



# I mini-Big Bang del "Large Hadron Collider" del CERN

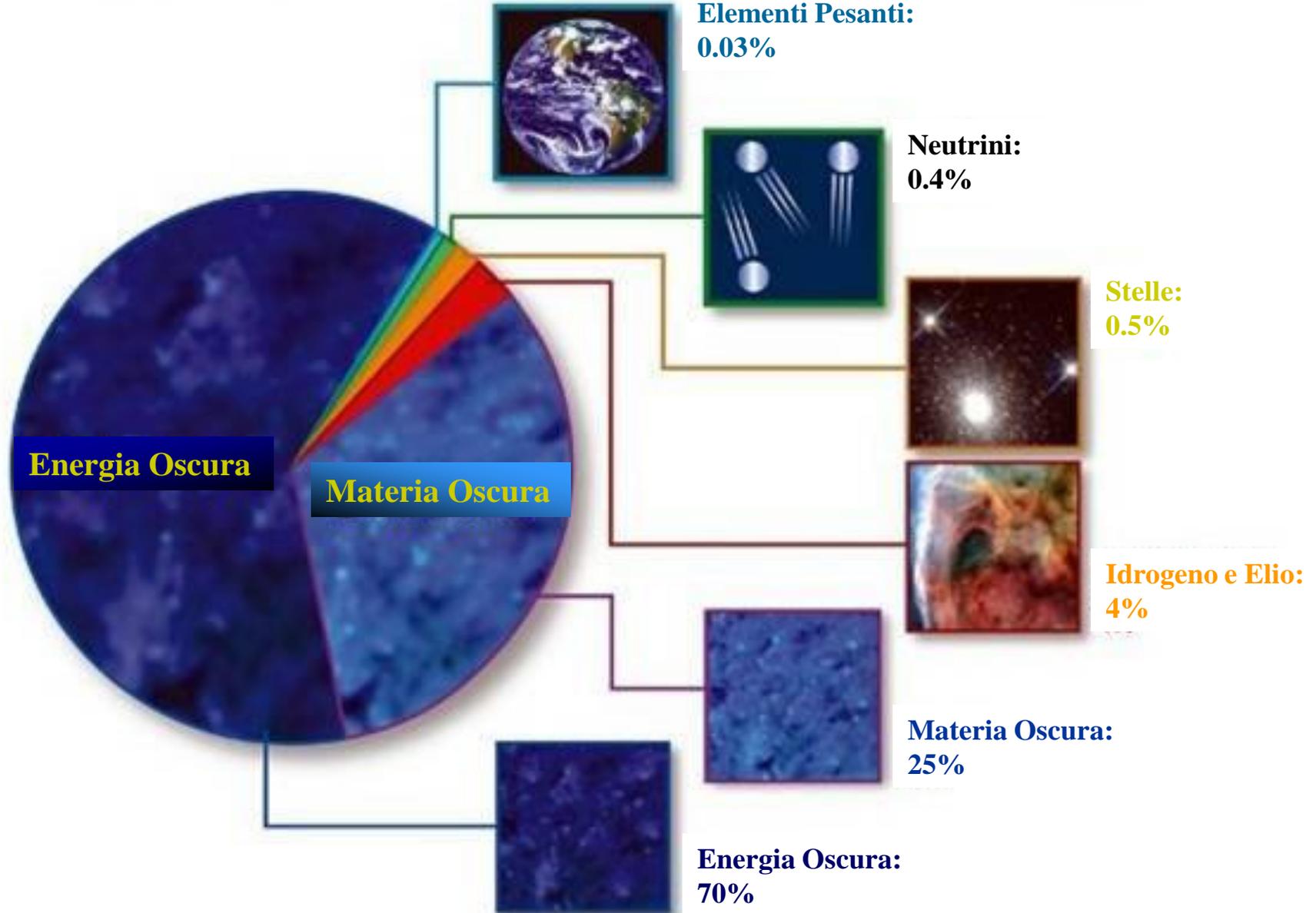
apriranno un nuovo affascinante scenario sulle leggi che governano il nostro Universo

Piombino 14/08/2009

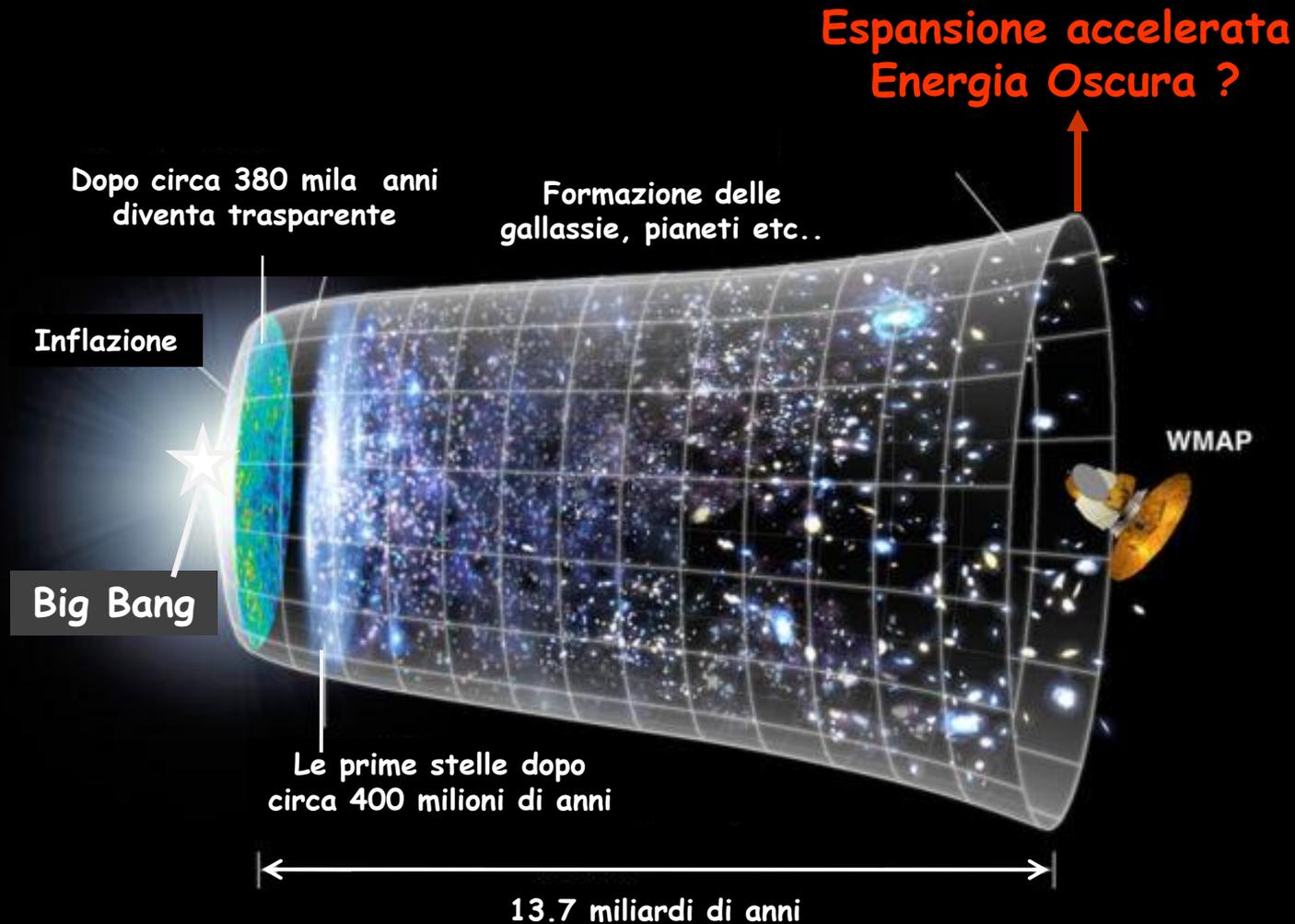
Rino Castaldi  
INFN-Pisa  
[rino.castaldi@pi.infn.it](mailto:rino.castaldi@pi.infn.it)

# Di cosa e' fatto il nostro Universo

*(stelle e pianeti sono solo una piccola parte !)*



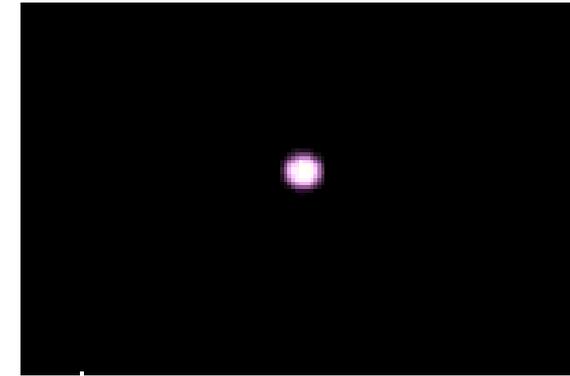
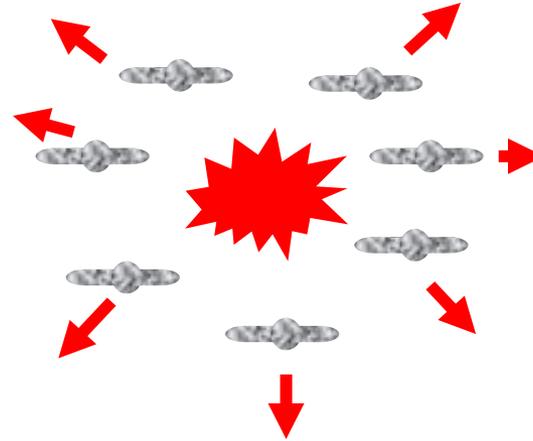
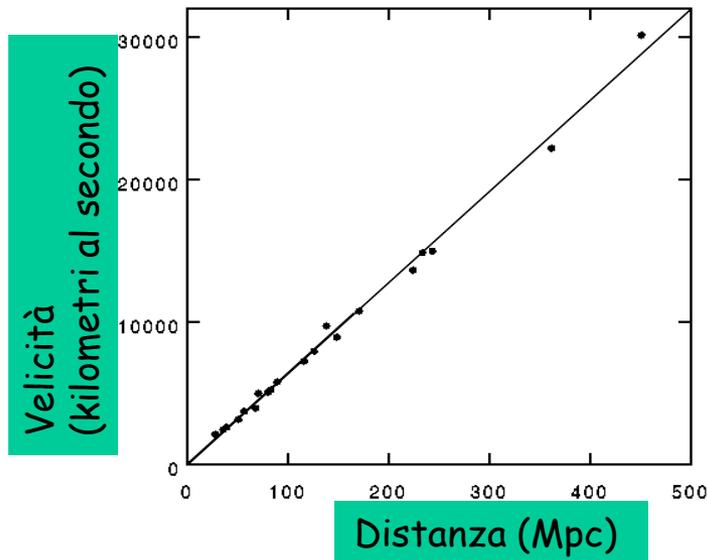
# L'espansione dell'Universo dal Big Bang ad Oggi



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  $\lambda$ -CDM descrive l'evoluzione dell'Universo da uno stato primordiale denso, caldo e uniforme a quello presente lungo una fascia di tempo di  $13.72 \pm 0.12$  miliardi di anni. NASA/WMAP Science Team

# L'Universo è in espansione:

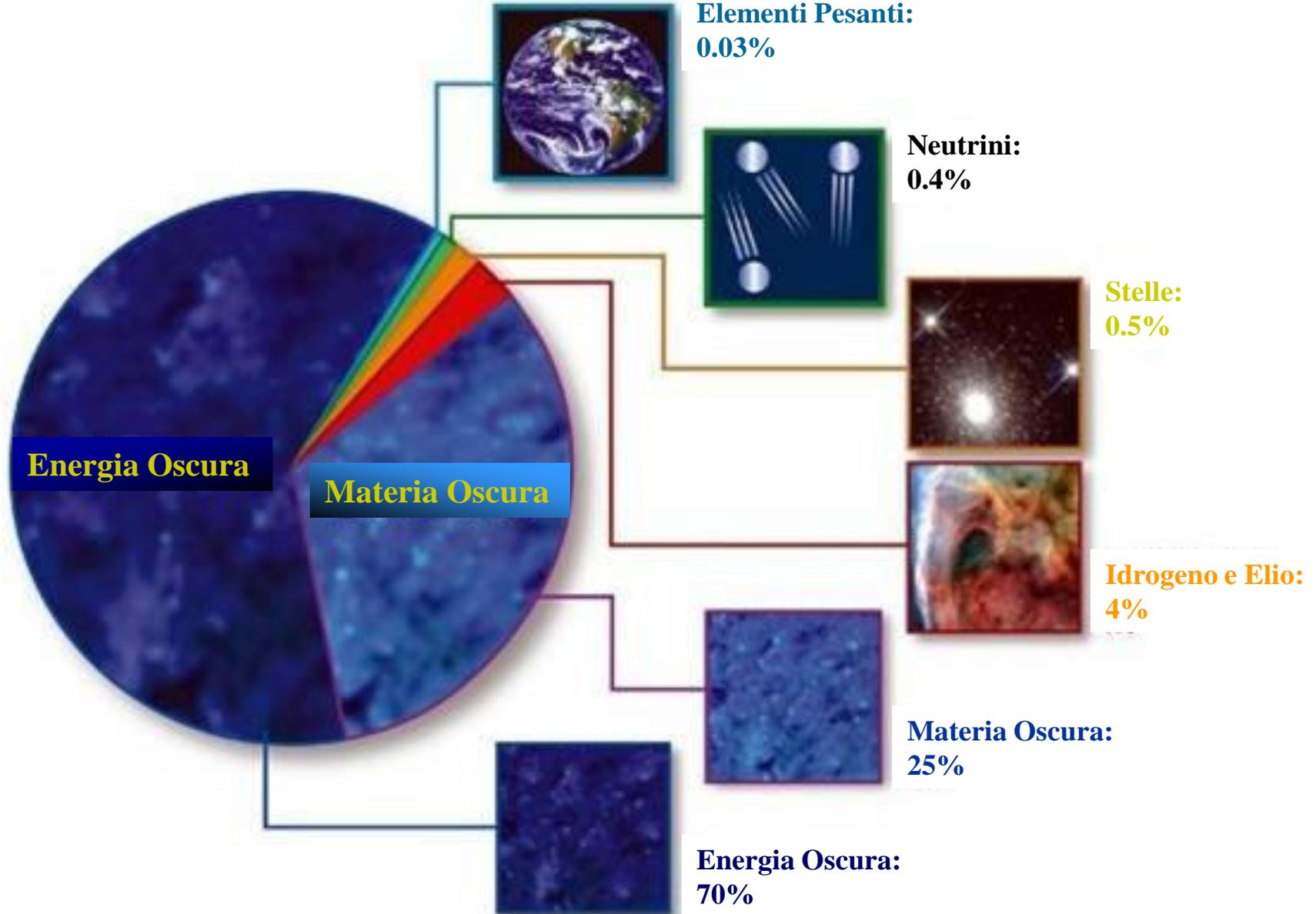
Hubble (1929): les galassie si allontanano con una velocità tanto maggiore quanto maggiore è la loro distanza ( $H_0=74.2 \pm 3.6 \text{ Km/sec} \cdot \text{Mpc}$ ).



L'Universo si espande come fosse il risultato di una gigantesca esplosione: il **Big Bang**.  
Espandendosi la densità di energia diminuisce, cioè **l'Universo si raffredda**.  
La velocità di espansione cresce nel tempo ( $H_t$ ), cioè **l'espansione è accelerata!**

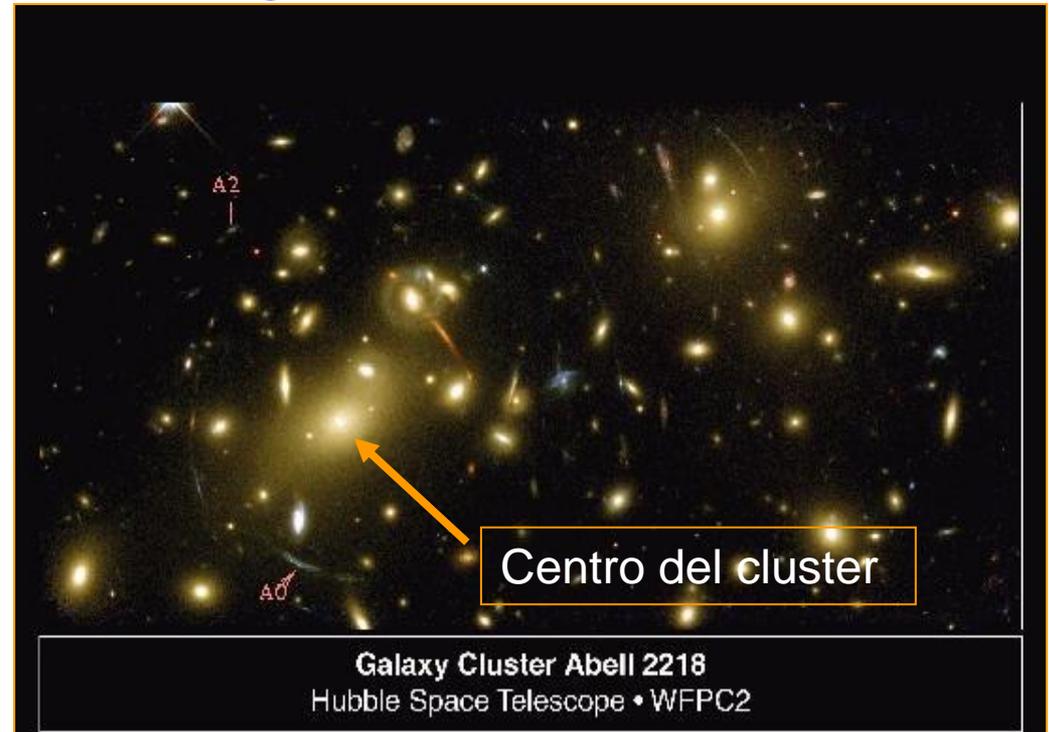
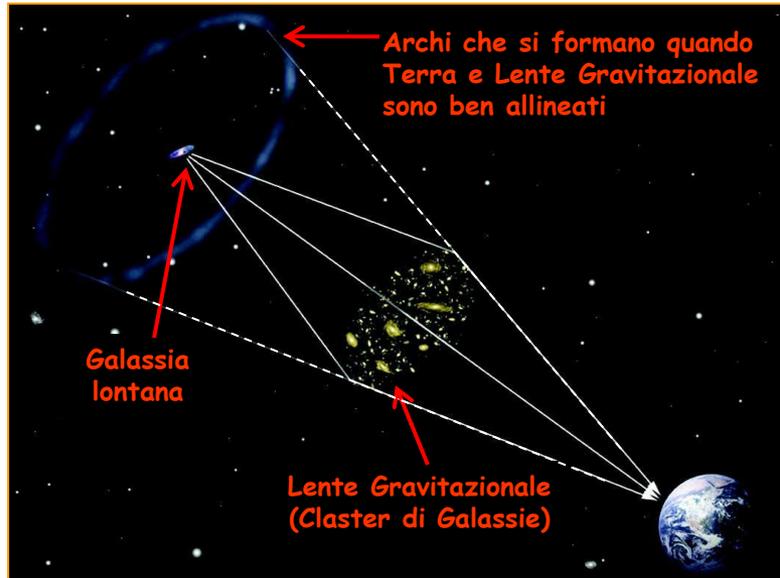
# Di cosa e' fatto il nostro Universo

*(stelle e pianeti sono solo una piccola parte !)*



# La Materia come Lente Gravitazionale

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

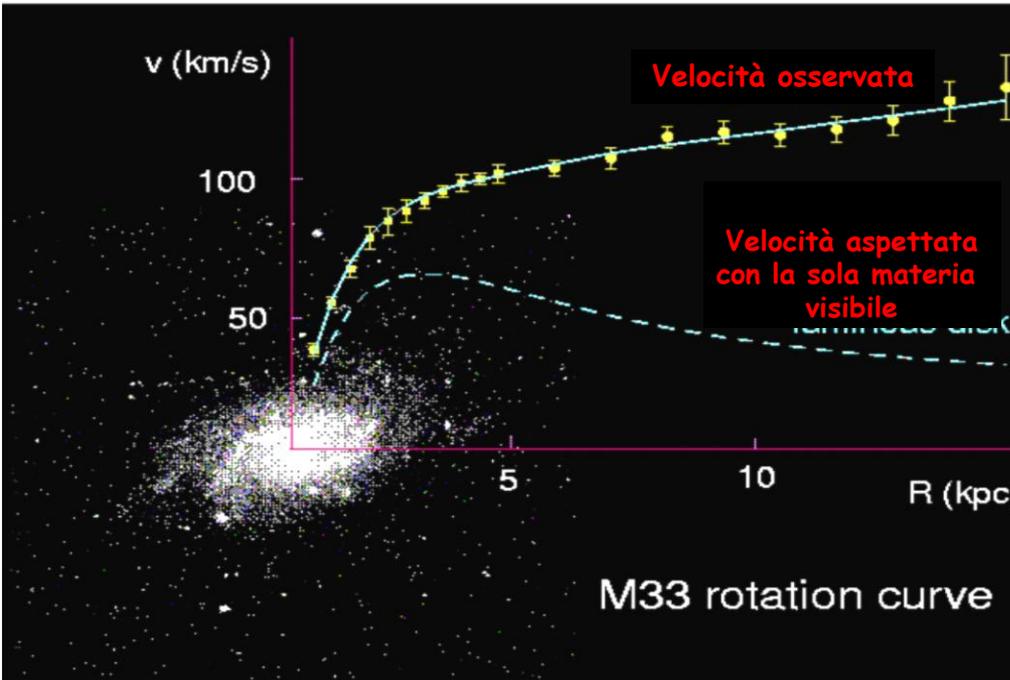


Le immagini multiple di una stessa galassia (per es. A0 e A2) vengono identificate confrontando gli spettri di luce dei diversi archi. Con così tante immagini è possibile fare un modello preciso della distribuzione di masse del cluster della lente gravitazionale.

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 (cioe' invisibile)

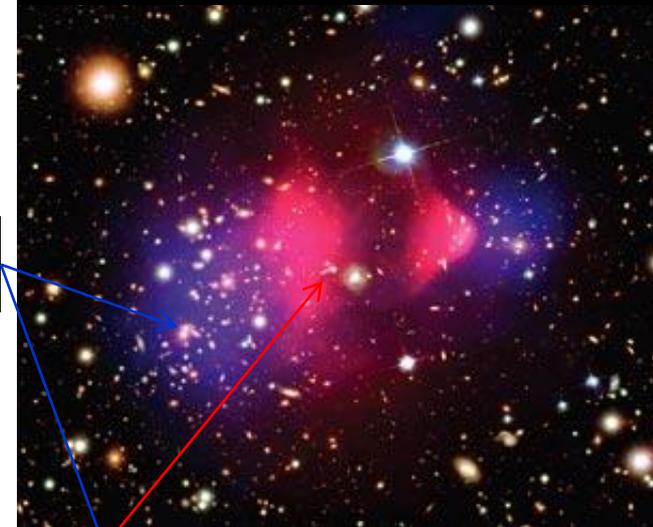
# Manifestazioni della Materia Oscura

**Galassia M33**  
**Velocità di rotazione**



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

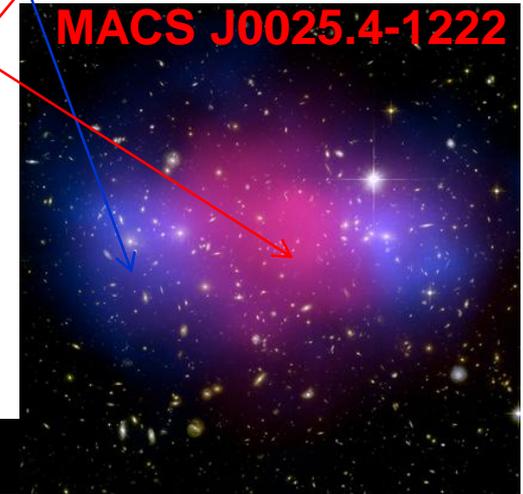
**Il "Bullet Cluster"**  
Formatosi dalla collisione di due grandi cluster di galassie



Materia oscura?

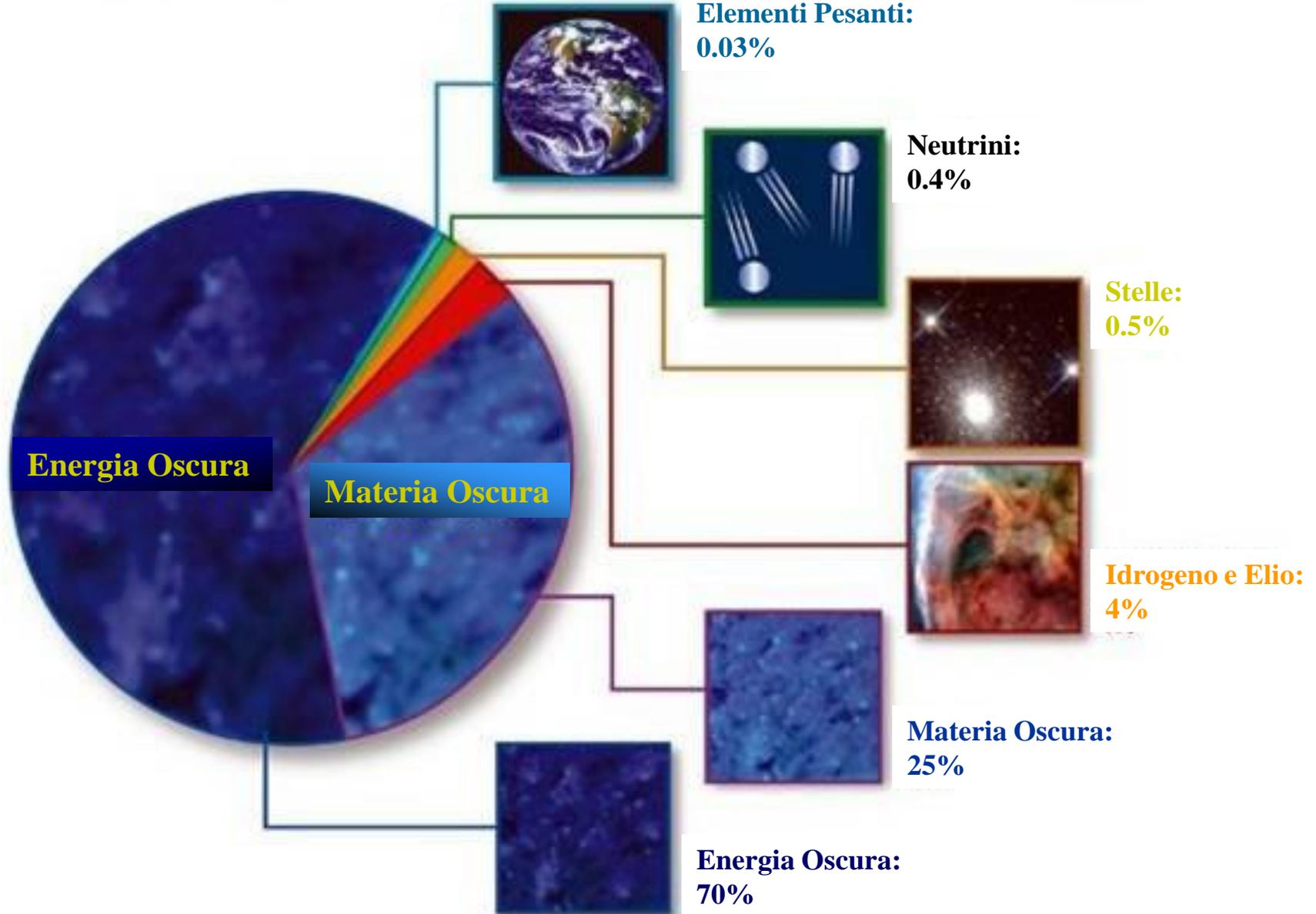
Gas ad alta temperatura

**MACS J0025.4-1222**

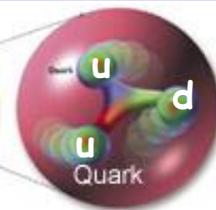
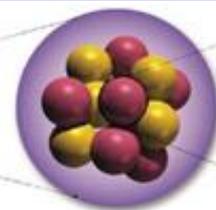
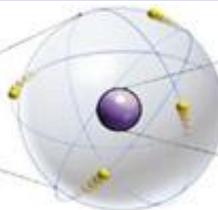
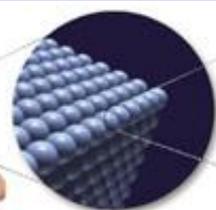
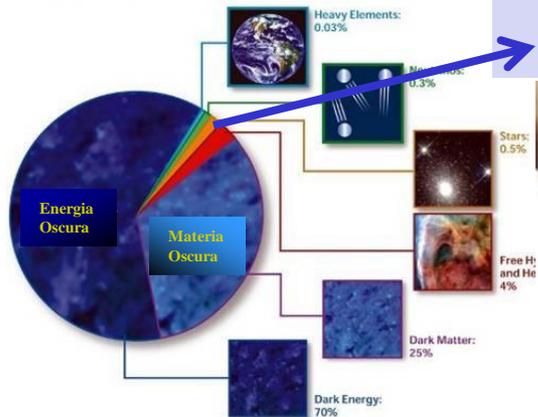


# Di cosa e' fatto il nostro Universo

*(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.)**

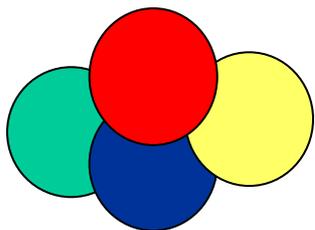
**Tavola periodica degli elementi**

1	2																	10
3	4																	9
11	12											13	14	15	16	17	18	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
55	56	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110	111	112							

Naming conventions of new elements

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

* 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



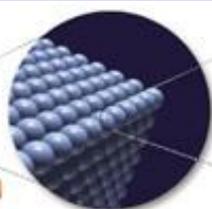
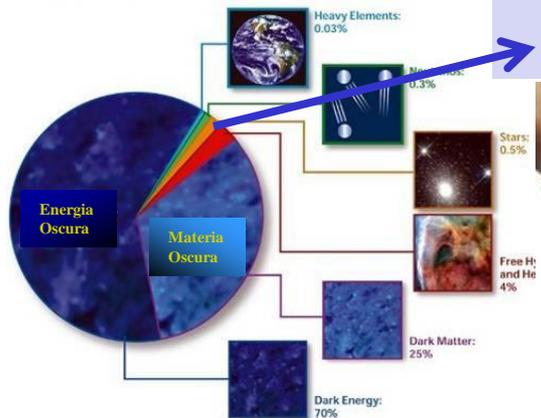
**Leucippo  
Democrito  
(V-IV a.C.)**

**atomos**

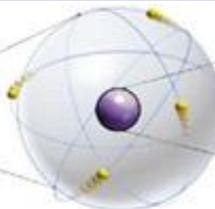
<b>I-materia ordinaria</b>	Quarks	u up	c charm	t top
		d down	s strange	b bottom
<b>II, III materia instabile</b>	Leptons	$\nu_e$ electron neutrino	$\nu_\mu$ muon neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino
		e electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau
		<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>

**Modello Standard  
(XX d.C.)  
(nuova tavola periodica)**

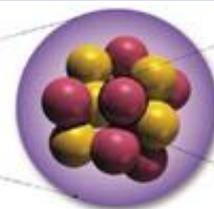
# La materia ordinaria (~5%)



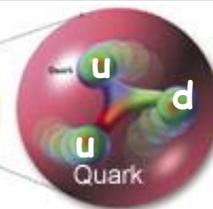
Sostanza



Atomo



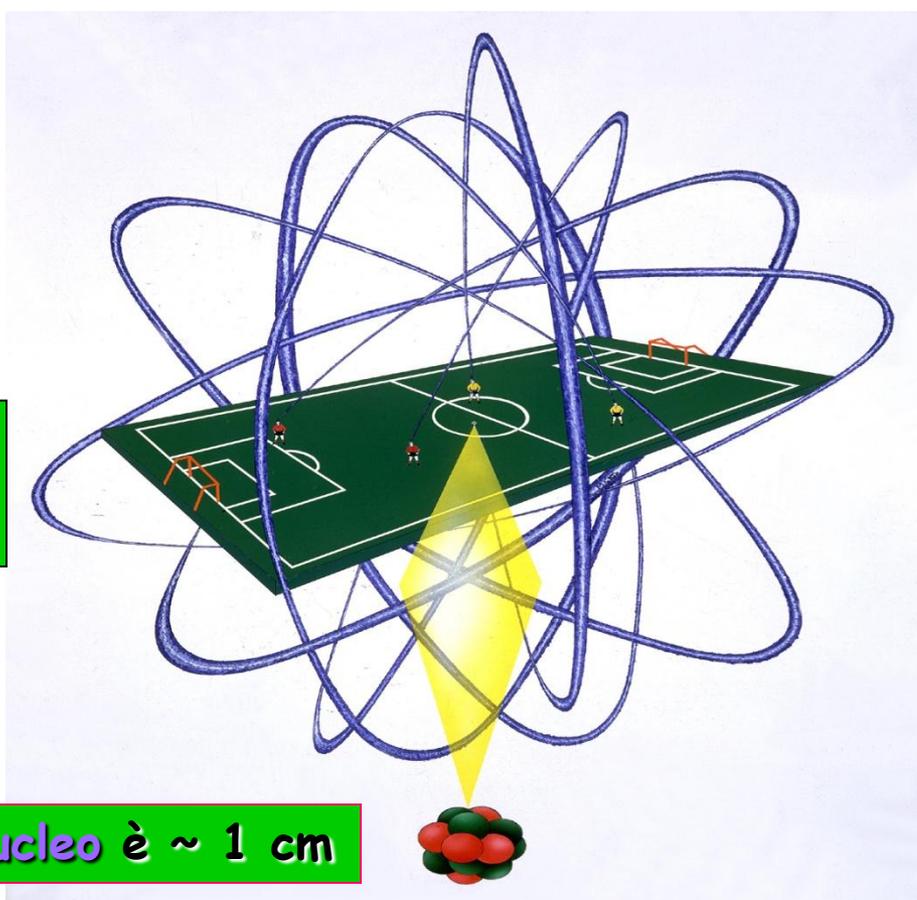
Nucleo



Protone

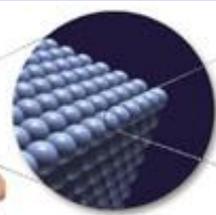
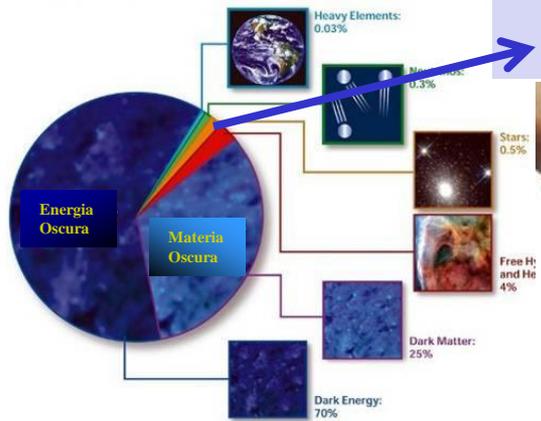
**Atomo**

(ingrandito mille miliardi di volte)

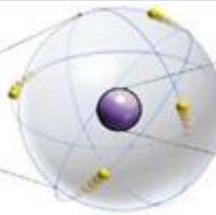


A questa scala, il Nucleo è ~ 1 cm

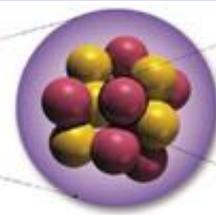
# La materia ordinaria (~5%)



