

La scoperta del Bosone di Higgs

Prof. Vitaliano Ciulli

Università e INFN Firenze



Pianeta Galileo 2016-17



2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

François Englert
Peter W. Higgs



© The Nobel Foundation, Photo: Lovisa Engblom.

per la scoperta del bosone di Higgs
all'acceleratore LHC del CERN

Cosa sono il CERN e l'INFN?



Organizzazione Europea per la Ricerca Nucleare

Fondata a Ginevra il 29 settembre 1954

L'Italia è tra i 12 stati fondatori

E. Amaldi è il segretario generale nel periodo di *interim* 1952-1954

Oggi conta 22 stati membri e ci lavorano 10000 fisici da tutto il mondo

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Ente Pubblico di Ricerca

Nasce nel 1951 per raccogliere l'eredità di E.Fermi e dei "ragazzi di via Panisperna"

Conta 2000 dipendenti, 2000 associati, 1000 studenti in 4 laboratori nazionali e 20 sezioni

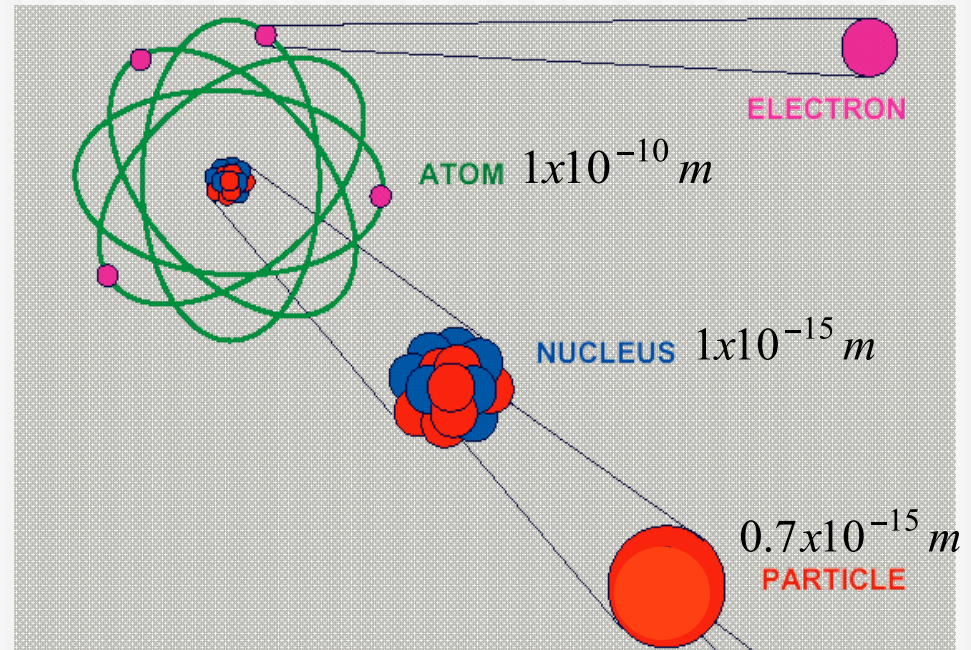


Che cosa studiamo al CERN?

Facciamo qualche passo indietro...

I mattoni fondamentali della materia

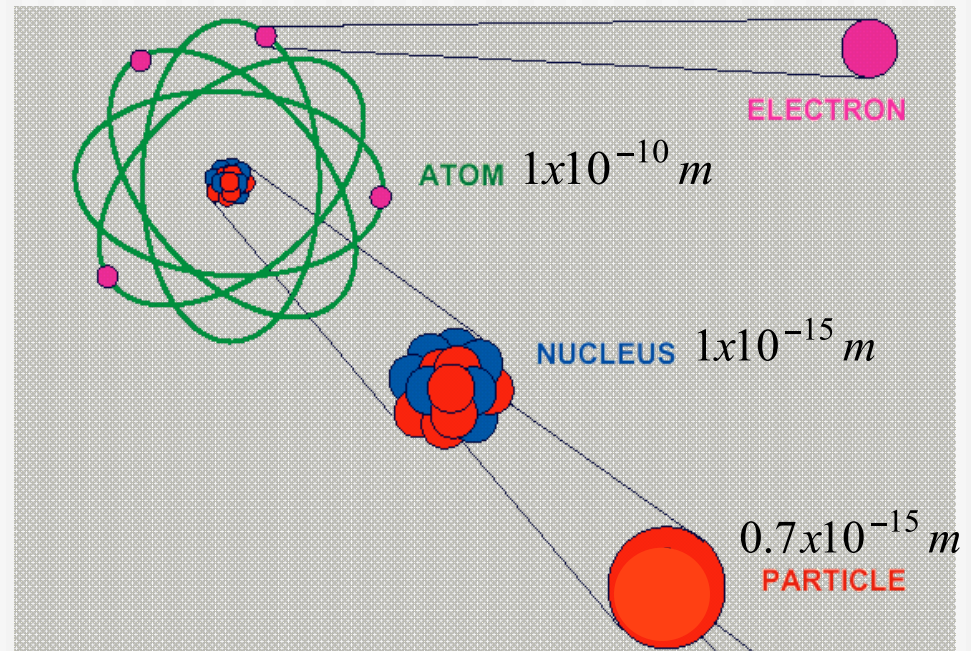
- Gli atomi sono formati da un nucleo di protoni e neutroni circondato da elettroni



Ma come si è visto?

I mattoni fondamentali della materia

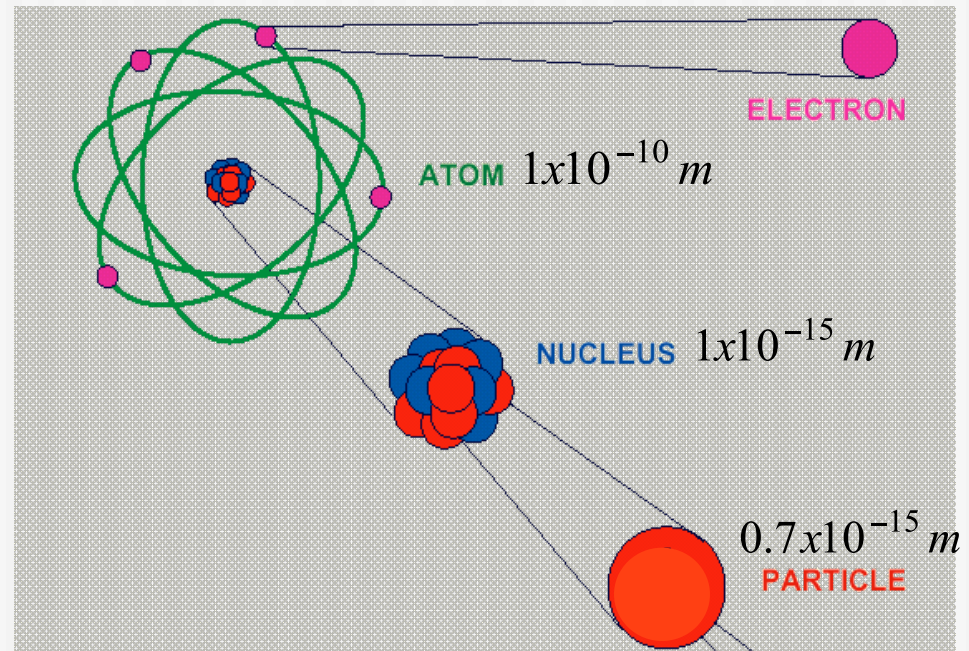
- Gli atomi sono formati da un nucleo di protoni e neutroni circondato da elettroni
- Se l'atomo fosse grande come uno stadio il nucleo avrebbe le dimensioni di una capocchia di spillo!



Ma come si è visto?

I mattoni fondamentali della materia

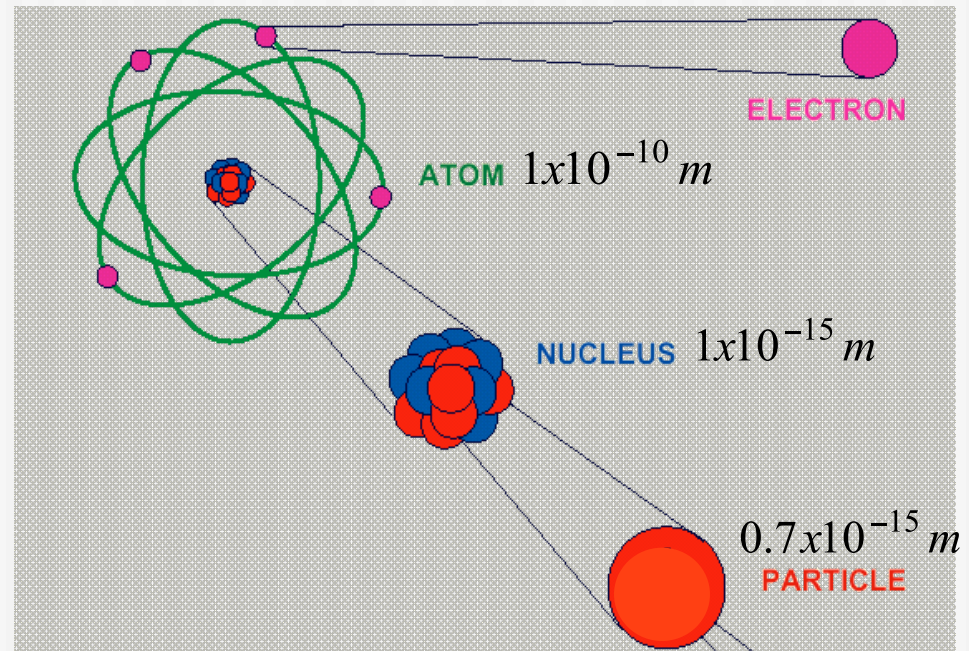
- Gli atomi sono formati da un nucleo di protoni e neutroni circondato da elettroni
- Se l'atomo fosse grande come uno stadio il nucleo avrebbe le dimensioni di una capocchia di spillo!
- Ma quasi tutta la massa dell'atomo è concentrata nel nucleo (il protone e neutrone pesano 2000 volte di più dell'elettrone)



Ma come si è visto?

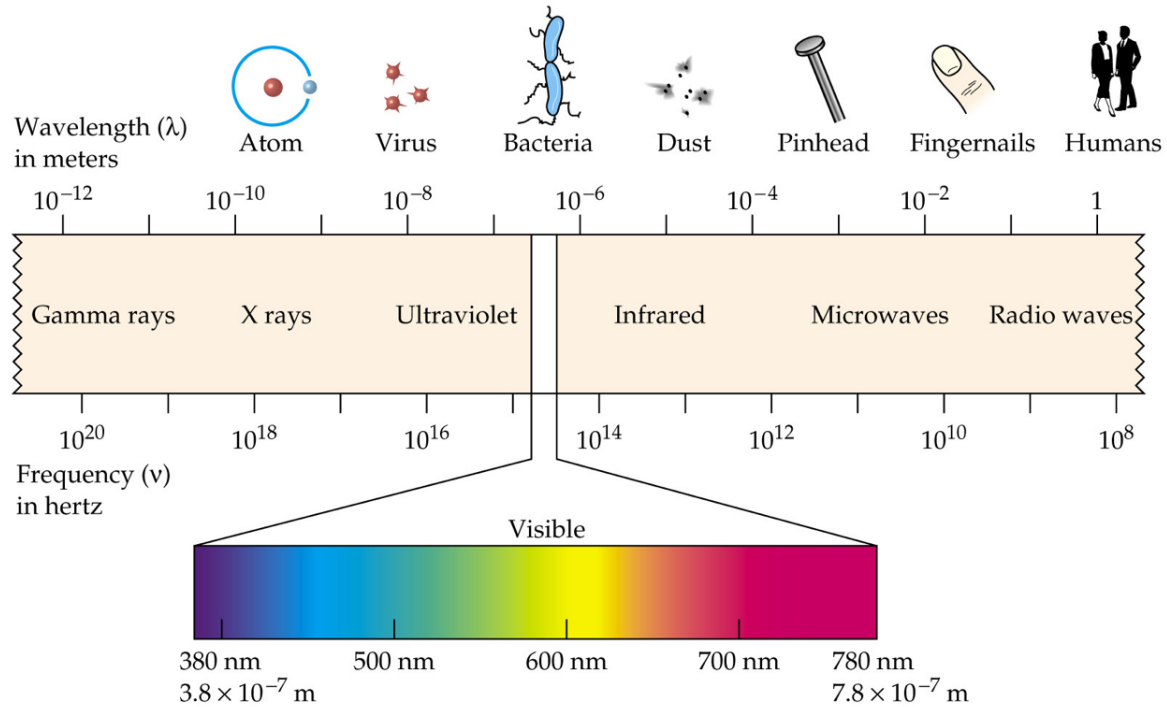
I mattoni fondamentali della materia

- Gli atomi sono formati da un nucleo di protoni e neutroni circondato da elettroni
- Se l'atomo fosse grande come uno stadio il nucleo avrebbe le dimensioni di una capocchia di spillo!
- Ma quasi tutta la massa dell'atomo è concentrata nel nucleo (il protone e neutrone pesano 2000 volte di più dell'elettrone)
- **L'atomo è praticamente vuoto e protone ed elettrone sono molto diversi**

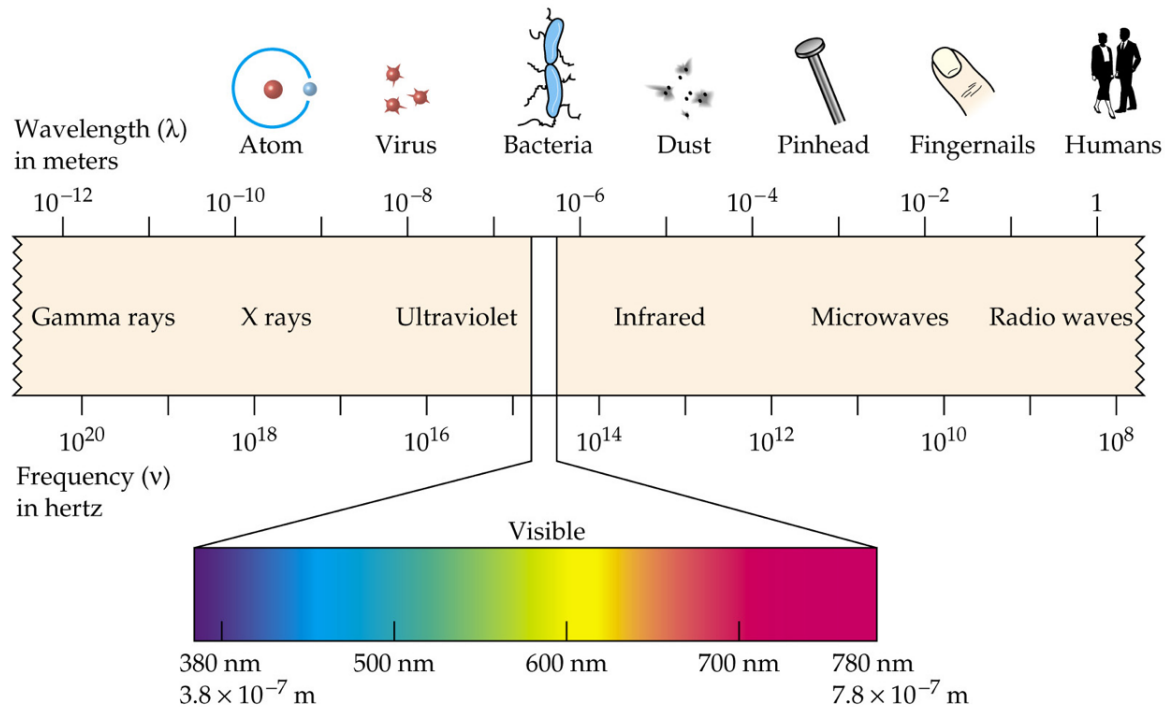


Ma come si è visto?

