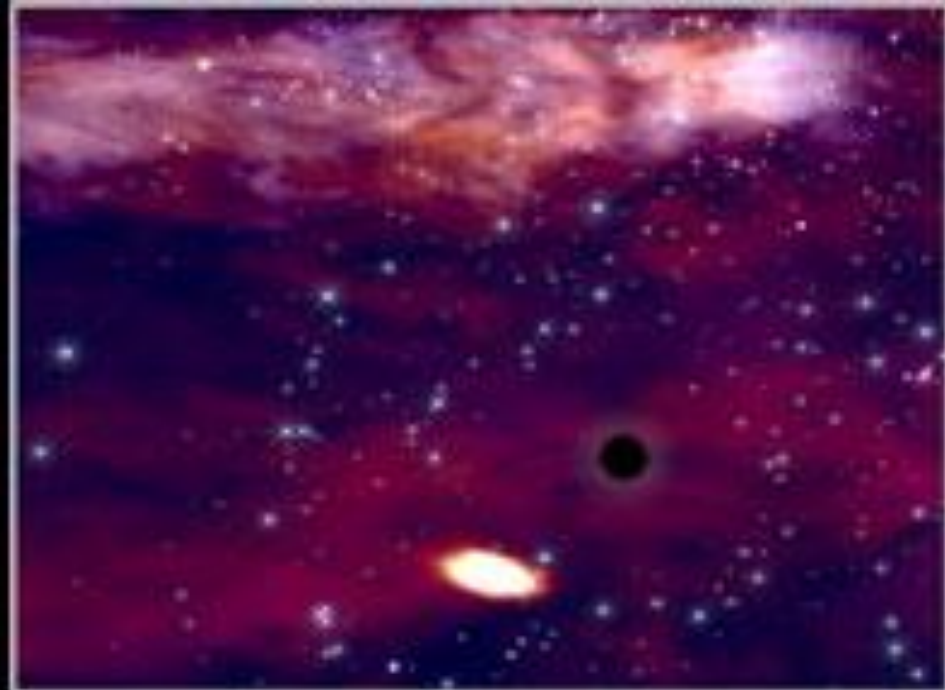


➤ se $M_{\text{finale}} > 1,4 M_{\text{sole}}$ la stella collassa in una stella di neutroni o pulsar (densità $> 100 \text{ ton./cm}^3$)

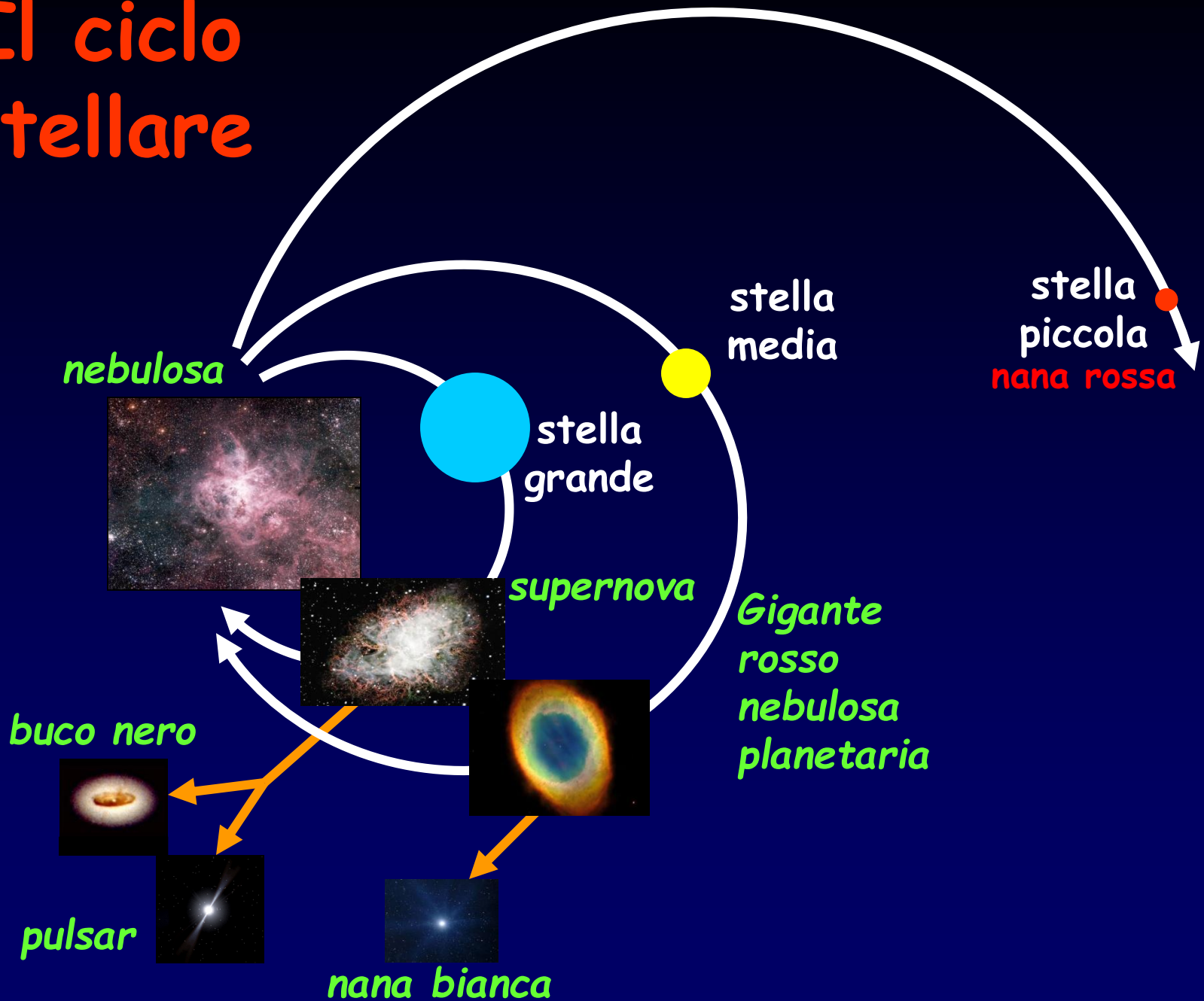


➤ se $M_{\text{finale}} > 3 M_{\text{sole}}$ la stella di neutroni non riesce a bilanciare la forza gravitazionale e sprofonda in un **Buco Nero** da cui nulla, neppure la luce può sfuggire.



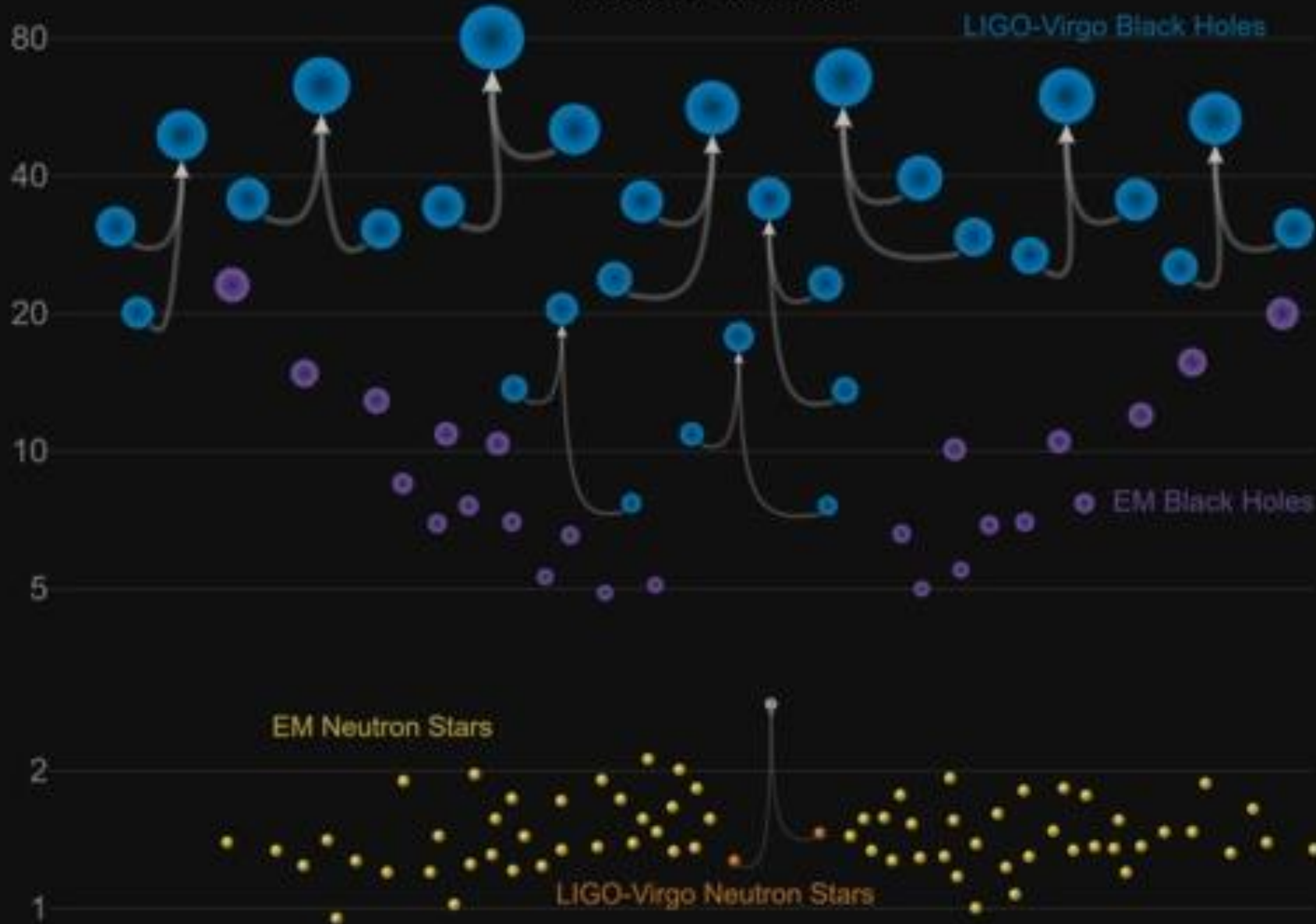


Il ciclo stellare

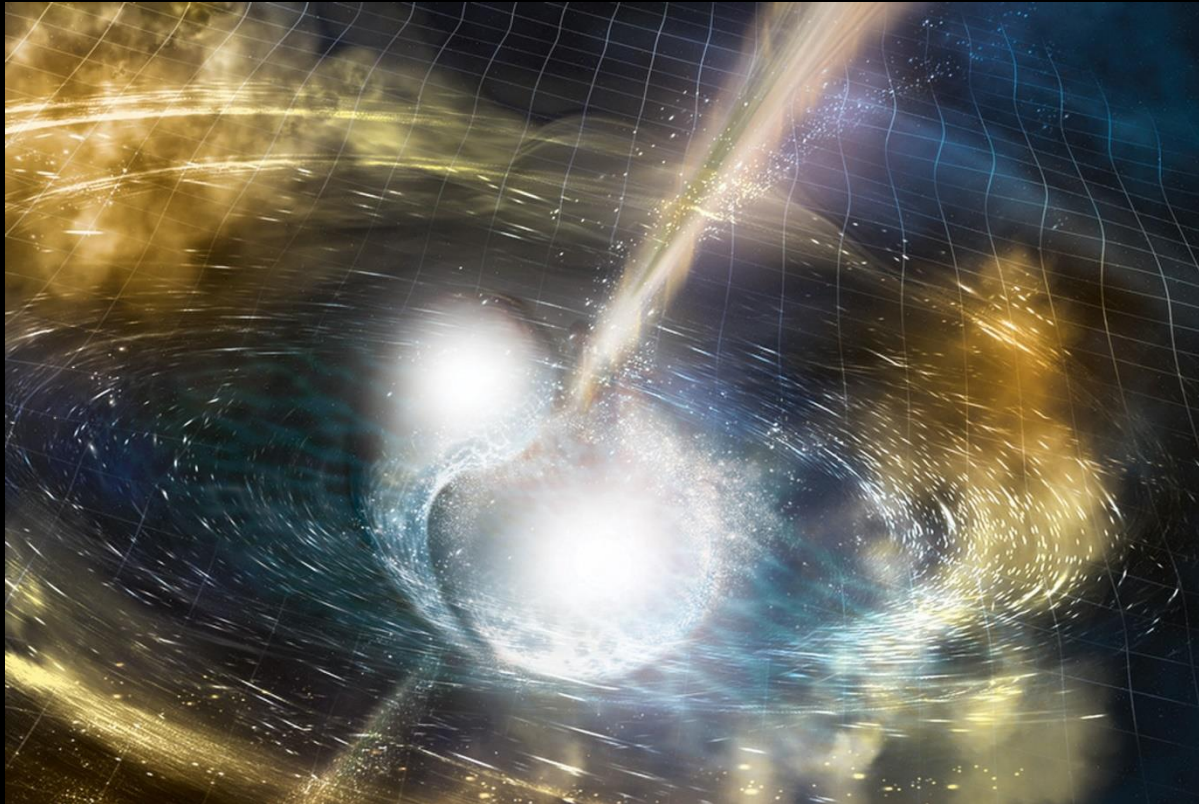


Masses in the Stellar Graveyard

in Solar Masses



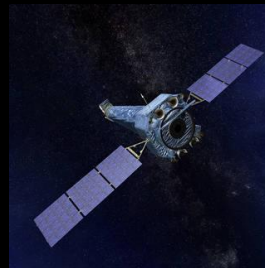
GW170817 Fusione di due stelle di neutroni



Onde gravitazionali



Spettro EM



Formazione di elementi pesanti: oro, platino, etc... (svariate terre di oro !!)

CHANDRA (raggi X)

HUBBLE (visibile)

FERMI (raggi gamma)

Astronomia Multi-Messaggeri con Onde Gravitazionali

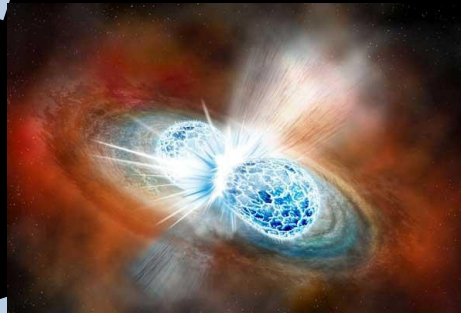


Onde Gravitazionali

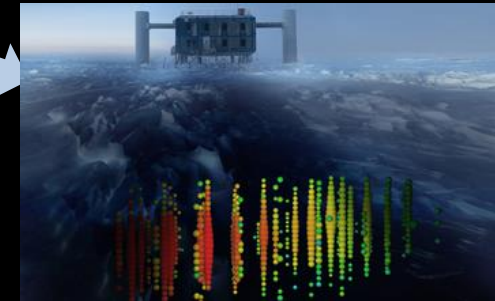


Raggi X e Gamma

Fusione di due
stelle di neutroni



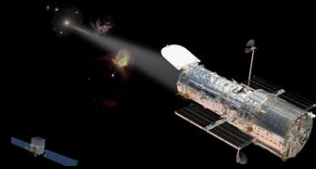
Visibile/infrarossi



Neutrini



Raggi cosmici

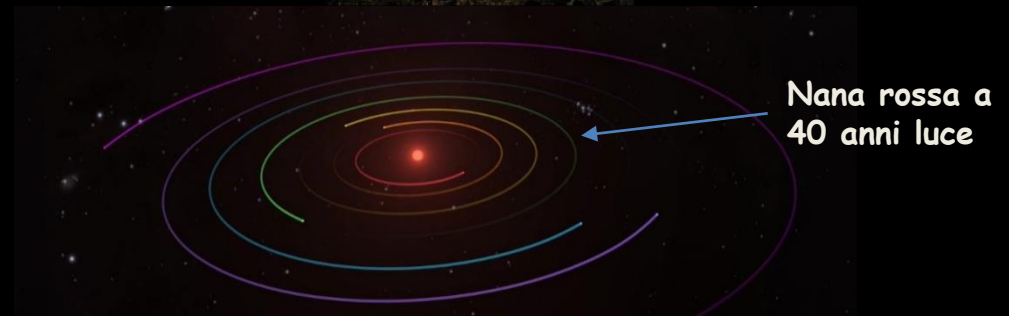
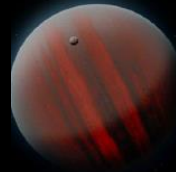


Seminario al CERN, il 17 gennaio ore 16;30

The SPECULOOS project: hunting for habitable exoplanets around the nearest very-low-mass stars by Michael Gillon (University of Liège)



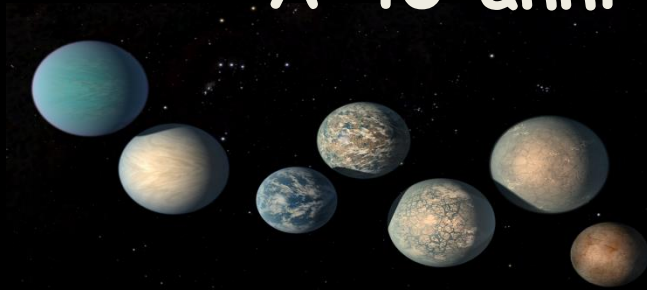
The exoplanet program of TRAPPIST



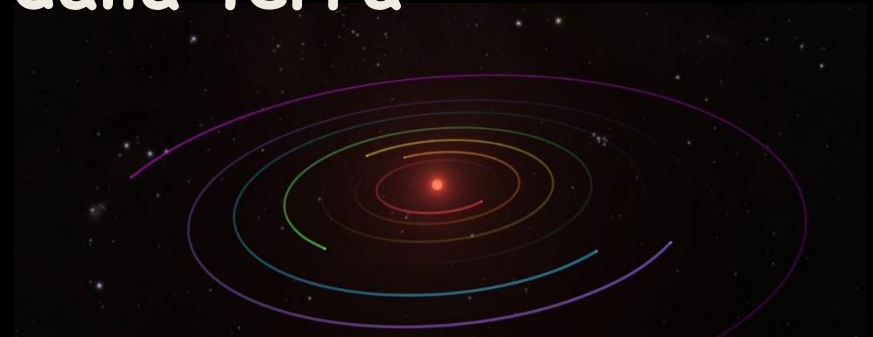
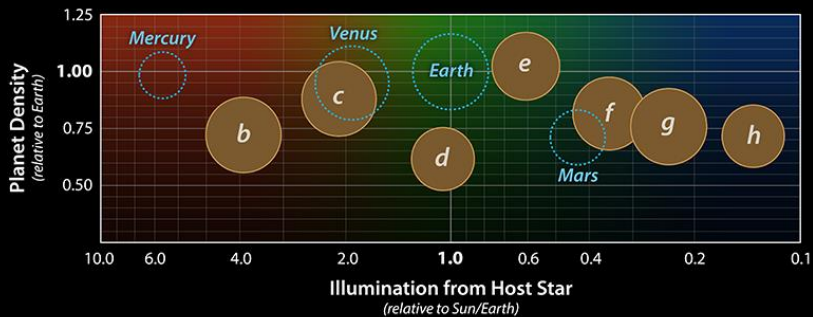
NOT SO STRANGE NEW WORLDS



A 40 anni luce dalla terra



TRAPPIST-1/Solar System Comparison



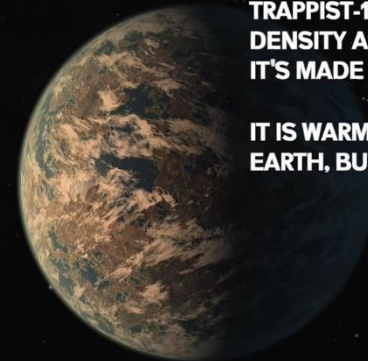
**WE NOW KNOW MORE ABOUT TRAPPIST-1
THAN ANY PLANETARY SYSTEM
APART FROM OUR OWN**

**TRAPPIST-1d IS WARMED ABOUT
THE SAME AMOUNT AS THE EARTH
IS WARMED BY ITS SUN**



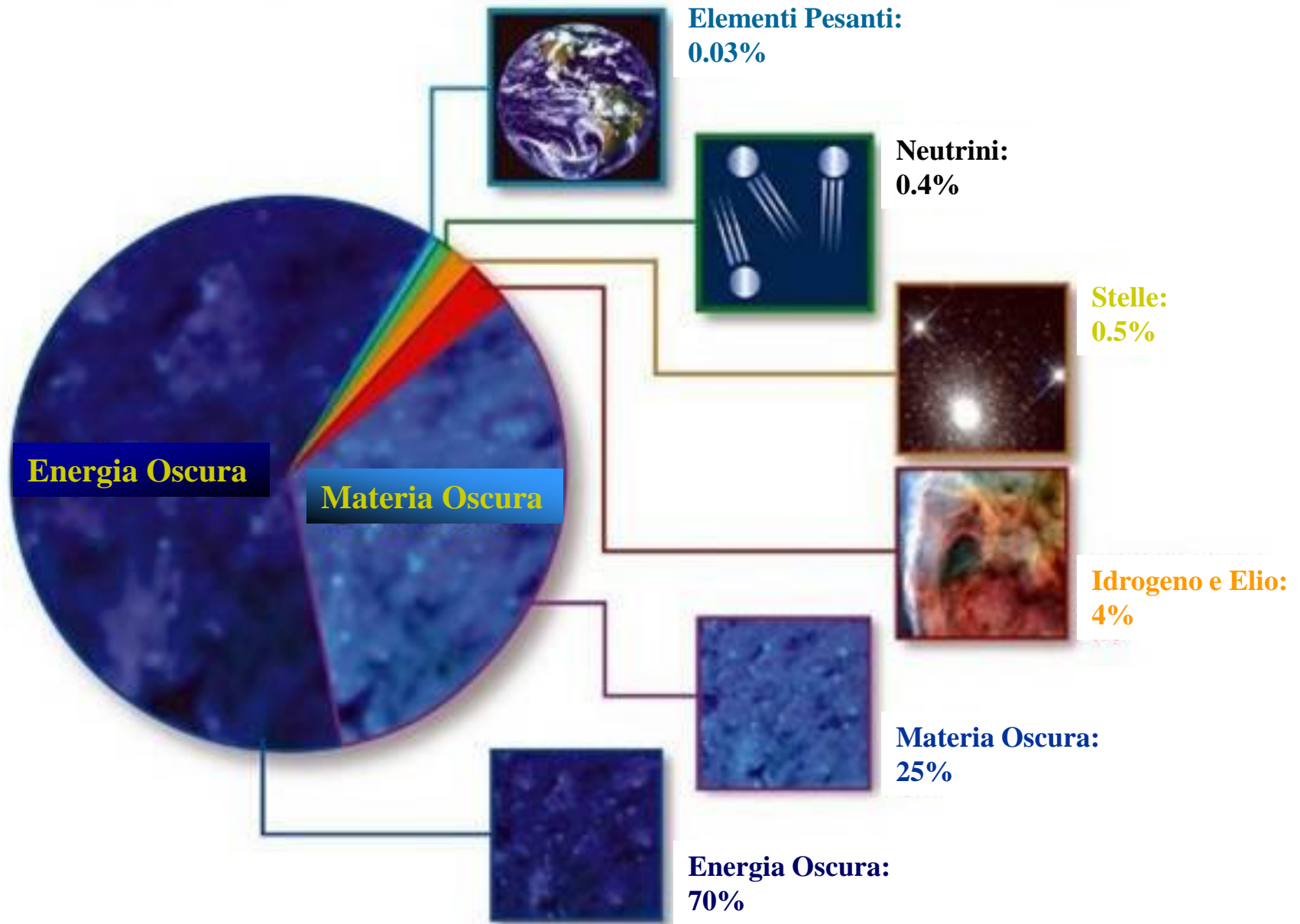
**TRAPPIST-1e HAS THE SAME
DENSITY AS EARTH, IMPLYING
IT'S MADE OF SIMILAR MATERIALS**

**IT IS WARMED LESS THAN THE
EARTH, BUT MORE THAN MARS**



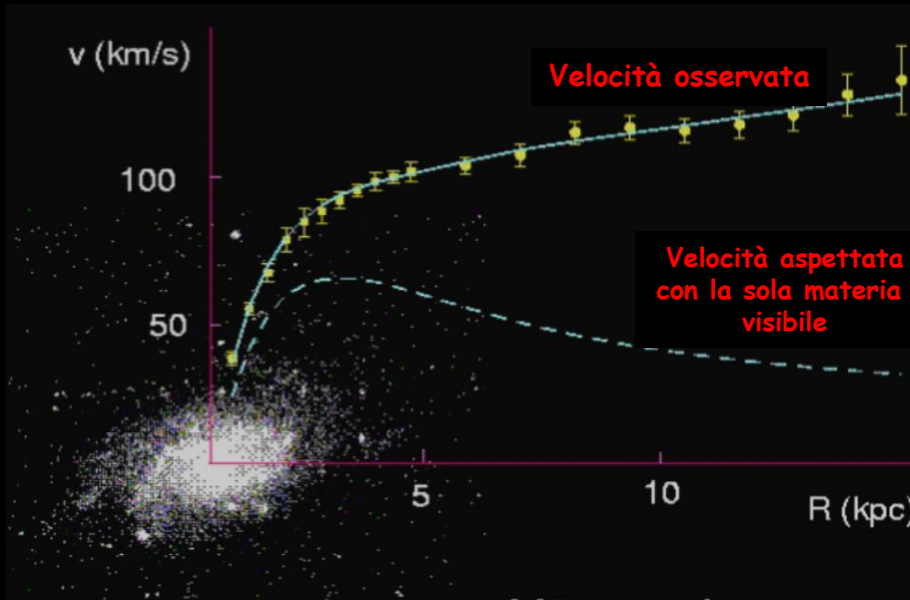
Di cosa e' fatto il nostro Universo

(stelle e pianeti sono solo una piccola parte !)



Manifestazioni della Materia Oscura

Galassia M33 Velocità di rotazione



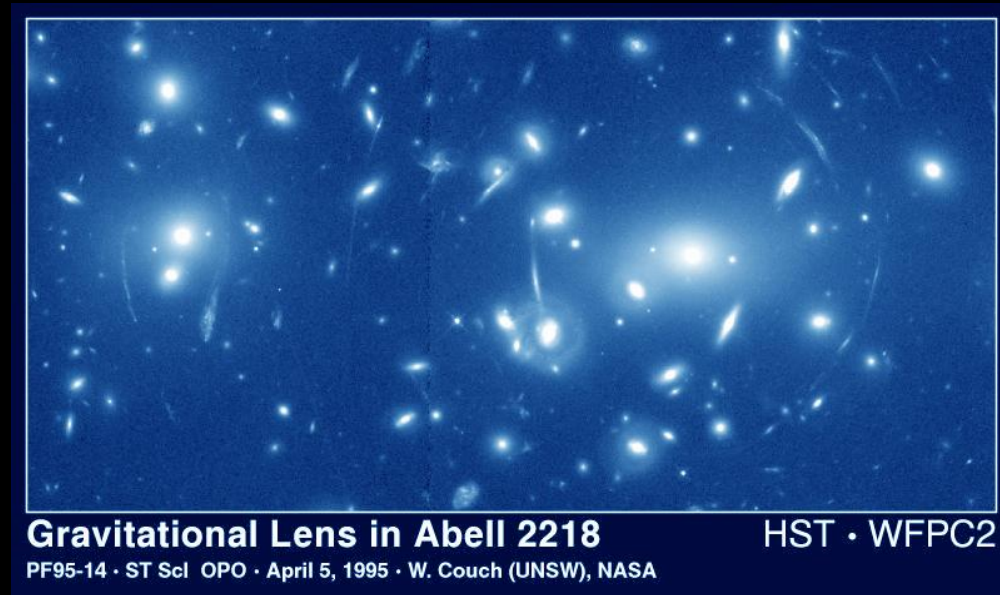
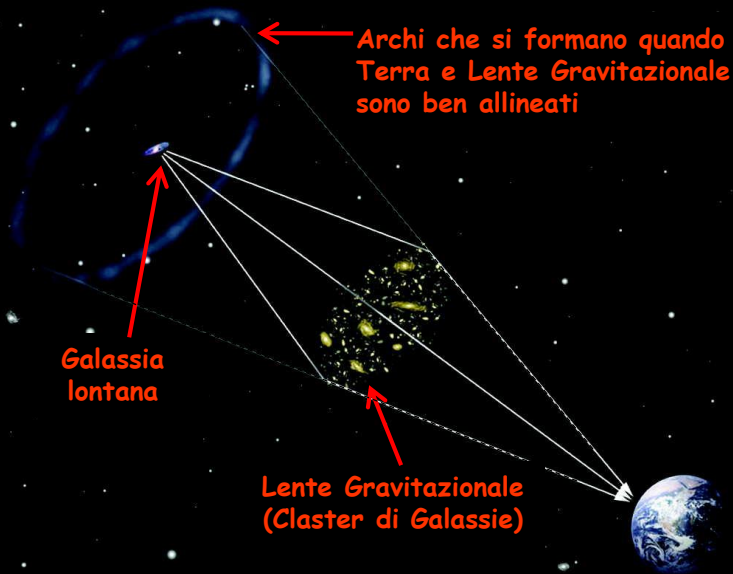
La velocità di rotazione delle stelle nelle galassie è molto più grande di quella che dovrebbe essere se ci fossero solo le masse della Materia Visibile

Il Sole si trova a una distanza di 8.5 kpc, ha una velocità circolare di 220 km/sec, anziché 150-160 km/sec se la rotazione della galassia seguisse l'andamento atteso, e impiega circa 240 milioni di anni a compiere un'orbita completa attorno al centro della Galassia.

La Materia Oscura sembra essere costituita da particelle di grande massa che sembrano interagire solo con l'interazione gravitazionale

La Materia come Lente Gravitazionale

effetto predetto dalla teoria della relatività generale di A.Einstein nel 1936

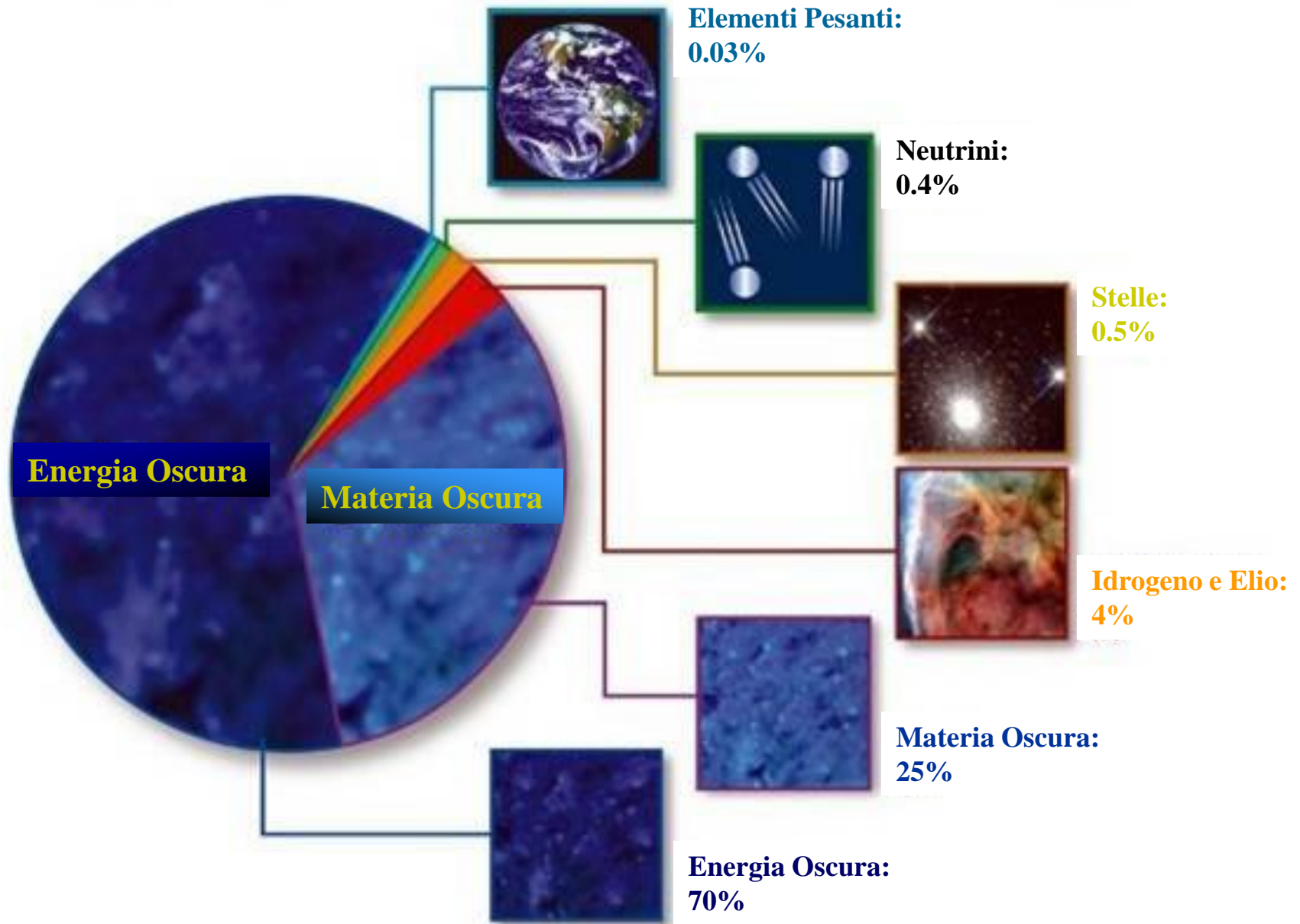


Le immagini multiple di una stessa galassia vengono identificate confrontando gli spettri di luce dei diversi archi. Con così tante immagini è possibile fare un modello preciso della distribuzione di masse del cluster della lente gravitazionale.

Ma l'effetto e' molto piu' forte di quello spiegabile con la massa della Materia Visibile da cui l'ipotesi dell'esistenza della Materia Oscura (invisibile)

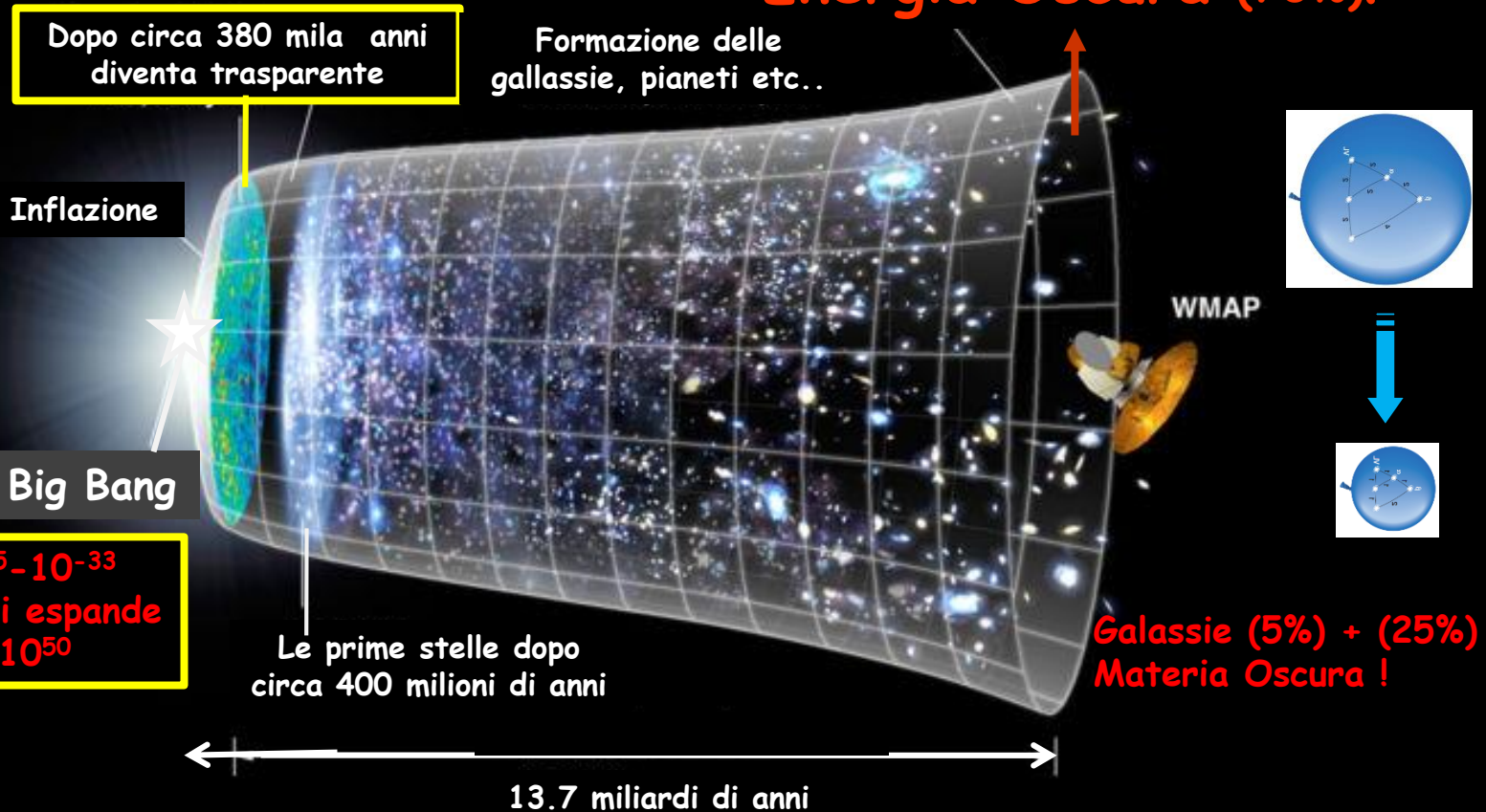
Di cosa e' fatto il nostro Universo

(stelle e pianeti sono solo una piccola parte !)



L'espansione dell'Universo dal Big Bang ad Oggi

**Espansione accelerata
Energia Oscura (70%)!**



Inflazione (10^{-35} - 10^{-33} sec): lo spazio si espande di un fattore $\geq 10^{50}$

Il Big Bang segna l'istante in cui spazio e tempo hanno iniziato ad esistere. Secondo la teoria, da uno stato iniziale in cui materia e radiazione erano mescolati in una forma molto calda e densa, e le 4 forze fondamentali della natura (gravità, elettromagnetismo, forza nucleare debole e forte) erano unificate, l'Universo ha cominciato ad espandersi e la materia a raffreddarsi. Durante il primo secondo si sono formati protoni, neutroni ed elettroni. Approssimativamente 3 minuti dopo il Big Bang la temperatura scese a 1 miliardo di gradi e protoni and neutroni si unirono a formare i nuclei degli atomi. Circa 380 000 anni dopo il Big Bang, l'Universo raggiunse la temperatura di 3000 gradi, e gli elettroni poterono combinarsi con i nuclei a formare atomi neutri (epoca della ricombinazione). Senza più elettroni liberi in grado di diffondere i fotoni, l'Universo divenne trasparente alla radiazione (epoca del disaccoppiamento), ed è questa luce che oggi chiamiamo radiazione di fondo cosmico. Circa 1 miliardo di anni dopo il Big Bang cominciarono a formarsi le stelle e le galassie, e da questa fase in poi l'Universo ha continuato a espandersi e a raffreddarsi sempre più.

L'espansione dell'Universo dal Big Bang ad Oggi

Big Bang

Time →

| 10^{-44} s | 10^{-35} s | 10^{-32} s | 10^{-10} s | 300 s | 3×10^5 yr | 1×10^9 yr | 15×10^9 yr |
|---------------------|--------------|---------------|------------------|--------------|--------------------|---------------------------|---------------------|
| Superstring (?) Era | GUT Era | Inflation Era | Electro-weak Era | Particle Era | Recombination Era | Galaxy and Star Formation | Present Era |

E W

E W
E W

+ -

+ -

+ -

+ -

+ -

+ -

+ -

+ -

+ -

+ -

+ -

+ -

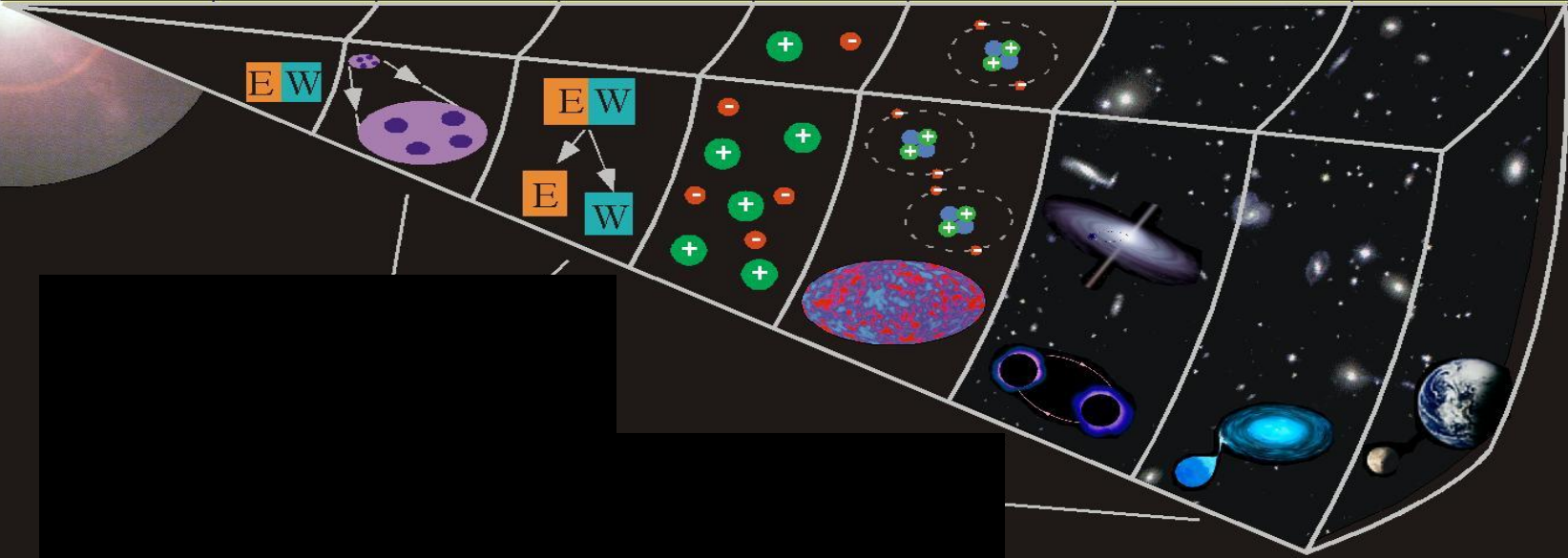
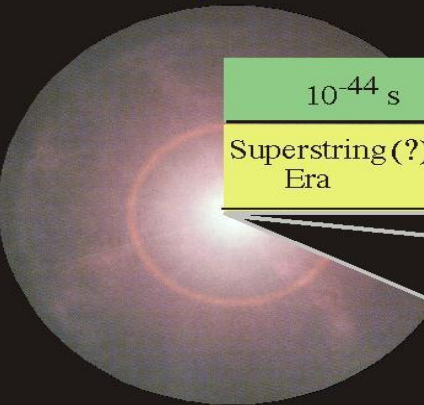
+ -

+ -

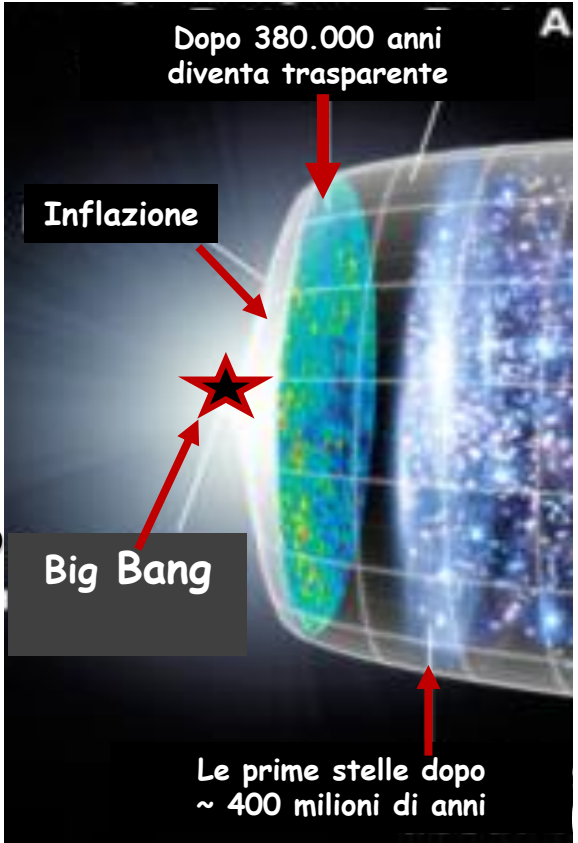
+ -

+ -

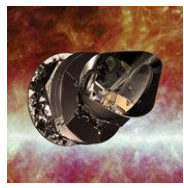
+ -



Dopo 380000 anni ($T \sim 3000 \text{ }^\circ\text{K}$) la radiazione si disaccoppia dalla materia (si formano gli atomi di idrogeno e elio) e la luce si può liberare. L'universo, visto dall'esterno, in quel momento brillerebbe come un grande sole... ma l'espansione continua per i successivi ~13 miliardi di anni e a causa dello "stiramento" dello spazio la lunghezza d'onda della radiazione aumenta (l'energia diminuisce) cioè si raffredda... e oggi si trova a soli $T = 2.73 \text{ }^\circ\text{K}$ ($E \sim 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ eV}$). Questa radiazione (400 fotoni/cm³) permea oggi tutto l'universo in modo omogeneo e isotropo ($\Delta T/T \sim 10^{-5}$).