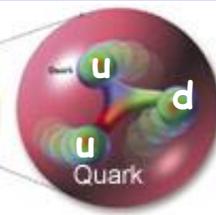
Sostanza



Atomo

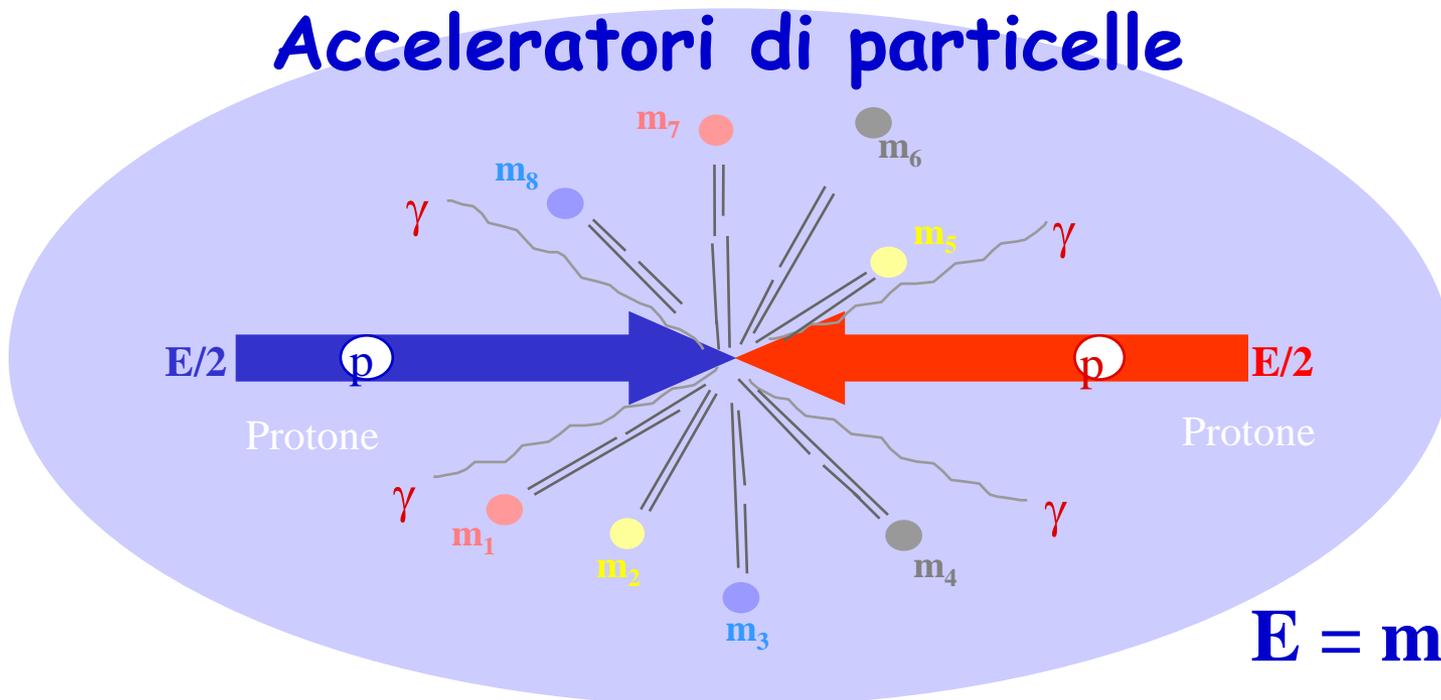


Nucleo



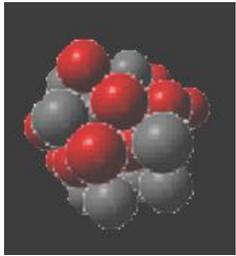
Protone

## Acceleratori di particelle



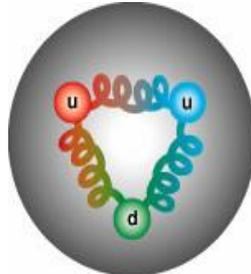
Nella collisione vengono prodotte molte particelle sia di materia che di antimateria

# Le interazioni fondamentali tra particelle



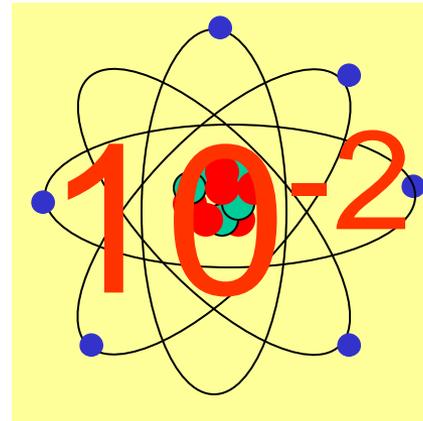
nucleo

1



protone

**Forza forte**  
 $g$  (Gluone)



atomo

**Forza elettromagnetica**  
 $\gamma$  (Fotone)



**Forza gravitazionale**  
(Gravitone)

Radioattività Beta

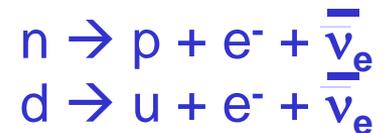


nucleo

$10^{-5}$

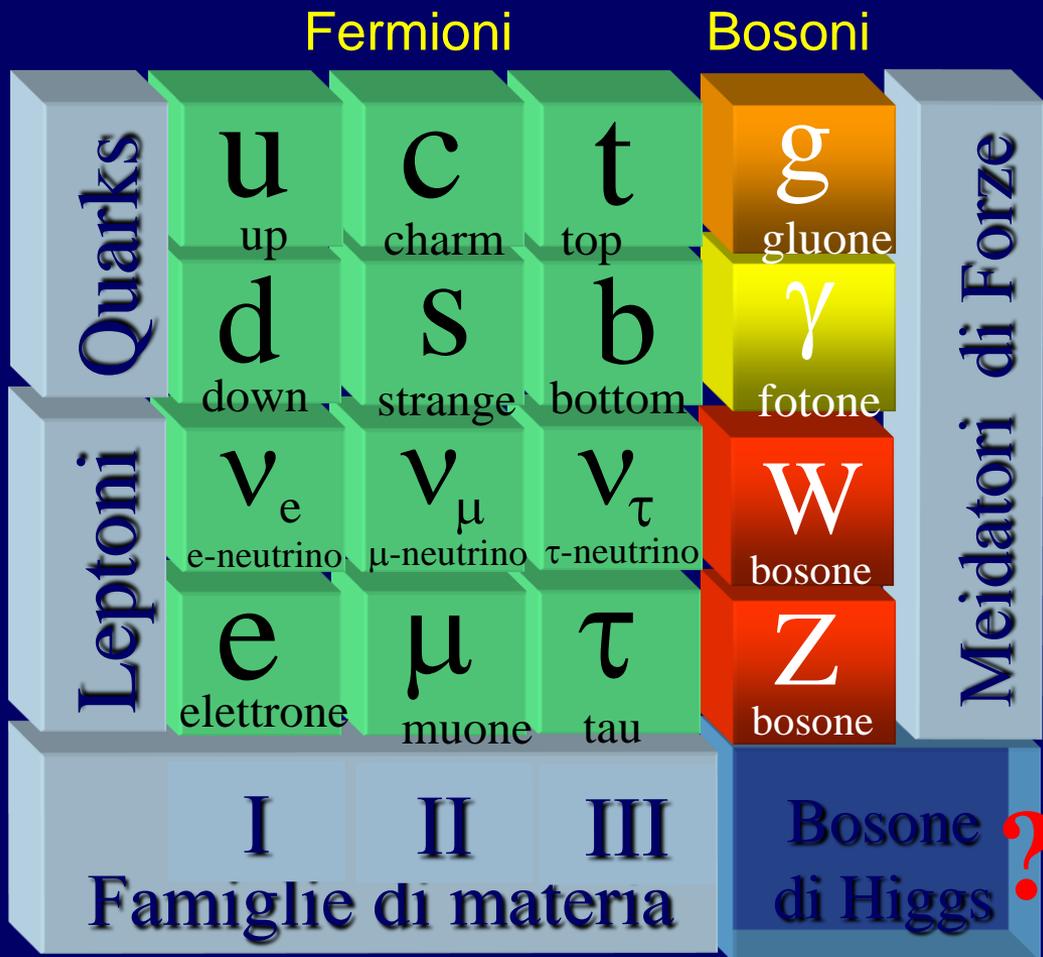
elettrone

**Forza debole**  
 $Z, W^{\pm}$  (Bosoni)



$\bar{\nu}_e$

# Il Modello Standard



**Interrogativi:**  
perché le masse delle particelle di materia variano da quasi 0 a circa 170 GeV?  
perché le masse delle particelle delle forze variano da 0 a circa 90 GeV?

**Soluzione più semplice:**  
un campo scalare pervade l'Universo (il campo di Higgs).  
Le particelle interagiscono con esso. Più forte è l'interazione più grande è la massa... ma il bosone di Higgs non è stato ancora trovato !

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

- \* Che cosa determina la massa dei quark, dei leptoni e delle particelle che mediano le interazioni tra essi ?*
- \* Che cosa è la Materia Oscura, di cui l'Universo sembra essere permeato?*
- \* Perché il mondo è fatto di materia (che fine ha fatto l'antimateria)?*
- \* Esistono principi di unificazione tra le varie interazioni fondamentali e che ruolo gioca la gravità ?*
- \* I quark e i leptoni sono veramente le particelle fondamentali o posseggono anch'essi una struttura interna?*

Crediamo che la risposta ad alcune di queste domande potrà essere data quando entrerà in funzione il più grande acceleratore di particelle del mondo, il Large Hadron Collider (LHC) del CERN, che farà scontrare protoni alla fantastica energia di 14 TeV.

# 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

**1 eV è un'energia molto piccola**     $eV = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$     (1.6 decimiliardesimi di miliardesimi di J)



$$m_{\text{bee}} = 2\text{g}$$

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

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

**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

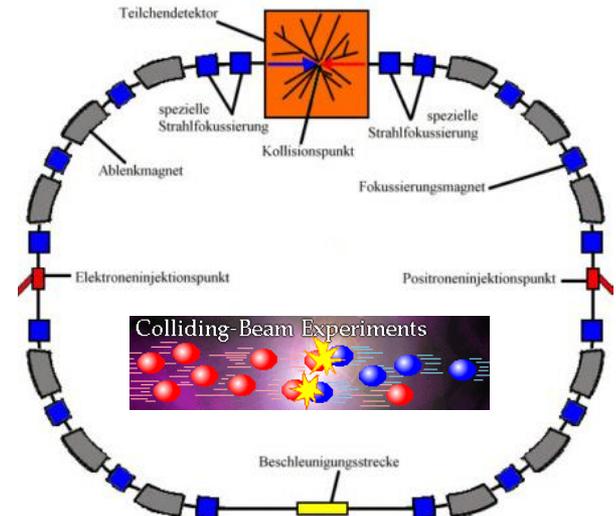
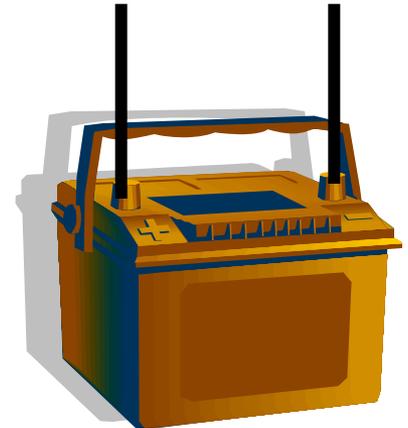
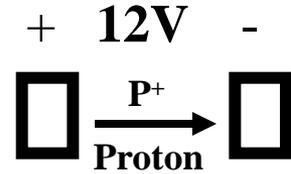
$$E = q \cdot \Delta V = 1 \cdot 12 = 12 \text{ eV}$$

Abbiamo visto che

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

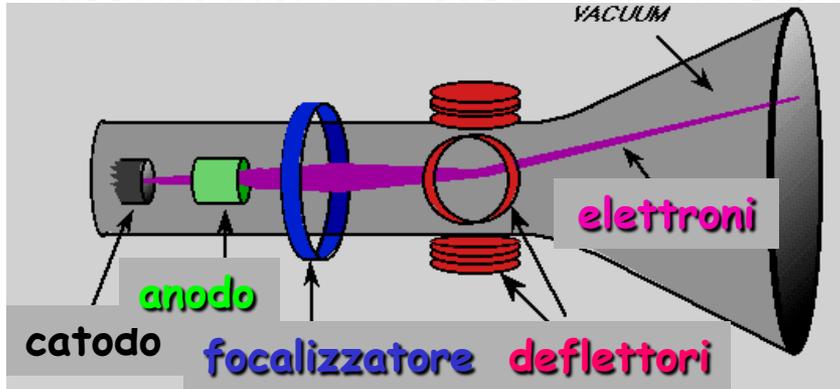
Per accelerare i protoni di LHC ci vorrebbero quindi ben 583 miliardi di batterie una dietro l'altra....

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



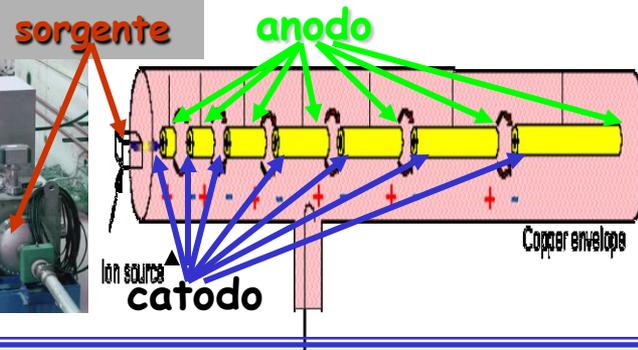
# Come si accelerano le particelle

## l'acceleratore di casa: il televisore

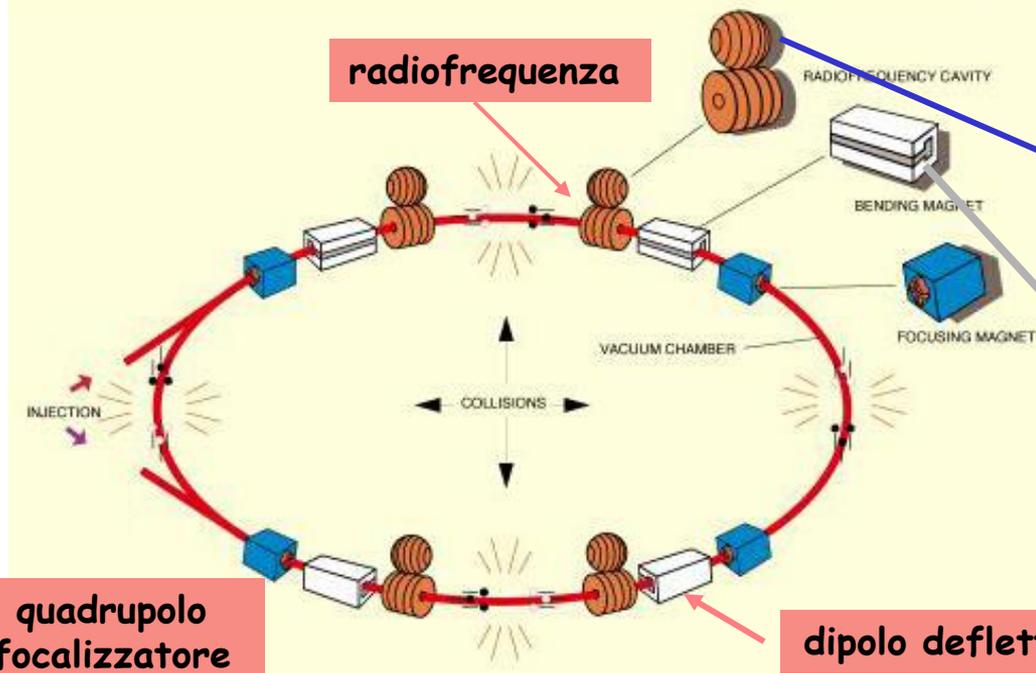


l'energia degli elettroni è ~ 20 KeV

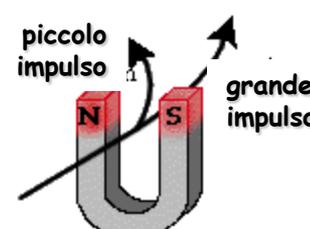
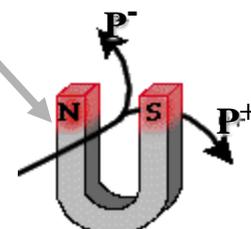
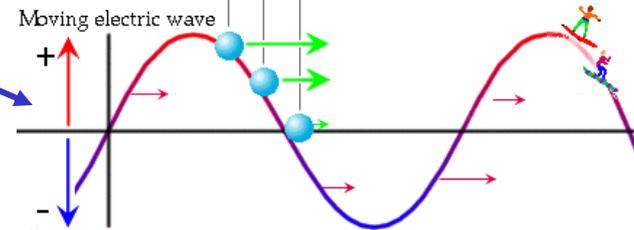
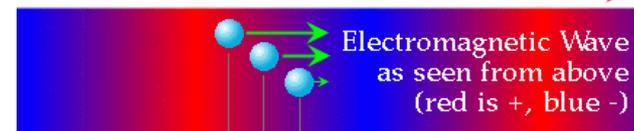
## (FERMILAB-Chicago) acceleratore lineare energia 400 MeV



## le 3 componenti principali di un acceleratore



Electromagnetic wave is traveling, pushing particles along with it



# Acceleratori:

Sviluppati nei laboratori di fisica vengono usati negli ospedali

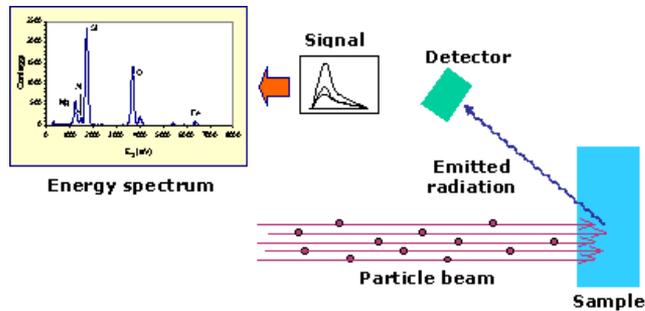
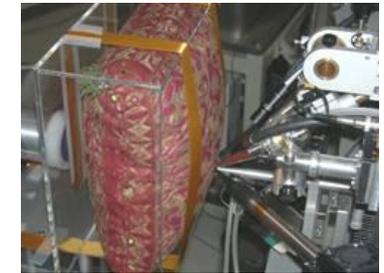
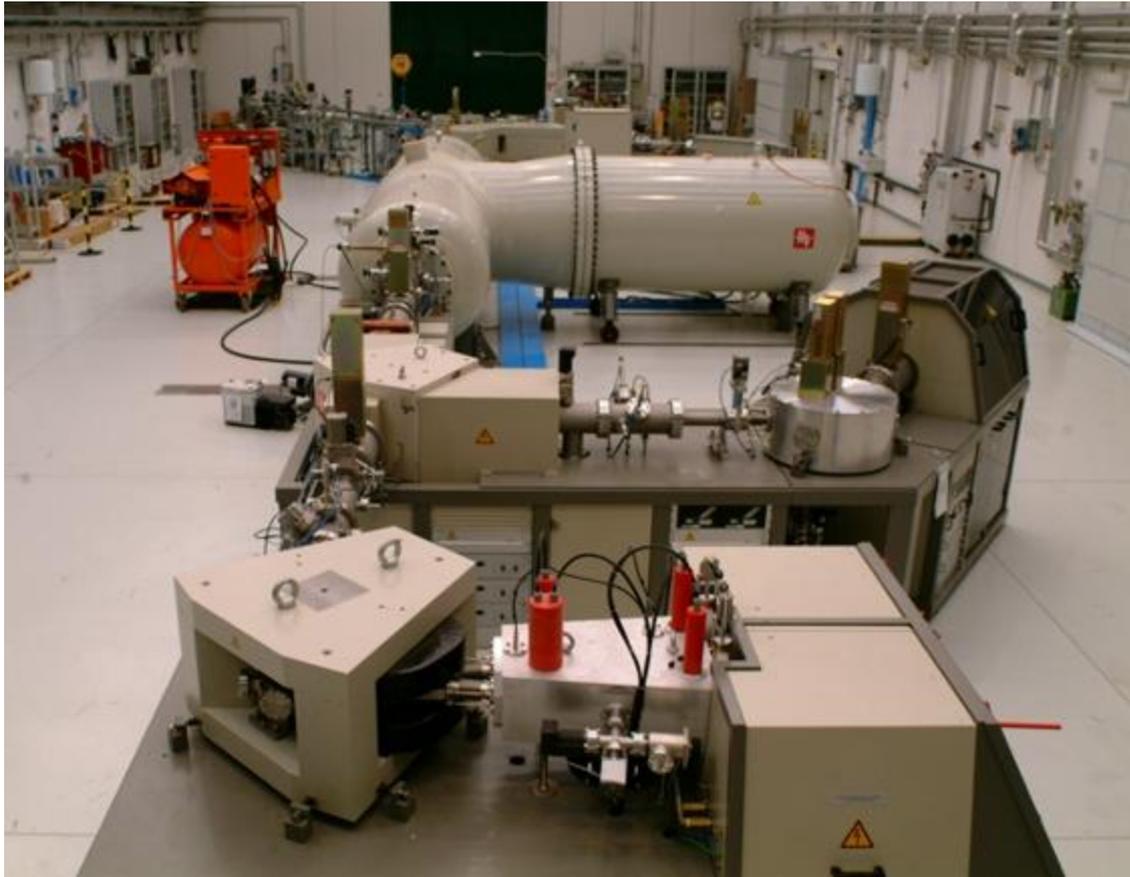


**Hadron Therapy**

Courtesy of IBA

Circa 9000 dei 17000 acceleratori oggi funzionanti nel mondo sono usati per la medicina.

# Acceleratori: LABEC (Laboratorio Beni Culturali-INFN Firenze)

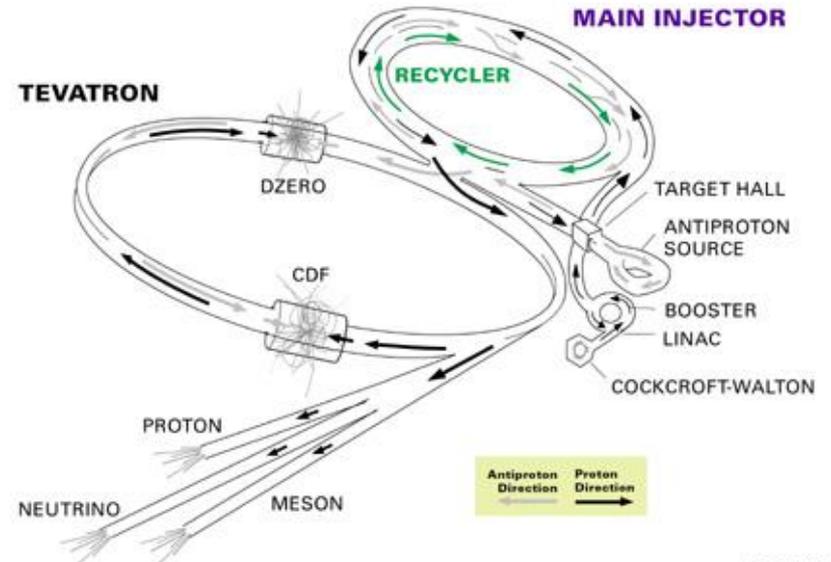


# Fermilab

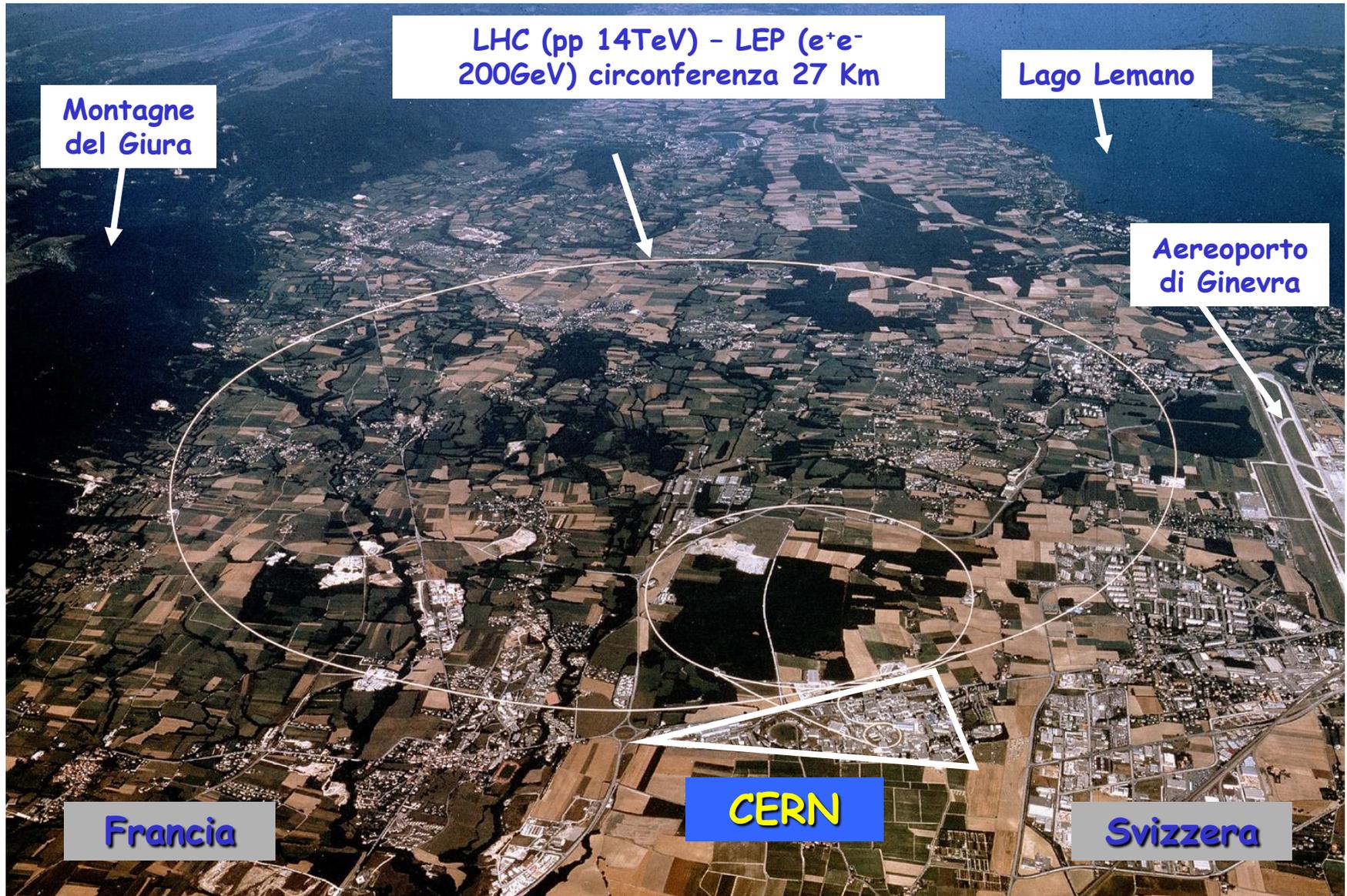
## protone-antiprotone a 2 TeV



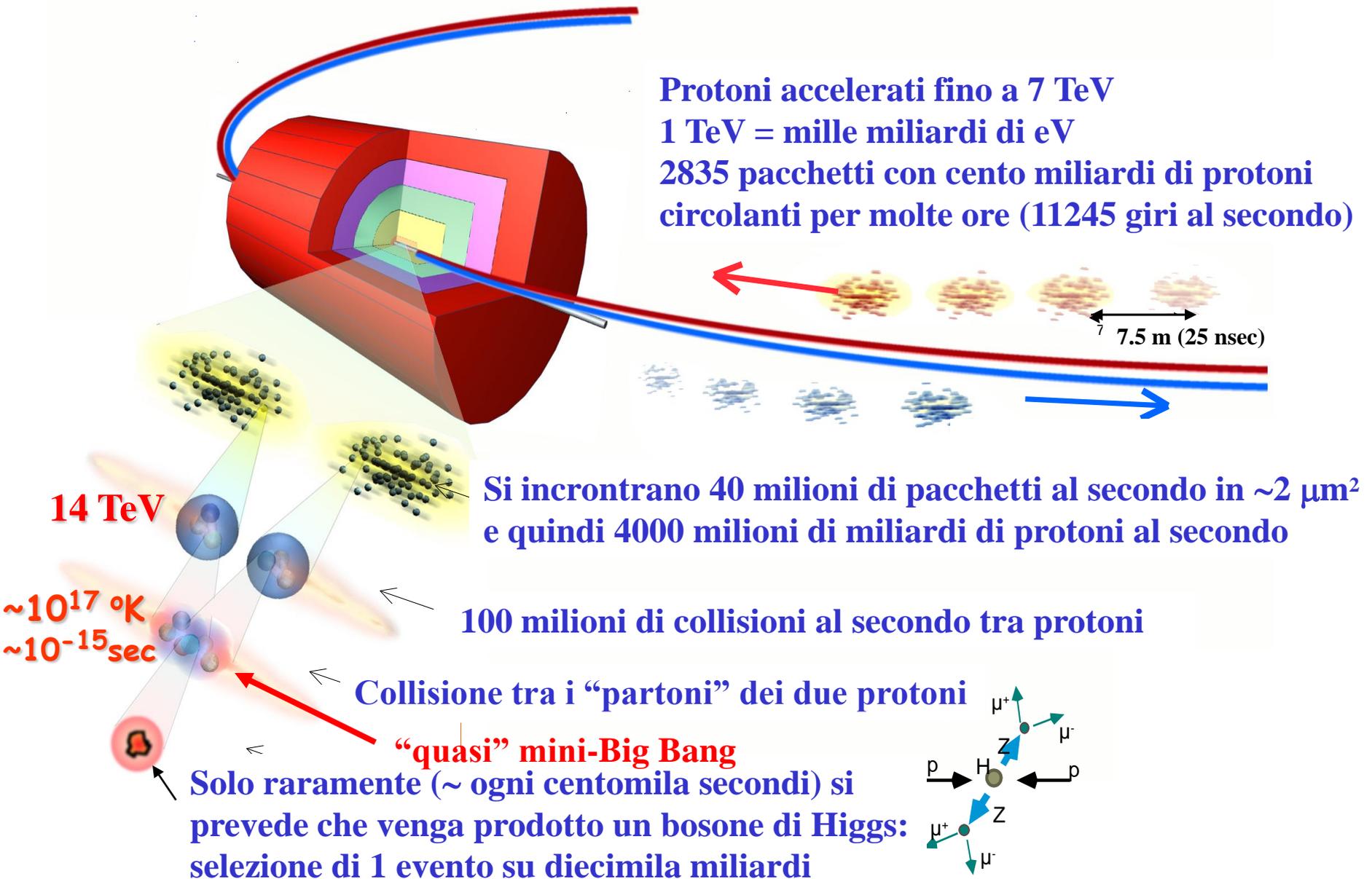
FERMILAB'S ACCELERATOR CHAIN



# CERN (Centro Europeo Ricerche Nucleari)



# LHC : collisioni protone-protone a 14 TeV



Protoni accelerati fino a 7 TeV  
1 TeV = mille miliardi di eV  
2835 pacchetti con cento miliardi di protoni  
circolanti per molte ore (11245 giri al secondo)

7.5 m (25 nsec)

Si incontrano 40 milioni di pacchetti al secondo in  $\sim 2 \mu\text{m}^2$   
e quindi 4000 milioni di miliardi di protoni al secondo

100 milioni di collisioni al secondo tra protoni

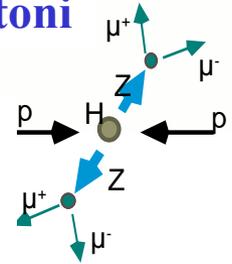
Collisione tra i "partoni" dei due protoni

"quasi" mini-Big Bang

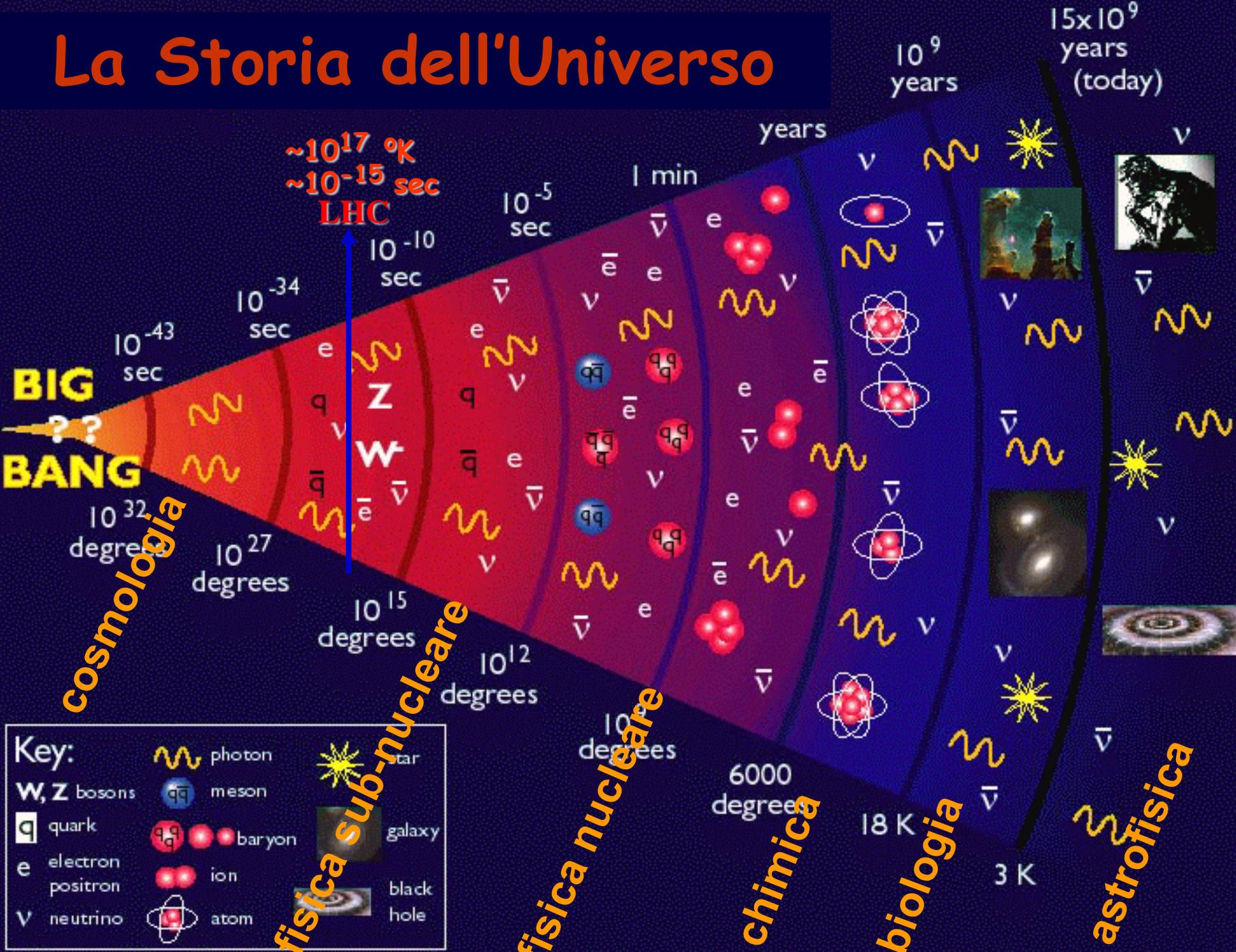
Solo raramente (~ ogni centomila secondi) si  
prevede che venga prodotto un bosone di Higgs:  
selezione di 1 evento su diecimila miliardi