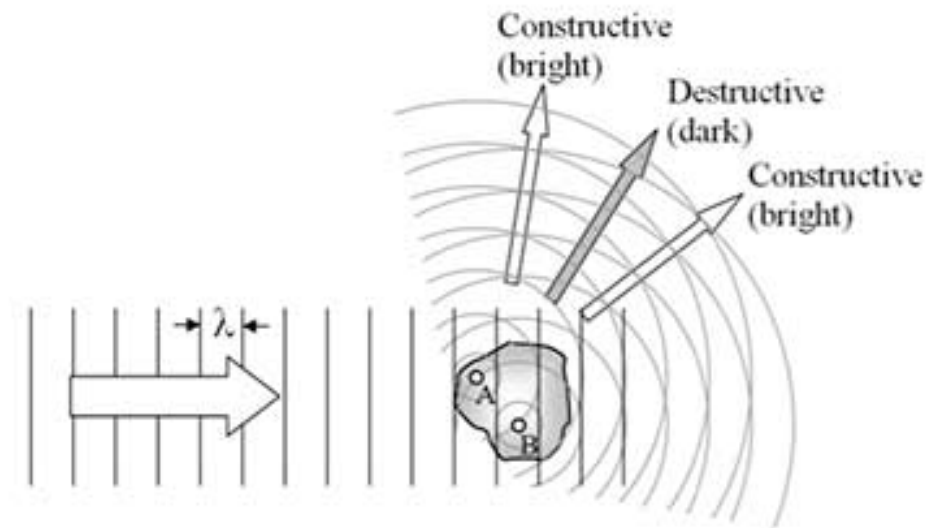
Si possono vedere le particelle ?



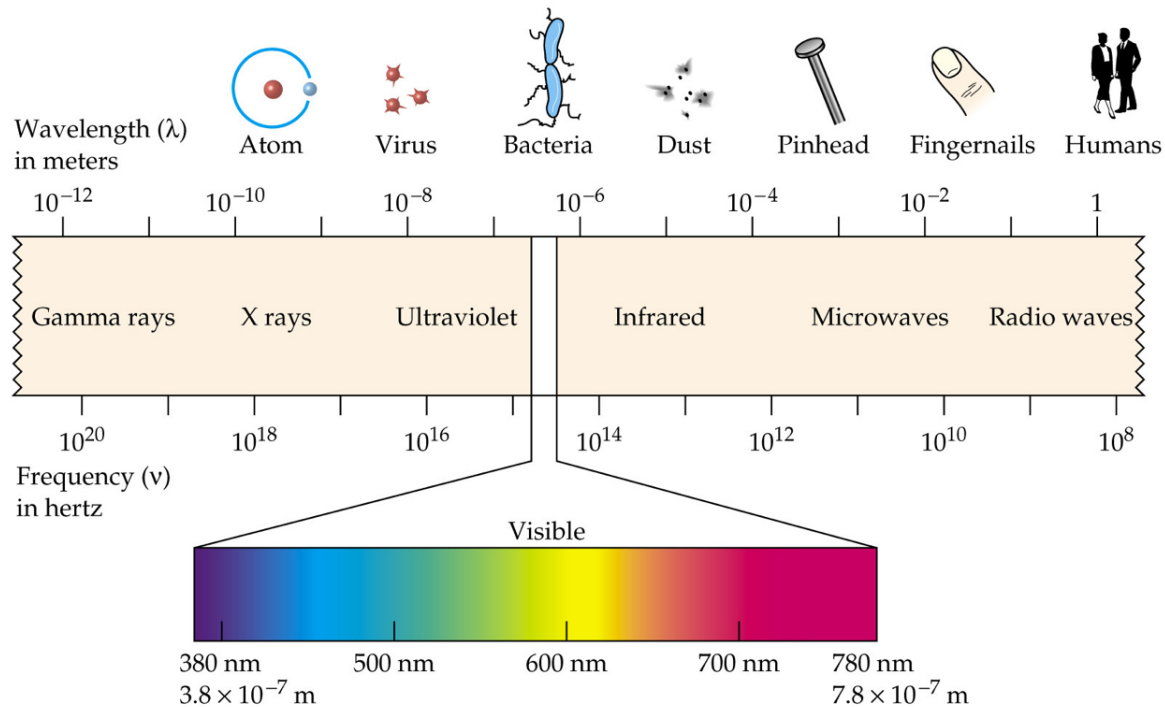
Si possono vedere le particelle ?



Esiste un limite alle dimensioni che posso “risolvere” con la luce.



Si possono vedere le particelle ?



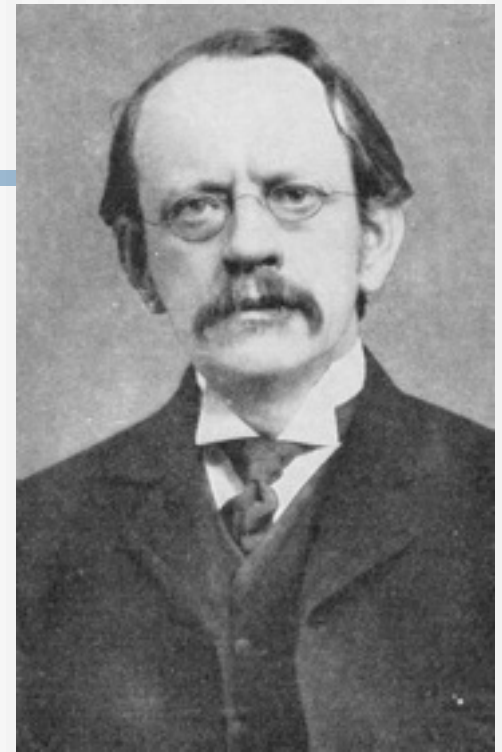
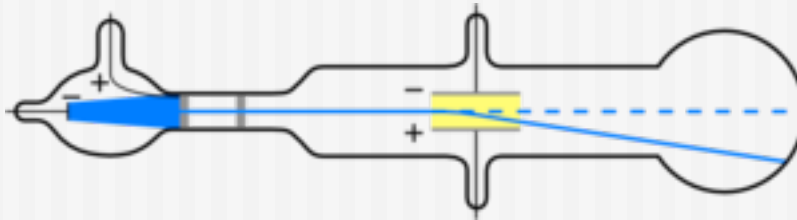
Esiste un limite alle dimensioni che posso “risolvere” con la luce.

Nei rivelatori registriamo gli effetti del passaggio delle particelle

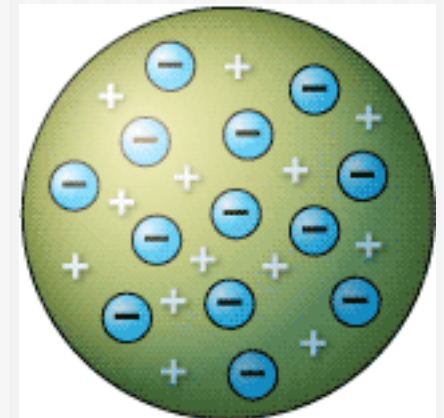


1897 L'elettrone

- J.J.Thomson scopre che i *raggi catodici* sono formati da particelle subatomiche: **gli elettroni**



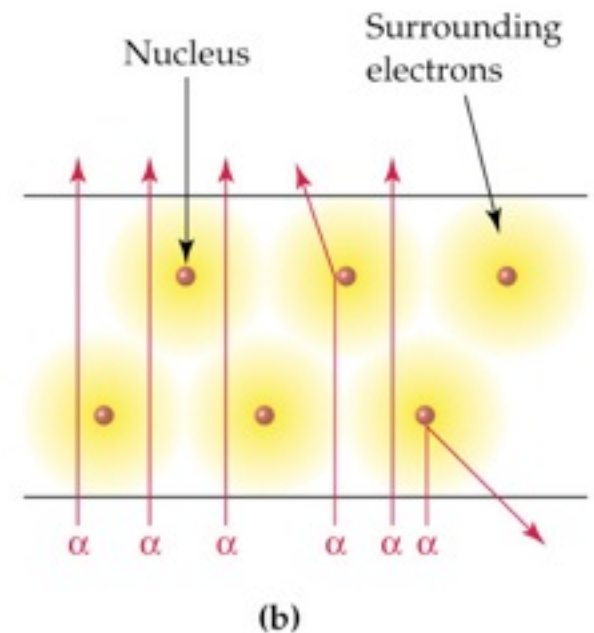
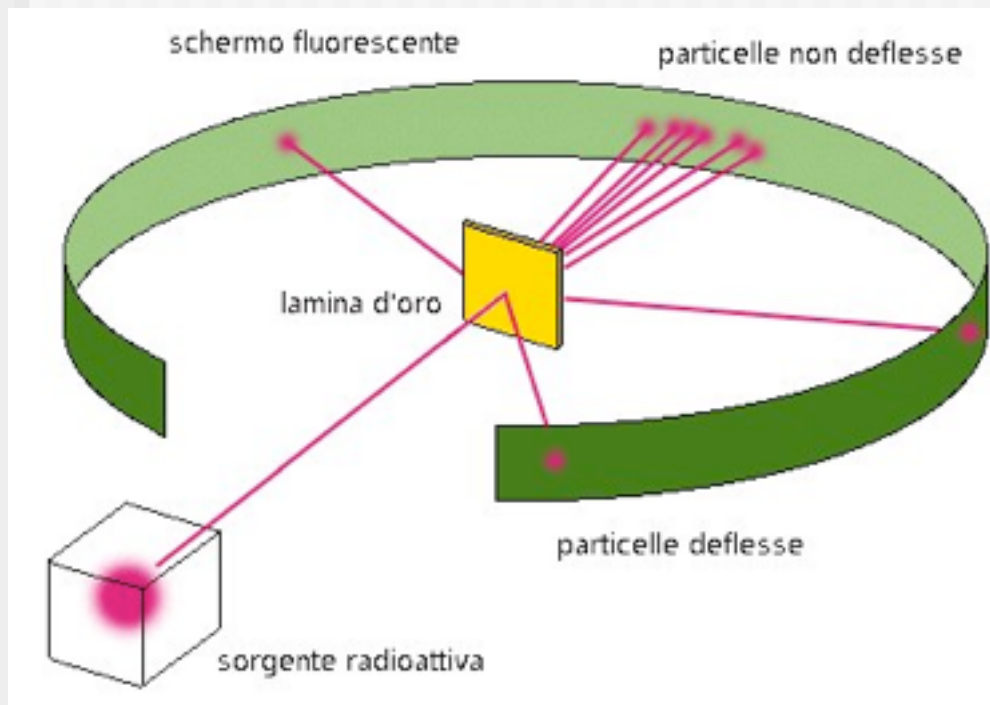
- Nel suo modello l'atomo è simile a un "panettone" dove la pasta ha carica elettrica positiva e gli elettroni (negativi) sono l'uvetta



Per capire come è fatto l'atomo servono
le “radiazioni” !!!

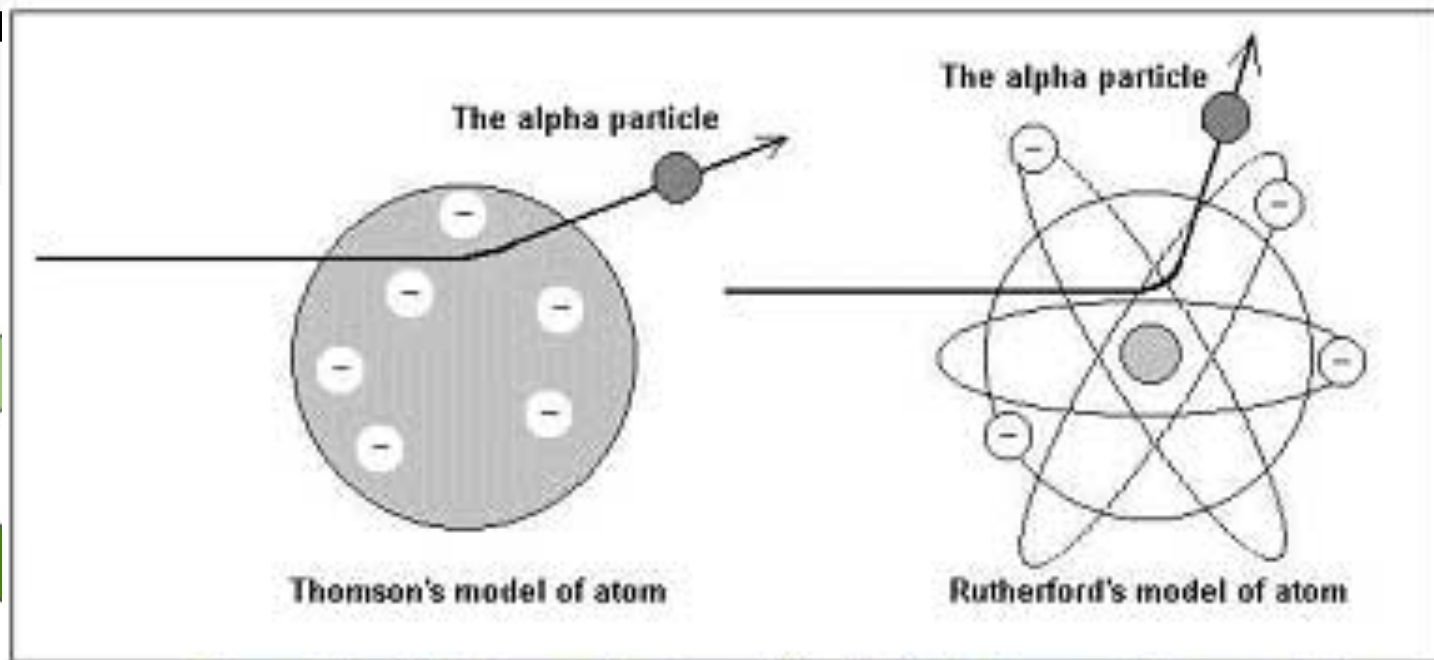
L'esperimento di Rutherford

Nel 1911 guardando come delle particelle alpha erano deflesse da un foglio di oro stabilì che gli atomi erano vuoti e tutta la massa era nel nucleo