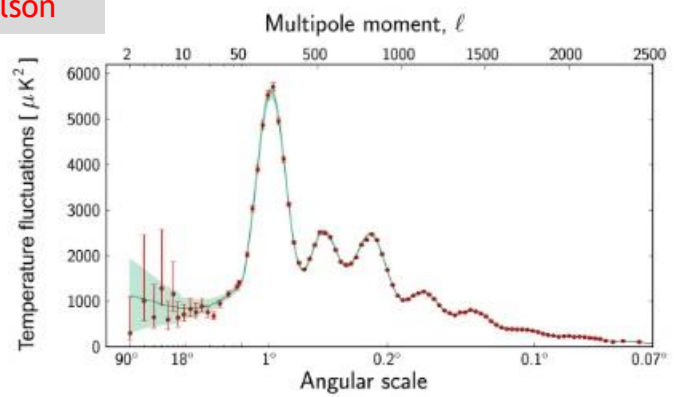
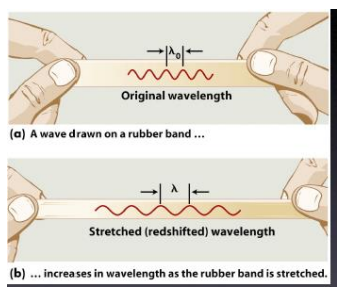
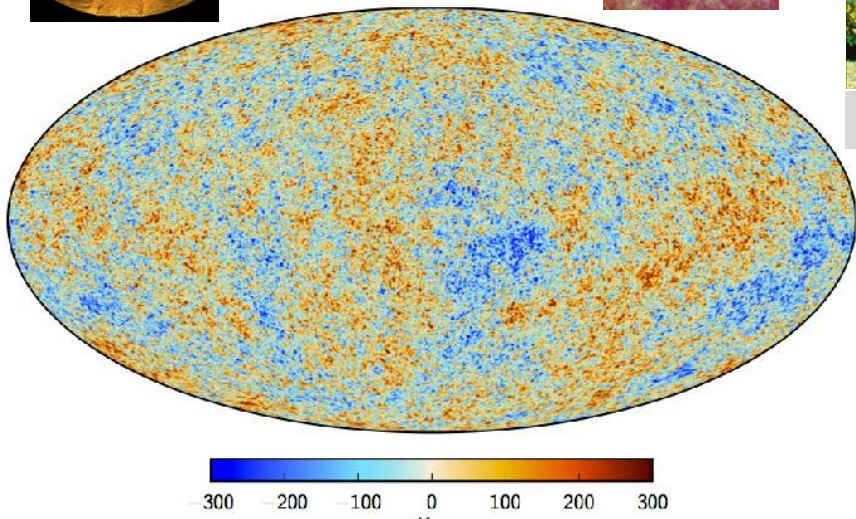
WMAP
2003



PLANCK
2013



1967: A. Penzias e R. Wilson

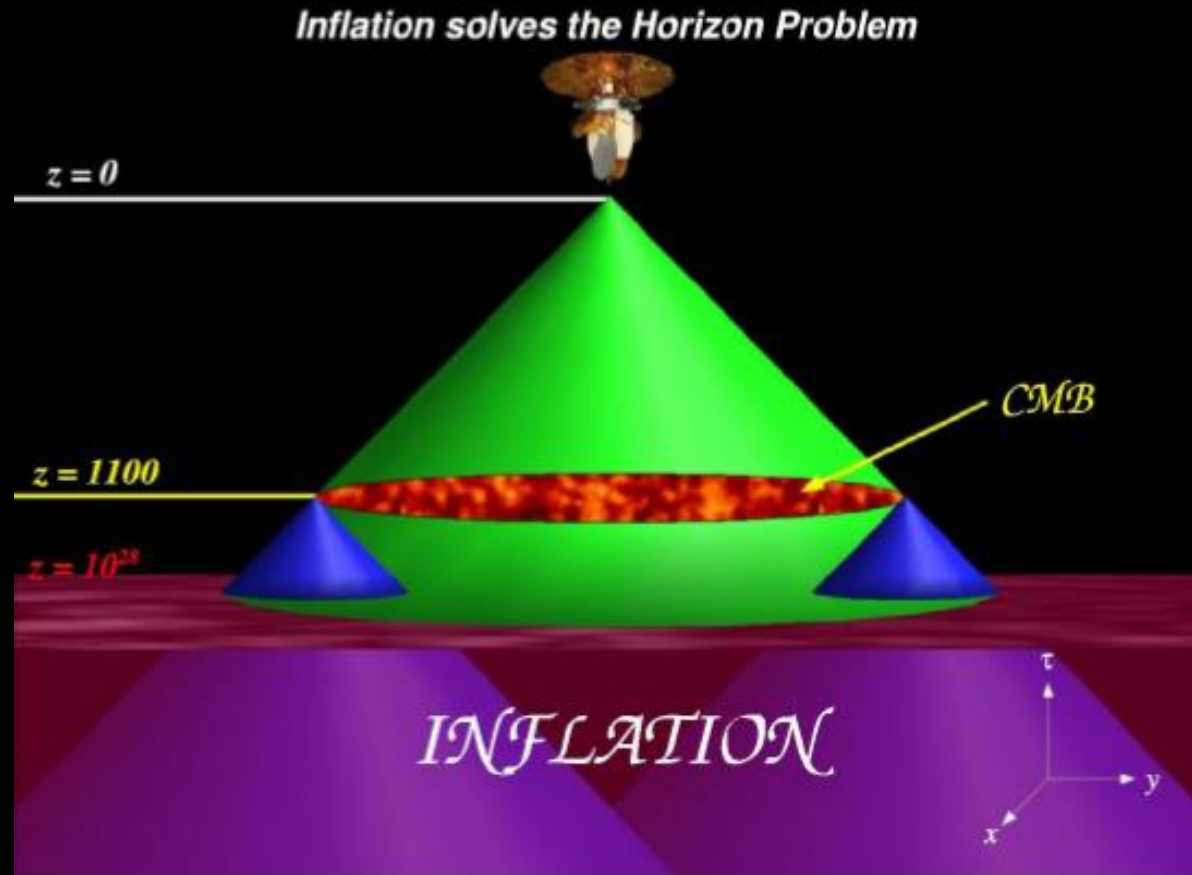


Questa è la più vecchia fotografia del nostro Universo.

Problema dell'orizzonte

Se due punti da cui proviene il CMB che osserviamo sono troppo distanti perché neppure la luce abbia il tempo sufficiente dopo il Big Bang per connetterli, evidentemente non possono scambiarsi l'informazione per potersi termalizzare

Inflazione:
 $\sim 10^{-35}$ sec dopo il Big Bang una violenta espansione dello spazio di un fattore di $\sim 10^{50}$ risolve il problema dilatando punti sufficientemente vicini da potersi termalizzare



I coni che si vedono sono i percorsi dei raggi di luce

L'espansione dell'Universo dal Big Bang ad Oggi

**Big
Bang**

Time →

| 10^{-44} s | 10^{-35} s | 10^{-32} s | 10^{-10} s | 300 s | 3×10^5 yr | 1×10^9 yr | 15×10^9 yr |
|---------------------|--------------|---------------|------------------|--------------|--------------------|---------------------------|---------------------|
| Superstring (?) Era | GUT Era | Inflation Era | Electro-weak Era | Particle Era | Recombination Era | Galaxy and Star Formation | Present Era |

E W

E W
E W

+ -

+ -

+ -

+ -

+ -

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

+ +

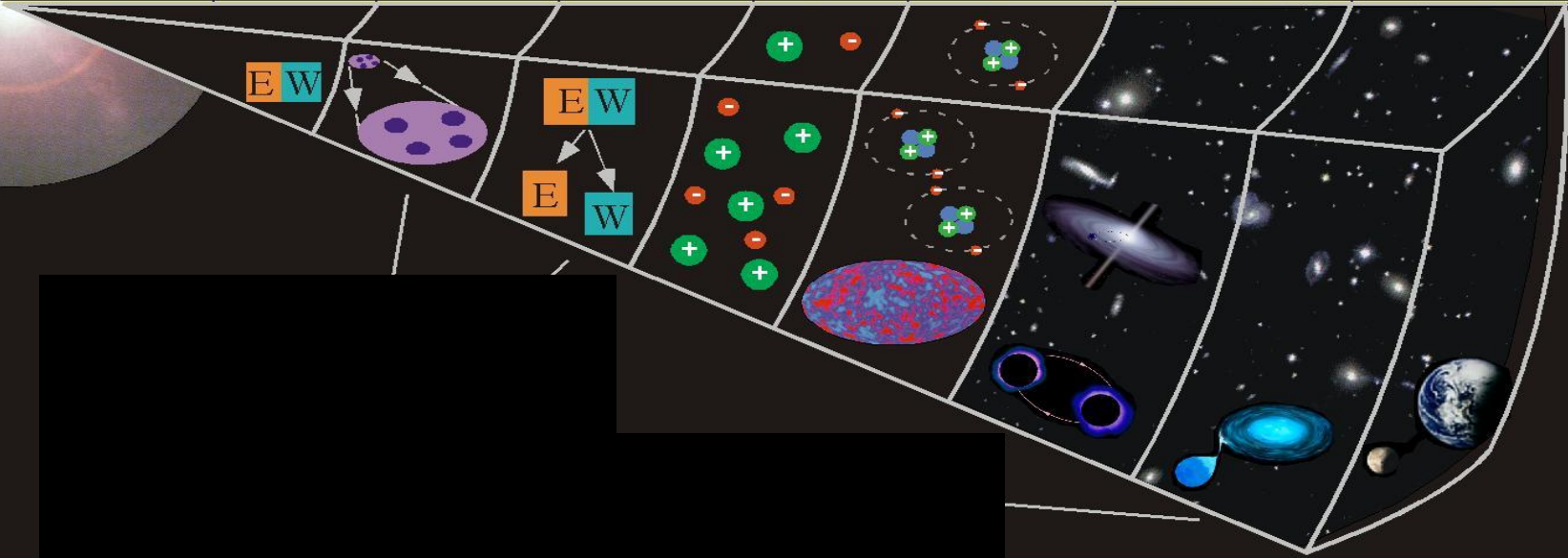
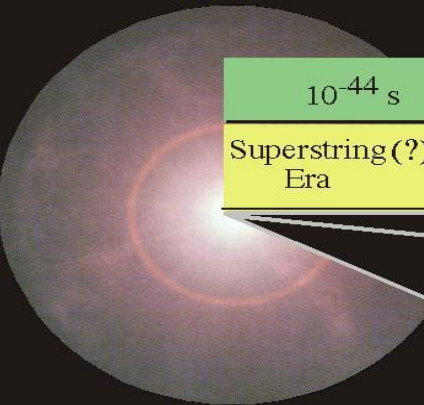
+ +

+ +

+ +

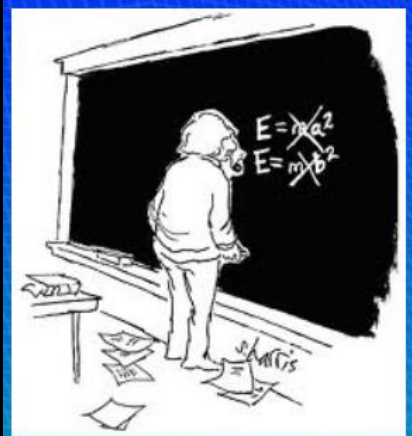
+ +

+ +

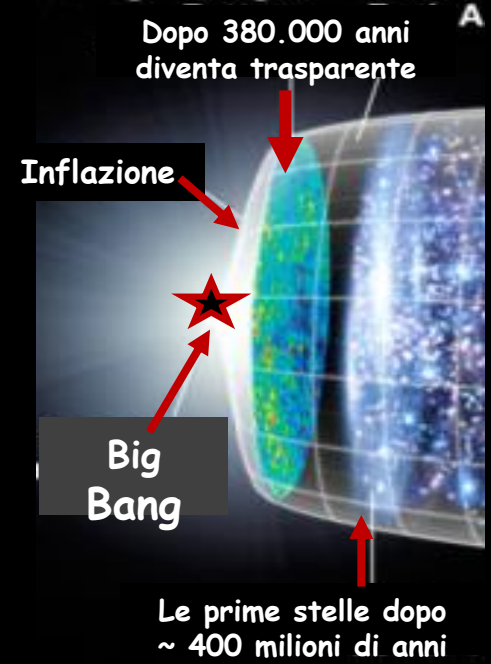
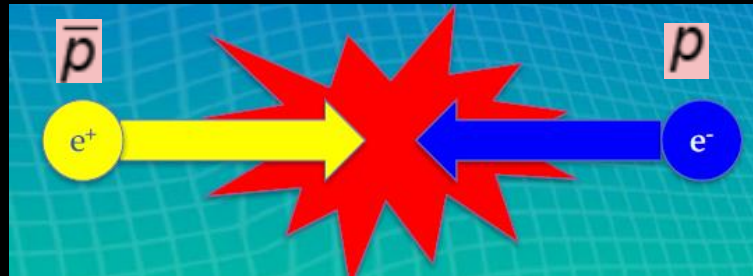
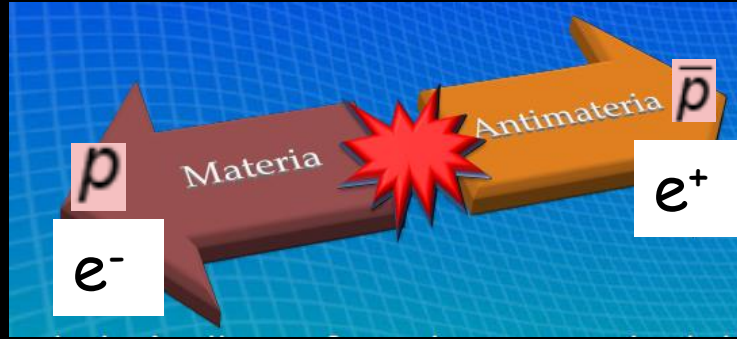


10^{-32} - 10^{-10} sec : la materia è caldissima ma si sta rapidamente raffreddando, materia, antimateria e radiazione (fotoni) sono in equilibrio

$$p + \bar{p} \leftrightarrow \gamma + \gamma \quad n_\gamma \approx n_p, n_{\bar{p}}$$



$$E=mc^2$$



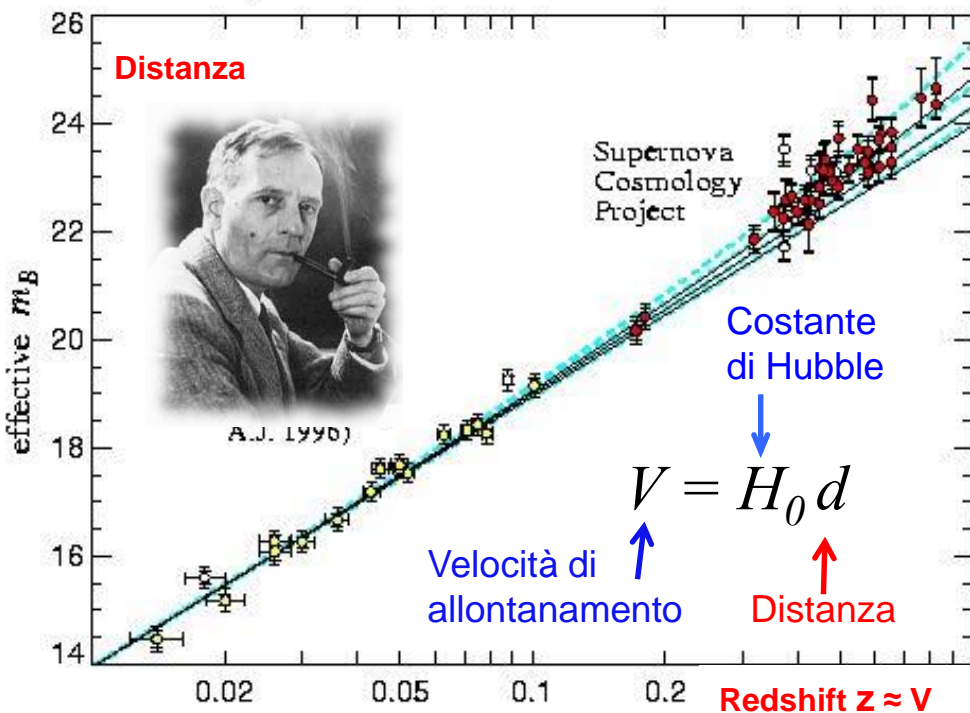
Un meccanismo ignoto crea una leggera asimmetria tra materia e antimateria. Tutta l'antimateria si annichila con la materia e resta una piccola parte di sola materia

Materia
10.000.000.001

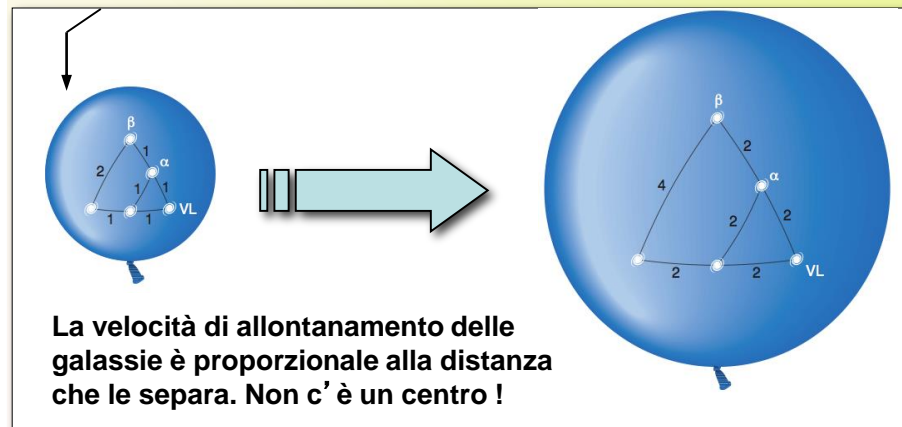


Antimateria
10.000.000.000

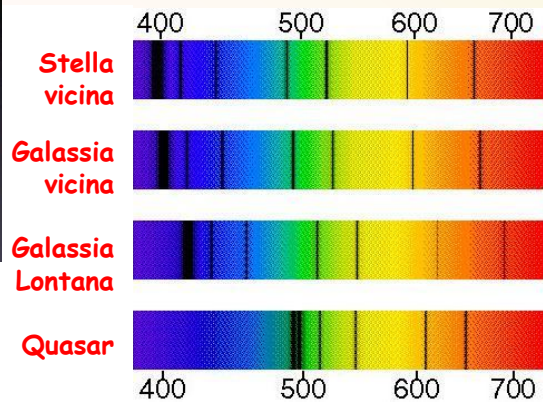
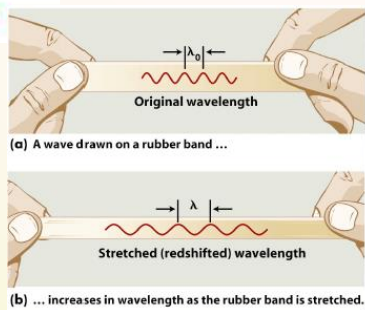
1929, Legge di Hubble: Espansione dell'Universo



lo spazio (qui rappresentato in solo due dimensioni) è la superficie del palloncino, non tutto il palloncino.



La distanza delle supernovae di tipo Ia viene ottenuta dalla misura della loro luminosità apparente



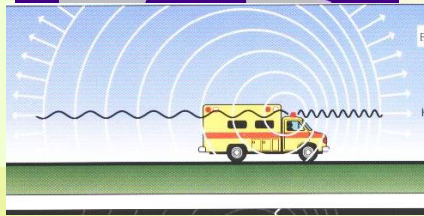
$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

$$V_r = H_0 d$$

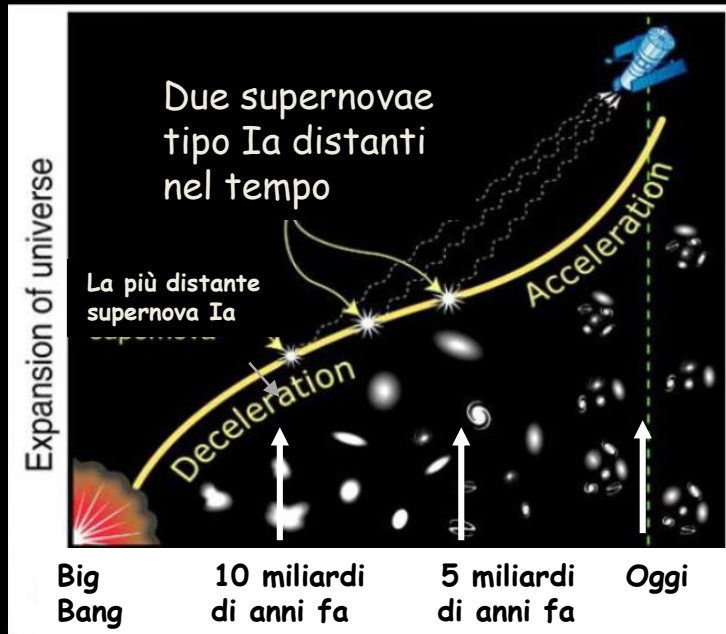
$$V_r = cz$$

$$d = \frac{c}{H_0} z \propto z$$

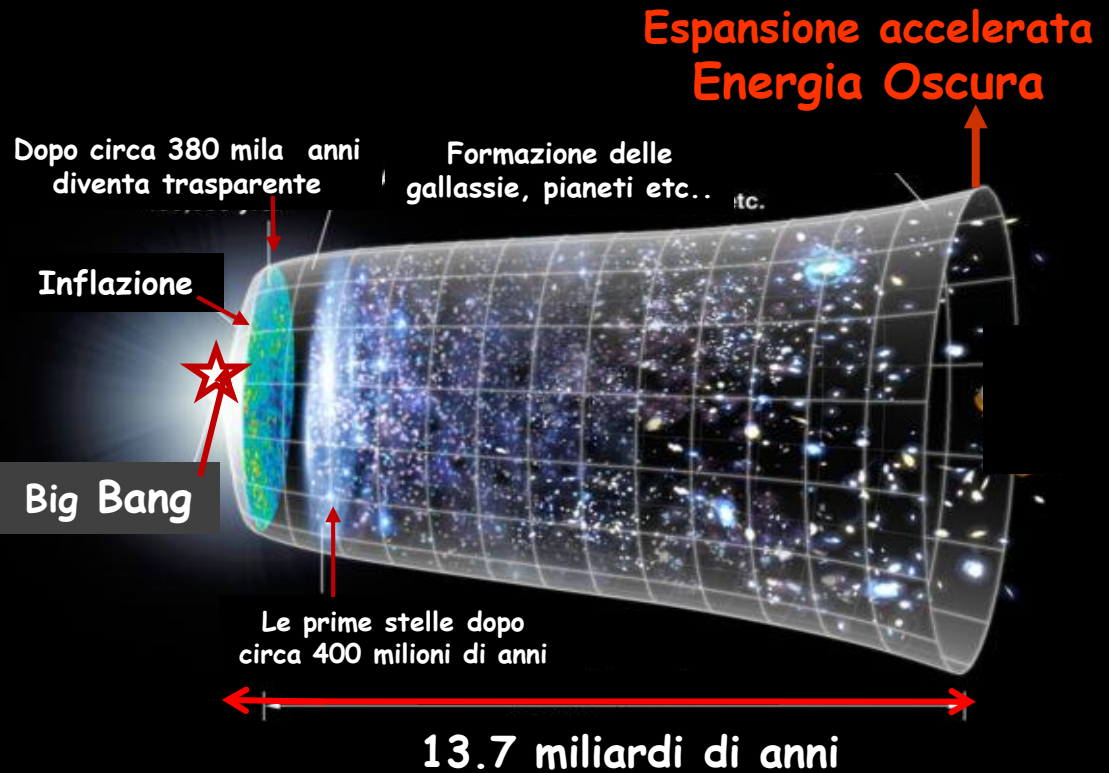
La velocità di allontanamento è misurata dal redshift cosmologico causato dall'espansione dello spazio (simile all'effetto Doppler).



L'espansione dell'Universo dal Big Bang ad Oggi



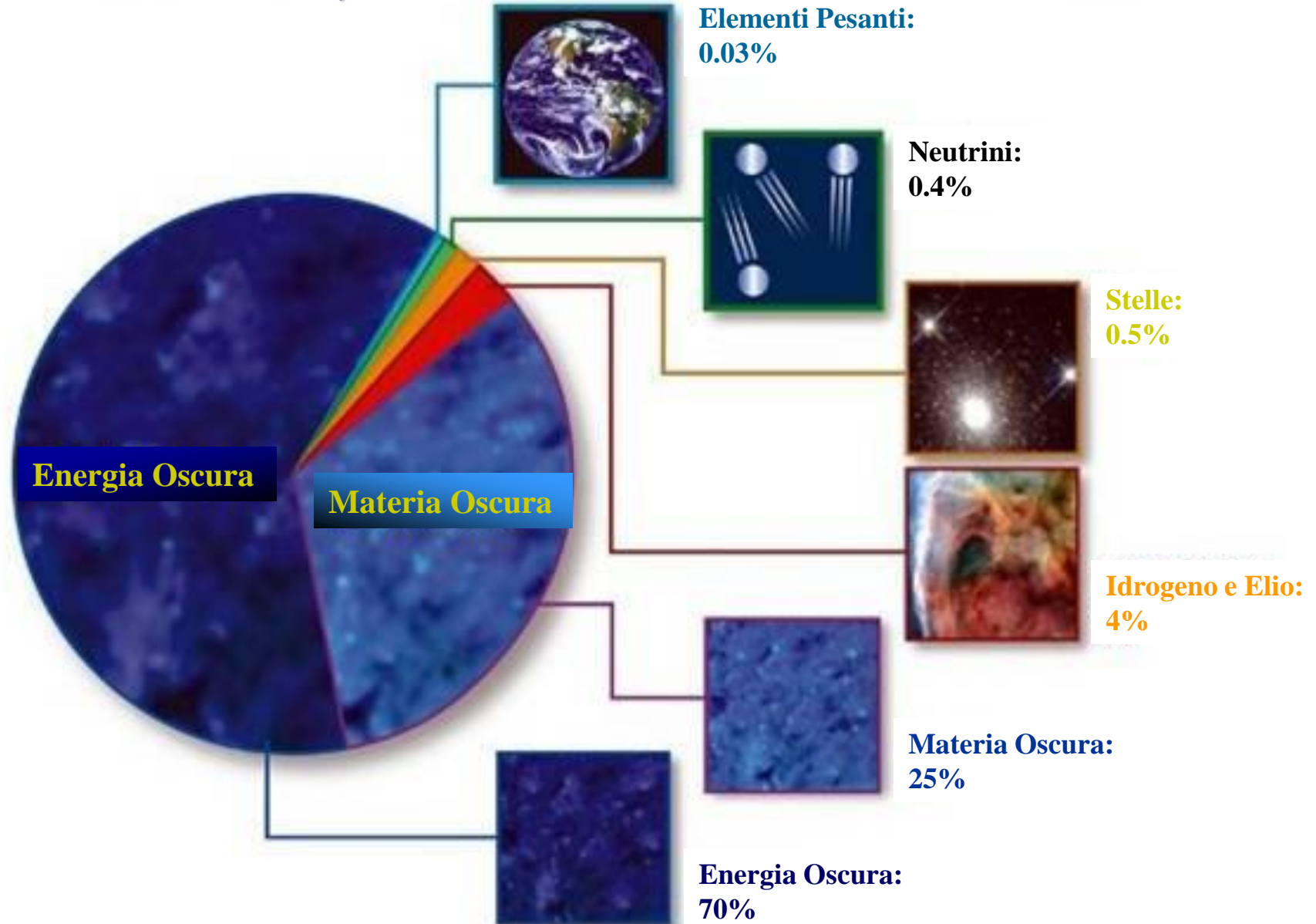
Dalle misure della luminosità apparente di supernovae di tipo Ia distanti nel tempo \Rightarrow a partire da 5 miliardi di anni fa l'espansione dell'Universo ha iniziato ad accelerare



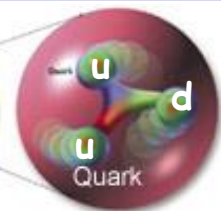
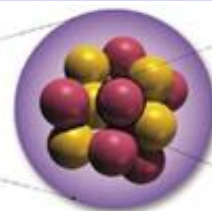
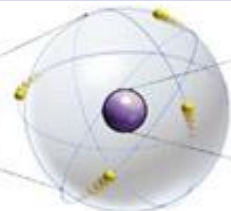
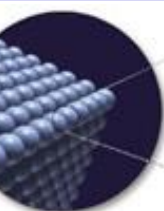
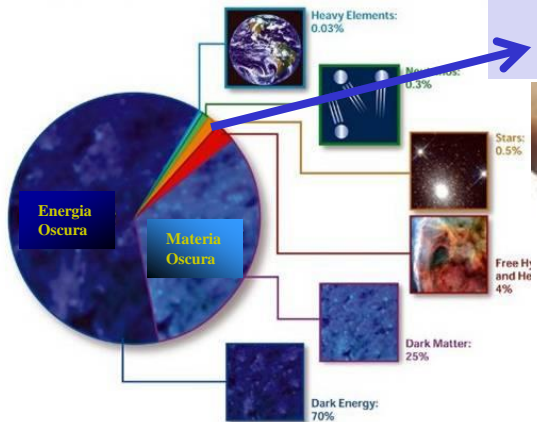
Si ritiene che l'Universo sia iniziato con una singolarità chiamata Big Bang, un evento iniziale che dette origine al tutto: allo spazio, al tempo e all'energia (materia e radiazione). Il modello descrive l'evoluzione dell'Universo da uno stato primordiale denso, caldo e uniforme a quello presente lungo una fascia di tempo di 13.72 ± 0.12 miliardi di anni.

Di cosa e' fatto il nostro Universo

(stelle e pianeti sono solo una piccola parte !)



La materia ordinaria (~5%)



Sostanza

Atomo

Nucleo

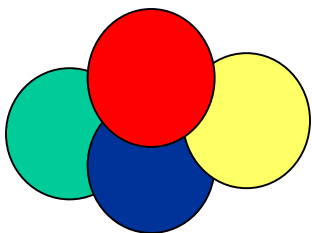
Protone



(C) Andy Brice 1998

**Anassimene
Taletè
(VI-V a.C.)**

**Leucippo
Democrito
(V-IV a.C.)**



atomos

Tavola periodica degli elementi

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
| 1 | 2 | | | | | | | | | | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| H | He | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne | | | | |
| 3 | 4 | | | | | | | | | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | | | |
| Li | Be | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar | | | | |
| 11 | 12 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | | |
| Na | Mg | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | | |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | | | | |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | | | | |
| 55 | 56 | 57 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | | | | |
| Cs | Ba | *La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | | | | |
| 87 | 88 | 89 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | | | | | | | | | | |
| Fr | Ra | +Ac | Rf | Ha | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | | | | | | | | | | |

Naming conventions of new elements

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| * Lanthanide Series | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 |
| | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu |
| + Actinide Series | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 |
| | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr |

**D. Mendeleev
J.L. Meyer
(1869 d.C.)**

I-materia ordinaria

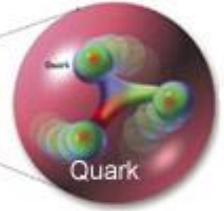
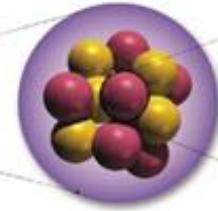
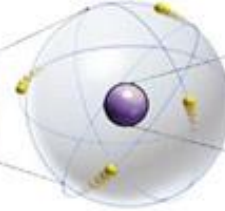
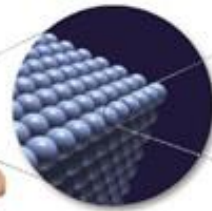
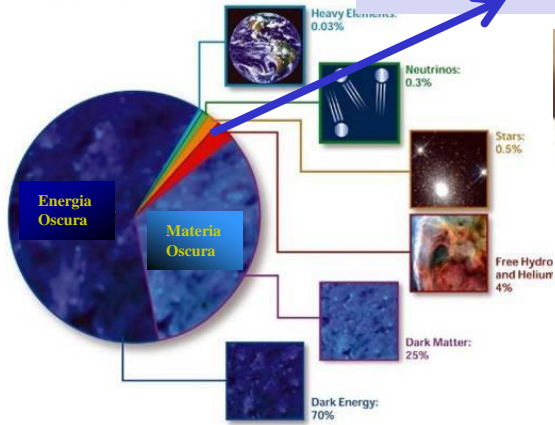
II, III materia instabile

| | | | |
|---------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Quarks | u up | c charm | t top |
| | d down | s strange | b bottom |
| Leptons | ν_e electron neutrino | ν_μ muon neutrino | ν_τ tau neutrino |
| | e electron | μ muon | τ tau |
| | I | II | III |

**Modello Standard
(XX d.C.)**

(nuova tavola periodica)

La materia ordinaria (~5%)



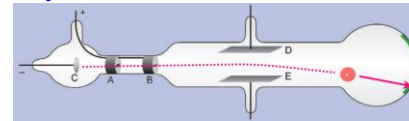
Sostanza

Atomo

Nucleo Protone/Neutrone

1896: Scoperta della radioattività, H. Becquerel, P. Curie, M. Curie

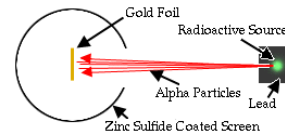
1897: Scoperta dell'elettrone, J.J. Thomson (tubi di Crookes)



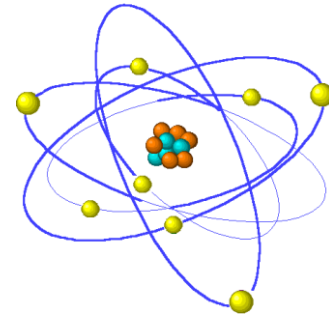
Atomo

(ingrandito mille miliardi di volte)

1911: Scoperta del nucleo, E. Rutherford



atomo $\sim 10^{-10}$ m
nucleo $\sim 10^{-15}$ m



L'atomo di Rutherford è instabile !

1913: L'atomo di Bohr:

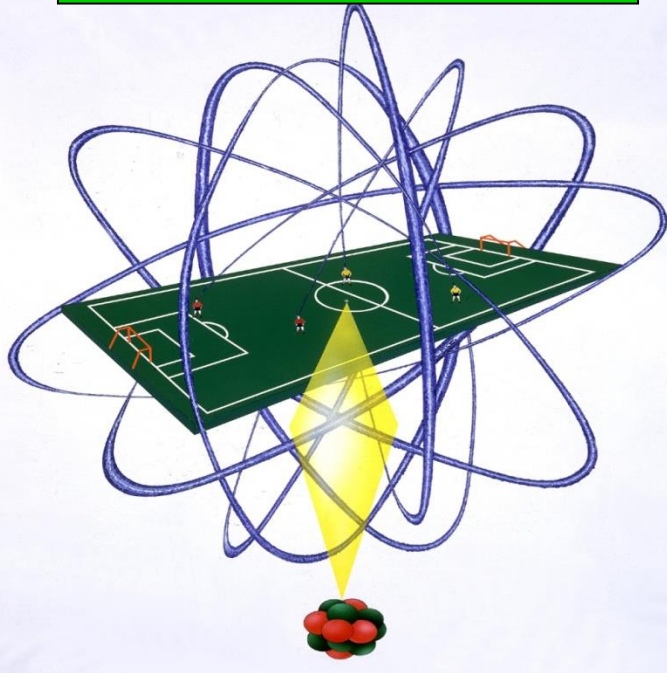
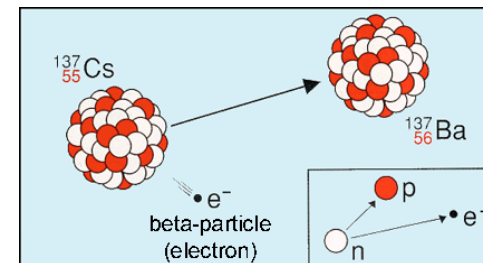
Le orbite sono quantizzate

1919: Scoperta del protone, E. Rutherford (E. Goldstein)

1932: Scoperta del neutrone, J. Chadwick

1930: Pauli:..

ci sono anche i neutrini!
(il problema del decadimento β)



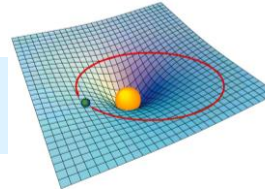
A questa scala, il Nucleo è ~ 1 cm

Nel frattempo... molti sono i progressi teorici

- La relatività ristretta (1905)

$$E = mc^2$$

- La relatività generale (1915)



$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

- La formulazione completa della meccanica quantistica (1924-1927)

1924 de Broglie propone che la materia abbia caratteristiche di onda

1925 Pauli formula il principio di esclusione per elettroni atomici.

1926 Schroedinger sviluppa la meccanica ondulatoria.

1926 Born da' una interpretazione probabilistica della quanto-meccanica .

1927 Heisenberg formula il principio di indeterminazione.

✓ Nel 1931 Dirac propone l'esistenza di una nuova particella con la stessa massa ma con carica opposta a quella dell'elettrone

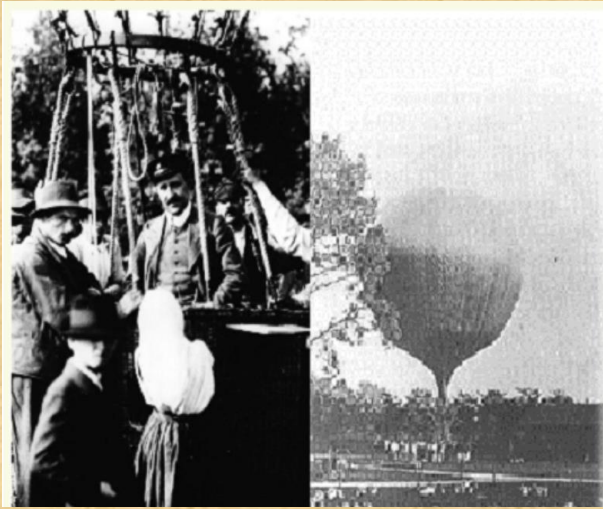
✓ Nel 1932 C. Anderson scopre l'anti-elettrone il "positrone"

➤ l'antimateria esiste !



Oltre la materia ordinaria...

scoperta con i Raggi Cosmici

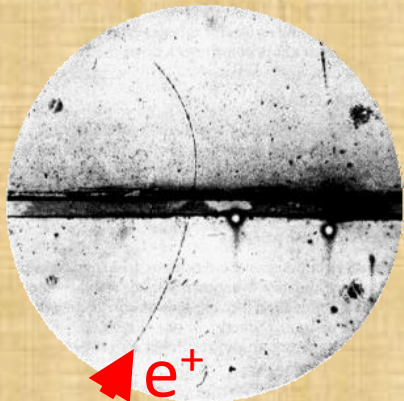


Victor Hess nel 1912 scopre con esperimenti ad alta quota i raggi cosmici

I raggi cosmici primari producono sciame di particelle nell'atmosfera



Sulla superficie della Terra :~ 1/sec/dm²

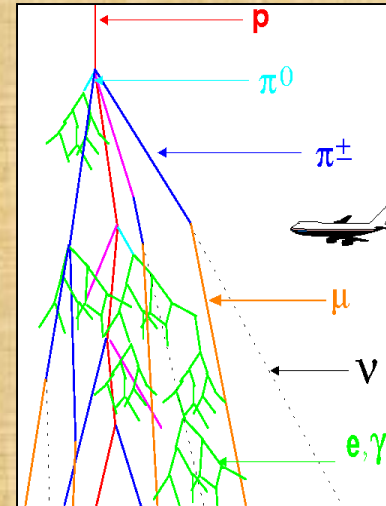


1932- Anderson scopre il positrone

E questo chi lo ha ordinato?
(I.I.Rabi)



1937-Anderson & Neddermeyer scoprono il mesotrone (muone)



Raggi cosmici primari:
**p 80 %, α 9 %, n 8 %
 e 2 %, nuclei pesanti 1 %
 γ 0.1 %, ν 0.1 %**

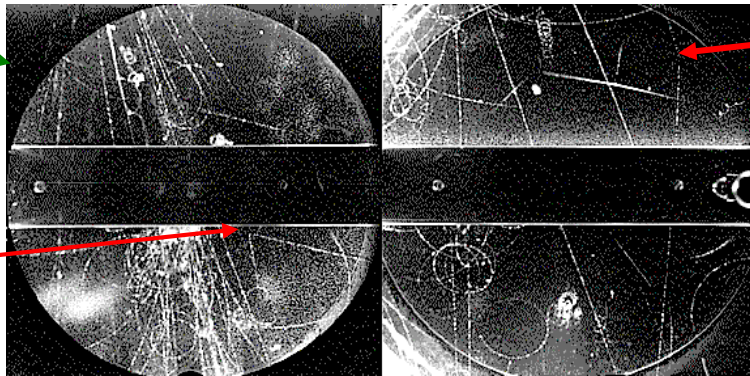
**Raggi cosmici secondari
 sulla superficie della Terra:**
ν 68% ; μ 30%; p, n,...2 %

Oltre la materia ordinaria ...

1937, scoperta del muone (C. Anderson & S. Neddermeyer)

1947, scoperta del pione (C. Powell)

1947, scoperta delle particelle K neutre e cariche (G. Rochester & C. Butler)



$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$

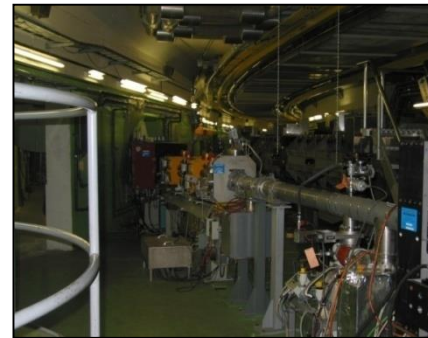
Foto di camera a
nebbia esposta
a raggi cosmici

$\Lambda^0 \rightarrow p \pi^-$

Un grande balzo in avanti nella comprensione del mondo subatomico fu reso possibile con la costruzione di acceleratori di particelle.



E. Lawrence costruisce il
primo ciclotrone nel 1929
(80 KeV diametro 13cm)

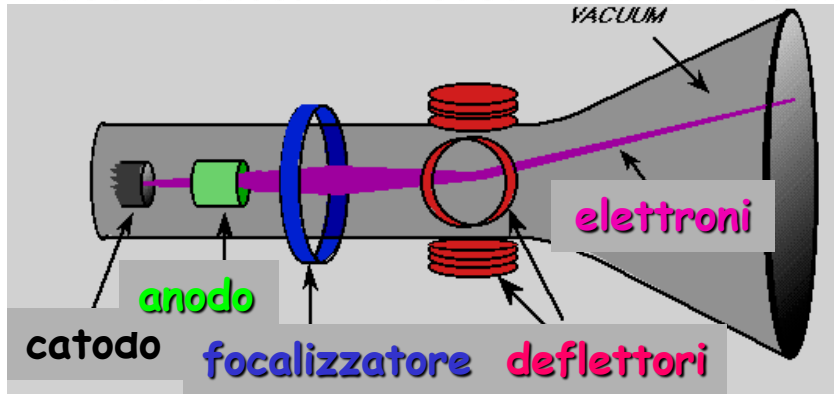


Il proto-sincrotrone
del CERN entra in
funzione nel 1959
(26 GeV diametro 200 m)

La scienza e la tecnologia quasi sempre progrediscono di pari passo: per svelare i segreti della natura c'è bisogno di strumenti innovativi per realizzare i quali c'è bisogno di aver capito a fondo le leggi che governano la natura.