14 TeV

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



# La Storia dell'Universo

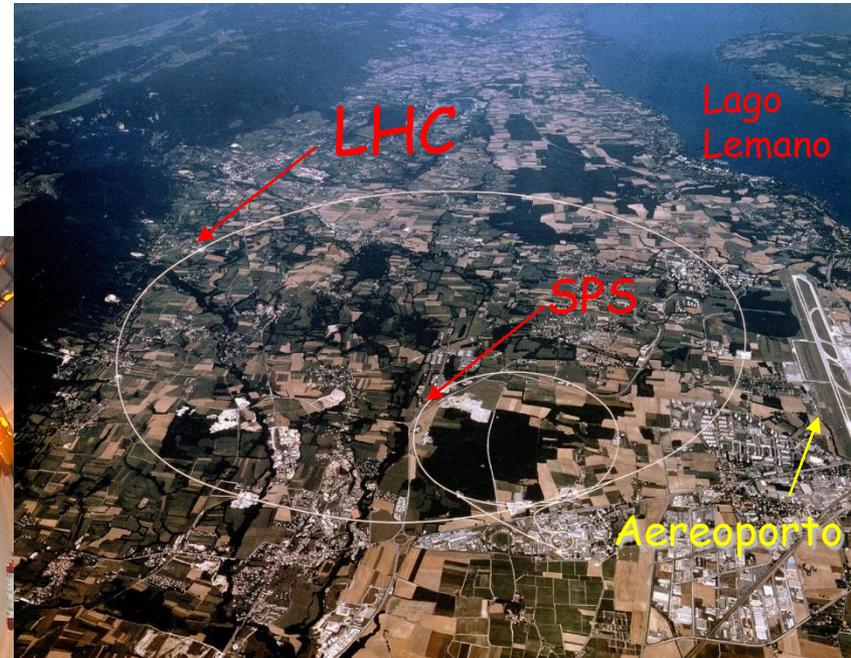


# Il Large Hadron Collider del CERN

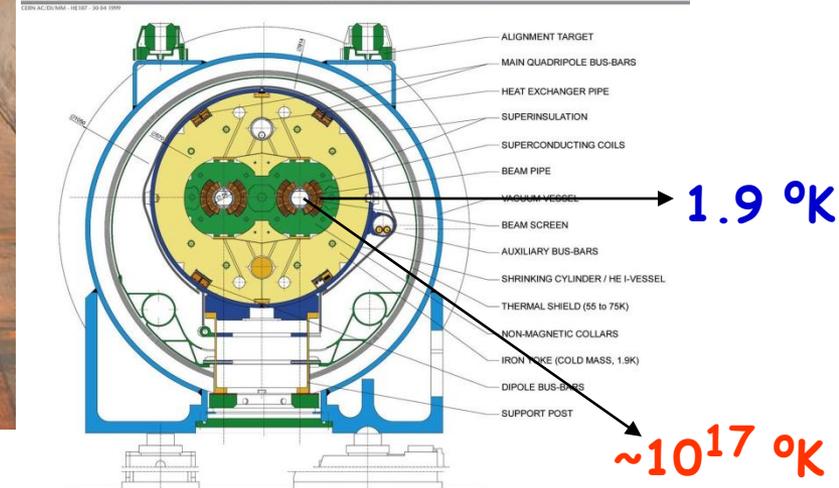


*prime collisioni previste per novembre (?)*

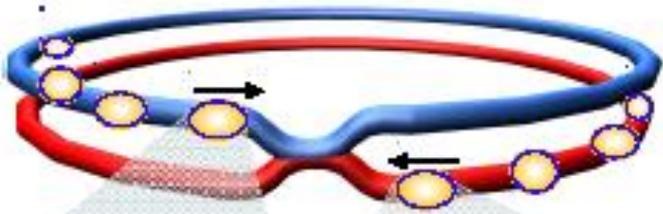
9300 Magneti superconduttori  
1232 Dipoli (15m, 1.9 °K) 8.4 tesla 11700 A  
448 Main Quads, 6618 Correttori.  
Circonferenza 26.7 km



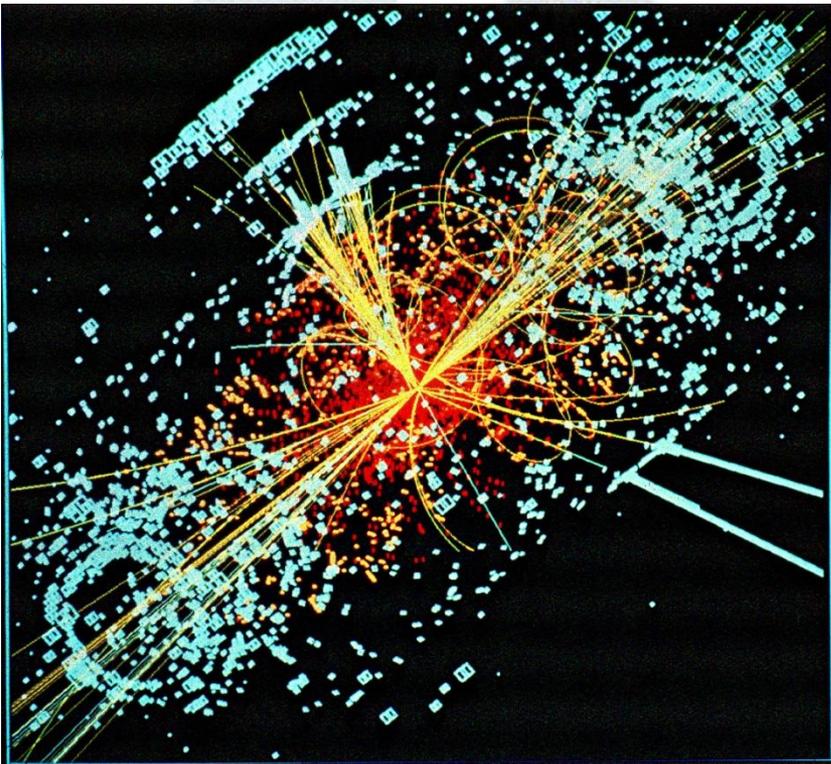
LHC DIPOLE : STANDARD CROSS-SECTION



# Collisioni protone-protone a LHC



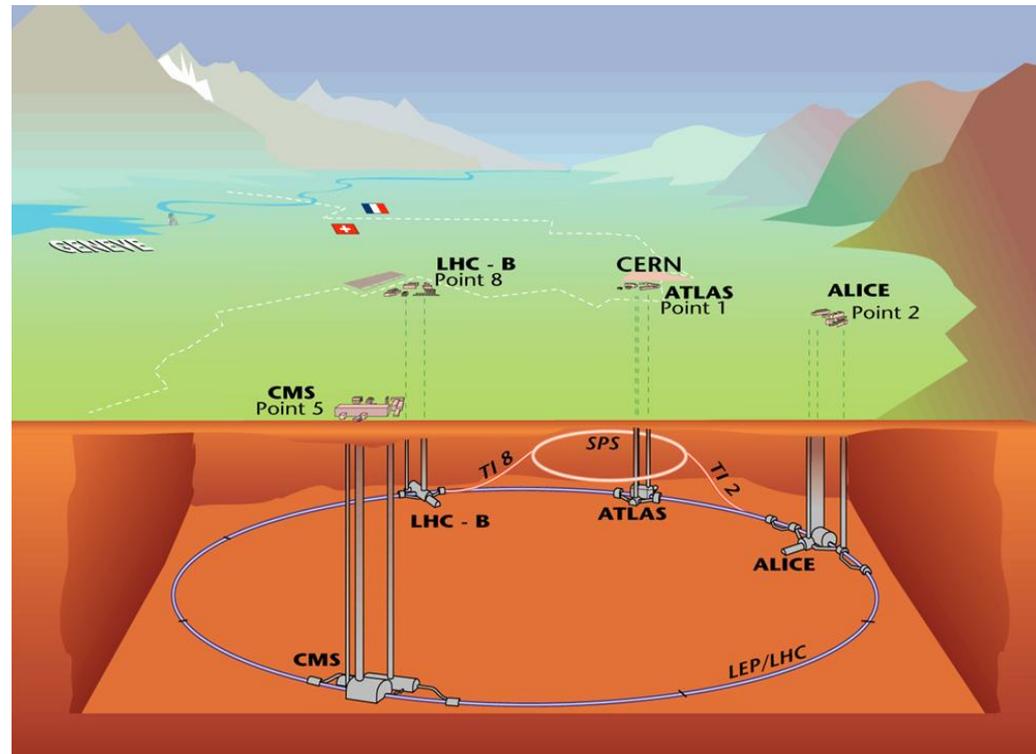
- ~100 milioni di eventi al secondo
- ~60 miliardi di particelle al secondo
- ~1600 particelle ogni 25 ns
- Selezione di 1 evento su diecimila miliardi



“quasi” mini-Big Bang

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

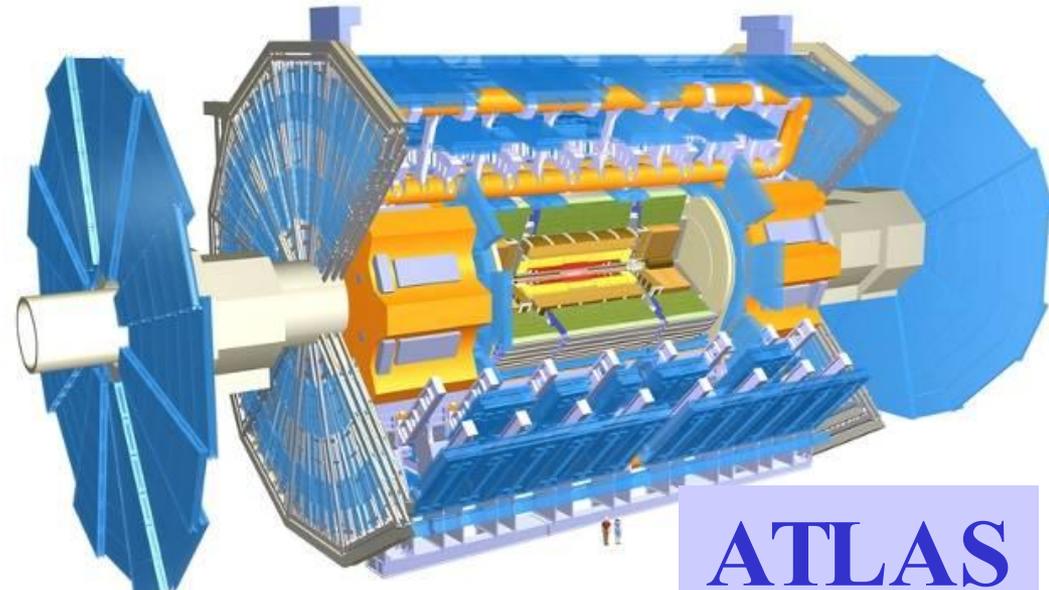
⇒ Rivelatori altamente performanti



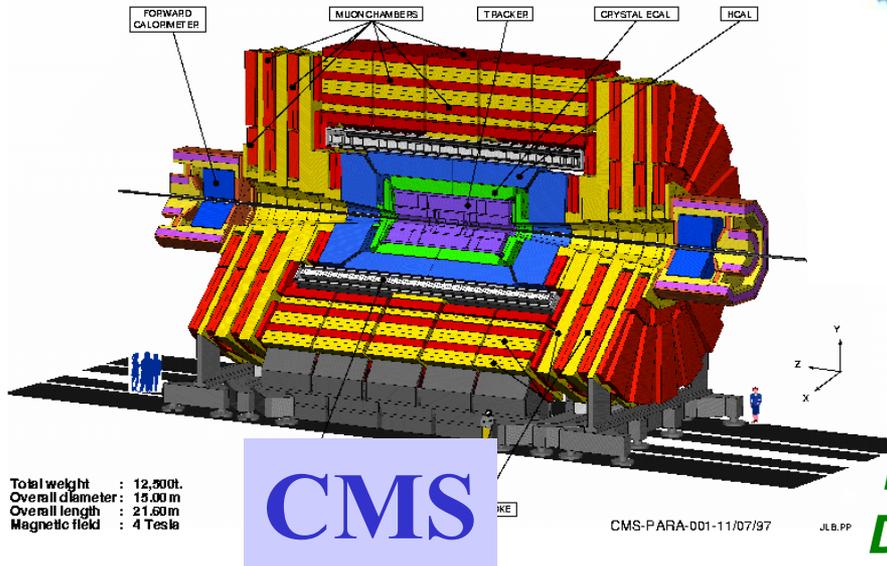
# Quanto sono grandi ATLAS e CMS?



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

J.L.B.P.P

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

# La Collaborazione di CMS (2007)

## Number of Laboratories

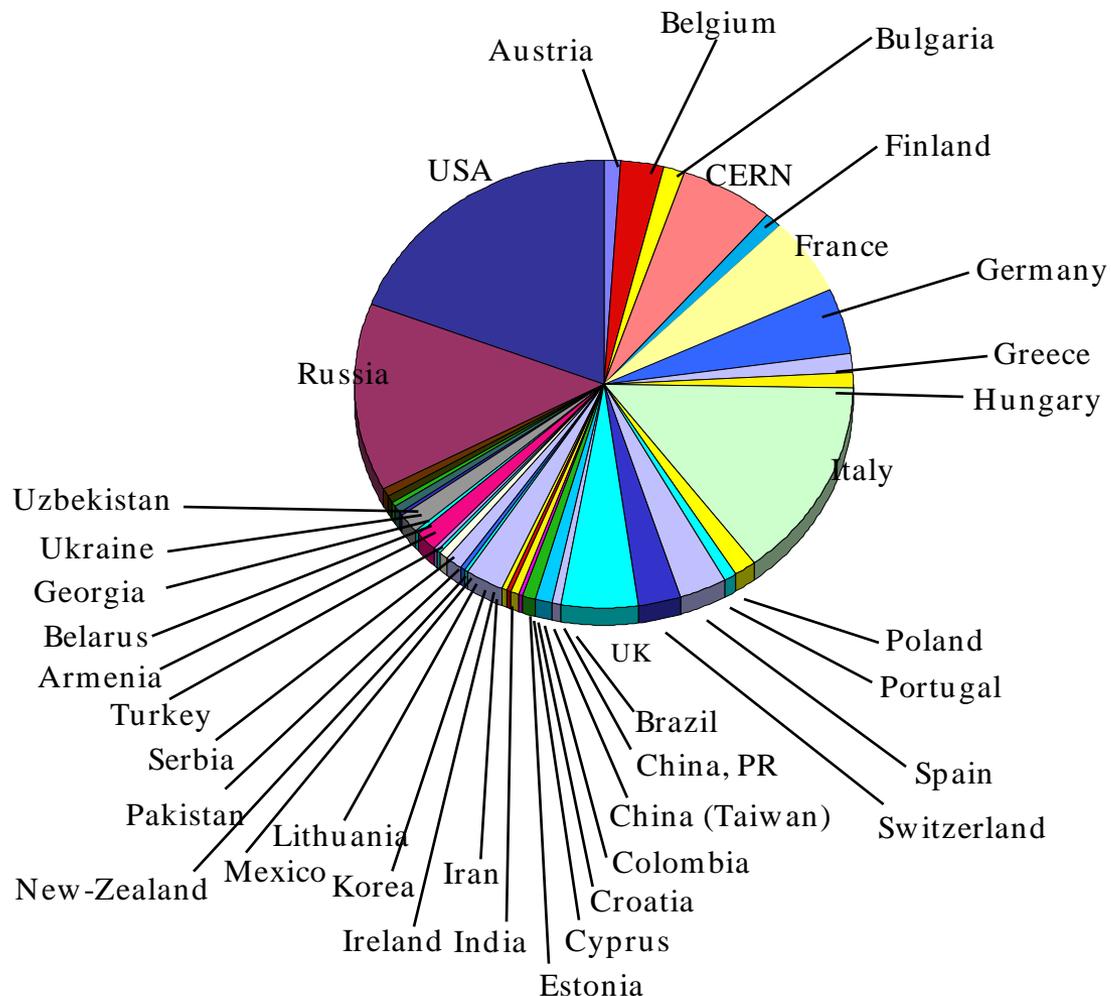
Member States	59
Non-Member States	67
USA	49
<b>Total</b>	<b>175</b>

## # Scientific Authors

Member States	1084
Non-Member States	503
USA	723
<b>Total</b>	<b>2310</b>

## Associated Institutes

Number of Scientists	62
Number of Laboratories	9



**2310 Fisici e Ingegneri**  
**38 Paesi**  
**175 Istituzioni**

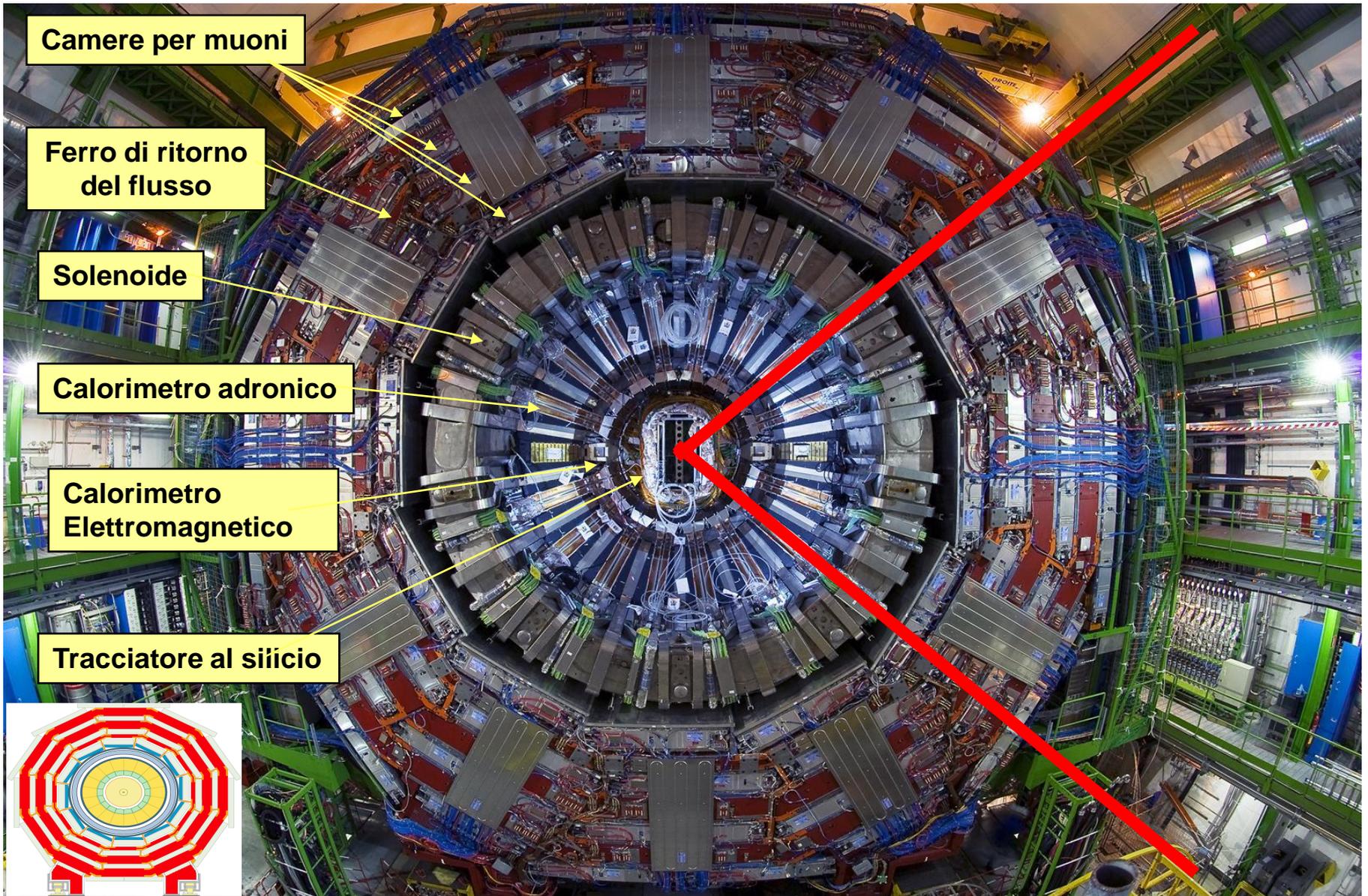
# Una riunione della Collaborazione CMS



# Un'altra riunione della Collaborazione CMS

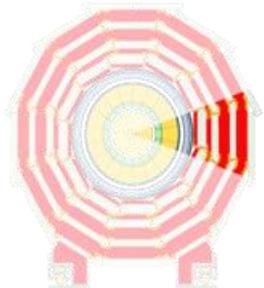


# Il rivelatore CMS



# 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



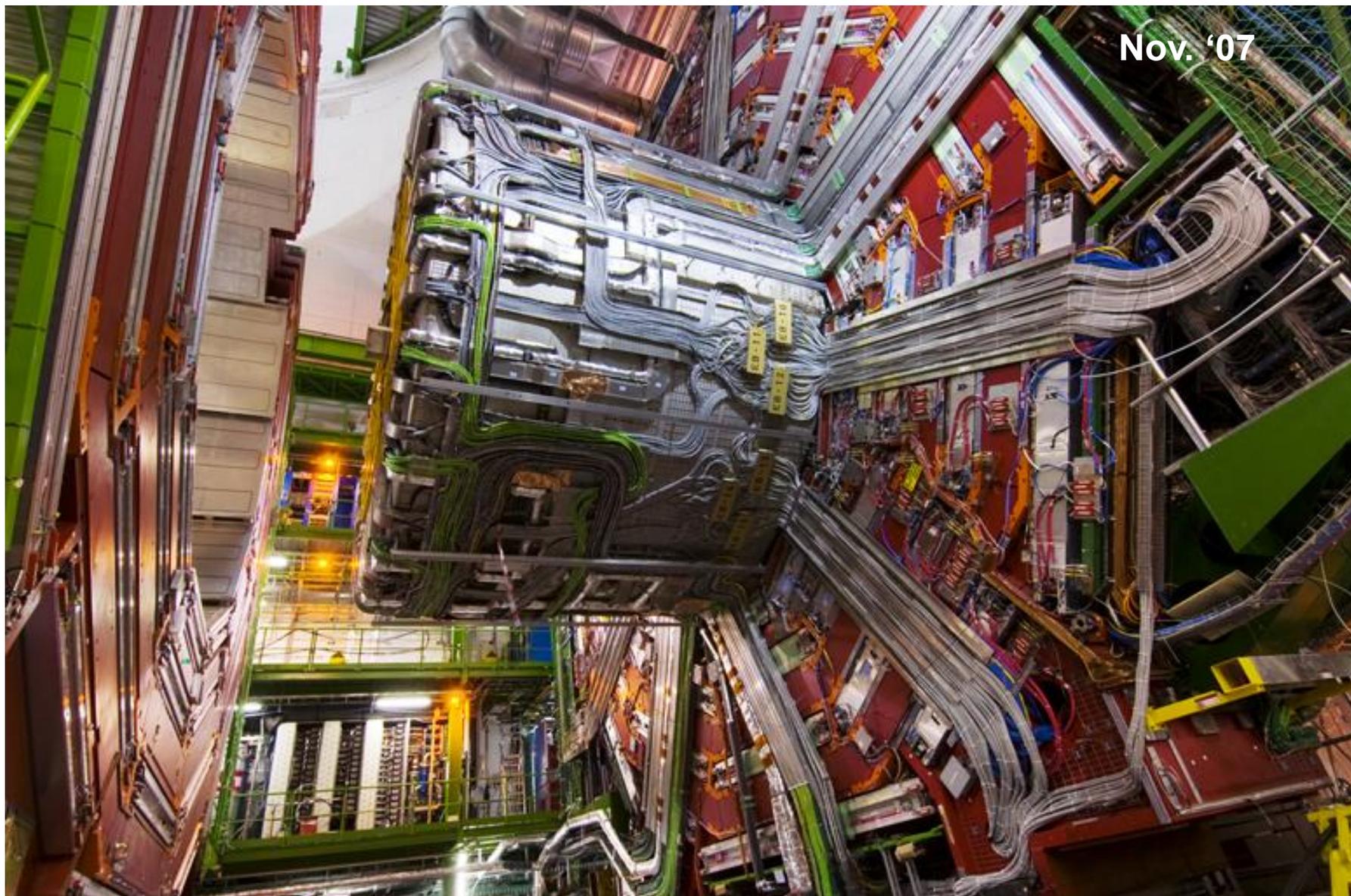
# Rivelatori:

Sviluppati nei laboratori di fisica vengono usati per "imaging" medicale

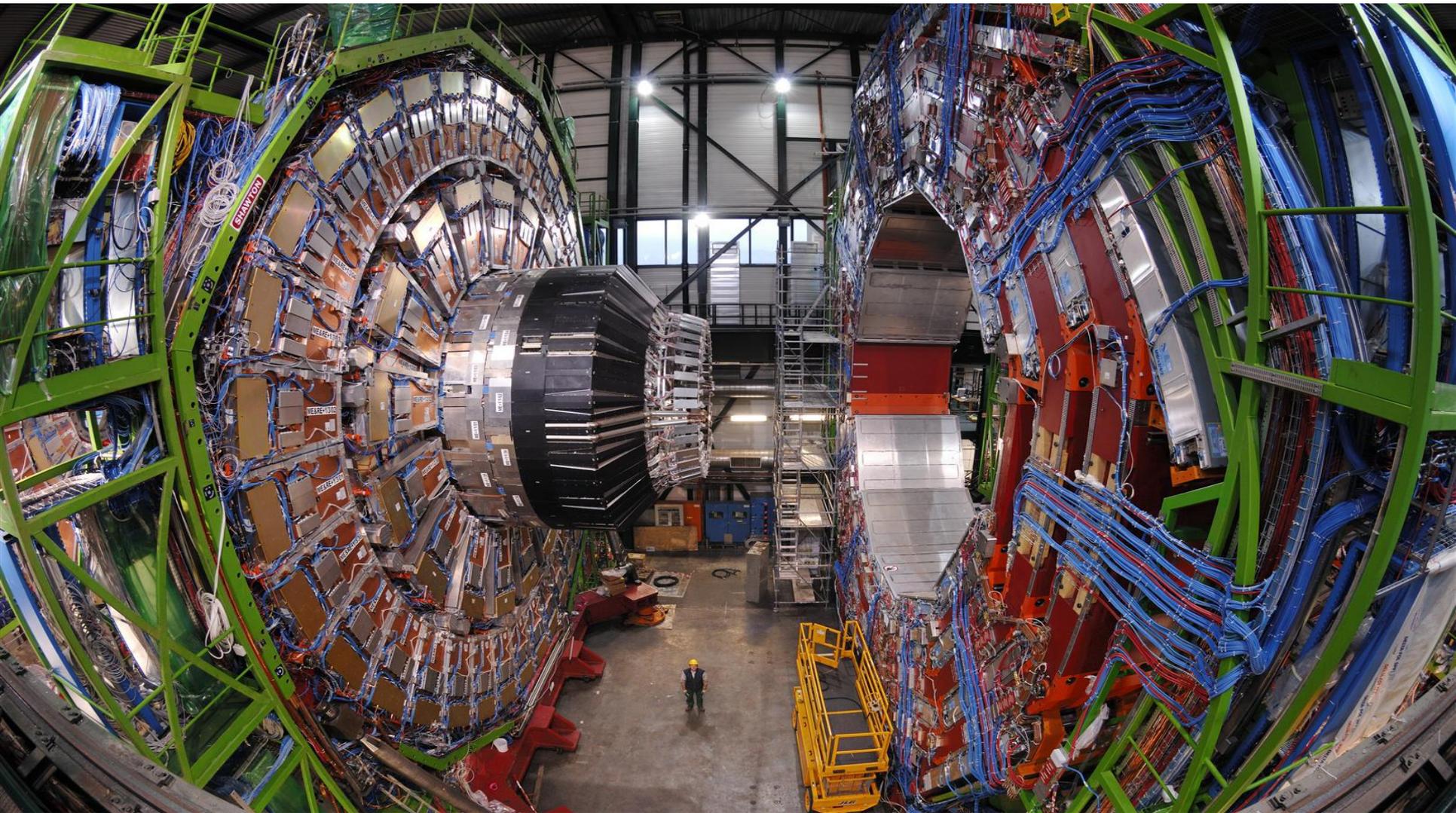


PET (Positron Emission Tomography) è una tecnica molto importante per localizzare certi tipi di cancro. PET usa l'antimateria (positroni).