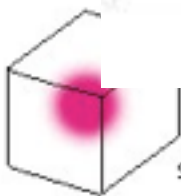


L'esperimento di Rutherford

Nel 1911 guardando come delle particelle alpha erano deflesse da un foglio di oro stabilì che gli atomi



The models of the Thomson's atom and Rutherford's atom; and the expected aberrations of alpha particle in both cases.



sorgente radioattiva

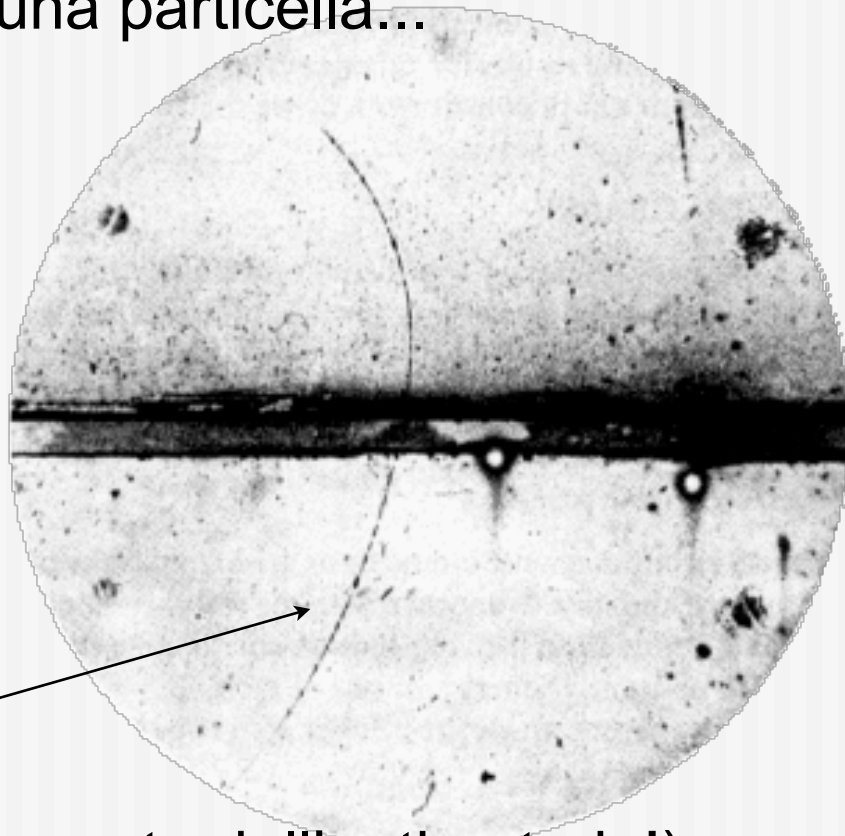
α α α α α α

(b)

I rivelatori

La camera a nebbia è il primo rivelatore che permette di *vedere* la “traiettoria” di una particella...

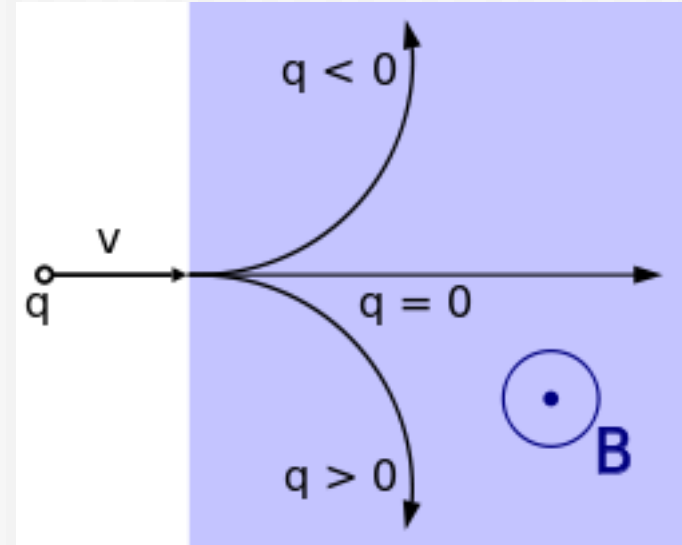
Lastra di piombo di 6 mm



Un positrone (ovvero la scoperta dell'antimateria!)

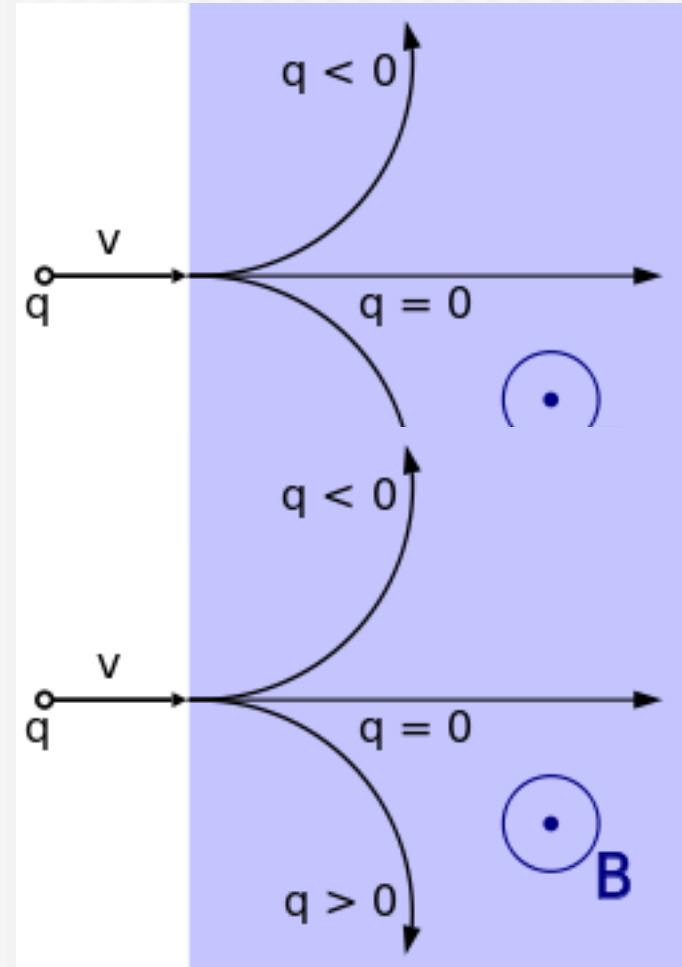
Particella in campo magnetico

- una particella carica in un campo magnetico curva a seconda della sua carica
- il raggio di curvatura è maggiore se va più veloce



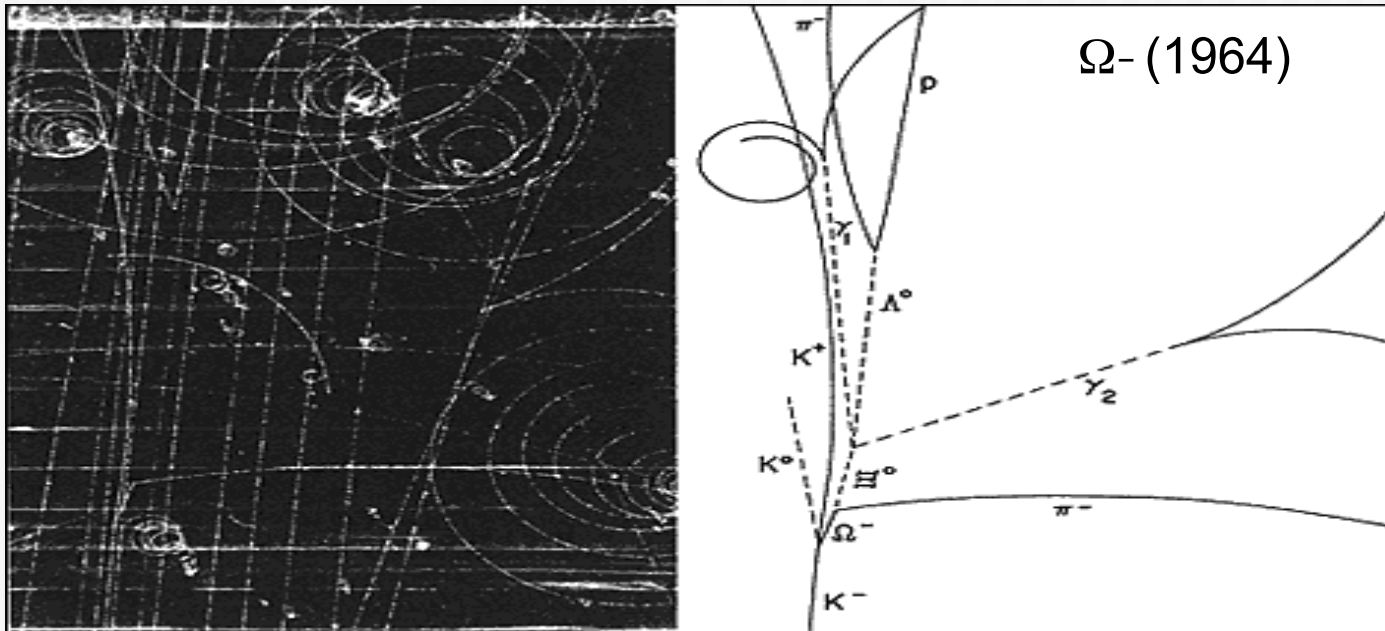
Particella in campo magnetico

- una particella carica in un campo magnetico curva a seconda della sua carica
- il raggio di curvatura è maggiore se va più veloce
- la stessa traiettoria può essere dovuta ad una particella di carica e velocità opposte



Una moltitudine di particelle

- Elettroni, protoni e neutroni non sono le uniche particelle, ma sono tra le poche particelle **stabili**
- Molte altre particelle esistono ma sono molto instabili
- Il loro decadimento è l'impronta che lasciano e che ci permette di identificarle