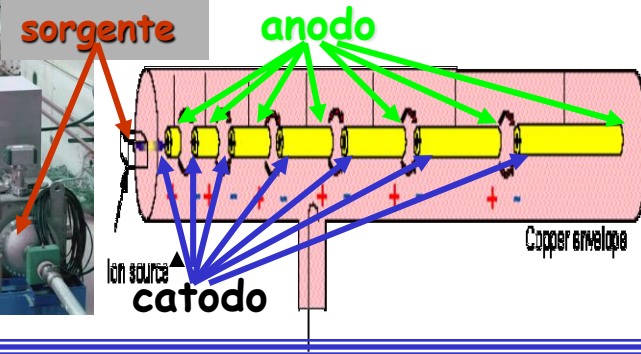
Come si accelerano le particelle

l'acceleratore di casa: il televisore

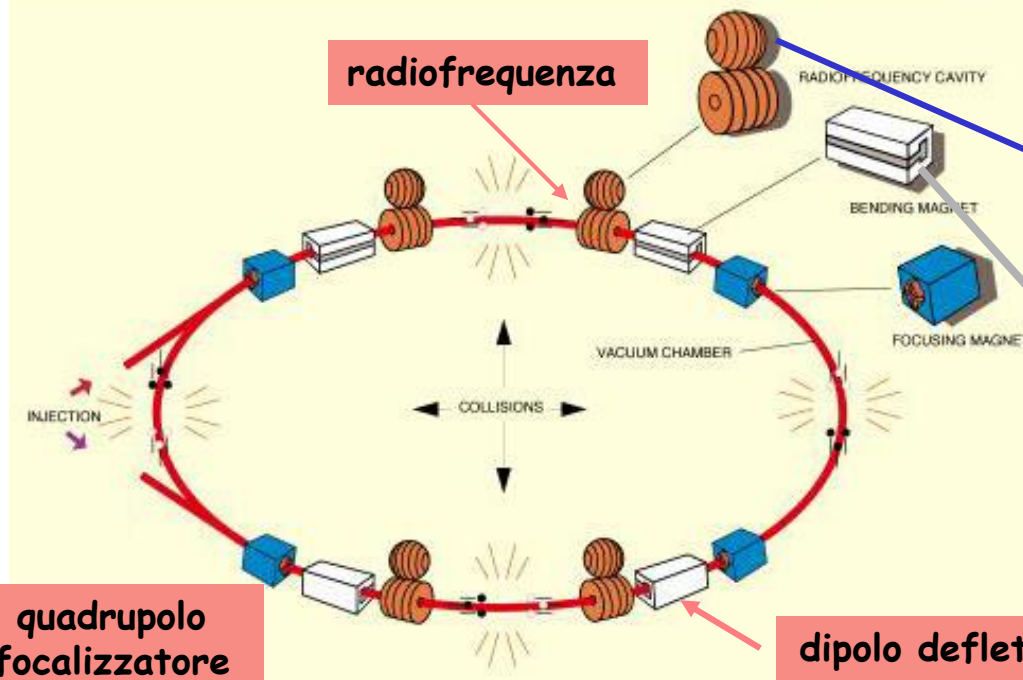


l'energia degli elettroni è ~ 20 KeV

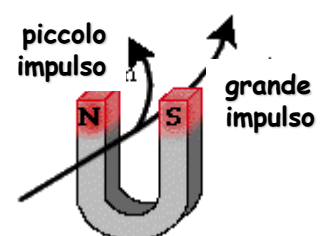
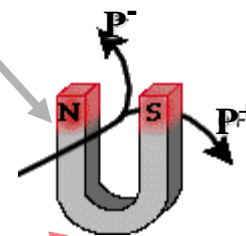
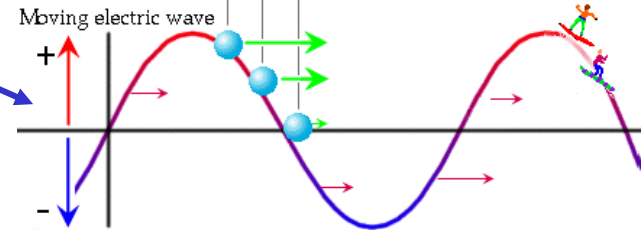
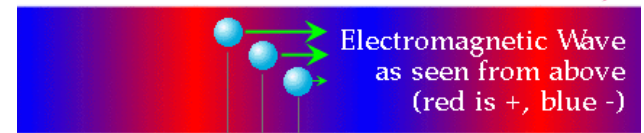
(FERMILAB-Chicago)
acceleratore lineare
energia 400 MeV



le 3 componenti principali di un acceleratore



Electromagnetic wave is traveling, pushing particles along with it



Unità di misura

● Energia



● Multipli di 1 eV *keV, MeV, GeV, TeV*

(10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12})

mille milione miliardo mille-miliardi

● Energia di una particella

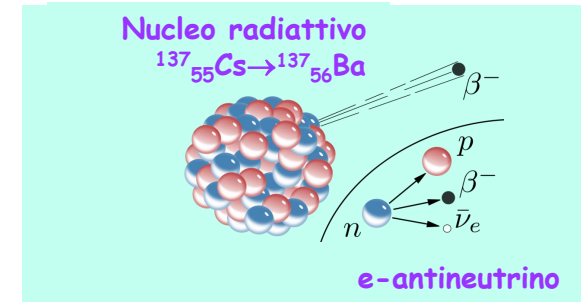
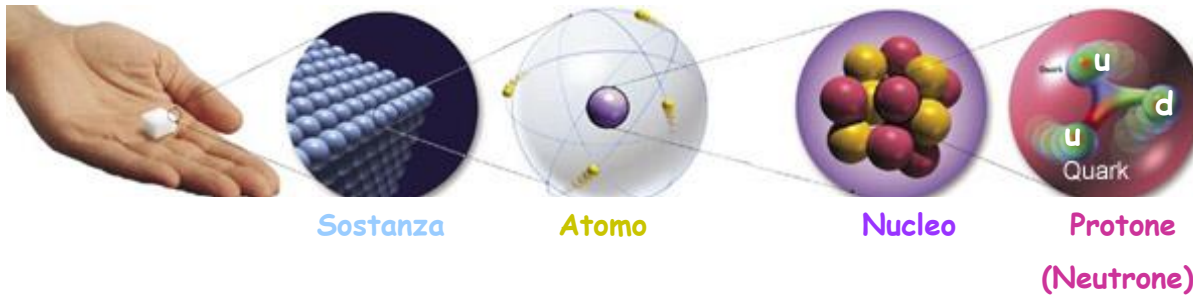
■ Relatività $E = mc^2$; $m = \gamma * m_0$

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}; \quad \beta = v/c$$

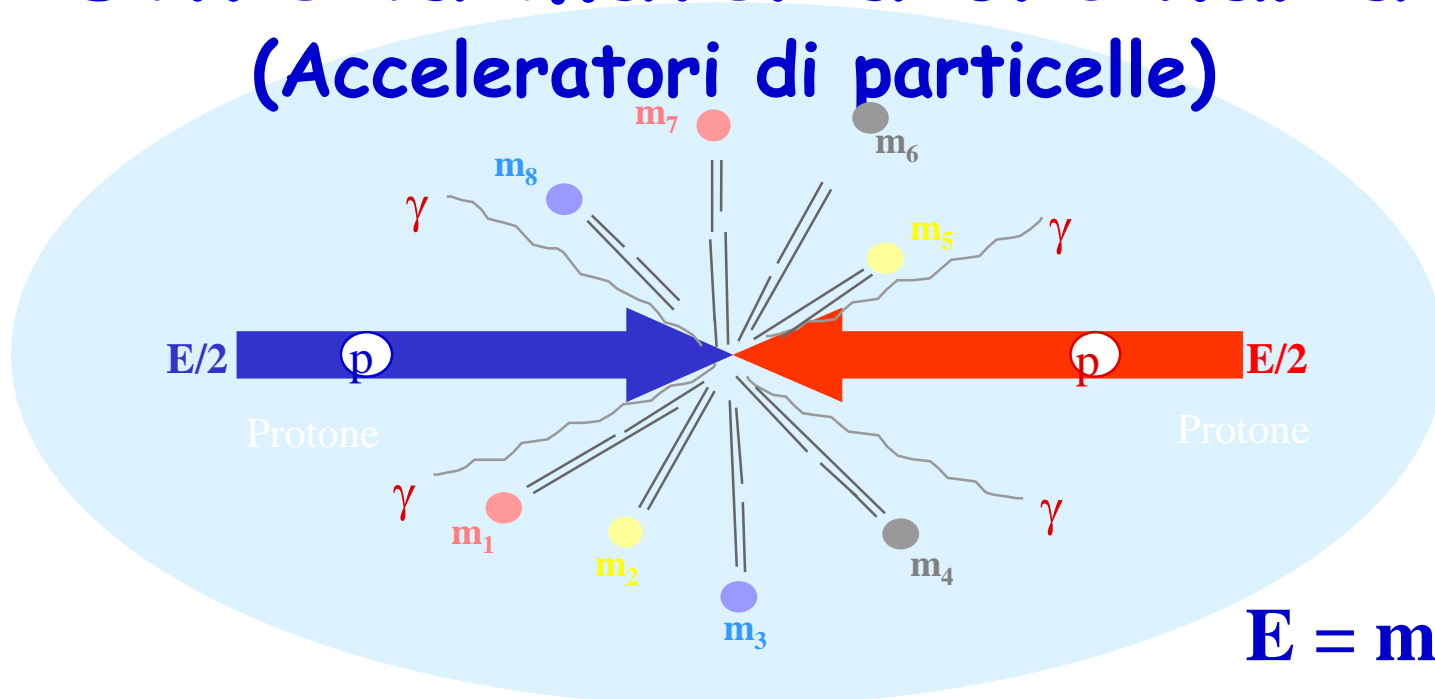
■ Elettrone $m_0 = 9.11 * 10^{-31} \text{ kg}$; 0.51 MeV

■ Protone $m_0 = 1.67 * 10^{-27} \text{ kg}$; 0.94 GeV

La materia ordinaria

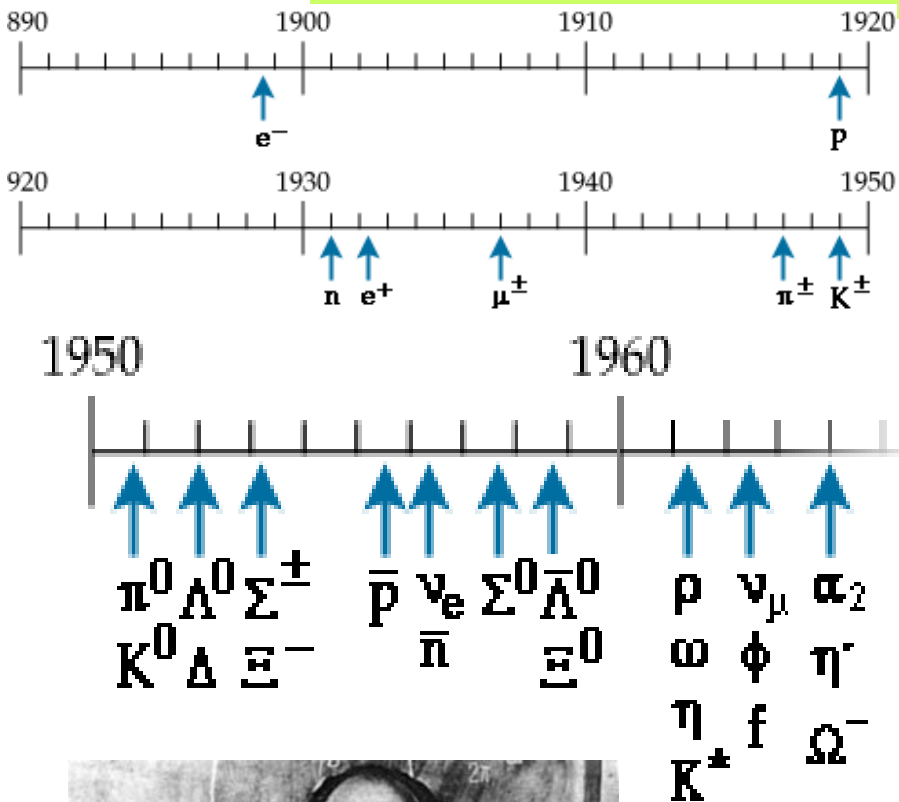


Oltre la materia ordinaria (Acceleratori di particelle)



Nella collisione vengono prodotte molte particelle
sia di materia che di antimateria

Oltre la materia ordinaria ...



- 1952, scoperta della Δ (Fermi et al.)
- 1955, scoperta dell'antiprotone (Segrè et al.)
- 1955,
- 1964, scoperta dello Ω^-
-

Tra gli anni '50 e gli anni '60 con l'avvento degli acceleratori e della camera a bolle (un nuovo rivelatore molto migliore della camera a nebbia) vengono scoperte moltissime nuove particelle, forse troppe.. c'è ora molto da fare per i teorici !



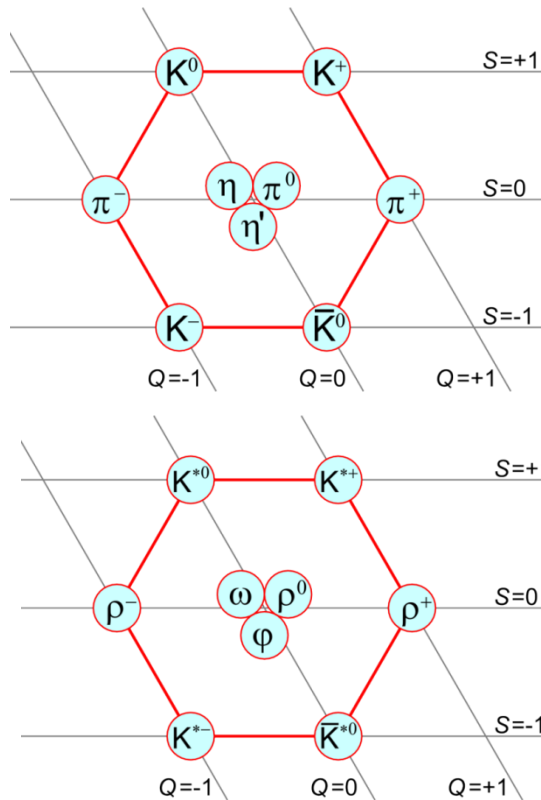
"Young man, if I could remember the names of these particles, I would have been a botanist!" disse E. Fermi al suo studente L. Lederman (anch'egli premio Nobel)

Nel 1964 per mettere ordine nello zoo delle particelle fino ad allora scoperte, Gell-Mann intuisce l'esistenza di una struttura di simmetria ($SU(3)$), ipotizzando l'esistenza di tre particelle che chiamò quark.

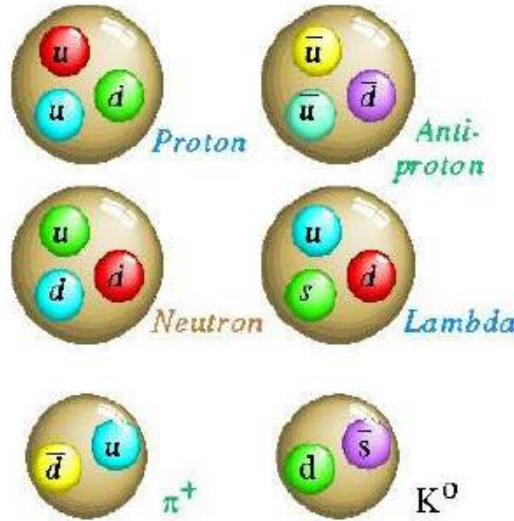
L'ipotesi dei quark

("The 8-fold way")

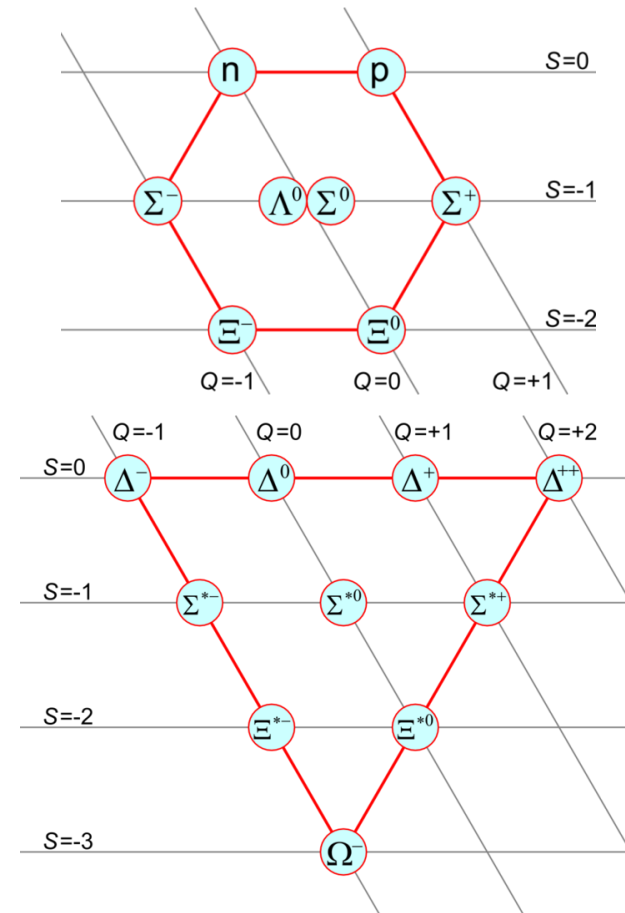
Mesoni ($q_1 q_2^{\text{bar}}$)



| quark | carica | stranezza |
|---------|--------|-----------|
| up | +2/3 e | 0 |
| down | -1/3 e | 0 |
| strange | -1/3 e | -1 |



Barioni ($q_1 q_2 q_3$)

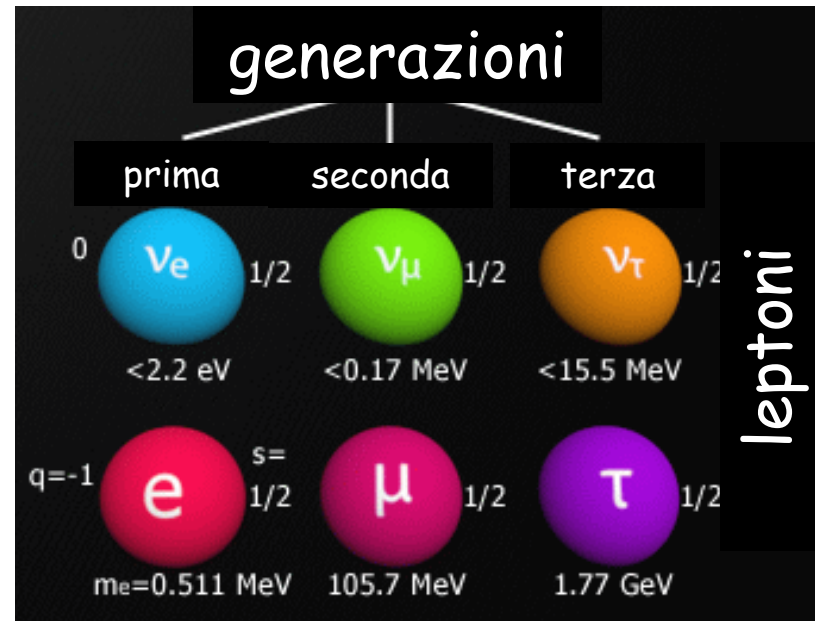


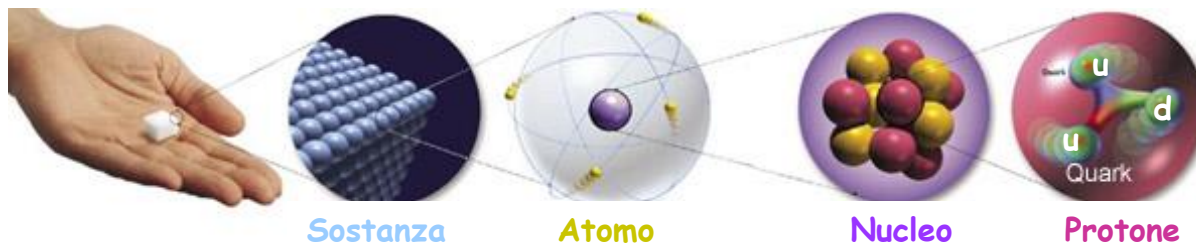
C'è molta riluttanza nell'accettare l'ipotesi dei quark con carica frazionaria e, nonostante che questa ipotesi permetta di organizzare tutte le particelle scoperte in semplici strutture di multipletti e abbia predetto nuovi stati poi realmente scoperti (Ω^-), rimane per molti un artificio matematico fino al 1974.

Anche i Leptoni sono sei !

(tre carichi e tre neutri)

- 1897: J.J. Thomson scopre l'elettrone, il primo leptone carico ($\lambda\epsilon\pi\tau\omicron\varsigma$: minuto. Un elettrone è circa 2000 volte più leggero del protone)
- 1930: W.Pauli ipotizza l'esistenza del neutrino elettronico per spiegare il decadimento β , scoperto sperimentalmente nel 1956.
- 1937: scoperta del muone nei raggi cosmici (C. Anderson & S. Neddermeyer)
- 1962: Si verifica sperimentalmente (Lederman, Schwartz, Steinberger) che ci sono due diversi tipi di neutrino (elettronico e muonico). Per ogni leptone carico c'è un leptone neutro (chiamato neutrino) di massa molto piccola.
- 1975: viene scoperto a SLAC il terzo leptone carico il τ . Il μ ed il τ sono repliche dell'elettrone ($m_e=0.511\text{MeV}$) con massa più grande ($m_\mu=106\text{MeV}$ e $m_\tau=1777\text{MeV}$)
- Per ragioni di simmetria si prevede l'esistenza del terzo neutrino, il neutrino τ , scoperto a FNAL nel 2000.





Riassumendo:

i costituenti fondamentali della materia sono i fermioni

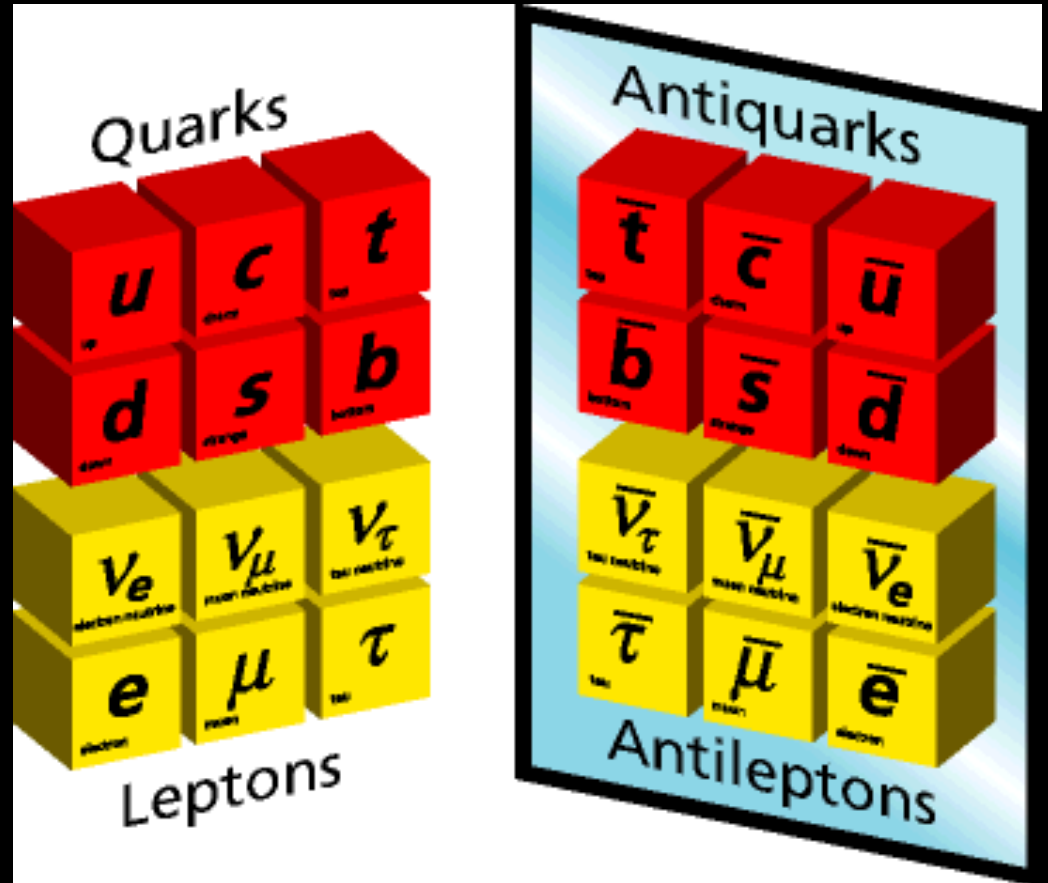
| Le generazioni di materia | Quarks | | Leptoni | |
|---------------------------|--------|---------|-------------------|----------|
| | up | down | e - neutrino | electron |
| I | | | | |
| II | charm | strange | μ - neutrino | muon |
| III | top | bottom | τ - neutrino | tau |

- Tutta la materia visibile è composta dalle particelle di prima generazione
- Tutte le particelle di seconda e terza generazione sono instabili e decadono rapidamente in particelle di prima generazione
- Inoltre si identificano tre classi di decadimenti corrispondenti a tempi diversi con cui essi avvengono e che dipendono dall'intensità dell'interazione responsabile del decadimento:
 - ✓ **Interazione elettromagnetica:** le particelle decadono in tempi intorno ai 10^{-15} secondi
 - ✧ Esempio: il pione neutro $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
 - ✓ **Interazione debole:** le particelle decadono in tempi di 10^{-12} secondi e superiori
 - ✧ Esempio: i pioni carichi $\pi \rightarrow \mu\nu$, i kaoni $K \rightarrow \pi e\nu$
 - ✓ **Interazione forte:** le particelle decadono in tempi di circa 10^{-20} secondi o inferiori
 - ✧ Esempio: $\Delta^{++} \rightarrow p\pi^+$

Materia ed anti-materia

Ogni particella di materia ha la sua anti-particella con carica opposta.

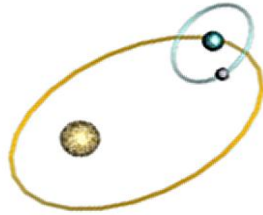
Le particelle forza non hanno le anti-particelle: non esistono gli anti-gluoni o gli anti-fotoni!



Quarks e leptoni interagiscono tra loro scambiandosi dei **messaggeri**, cioè delle particelle specifiche dell'interazione, dette "**particelle forza**".

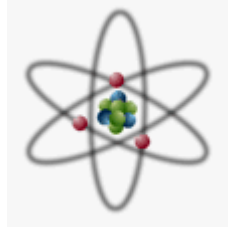
Le forze che conosciamo in natura sono:

Forza gravitazionale:



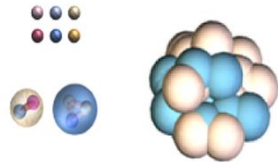
caduta dei corpi, moto stellare...
Il messaggero è il **gravitone**

Forza elettromagnetica:



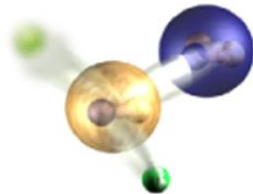
corrente, magneti, atomi, chimica...
Il suo messaggero è il **fotone**

Forza forte:



tiene uniti i protoni e i neutroni
nel nucleo e tiene uniti i quark
Il suo messaggero è il **gluone**

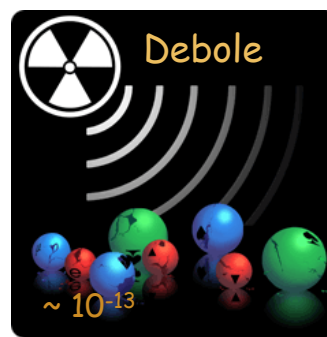
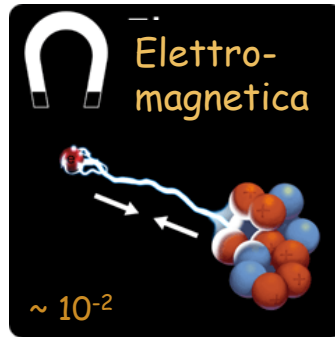
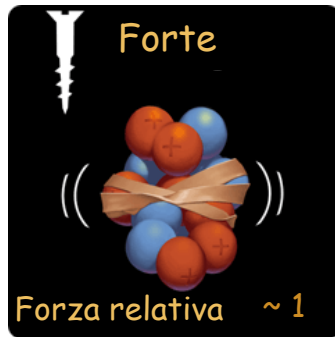
Forza debole



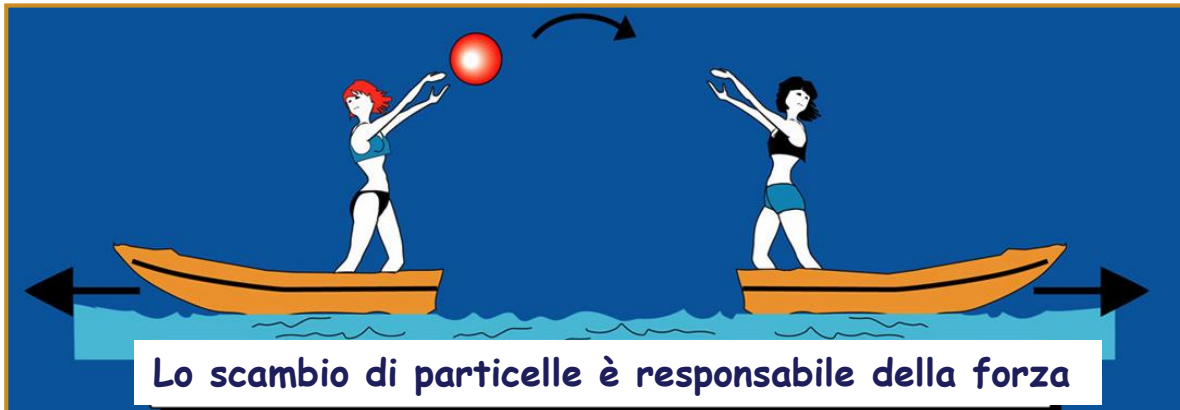
radioattività, attività solare ...
I suoi messaggeri sono i **W^\pm** e la **Z**

Come interagiscono le particelle elementari?

Abbiamo capito che i costituenti elementari della materia sono i quarks e i leptoni. Ma questo non basta per capire come è fatto il mondo che ci circonda. Dobbiamo capire come interagiscono tra loro, come si combinano a formare la materia ordinaria e perché le particelle di seconda e terza generazione sono instabili e decadono rapidamente in particelle di prima generazione... dobbiamo insomma avere una teoria che descriva il loro comportamento. Dalle tre classi di decadimento abbiamo identificato tre diverse interazioni tra le particelle di diversa intensità (a cui si aggiunge la debolissima interazione gravitazionale che non considereremo in questo contesto)



Pensiamo che tutte queste 4 diverse interazioni siano dovute allo "scambio" di altre particelle, chiamate "mediatrici" o "vettori" dell'interazione.



Sono le leggi che governano questi scambi quello che la nostra teoria deve spiegare.

Il Modello Standard

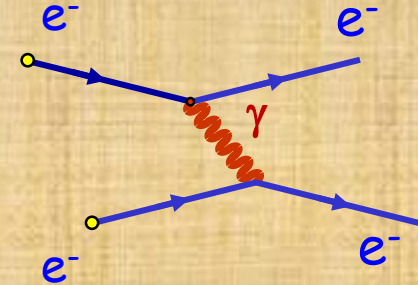
| | Fermioni | | | Bosoni | |
|---------------------|---|--|--|--------------------------------------|--------------------|
| Quarks | u up | c charm | t top | g gluone | Meidatori di Forze |
| | d down | s strange | b bottom | γ fotone | |
| Leptoni | ν_e e-neutrino | ν_μ μ -neutrino | ν_τ τ -neutrino | W bosone | |
| | e elettrone | μ muone | τ tau | Z bosone | |
| I | II | III | | | |
| Famiglie di materia | | | | | |



La forza di Gravità è $\sim 10^{-35}$ volte più debole della forza Elettromagnetica e la Relatività Generale non è quantizzabile, cioè non è compatibile con la meccanica quantistica.

La Forza Elettromagnetica: la QED

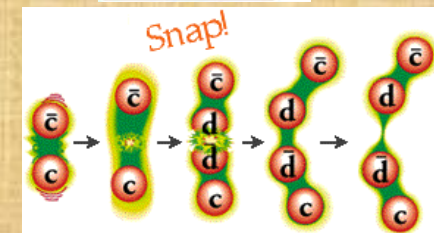
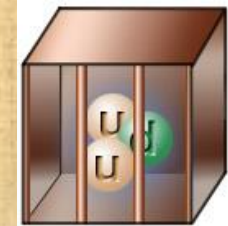
- **1860's**: Maxwell scrive le sue equazioni e unifica la forza elettrica e quella magnetica nella forza elettromagnetica.
- **1940's**: Feynman, Schwinger, Tomonaga rendono la teoria compatibile con la meccanica quantistica e la relatività ristretta con una **teoria di Gauge** (invarianza di Gauge). Le interazioni elettromagnetiche sono mediate da una particella di massa nulla: il fotone. **Nasce la QED !**



La Forza Forte: la QCD

La forza forte decresce al diminuire della distanza e i quarks si comportano come se fossero liberi (**libertà asintotica**). Quando i quarks si allontanano la forza aumenta e li obbliga a restare **confinati**.

Gross, Wilczek and Politzer, nel 1974 capirono che una **teoria di Gauge** era l'unica teoria compatibile con una interazione, mediata da gluoni di massa nulla, che godesse contemporaneamente della **libertà asintotica** e del **confinamento**: **Nasce la QCD !**



Cosa deve fare una buona teoria?

Deve poter prevedere (calcolare) la probabilità che una certa interazione tra particelle produca un certo stato finale e che tale previsione sia confermata da misure sperimentali.

Esempio: $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$

Esempio: $Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$

Invarianza di gauge

In meccanica quantistica lo stato di un sistema di particelle è descritto da una funzione d'onda: $\Psi(\mathbf{x}, t)$.
Probabilità di quel certo stato: $|\Psi(\mathbf{x}, t)|^2$.

La probabilità non cambia moltiplicando la funzione d'onda per un "fattore di fase" (invarianza di gauge)

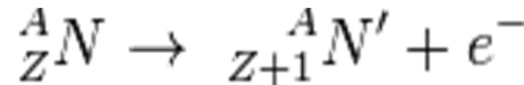
$$\Psi(\mathbf{x}, t) \rightarrow \Psi'(\mathbf{x}, t) = e^{iQ(\mathbf{x}, t)} \cdot \Psi(\mathbf{x}, t)$$

→ Le equazioni (la lagrangiana) di una buona teoria devono rispettare l'invarianza di gauge !

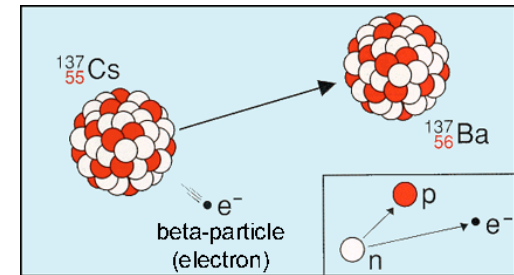
La Forza Debole

(il problema del decadimento β)

- ✓ 1911-1914: si studia la radioattività: un nucleo si trasforma in un altro emettendo un elettrone (radiazione β):

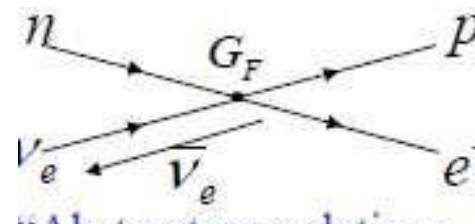
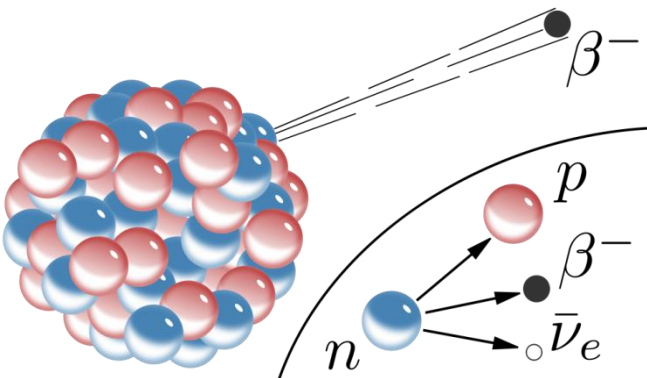


ma c'è un problema: non si conserva l'energia, la quantità di moto e il momento angolare !! ??



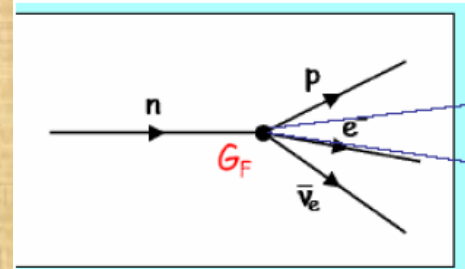
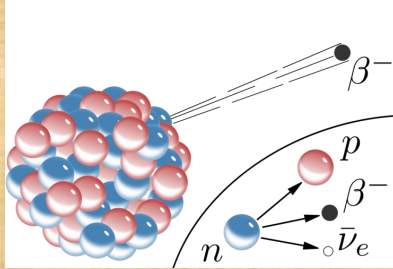
- ✓ 1930: W. Pauli ipotizza che un'altra particella neutra, senza massa e invisibile venga emessa insieme all'elettrone: ${}_Z^A N \rightarrow {}_{Z+1}^A N' + e^- + X$
- ✓ 1933: E. Fermi formula teoria del decadimento β e chiama la nuova particella neutrino. Il fenomeno elementare è il decadimento del neutrone. La forza responsabile del decadimento è dovuta a una nuova forma di interazione, molto meno intensa (10^{-5}) della forza elettromagnetica e con un raggio azione molto piccolo (10^{-18} m):

la forza debole.



La Forza Elettrodebole (debole+elettromagnetica)

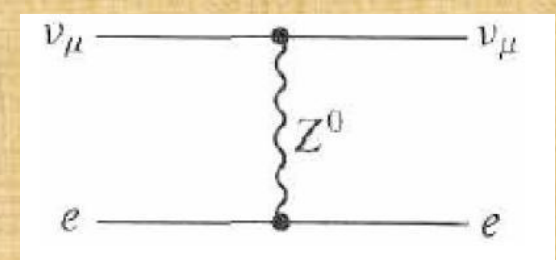
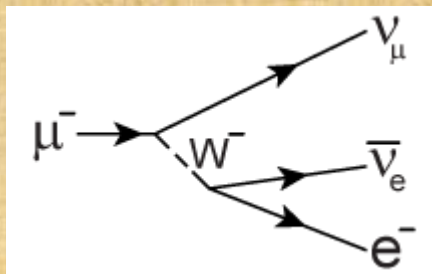
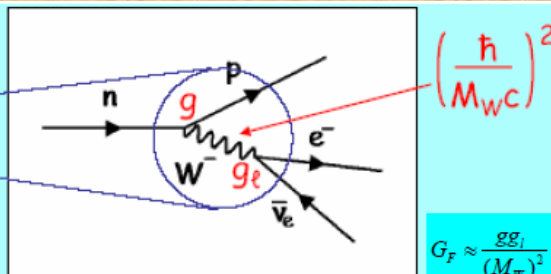
Agli inizi degli anni 60 la teoria di Fermi era ancora considerato il modello migliore per spiegare la fenomenologia delle interazioni deboli, ma non era completamente soddisfacente e ad alte energie violava l'unitarietà.



Verso la fine degli anni 60 Glashow, Salam e Weinberg concepiscono una teoria nell'ambito delle teorie di gauge in cui l'interazione elettromagnetica e l'interazione debole sono due manifestazioni dello stesso meccanismo che a distanze molto piccole ($\approx 10^{-18}$ m) mostrano la stessa intensità.

L'interazione elettromagnetica è mediata da un bosone di gauge, il fotone, con massa nulla che quindi è mediatore di una forza con raggio d'azione infinito

L'interazione debole è mediata da tre bosoni di gauge (i due bosoni vettori carichi W^\pm e il bosone vettore neutro lo Z^0) tutti molto massivi che quindi sono mediatori di forze con un raggio di azione molto limitato



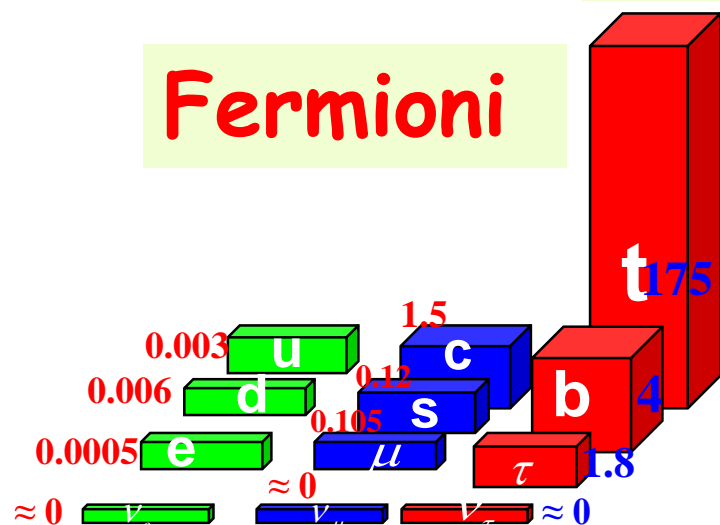
Il modello standard prende forma... ma ci sono difficoltà !

L'unificazione della forza elettromagnetica e della forza debole proposta da *Glashow, Salam e Weinberg* nell'ambito di una teoria di gauge sembrerebbe poter funzionare ma c'è un serio problema.

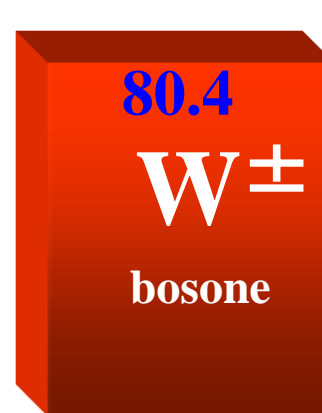
l'invarianza di gauge richiede che le particelle mediatrici dell'interazione abbiano massa nulla come il fotone e i gluoni; ma i W^\pm e lo Z^0 , mediatori di una interazione a corto raggio come l'interazione debole, non possono avere masse nulle !

Le masse (in GeV)

Fermioni



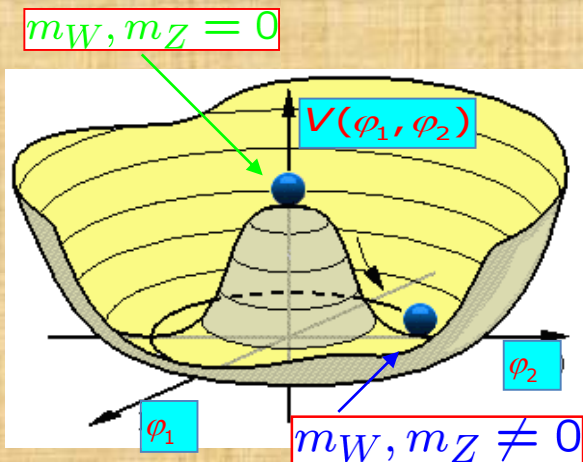
Bosoni



Rottura spontanea della simmetria

Il meccanismo di Higgs (rottura spontanea della simmetria proposta nel 1964 da Higgs, Hengler e Brout) potrebbe risolvere il problema.

Tale meccanismo permette di avere una teoria di gauge con bosoni massivi a condizione che esista in natura un nuovo campo, il campo di Higgs, con cui W^\pm e Z (ma anche tutte le altre particelle) possano interagire acquistando una massa definita, mentre il fotone mantiene nulla la sua massa.



Ipotesi:

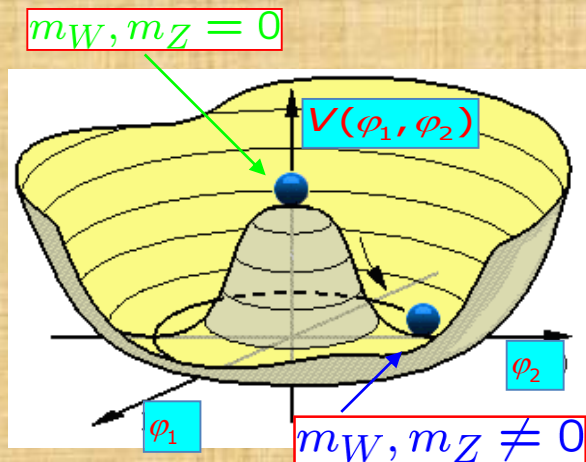
10^{-10} secondi dopo il Big Bang l'Universo raffreddandosi subisce una transizione di fase e il vuoto si porta ad uno stato energetico più basso (rottura spontanea della simmetria) riempiendo lo spazio con il campo di Higgs.

La Lagrangiana (da cui si ricavano le equazioni del sistema) mantiene la simmetria di gauge, ma la scelta di un qualsiasi stato fondamentale rompe la simmetria.

Rottura spontanea della simmetria

Il meccanismo di Higgs (rottura spontanea della simmetria proposta nel 1964 da Higgs, Hengler e Brout) potrebbe risolvere il problema.

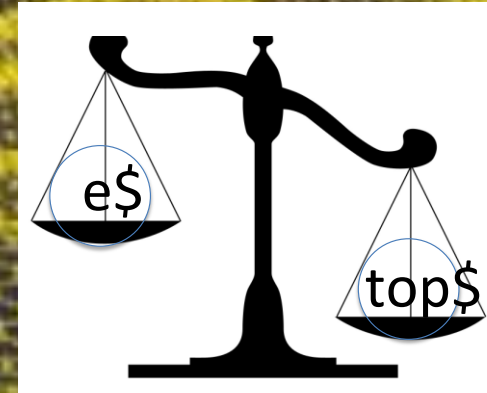
Tale meccanismo permette di avere una teoria di gauge con bosoni massivi a condizione che esista in natura un nuovo campo, il campo di Higgs, con cui W^\pm e Z (ma anche tutte le altre particelle) possano interagire acquistando una massa definita, mentre il fotone mantiene nulla la sua massa.



Il campo di Higgs

Ipotesi

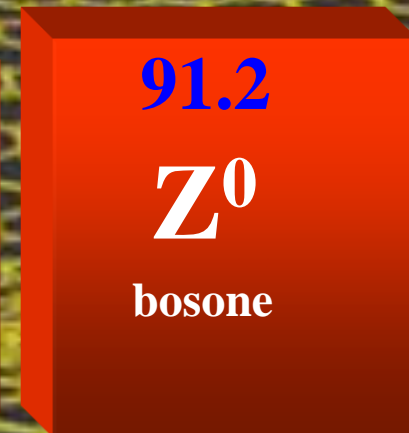
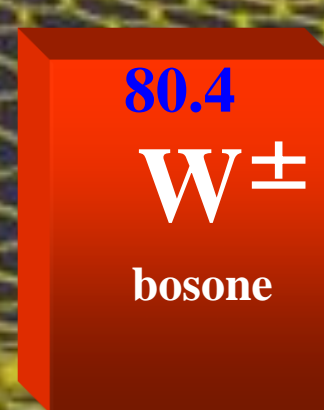
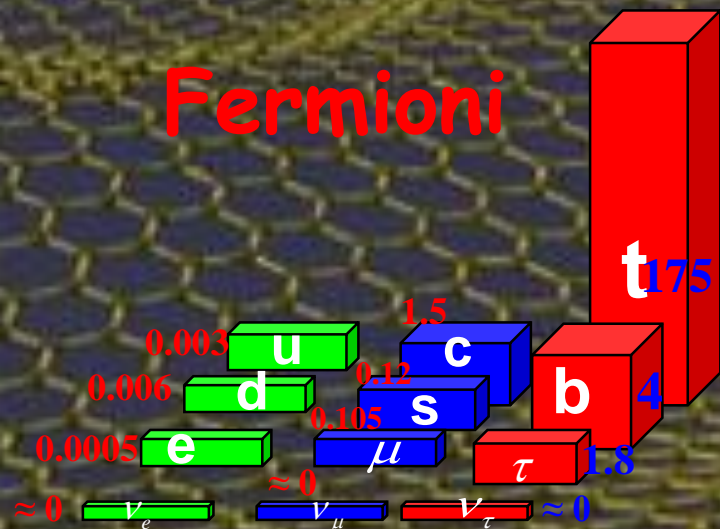
Il campo di Higgs permea tutto l'Universo: i Bosoni W^\pm e Z^0 e tutte le particelle di materia interagendo con questo campo non possono più muoversi alla velocità della luce perché hanno acquistato una massa. Più forte è l'interazione della particella col campo di Higgs più grande è la sua massa. Il fotone ed i gluoni non interagiscono col campo e restano senza massa.