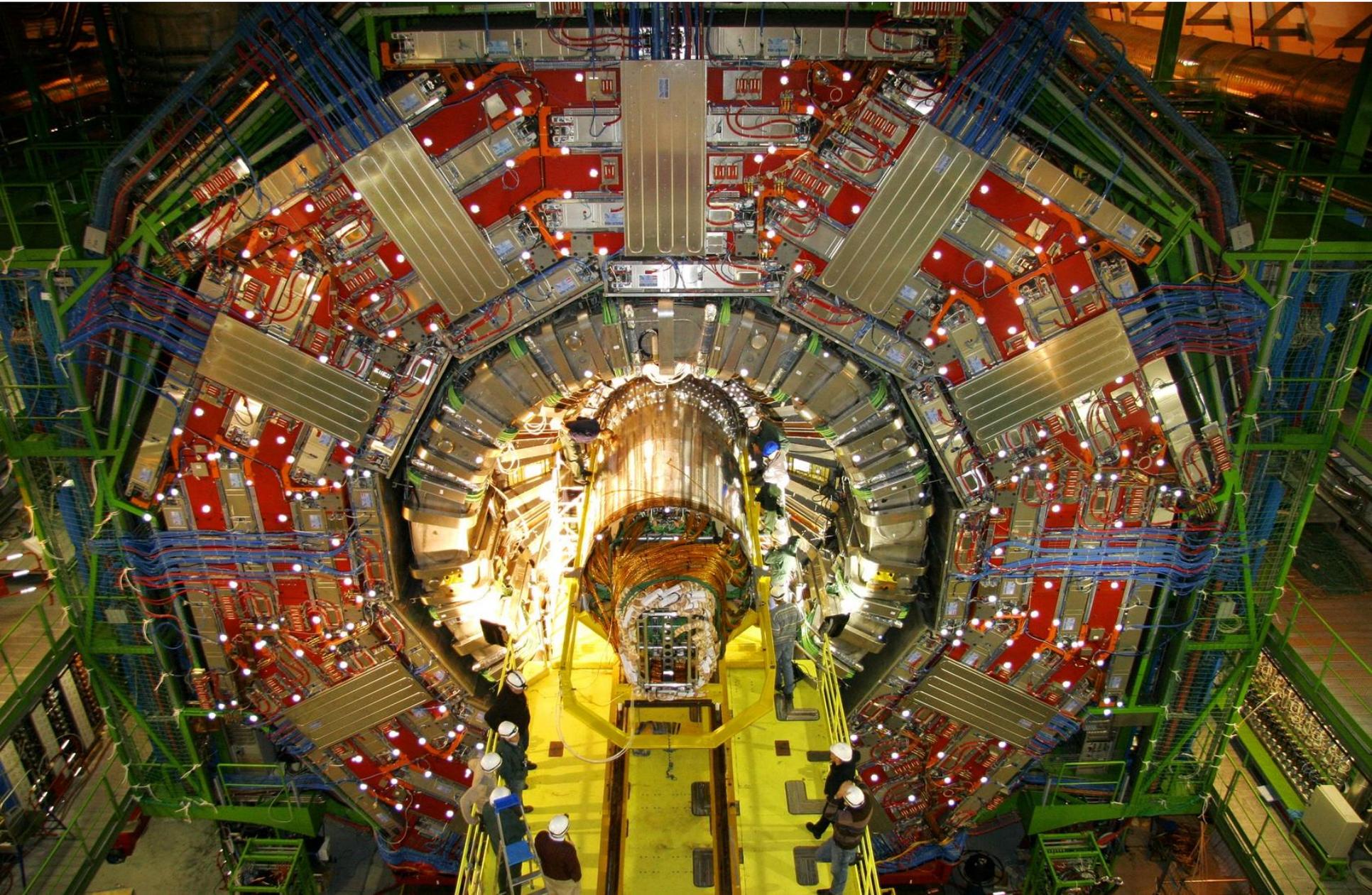
# Il rivelatore CMS



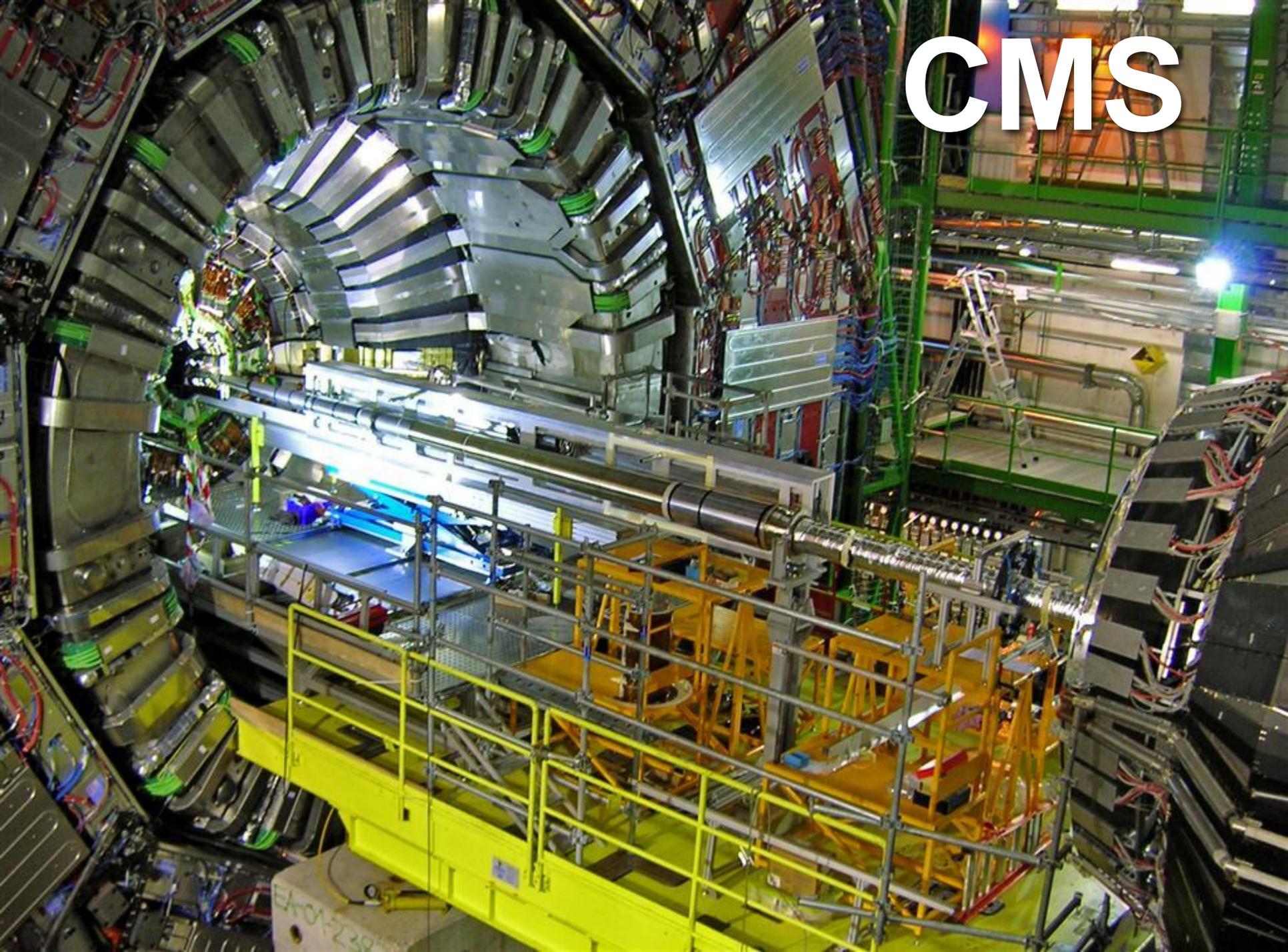
# Il rivelatore CMS



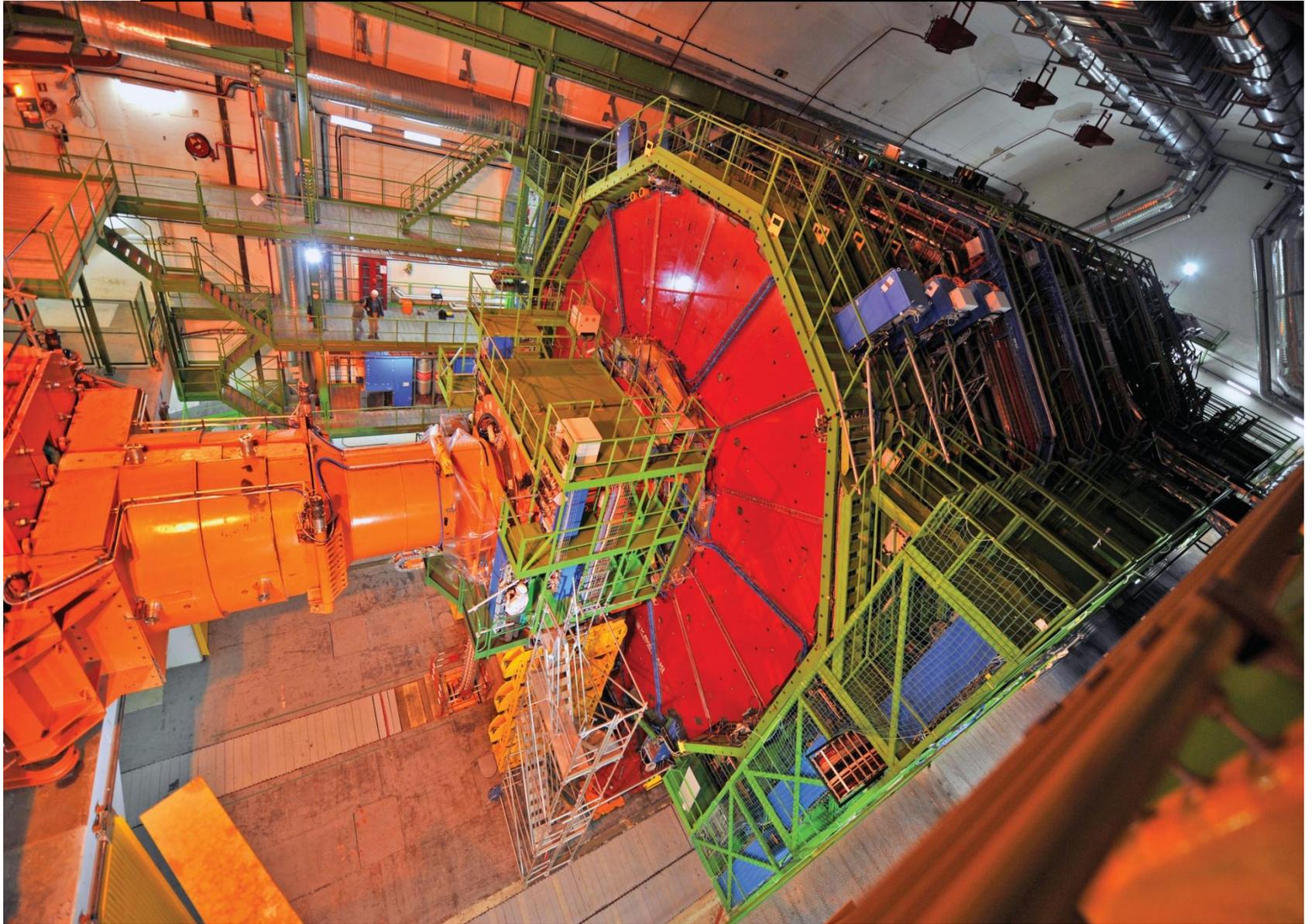
# Il rivelatore CMS



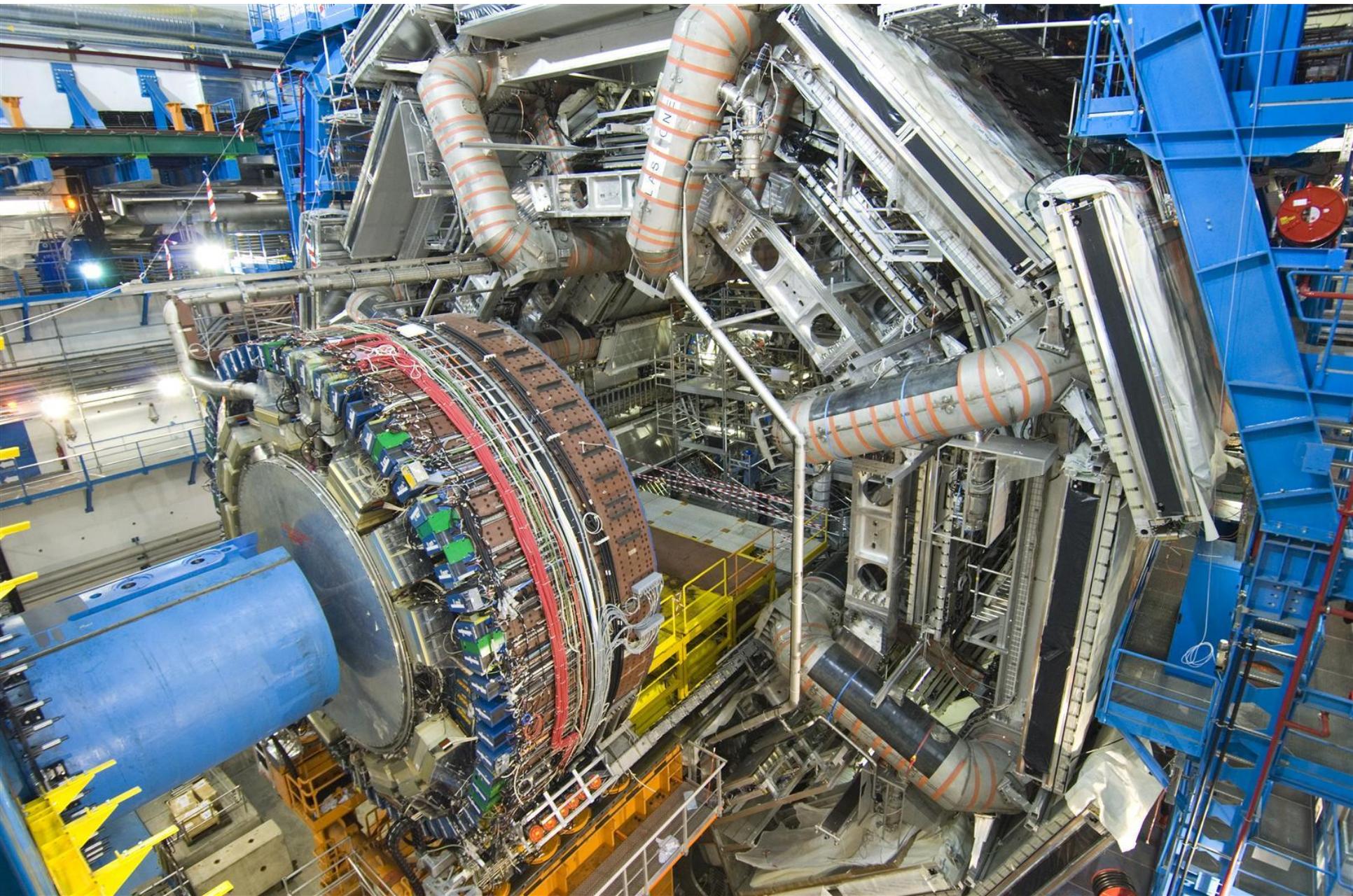
# CMS



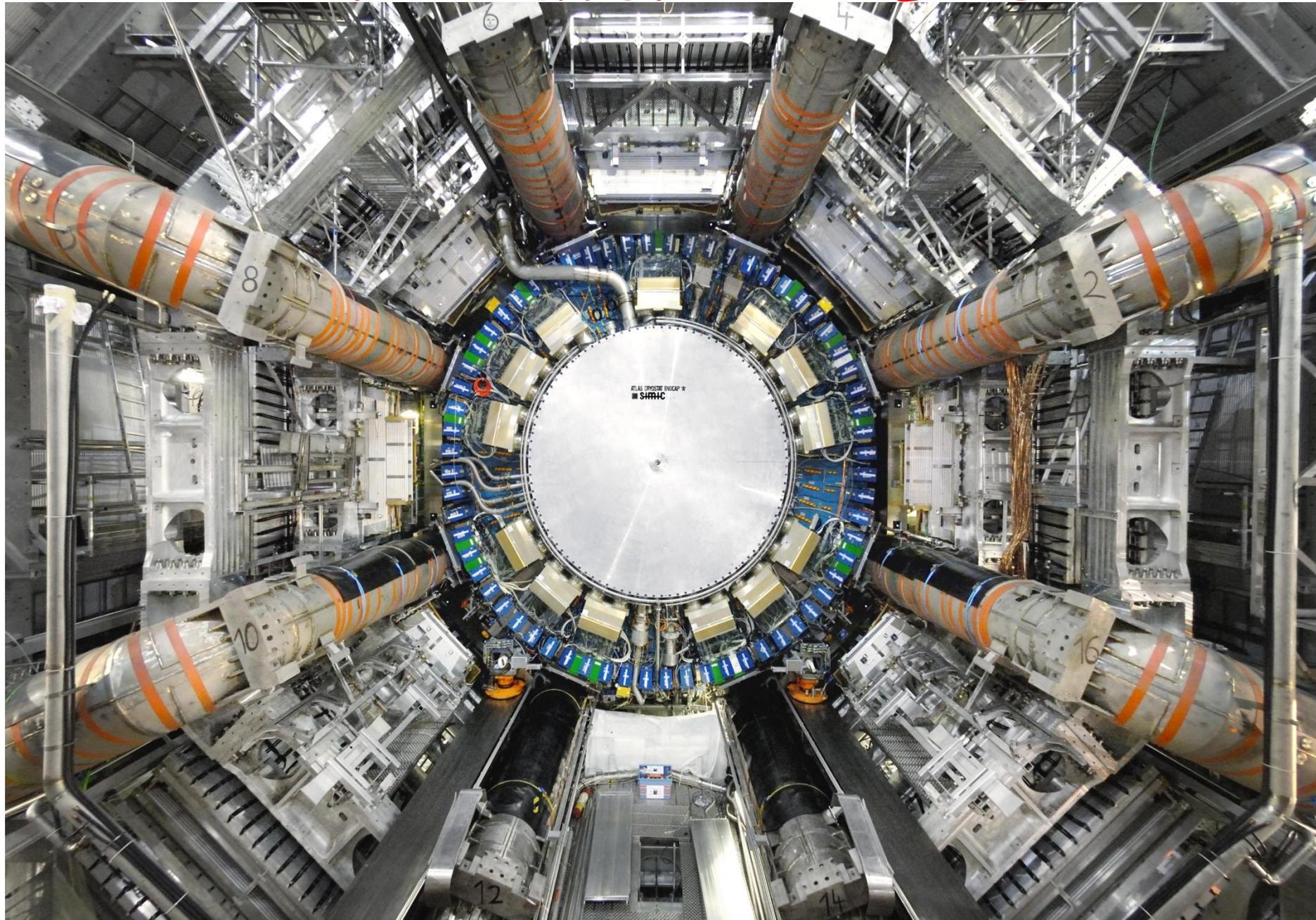
**CMS pronto per prendere dati**



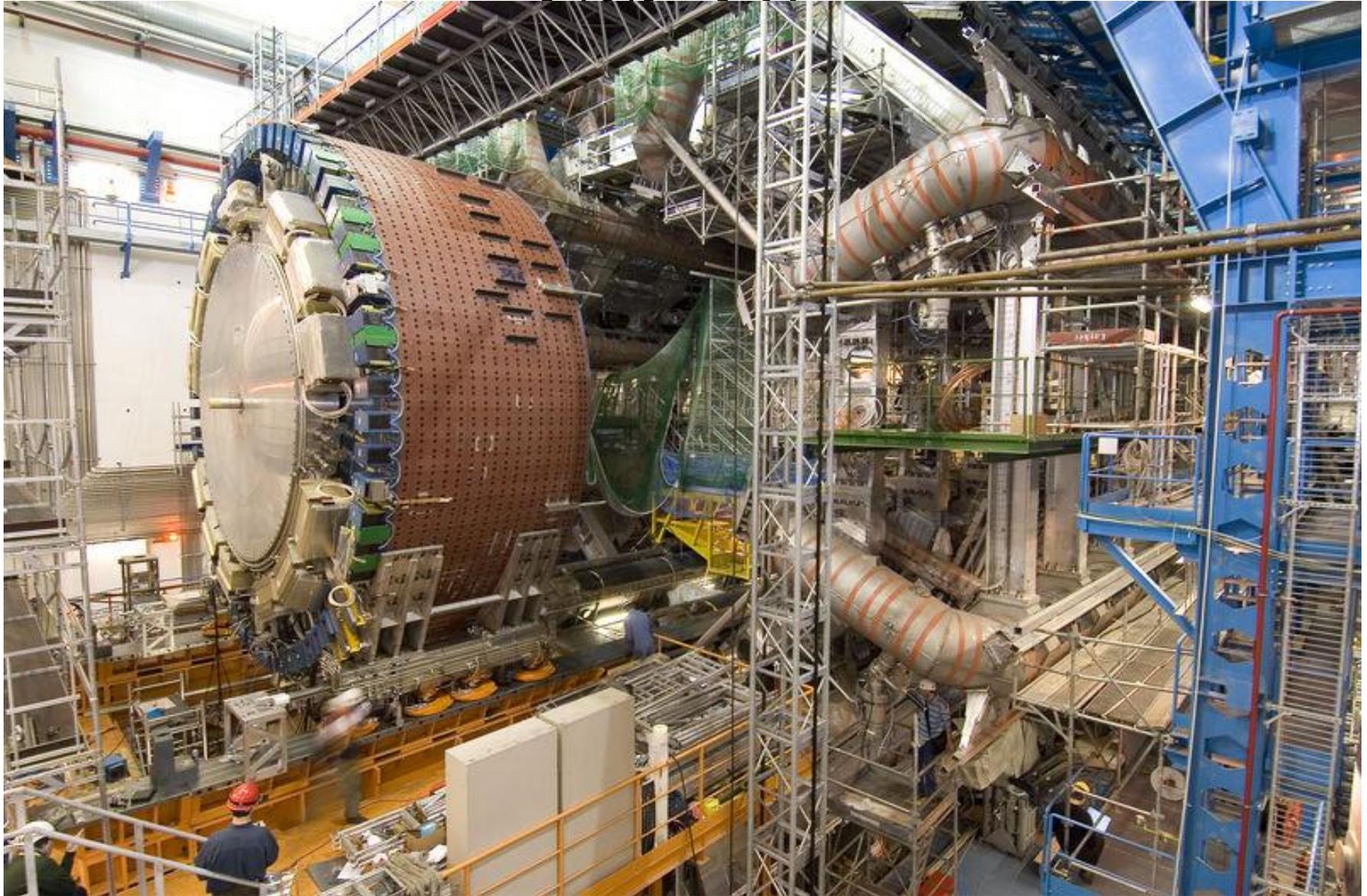
# Il rivelatore ATLAS



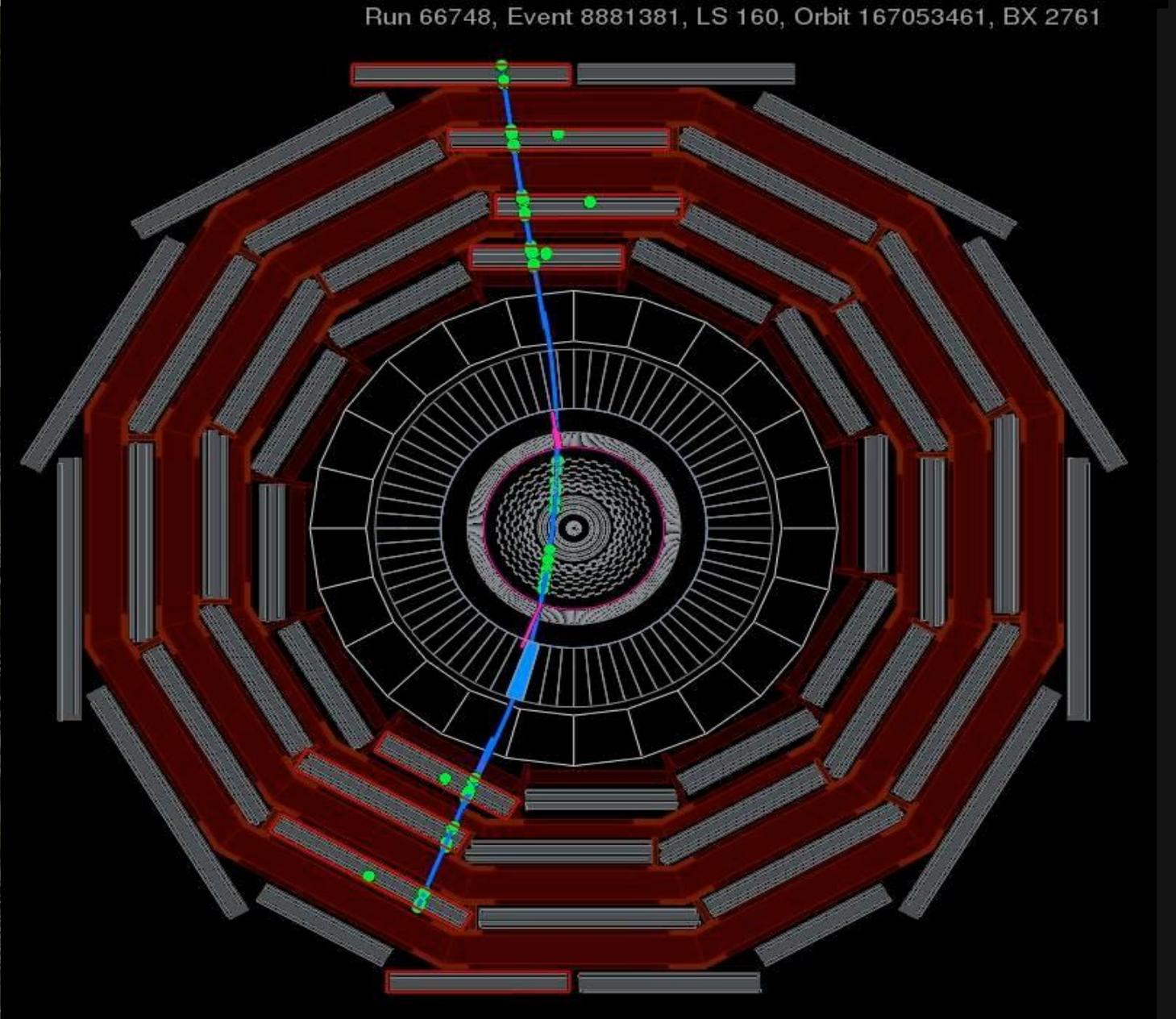
# Il rivelatore ATLAS



# Il rivelatore ATLAS

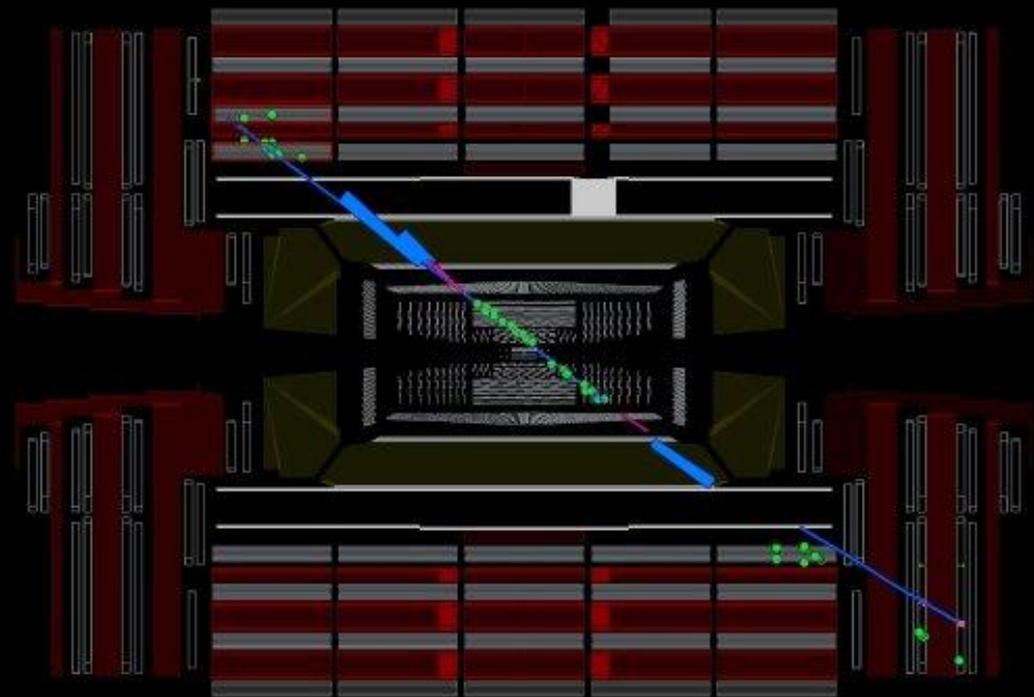
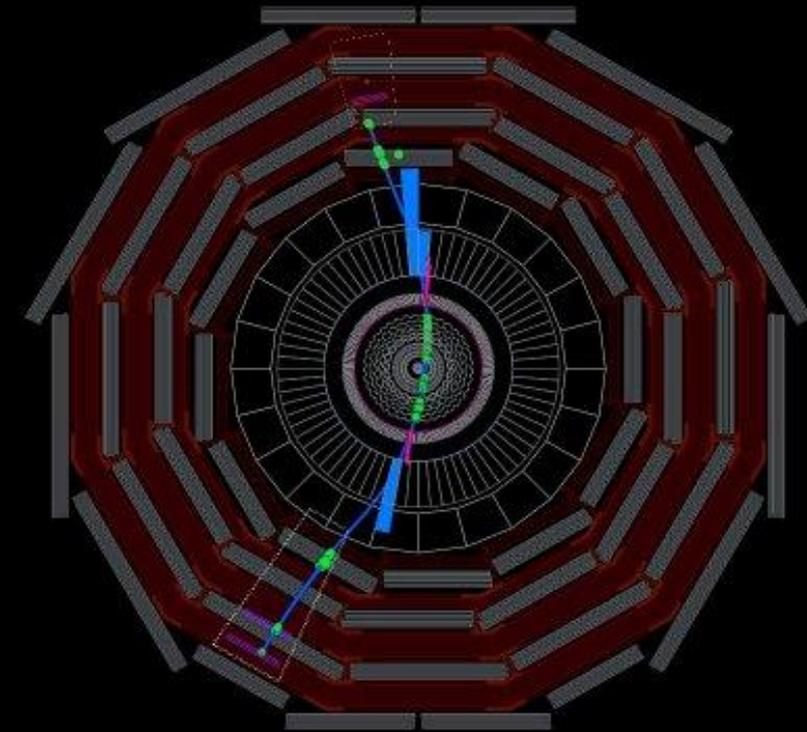


**Macchina fotografica digitale di 12500 tonnellate con migliaia di milioni di pixels fotografa il passaggio di un raggio cosmico ( $\mu^\pm$ )**



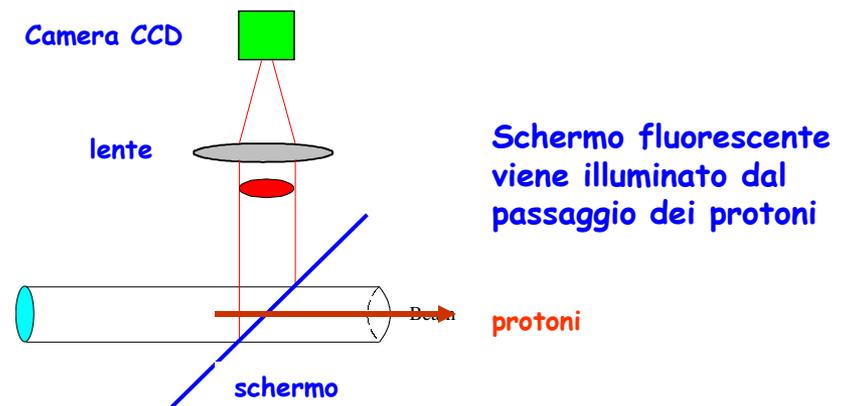
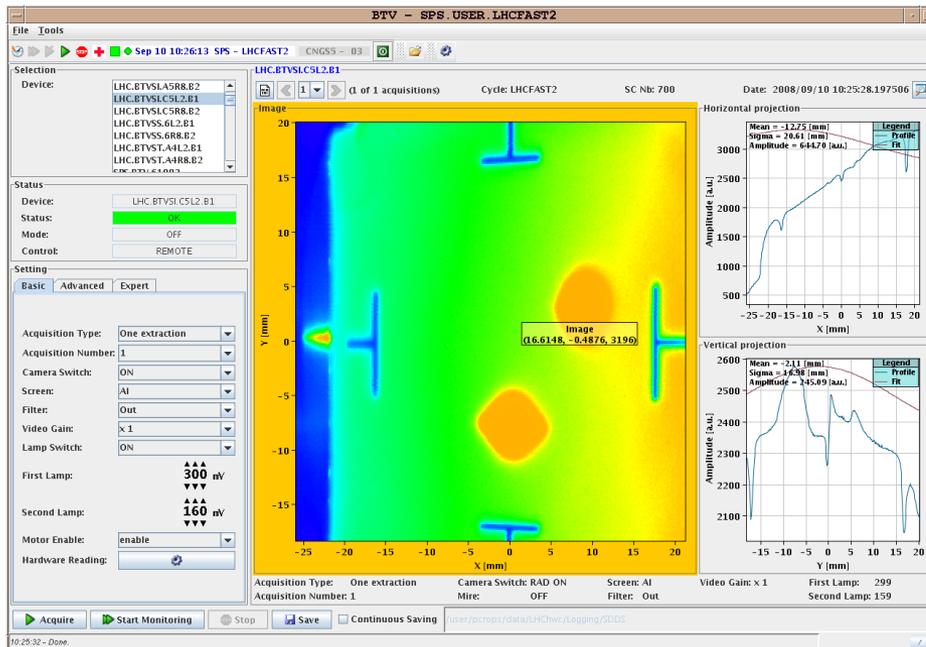
# Raggio cosmico ( $\mu^+$ ) come ricostruito da CMS nelle due viste trasversale e longitudinale

Run 66748, Event 8900172, LS 160, Orbit 167345832, BX 2011



# I primi fasci di protoni circolano in LHC

10 settembre 2008  
ore 10:23  
i protoni fanno un  
giro completo in LHC

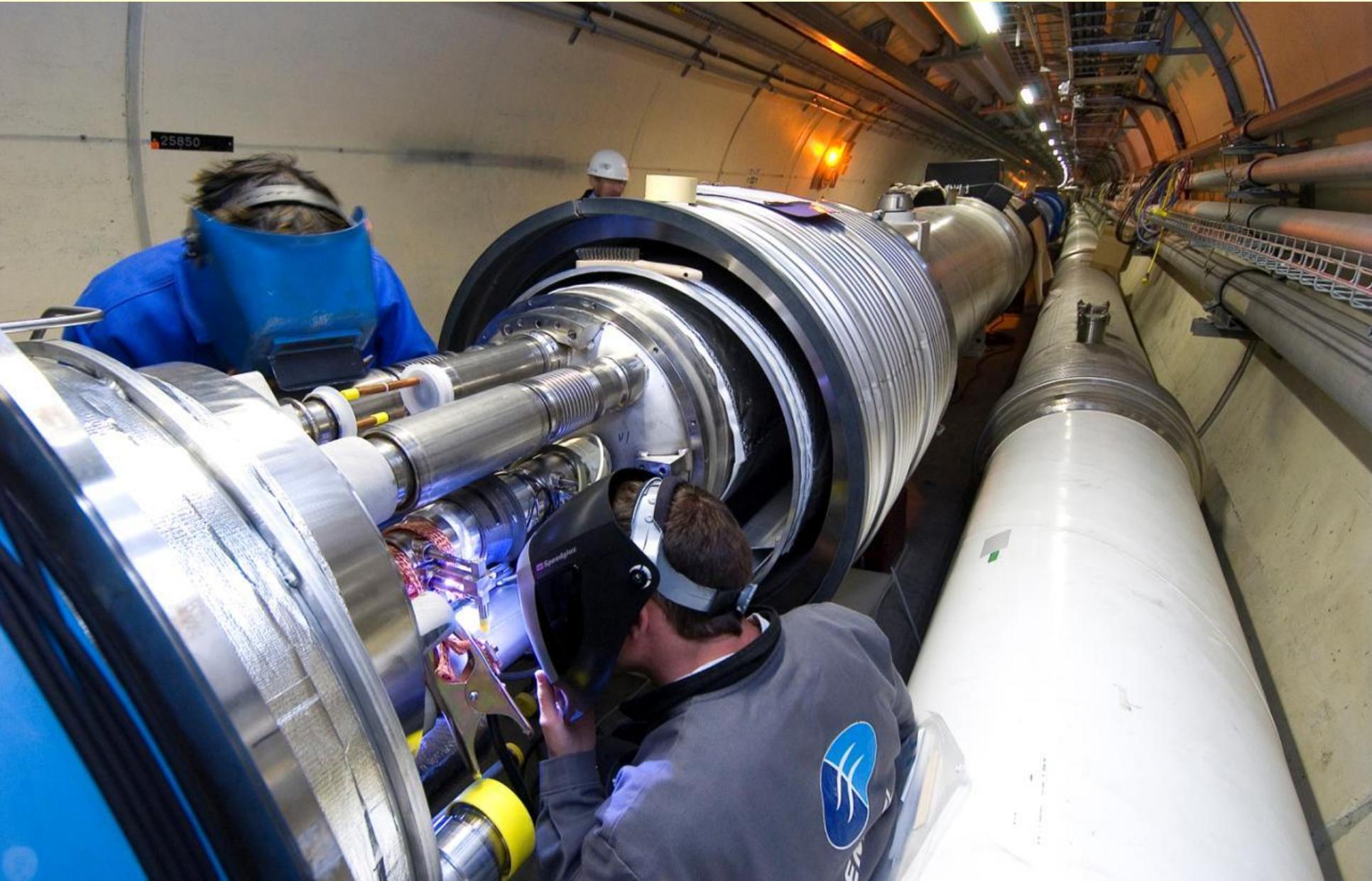


# 19 settembre 2008: il disastro...



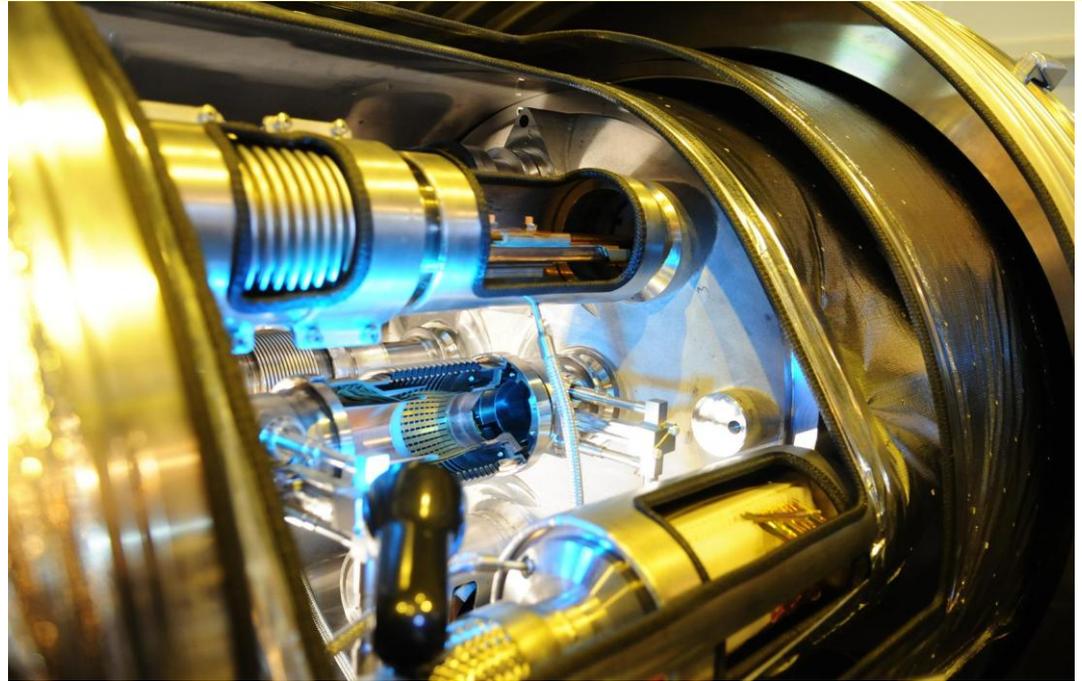
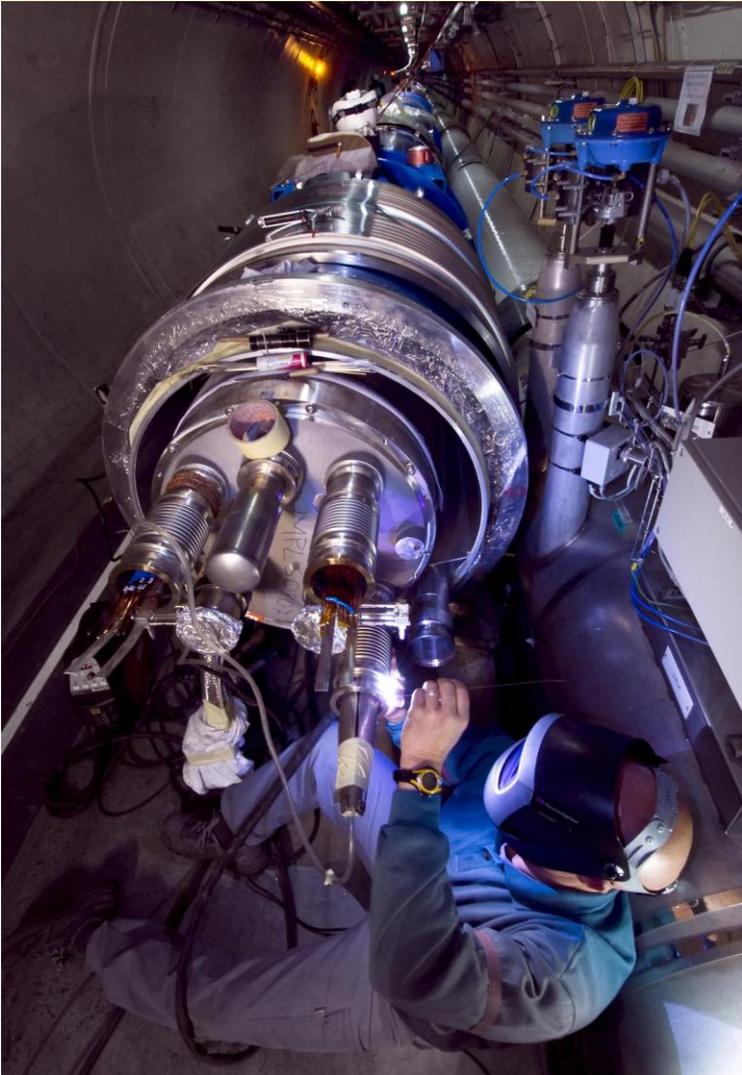
## Cosa era accaduto ?

Una saldatura tra i cavi superconduttori di due magneti non era stata ben fatta !