pool-stage

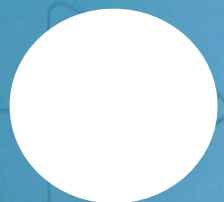


Finale, 10-Ball, 10 Gewinnspiele

Jentsch 4 **Stuttgart**

Heimmerer 4 **Open**

Un esperimento



pool-stage

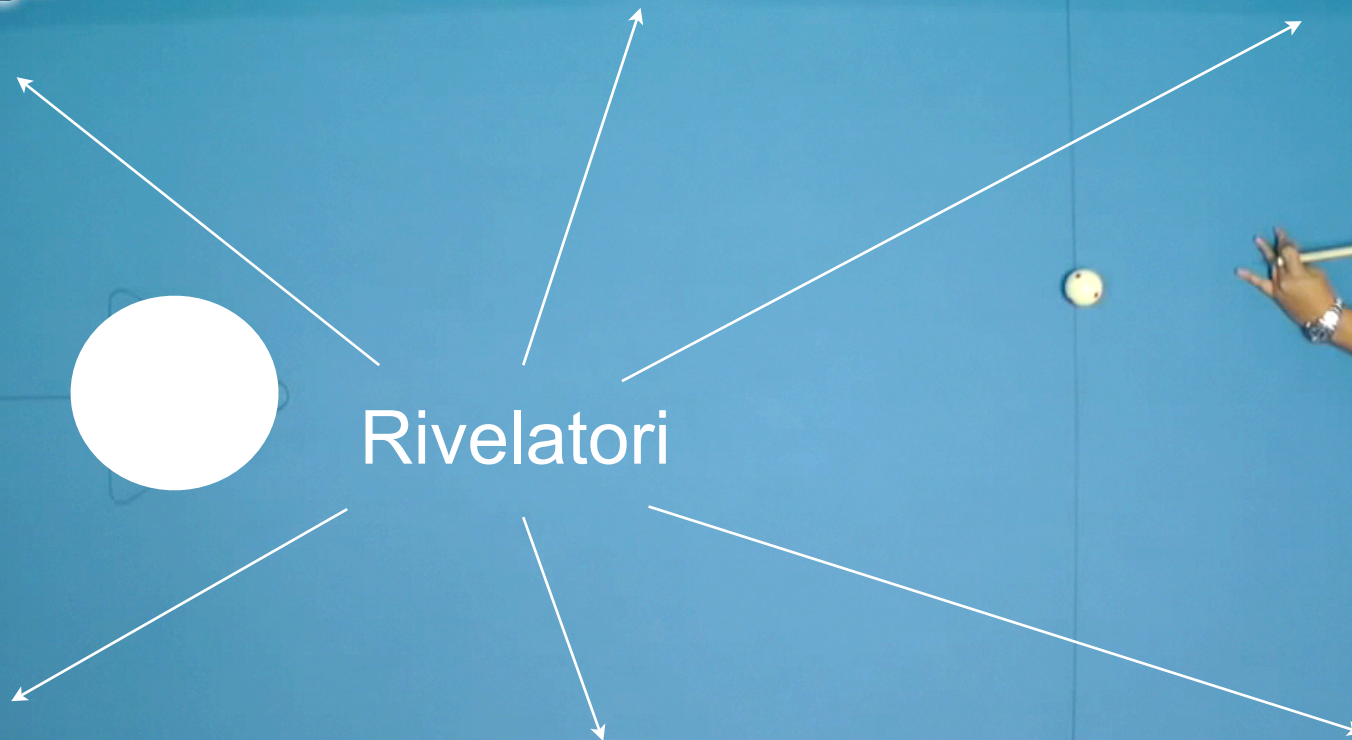


Finale, 10-Ball, 10 Gewinnspiele

Jentsch 4 **Stuttgart**

Heimmerer 4 **Open**

Rivelatori




pool-stage



Finale, 10-Ball, 10 Gewinnspiele

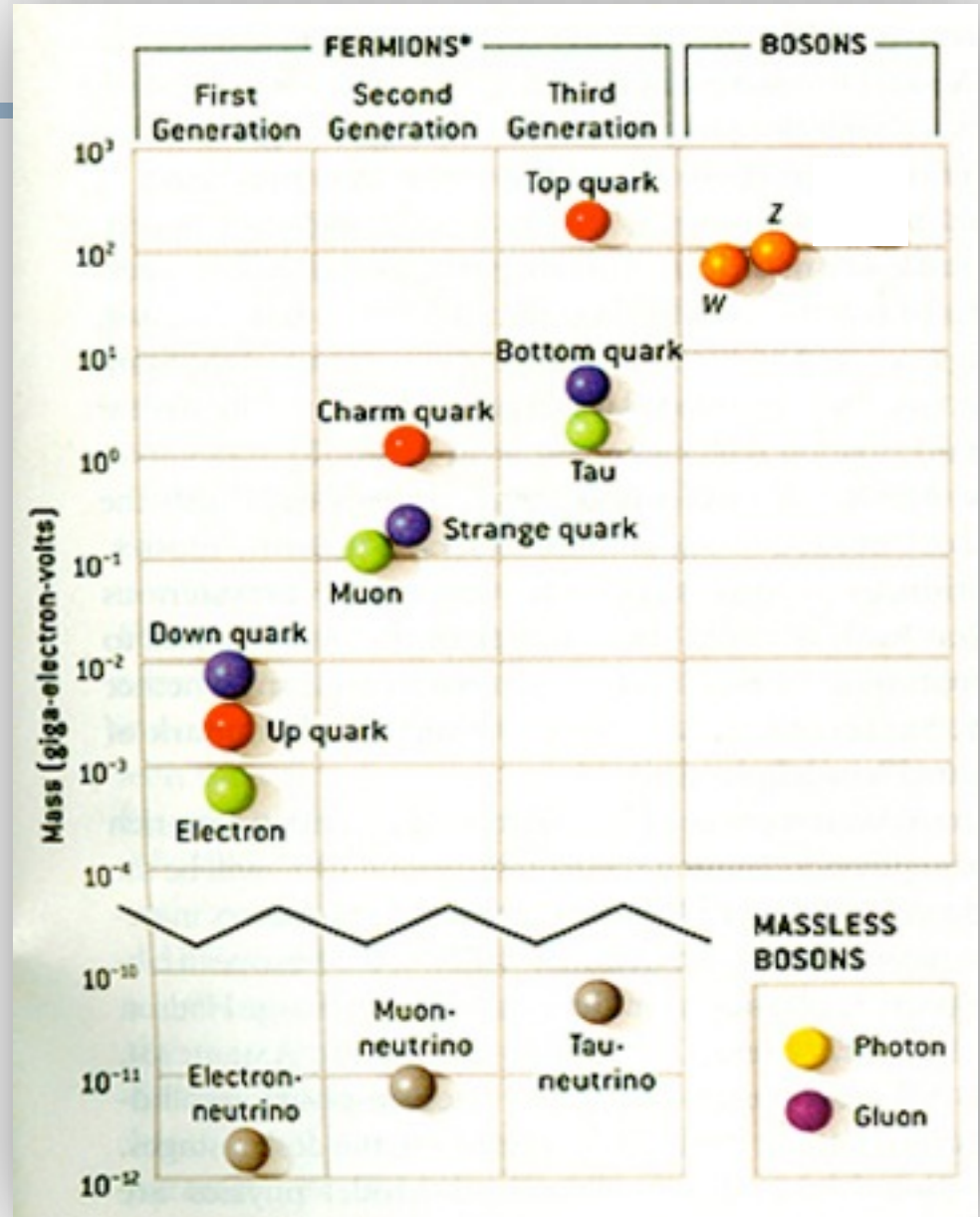
Jentsch 4 **Stuttgart**

Heimmerer 4 **Open**



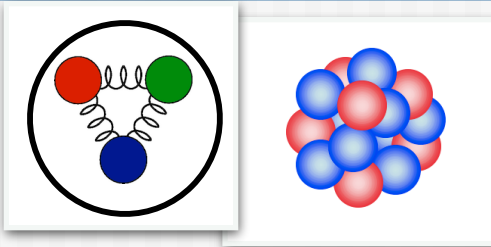
Il Modello Standard

- Via, via, abbiamo continuato a scoprire sempre più particelle
- Finchè abbiamo capito quali sono le (poche) particelle fondamentali che formano la materia:
 - quarks
 - leptoni
- E le forze tra di loro
 - le forze sono quattro e sono anch'esse dovute a particelle

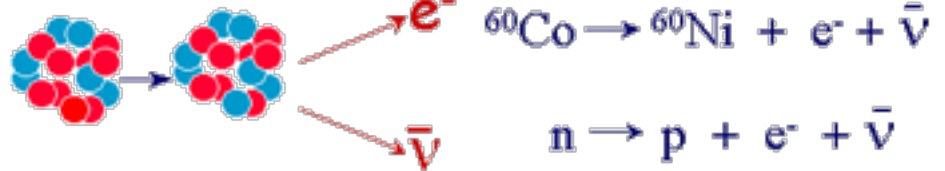


Le quattro forze fondamentali

- Forte: gluoni



- Debole: W, Z



- Elettromagnetica: fotone

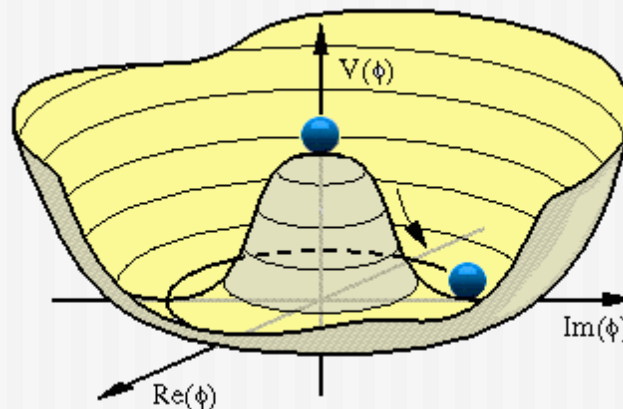


- Gravitazionale: ?



Il Bosone di Higgs

- Le forze si possono ricavare da “principi di simmetria”, ma soltanto se le particelle non hanno massa
- Nel 1964 R. Brout, F. Englert e P. Higgs immaginarono un meccanismo per dare massa alle particelle, senza violare la simmetria fondamentale della natura

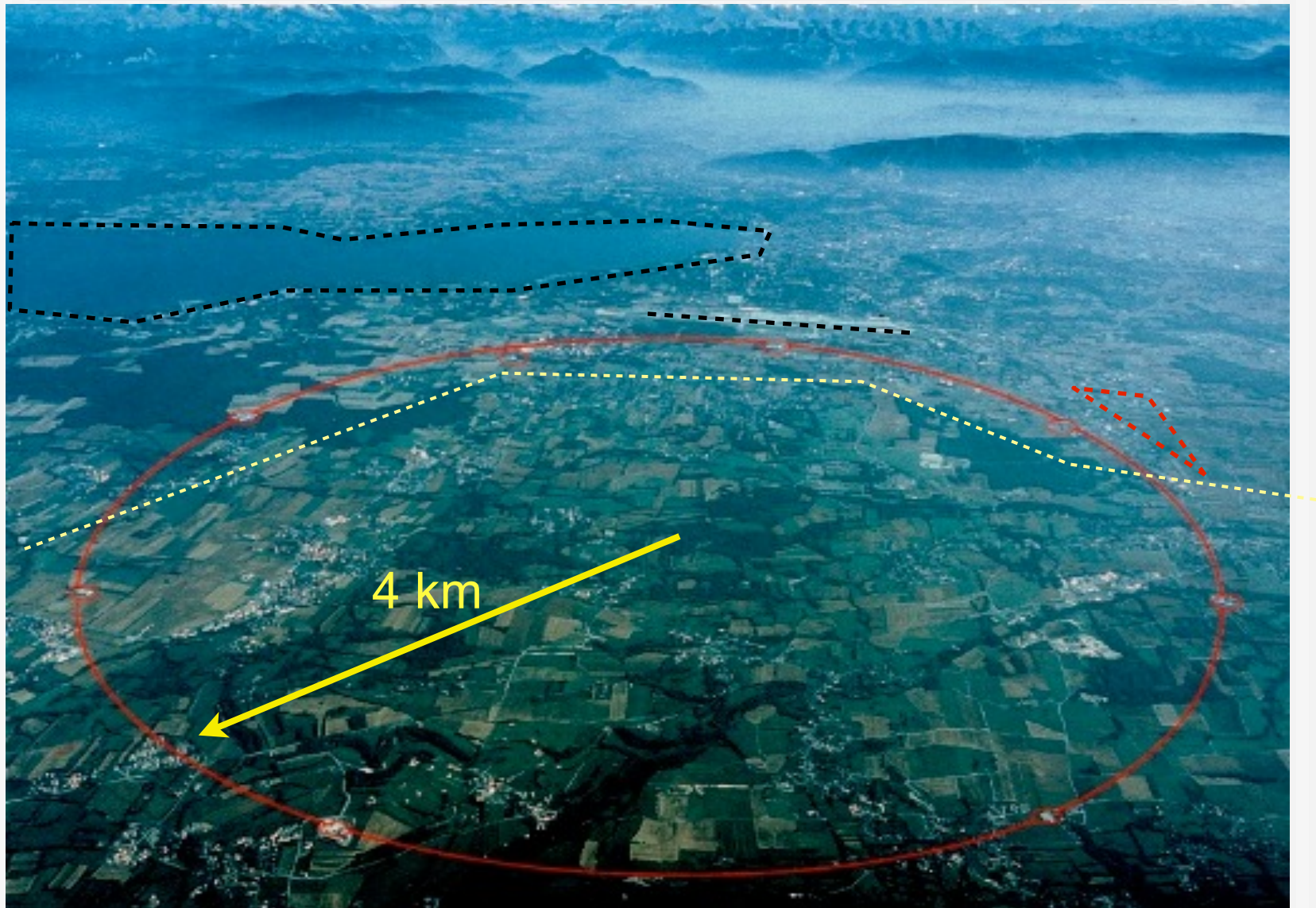


- Come conseguenza di questo meccanismo doveva però esistere una particella che aveva proprietà molto particolari: il Bosone di Higgs

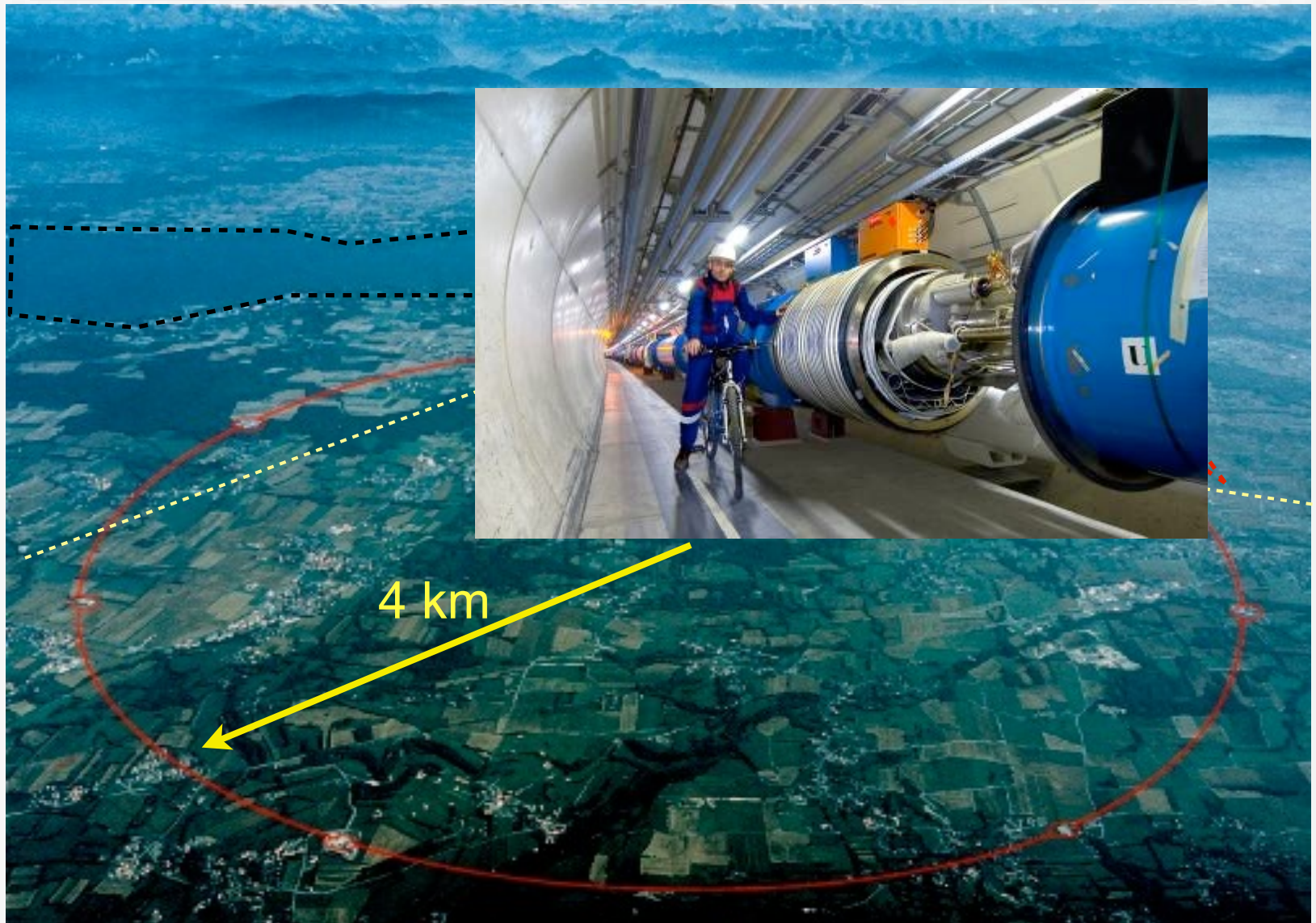
Alla ricerca del Bosone di Higgs: Il Large Hadron Collider