Le masse (in GeV)

Fermioni

Bosoni



Il campo di Higgs

Possiamo pensare al campo di Higgs come ad un campo di neve che riempie il vuoto di tutto l'Universo. La massa di una particella è proporzionale alla resistenza che questo mezzo offre al suo movimento



top quark



elettrone

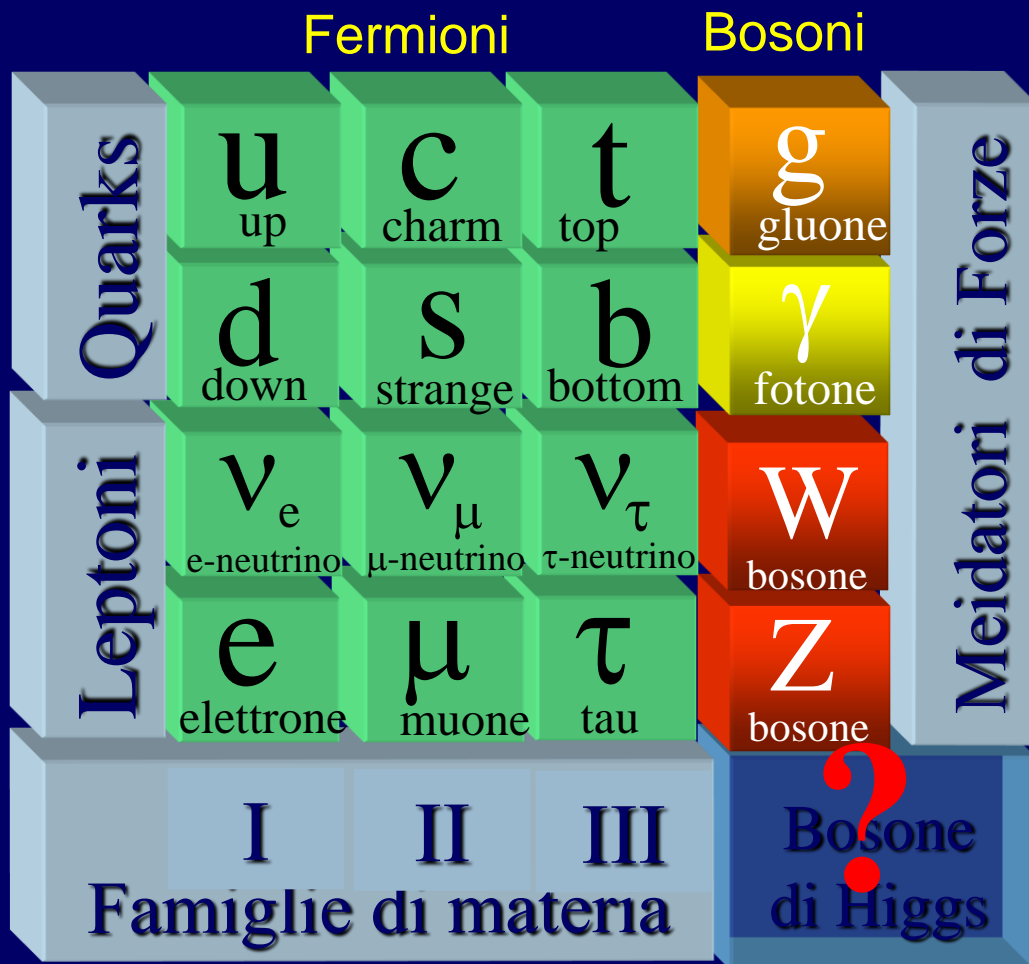
Il campo di Higgs

Se questo campo che permea tutto l'Universo esiste davvero e non è solo una mera speculazione teorica allora deve esistere anche la particella che media questa interazione....

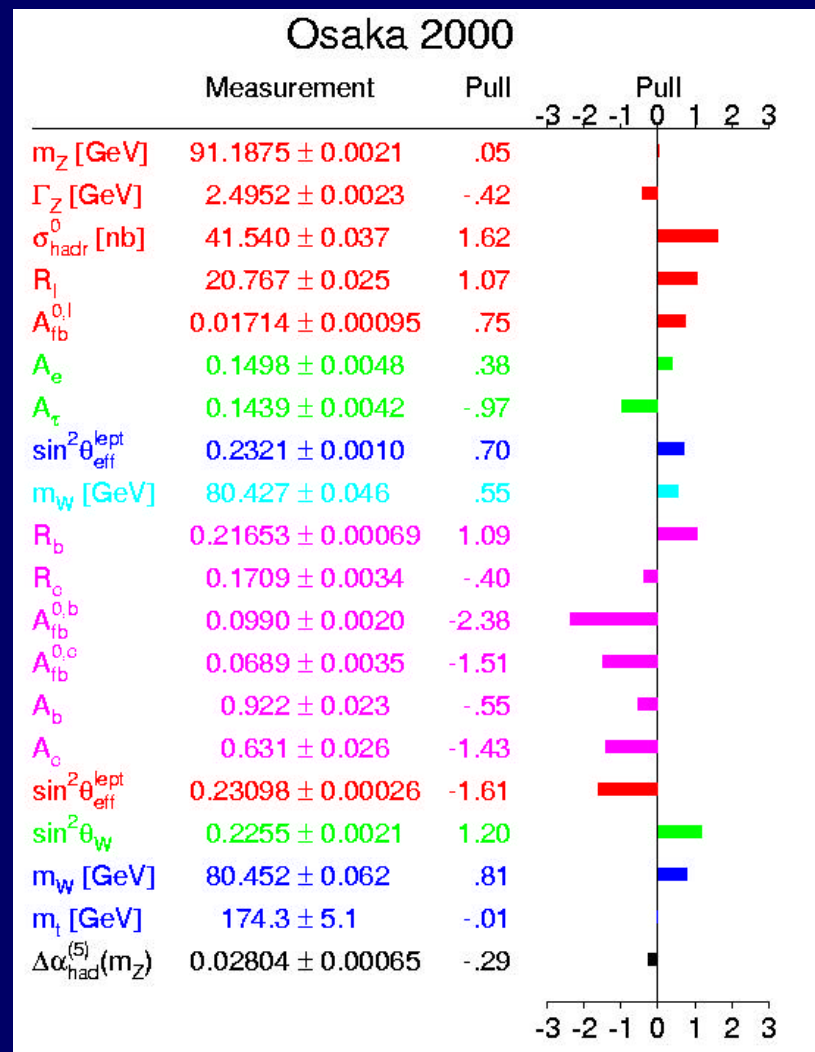
Il Bosone di Higgs !

Il Modello Standard

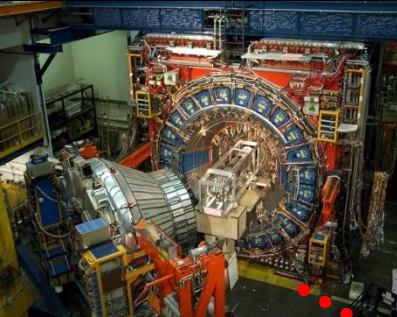
(alla fine del secondo millennio)



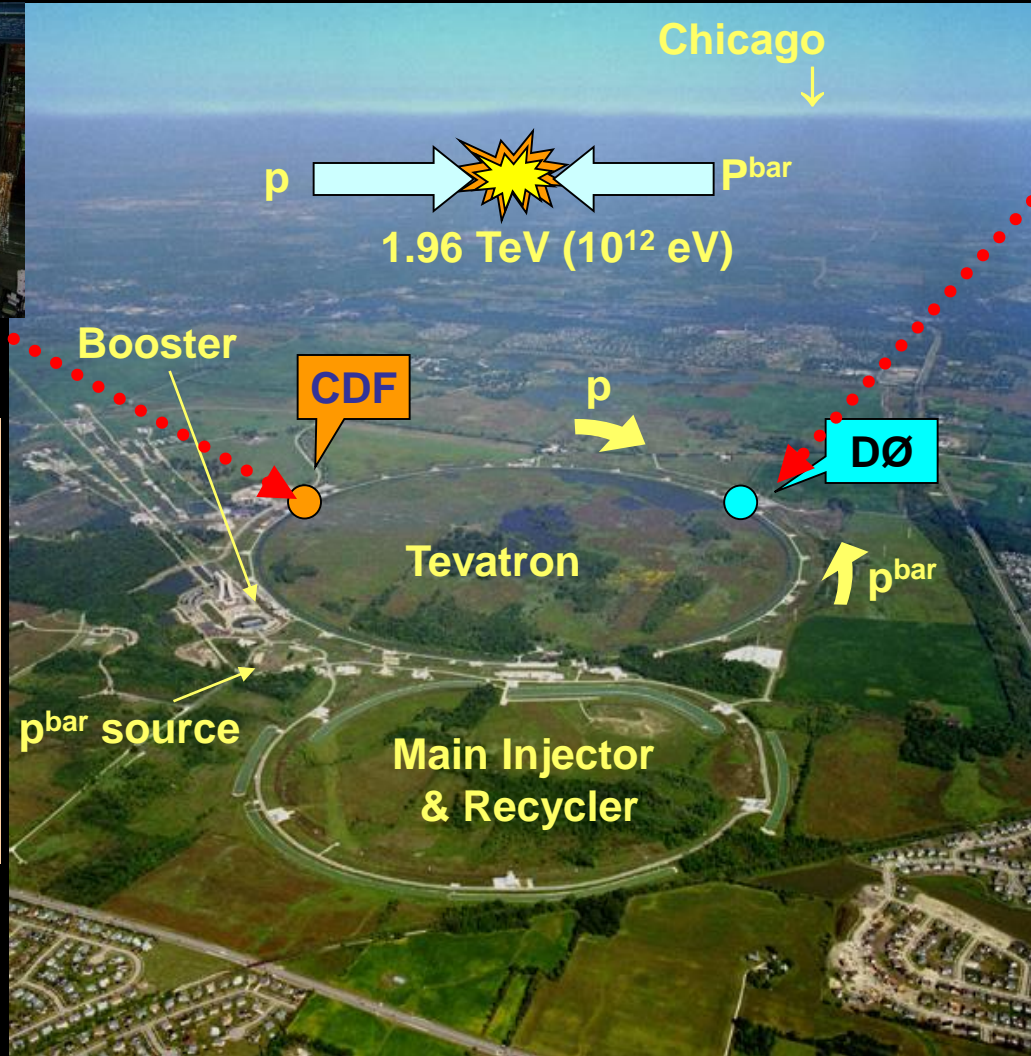
....ma il Bosone di Higgs non si trova !



Ricerca dell'Higgs al TeVatron

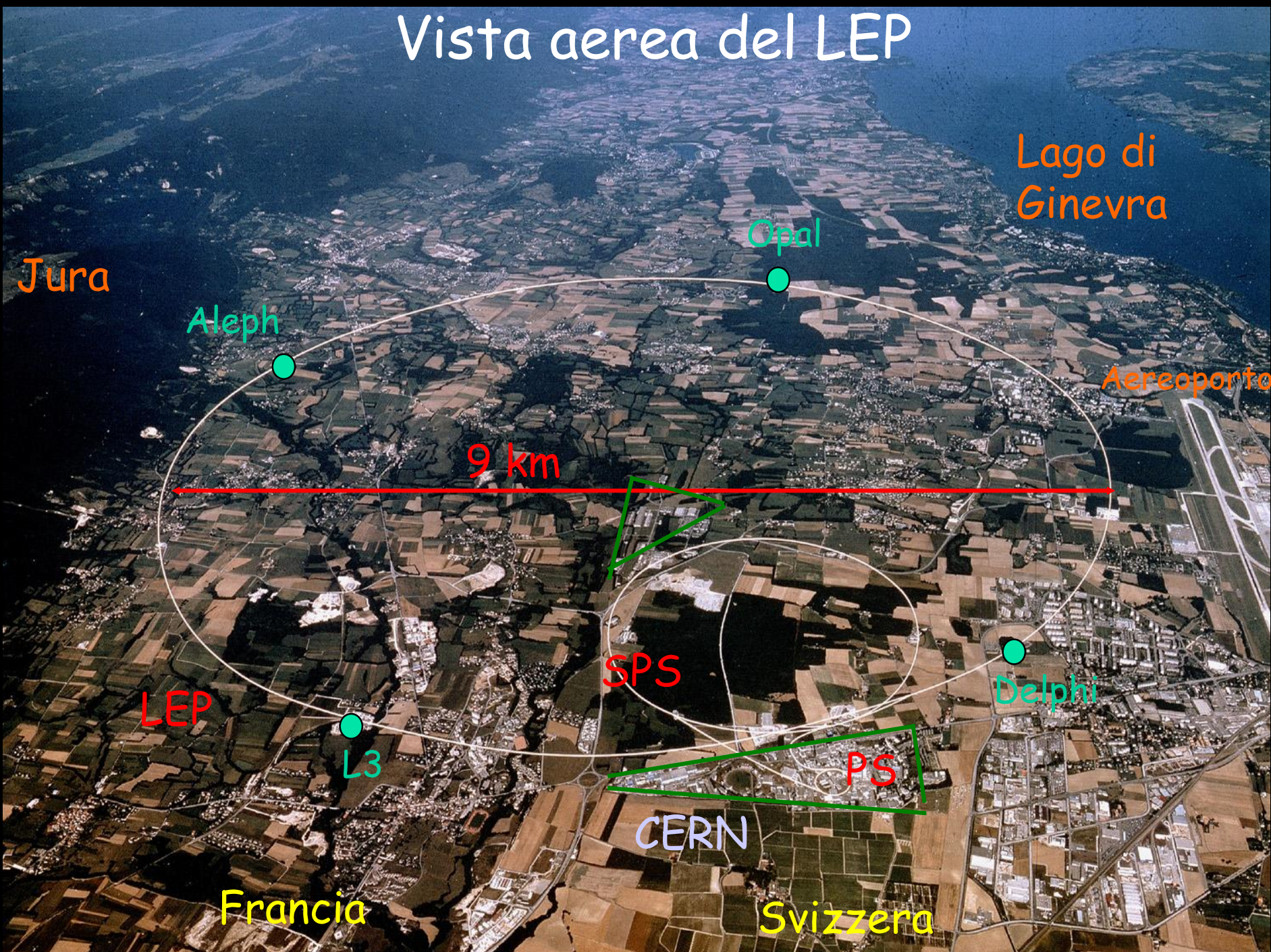


Al TeVatron (p - p^{bar} a 1.96 TeV) il bosone di Higgs può essere prodotto, da solo o insieme a un W o uno Z , in un vasto intervallo di massa ma la probabilità di produrlo è molto bassa (un evento su centinaia di miliardi).



Per molti anni i due esperimenti CDF e DØ accumulano dati e sviluppano analisi molto raffinate per identificare possibili eventi di Higgs dagli innumerevoli eventi di fondo, ma senza arrivare mai ad avere la sensibilità sufficiente ad identificare il bosone di Higgs.

Vista aerea del LEP



Jura

Lago di Ginevra

Opal

Aleph

Aeroporto

9 km

SPS

Delphi

LEP

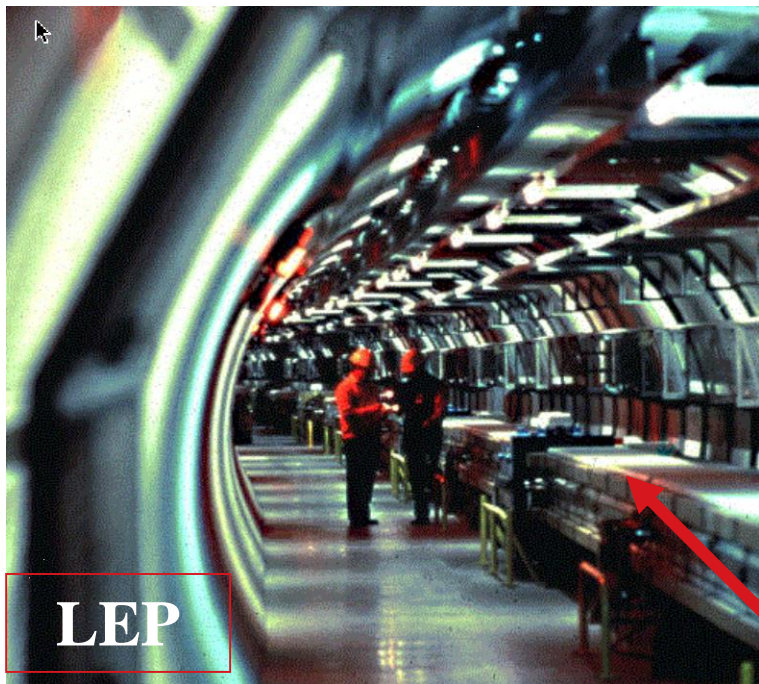
L3

PS

CERN

Francia

Svizzera



LEP



LHC



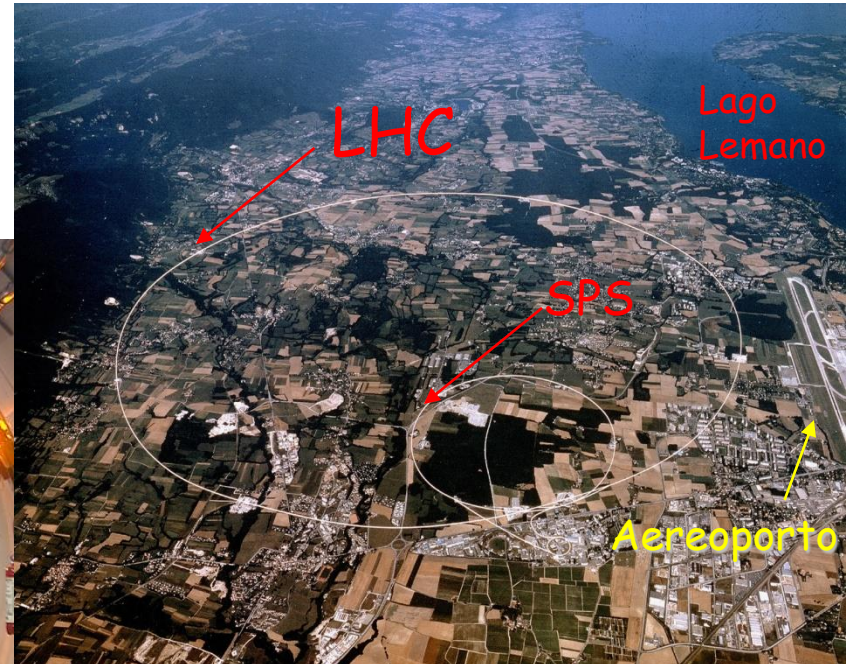
Nel 2000 i magneti di LEP vengono rimossi e inizia l'istallazione di LHC

SPS

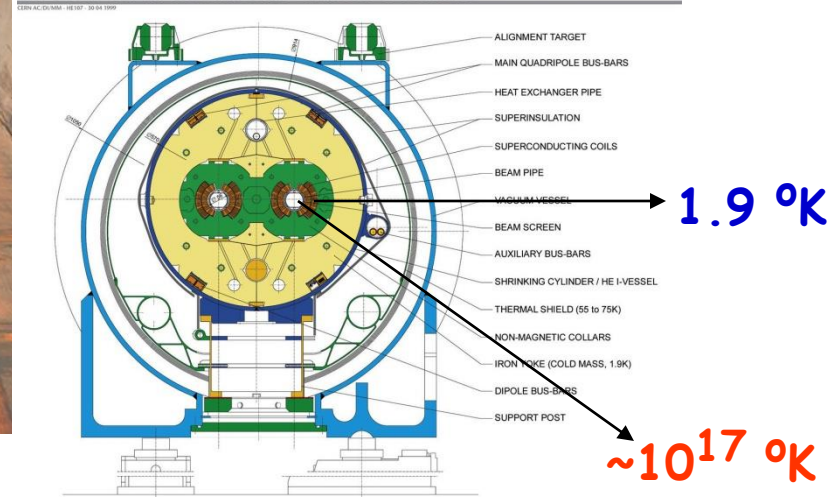
Il Large Hadron Collider del CERN



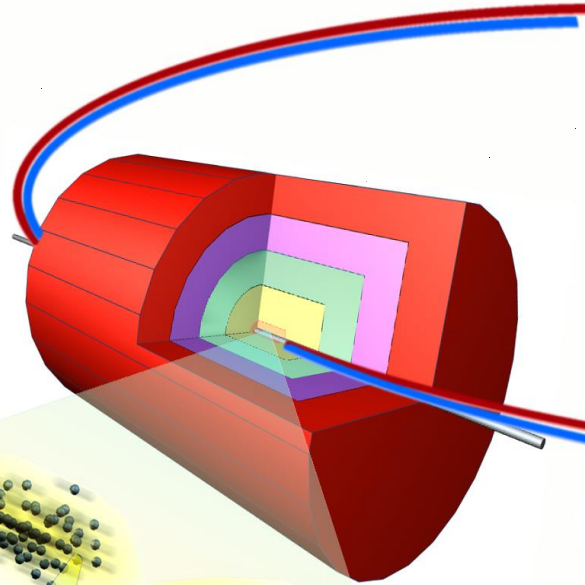
9300 Magneti superconduttori
1232 Dipoli (15m, 1.9 °K) 8.4 tesla 11700 A
448 Main Quads, 6618 Correttori.
Circonferenza 26.7 km



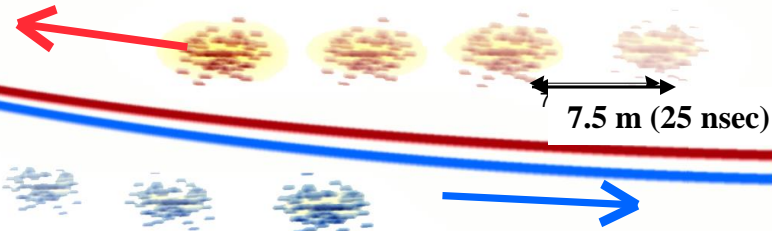
LHC DIPOLE : STANDARD CROSS-SECTION



LHC : collisioni protone-protone fino a 13 TeV



Protoni accelerati fino a 6.5 TeV
1 TeV = mille miliardi di eV
2808 pacchetti con cento miliardi di protoni
circolanti per molte ore (11245 giri al secondo)



Si incontrano ≈ 32 milioni di pacchetti al secondo in
 $\sim 16 \times 16 \mu\text{m}^2$ e quindi ≈ 3200 milioni di miliardi di protoni
incontrano 10^{11} protoni (un pacchetto) al secondo

≈ 600 milioni di collisioni al secondo tra protoni

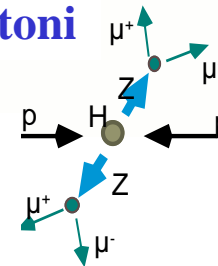
13 TeV

$\sim 10^{17}$ °K
 $\sim 10^{-15}$ sec

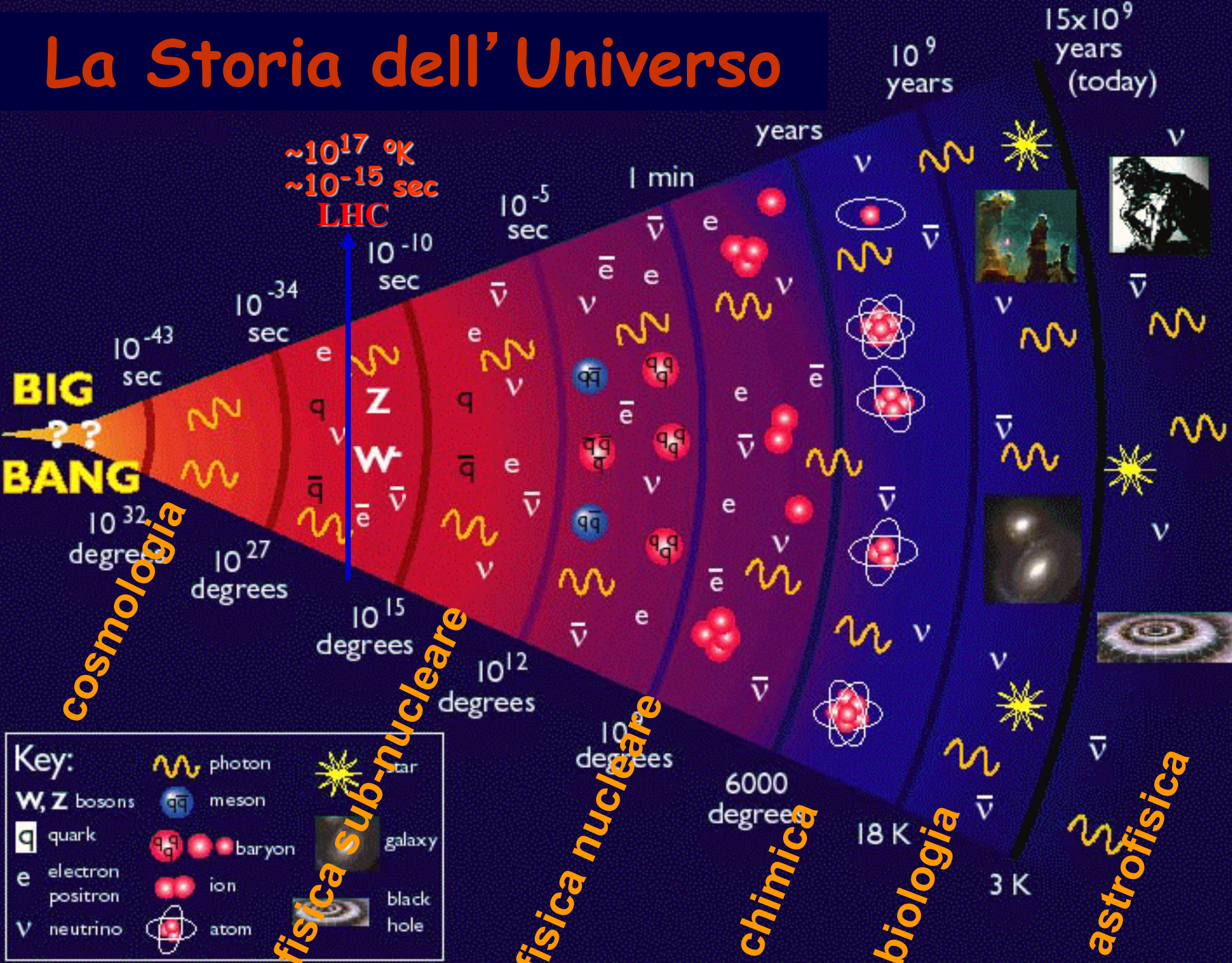
Collisione tra i “partoni” dei due protoni

“quasi” mini-Big Bang

Solo raramente (\sim ogni centomila secondi) si
prevede che venga prodotto un bosone di Higgs
in 4μ : selezione di 1 evento su centomila miliardi



La Storia dell' Universo



$\sim 10^{17}$ °K
 $\sim 10^{-15}$ sec
LHC

BIG BANG

cosmologia

fisica sub-nucleare

fisica nucleare

chimica

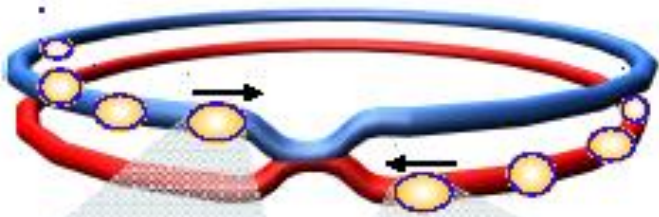
biologia

astrofisica

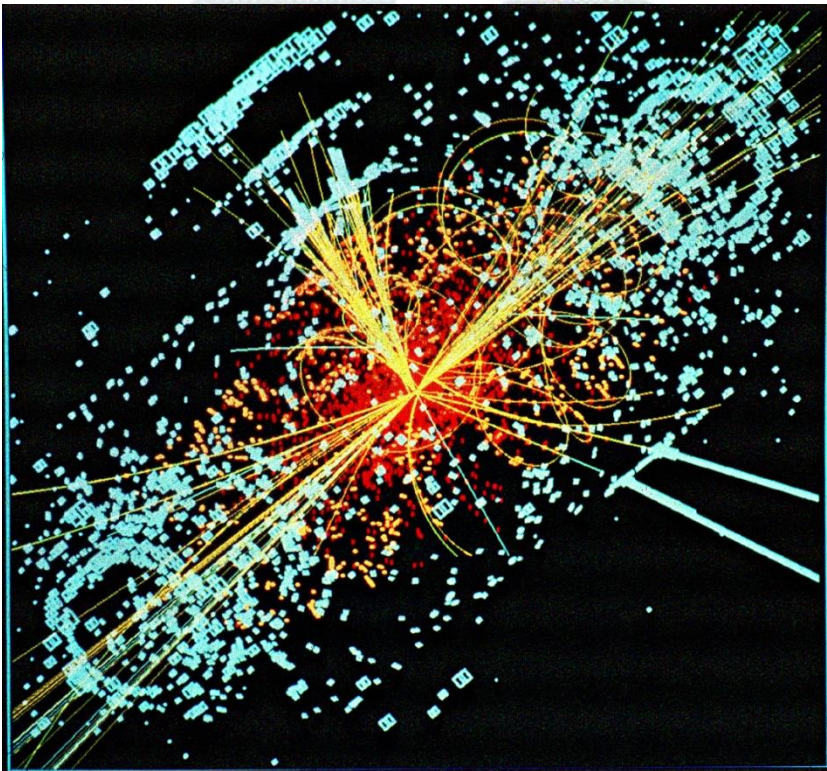
Key:

| | | | |
|----------------------|----------|--|------------|
| | photon | | star |
| W, Z | bosons | | meson |
| q | quark | | baryon |
| e | electron | | ion |
| e⁺ | positron | | atom |
| v | neutrino | | galaxy |
| | | | black hole |

Collisioni protone-protone a LHC



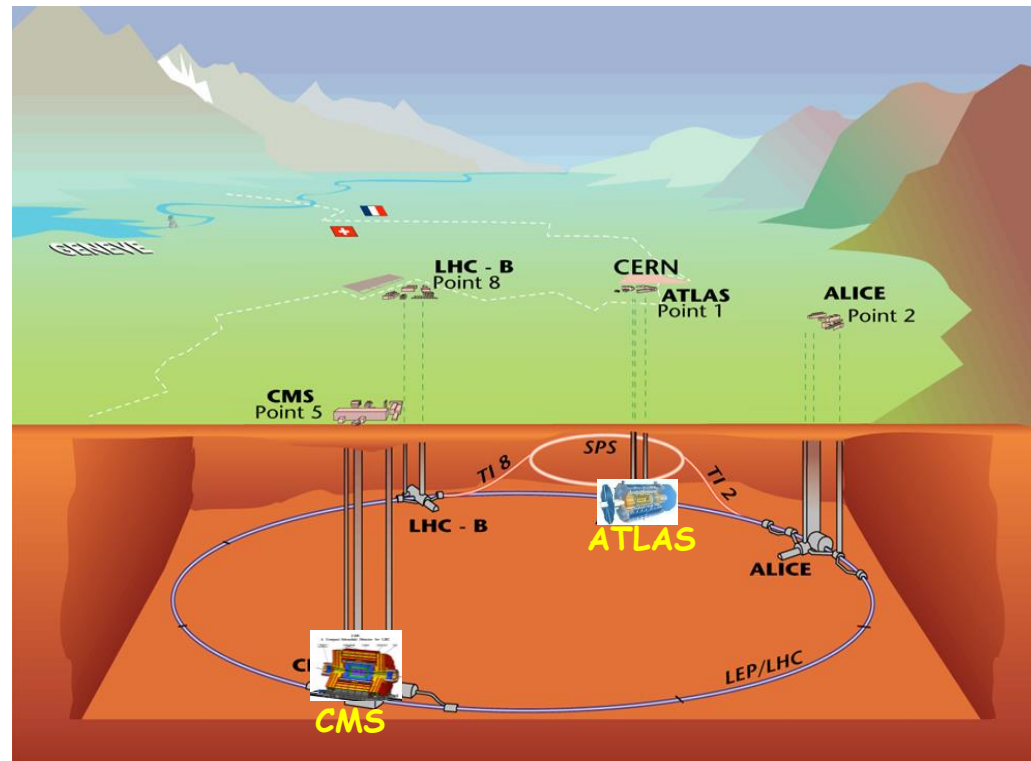
- ~600 milioni di eventi al secondo
- ~40 miliardi di particelle al secondo
- ~1000 particelle ogni 25 ns
- Selezione di 1 evento su diecimila miliardi



“quasi” mini-Big Bang

$\sim 10^{17}$ °K , $\sim 10^{-15}$ sec

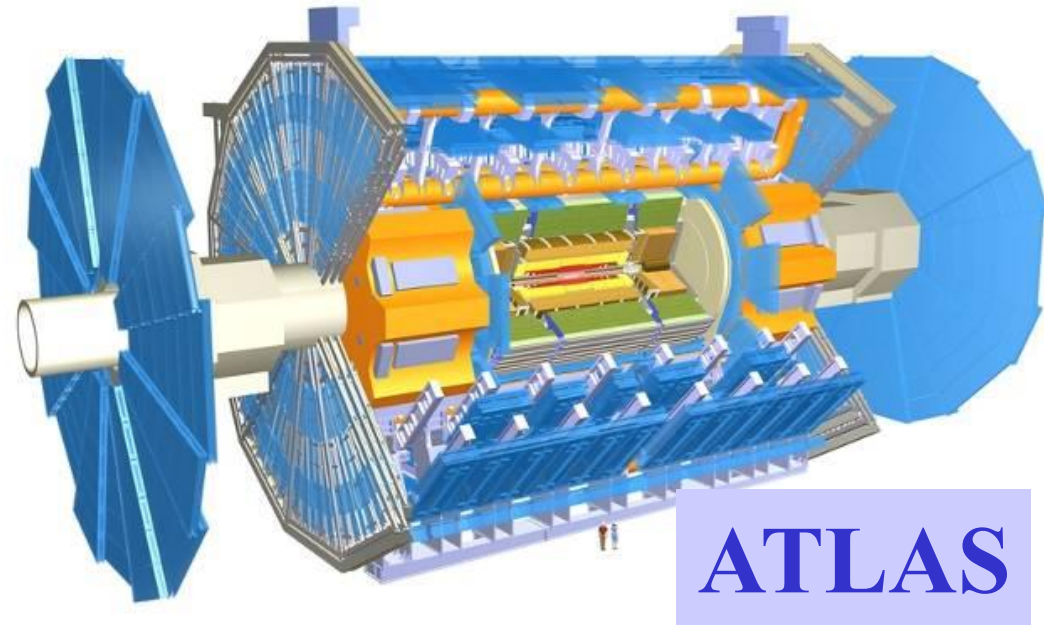
⇒ Rivelatori altamente performanti



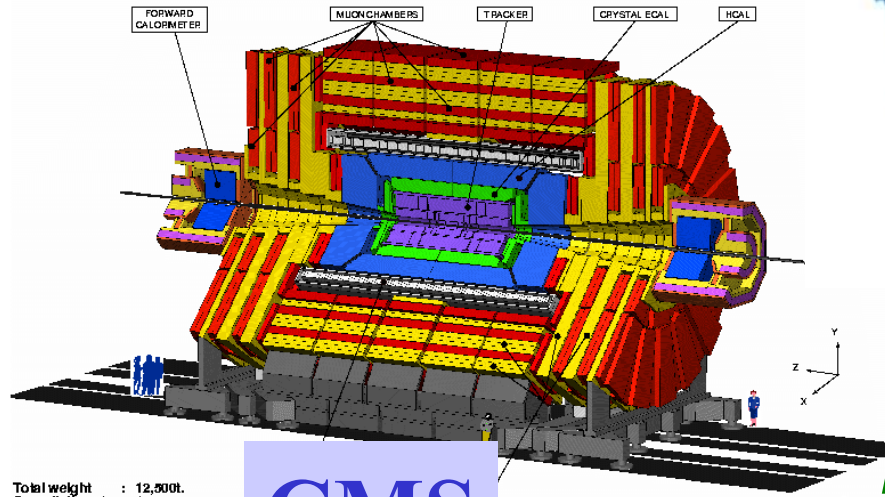
Quanto sono grandi ATLAS e CMS?



**ATLAS e CMS accostati
ad un edificio di 5 piani**



ATLAS



CMS

Total weight : 12,500t.
Overall diameter : 15.00 m
Overall length : 21.60 m
Magnetic field : 4 Tesla

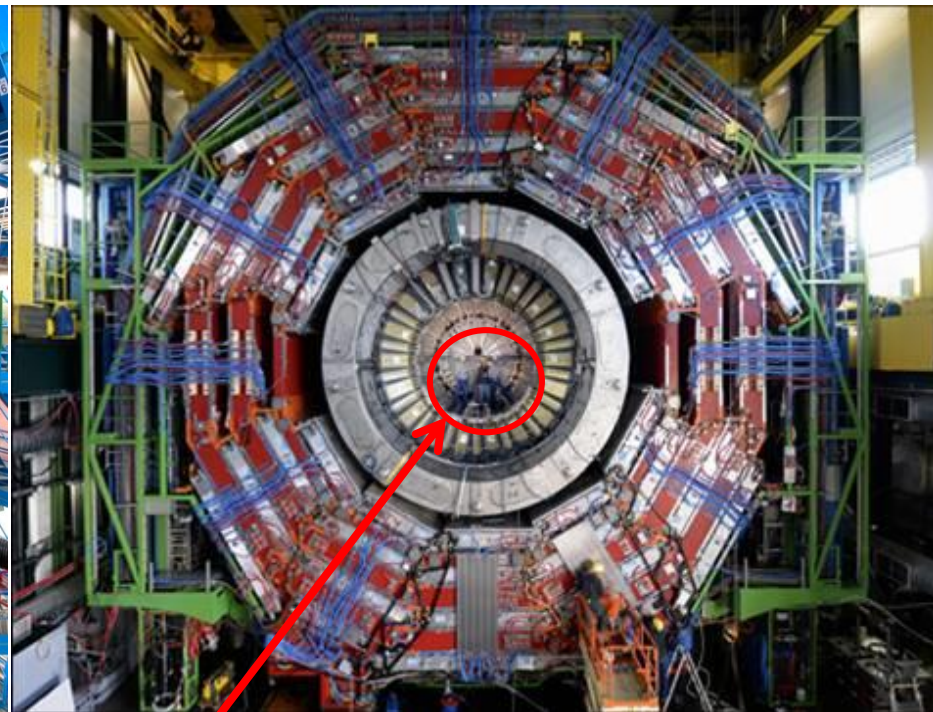
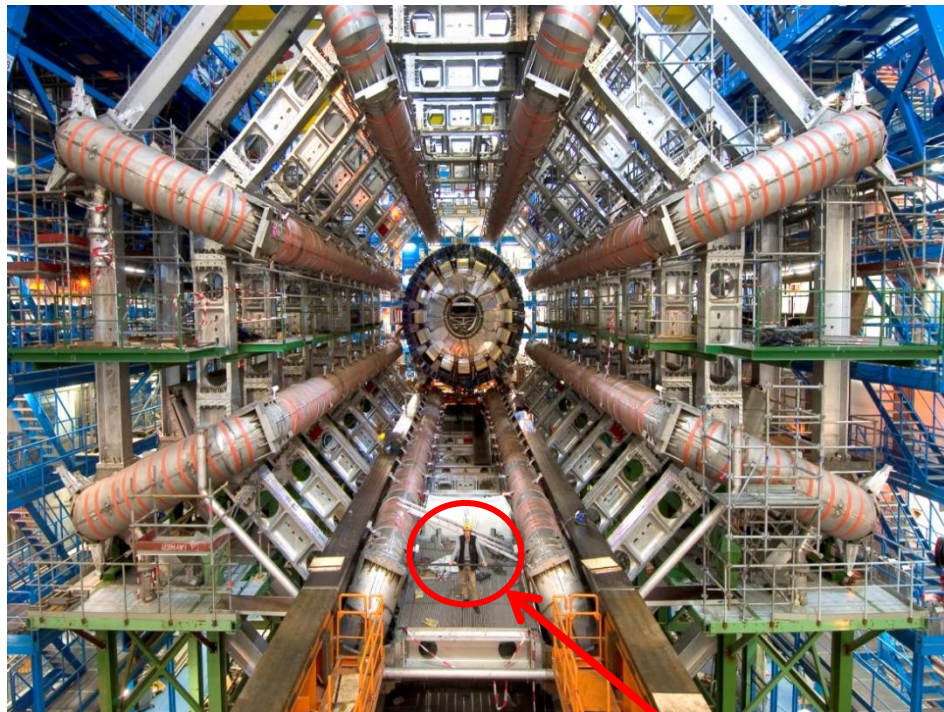
CMS-PARA-001-11/07/97 JLB,PP

| | <u>ATLAS</u> | <u>CMS</u> |
|---------------------------|--------------|--------------|
| Peso totale (tons) | 7000 | 12500 |
| Diametro | 22 m | 15 m |
| Lunghezza | 46 m | 22 m |
| Campo magnetico | 2 T | 4 T |

ATLAS e CMS

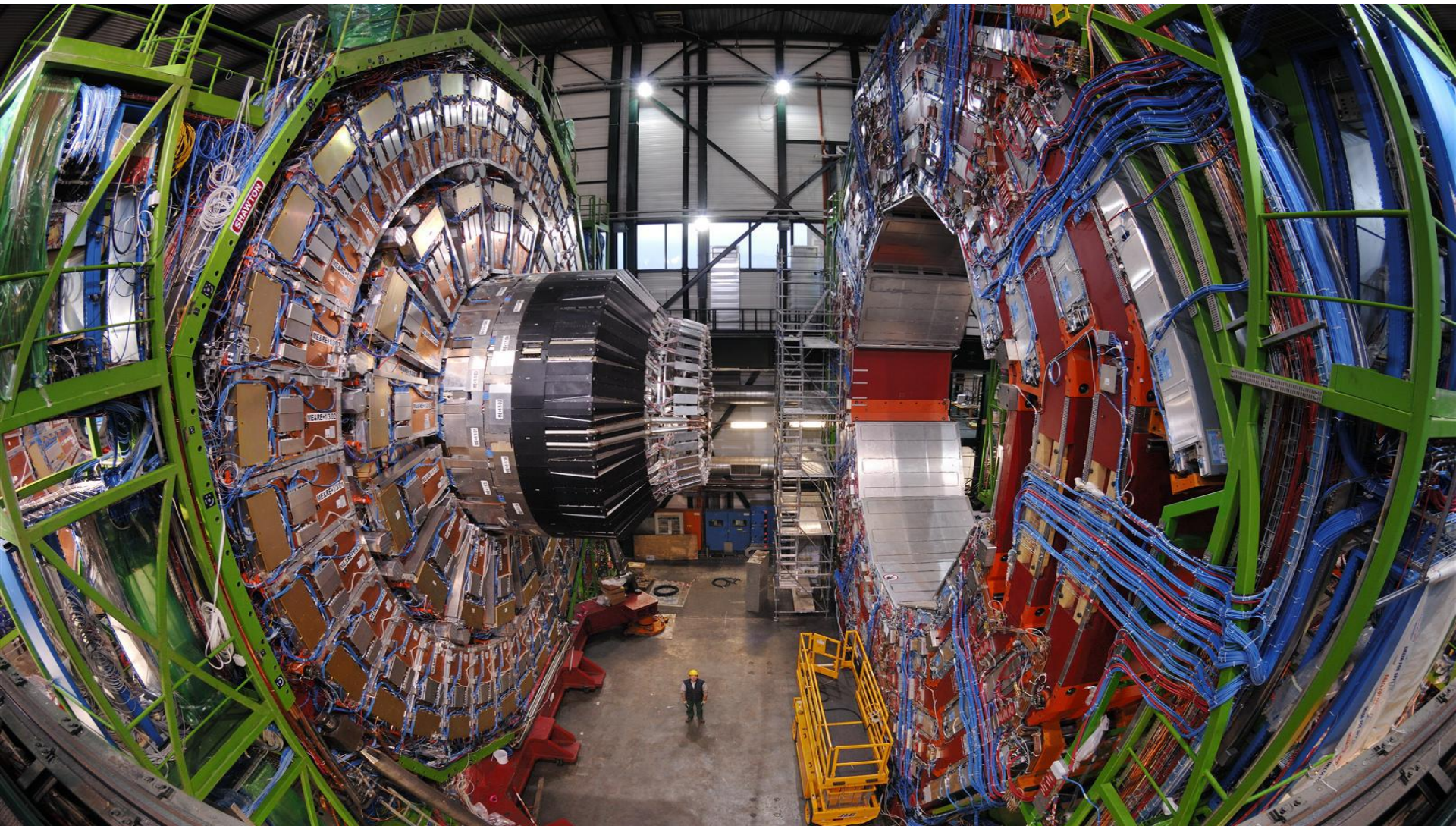
~ 3000 persone tra fisici, ingegneri e studenti lavorano in ciascun dei due esperimenti

Rivelatori giganteschi di particelle progettati per scoprire (o escludere) l'esistenza del Bosone di Higgs