## Cosa era accaduto ?

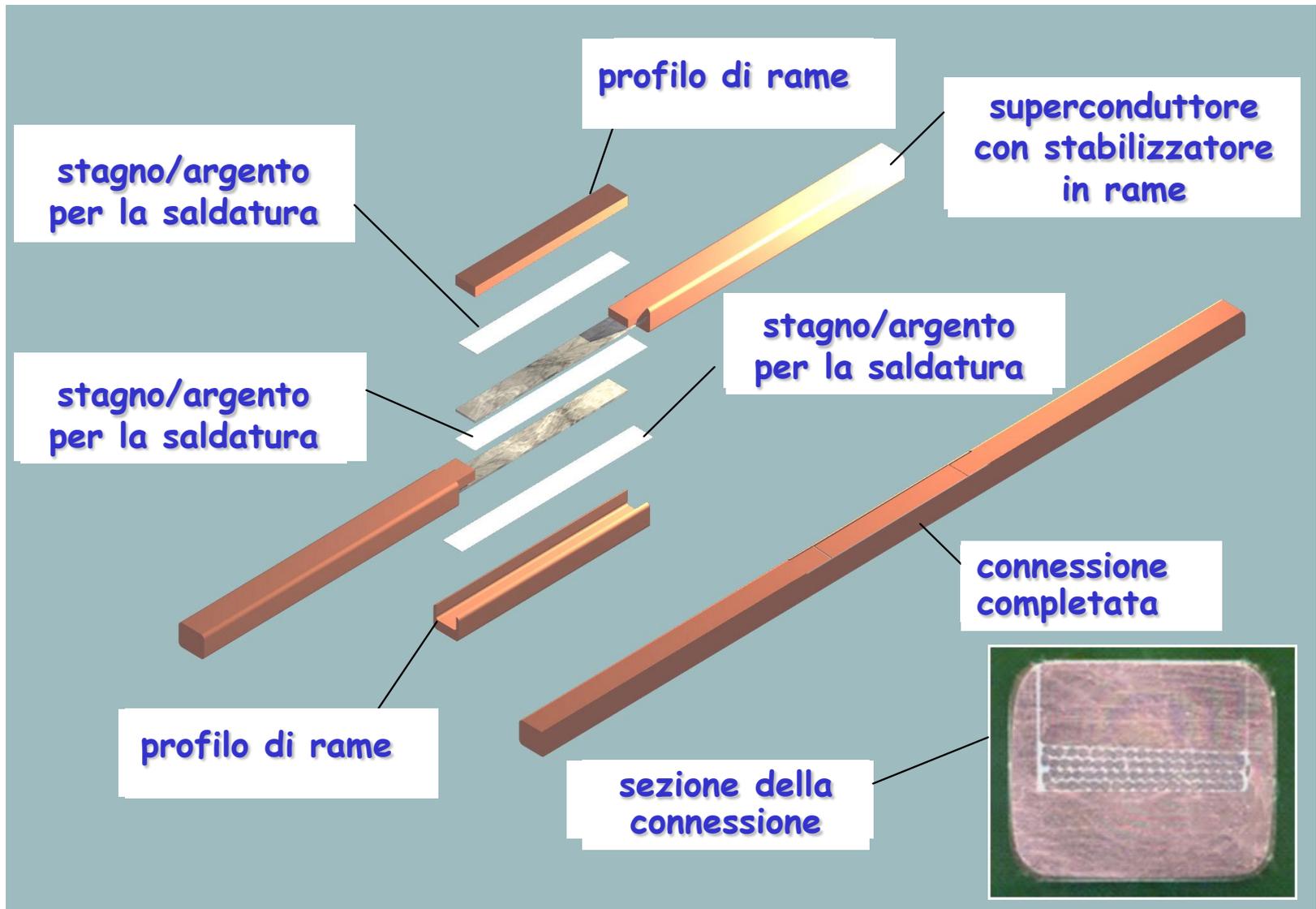
Una saldatura tra i cavi superconduttori di due magneti non era stata ben fatta !



Collegare due magneti superconduttori di LHC è una operazione complessa che deve essere fatta in loco, anche se con una tecnologia molto semplice. Nei 27 Km dell'anello ci sono molte migliaia di connessioni tra magneti con saldature che devono garantire resistenze di pochi  $n\Omega$  alla temperatura a cui operano i magneti (1.9 °K).

# Cosa era accaduto ?

Una saldatura tra i cavi superconduttori di due magneti non era stata ben fatta !



**Sono stati rimossi dal tunnel 53 magneti :  
è stato possibile ripararne 16; gli altri 37 sono stati sostituiti con magneti di riserva**



**Sono stati rimossi dal tunnel 53 magneti :**  
**è stato possibile ripararne 16; gli altri 37 sono stati sostituiti con magneti di riserva**



*The last dipole magnet makes its descent towards its final destination in the LHC tunnel.*

# Le riparazioni effettuate in LHC

14 quadrupole magnets replaced



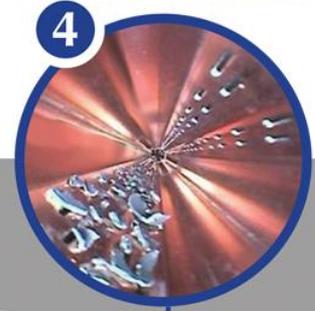
39 dipole magnets replaced



54 electrical interconnections fully repaired. 150 more needing only partial repairs



Over 4 km of vacuum beam tube cleaned



5



A new longitudinal restraining system is being fitted to 50 quadrupole magnets

6



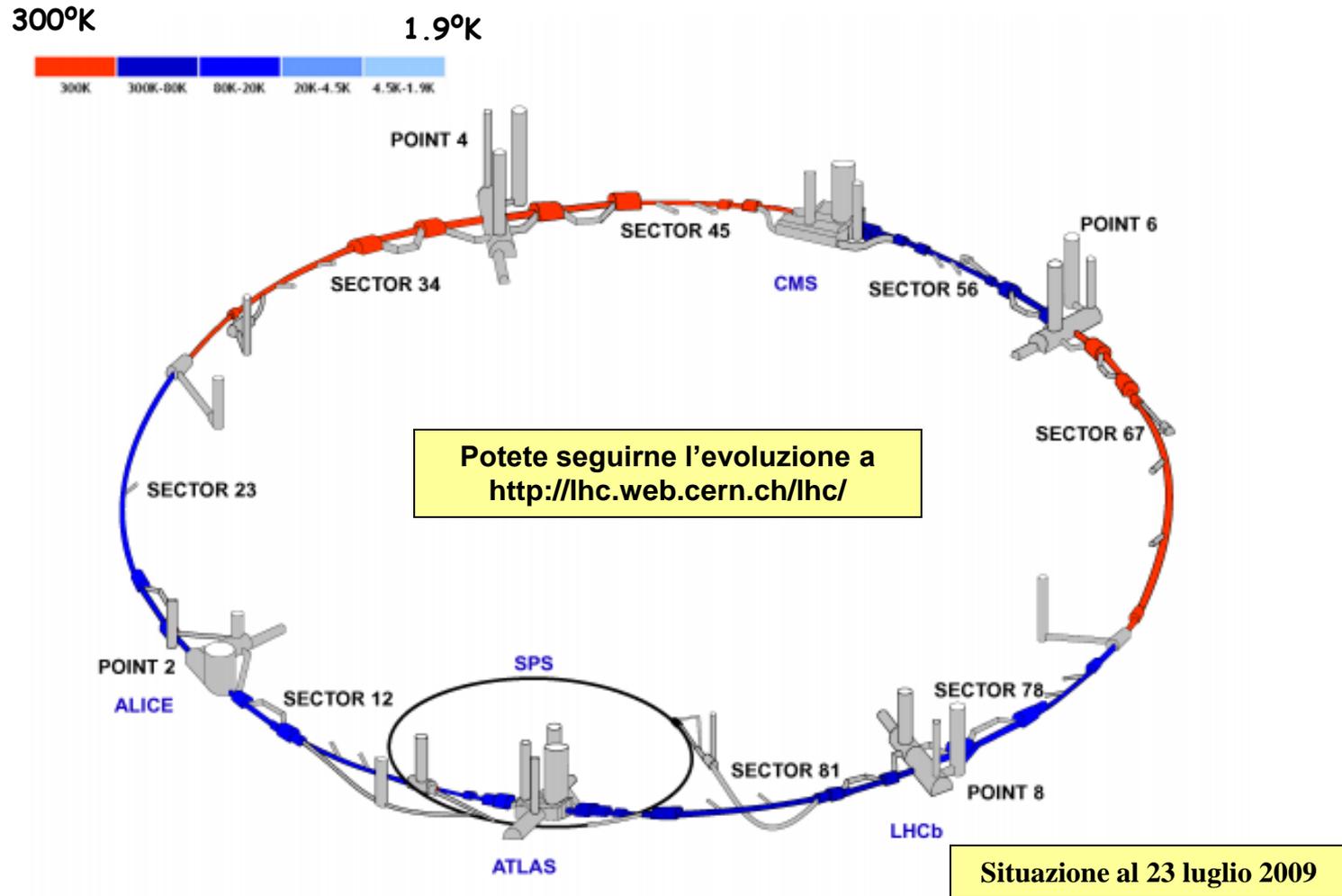
Nearly 900 new helium pressure release ports are being installed around the machine

7

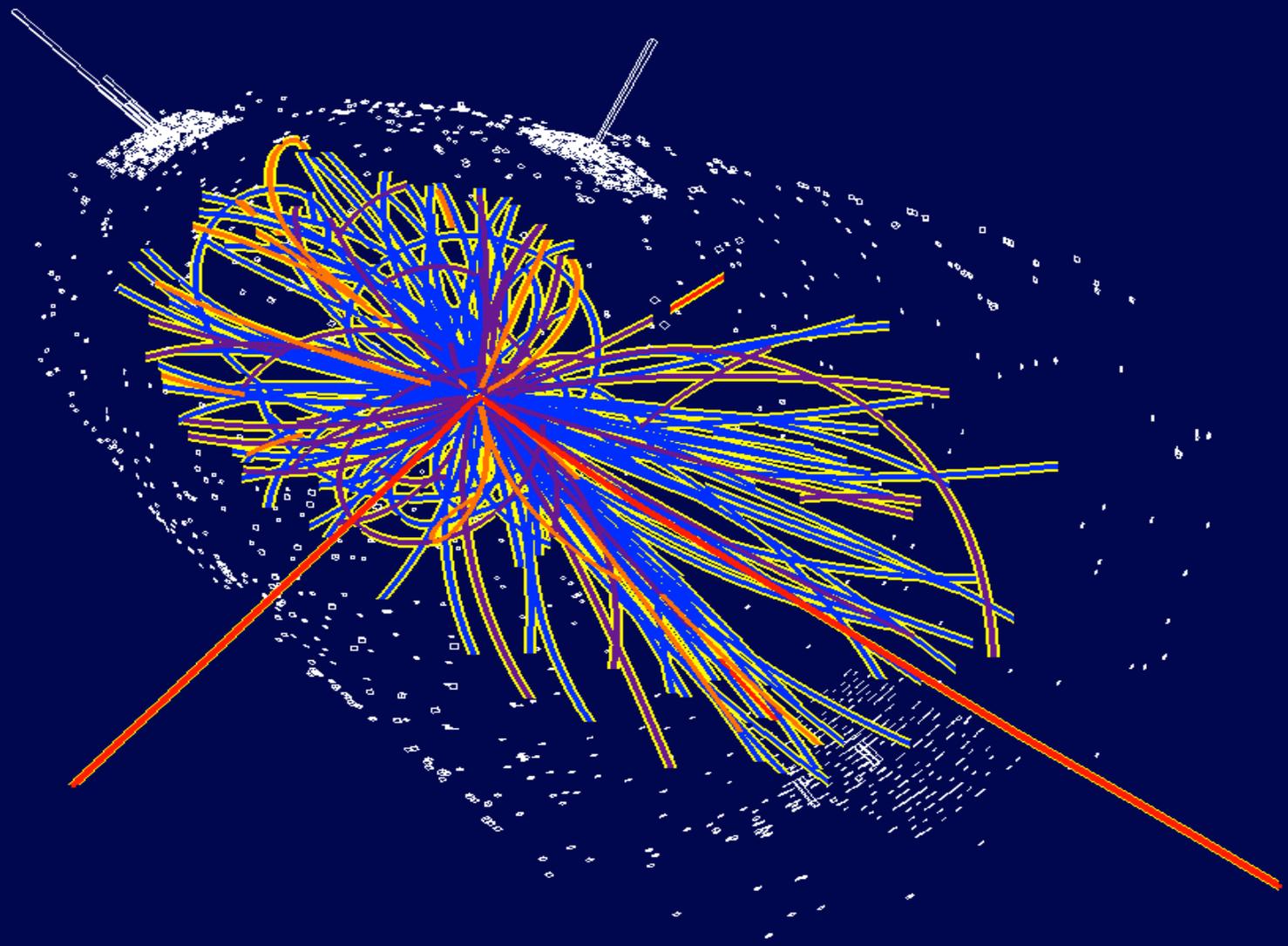


6500 new detectors are being added to the magnet protection system, requiring 250 km of cables to be laid

# Temperature nell'anello di LHC

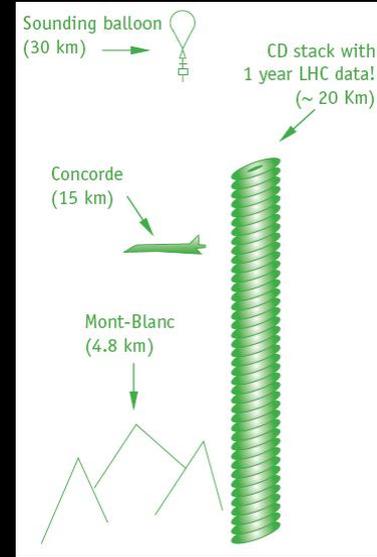


Macchina fotografica digitale di 12500 tonnellate con migliaia di milioni di pixels capace di scattare una foto tridimensionale delle collisioni protone-protone a 14 TeV di LHC 40 milioni di volte al secondo.



# The LHC Computing Grid

Scheduled = 15301  
Running = 10525

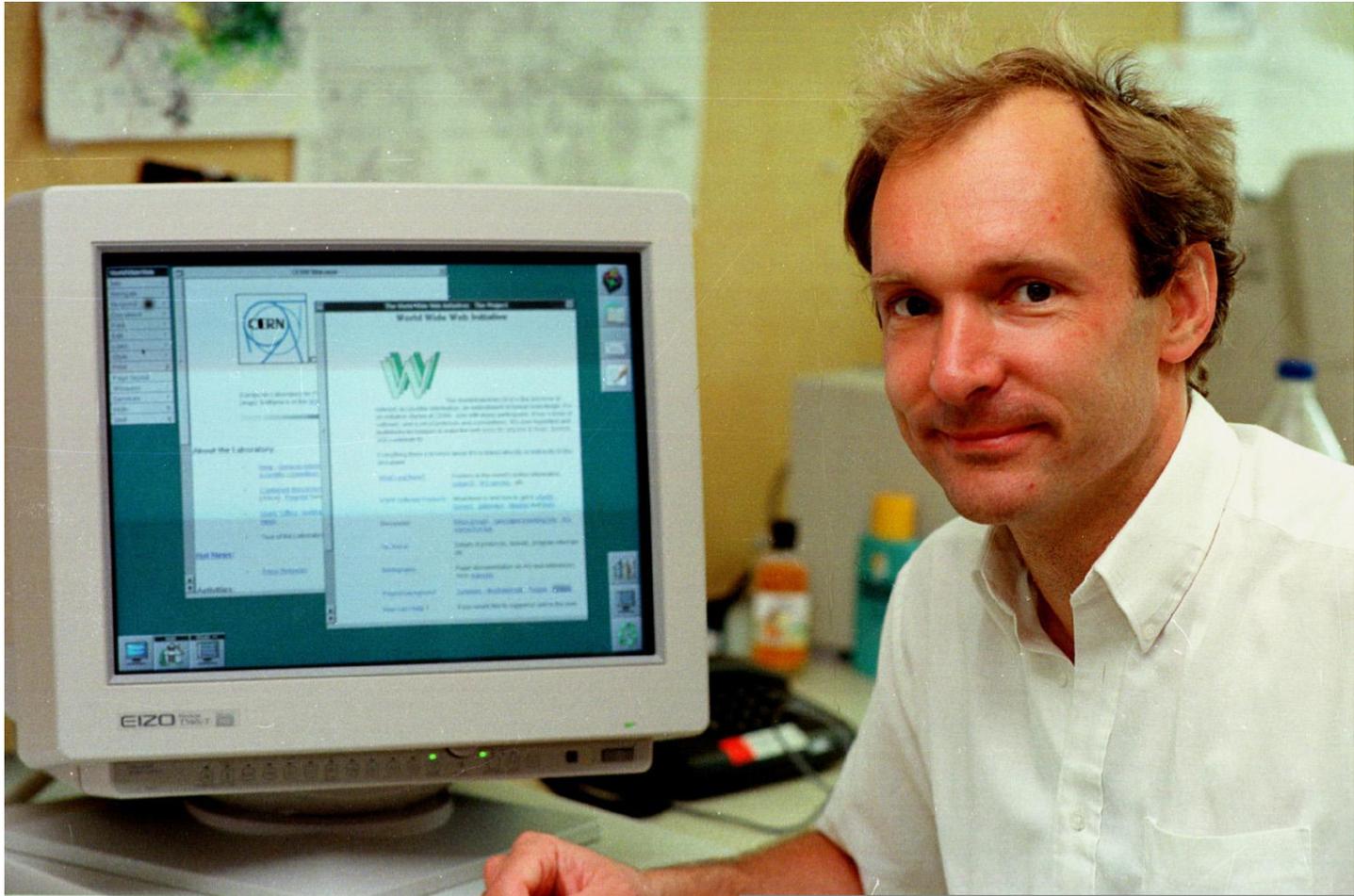


09:25:20 UTC

Gli esperimenti di LHC produrranno 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!

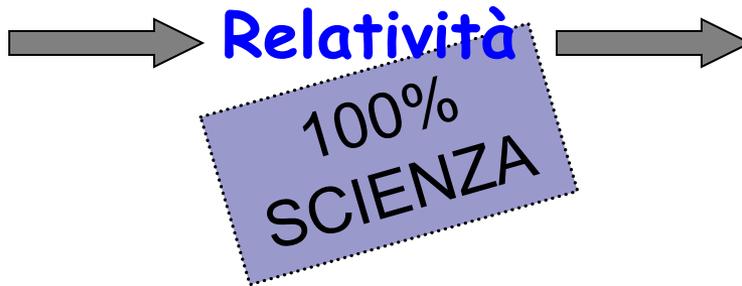
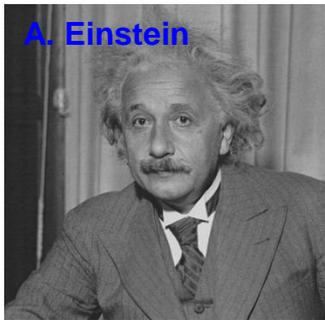
L'analisi dei dati di LHC richiederà una potenza di calcolo equivalente a ~100,000 dei più veloci processori oggi esistenti.

**La GRID è l'equivalente per la potenza di calcolo  
del WWW per la distribuzione dei dati**



**ed anche WWW è nato al CERN .....**

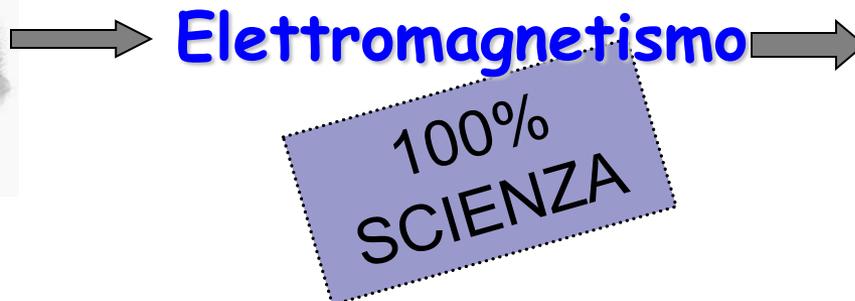
# La Ricerca Fondamentale è sempre stata una forza trainante per l'innovazione



For GPS to work, we have to take into account the correction due to time dilation. Otherwise, there would be a position error of around 10m after just 5 minutes of travel-time!

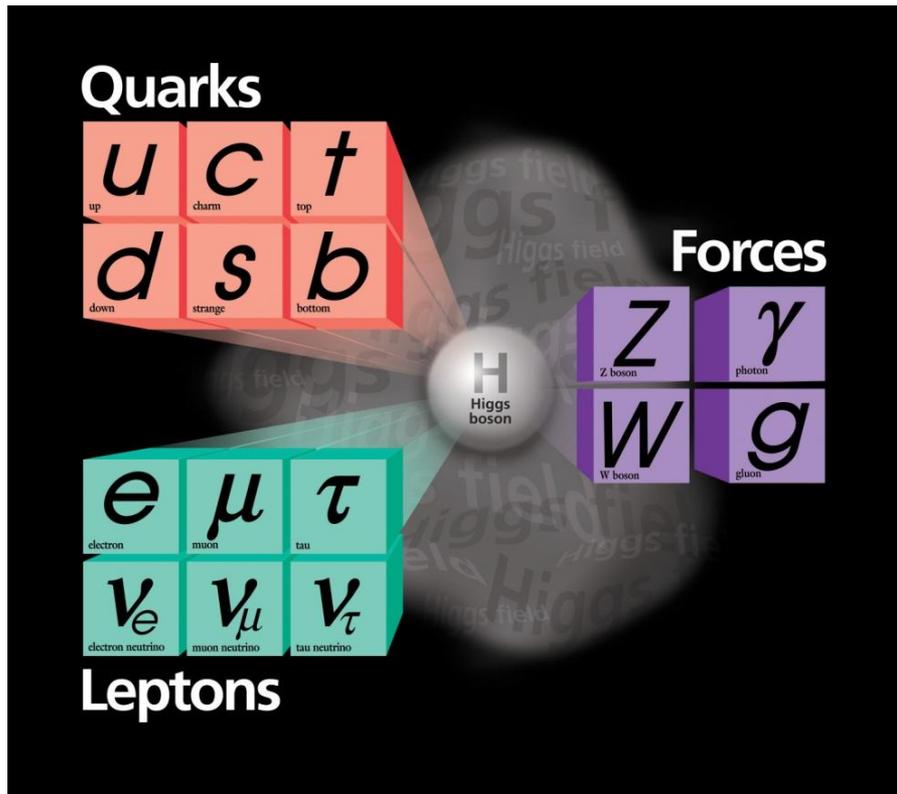


J.C. Maxwell

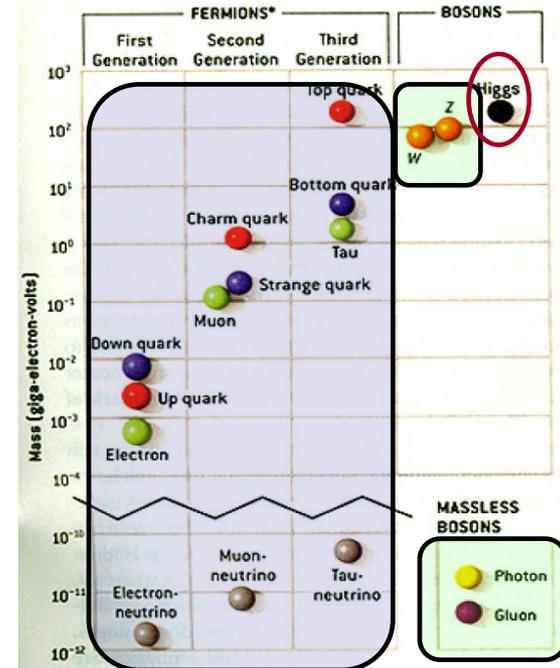


Telephones use electromagnetic waves to communicate

# Il Modello Standard



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



Le masse delle particelle di materia variano da quasi 0 a circa 170 GeV.

Le masse delle particelle delle forze variano da 0 a circa 90 GeV.

Soluzione:

un campo scalare pervade l'Universo (il campo di Higgs). Le particelle interagiscono con esso. Più forte è l'interazione più grande è la massa... ma il bosone di Higgs non è stato ancora trovato!

# Il Modello Standard e l'origine della massa

Una Stanza (l'Universo) è piena di gente comune (il campo di Higgs) che parlottano tra loro.

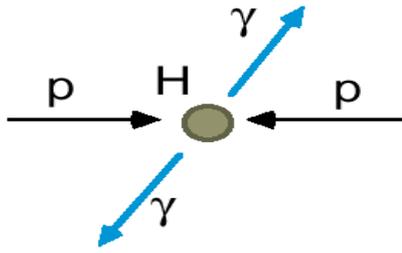
Nella stanza entra un personaggio famoso (una particella) che vuole attraversare la stanza

Piú il personaggio è famoso (maggiore è la sua massa) e maggiore è la difficoltà che ha nel muoversi (maggiore è la sua inerzia)

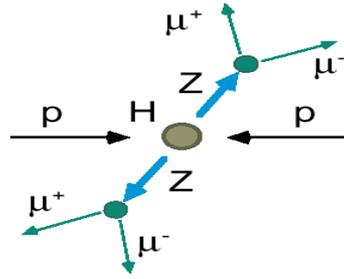


# Eventi di Higgs in CMS

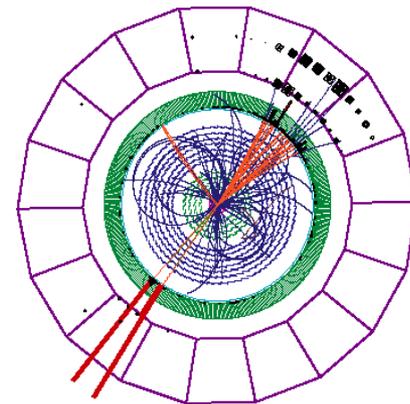
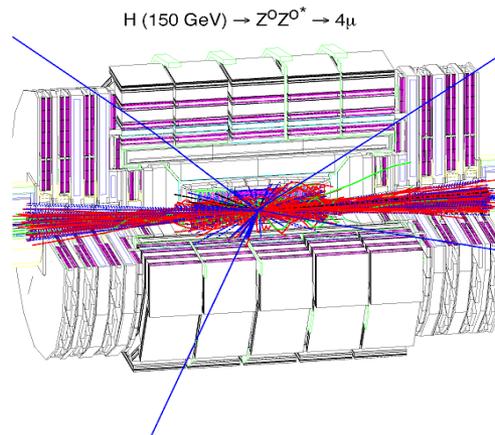
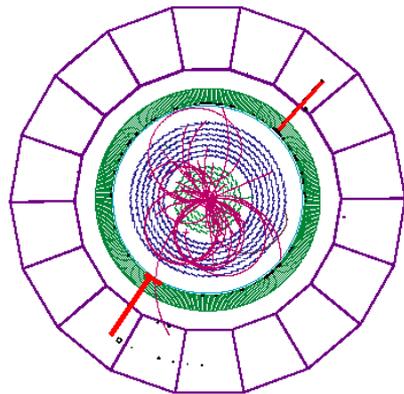
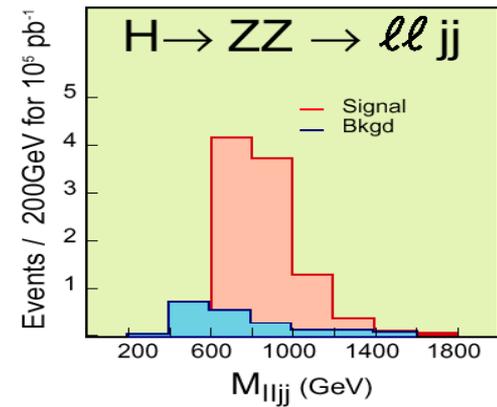
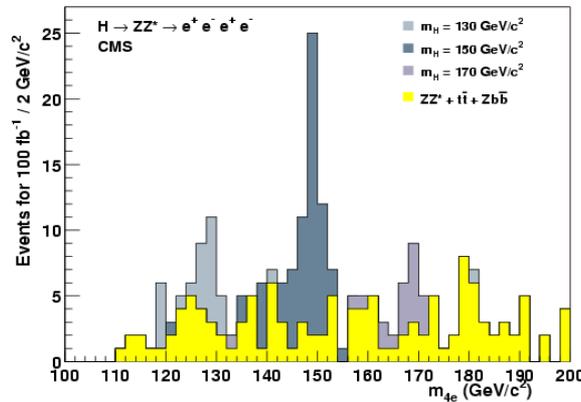
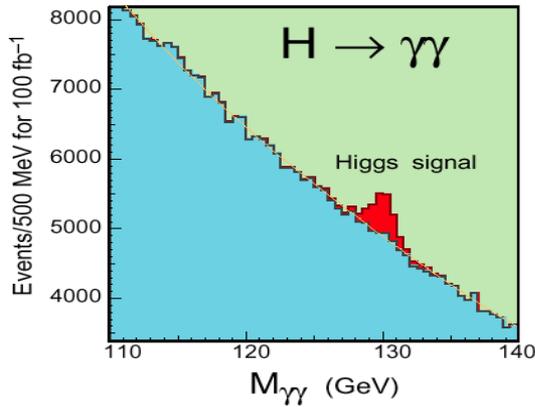
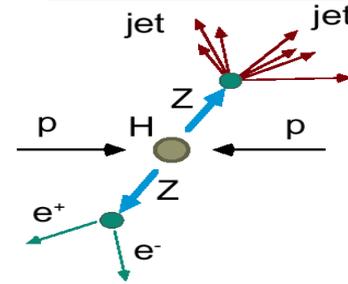
$M_H < 150 \text{ GeV}$



$130 < M_H < 500 \text{ GeV}$



$M_H > \sim 500 \text{ GeV}$



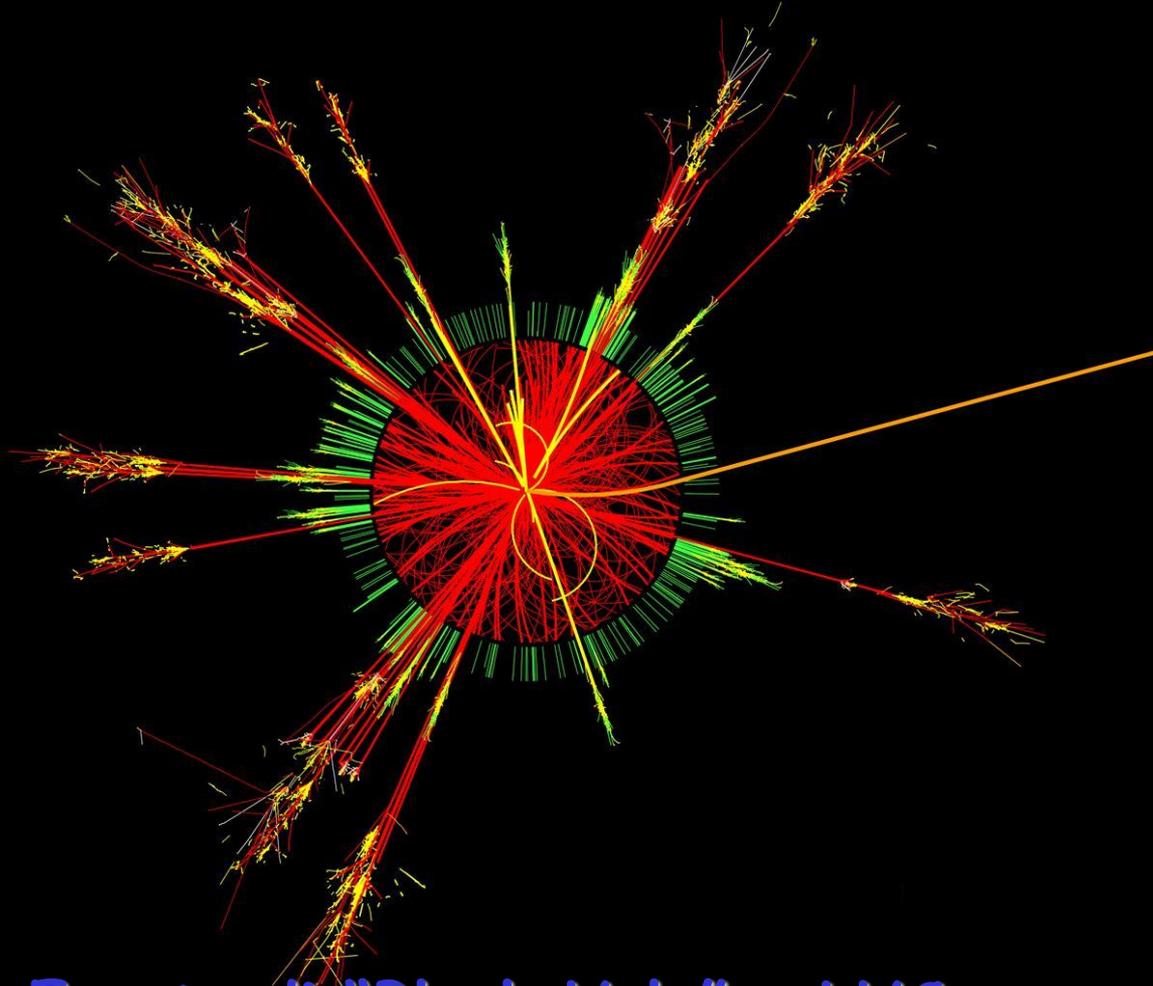
# Il Modello Standard

	Fermioni			Bosoni	
Quarks	u up	c charm	t top	g gluone	Meidatori di Forze
	d down	s strange	b bottom	$\gamma$ fotone	
Leptoni	$\nu_e$ e-neutrino	$\nu_\mu$ $\mu$ -neutrino	$\nu_\tau$ $\tau$ -neutrino	W bosone	
	e elettrone	$\mu$ muone	$\tau$ tau	Z bosone	
I Famiglie di materia			Bosone di Higgs		
II					
III					

esistono in natura, oltre alle 4 dimensioni del nostro spazio tempo, altre dimensioni nascoste accessibili solo alla gravità ?

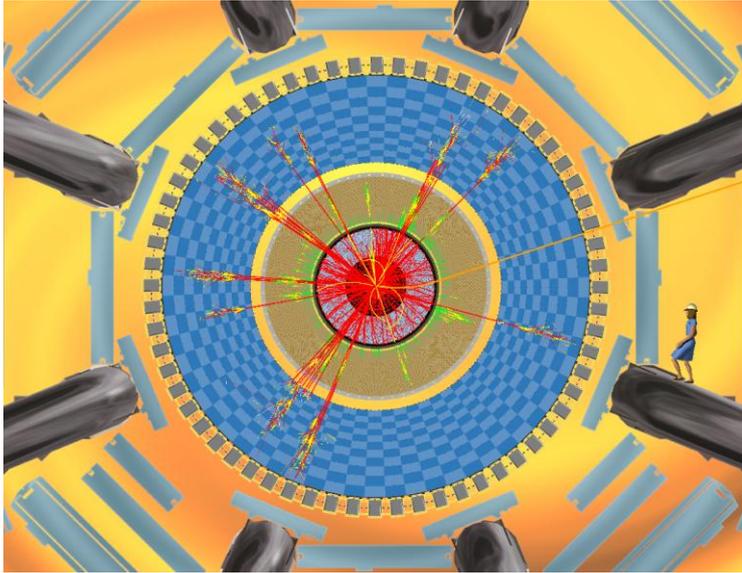


Se esistessero in natura delle dimensioni nascoste accessibili solo alla gravità, oltre alle 4 dimensioni del nostro spazio tempo, alle energie di LHC si potrebbero creare dei piccoli "Black Hole" che potrebbero essere rivelati dagli apparati sperimentali come eventi del tipo simulato in figura



Evento di "Black Hole" a LHC

# Black Holes a LHC



I black holes che potrebbero essere prodotti a LHC sono di massa piccolissima e decadrebbero immediatamente in particelle normali ben misurabili dai nostri rivelatori



I black holes a LHC non sono niente di simile ai black holes super-massivi ( $\sim 100.000$  volte la massa del sole) che si trovano sparsi nell'Universo

La paura che a LHC possa venir creato un piccolo ma vorace Buco Nero in cui la Terra venga inesorabilmente inghiottita è totalmente priva di senso !