Alla ricerca del Bosone di Higgs: Il Large Hadron Collider

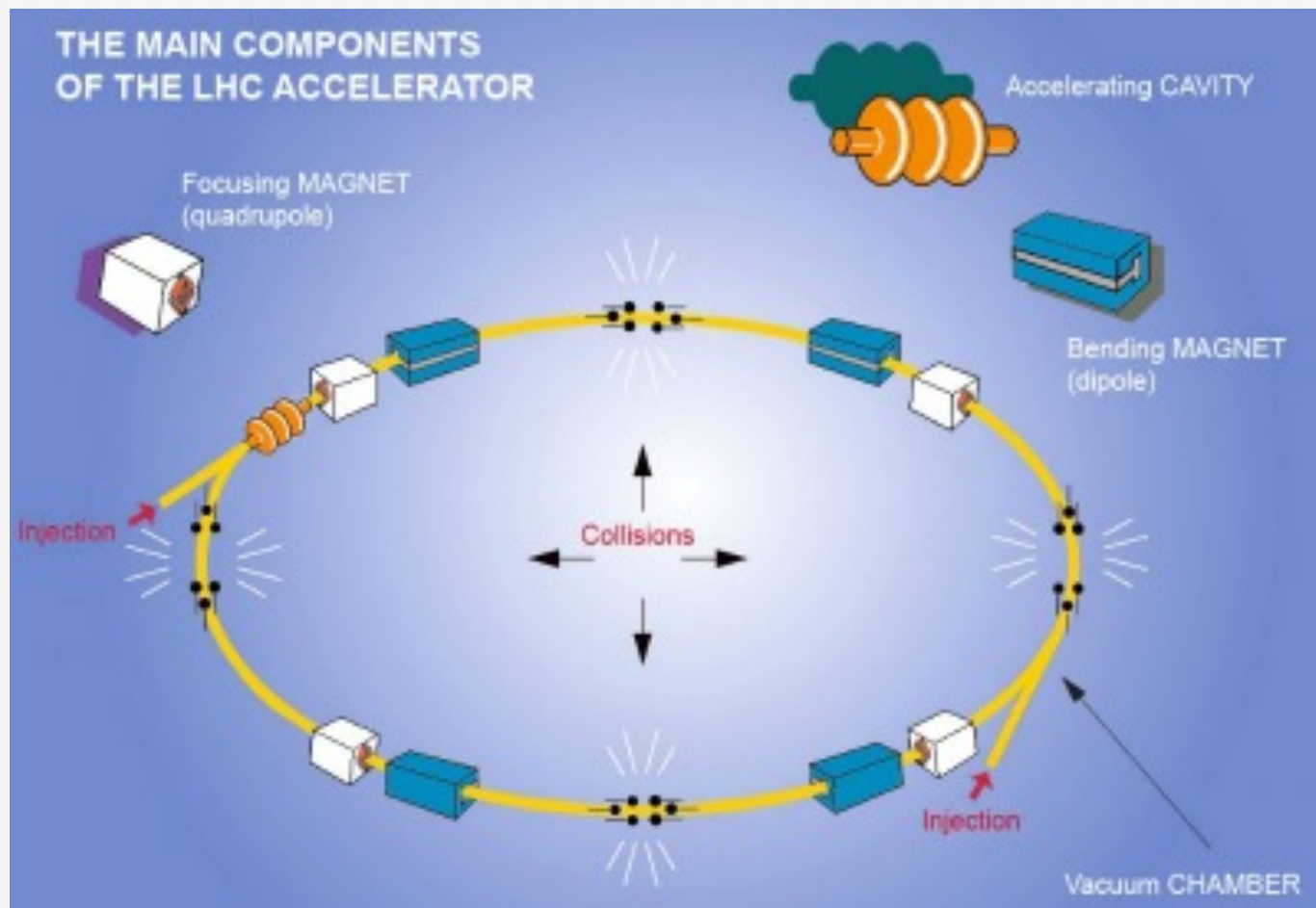


Alla ricerca del Bosone di Higgs: Il Large Hadron Collider

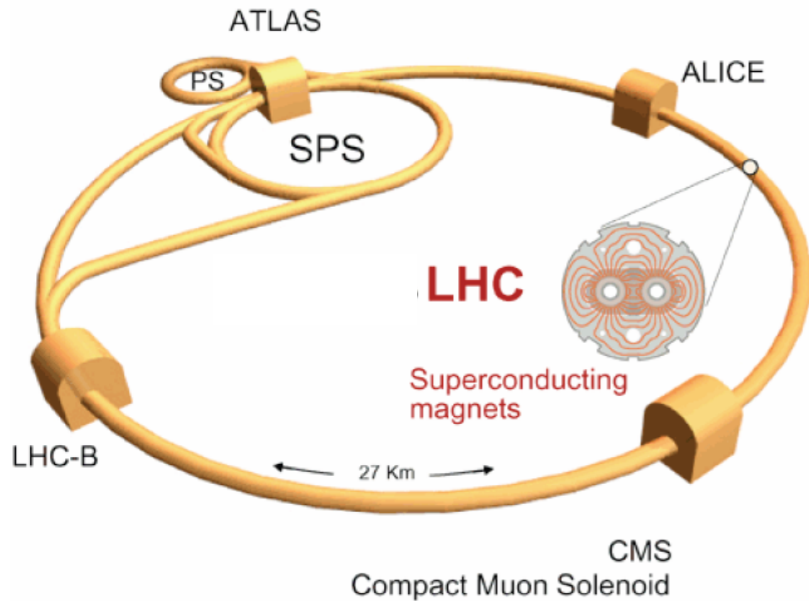


Gli acceleratori

- permettono di avere tantissimi proiettili e spararli sempre nello stesso modo

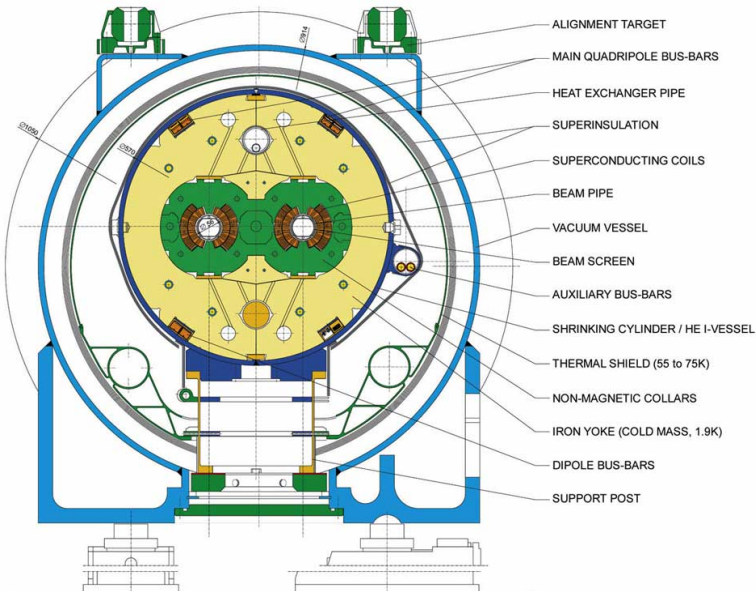


Il Large Hadron Collider



LHC DIPOLE : STANDARD CROSS-SECTION

CERN AC/DIR/MM - HE107 - 30 04 1999



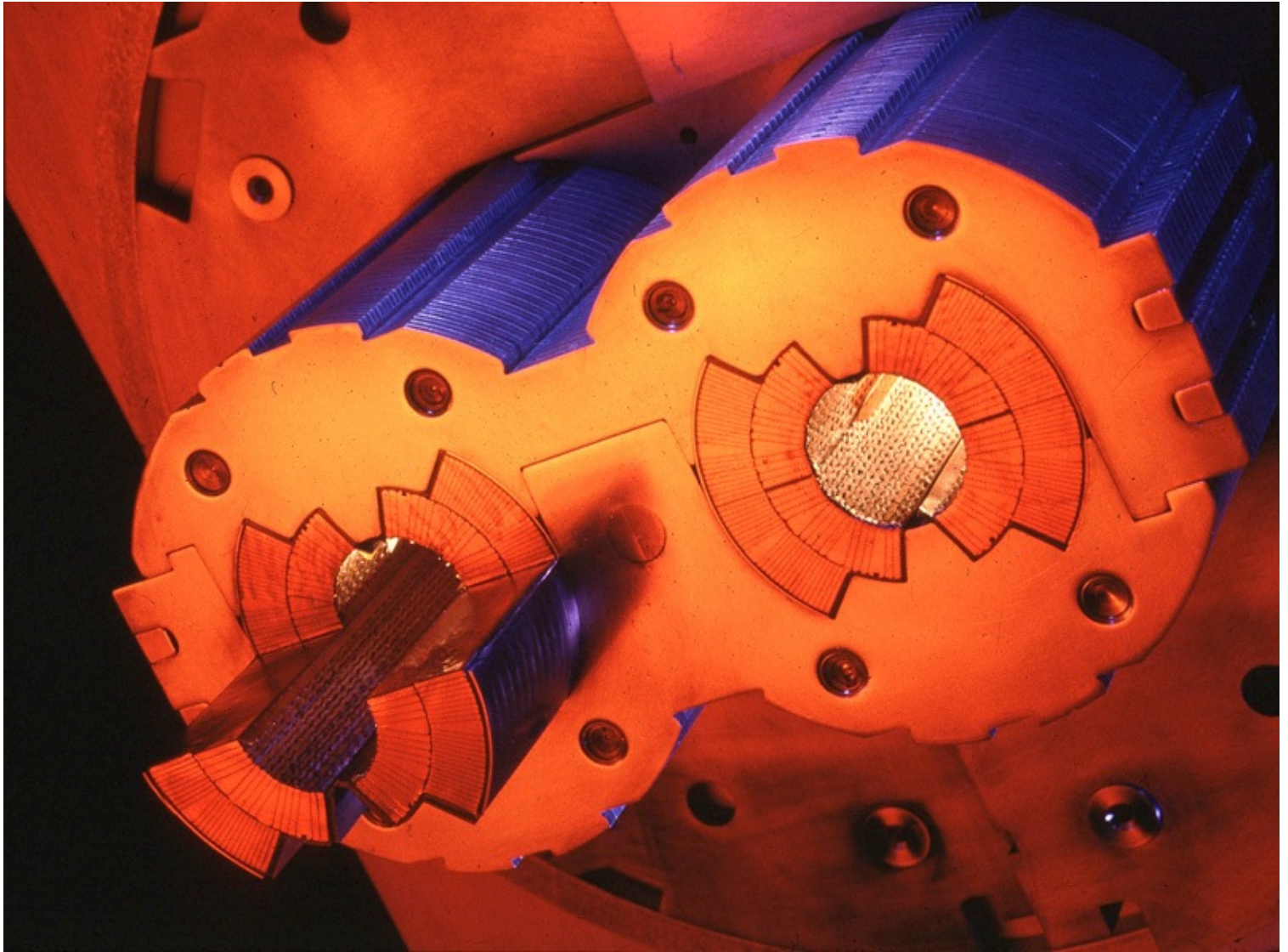
- collisioni p-p (ma anche Pb-Pb e p-Pb)