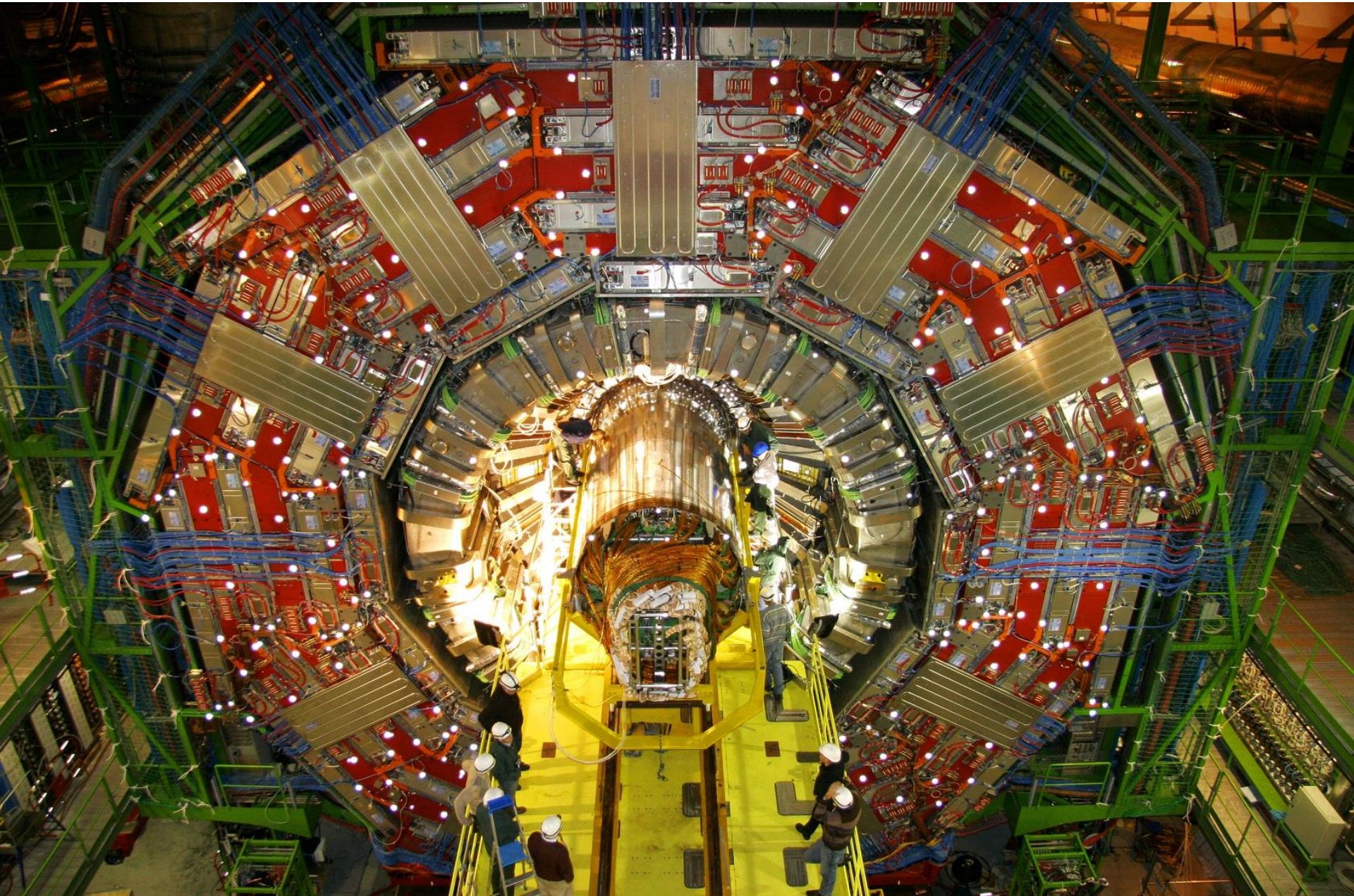


Persone

Il rivelatore CMS



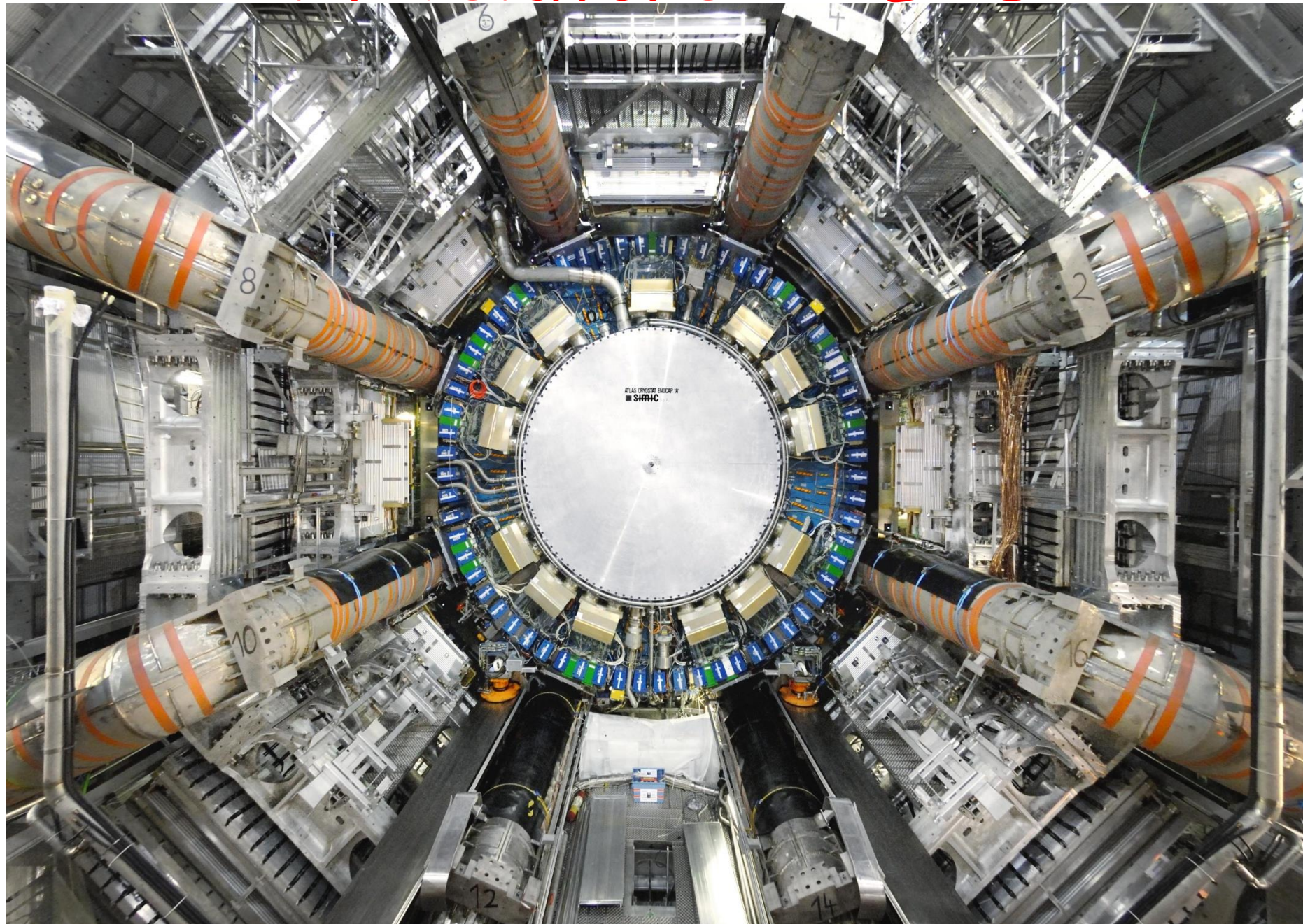
Il rivelatore CMS



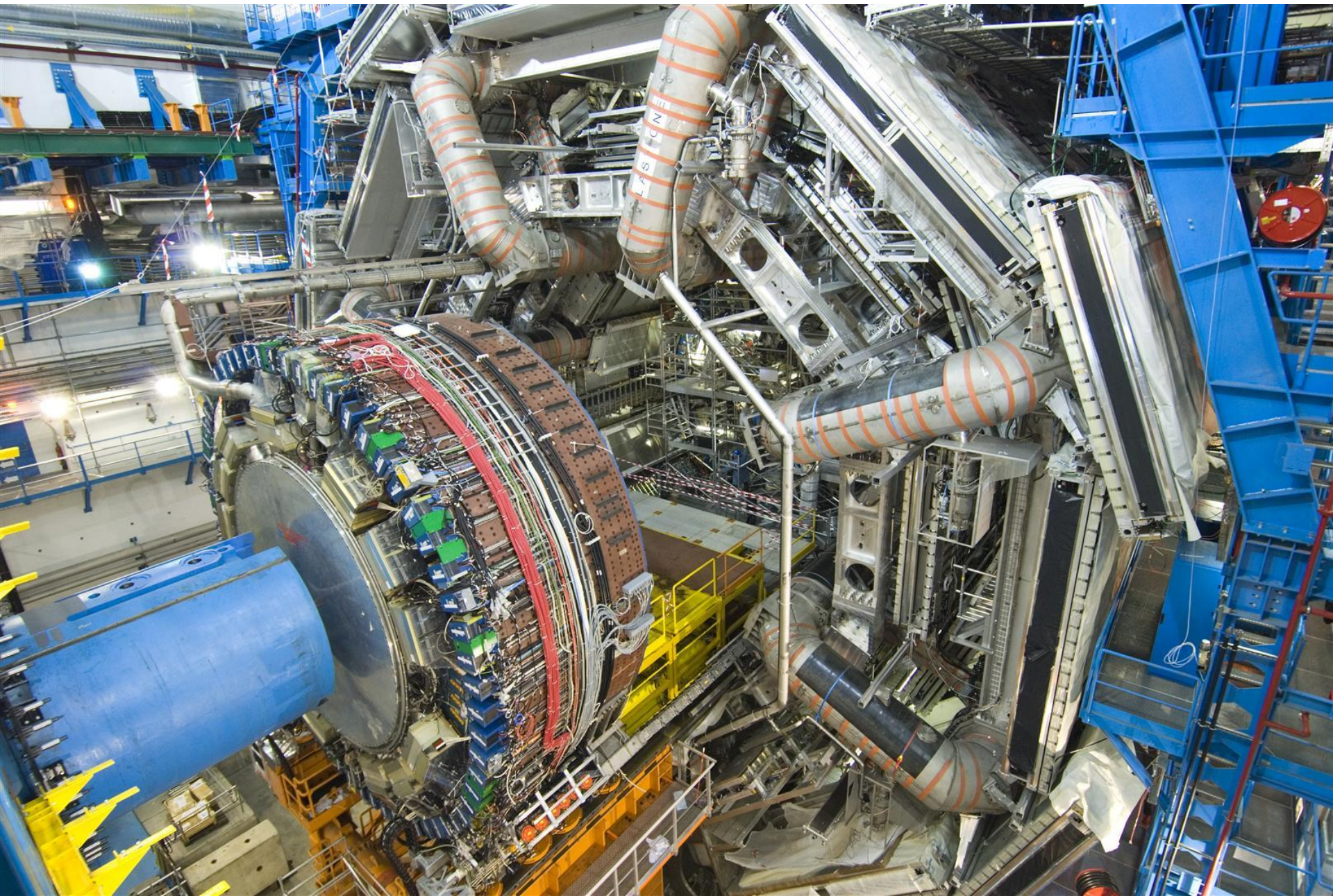
Una riunione della Collaborazione CMS



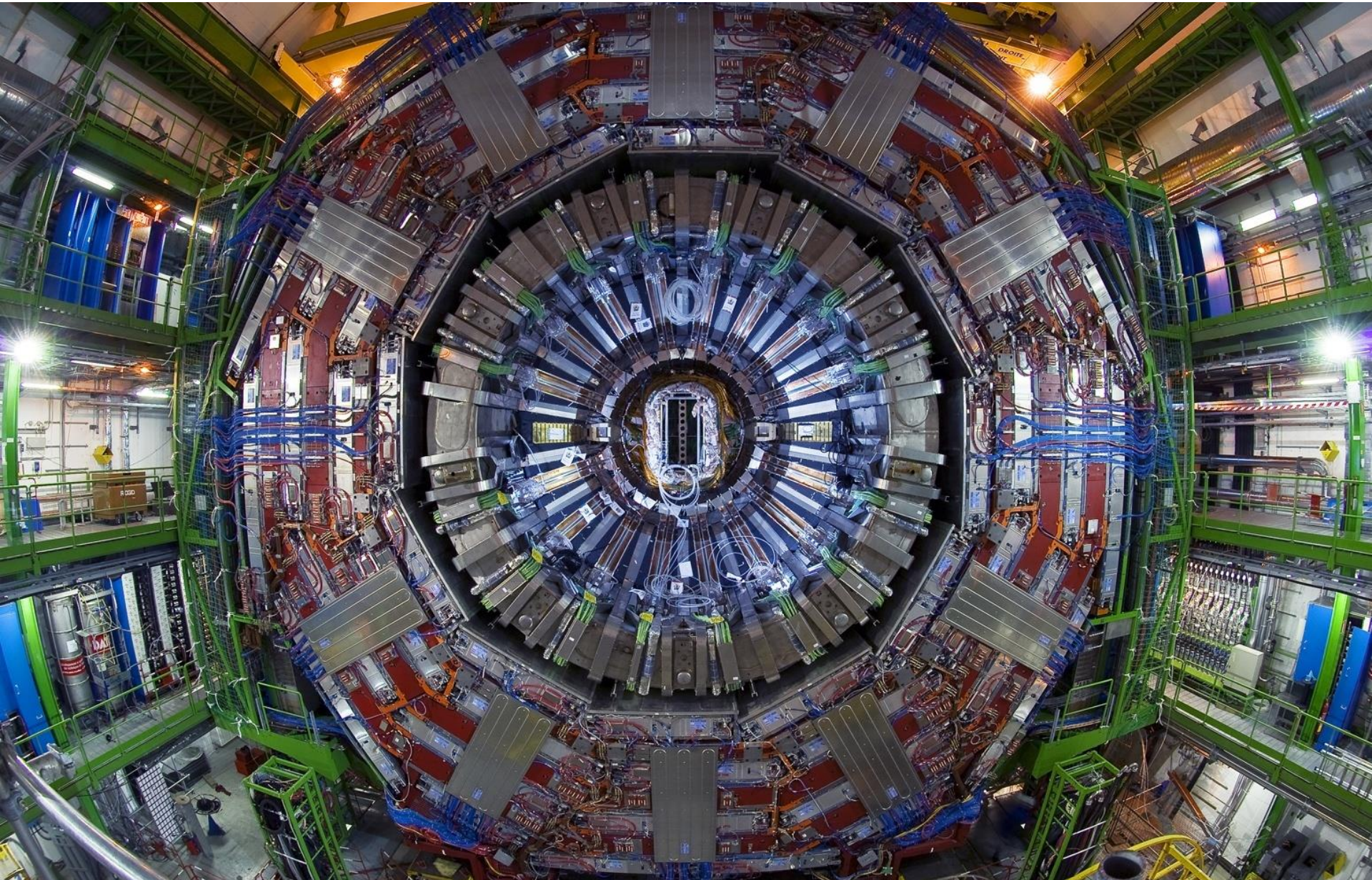
Il rivelatore ATLAS

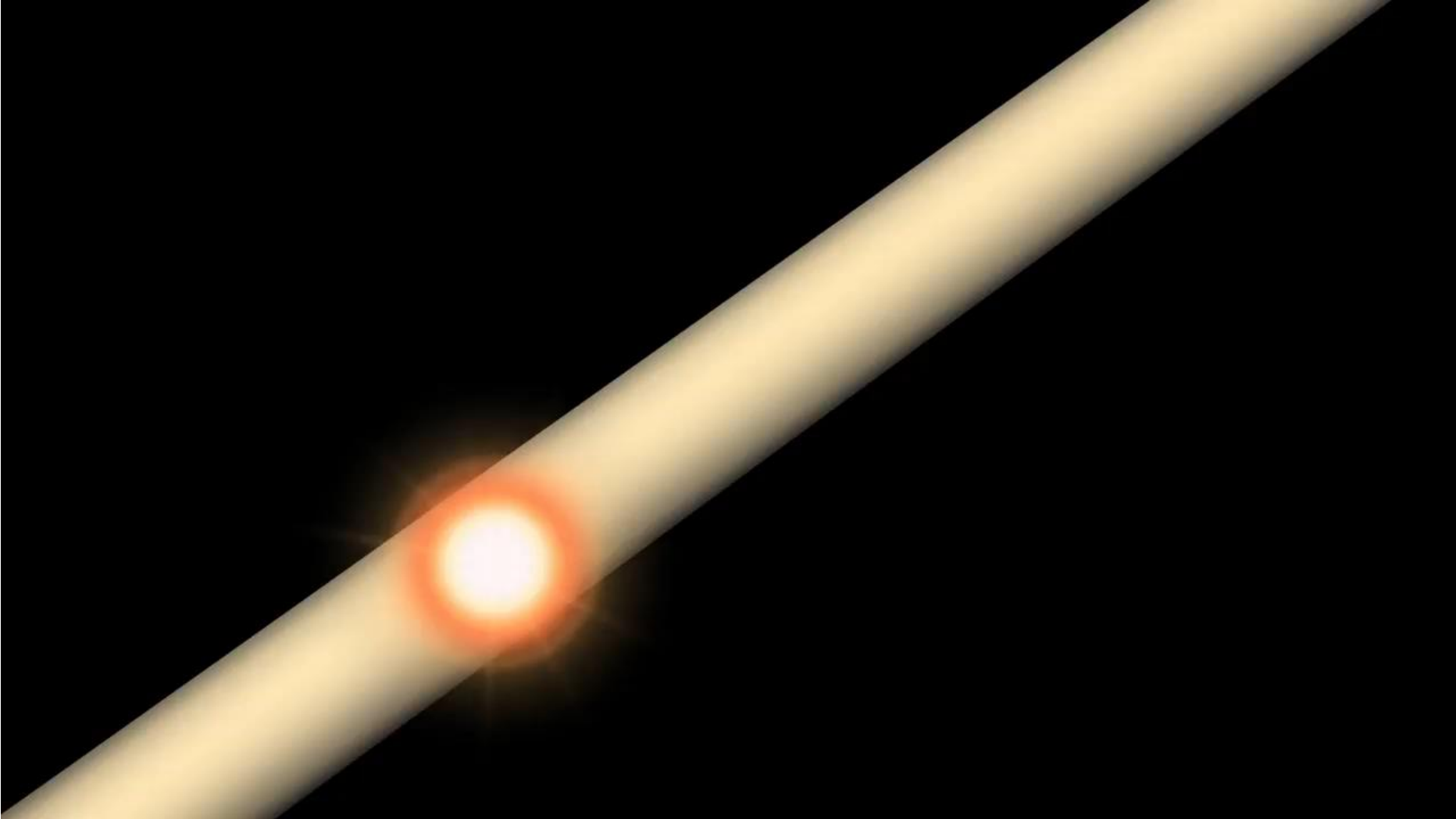


Il rivelatore ATLAS



Macchina fotografica digitale di 12500 tonnellate con migliaia di milioni di pixels capace di scattare una foto tridimensionale delle collisioni protone-protone a 13 TeV di LHC 40 milioni di volte al secondo.





Ma trovare il Bosone di Higgs è come cercare un ago in un pagliaio !



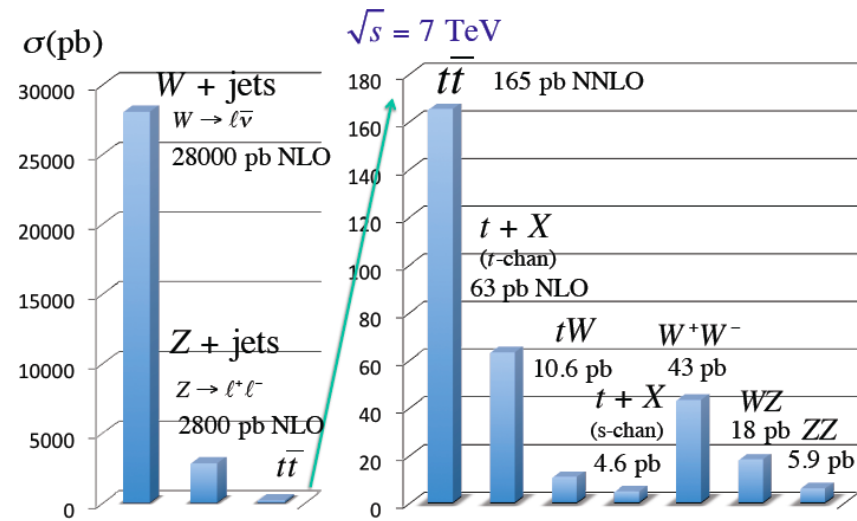
...

... non solo i pochi aghi prodotti sono nascosti tra tante pagliuzze (un ago su 7 miliardi di pagliuzze), ma ci sono anche molti eventi che producono stati finali molto simili a quelli in cui si ha il bosone di Higgs .. pagliuzze che assomigliano ad aghi !

Per ogni evento $pp \rightarrow H \rightarrow b\bar{b}$

ci sono 10 milioni di eventi $pp \rightarrow b\bar{b}$

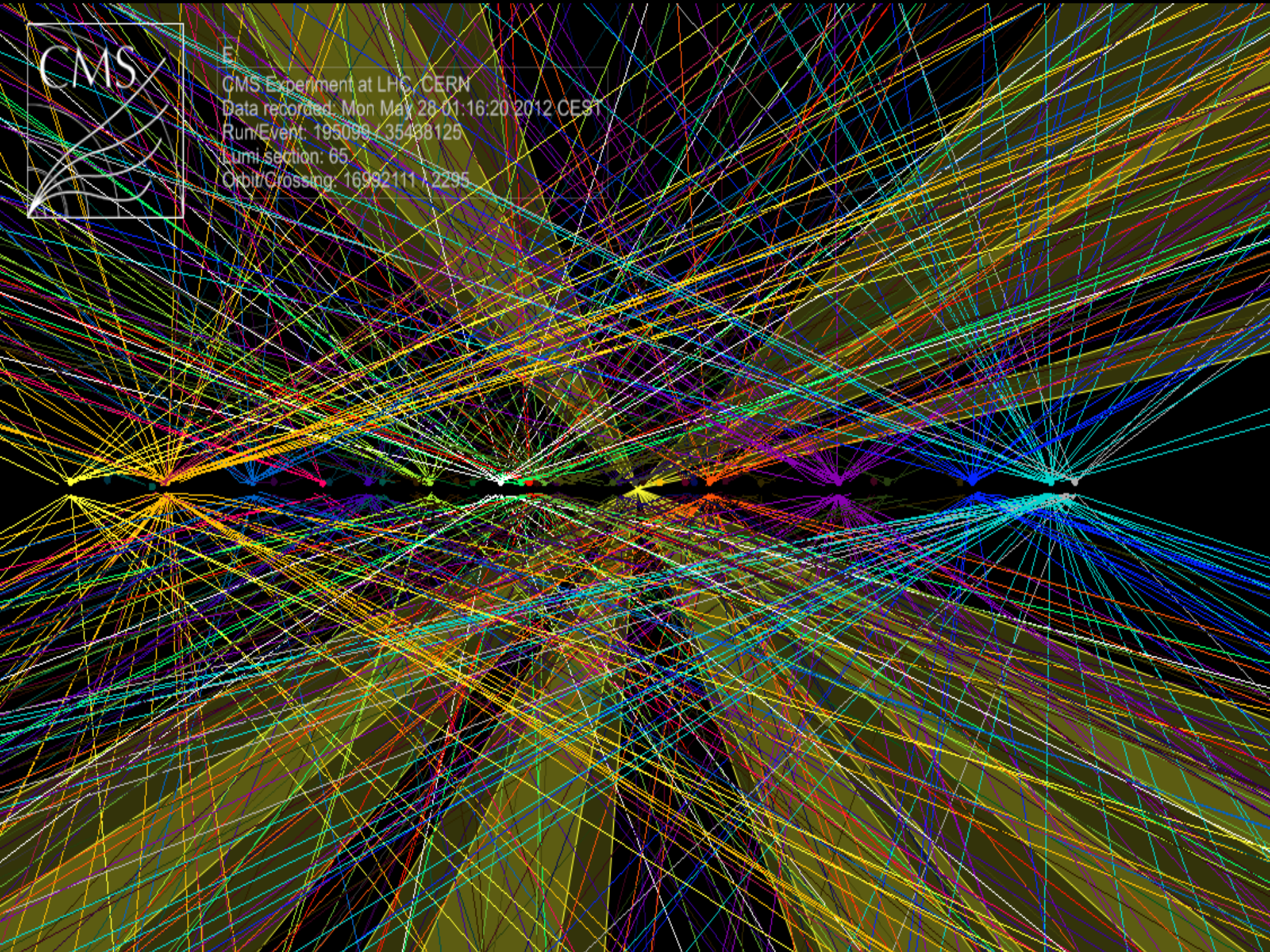
- È necessario scegliere i canali di decadimento con meno fondo dove cercare l'Higgs...

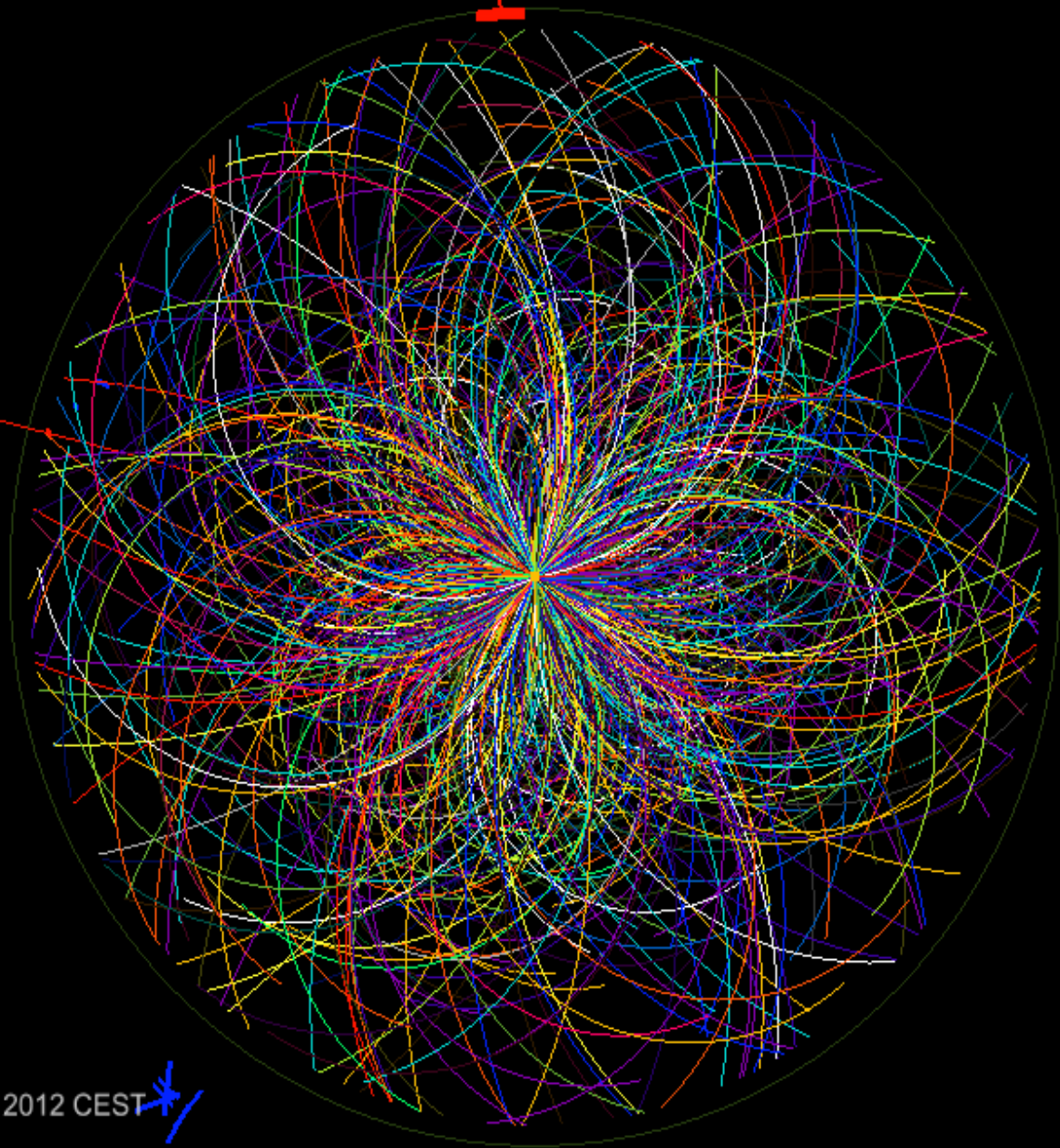



Alcuni esempi di eventi che potrebbero sembrare aghi !!

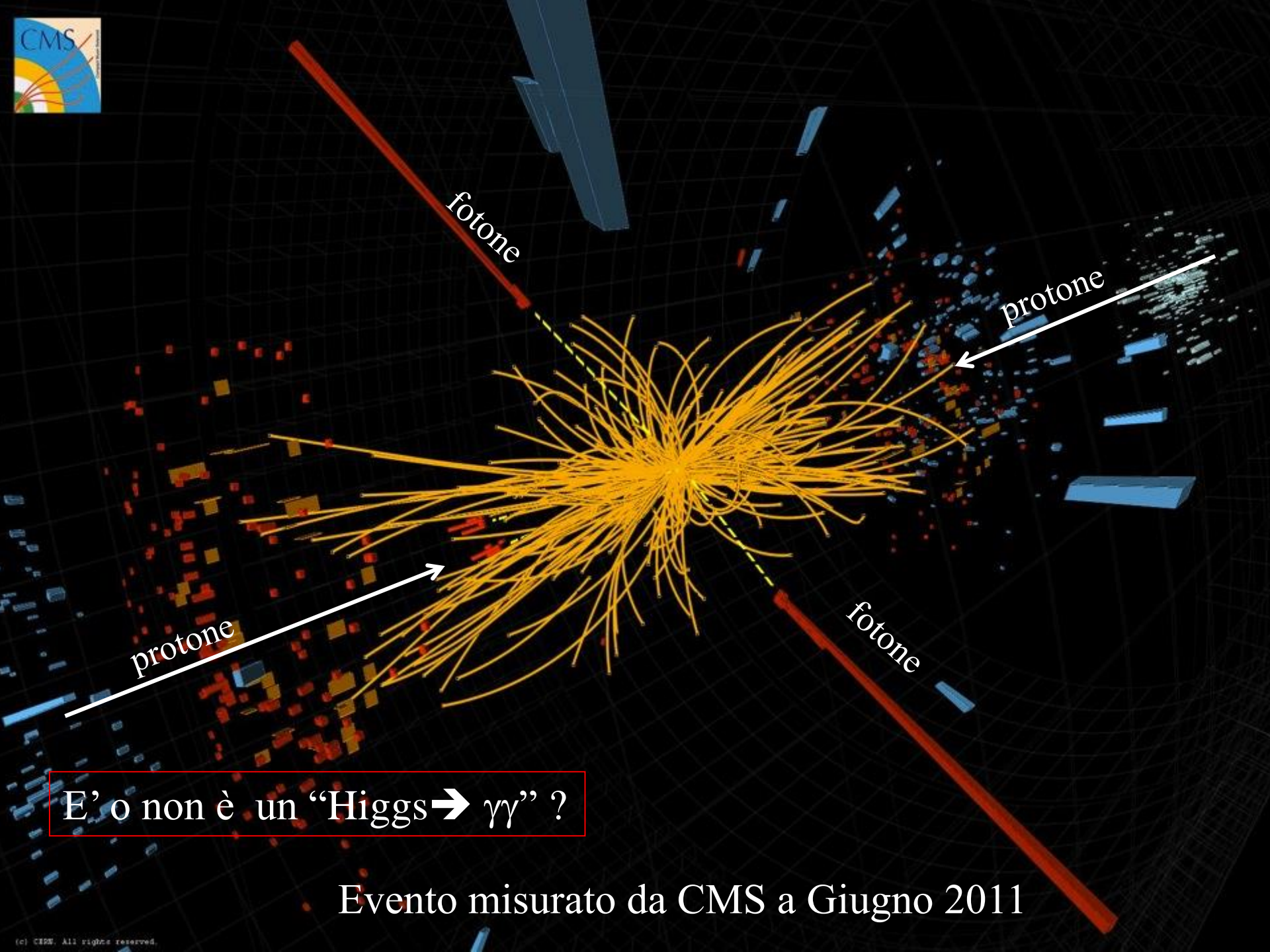


E
CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon May 28 01:16:20 2012 CEST
Run/Event: 195099 / 35438125
Lumi section: 65
Orbit/Crossing: 16992111 / 2295





CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon May 28 01:16:20 2012 CEST 
Run/Event: 195099 / 35438125
Lumi section: 65
Orbit/Crossing: 16992111 / 2295

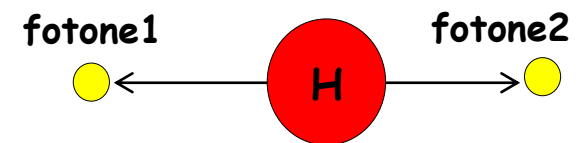
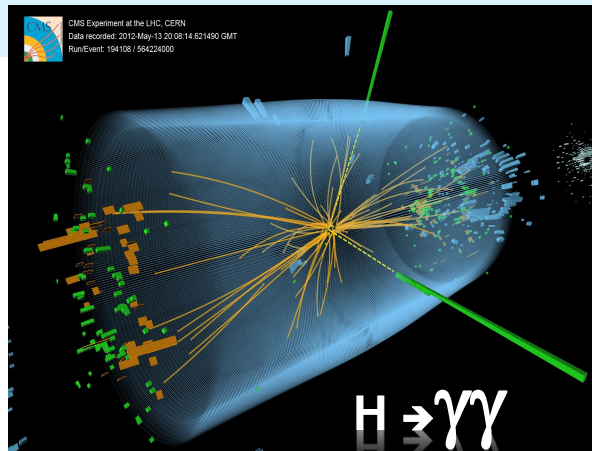
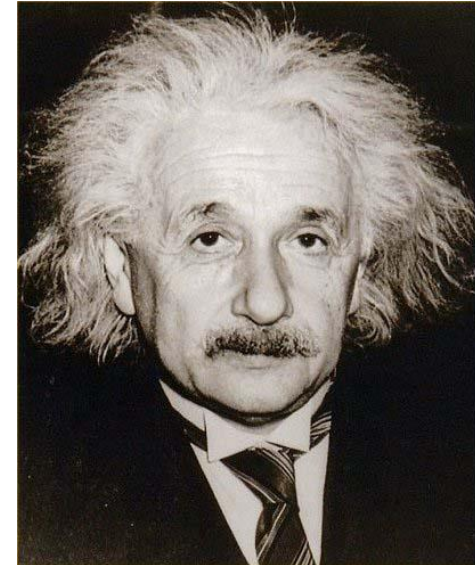


E' o non è un "Higgs $\rightarrow \gamma\gamma$ " ?

Evento misurato da CMS a Giugno 2011

Come si misura la massa ?

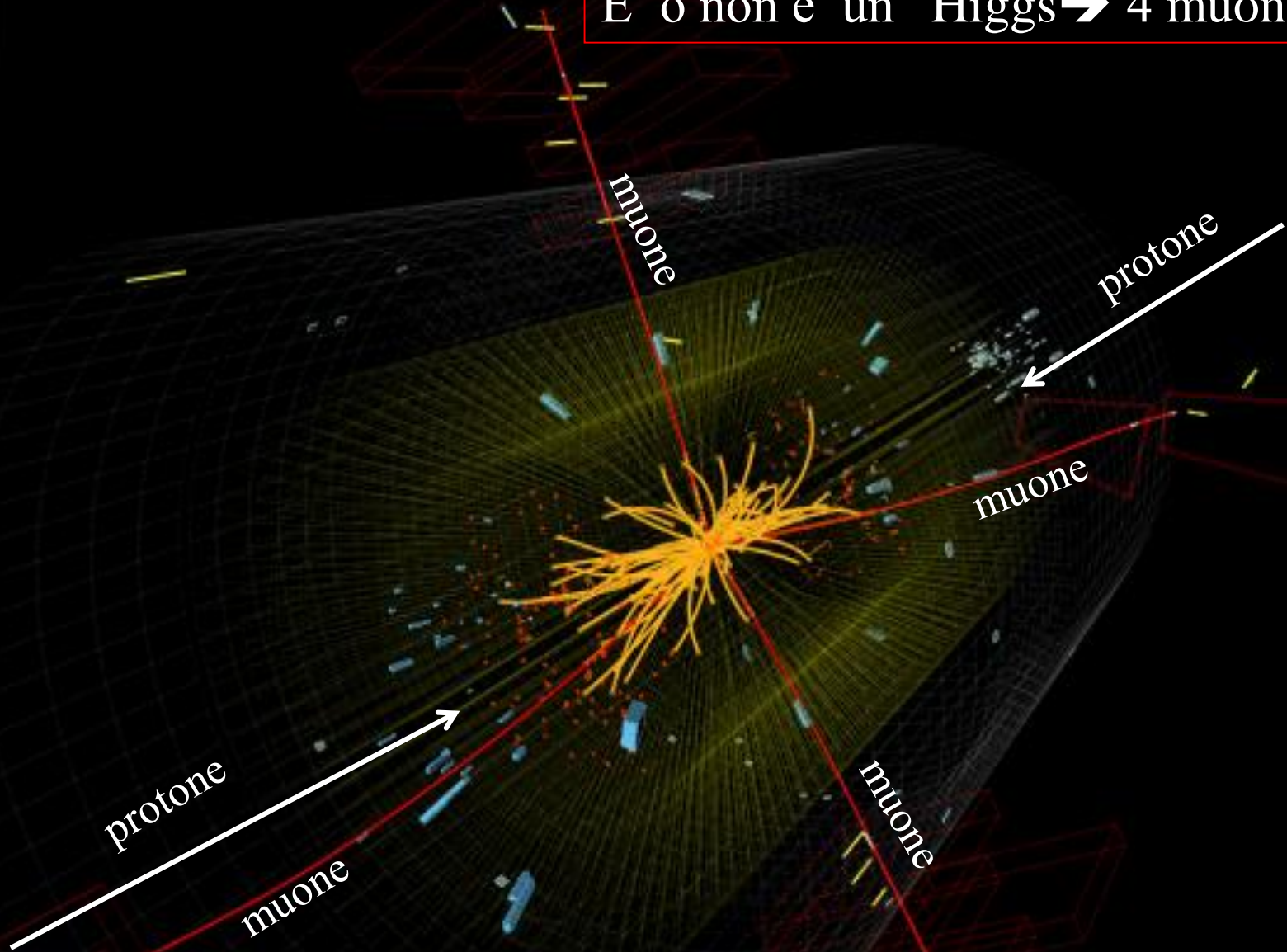
- Come si misura la massa di una particella che decade in un insieme di particelle? Misurando le energie e gli impulsi di tutte le particelle in cui decade.
- Caso semplice: particella (per esempio un bosone di Higgs) ferma che decade in due fotoni. grazie alla conservazione dell'energia sappiamo che la somma dell'energia dei due fotoni deve essere pari alla massa della particella moltiplicata per c^2
- Più in generale misurando le energie e gli impulsi di tutte le particelle in cui una particella decade si può ricostruire la massa della particella iniziale che le ha generate.



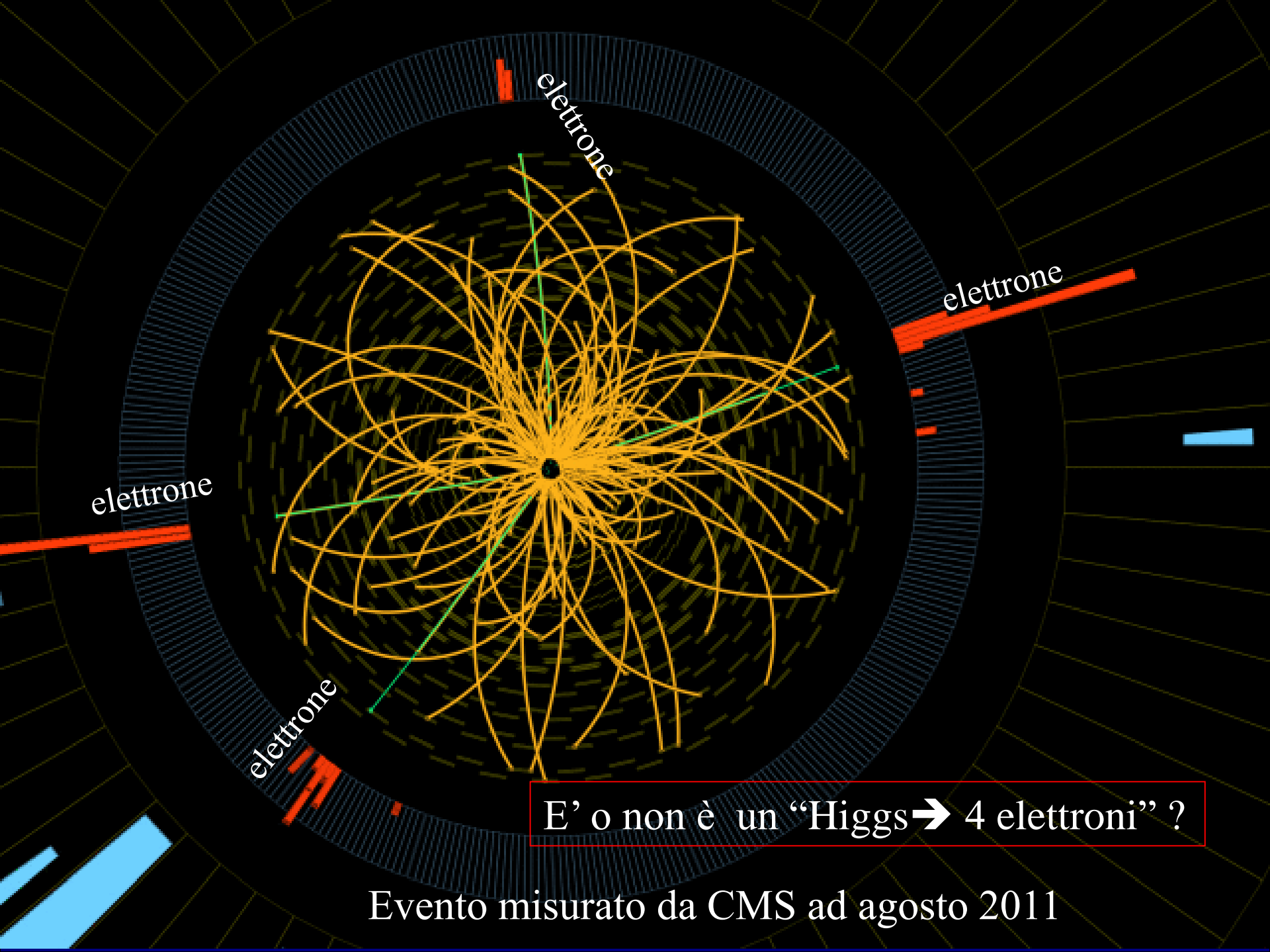
$$M_H c^2 = E_1 + E_2$$



E' o non è un "Higgs \rightarrow 4 muoni" ?

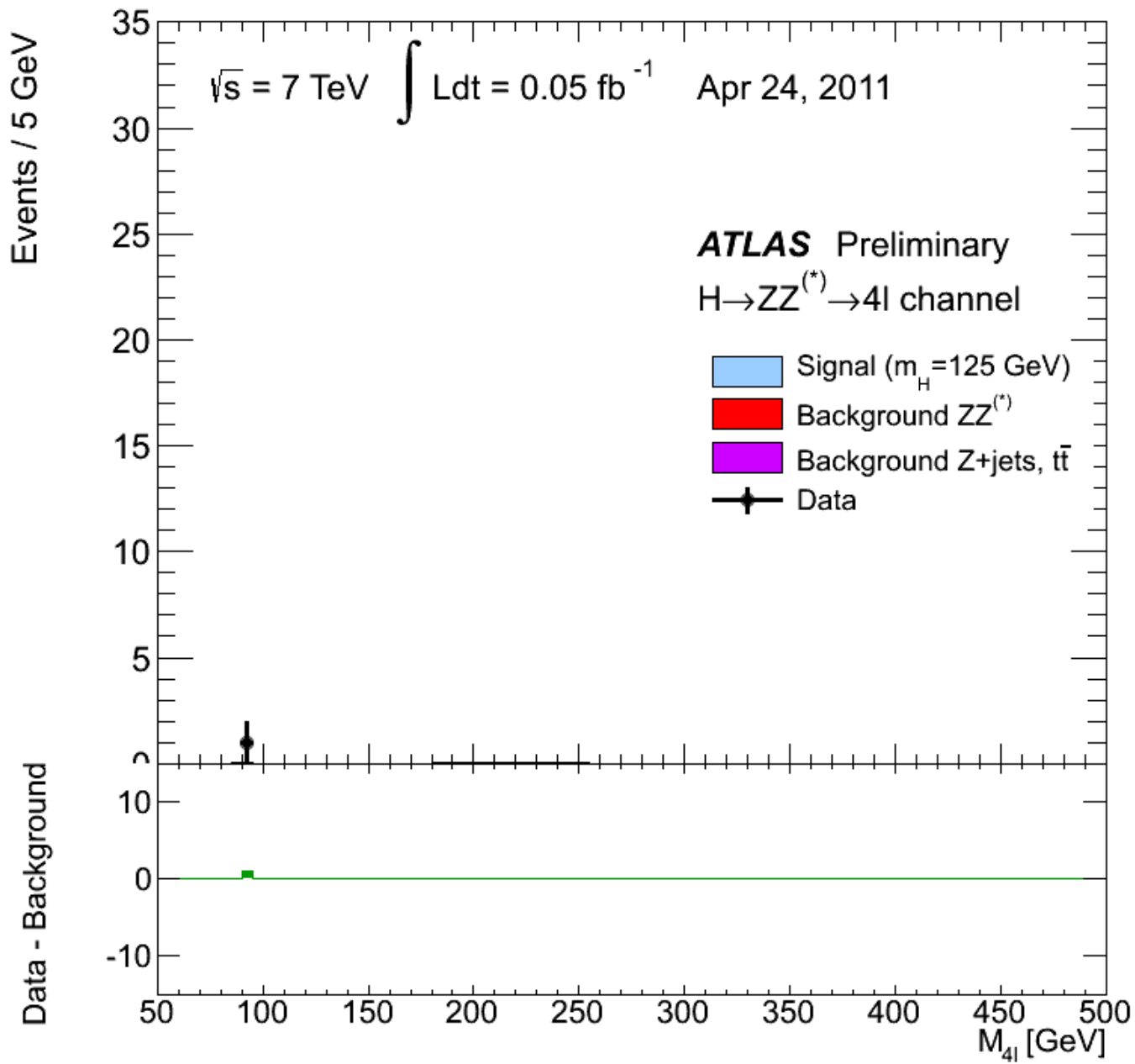


Evento misurato da CMS ad Agosto 2011

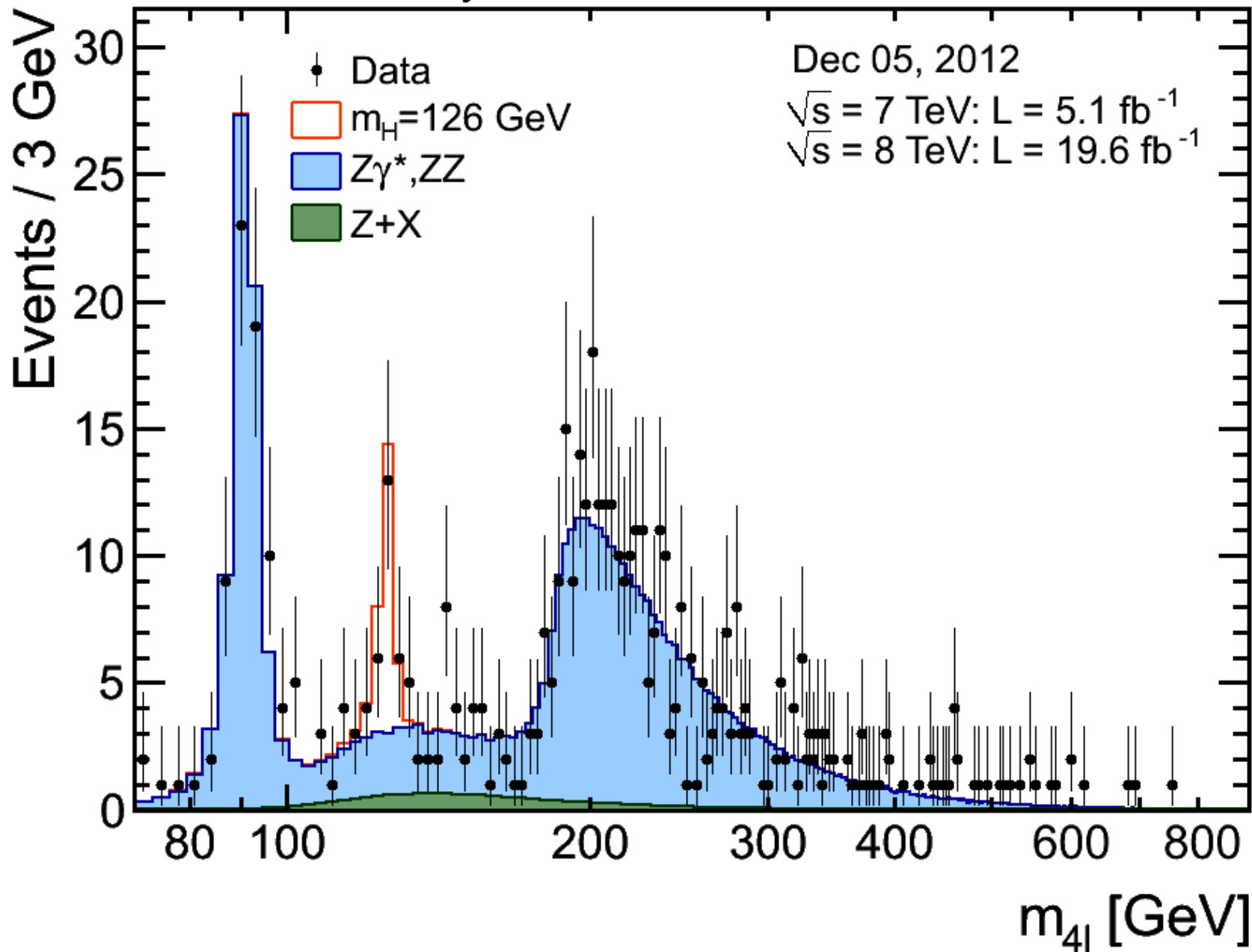


E' o non è un "Higgs → 4 elettroni" ?