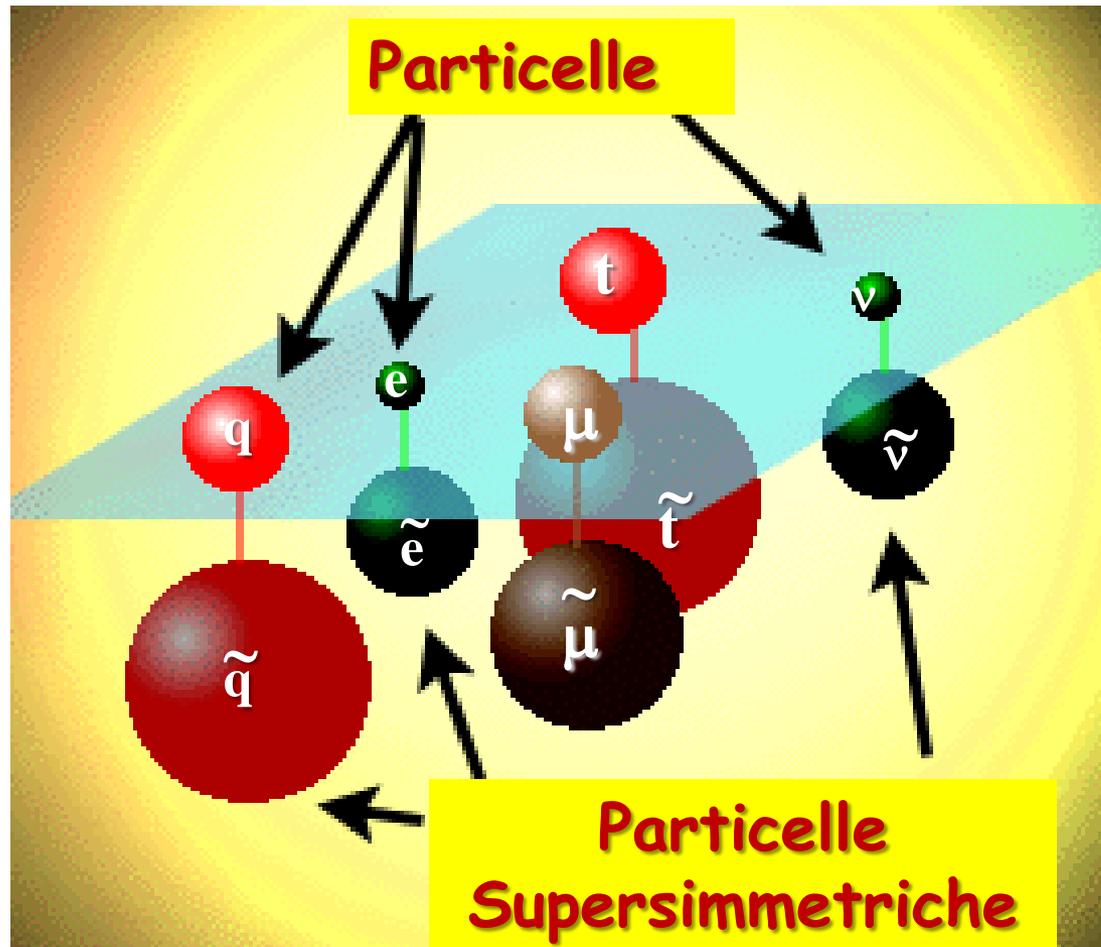
# Problema con lo Higgs dello Standard

$$m^2(p^2) = m_0^2 + \underbrace{\text{diagramma a onda}}_{J=1} + \underbrace{\text{diagramma a cerchio}}_{J=1/2} + \underbrace{\text{diagramma a anello}}_{J=0}$$

$$m^2(p^2) = m^2(\Lambda^2) + Cg^2 \int_{p^2}^{\Lambda^2} dk^2$$

- La massa dello Higgs tende a divergere mentre deve restare bassa perchè la teoria continui a fare senso.
- Questa contraddizione può essere eliminata con la supersimmetria.

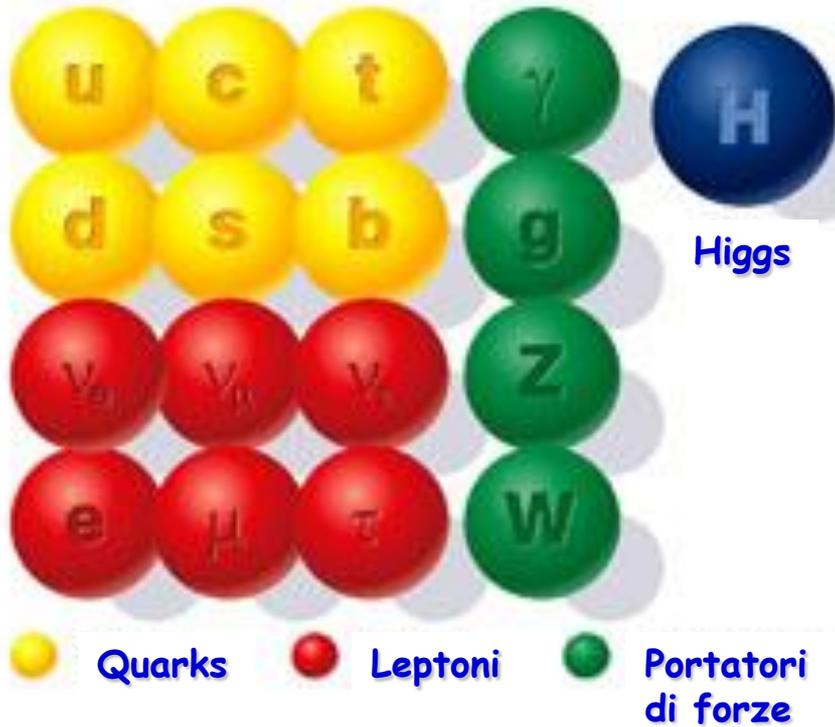
L'inconsistenza del modello potrebbe essere risolta se esistesse un mondo di particelle supersimmetriche corrispondente al mondo delle particelle standard ma con masse molto più grandi ( e che per questo motivo non sono ancora state osservate).



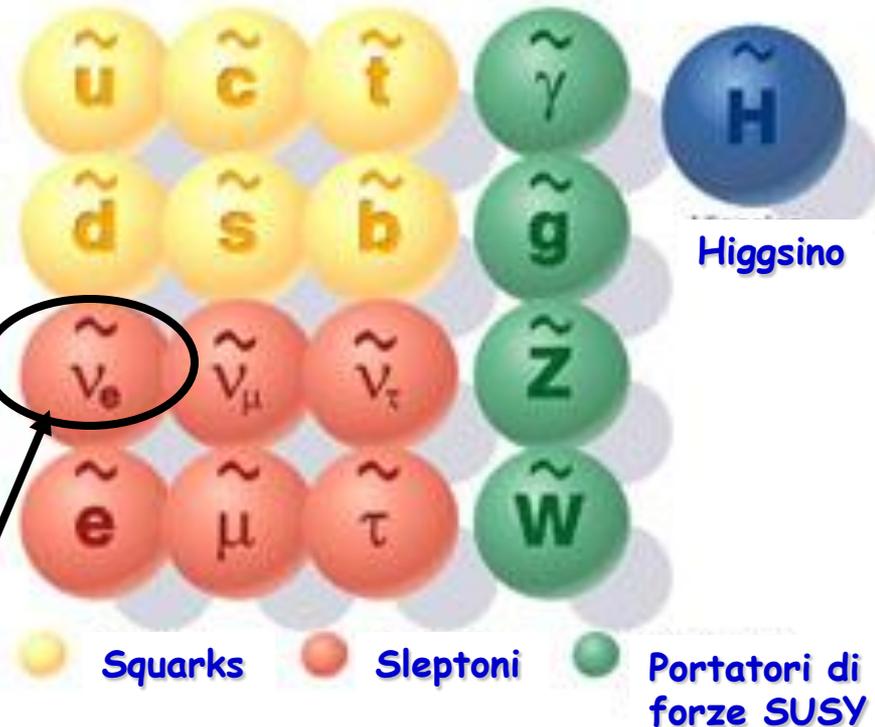
$$m_{\tilde{p}} \gg m_p$$

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



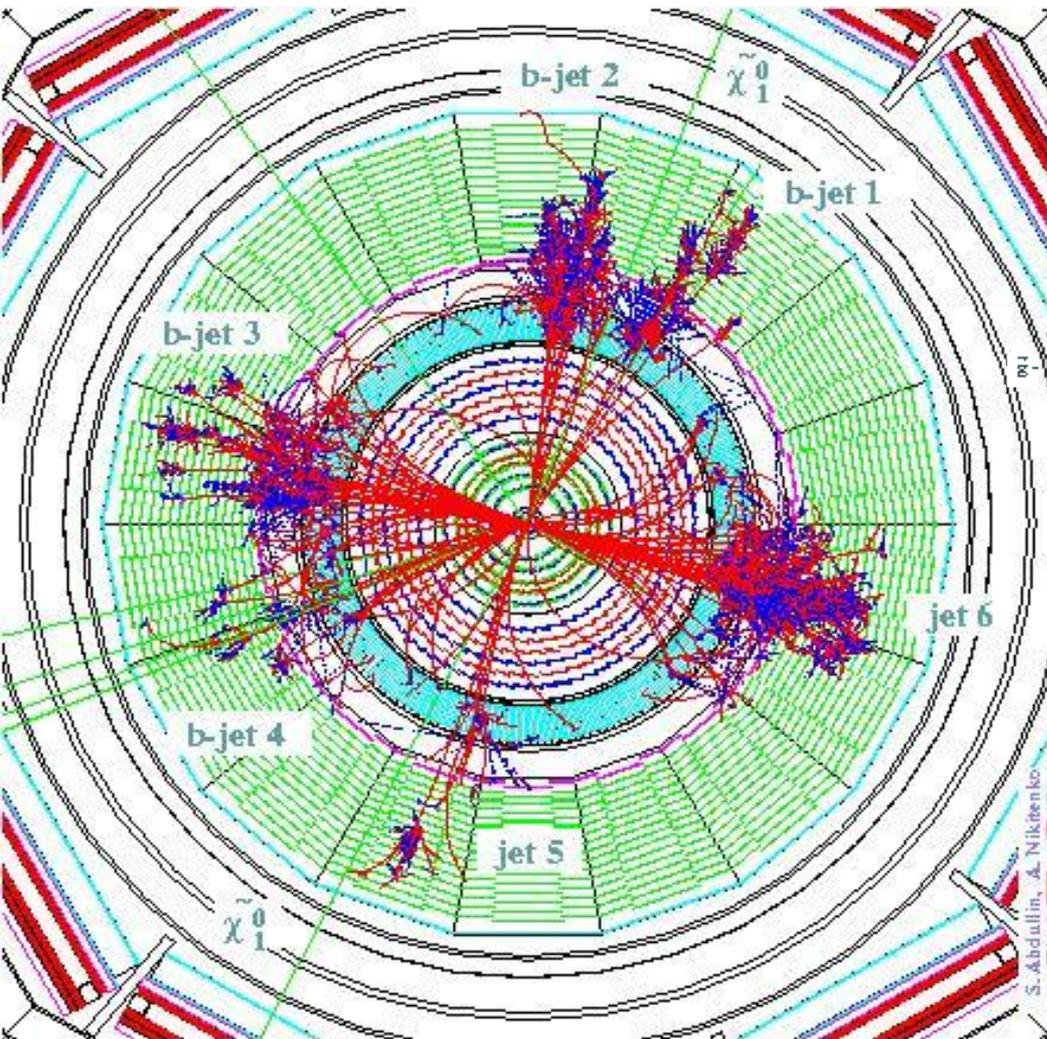
### Particelle Supersimmetriche (SUSY)



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

# 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)

$$m(\tilde{g})=1266 \text{ GeV} ; m(\tilde{t}_1)=1026 \text{ GeV}$$

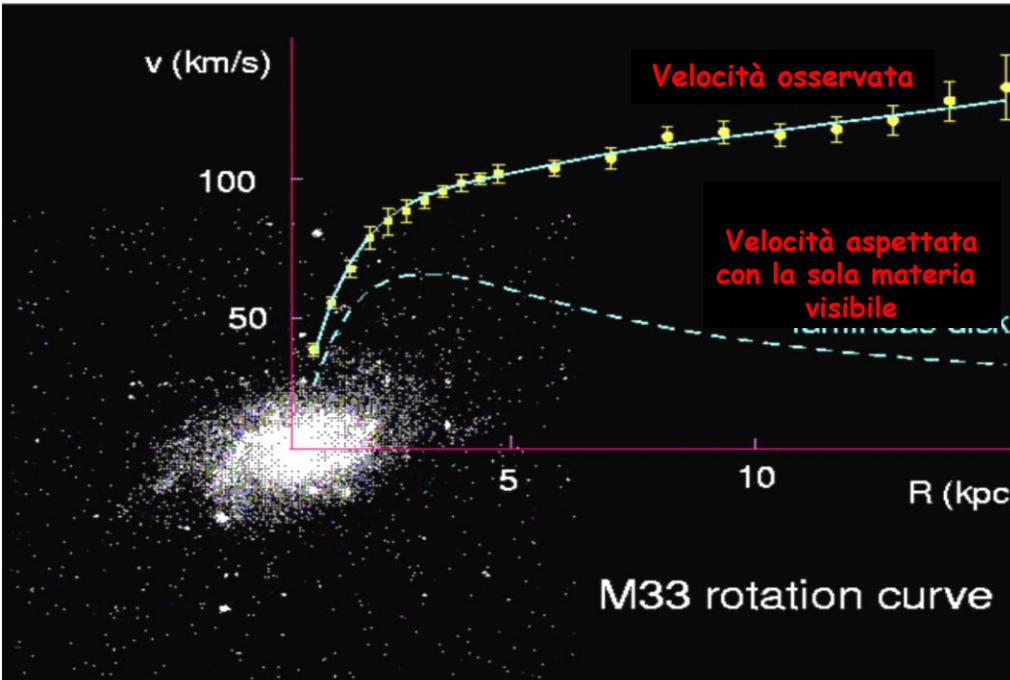
$$m(\tilde{u}_L)=1450 \text{ GeV} ; m(\tilde{\chi}_2^0)=410 \text{ GeV} ;$$

$$m(\tilde{\chi}_1^0)=214 \text{ GeV} ; m(h)=119 \text{ GeV}$$

S. Abdullin, A. Nikitenko

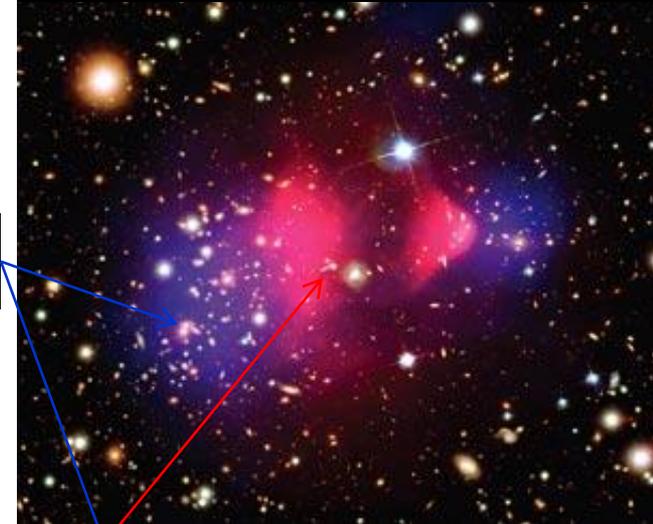
# Manifestazioni della Materia Oscura

**Galassia M33**  
**Velocità di rotazione**



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

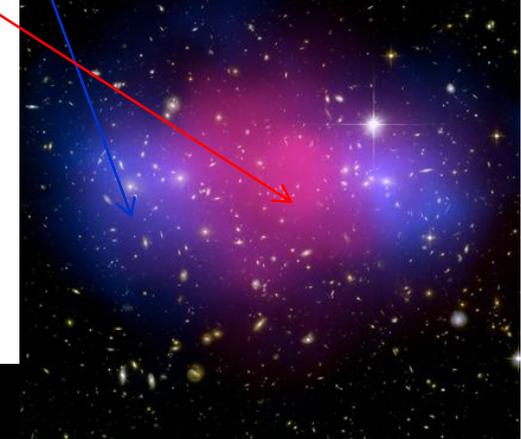
**Il "Bullet Cluster"**  
Formatosi dalla collisione di due grandi cluster di galassie



Materia oscura?

Gas ad alta temperatura

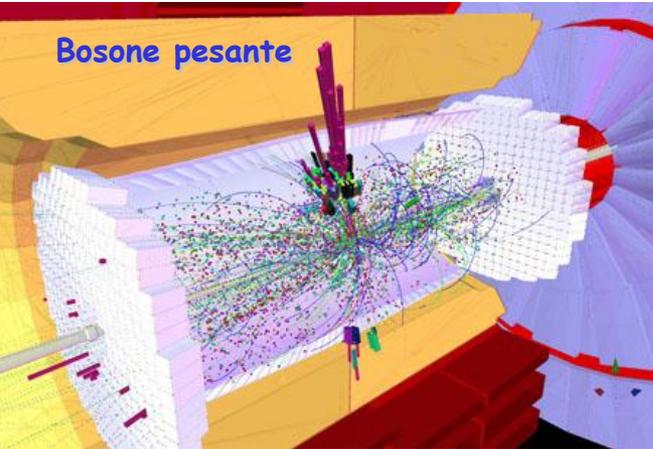
**MACS J0025.4-1222**



Chandra X-ray Observatory and Hubble Space Telescope

# Altri eventi spettacolari non prevedibili potrebbero indicare l'esistenza di nuova fisica

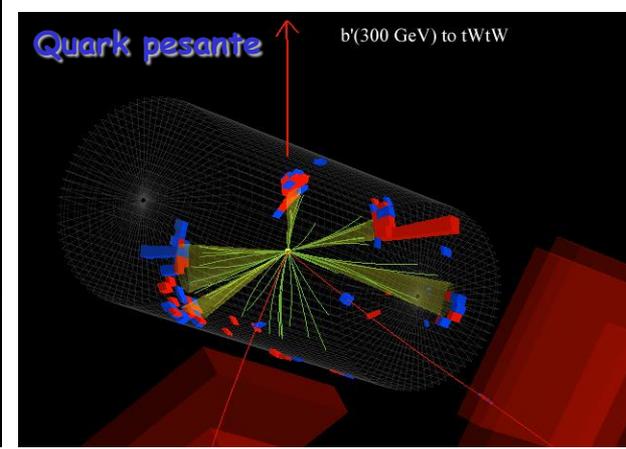
Bosone pesante



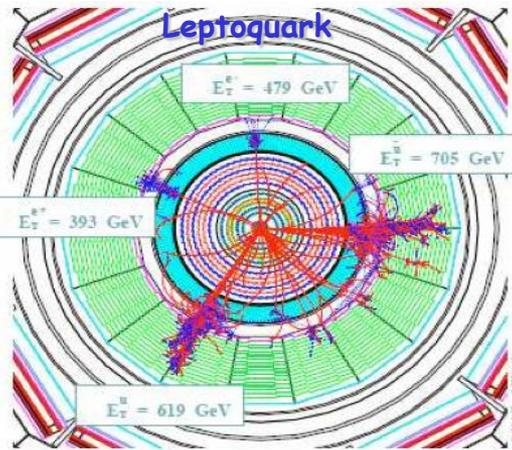
Supersimmetria



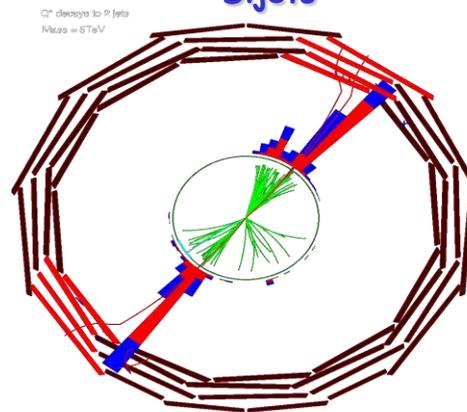
Quark pesante



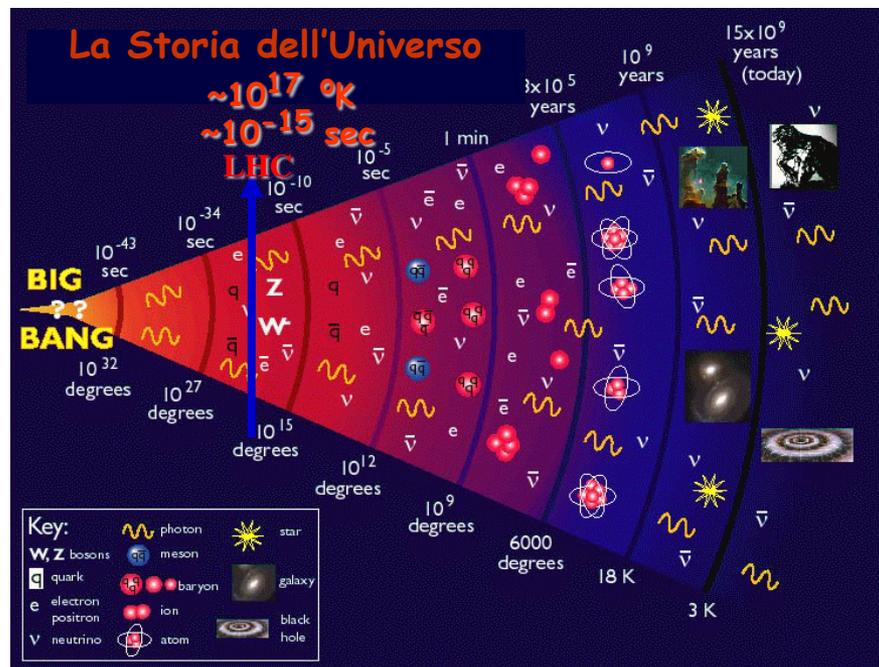
Leptoquark



Dijets



- \* 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 ..... ? ? ? ?



Riprodurre in laboratorio le stesse condizioni in cui si trovavano i costituenti di due protoni meno di un milionesimo di miliardesimo di secondo dopo il Big Bang, 13.7 miliardi di anni fa, ci permetterà di ampliare la nostra comprensione di come è nato e di come si è evoluto l'Universo.

Non sappiamo quale nuova fisica troveremo a LHC, ma siamo sicuri che quello che troveremo aprirà un nuovo e affascinante orizzonte ad una nostra sempre più profonda conoscenza della natura.

# ALTRE SLIDES

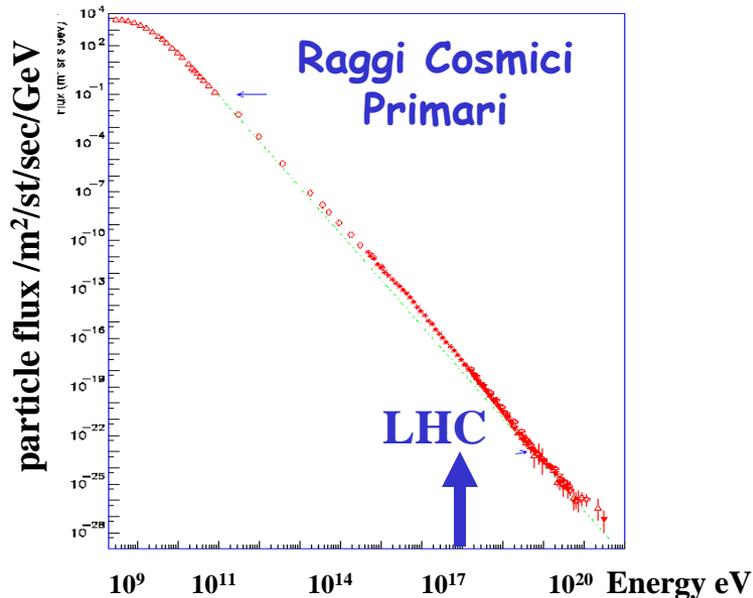
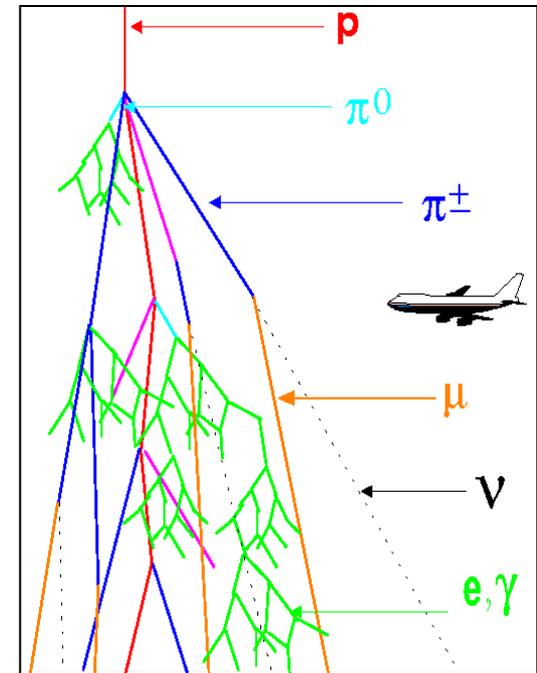
# Raggi Cosmici

I raggi cosmici primari producono sciami di particelle nell'atmosfera

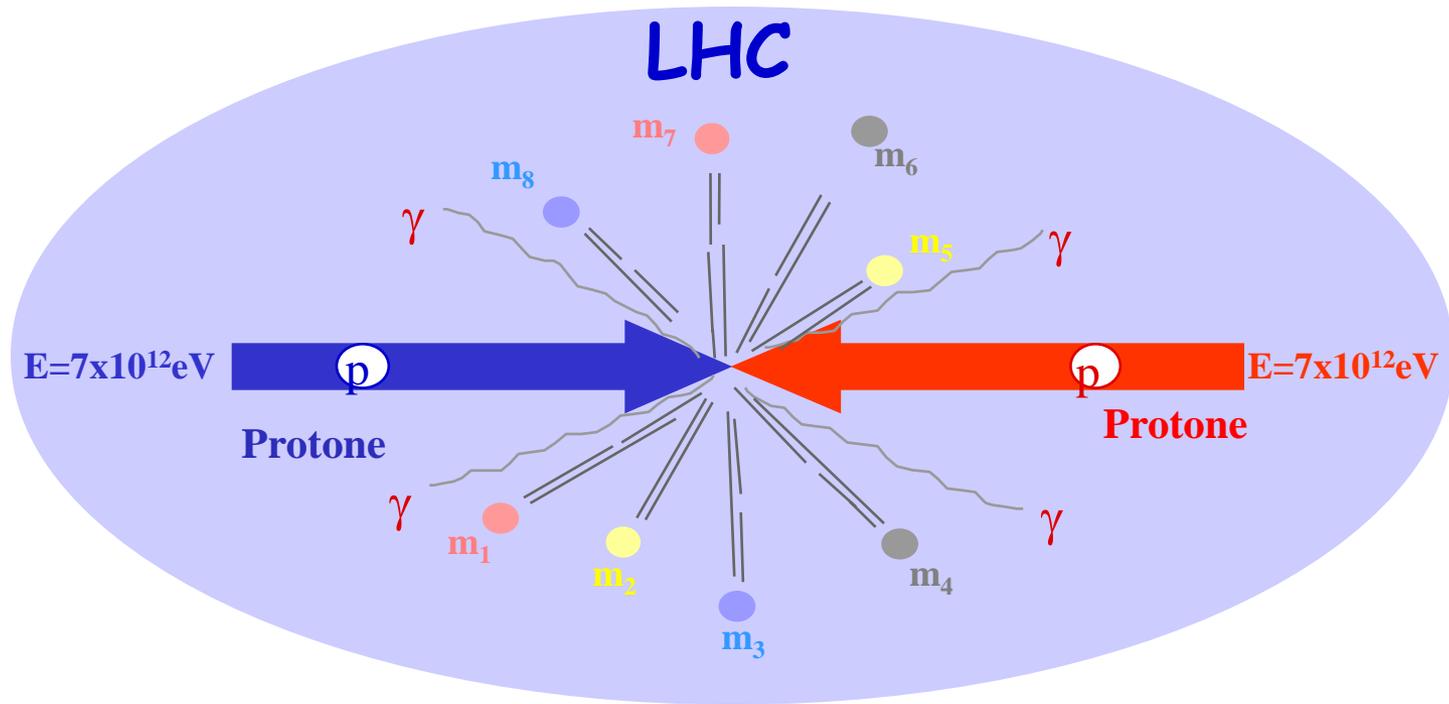


Sulla superficie della Terra :~ 1/sec/dm<sup>2</sup>

Raggi cosmici primari:  
p 80 %,  $\alpha$  9 %, n 8 %  
e 2 %, heavy nuclei 1 %  
 $\gamma$  0.1 %,  $\nu$  0.1 %

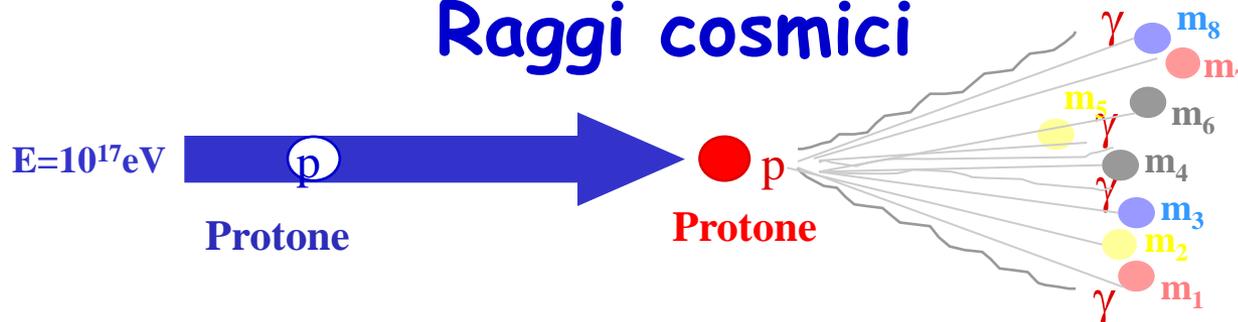


Raggi cosmici secondari  
sulla superficie della Terra:  
 $\nu$  68% ;  $\mu$  30% ; p,n,..2%



$E_{\text{CM}} = 14 \text{ TeV}$

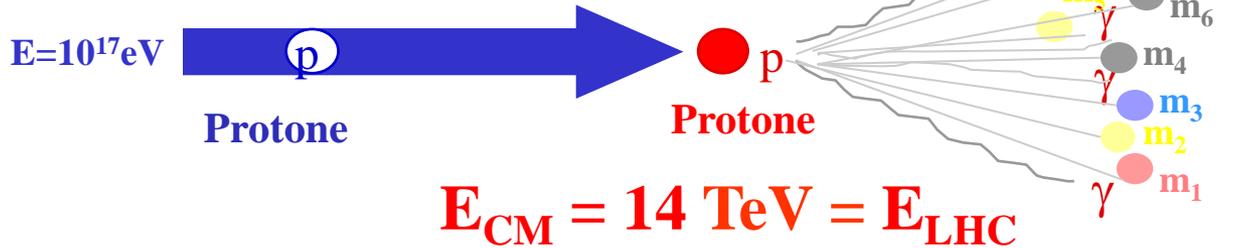
**Raggi cosmici**



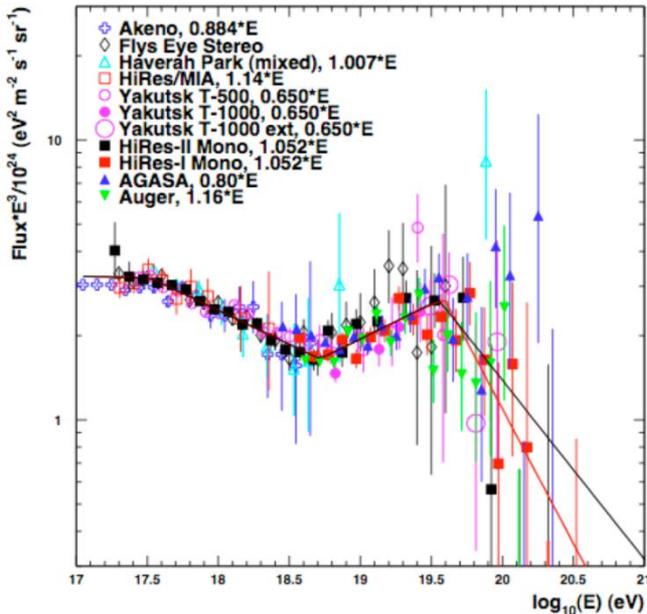
**Nelle due collisioni vengono prodotti gli stessi tipi di eventi**

# 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  $3 \times 10^{22}$  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  $3 \times 10^{13}$  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...**

# Conclusioni

Riprodurre in laboratorio le stesse condizioni in cui si trovavano i costituenti di due protoni meno di un milionesimo di miliardesimo di secondo dopo il Big Bang ci permetterà di ampliare la nostra comprensione di come è nato e di come si è evoluto l'Universo.

Non sappiamo quale nuova fisica troveremo a LHC, ma siamo certi che non produrremo eventi che siano in qualche modo pericolosi né per noi né tantomeno per la terra...

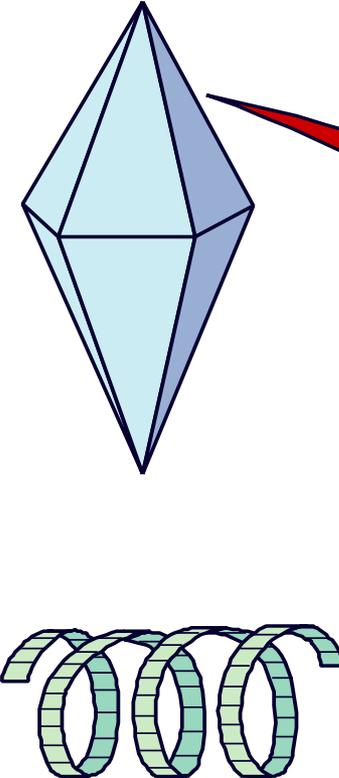
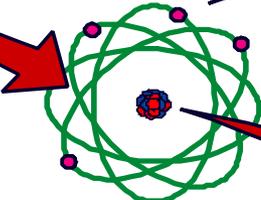
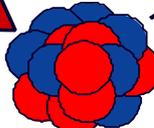
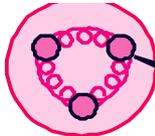
**la Terra, il Sole e le altre stelle continueranno ad esistere !**

Queste sono le ovvie conclusioni a cui sono giunti comitati di scienziati di indiscussa fama internazionale.

**La paura che a LHC possa venir creato un piccolo ma vorace Buco Nero in cui la Terra venga inesorabilmente inghiottita è totalmente priva di senso !**

Crediamo invece che riproducendo nel laboratorio di LHC quegli eventi che avvenivano 14 miliardi di anni fa nell'Universo appena nato **apriremo un nuovo e affascinante orizzonte ad una nostra sempre più profonda conoscenza della natura.**

# Le dimensioni della materia

Cristallo Molecola	Atomo	Nucleo dell'atomo	Particelle elementari	Modello Standard
			<p>Adroni</p> <p>Mesoni</p>  <p>Barioni</p>  <p>Protone Neutrone</p>	 <p>Leptoni <math>e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau</math></p> <p>Particelle puntiformi ?</p>  <p>Quarks <math>u, c, d, s, b, (t)</math></p> <p>LHC <math>10^{-19}\text{cm}</math> decimiliardesimo di miliardesimo di cm</p>
1 cm	$10^{-8}\text{cm}$	$10^{-12}\text{cm}$	$10^{-13}\text{cm}$	?

centesimo di milionesimo di cm    millesimo di miliardesimo di cm    decimillesimo di miliardesimo di cm

# The BIG BANG

$10^{-34}$  m

$10^{-16}$

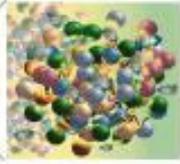
$10^{-10}$

$10^{-6}$

1 m

$10^6$

$10^{26}$



Particella di Higgs

ELECTRON

ATOM

NUCLEUS

QUARK

Molecola DNA / Virus



Raggio terrestre



Raggio dell'Universo



PARTICLE BEAMS



HUBBLE TELESCOPE



The Universe

Strumenti diversi sono necessari per osservare oggetti di dimensione diversa.