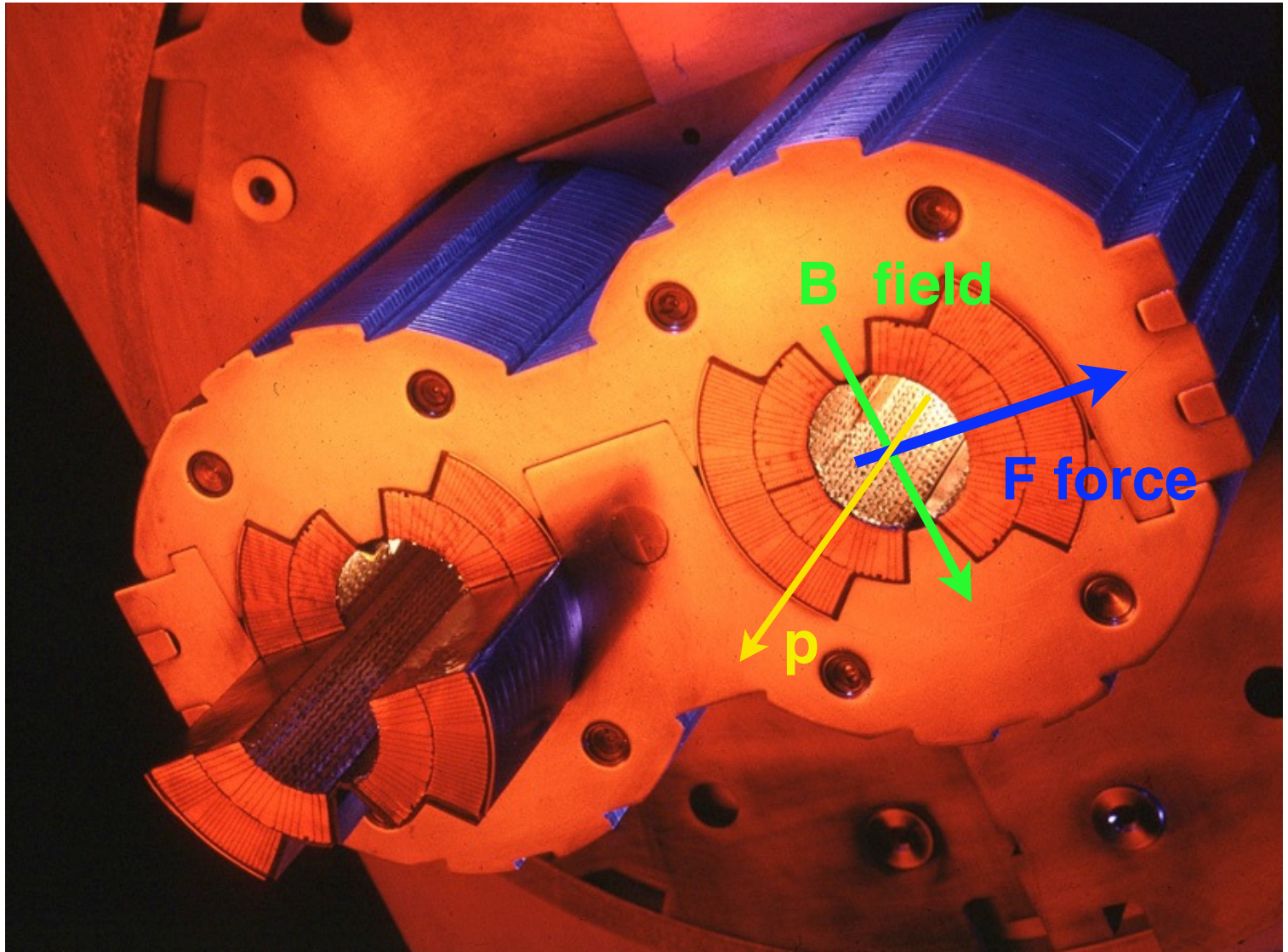
- 14 TeV nel centro di massa

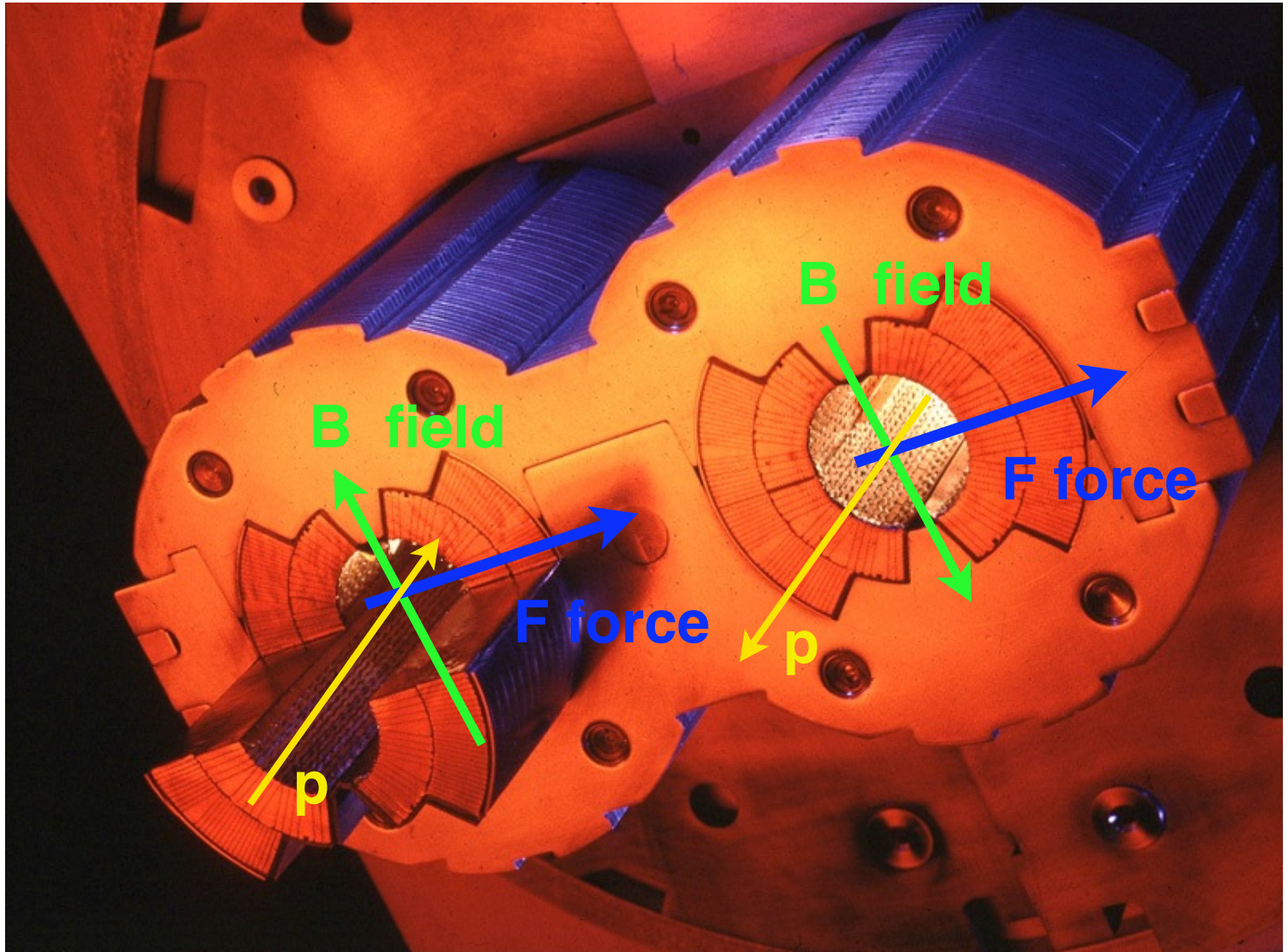
- ▶ $m_p = 1 \text{ GeV}$

- 40 MHz è la frequenza di collisione

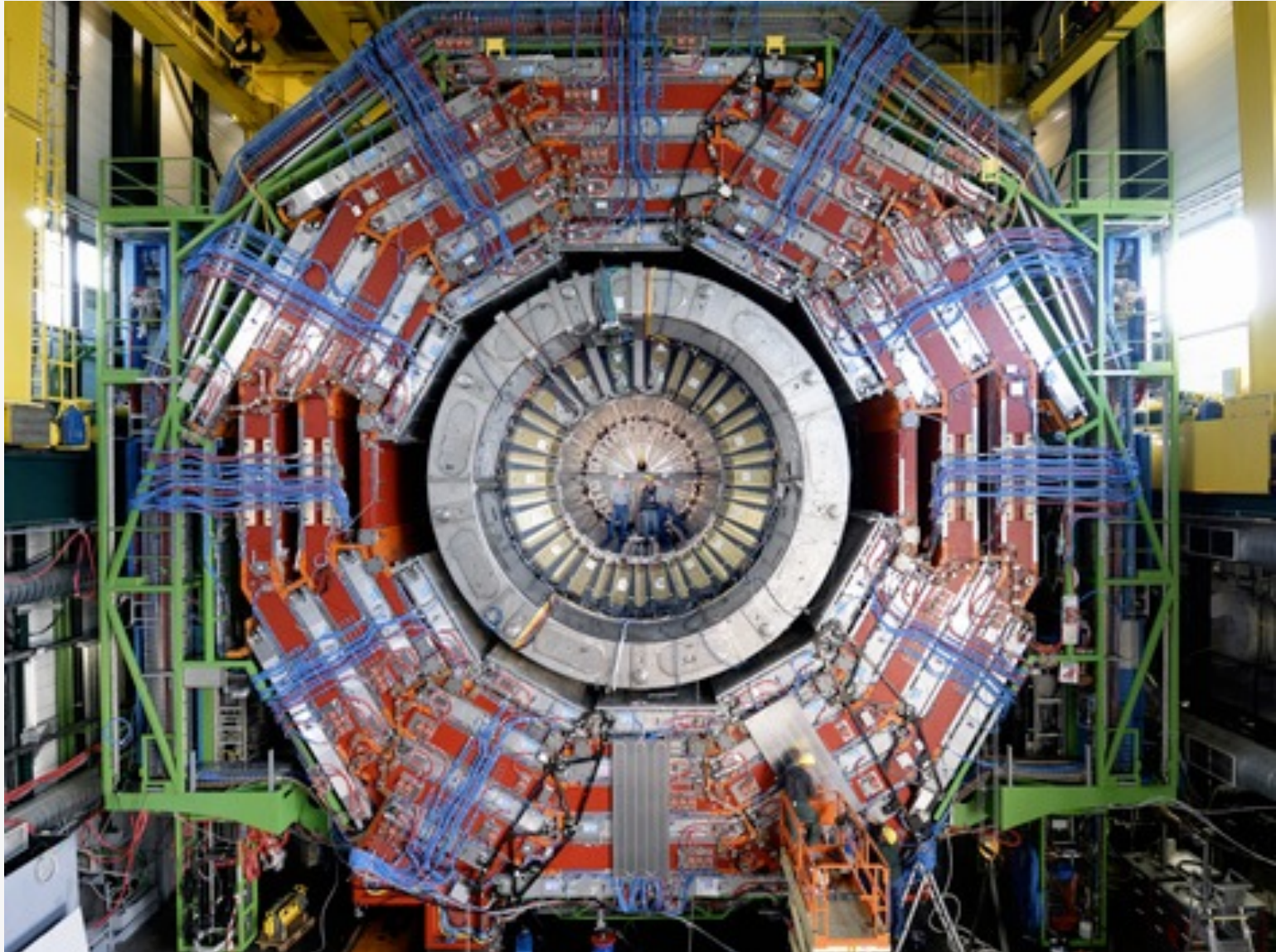
- 1200 dipoli di 8 T raffreddati a 2 K







Il rivelatore CMS



CATHÉDRALE DE PIÈRE

Église romane

Élevée en 1100

Longueur 100 m.

1/2000



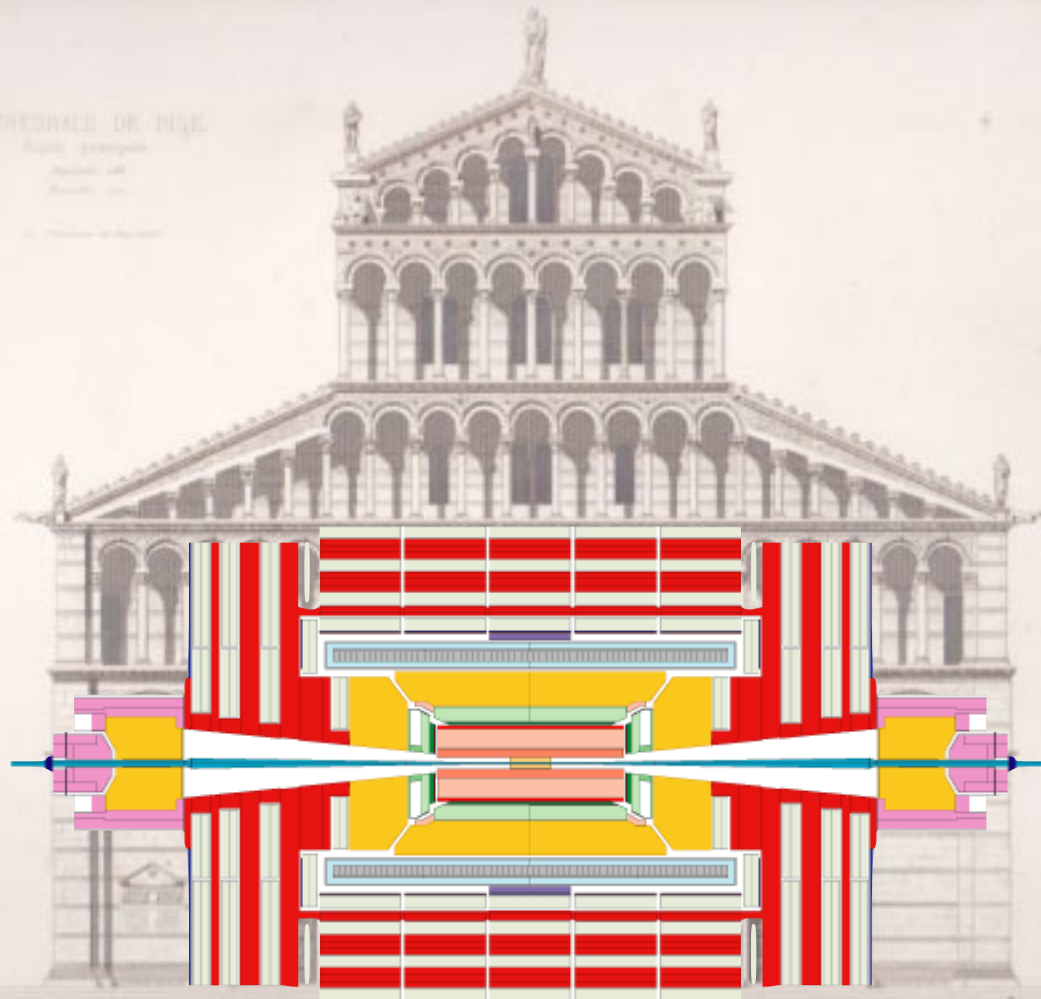
CATHÉDRALE DE PIÈRE

Église romane

Chœur et

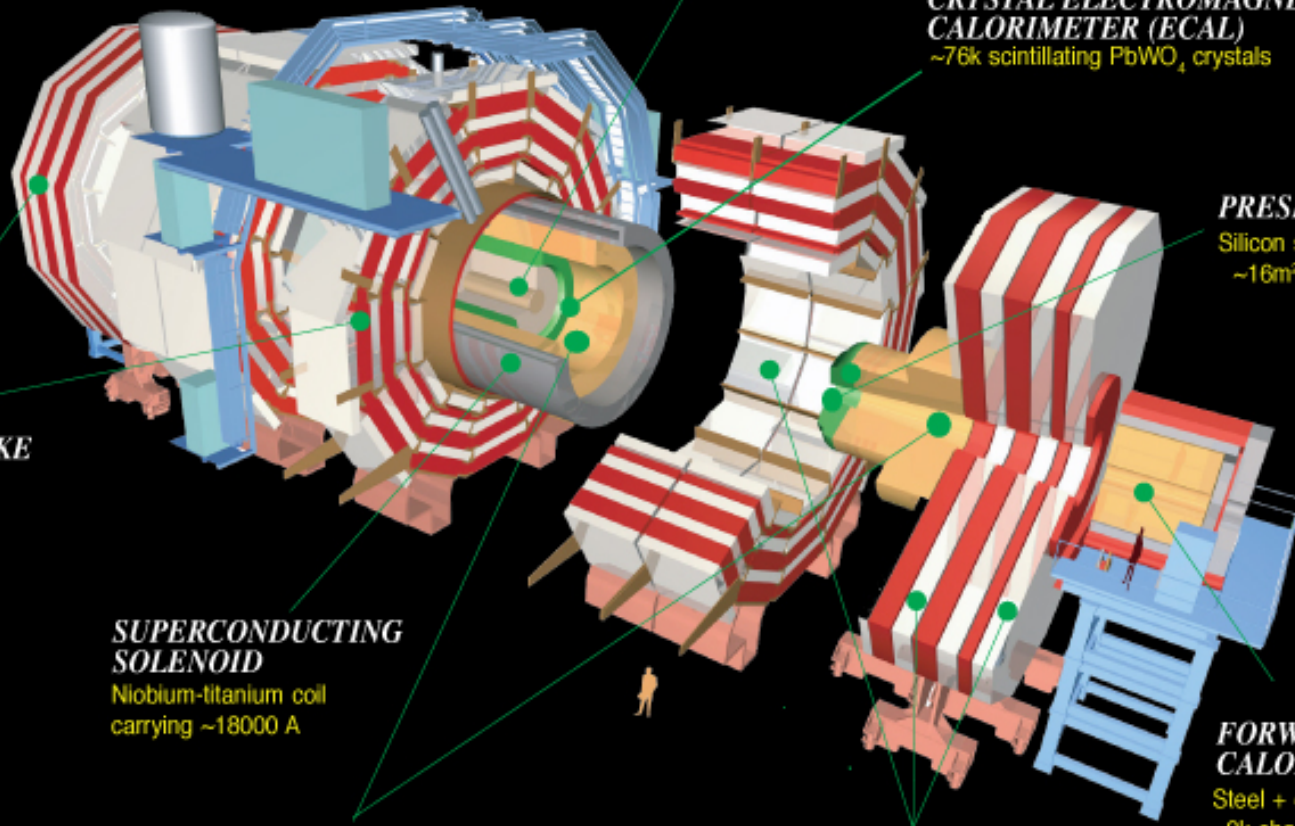
Transept

1/20. (Mètre = 1/20)