Evento misurato da CMS ad agosto 2011

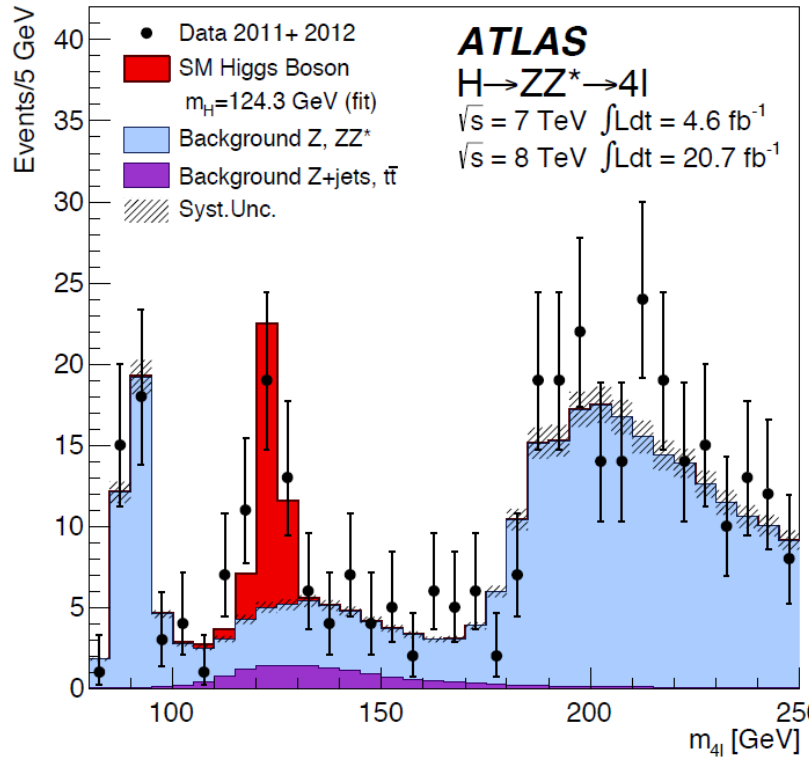


CMS Preliminary



H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 leptoni

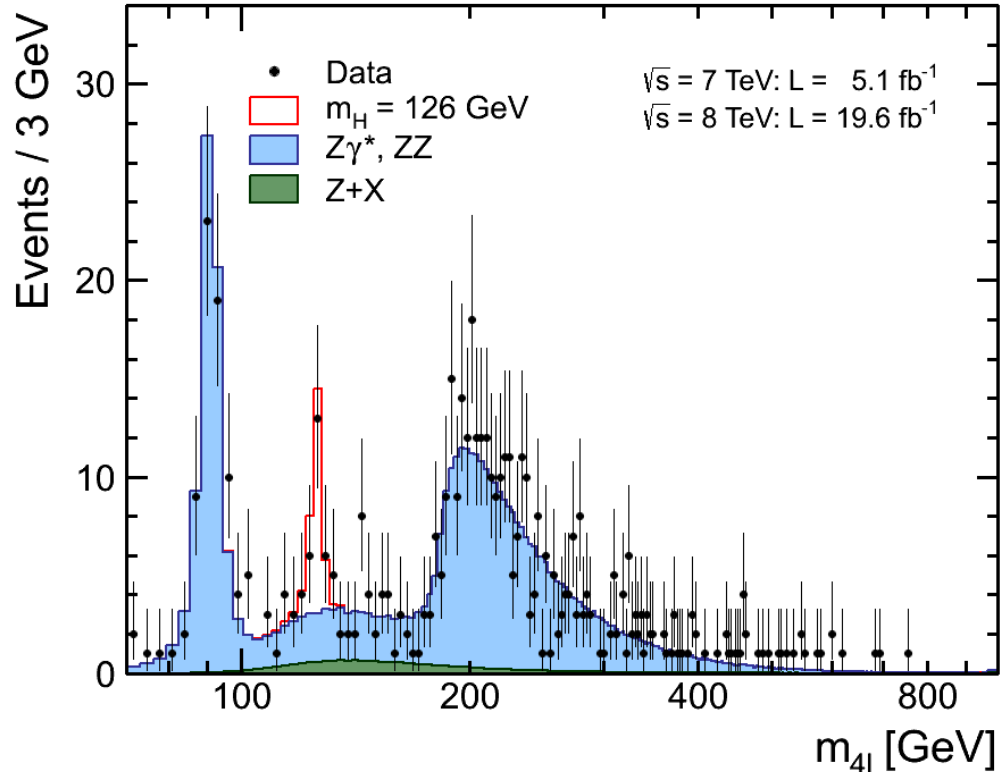
ATLAS



6.6 σ (4.4 σ asp.)

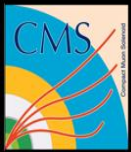
$m_H = 124.3^{+0.6}_{-0.5}(\text{stat})^{+0.5}_{-0.3}(\text{syst})$ GeV

CMS

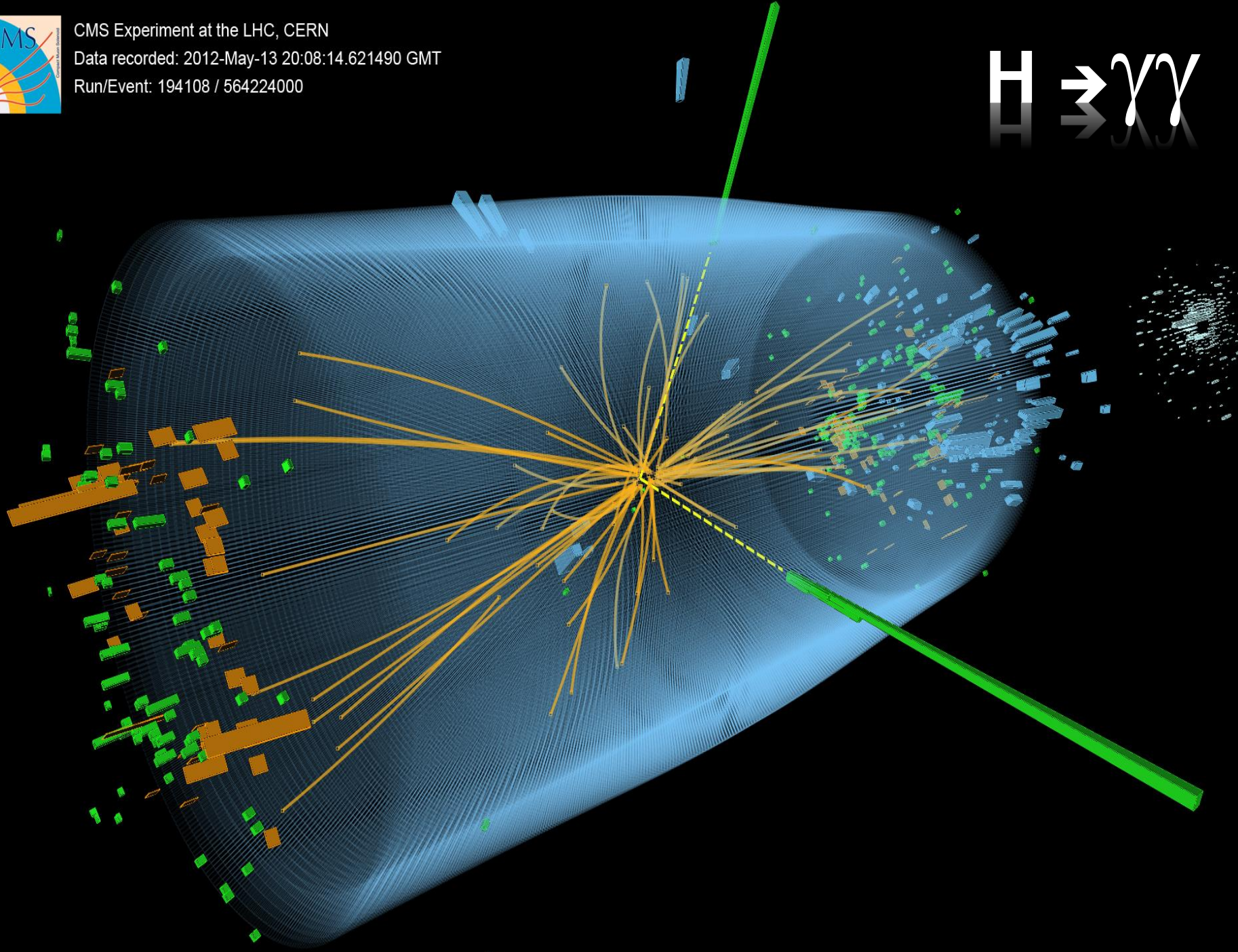
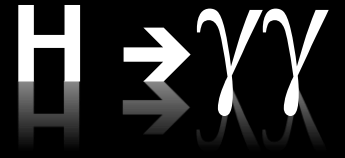


6.7 σ (7.1 σ asp.)

$m_H = 125.8^{+0.5}_{-0.5}(\text{stat})^{+0.2}_{-0.2}(\text{syst})$ GeV

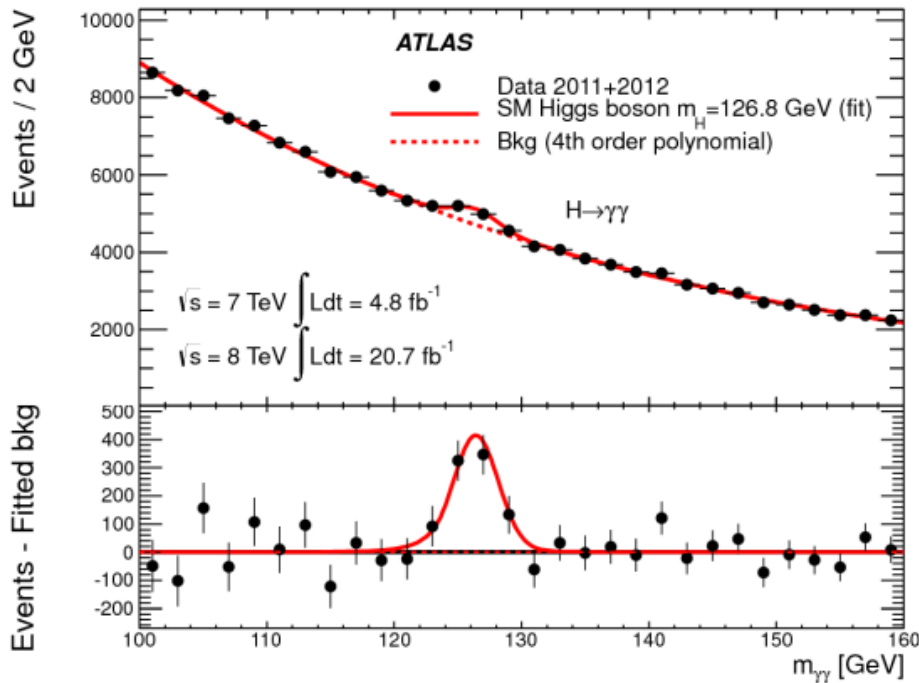


CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000



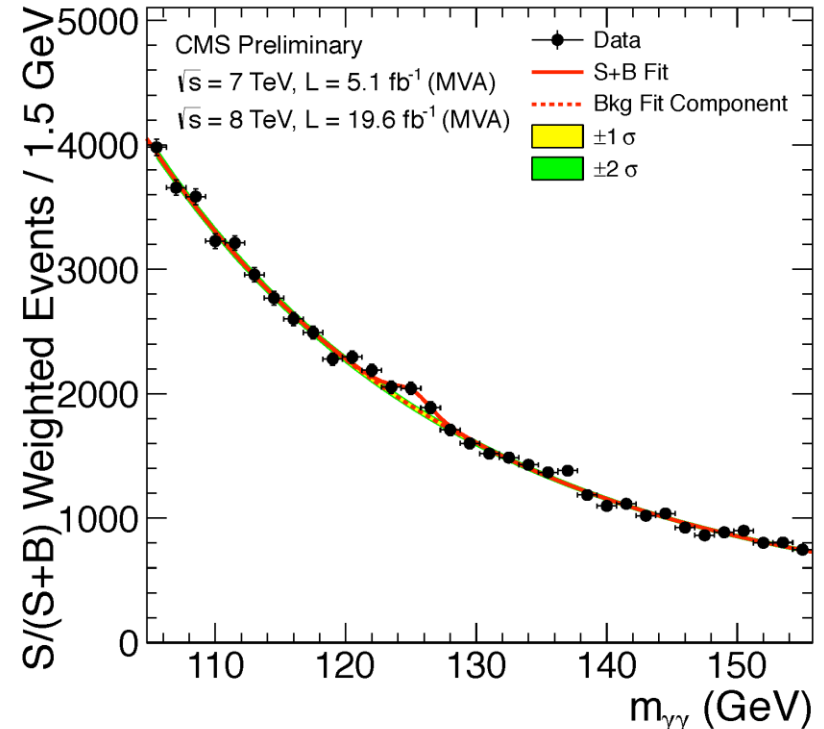
$H \rightarrow \gamma\gamma$

ATLAS



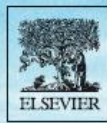
7.6 σ (4.1 σ asp.)
 $m_H = 126.8 \pm 0.2(\text{stat}) \pm 0.7(\text{syst})$ GeV

CMS

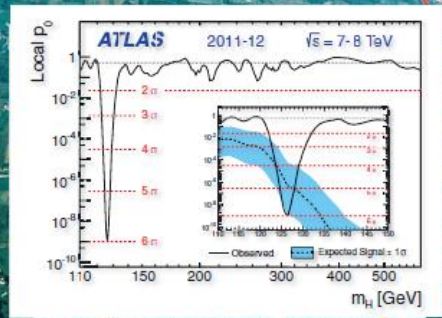
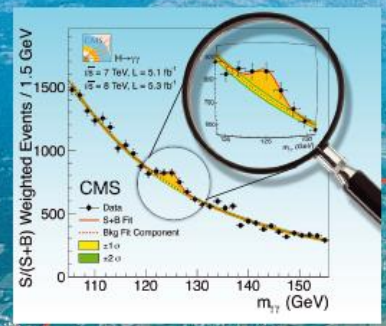


3.2 σ (4.2 σ asp.)
 $m_H = 125.4 \pm 0.5(\text{stat}) \pm 0.6(\text{syst})$ GeV

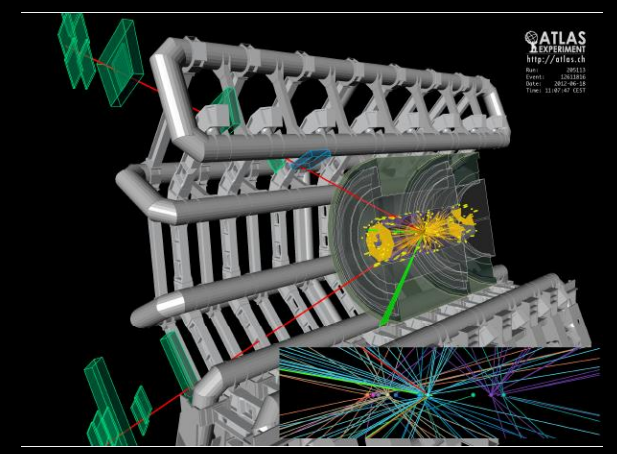
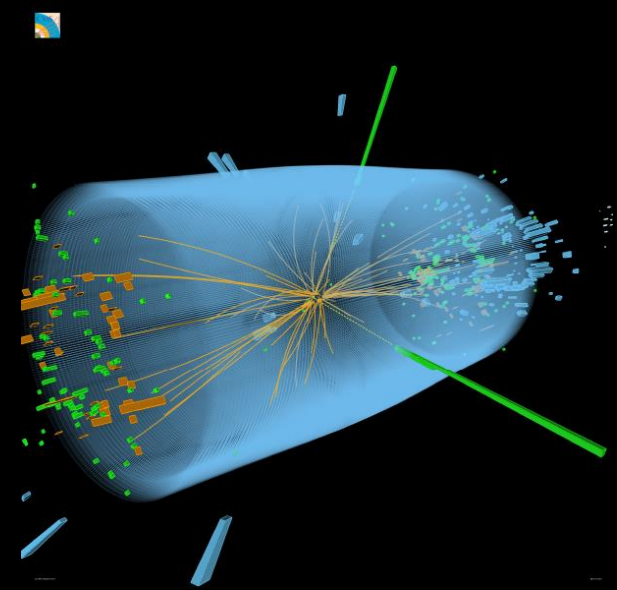
4 luglio 2012



First observations of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson at the LHC



www.elsevier.com/locate/physletb



ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.cern>
Pub: 091113
Date: 2012-08-18
Time: 10:07:00 CEST

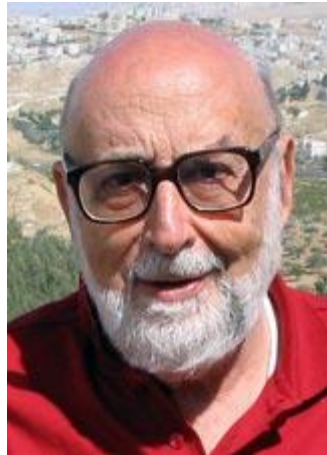
*Congratulations to both
Atlas and CMS Collaborations
and to the builders of the LHC
on a magnificent achievement!*

Peter Higgs

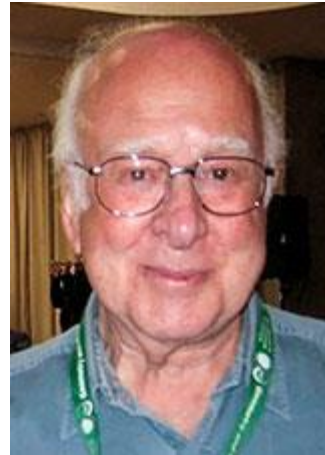
30 August 2012



Premio Nobel per la Fisica 2013



François Englert



Peter W. Higgs

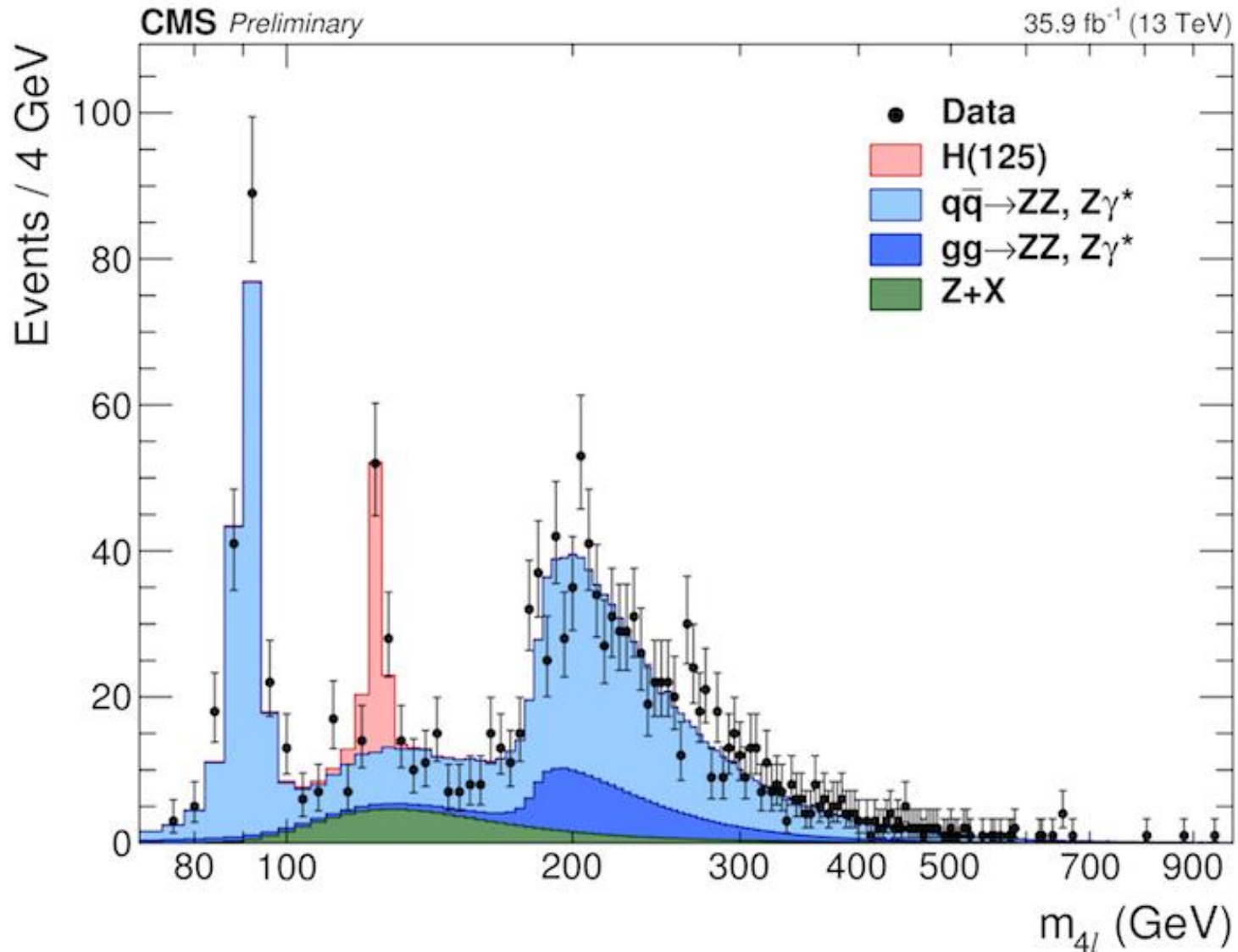
The Nobel Prize in Physics 2013 was awarded jointly to François Englert and Peter W. Higgs *"for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider"*.

Il così detto meccanismo di Higgs fu proposto nel 1964 in due articoli pubblicati separatamente, il primo dai fisici belgi Robert Brout e François Englert e il secondo, subito dopo, dal fisico britannico Peter Higgs.

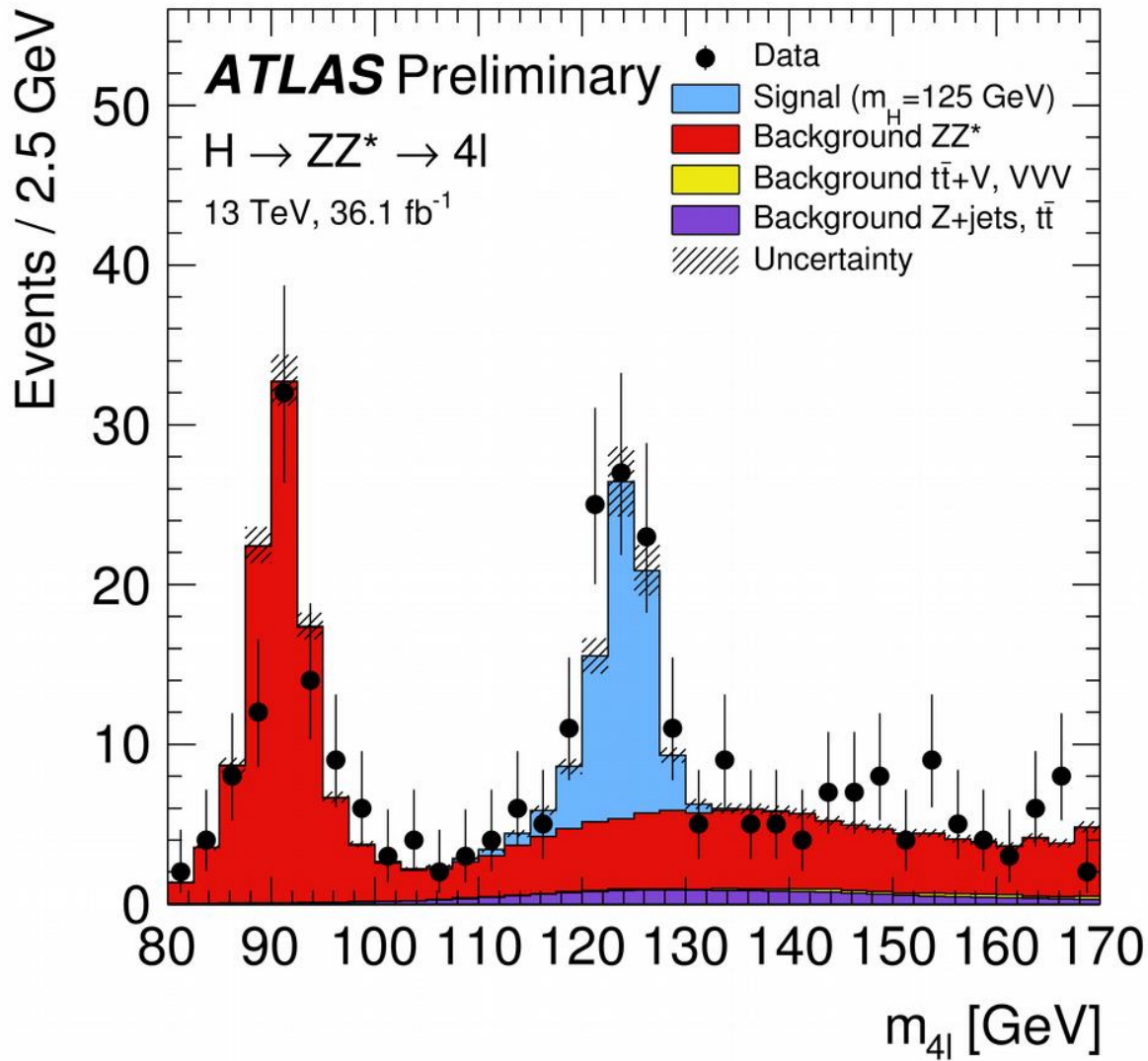


Robert Brout

$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \text{ lepton}$ at 13 TeV CMS (2015-2016)

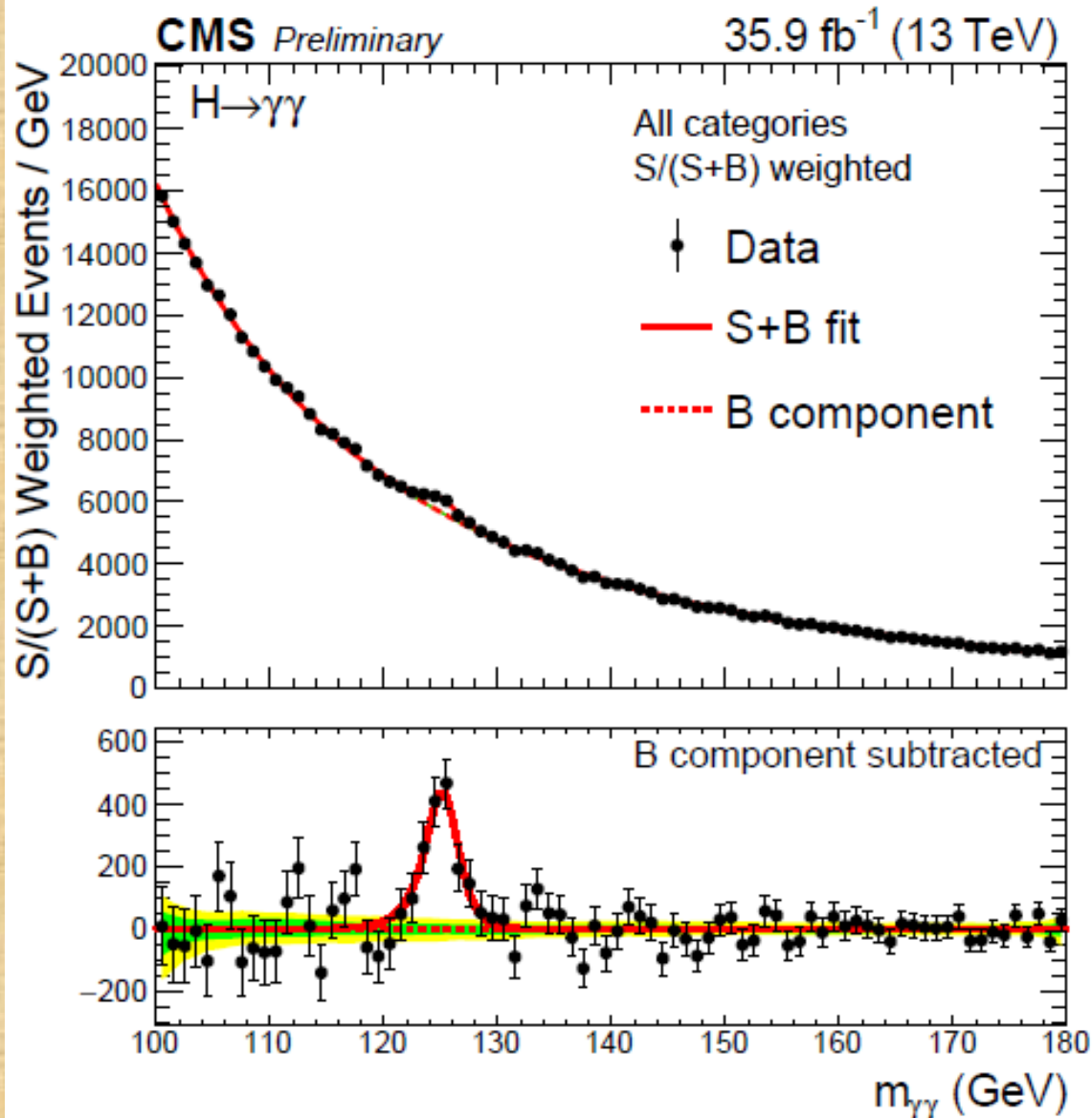


$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \text{ lepton}$ at 13 TeV ATLAS (2015-2016)



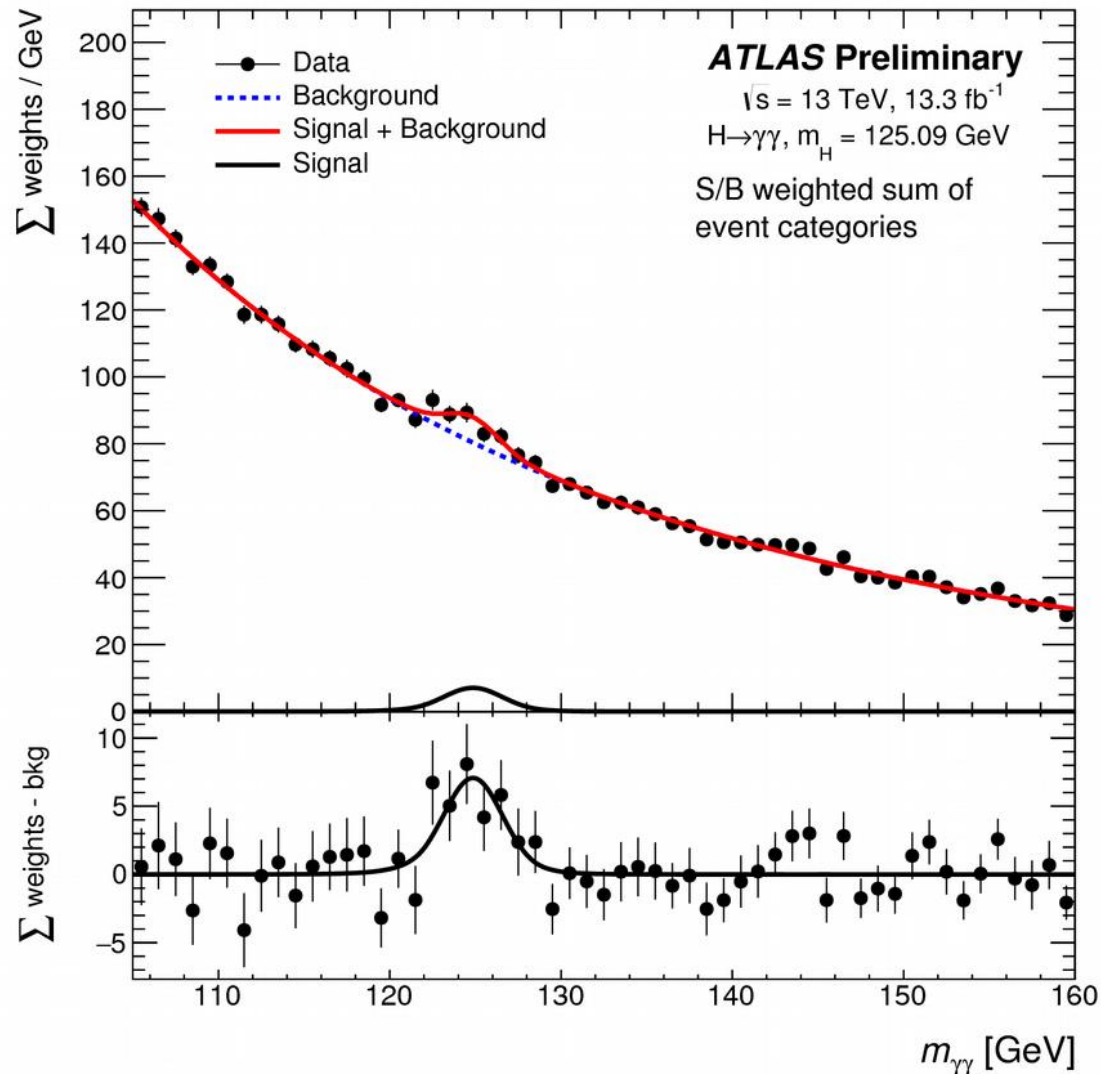
$H \rightarrow \gamma\gamma$ at 13 TeV

CMS (2015-2016)

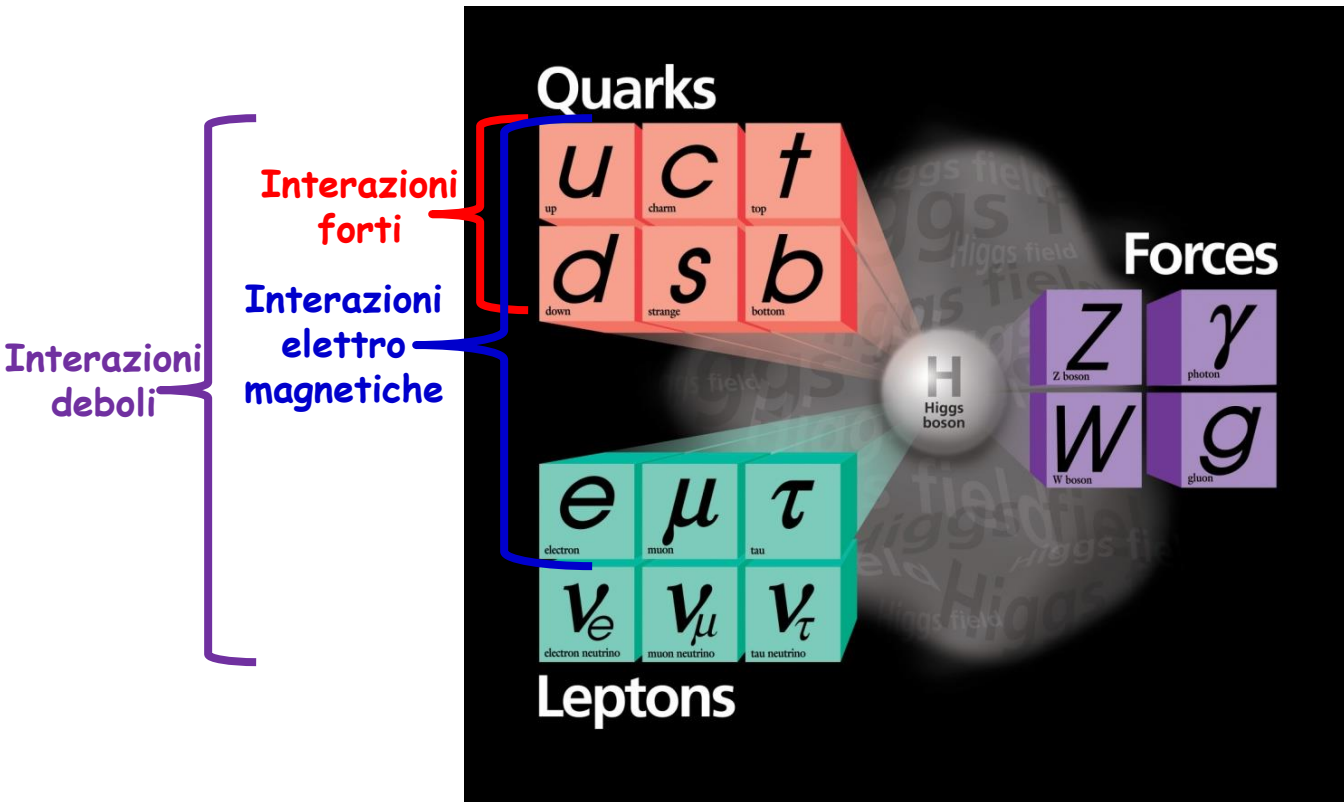


$H \rightarrow \gamma\gamma$ at 13 TeV

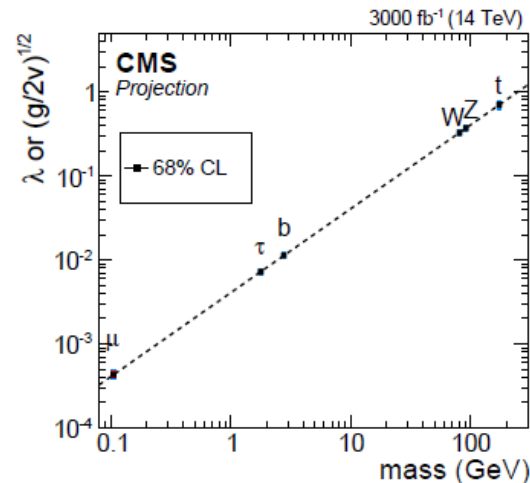
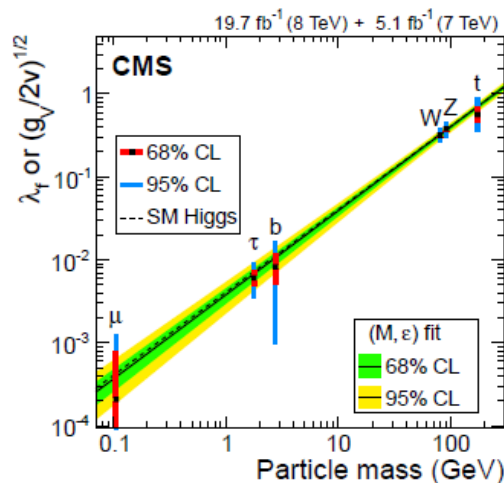
ATLAS (2015-2016)



Il Modello Standard



La validità del Modello Standard è dimostrata da moltissime misure sperimentali di alta precisione fatte ai recenti acceleratori (LEP, SLC, Tevatron, B-factories, e LHC)



Ora il Modello Standard è completo ! Ma allora abbiamo capito tutto ?

**Il Modello Standard è una teoria di grande successo,
ma molti interrogativi sono ancora senza risposta:**

- * Come si supera l'inconsistenza del modello dovuta alle fluttuazioni quantistiche del vuoto che tendono a rendere il campo di Higgs enormemente denso e con esso la massa enormemente elevata?*

Problema con lo Higgs del Modello Standard

La massa del bosone di Higgs tende a divergere a causa delle fluttuazioni delle particelle virtuali nel vuoto quantistico ($\Delta E \times \Delta t \approx \hbar$) che interagiscono con esso.



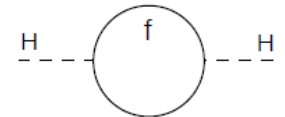
Meccanismo di Higgs

$$(m_H)^2 = (m_{H,0})^2 + (\Delta m_H)^2$$

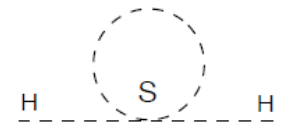
$$= 125 \text{ GeV}$$

$$\propto \sum_f -g_f \Lambda_{UV}$$

Λ_{UV} può essere grande quanto Λ_{planck}

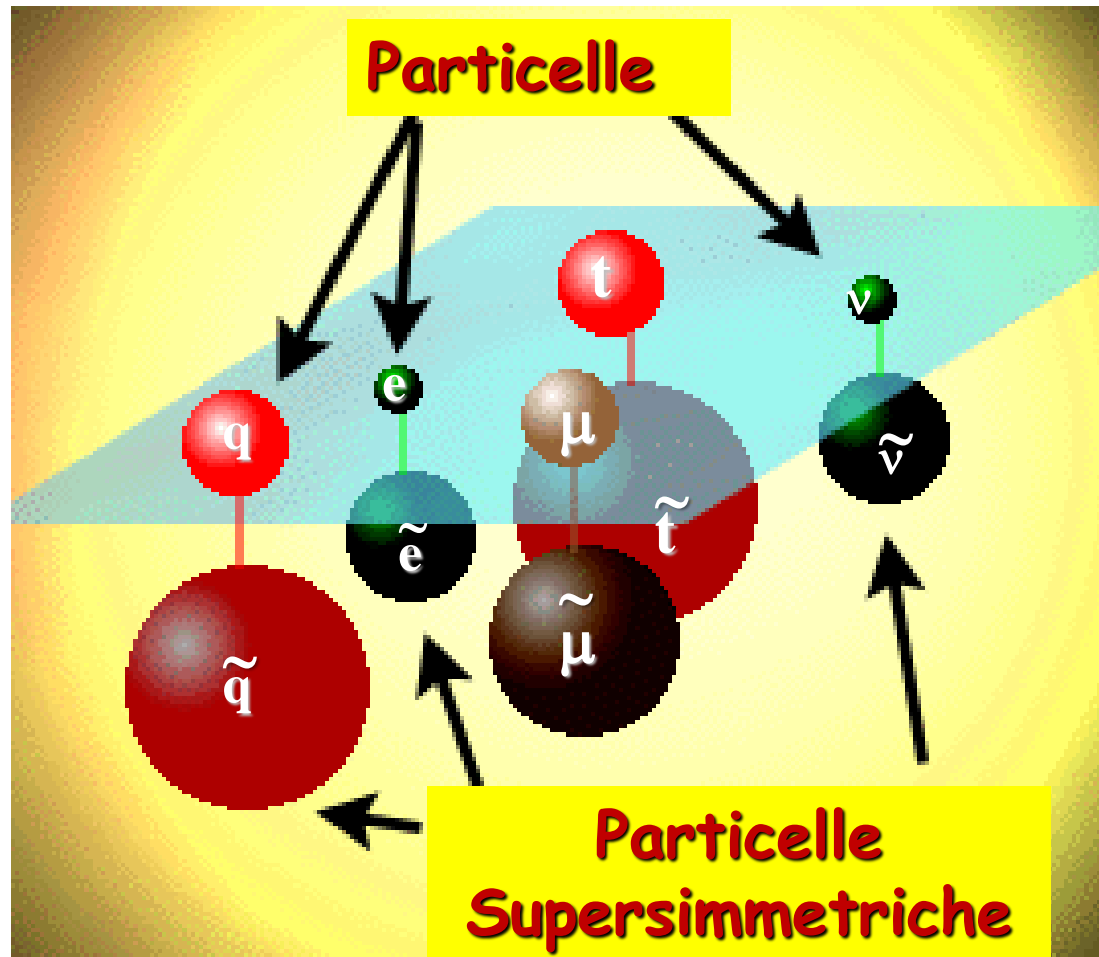


Soluzione: per ogni fermione f introdurre un corrispondente scalare s che cancelli tutti i vari termini di Δm_H



Deve quindi esistere nuova fisica oltre il Modello Standard: Per esempio queste difficoltà possono essere eliminate con la supersimmetria...