Solo con gli acceleratori si possono studiare le particelle elementari.

# L'Antimateria

## Le antiparticelle :

Per ogni particella esiste la sua antiparticella:

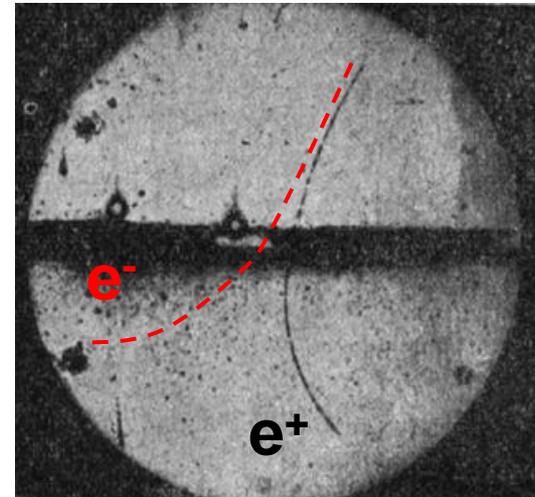
$p \rightarrow \bar{p}$  = antiprotone **carica -**

$n \rightarrow \bar{n}$  = antineutrone **carica 0**

$e^- \rightarrow e^+$  = positrone

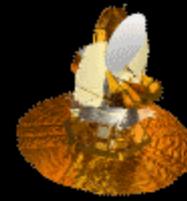
$\mu^- \rightarrow \mu^+$ ,  $\pi^- \rightarrow \pi^+$ ,  $\nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e$  etc..

stessa massa, stesso spin, stesso tempo di vita (per particelle instabili),  
**ma cariche opposte.**

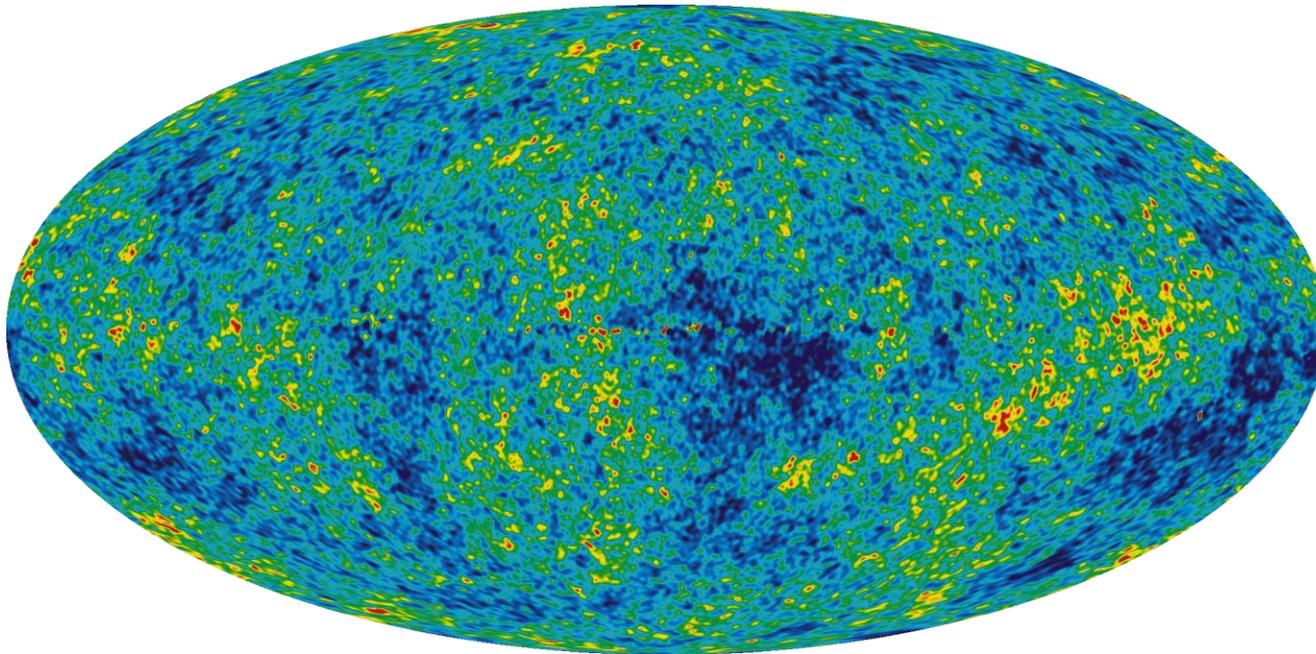


1932: viene scoperto (C.Anderson)  
il positrone, predetto dalla teoria  
di P.Dirac (1928)

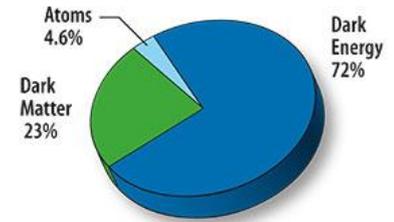
# WMAP



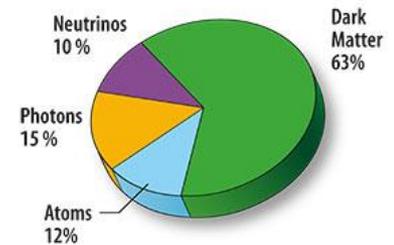
La luce più vecchia dell'Universo (380.000 anni)  
Temperatura media 2.725 °K  
(fluttuazioni di 0.0002 gradi)



## Composizione materia-energia



oggi



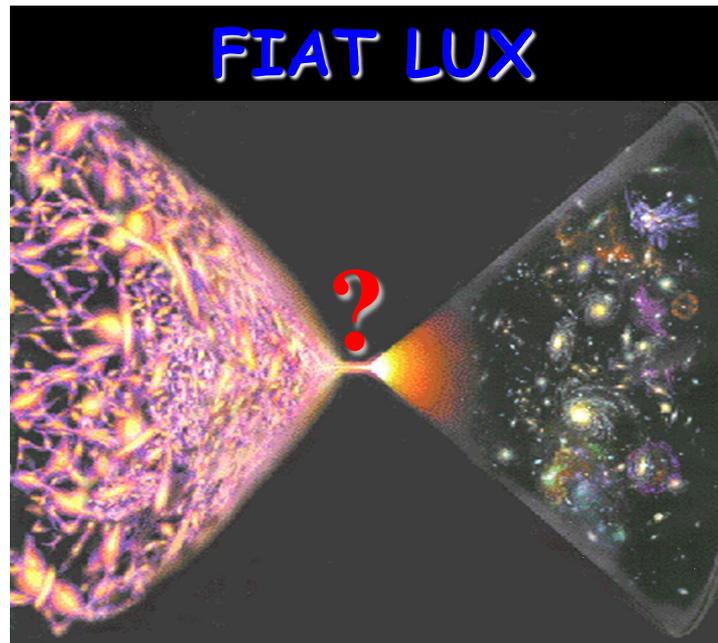
dopo 380.000 anni



**Mitologia Norrea (scandinava):** Quando il ghiaccio di Niflheim entra in contatto con il fuoco di Muspell, il gigante Ymir e la mucca cosmica, Auohumla emergono dal ghiaccio. Ymir si nutre del latte della mucca e genera i giganti, la mucca lecca il ghiaccio e genera gli dei...



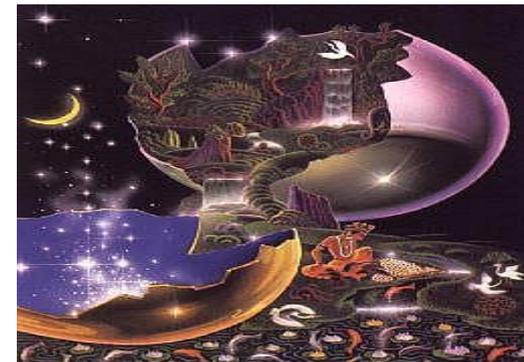
**Zoroastrismo.** Ahura Mazda creò 16 terre che fossero sorgente di bene; Angra Mainyu intervenne con una contro-creazione introducendo il male.



**Una storia di creazione egiziana.** Da Nun, il caos, emerse Ra. Ra generò un pantheon di dei, cioè la terra, il cielo etc.. Gli umani sono le lacrime di Ra.



**Una storia di creazione cinese:** Phan Ku nacque da un uovo e crebbe per 18.000 anni. La parte più leggera del guscio formò il cielo e quella più pesante la terra. Quando morì ed i suoi resti divennero il sole e la luna. Gli uomini sono i parassiti del suo corpo.

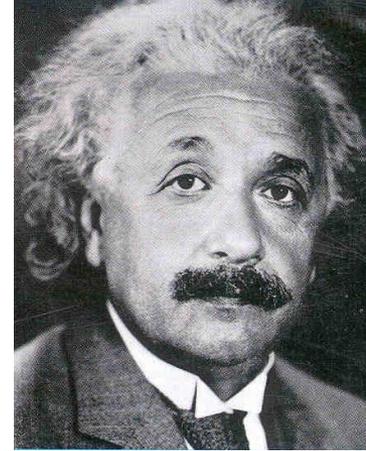


**Una storia di creazione indù:** Brahma nacque da un uovo e i resti dell'uovo divennero l'Universo.



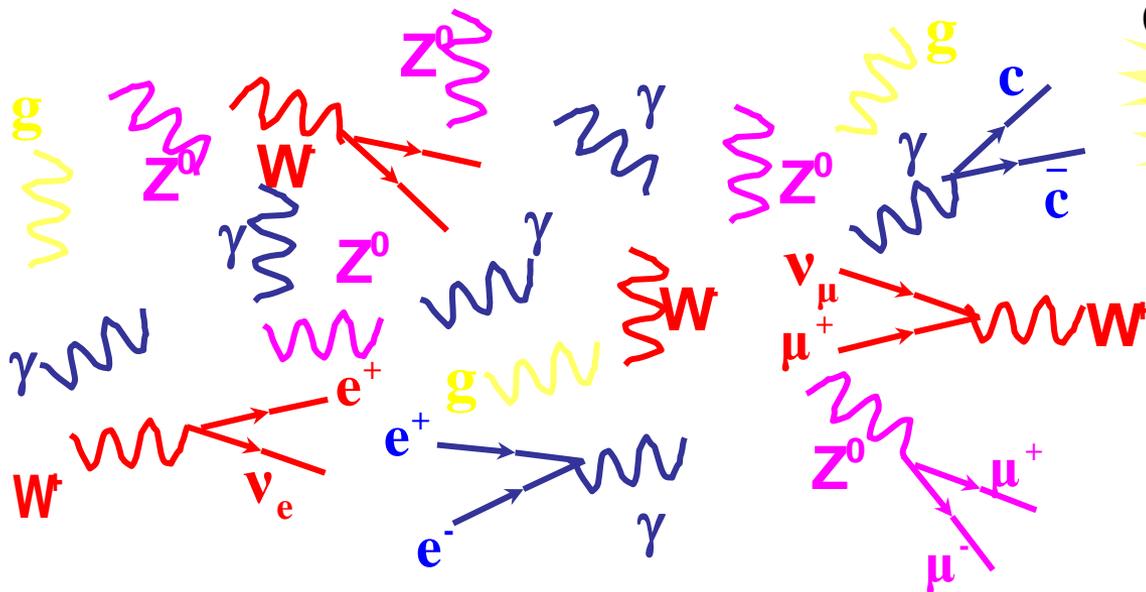
**Creazione Giudeo-Cristiana-Islamica.** All'inizio Dio creò il cielo e la terra....

# L'evoluzione dell'Universo



- 1<sup>0</sup> tappa : l'inflazione

- $t_0$ : big-bang : énergia infinita concentrata in un punto.  
inflazione : l'Universo cresce di un fattore  $10^{30}$  in  $10^{-35}$  s
- $t_0 + 10^{-12}$  s:                    1000 GeV



Creazione di coppie  
 énergia  $\rightarrow e^+ + e^-$   
 énergia  $\rightarrow q + \bar{q}$

$E = mc^2$ , Einstein

Annichilazioni:  
 $e^+ + e^- \rightarrow$  energia  
 $q + \bar{q} \rightarrow$  energia

Leggera asimmetria materia antimateria :  $N_q \approx 1,0000000001 N_{\bar{q}}$

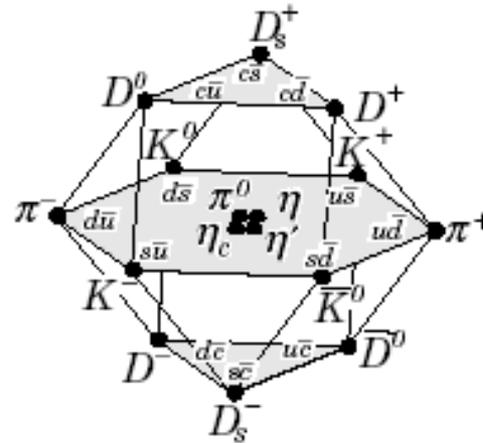
# MESONS $\equiv q_1 \bar{q}_2$

Spin:  $\frac{1}{2} \otimes \frac{1}{2} \rightarrow J = 0, 1$

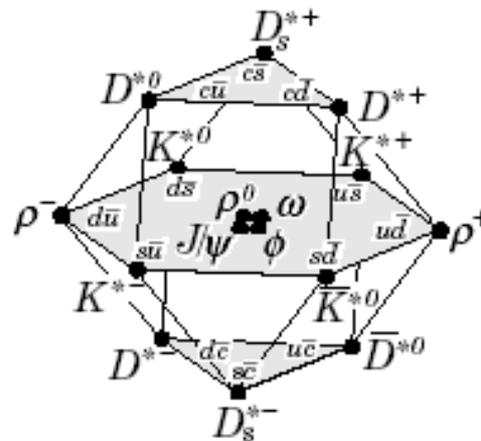
SU(4):  $u, d, s, c$

( $L = 0$ )

$J = 0$



$J = 1$



# BARYONS $\equiv q_1 q_2 q_3$

Baryon Number:

$$B(q_i) = \frac{1}{3}$$

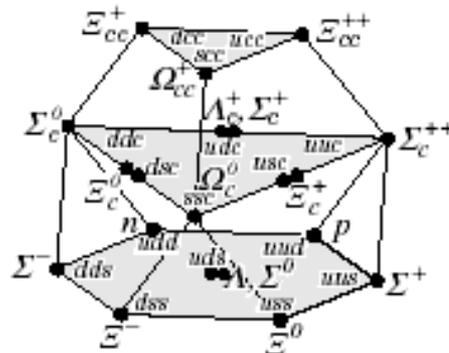
Spin:  $\frac{1}{2} \otimes \frac{1}{2} \otimes \frac{1}{2}$

$$\rightarrow J = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}$$

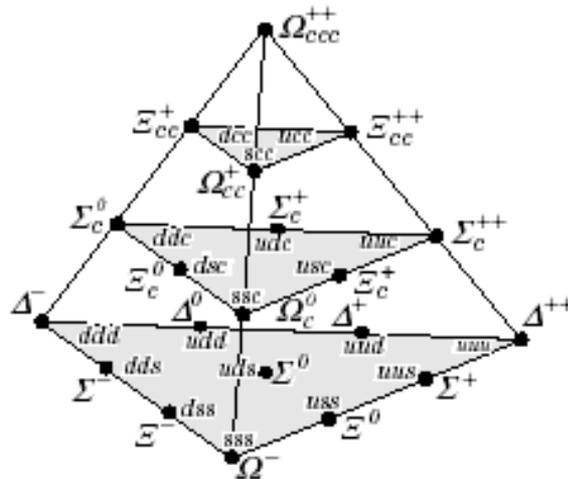
SU(4):  $u, d, s, c$

( $L=0$ )

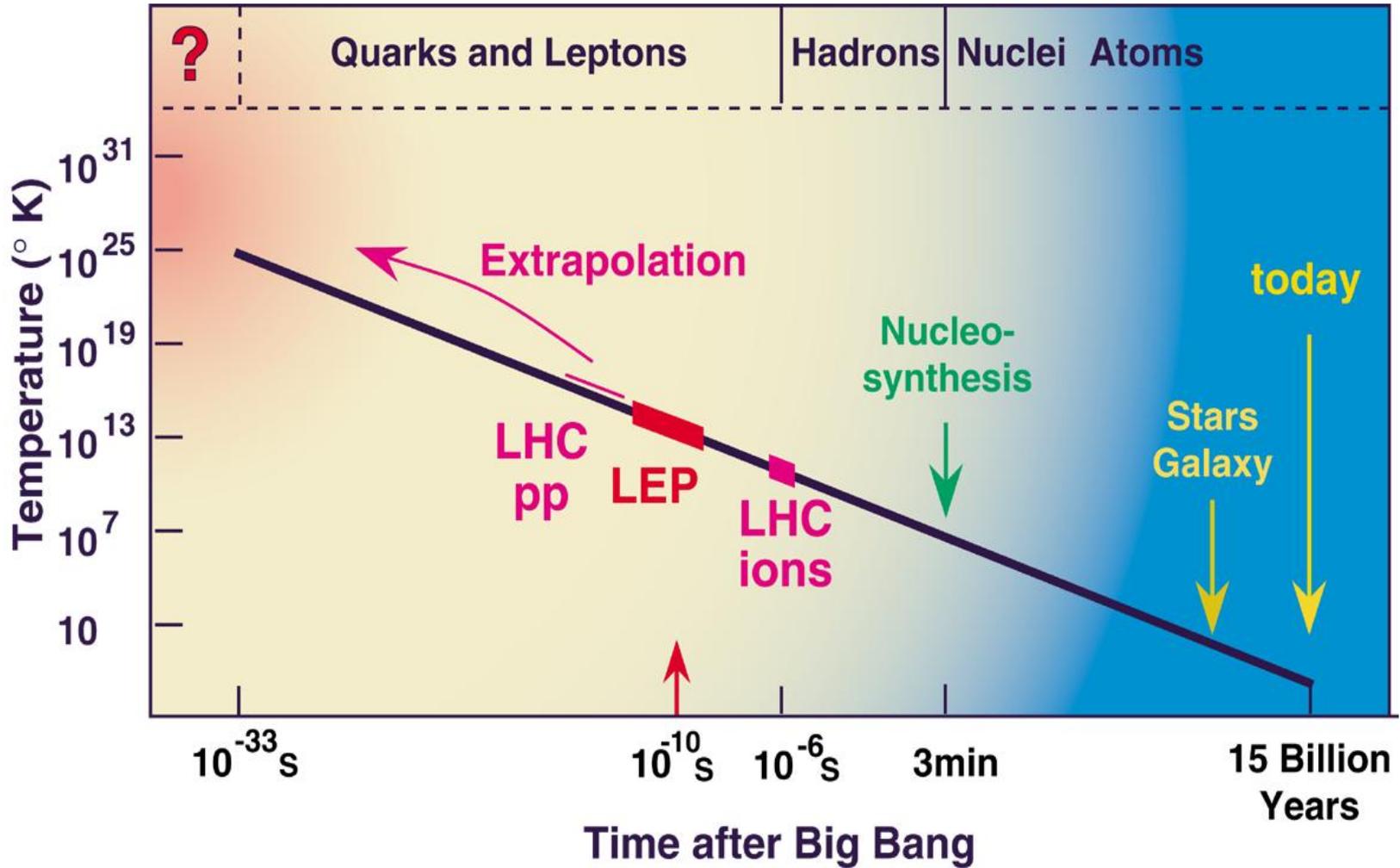
$J = \frac{1}{2}$



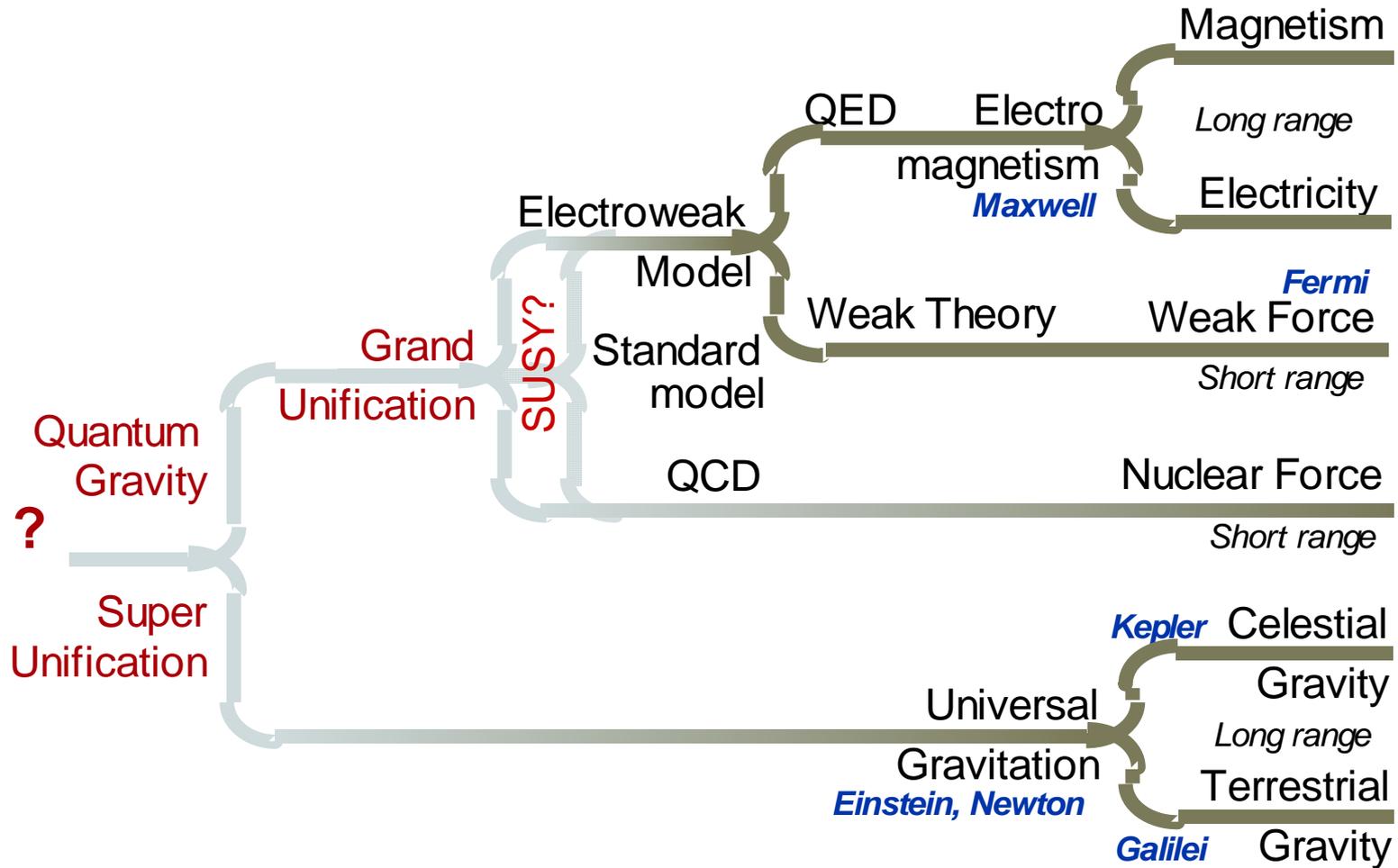
$J = \frac{3}{2}$



# Verso l'origine dell'Universo

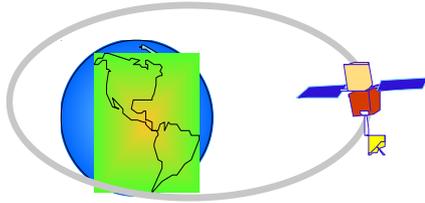


# Unificazione delle Forze



Theories:		
STRINGS?	RELATIVISTIC/QUANTUM	CLASSICAL

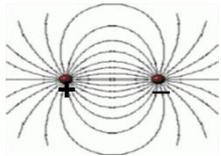
# Unificazione delle Forze



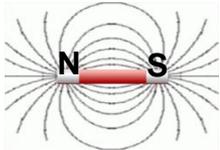
Terrestrial mechanics

Celestial mechanics

**Universal Gravitation**  
Inertial vs. Gravitational mass  
(I. Newton, 1687)

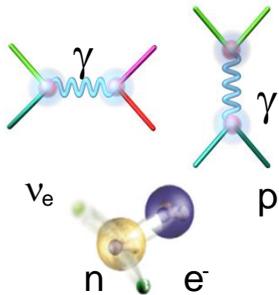


Electricity



Magnetism

**Electromagnetism**  
Electromagnetic waves (photon)  
(J.C. Maxwell, 1860)



Electromagnetism

Weak force

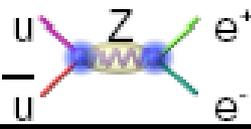
**Electroweak**  
Intermediate bosons W, Z  
(1970-83)

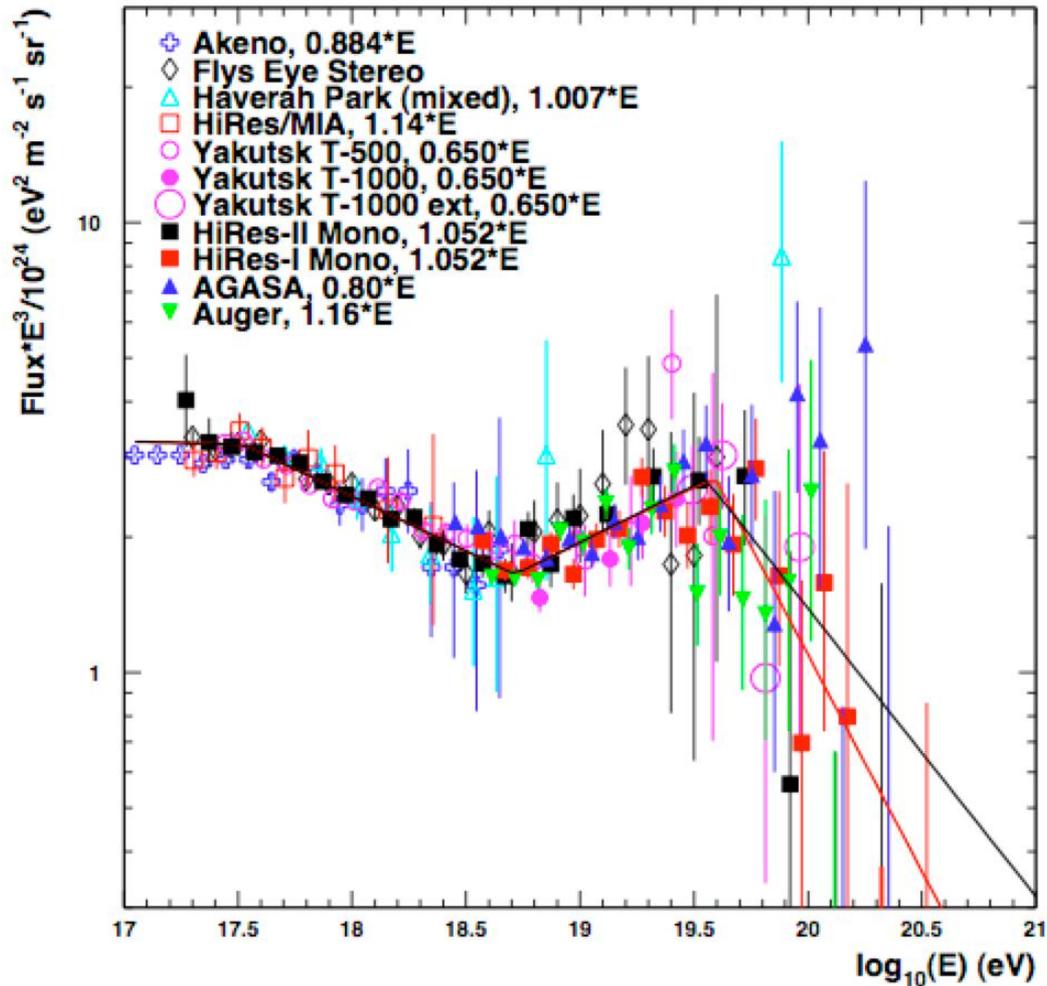
?

Probing shorter distances  
reveals  
deeper regularities

**UNIFIED DESCRIPTIONS**

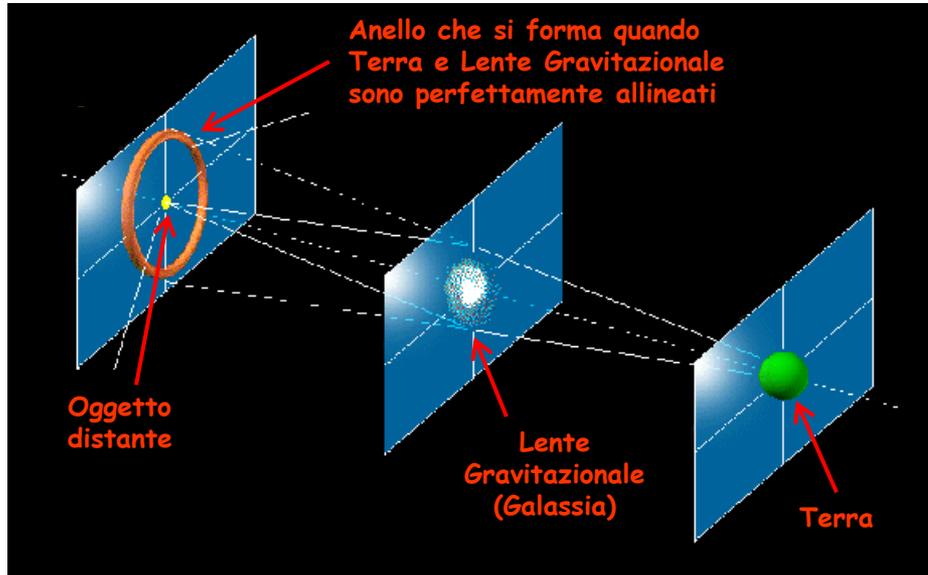
# Short history and new frontiers

	$\lambda = h/p$	$10^{-10} \text{ m}$	$\leq 10 \text{ eV}$	$T \approx t^{-1/2}$	$> 3000000 \text{ Y}$	<b>1900....</b>	Quantum Mechanics Atomic Physics												
						<b>1940-50</b>	Quantum Electro Dynamics												
		$10^{-15} \text{ m}$	MeV - GeV	$\approx 3 \text{ min}$		<b>1950-65</b>	Nuclei, Hadrons Symmetries, Field theories												
		$10^{-16} \text{ m}$	$\gg \text{ GeV}$	$\approx 10^{-8} \text{ sec}$		<b>1965-75</b>	Quarks. Gauge theories												
		$10^{-18} \text{ m}$	$\approx 100 \text{ GeV}$	$\approx 10^{-10} \text{ sec}$		<b>1970-83 SPS</b>	ElectroWeak Unification, QCD												
<div data-bbox="131 816 525 1031" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>6 Leptons</p> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td><math>\nu_e</math> e</td> <td><math>\nu_\mu</math> <math>\mu</math></td> <td><math>\nu_\tau</math> <math>\tau</math></td> </tr> </table> <p>6 Quarks</p> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>u</td> <td>c</td> <td>t</td> </tr> <tr> <td>d</td> <td>s</td> <td>b</td> </tr> </table> <p>3 "Colors" each quark</p> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>R</td> <td>G</td> <td>B</td> </tr> </table> </div>	$\nu_e$ e	$\nu_\mu$ $\mu$	$\nu_\tau$ $\tau$	u	c	t	d	s	b	R	G	B						<b>1990 LEP</b>	3 families
$\nu_e$ e	$\nu_\mu$ $\mu$	$\nu_\tau$ $\tau$																	
u	c	t																	
d	s	b																	
R	G	B																	
						<b>1994 Tevatron</b>	Top quark												
Origin of masses The next step...	$10^{-19} \text{ m}$	$\approx 10^3 \text{ GeV}$	$\approx 10^{-12} \text{ sec}$			<b>2005 LHC</b>	Higgs ? Supersymmetry ?												
Proton Decay ?	$10^{-32} \text{ m}$	$\approx 10^{16} \text{ GeV}$	$\approx 10^{-32} \text{ sec}$			<b>Underground Labs</b>	GRAND Unified Theories ?												
The Origin of the Universe	$10^{-35} \text{ m}$	$\approx 10^{19} \text{ GeV}$ (Planck scale)	$\approx 10^{-43} \text{ sec}$			??	Quantum Gravity? Superstrings ?												



*Fig. 1: The spectrum of ultra-high-energy cosmic rays, as measured by several experiments [5]. Every cosmic ray with an energy shown in this plot, namely above 1017 eV, liberates in its collision with the atmosphere more energy in its centre-of-mass frame than does a proton-proton collision at the LHC.*

# Lente Gravitazionale

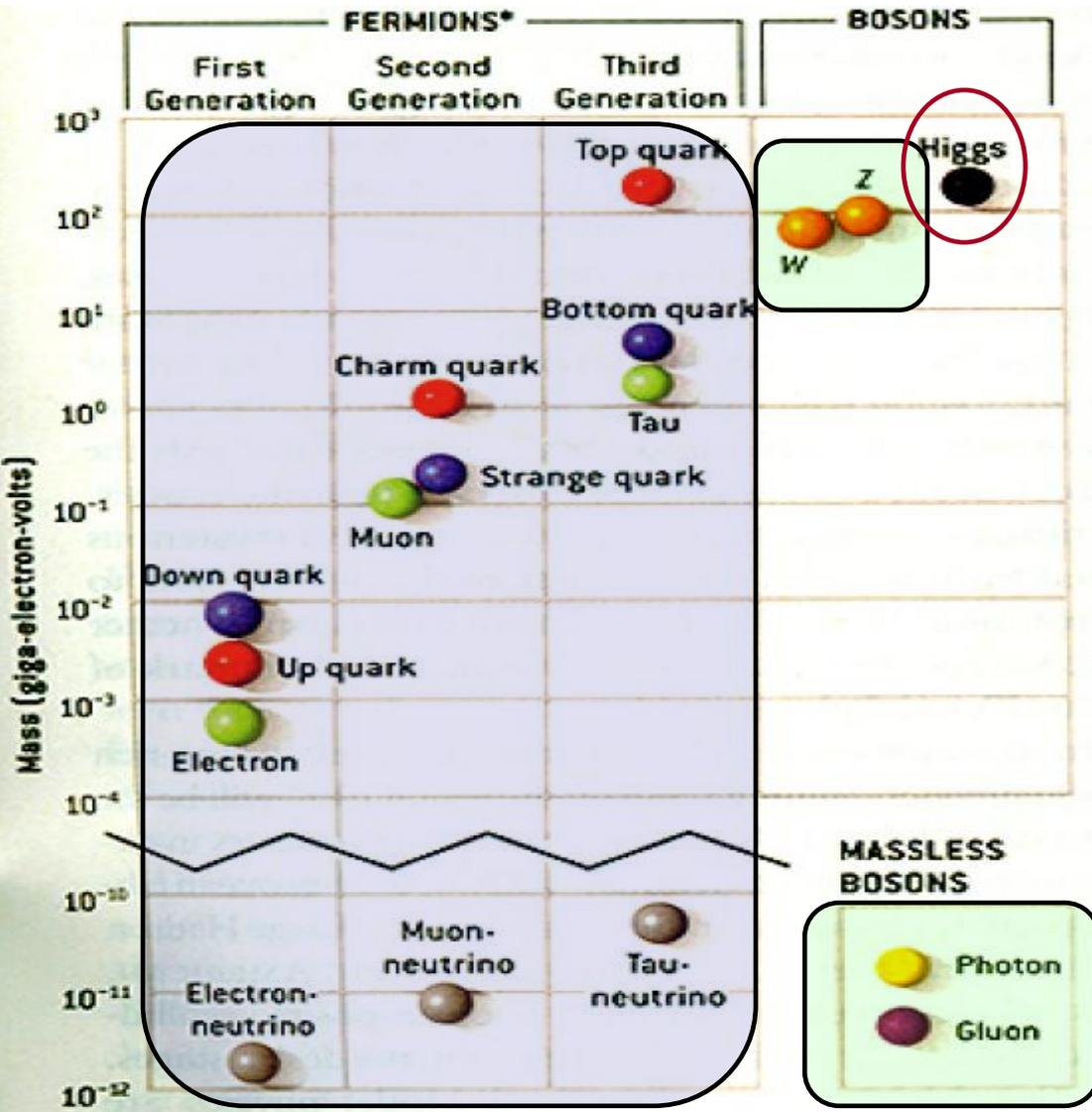


Ma l'effetto e' molto piu' forte di quello spiegabile con la massa della materia visibile

Materia Oscura (invisibile)



# Il mistero delle massa



Le masse delle particelle di materia variano da quasi 0 a circa 170 GeV.