CMS Detector

Pixels
Tracker
ECAL
HCAL
Solenoid
Steel Yoke
Muons



SILICON TRACKER
Pixels ($100 \times 150 \mu\text{m}^2$)
~1m² ~66M channels
Microstrips ($80\text{--}180\mu\text{m}$)
~200m² ~9.6M channels

CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)
~76k scintillating PbWO₄ crystals

PRESHOWER
Silicon strips
~16m² ~137k channels

STEEL RETURN YOKE
~13000 tonnes

SUPERCONDUCTING SOLENOID
Niobium-titanium coil
carrying ~18000 A

HADRON CALORIMETER (HCAL)
Brass + plastic scintillator
~7k channels

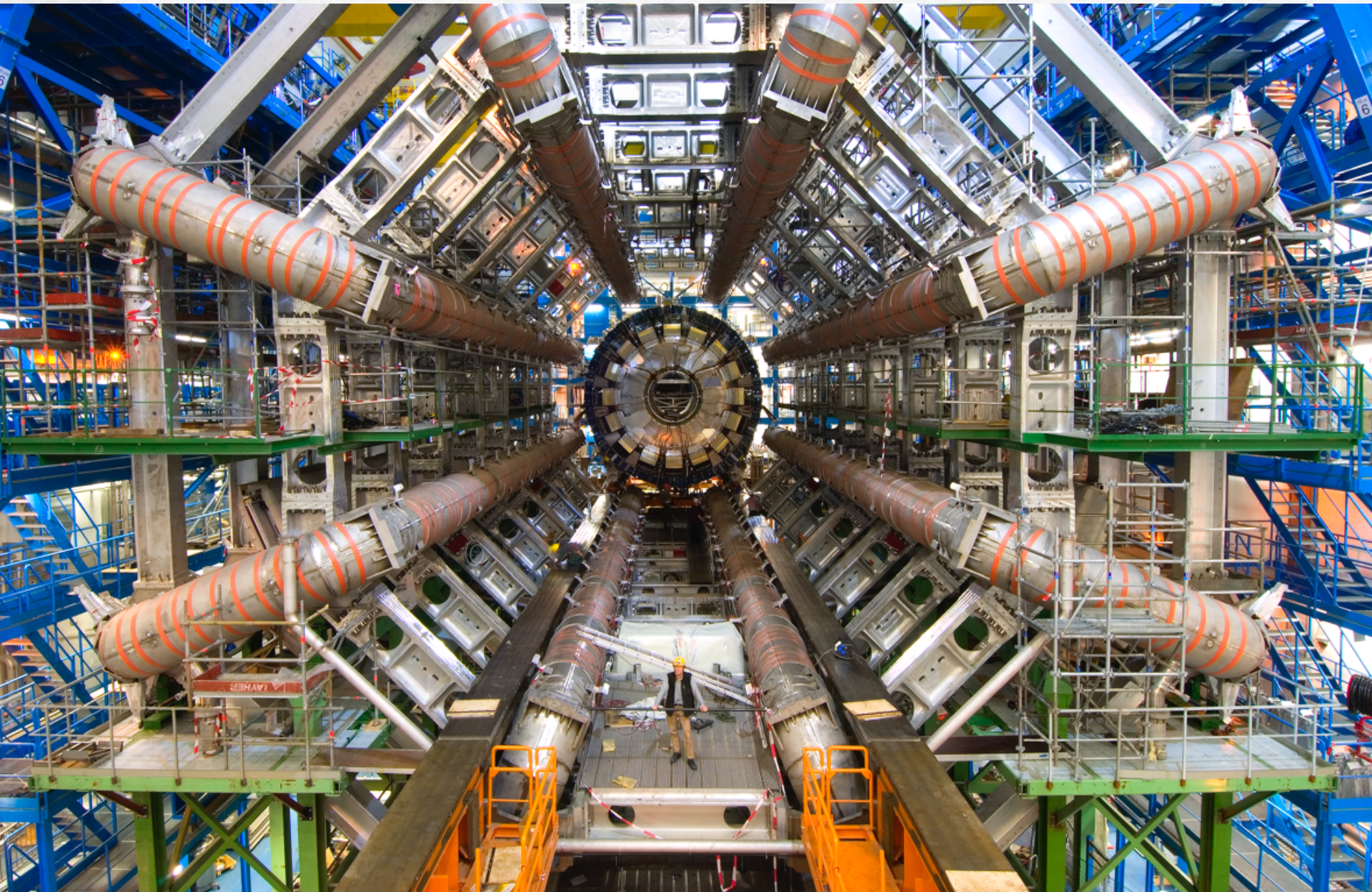
FORWARD CALORIMETER
Steel + quartz fibres
~2k channels

MUON CHAMBERS
Barrel: 250 Drift Tube & 480 Resistive Plate Chambers
Endcaps: 473 Cathode Strip & 432 Resistive Plate Chambers

Total weight : 14000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T

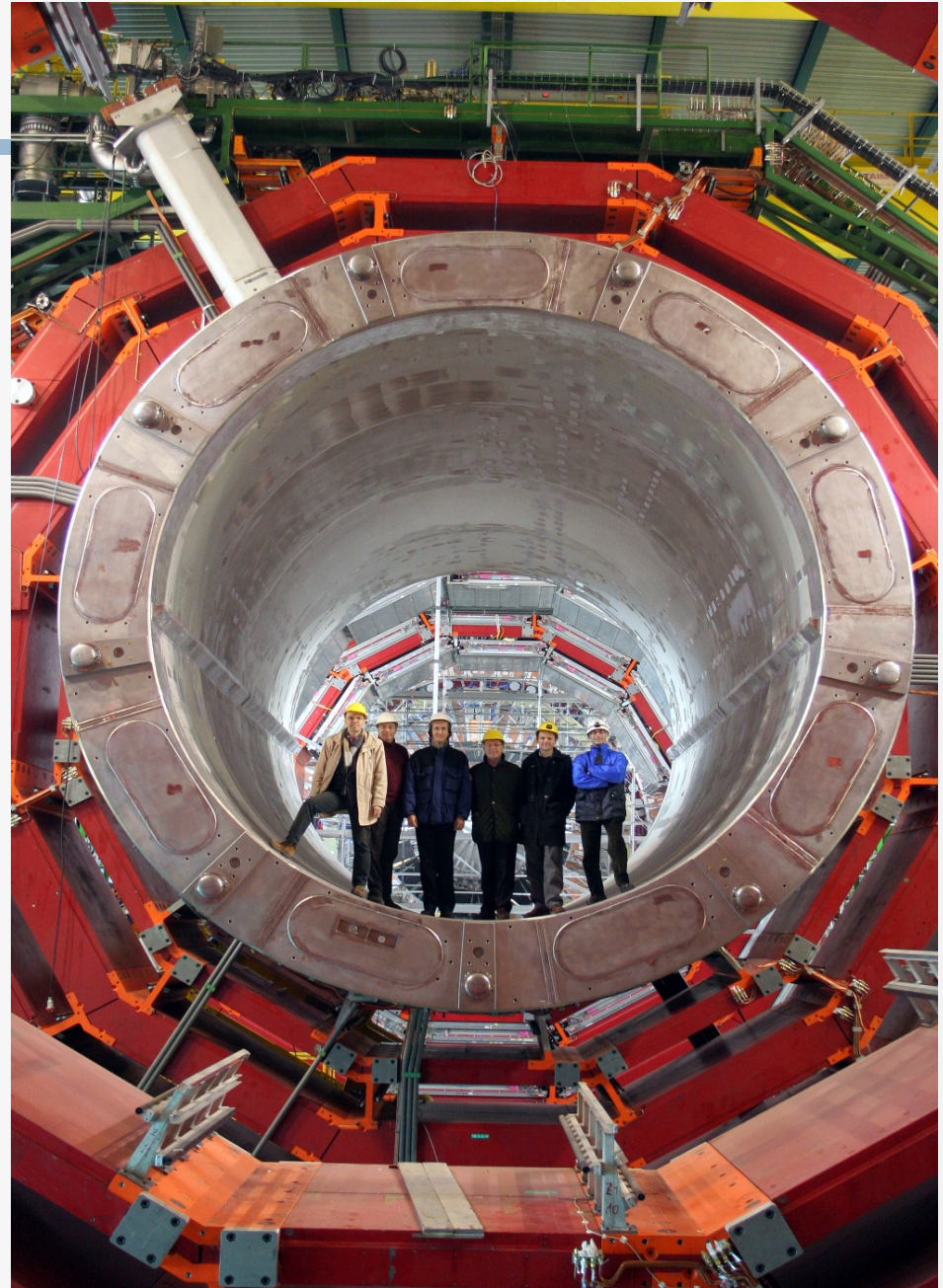
La collaborazione è formata da più di 2000 fisici da tutto il mondo

ATLAS

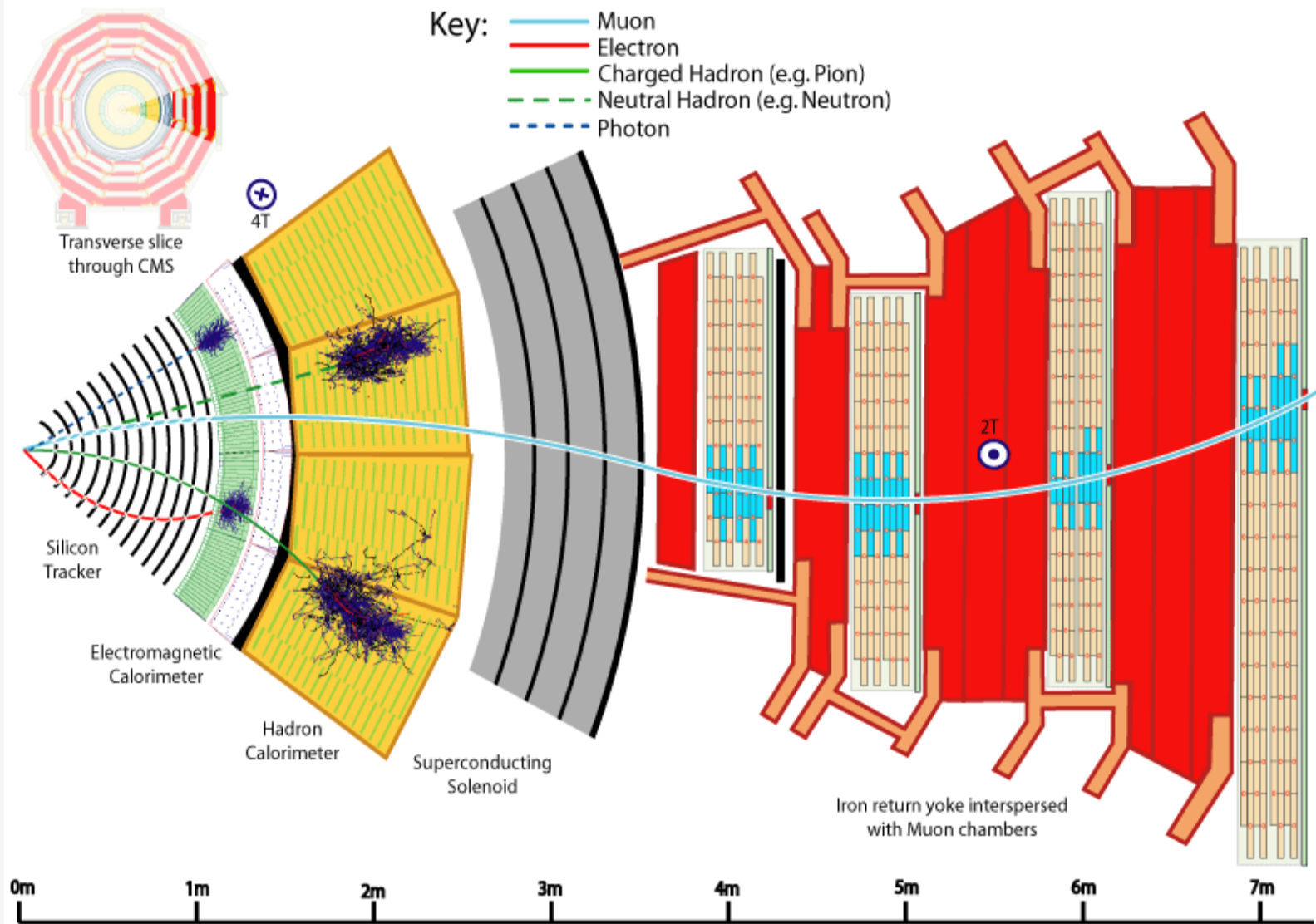


Il magnete

- dimensioni:
 - 13 m di lunghezza
 - 6 m di diametro
- superconduttore
 - raffreddato a 4K
 - 20000 A di corrente
- campo magnetico di 4 Tesla
- 2.5 GJ di energia
 - un Eurostar a 300 km/h
 - abbastanza per fondere 20 t di oro
- È stato costruito dall'ANSALDO