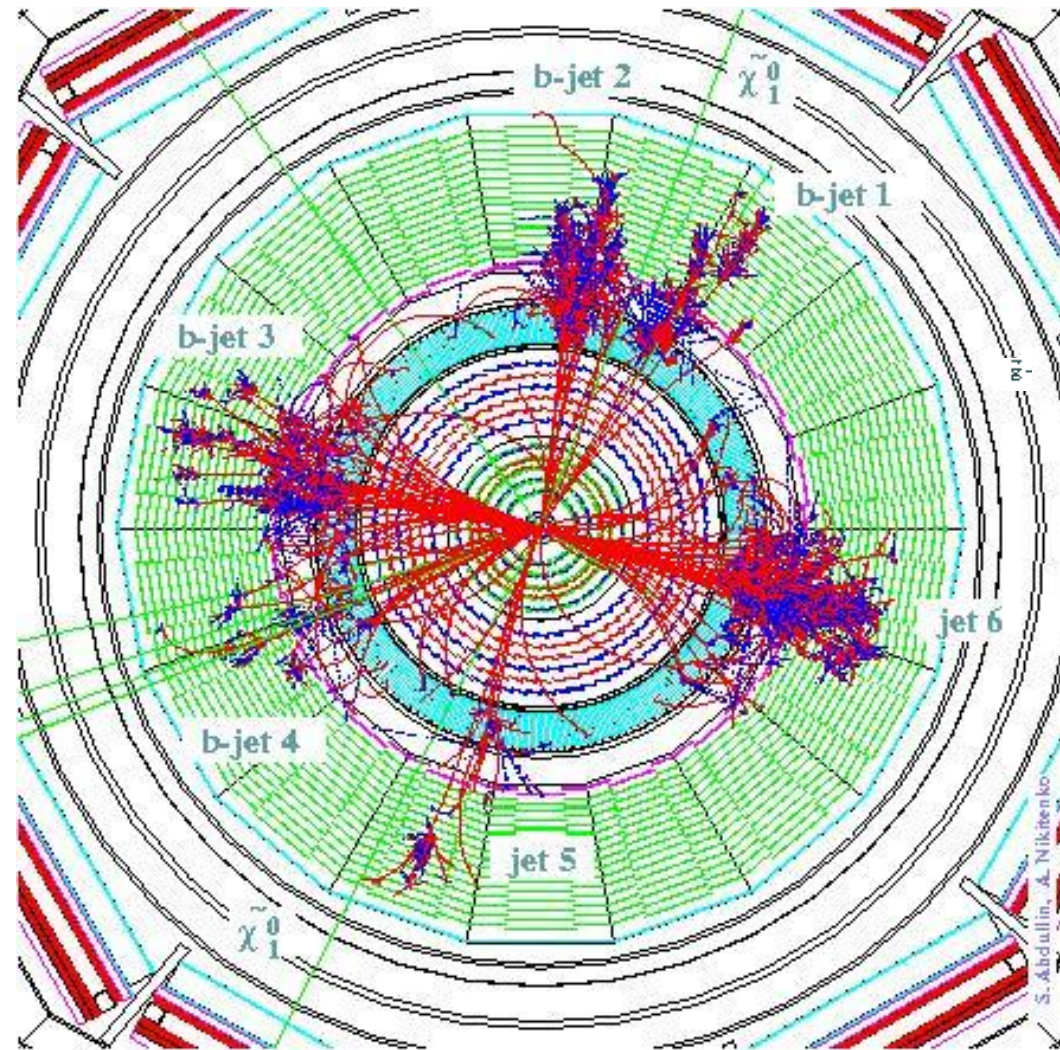
L'inconsistenza del modello potrebbe essere risolta se esistesse un mondo di particelle supersimmetriche corrispondente al mondo delle particelle standard ma con masse molto più grandi (e che per questo motivo non sono ancora state osservate).



$$m_{\tilde{p}} \gg m_p$$

Evento di SUSY in CMS : $pp \rightarrow \tilde{u}_L + \tilde{g}$

mSUGRA: $m_0=1000$ GeV; $m_{1/2}=500$ GeV; $A_0=0$; $\tan\beta=35$; $\mu>0$



$$\tilde{g} \rightarrow \tilde{t}_1 + \bar{t}$$

- $\hookrightarrow W^- + \bar{b}$ (jet 4, $E_t=113$ GeV)
- $\hookrightarrow s$ (jet 5, $E_t=79$ GeV) + \bar{c}
- $\hookrightarrow \tilde{\chi}_2^+ + b$ (jet 3, $E_t=536$ GeV)
- $\hookrightarrow \tilde{\chi}_1^+ + Z \rightarrow \nu \bar{\nu}$
- $\hookrightarrow \tilde{\chi}_1^0 + W^+ \rightarrow \nu \tau^+$
- $\hookrightarrow e^+ \nu$

$$\tilde{u}_L \rightarrow \tilde{\chi}_2^0 + u$$

- (jet 6, $E_t=1200$ GeV)
- $\hookrightarrow \tilde{\chi}_1^0 + h \rightarrow b \bar{b}$ (jet 1, $E_t=206$ GeV; jet 2, $E_t=320$ GeV)

$m(\tilde{g})=1266$ GeV ; $m(\tilde{t}_1)=1026$ GeV
 $m(\tilde{u}_L)=1450$ GeV; $m(\tilde{\chi}_2^0)=410$ GeV;
 $m(\tilde{\chi}_1^0)=214$ GeV; $m(h)=119$ GeV

S. Abdullin, A. Nikitenko

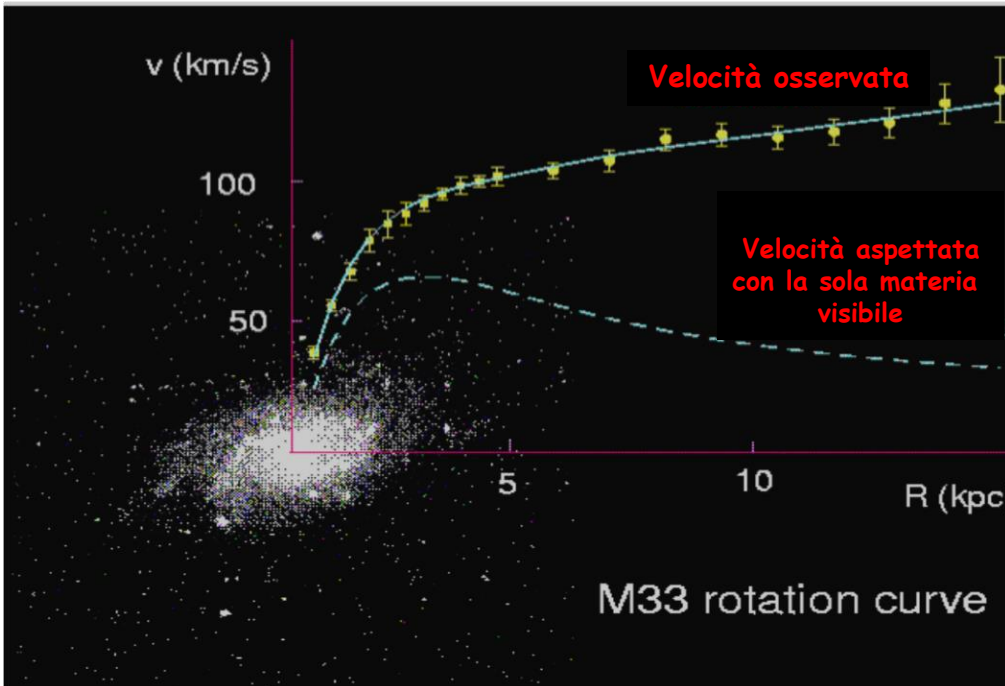
Ora il Modello Standard è completo ! Ma allora abbiamo capito tutto ?

**Il Modello Standard è una teoria di grande successo,
ma molti interrogativi sono ancora senza risposta:**

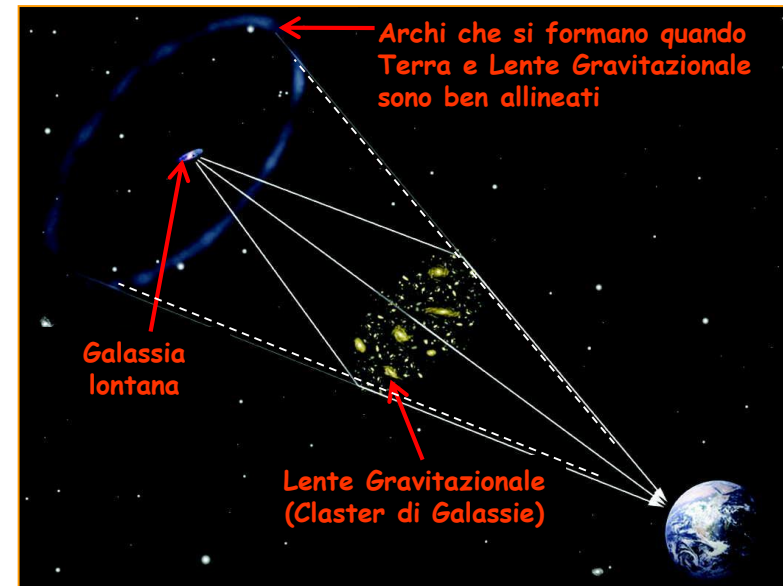
- * Come si supera l'inconsistenza del modello dovuta alle fluttuazioni quantistiche del vuoto che tendono a rendere il campo di Higgs enormemente denso e con esso la massa enormemente elevata?*
- * Che cosa è la Materia Oscura in cui le Galassie sono immerse ?*

Manifestazioni della Materia Oscura

Galassia M33 Velocità di rotazione



La Materia oscura come Lente Gravitazionale

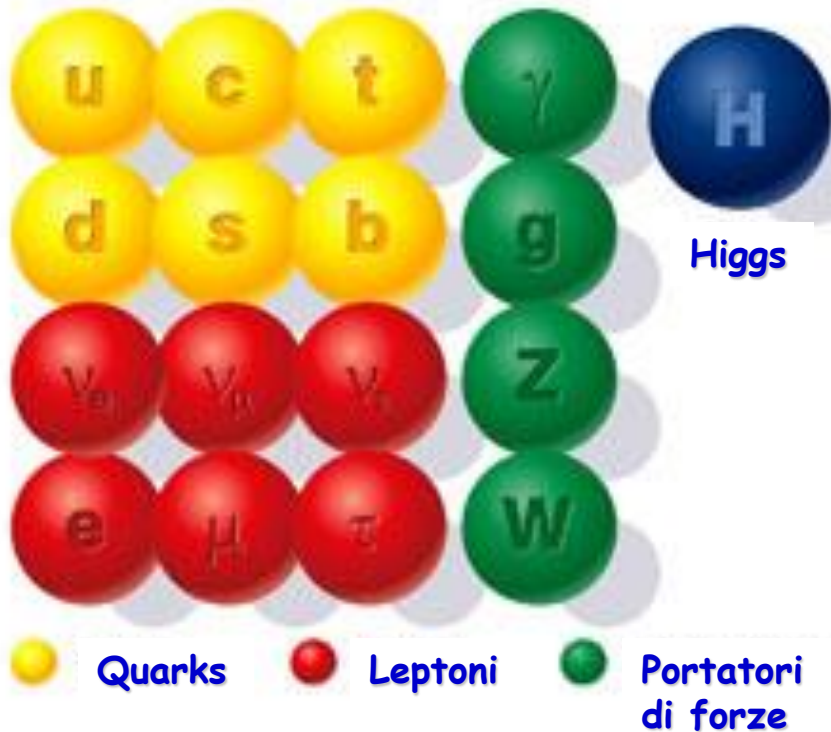


l'effetto e' molto piu' forte di quello spiegabile con la massa della Materia Visibile

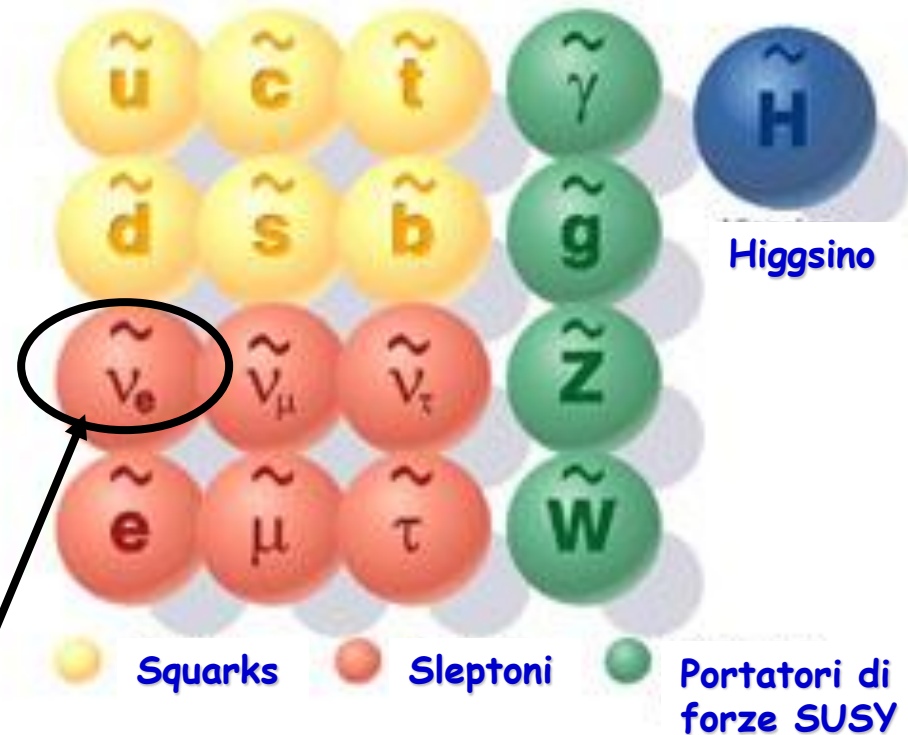
La Materia Oscura sembra essere costituita da particelle di grande massa che interagiscono debolmente

La **Materia Oscura** e' dovuta all'esistenza di **Particelle Supersimmetriche** ?
Tali particelle potrebbero non essere state scoperte fino ad oggi perché hanno masse molto più grandi delle masse delle particelle standard.

Particelle Standard



Particelle Supersimmetriche (SUSY)



**Possibile candidato come particella che
forma la Materia Oscura.
LHC potrebbe avere l'energia per produrla**

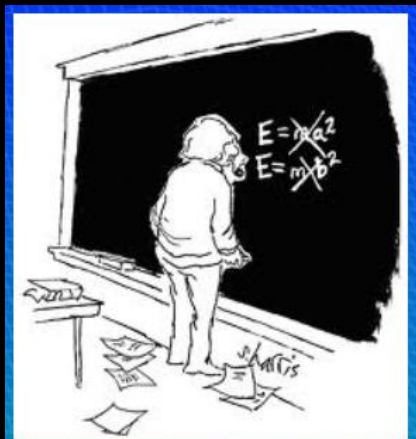
Ora il Modello Standard è completo ! Ma allora abbiamo capito tutto ?

**Il Modello Standard è una teoria di grande successo,
ma molti interrogativi sono ancora senza risposta:**

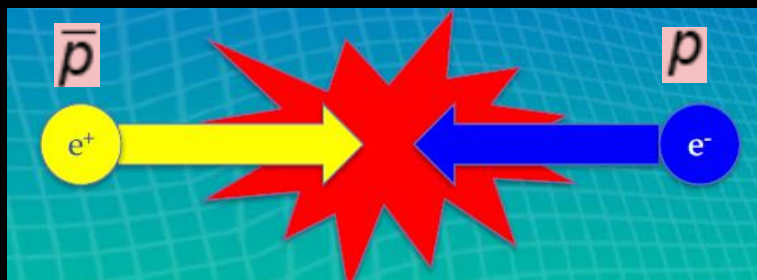
- * Come si supera l'inconsistenza del modello dovuta alle fluttuazioni quantistiche del vuoto che tendono a rendere il campo di Higgs enormemente denso e con esso la massa enormemente elevata?*
- * Che cosa è la Materia Oscura in cui le Galassie sono immerse ?*
- * Perché il mondo è fatto di materia (che fine ha fatto l'antimateria)?*

10^{-32} - 10^{-6} sec : la materia è caldissima ma si sta rapidamente raffreddando, materia, antimateria e radiazione (fotoni) sono in equilibrio

$$p + \bar{p} \leftrightarrow \gamma + \gamma \quad n_\gamma \approx n_p, n_{\bar{p}}$$



$$E=mc^2$$



Un meccanismo ignoto crea una leggera asimmetria tra materia e antimateria. Tutta l'antimateria si annichila con la materia e resta una piccola parte di sola materia

Materia
10.000.000.001

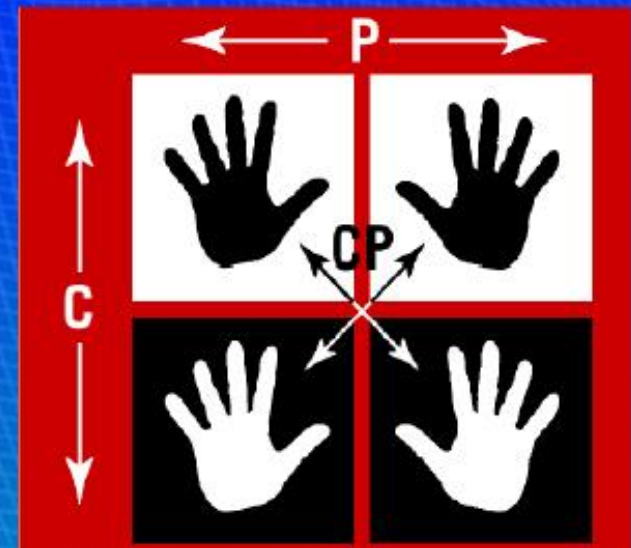


Antimateria
10.000.000.000

Simmetria di CP

- Per trasformare particelle in anti-particelle dobbiamo invertire la carica (C), ma anche fare una riflessione nello specchio (P) \rightarrow CP.
- Una violazione della simmetria di CP (cioè una differenza tra materia ed antimateria) è prevista nel modello standard
 - Scoperta da Cronin e Fitch nel 1964 per i mesoni K
 - Scoperta dagli esperimenti Babar e Belle nel 2001 per i mesoni B

Ma Sakharov nel 1967 dimostrò che quantitativamente la asimmetria di CP del modello standard **NON** è sufficiente a giustificare l'abbondanza di materia

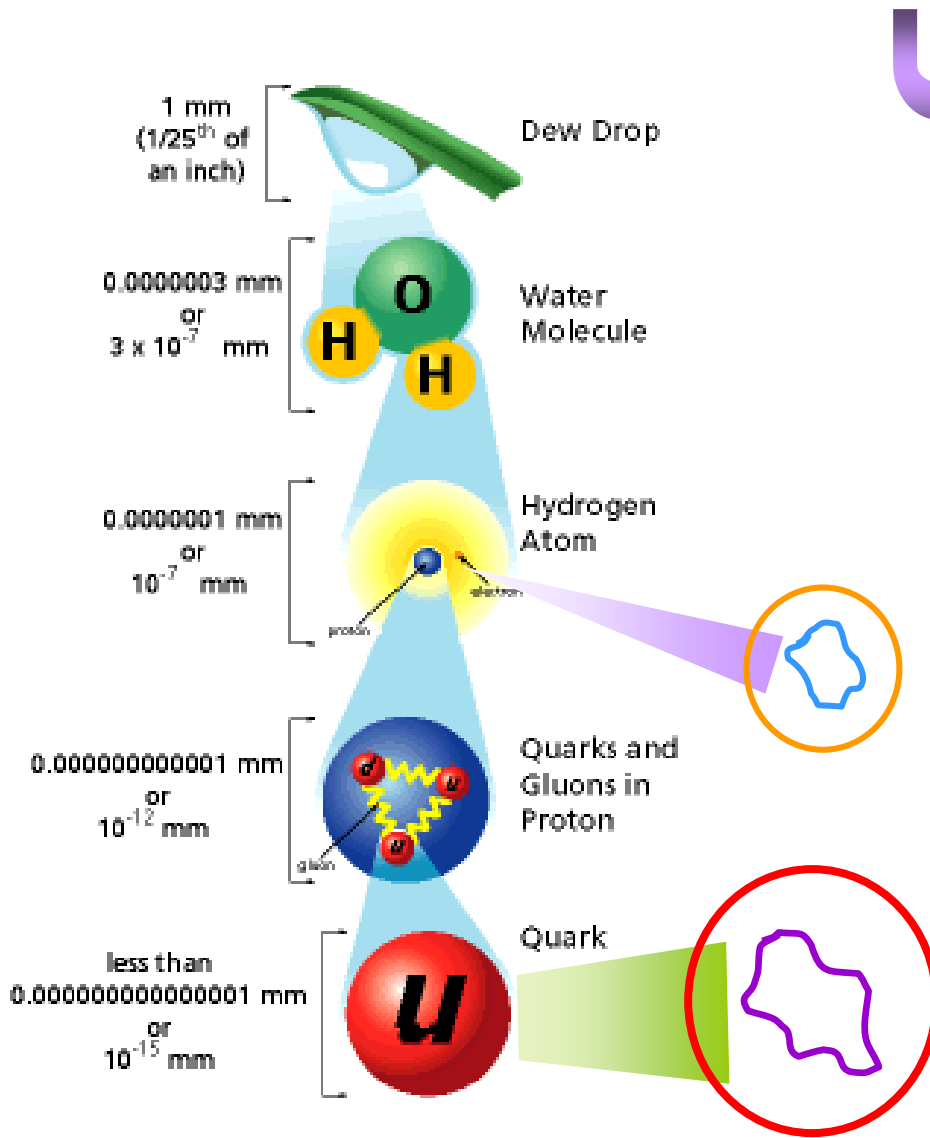


Ora il Modello Standard è completo ! Ma allora abbiamo capito tutto ?

**Il Modello Standard è una teoria di grande successo,
ma molti interrogativi sono ancora senza risposta:**

- * *Come si supera l'inconsistenza del modello dovuta alle fluttuazioni quantistiche del vuoto che tendono a rendere il campo di Higgs enormemente denso e con esso la massa enormemente elevata?*
- * *Che cosa è la Materia Oscura in cui le Galassie sono immerse ?*
- * *Perché il mondo è fatto di materia (che fine ha fatto l'antimateria)?*
- * *I quark e i leptoni sono veramente le particelle fondamentali o posseggono anch'essi una struttura interna?*

Le particelle sono veramente puntiformi ?



Teoria delle Stringhe

Le particelle non sono puntiformi, ma piccole corde oscillanti

stati diversi di oscillazione della corda → particelle diverse

La teoria delle stringhe prevede 10 dimensioni spaziali e una temporale

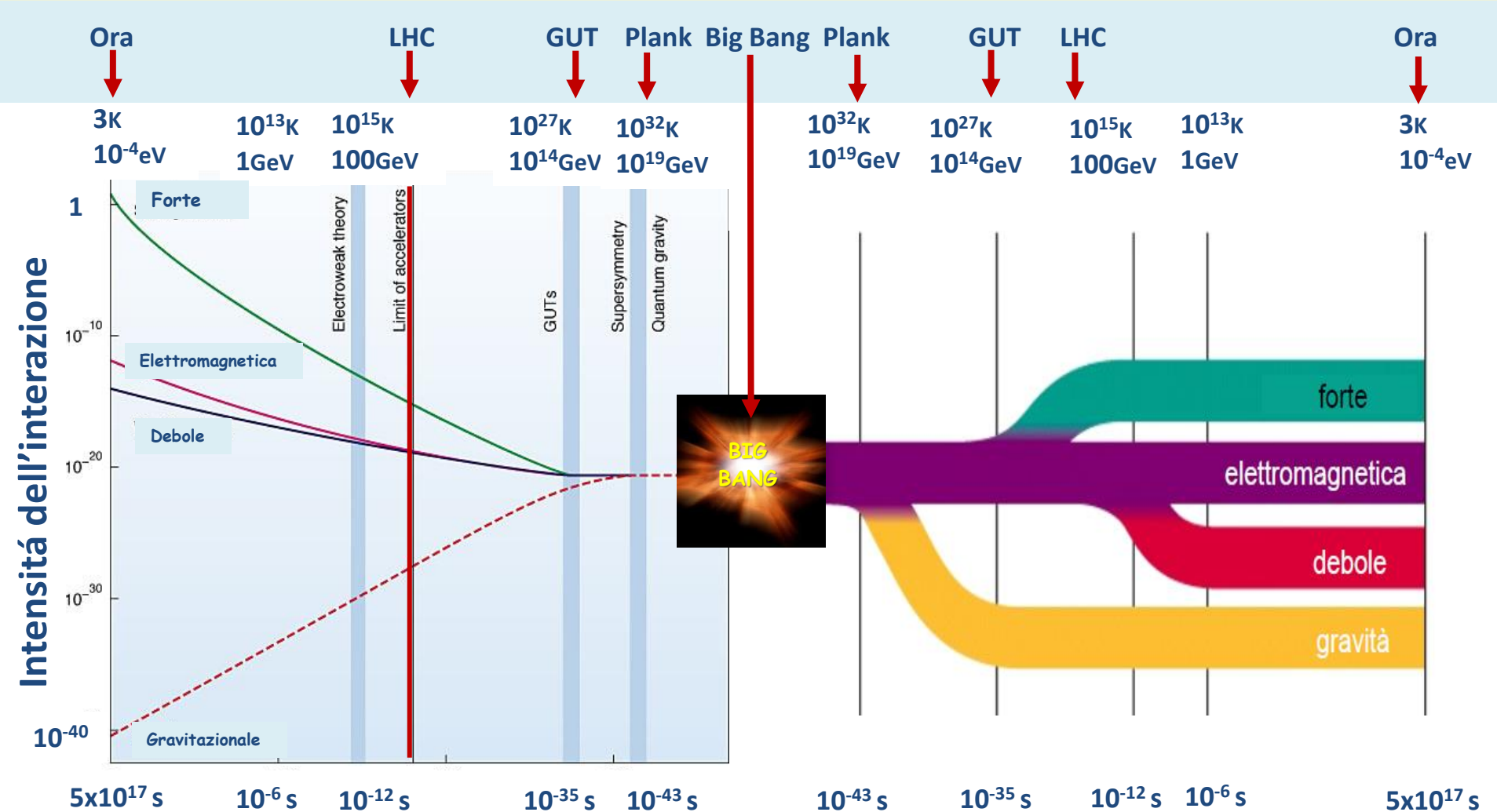
Ora il Modello Standard è completo ! Ma allora abbiamo capito tutto ?

**Il Modello Standard è una teoria di grande successo,
ma molti interrogativi sono ancora senza risposta:**

- * *Come si supera l'inconsistenza del modello dovuta alle fluttuazioni quantistiche del vuoto che tendono a rendere il campo di Higgs enormemente denso e con esso la massa enormemente elevata?*
- * *Che cosa è la Materia Oscura in cui le Galassie sono immerse ?*
- * *Perché il mondo è fatto di materia (che fine ha fatto l'antimateria)?*
- * *I quark e i leptoni sono veramente le particelle fondamentali o posseggono anch'essi una struttura interna?*
- * *Esistono principi di unificazione tra le varie interazioni fondamentali e che ruolo gioca la gravità ?*

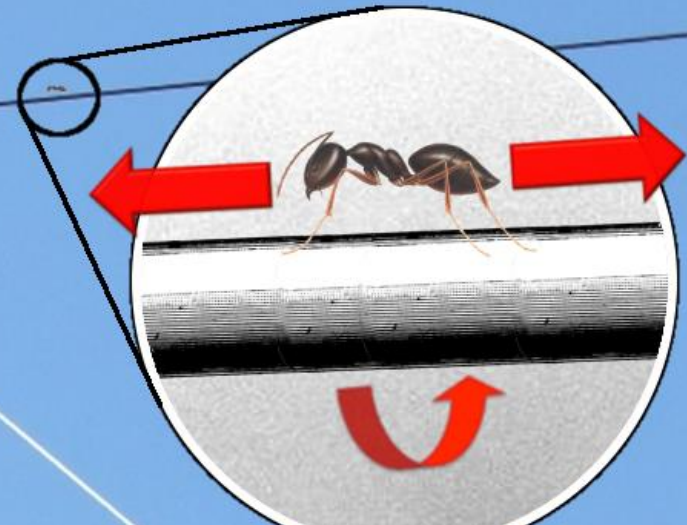
L'unificazione delle Forze

- ❖ perché la Gravità è così debole?
- ❖ ai primordi dell'Universo esisteva un'unica interazione?

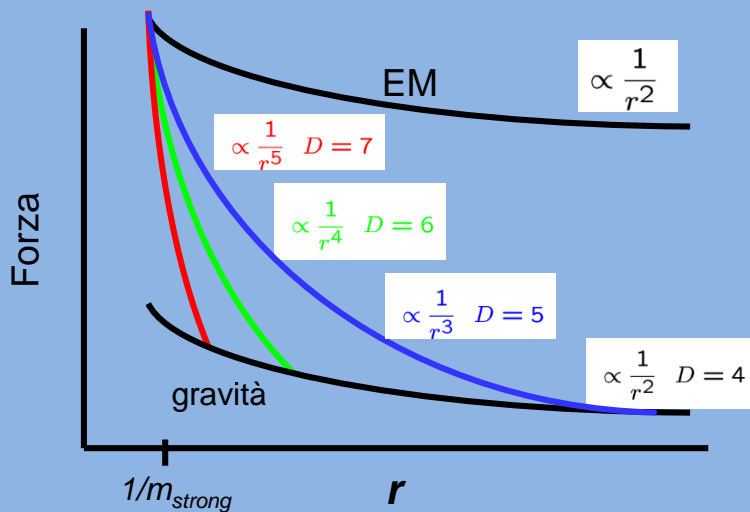


Dimensioni nascoste

La Gravità non è debole ! appare tale se la osserviamo nel nostro mondo a 4 dimensioni. Se esistessero dimensioni nascoste accessibili solo alla gravità questa diventerebbe forte come le altre interazioni

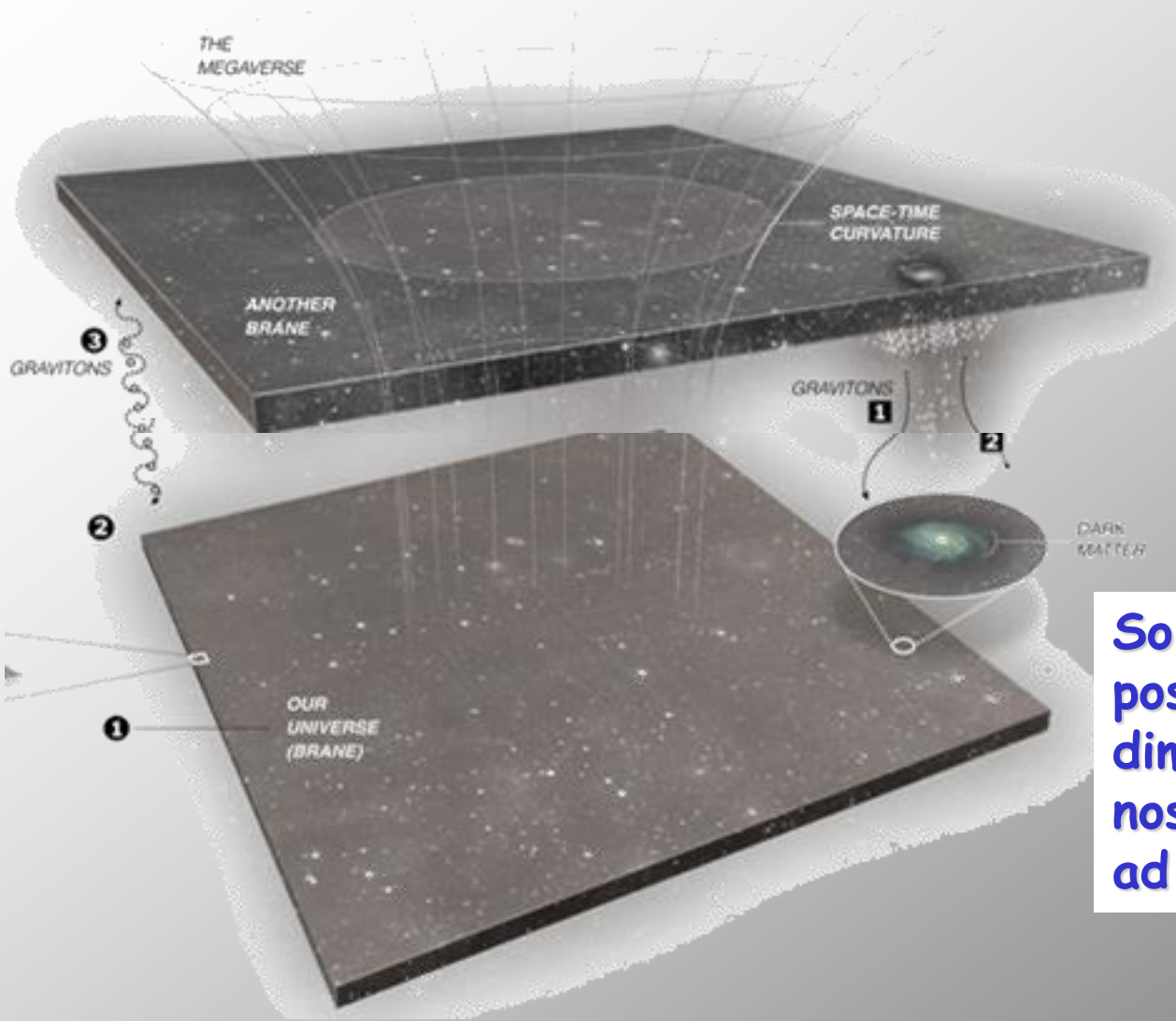


Gravità in n dimensioni nascoste



$$r \ll L, F_{\text{gravità}} \sim 1/r^{2+n} \quad r \gg L, F_{\text{gravità}} \sim 1/r^2$$

Dimensioni nascoste nella teoria delle stringhe (brane)

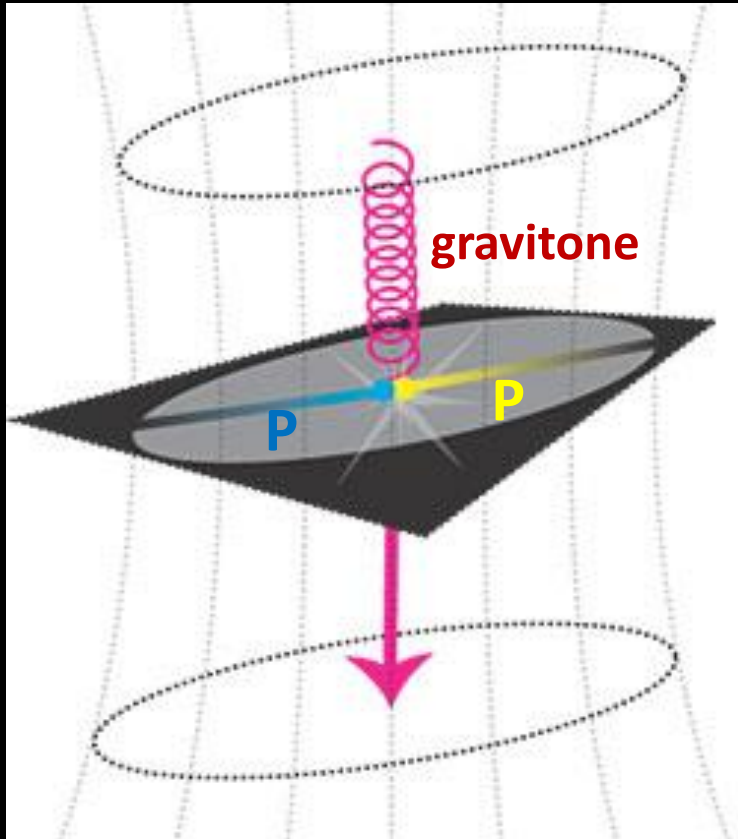


Si suppone che il nostro mondo è solo una fetta (brana) dell'intero Universo

Solo i gravitoni si possono muoversi nelle dimensioni nascoste dal nostro universo (brana) ad un altro universo

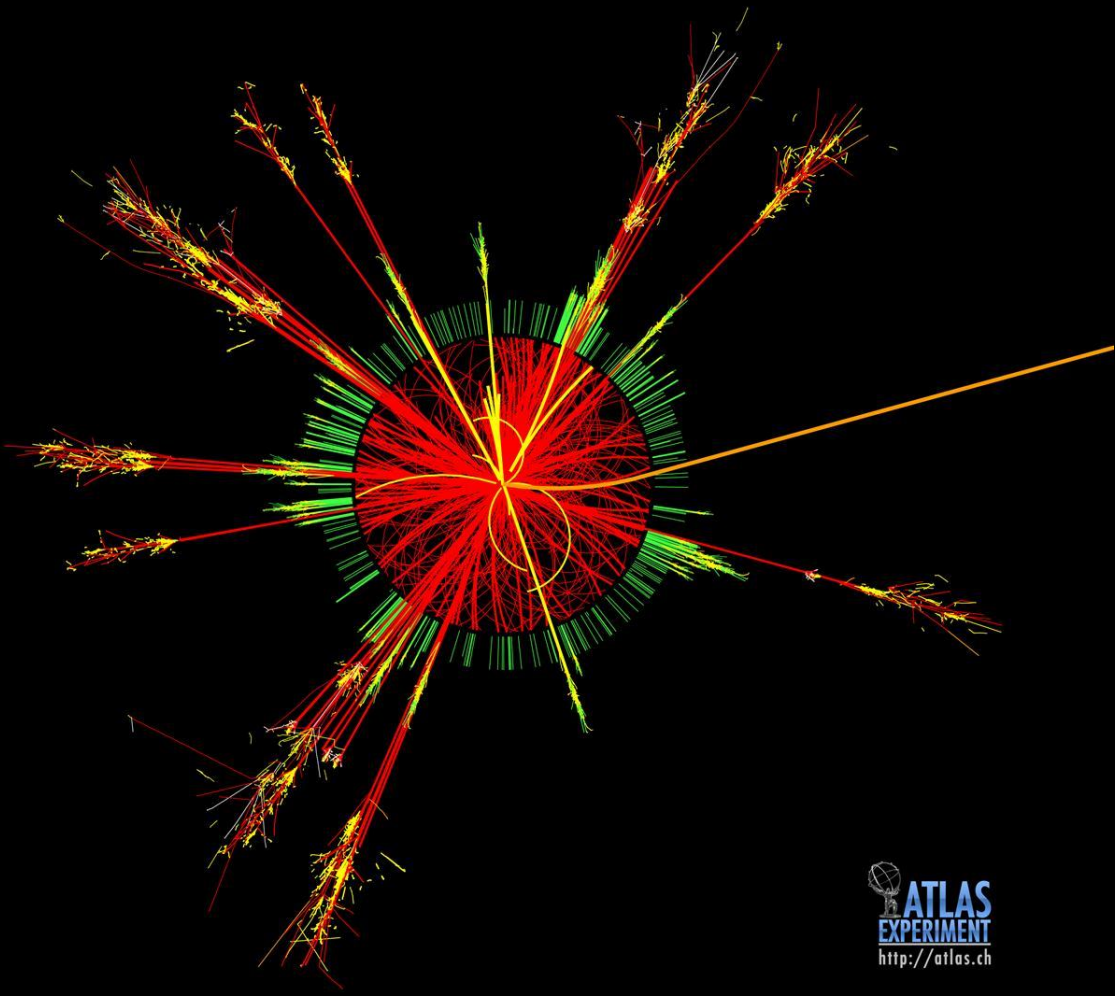
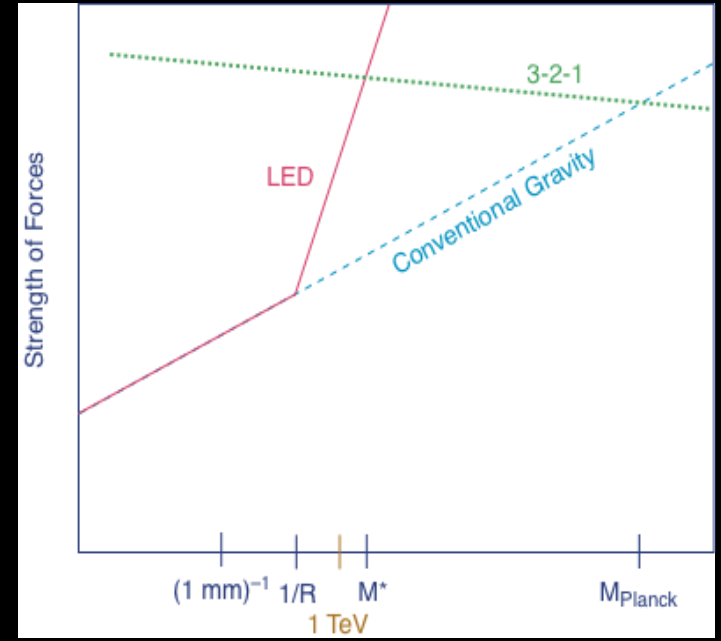
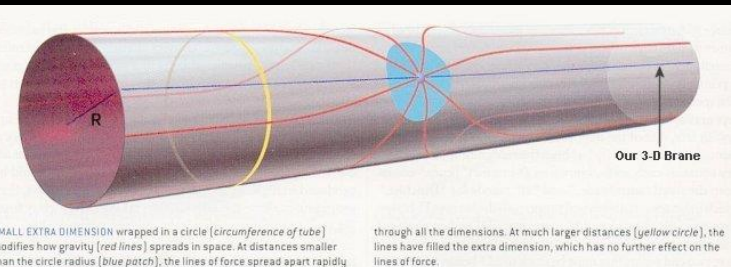
Le particelle del "Modello Standard" del nostro universo sono bloccate nella nostra brana e non possono entrare nelle dimensioni nascoste

Dimensioni nascoste



- Al LHC si potrebbero scoprire le dimensioni nascoste : un eccesso di eventi con una grande "mancanza di energia" in cui la somma dell'energia di tutte le particelle prodotte nell'interazione è molto minore dell'energia della collisione potrebbe essere il segnale che sono stati prodotti dei gravitoni che scompaiono nelle invisibili dimensioni nascoste. Ma tali eventi per ora non sono stati visti

Le dimensioni nascoste non sono accessibili alla nostra esperienza perché racchiuse in spazi con raggio di curvatura molto piccolo. Tali dimensioni potrebbero essere accessibili alle energie di LHC e sprigionare tutta la forza della gravità creando dei piccoli "Buchi Neri". Tali eventi potrebbero essere rivelati dagli apparati sperimentali come eventi del tipo simulato in figura



ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

Simulazione di un evento di "Black Hole" a LHC

Ora il Modello Standard è completo ! Ma allora abbiamo capito tutto ?

**Il Modello Standard è una teoria di grande successo,
ma molti interrogativi sono ancora senza risposta:**

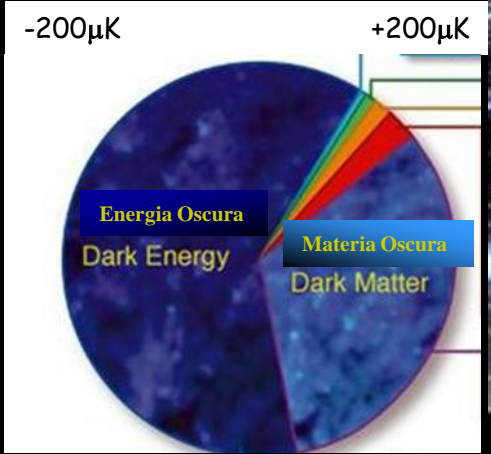
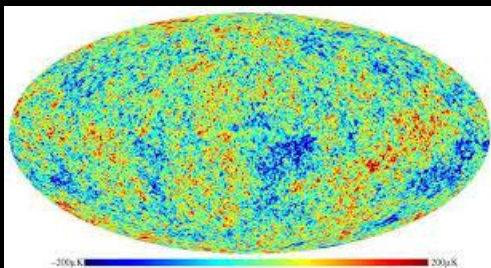
- * *Come si supera l'inconsistenza del modello dovuta alle fluttuazioni quantistiche del vuoto che tendono a rendere il campo di Higgs enormemente denso e con esso la massa enormemente elevata?*
- * *Che cosa è la Materia Oscura in cui le Galassie sono immerse ?*
- * *Perché il mondo è fatto di materia (che fine ha fatto l'antimateria)?*
- * *I quark e i leptoni sono veramente le particelle fondamentali o posseggono anch'essi una struttura interna?*
- * *Esistono principi di unificazione tra le varie interazioni fondamentali e che ruolo gioca la gravità ?*
- * *Il campo di Higgs è il primo campo elementare con spin 0 che permea tutto lo spazio. Esistono altri campi con proprietà simili ?*

Il campo di Higgs permea tutto lo spazio. È il primo campo elementare trovato con spin 0 (scalare). Il campo di Higgs è un nuovo tipo di forza. Fenomeni come l'Inflazione e l'Energia Oscura sono forse fenomeni dovuti a campi scalari simili al campo di Higgs??

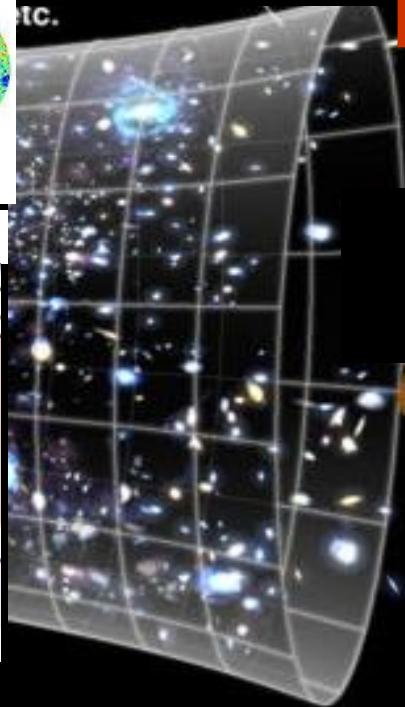
Dopo 380 mila anni diventa trasparente

Inflazione

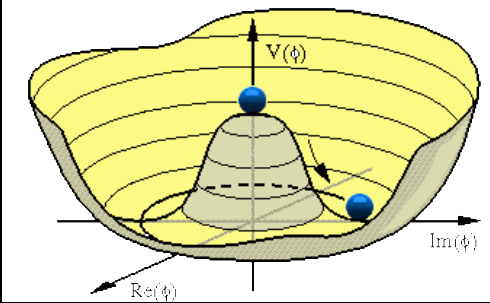
Big Bang



Espansione accelerata
Energia Oscura !