Le masse delle particelle delle forze variano da 0 a circa 90 GeV.

Soluzione piu' semplice:  
**un campo scalare pervade l'Universo (il campo di Higgs).**  
 Le particelle interagiscono con esso. Piu' forte e' l'interazione piu' grande e' la massa... ma il bosone di Higgs non e' stato ancora trovato!

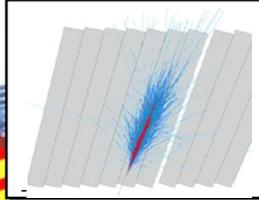


# The Compact Muon Solenoid (CMS)

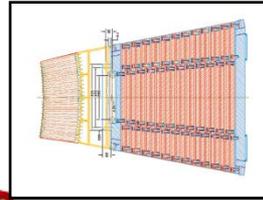
**SUPERCONDUCTING  
COIL**

Total weight : 12,500 t  
 Overall diameter : 15 m  
 Overall length : 21.6 m  
 Magnetic field : 4 Tesla

**CALORIMETERS**  
**ECAL** Scintillating PbWO<sub>4</sub> Crystals

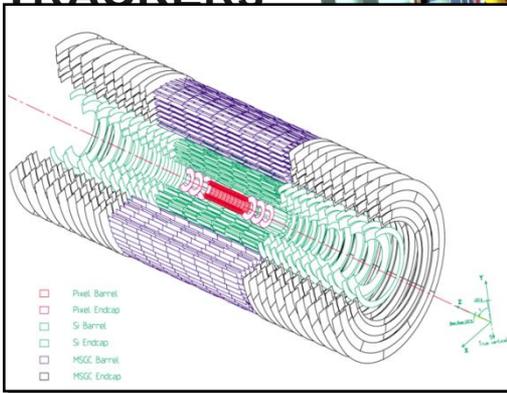


**HCAL** Plastic scintillator copper sandwich



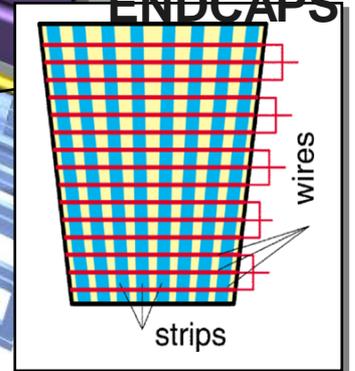
**IRON YOKE**

**TRACKERS**

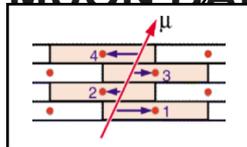


Silicon Microstrips  
 Pixels

**MUON  
ENDCAPS**



**MUON BARREL**



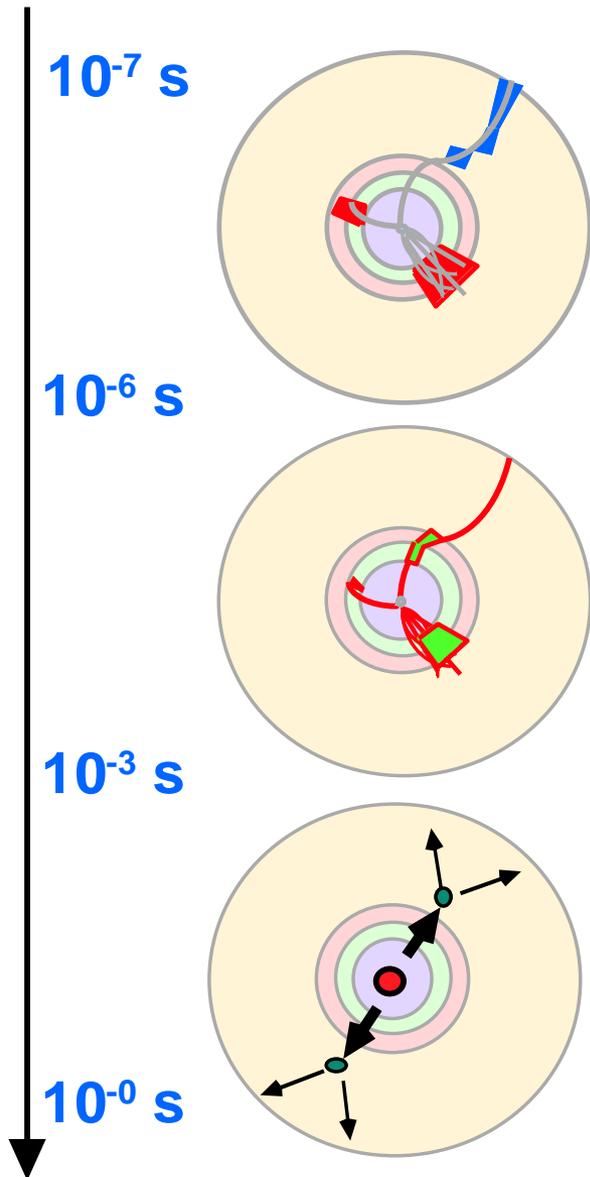
Drift Tube  
 Chambers(DT)



Resistive Plate  
 Chambers(RPC)

Cathode Strip Chambers(CSC)  
 Resistive Plate Chambers (RPC)

# Trigger levels at LHC (the first second)



**Collision rate  $10^9$  Hz**

Channel data sampling at 40 MHz

**Level-1 selected events  $10^5$  Hz**

Particle identification (High  $p_T$  e,  $\mu$ , jets, missing  $E_T$ )

- Local pattern recognition
- Energy evaluation on prompt macro-granular information

**Level-2 selected events  $10^3$  Hz**

Clean particle signature (Z, W, ..)

- Finer granularity precise measurement
- Kinematics. effective mass cuts and event topology
- Track reconstruction and detector matching

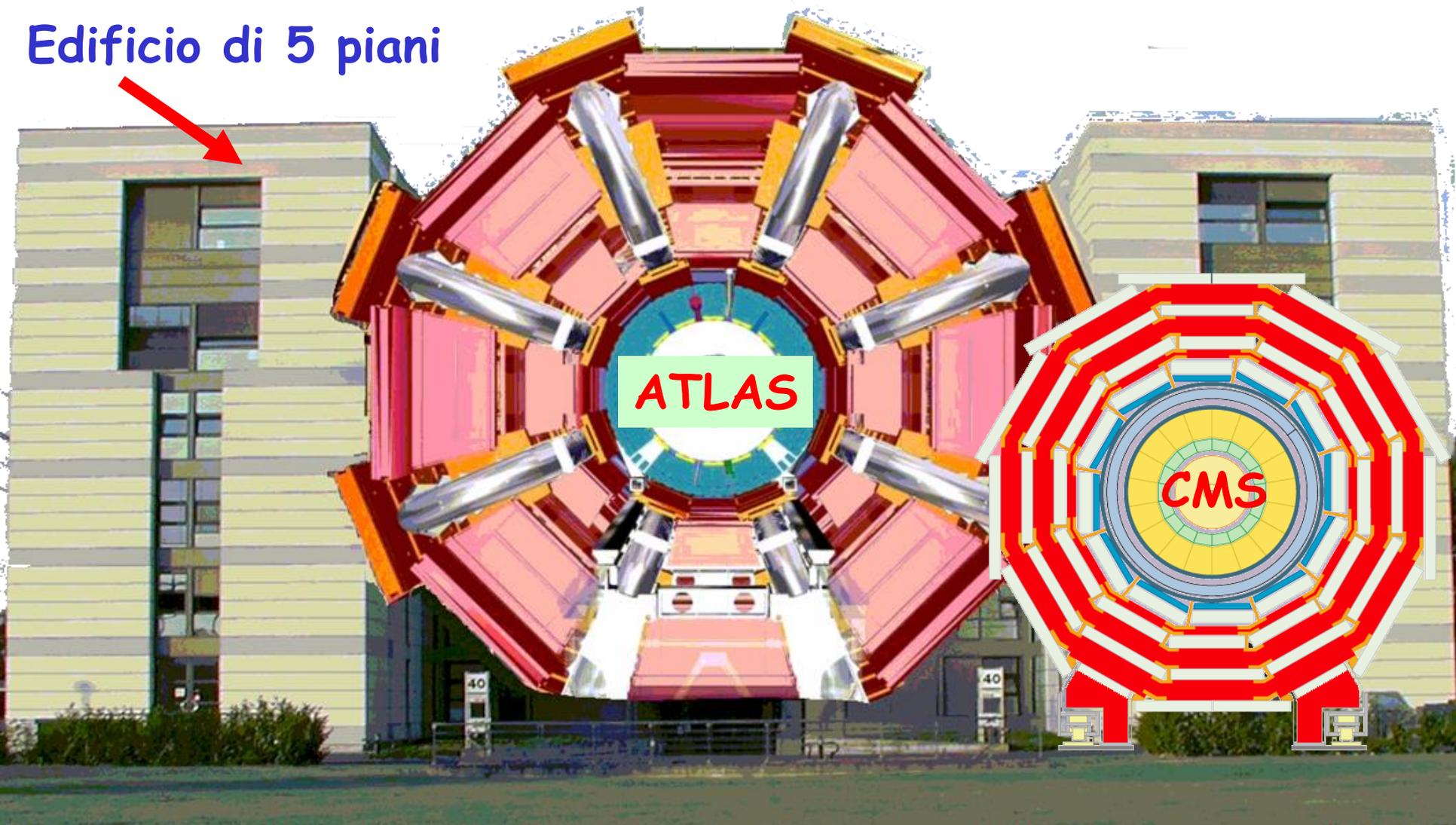
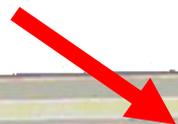
**Level-3 events to tape 10..100 Hz**

Physics process identification

- Event reconstruction and analysis

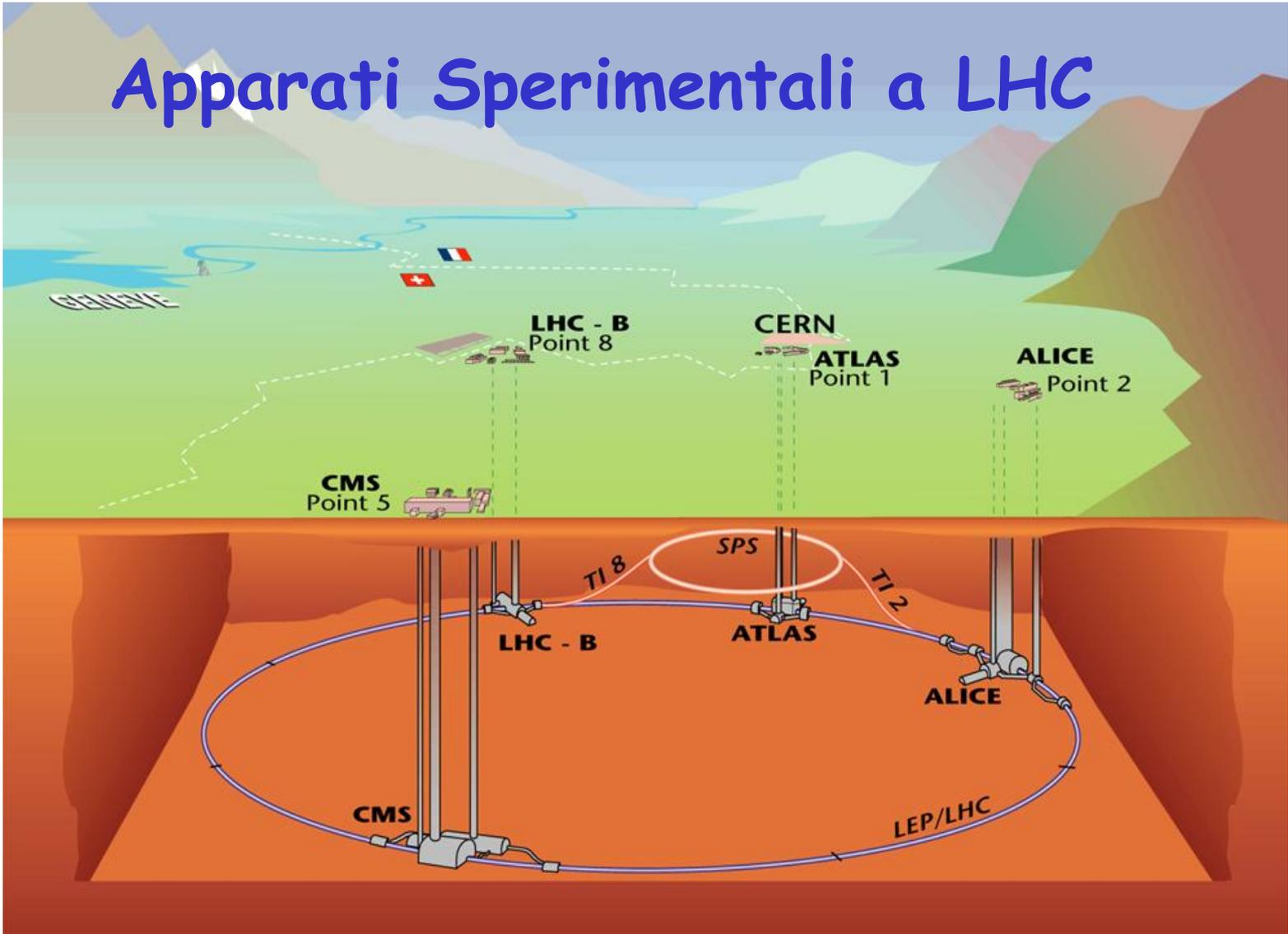
# Quanto sono grandi ATLAS e CMS?

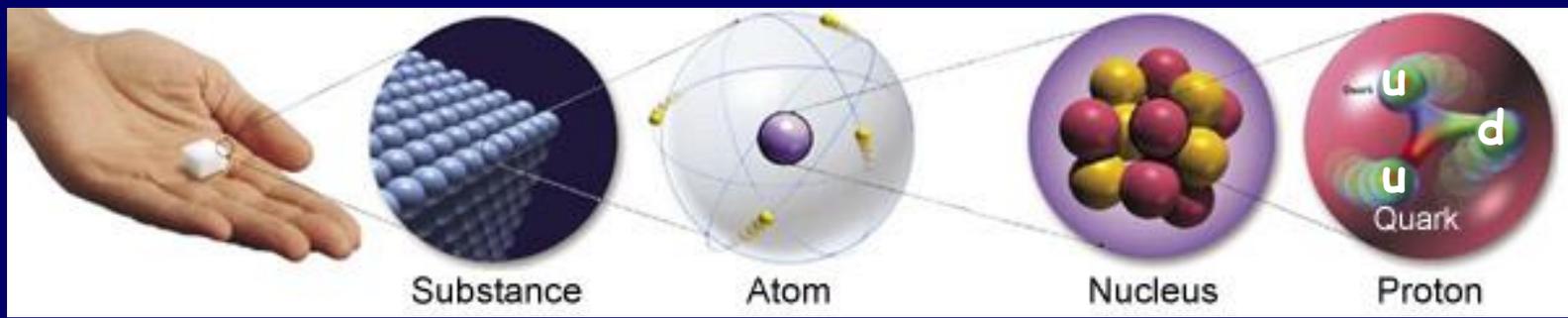
Edificio di 5 piani



	Beams	Energy	Luminosity
<b>LHC</b>	p p	14 TeV	$10^{34}$
	P <sub>b</sub> P <sub>b</sub>	1312 TeV	$10^{27}$

# Apparati Sperimentali a LHC



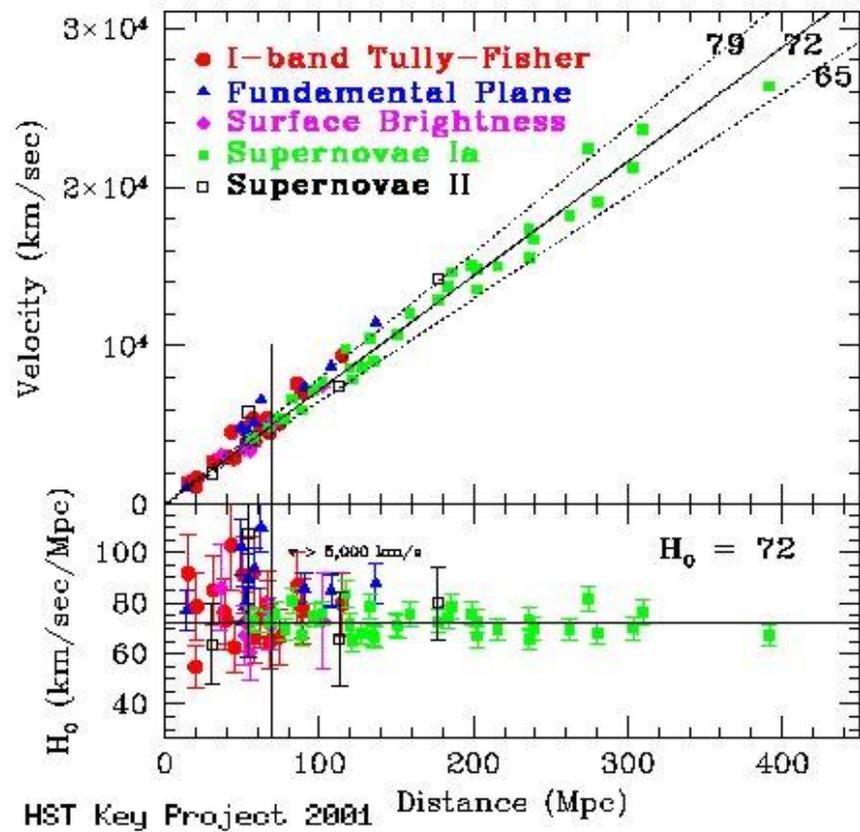


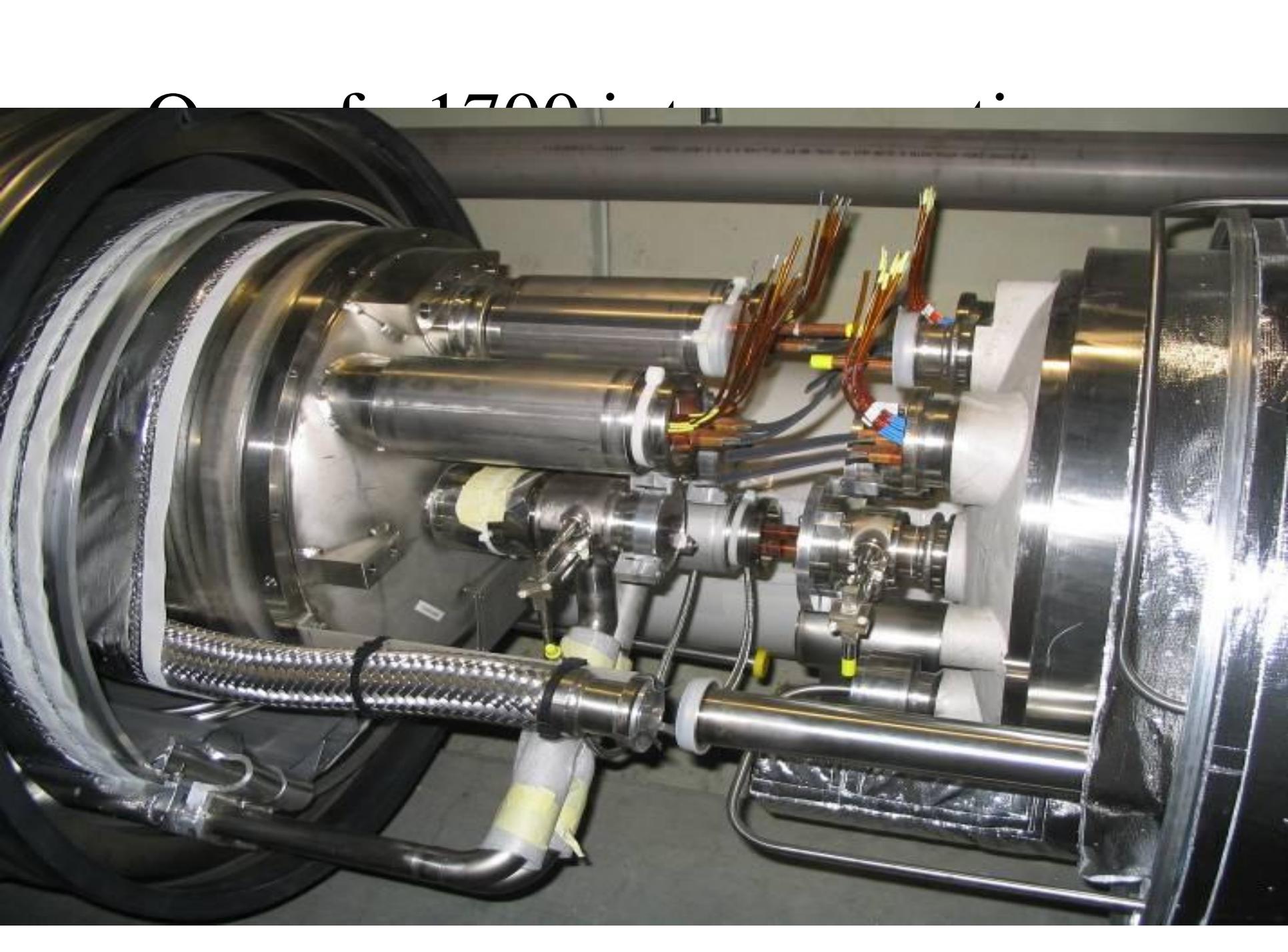
# La materia e le sue interazioni: il Modello Standard

	Fermioni			Bosoni	
Quarks	u up	c charm	t top	g gluone	Meidatori di Forze
	d down	s strange	b bottom	$\gamma$ fotone	
Leptoni	$\nu_e$ e-neutrino	$\nu_\mu$ $\mu$ -neutrino	$\nu_\tau$ $\tau$ -neutrino	W bosone	
	e elettrone	$\mu$ muone	$\tau$ tau	Z bosone	
Famiglie di materia			Bosone di Higgs ?		
I	II	III			

**Interrogativi:**  
 perché le masse delle particelle di materia variano da quasi 0 a circa 170 GeV?  
 perché le masse delle particelle delle forze variano da 0 a circa 90 GeV?

**Soluzione più semplice:**  
 un campo scalare pervade l'Universo (il campo di Higgs).  
 Le particelle interagiscono con esso. Più forte è l'interazione più grande è la massa... ma il bosone di Higgs non è stato ancora trovato !



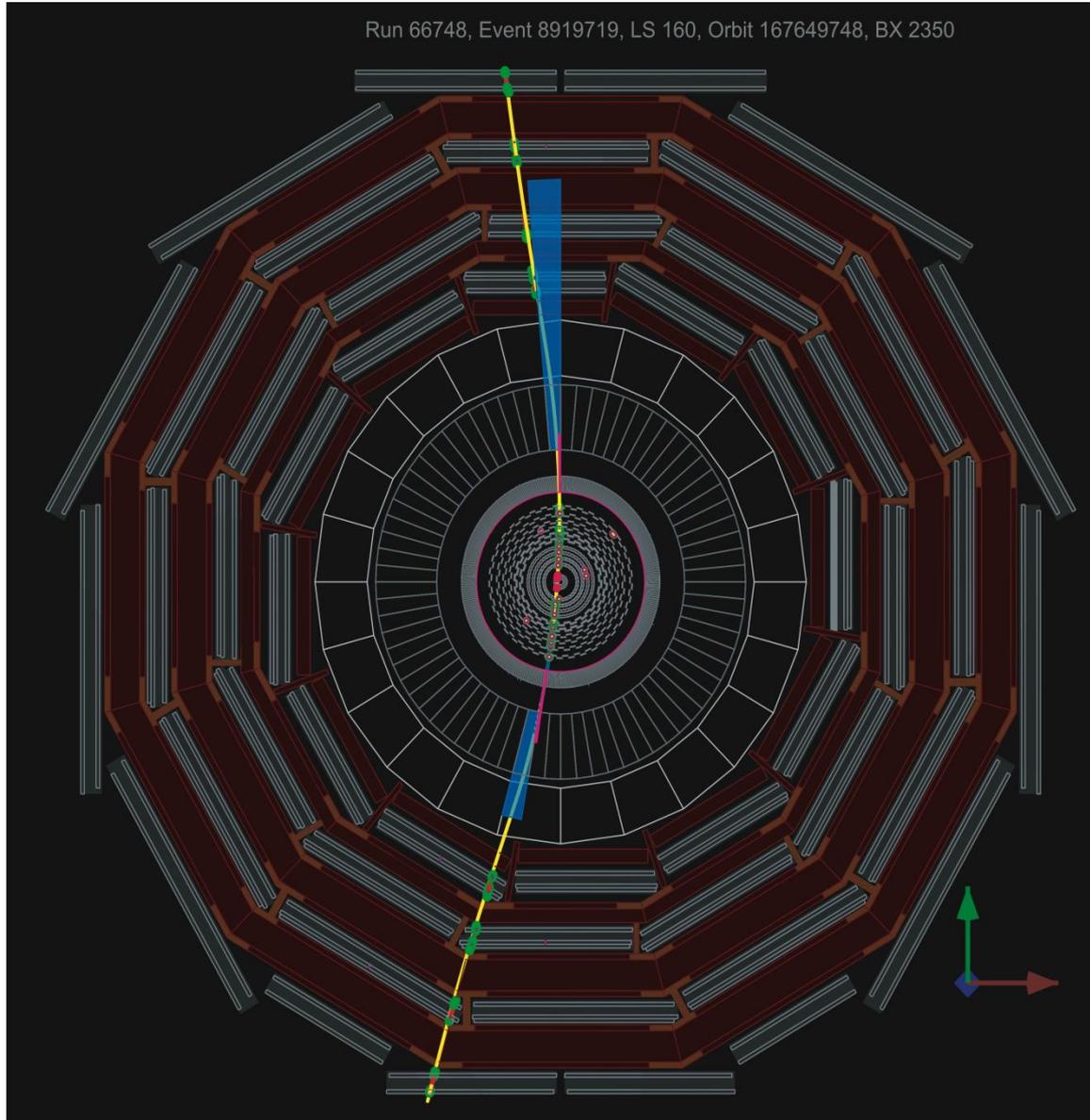


6 1700 i

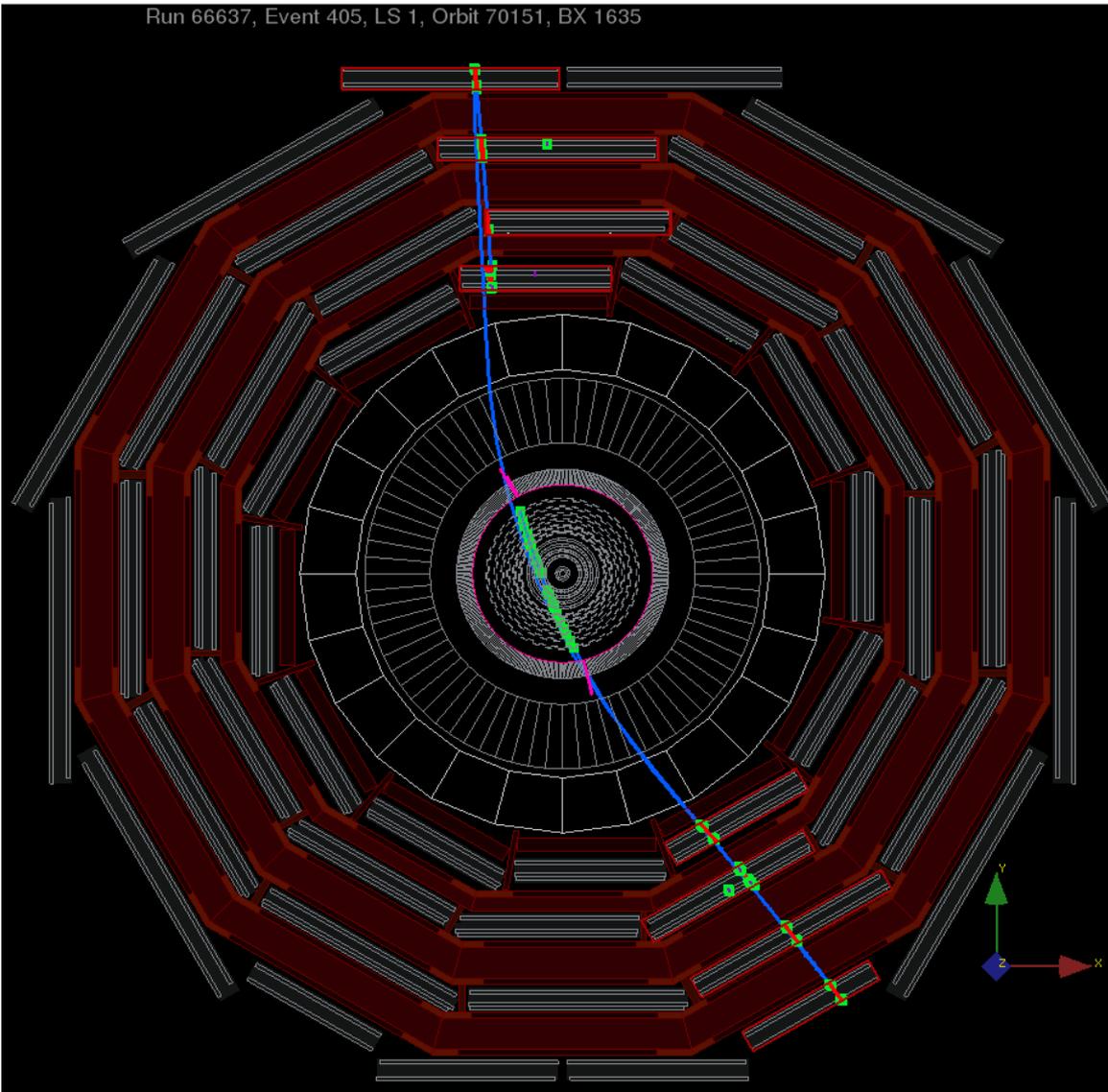
# La connessione tra due magneti di LHC



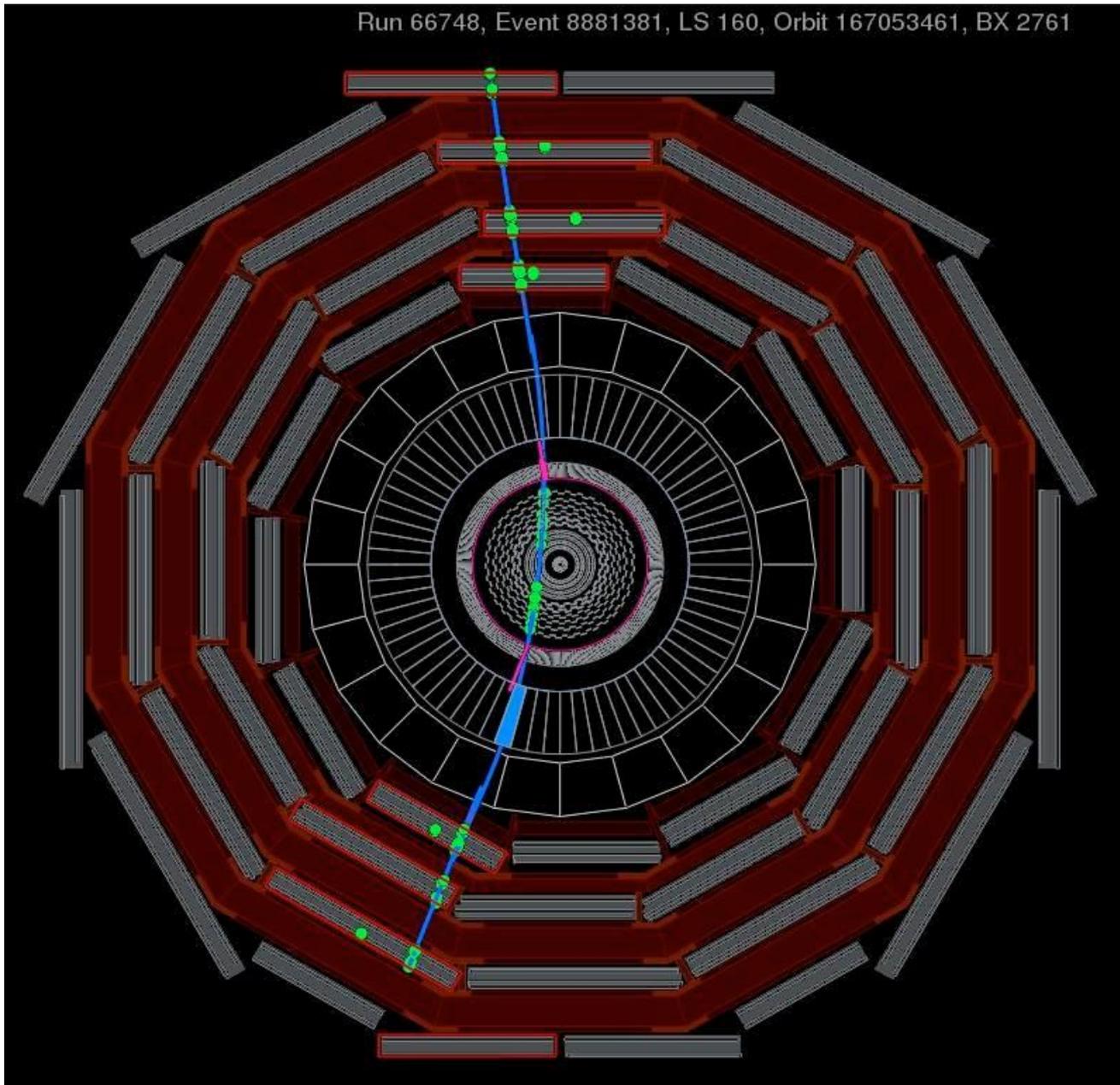
Run 66748, Event 8919719, LS 160, Orbit 167649748, BX 2350



Run 66637, Event 405, LS 1, Orbit 70151, BX 1635



Run 66748, Event 8881381, LS 160, Orbit 167053461, BX 2761



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

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

# Ordini di grandezza

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



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

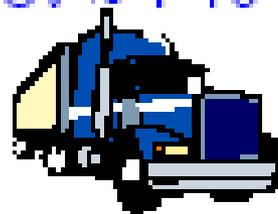
$$v_{\text{bee}} = 1\text{m/s} \rightarrow E_{\text{bee}} = 10^{-3} \text{ J} = 6.25 \cdot 10^{15} \text{ eV}$$

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

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



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

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

b'(300 GeV) to tWtW