Inflazione/energia oscura con potenziale simile a quello del campo di Higgs ?

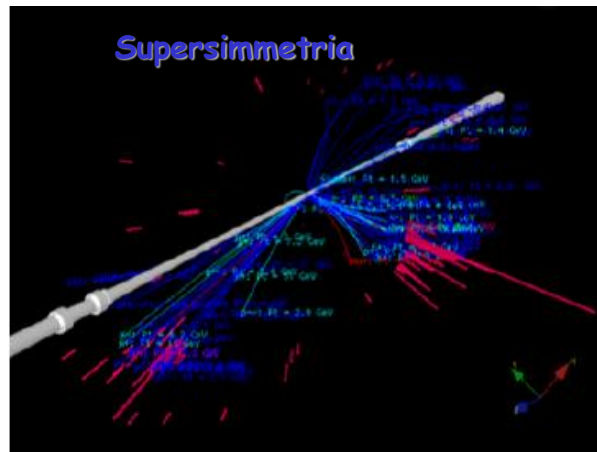


← 13.7 miliardi di anni →

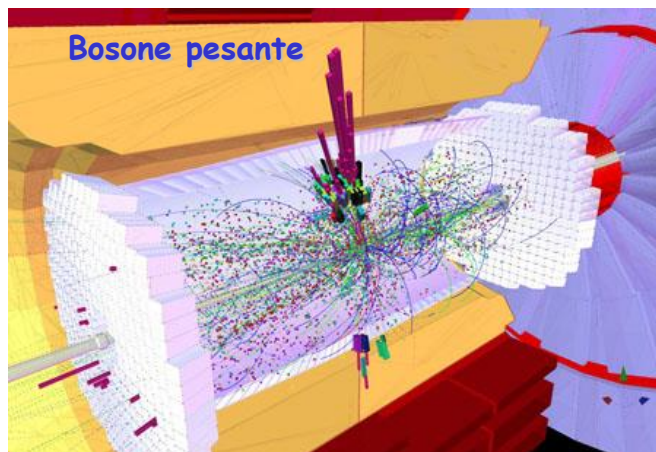
Durante l'inflazione (10^{-35} - 10^{-33} sec) lo spazio si è espanso di un fattore $\geq 10^{50}$

Con LHC a 13 TeV si spera di scoprire nei prossimi anni nuovi fenomeni fisici oltre il Modello Standard

Supersimmetria

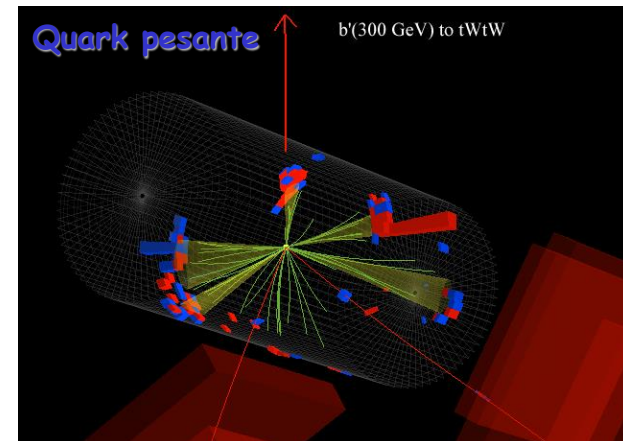


Bosone pesante

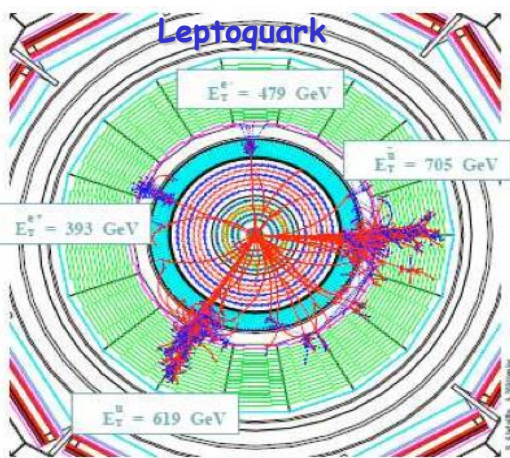


Quark pesante

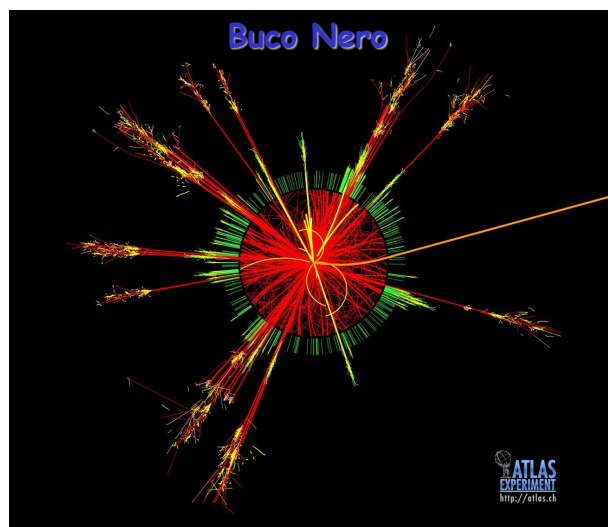
$b(300 \text{ GeV}) \rightarrow tWtW$



Leptoquark



Buco Nero



- * I quark e i leptoni posseggono una struttura interna ?
- * Esiste una quarta famiglia di quark e di leptoni ?
- * Esistono i leptoquarks ?
- * Esiste una quinta forza ?
- * Esistono dimensioni nascoste ?
- * Esiste ? ? ? ?

Conclusioni (si fa per dire...)

L'esistenza del Bosone di Higgs è la conseguenza sperimentalmente osservabile dell'esistenza del campo di Higgs ed è la prova della bontà del

Modello Standard

La sua scoperta è stata un passo fondamentale per la comprensione delle leggi che regolano il nostro Mondo.

Certamente la storia non finisce qui ! Il 95% dell'Energia di cui è costituito il nostro Universo ci è completamente oscura e molte altre domande aspettano una risposta anche per il solo 5% dell'Energia di cui sono costituite le galassie, le stelle e i pianeti.

Forse si potranno avere delle risposte ad alcune di queste domande acquisendo più dati con LHC fino al 2024 o con HL-LHC a luminosità ancora più alte dal 2026 fino al 2034 !

La nuova astronomia con le onde gravitazionali ci farà capire meglio come l'universo si è evoluto dal Big Bang ai giorni nostri con la sua lunga storia di 13.7 miliardi di anni.

Grazie dell'attenzione

Altre Slides

Sintesi su Arte & Scienza

I processi mentali di uno scienziato e di un artista sono molto simili.

- Entrambi basano il loro lavoro **sull'osservazione delle cose**.
- La **creatività** è al centro della loro attività e della loro forma mentis.
- **Lo sperimentare** è il loro pane quotidiano. Entrambi sanno che solo sperimentando e usando delle tecniche sempre più raffinate potranno davvero migliorare le loro "opere" o "teorie".
- **Studiano** molto per migliorare la loro conoscenza e per migliorare le loro tecniche.



Fase formativa:

- Un paio di seminari scientifici presso i licei (aperti anche alle classi che non partecipano)
 - Almeno uno entro Febbraio 2019, più altri entro Gennaio 2020
 - Per favore fateci sapere le vostre disponibilità
- Visita ad un museo di Scienza e/o Arte
- Visita presso un centro di ricerca collegato all'INFN
 - VIRGO/EGO a Cascina
 - LABEC (Laboratorio Tecniche Nucleari per i Beni Culturali) a Firenze
 - CNAO (Centro Nazionale Adroterapia Oncologica) a Pavia
- Visita presso la Sezione INFN, il dipartimento di Fisica di Pisa e il INAO (CNR)
 - Seminari dedicati, visita dei Laboratori scientifici
- Rappresentazione Teatrale su temi legati alla scienza



Fase progettuale:

- Progettazione di una composizione artistica su un tema relativo agli argomenti trattati
 - Gruppi di 3 studenti
 - Titolo
 - Abstract (qualche riga)
 - Descrizione del progetto (1 pagina) in cui si spiega l'argomento scientifico, la tecnica artistica e la relazione tra arte e scienza
 - Vaglio dei progetti da parte di una commissione locale composta da scienziati/e ed artisti/e ed eventuale ammissione alla realizzazione.

Ordini di grandezza

1 eV è una piccola energia . $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$



$$m_{\text{bee}} = 2\text{g} = 3.6 \cdot 10^{32} \text{ eV}/c^2$$

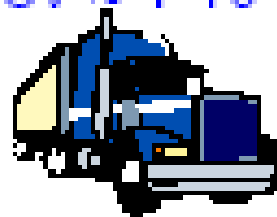
$$v_{\text{bee}} = 1\text{m/s} \rightarrow E_{\text{bee}} = 10^{-3} \text{ J} = 6.25 \cdot 10^{15} \text{ eV}$$

$$E_{\text{LHC}} = 14 \cdot 10^{12} \text{ eV}$$

In LHC il singolo protone avrà un'energia mille volte inferiore alla energia cinetica della nostra ape; ma protoni con questa energia ce ne saranno ben 10^{14} , quindi l'energia immagazzinata nei fasci di LHC sarà:

$$10^{14} \text{ protons} * 14 \cdot 10^{12} \text{ eV} \approx 1 \cdot 10^8 \text{ J}$$

this corresponds to a



$$m_{\text{truck}} = 100 \text{ T}$$

$$v_{\text{truck}} = 120 \text{ km/h}$$

Energia dei protoni in LHC

In LHC si vogliono accelerare protoni fino a 7 TeV

Immaginiamo di voler usare batterie di macchina a 12 V e di accelerare il nostro protone facendolo passare da un capo all'altro delle batterie. Ad ogni passaggio il protone guadagna una energia di

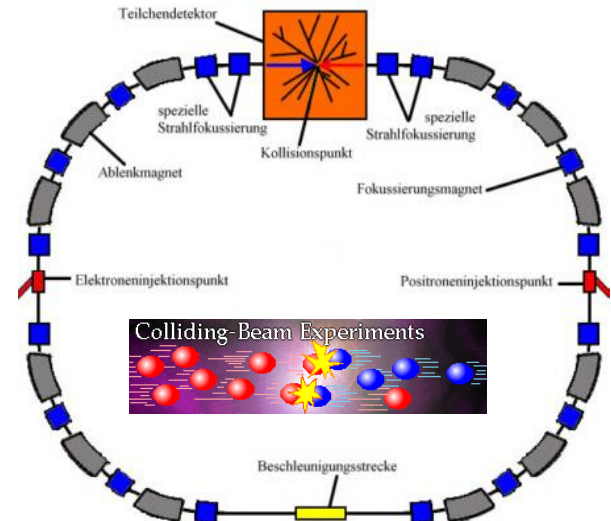
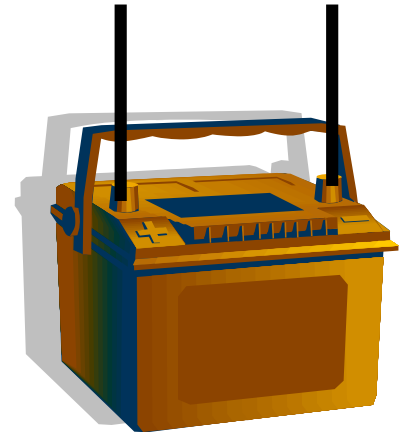
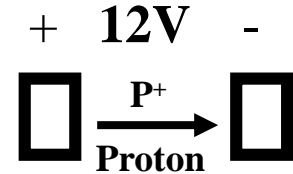
$$E = q \cdot \Delta V = 1 \cdot 12 = 12 \text{ eV}$$

Abbiamo visto che

1 TeV = 10^{12} eV = mille miliardi di electron volts

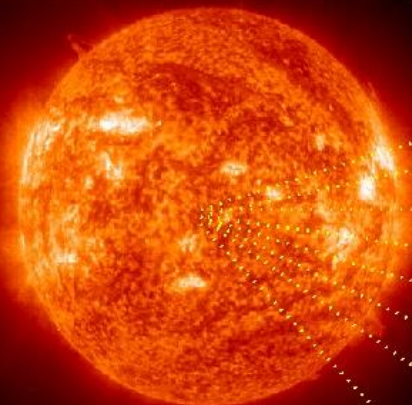
Per accelerare i protoni di LHC ci vorrebbero quindi ben 583 miliardi di batterie una dietro l'altra....

Naturalmente non è così che si accelerano protoni (o elettroni) a queste energie, ma si utilizzano grandi macchine acceleratrici



Dove e come vengono prodotti i neutrini?

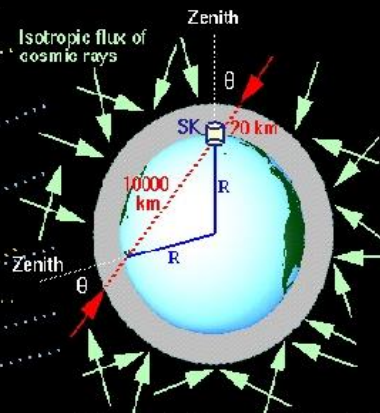
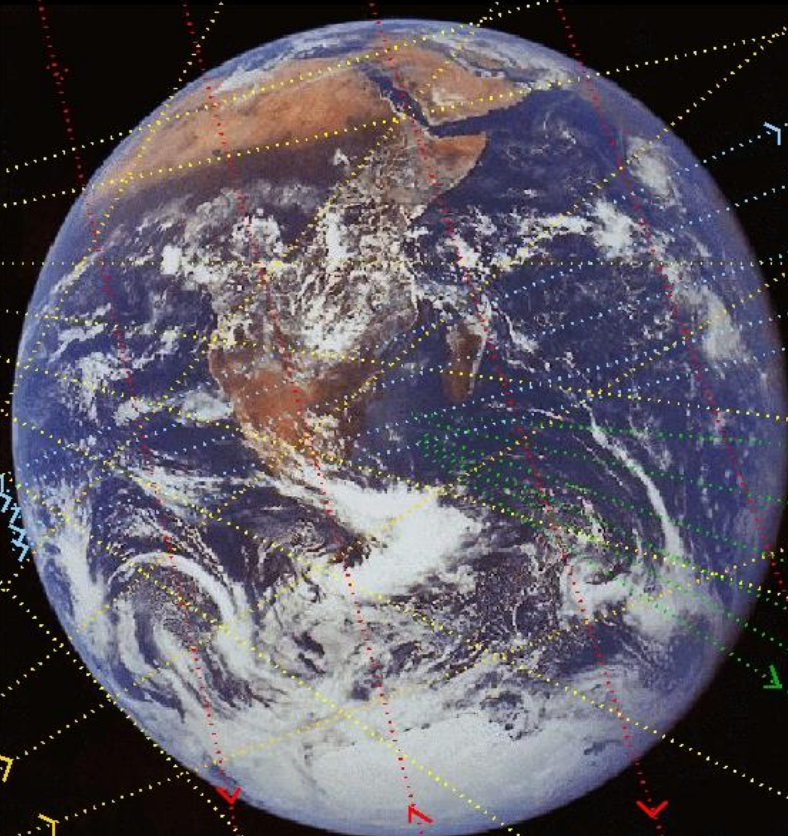
Neutrini Solari



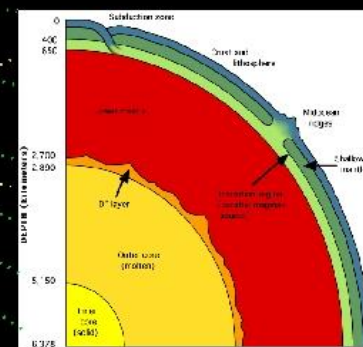
2002/04/08 01:19

Neutrini da supernova

SN1987A



Neutrini atmosferici



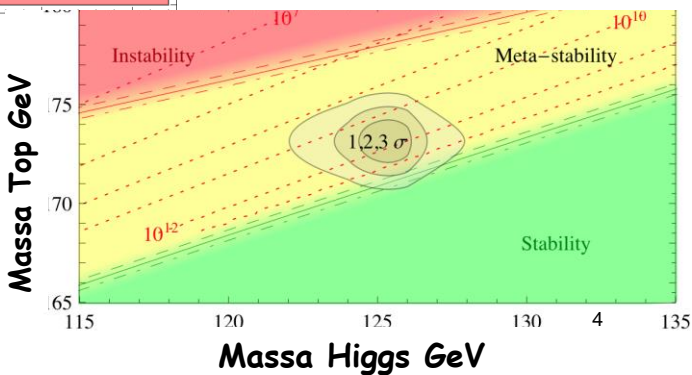
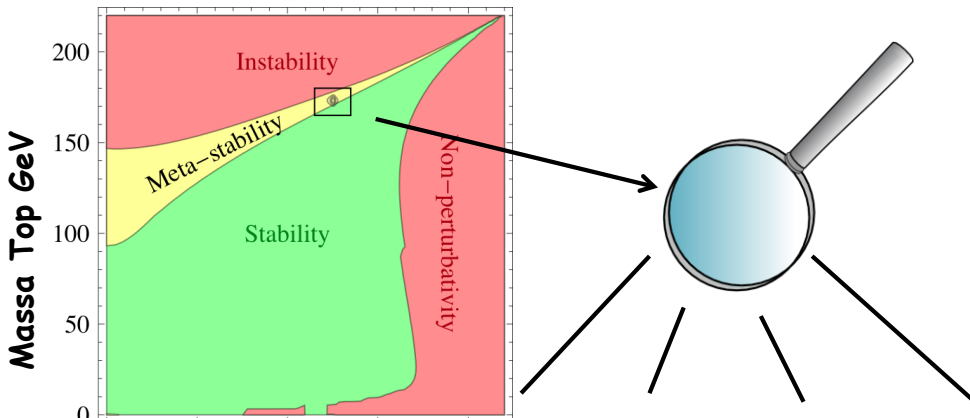
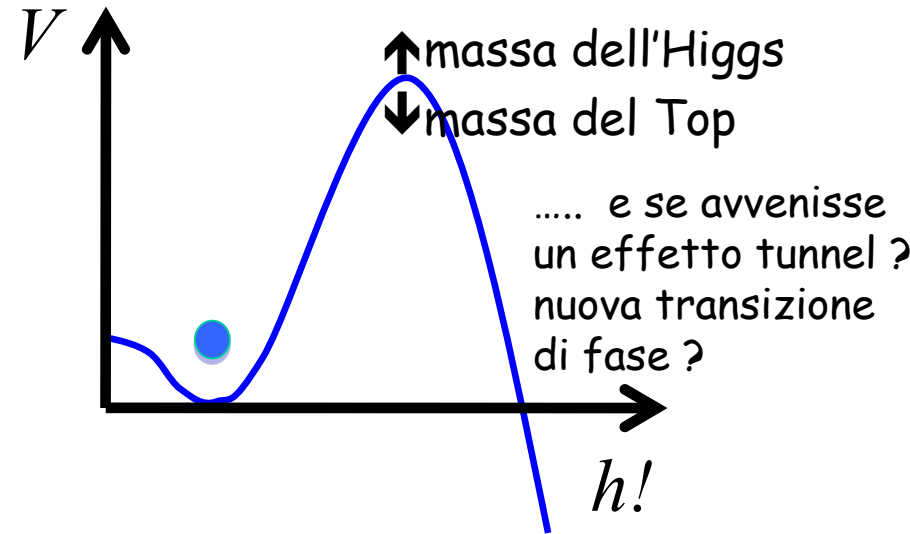
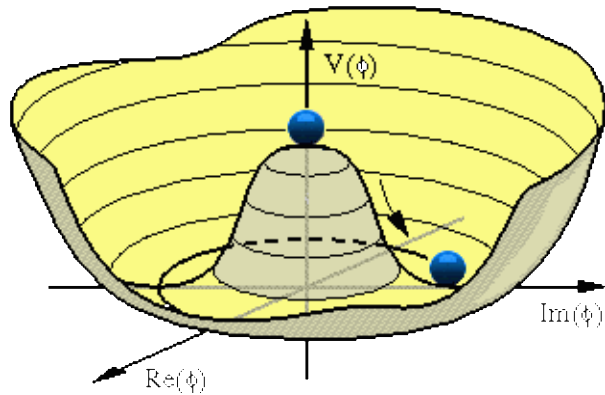
Neutrini terrestri

Neutrini fossili



...e poi ci sono i reattori nucleari a fissione e le bombe termonucleari...

$M_H \approx 125 \text{ GeV}$: Vuoto metastabile ?



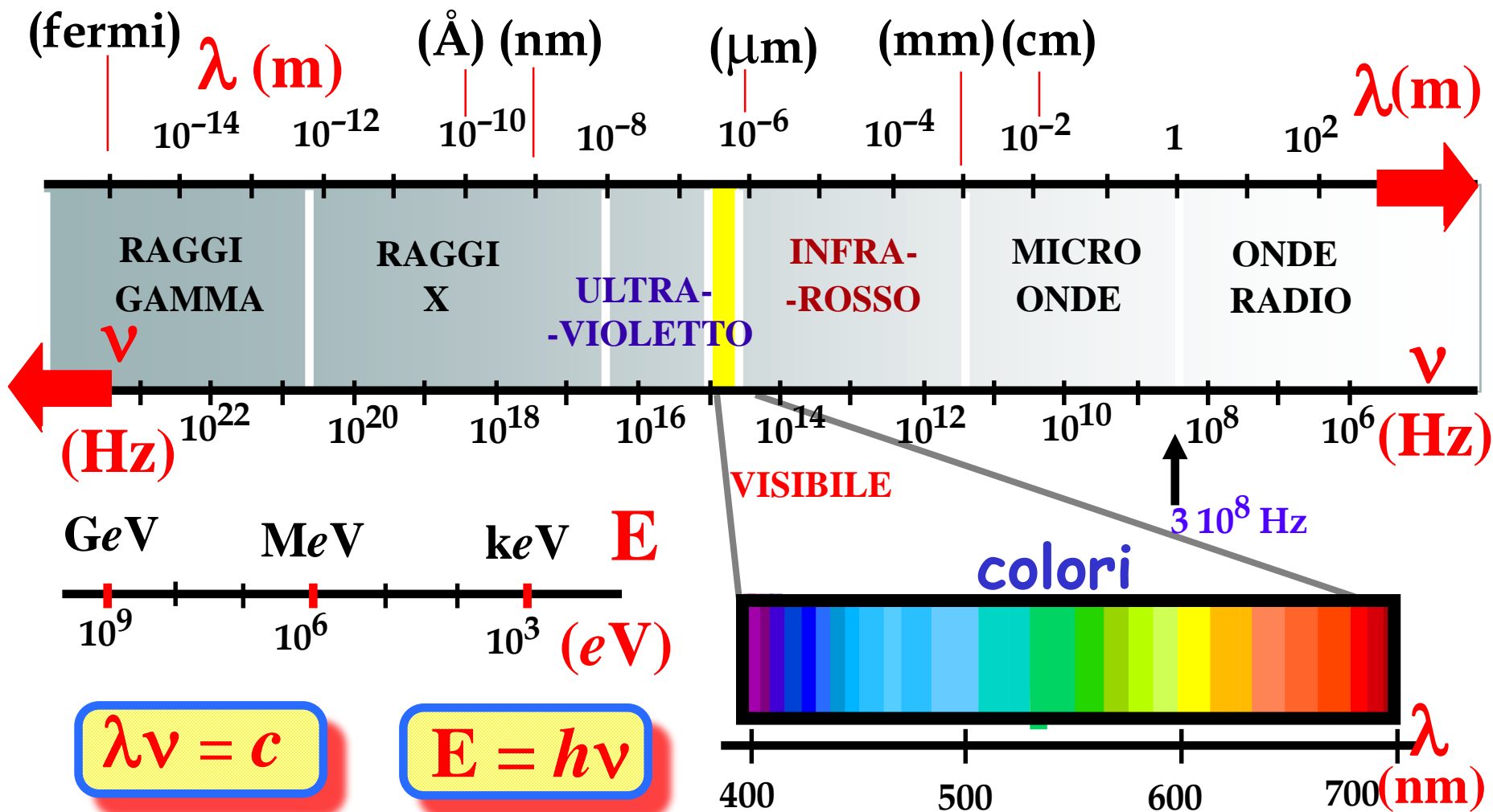
siamo in una situazione critica ?



Slide da G. Giudice

Per $m_h \approx 125 \text{ GeV}$ e $m_{top} \approx 173$ (Tevatron 2012) il vuoto del Modello Standard è instabile, ma su tempi più lunghi dell'età dell'Universo.

Spettro elettromagnetico

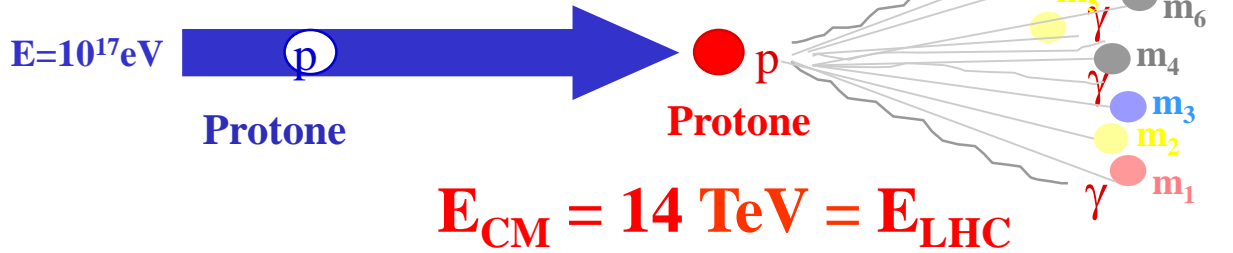


$$\lambda \nu = c$$

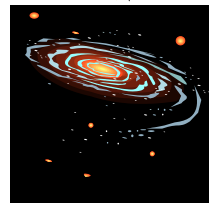
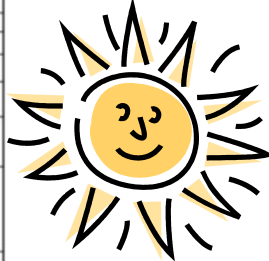
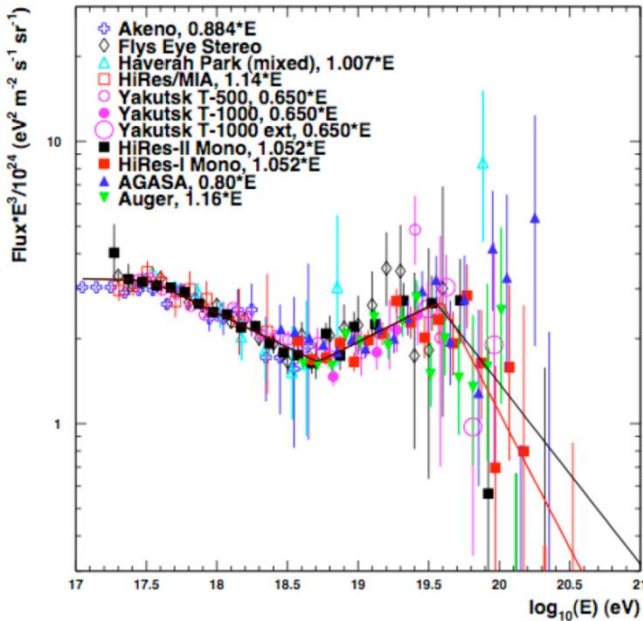
$$E = h \nu$$

Comitato LSAG

(LHC Safety Assessment Group)



Flusso misurato sulla Terra di raggi cosmici con $E \geq 10^{17} \text{ eV} = 5 \times 10^{-14} \text{ sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}$



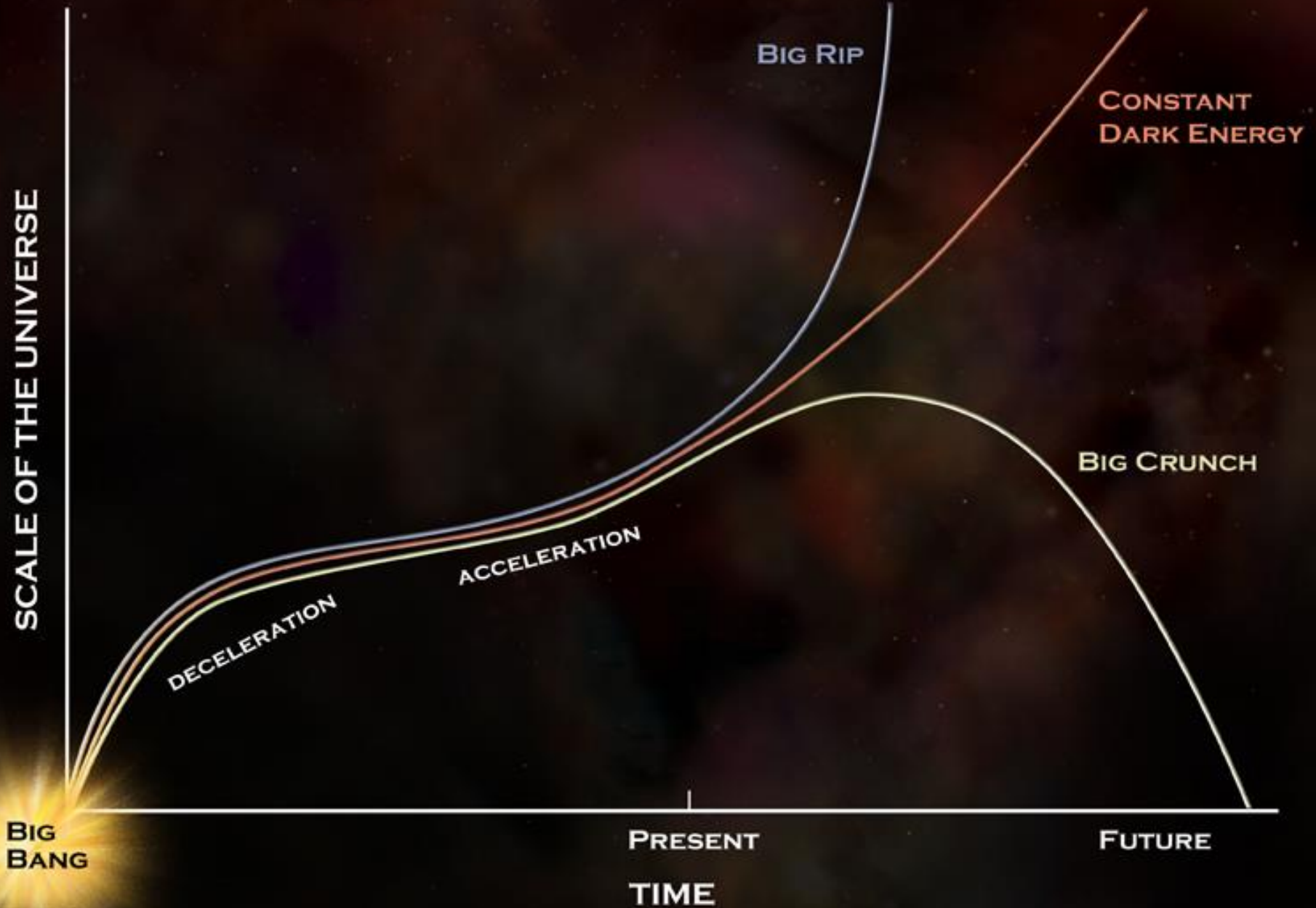
1. Superficie della Terra è circa $5 \times 10^{18} \text{ cm}^2$
 2. La Terra esiste da 4.5 miliardi di anni quindi più di 3×10^{22} raggi cosmici con $E \geq 10^{17} \text{ eV}$ hanno colpito la Terra e quindi sono già stati fatti più di centomila esperimenti come LHC

Superficie del Sole = diecimila volte la superficie della Terra, quindi sul Sole sono già stati fatti circa un milione di esperimenti come LHC

La nostra galassia ha più di 10^{11} stelle
 Nell'Universo ci sono più di 10^{11} galassie, quindi sulle stelle esistenti sono già stati fatti circa 10^{31} esperimenti come LHC e ne vengono completati ben 3×10^{13} ogni secondo!!

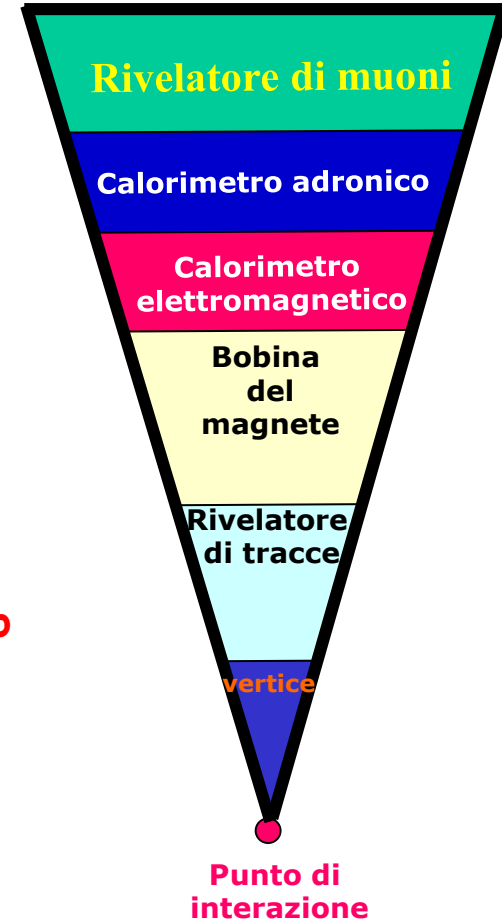
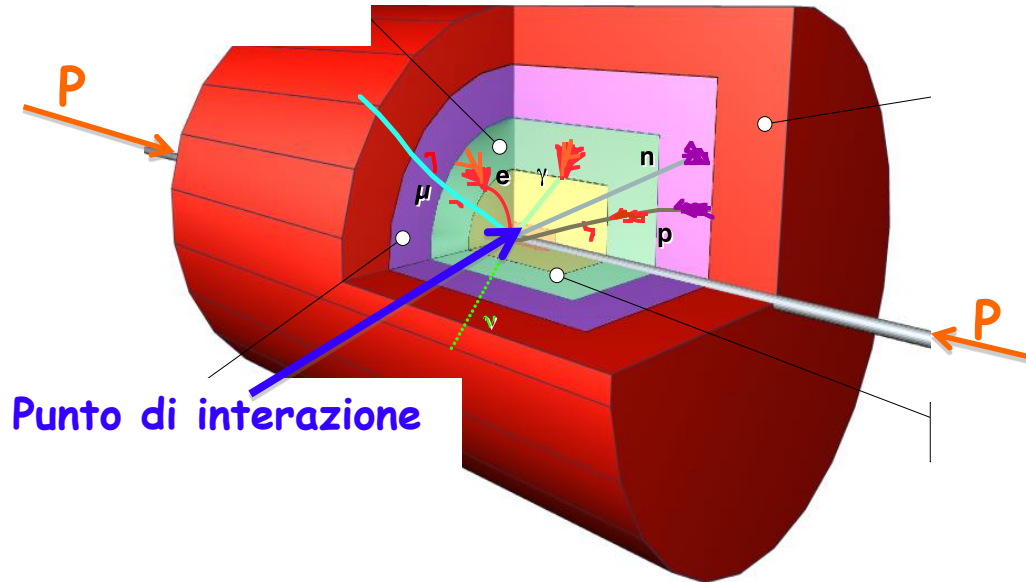
e la Terra, il Sole e le Stelle continuano ad esistere da miliardi di anni!
 LHC non produrrà eventi pericolosi né per l'umanità né per la terra...

Il destino dell'Universo?



Struttura dei Rivelatori a LHC

rivelatori di particelle di tipo diverso vengono disposti insieme uno dentro l'altro (come in una matrioska) a formare un grande sistema di rivelazione intorno al punto di interazione



Molte particelle prodotte nell'interazione sono instabili e decadono immediatamente. Solo le particelle stabili o quelle che vivono abbastanza^(*) a lungo possono essere rivelate direttamente :

Cariche: e^- , e^+ , p (protoni), π^\pm (pioni), K^\pm (mesoni K), μ^\pm (muons)

Neutre: γ (fotoni), n (neutroni), K^0 (mesone K)

Energia mancante: ν (neutrini)

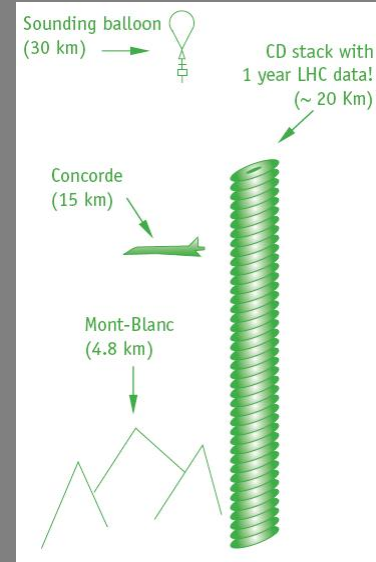
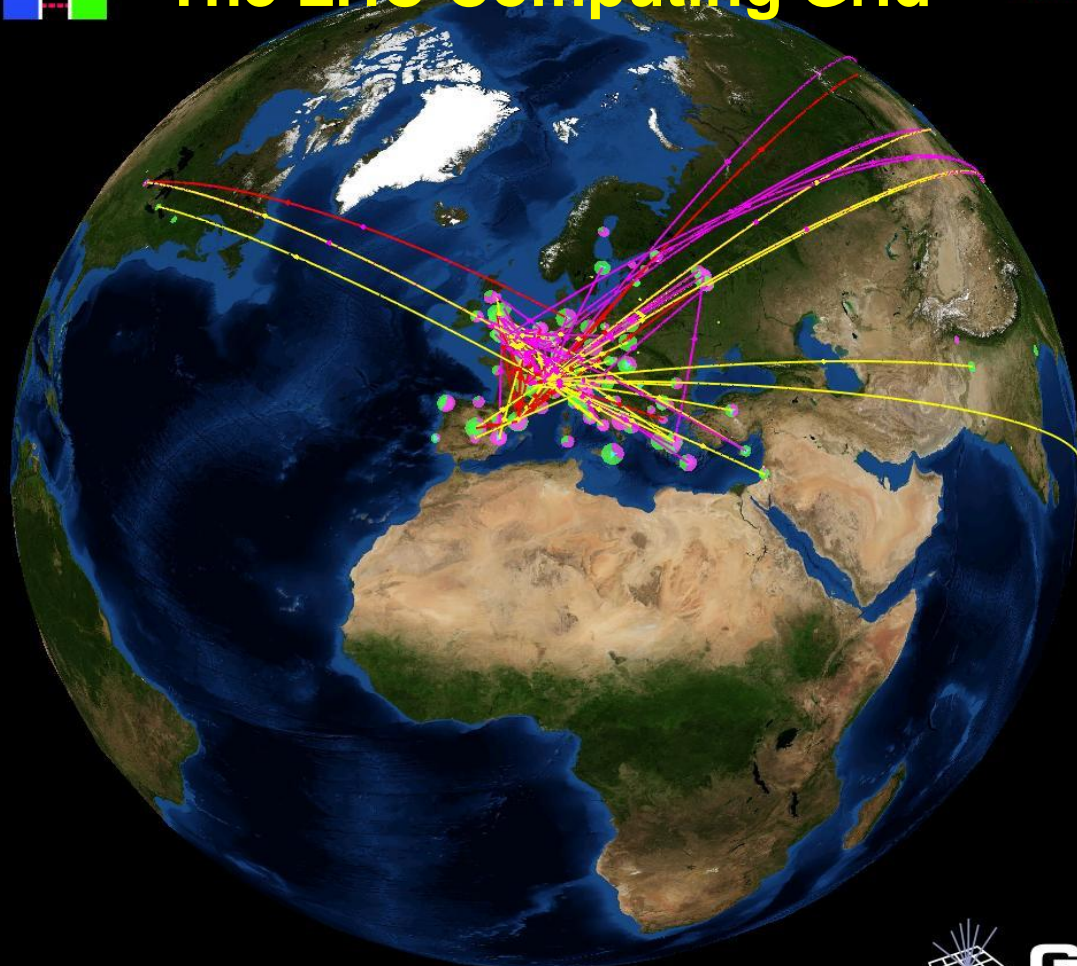
(*)

Pioni, $\tau=2.6 \times 10^{-8}$ sec, $E=20$ GeV, $\gamma = E/m = 20/0.140 = 142.86$, $\gamma\tau = 0.0037$ msec, distanza media percorsa = $c \gamma \tau = 1.1$ km

Muoni, $\tau=2.2 \times 10^{-6}$ sec, $E=20$ GeV, $m = 0.1$ GeV/ $c^2 \Rightarrow \gamma\tau = 0.44$ msec, distanza media percorsa= **132 km!**

The LHC Computing Grid

Scheduled = 15301
Running = 10525

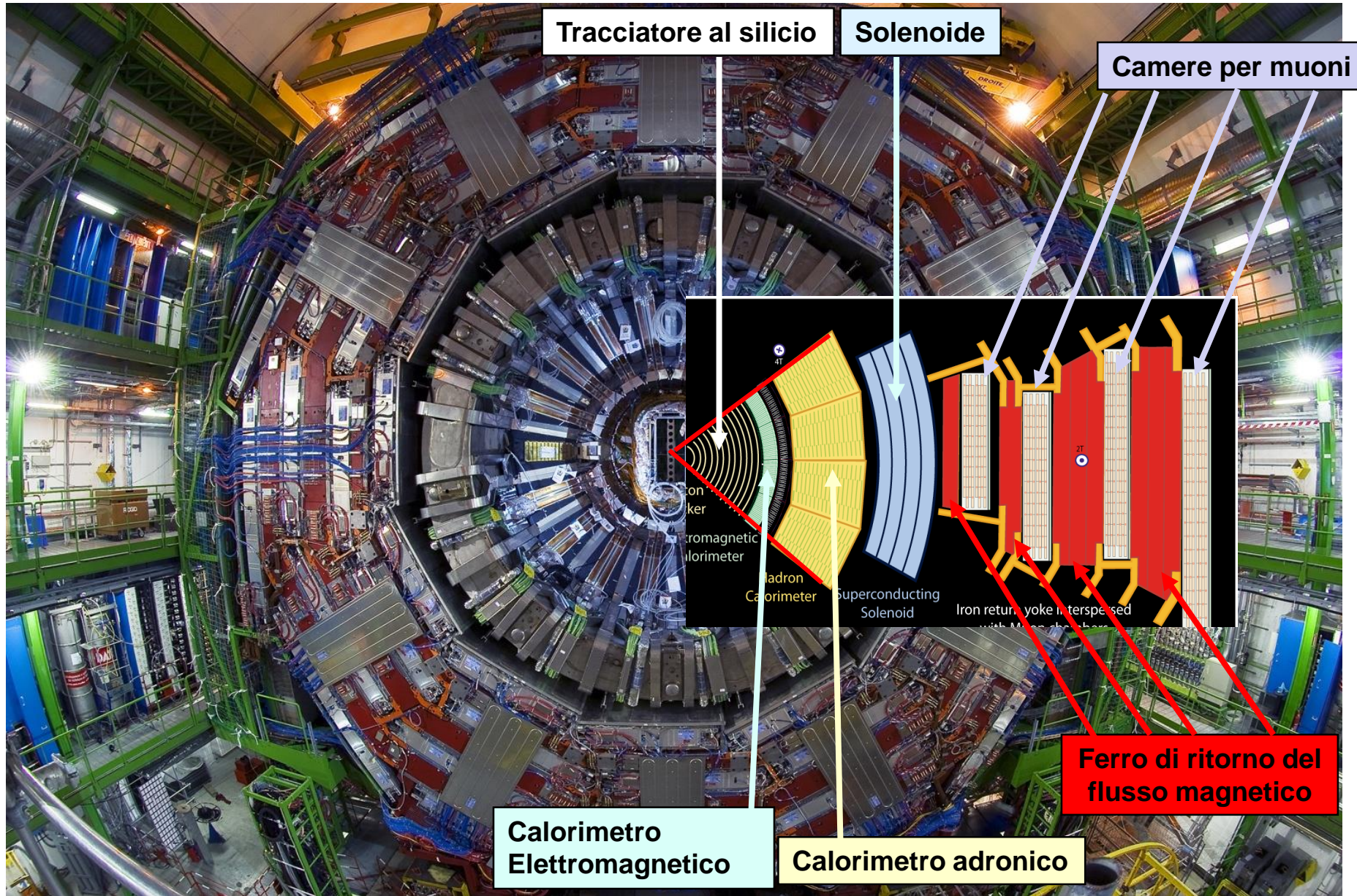


09:25:20 UTC

Gli esperimenti di LHC producono circa 15 Milioni di Gigabytes di dati ogni anno (circa 20 milioni di CD, una pila alta 20 Km!). Questo corrisponde a scrivere ~30,000 Enciclopedie Britanniche ogni secondo!

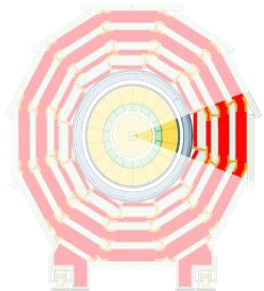
L'analisi dei dati di LHC richiede una potenza di calcolo equivalente a ~100,000 dei più veloci processori oggi esistenti.

Il rivelatore CMS



Sezione trasversale di CMS

- Muone
- Elettrone
- Adrone carico (es: protone, pione,..)
- Adrone neutro (es: neutrone)
- Fotone



Transverse slice through CMS

4T

Tracciatore al silicio

Calorimetro elettromagnetico

Calorimetro adronico

Solenoido superconduttore

Ferro
Camere per muoni

2T