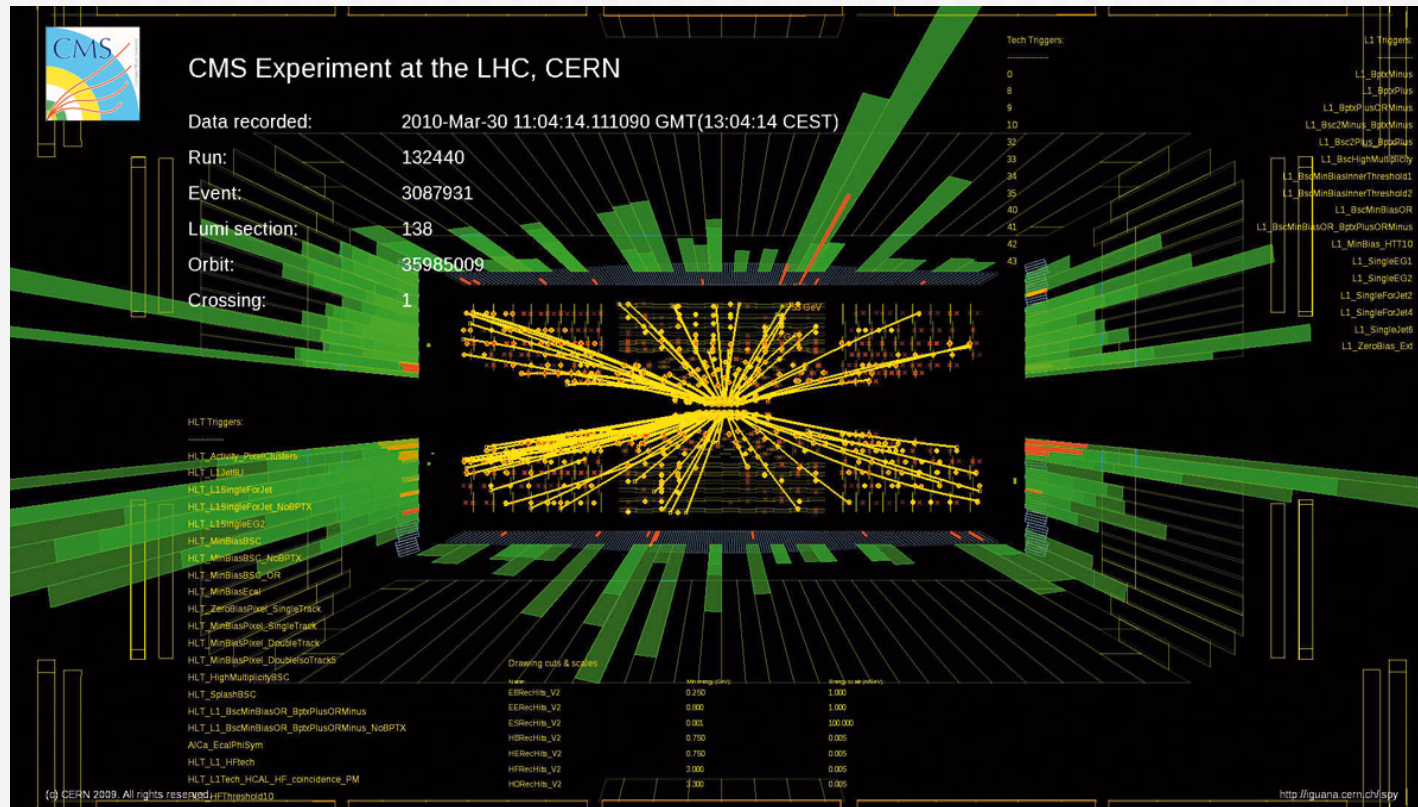
Le particelle nel rivelatore CMS





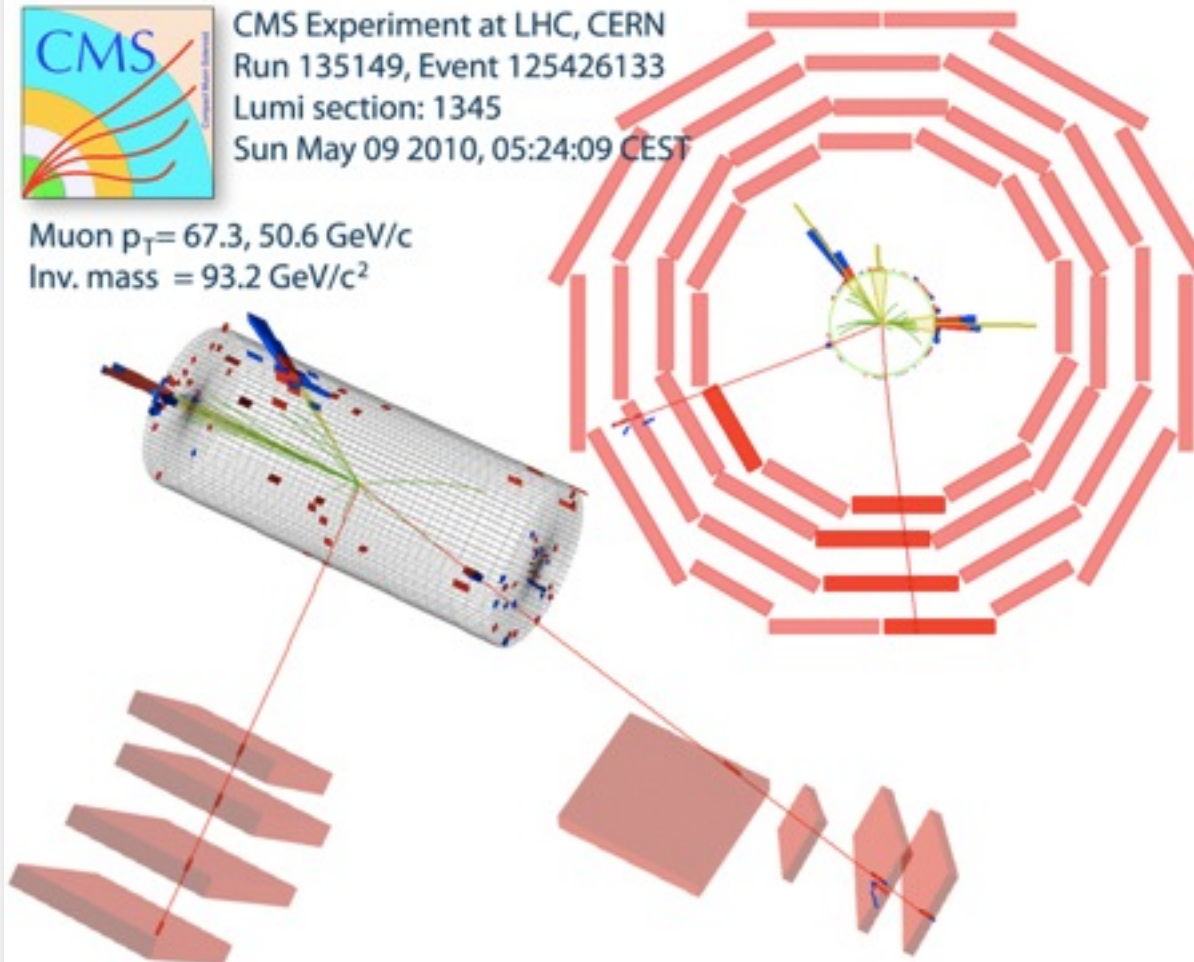


Il nostro microscopio!...



- **$E=mc^2$** : grazie all'energia dei protoni si producono altre particelle anche molto più pesanti

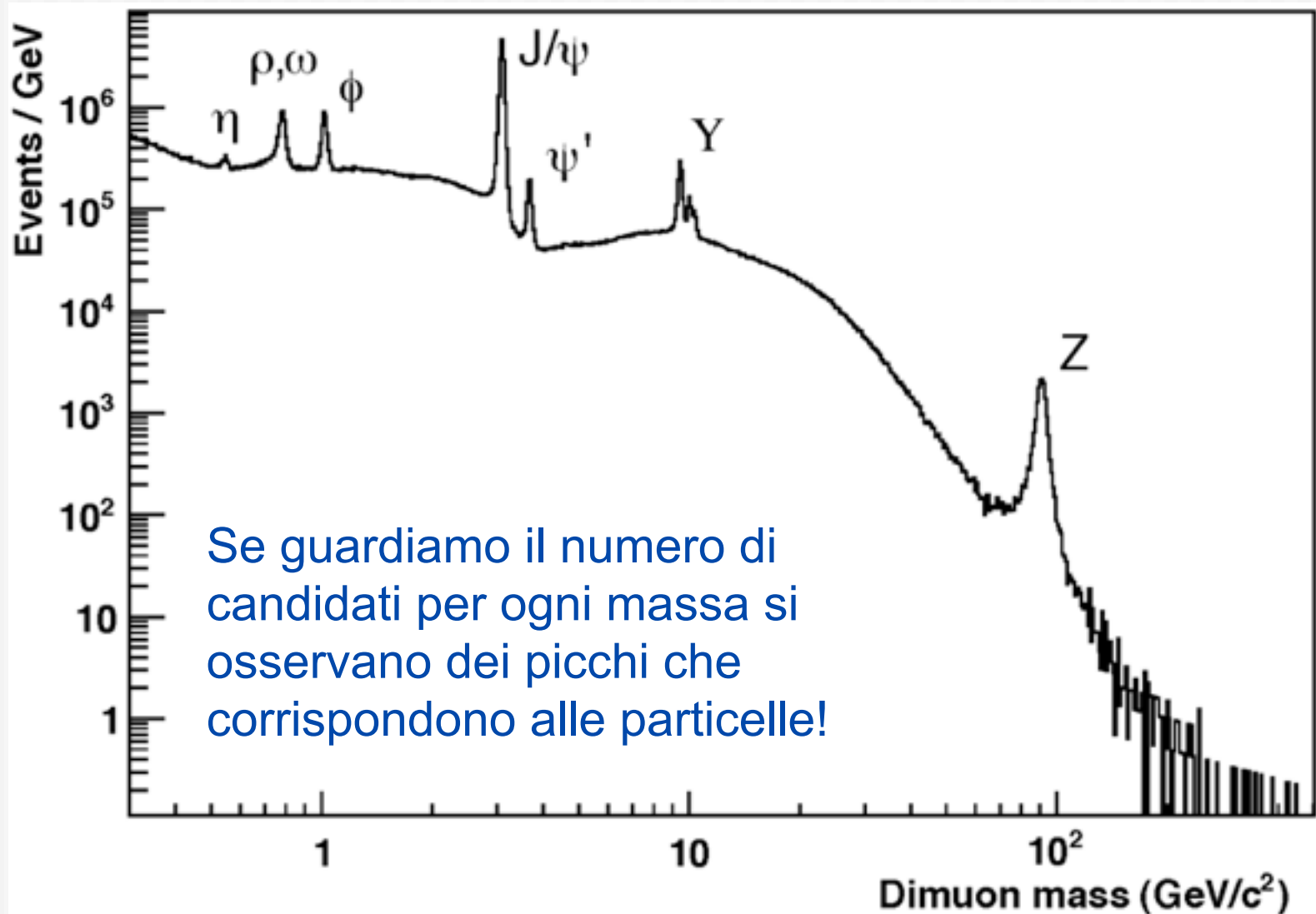
Un esempio: le coppie $\mu^+\mu^-$



Facciamo l'ipotesi che la coppia sia prodotta dal decadimento di una particella

La somma delle energie dei muoni dovrà corrispondere alla massa della particella (nel suo sistema a riposo)

Un esempio: le coppie $\mu^+\mu^-$



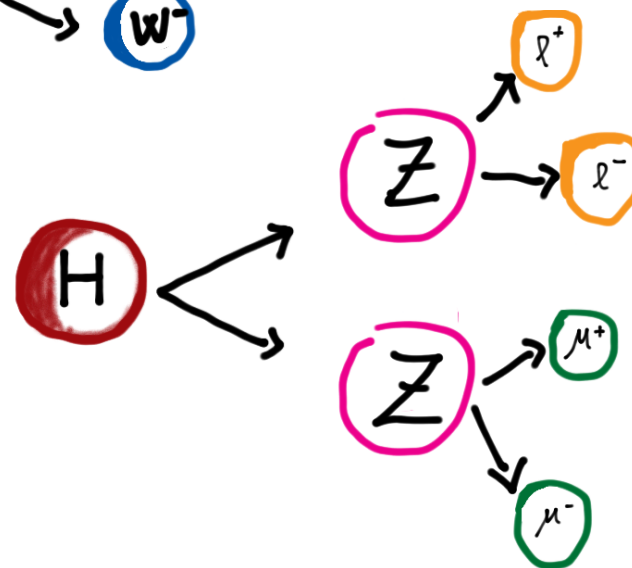
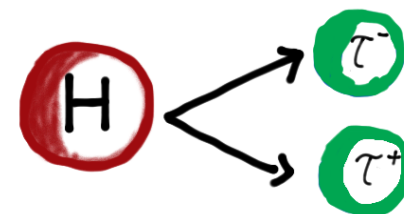
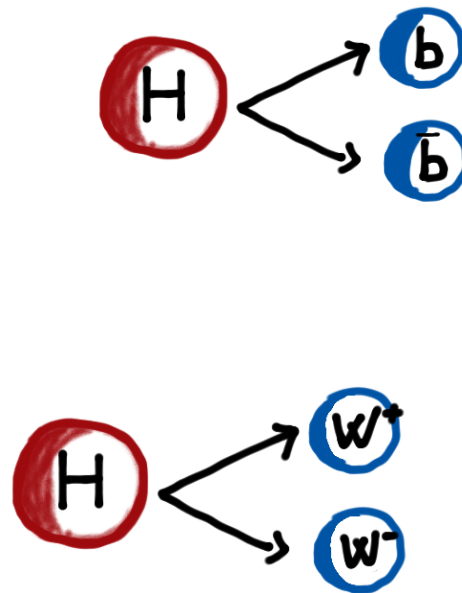
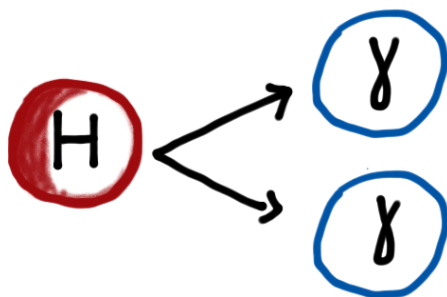


La ricerca del bosone di Higgs

Solo 1 collisione p-p
su 5 miliardi produce
un bosone di Higgs.
Come lo individuo ?

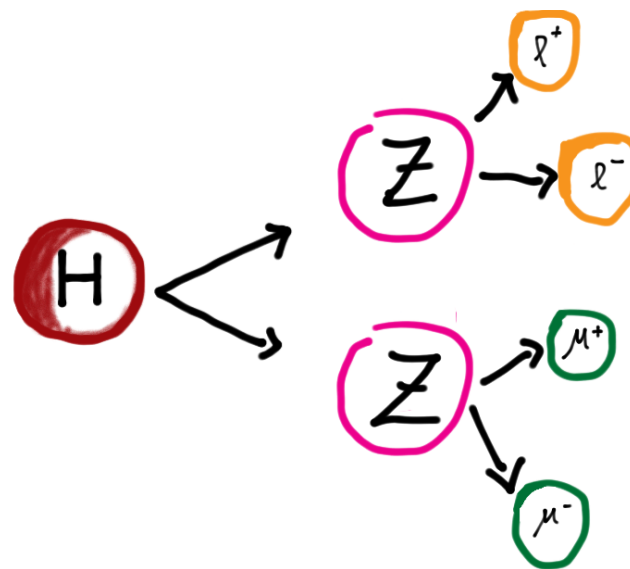
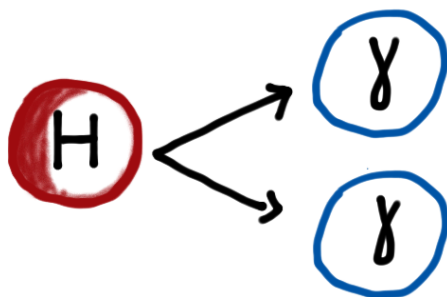
La ricerca del bosone di Higgs

Solo 1 collisione p-p
su 5 miliardi produce
un bosone di Higgs.
Come lo individuo ?



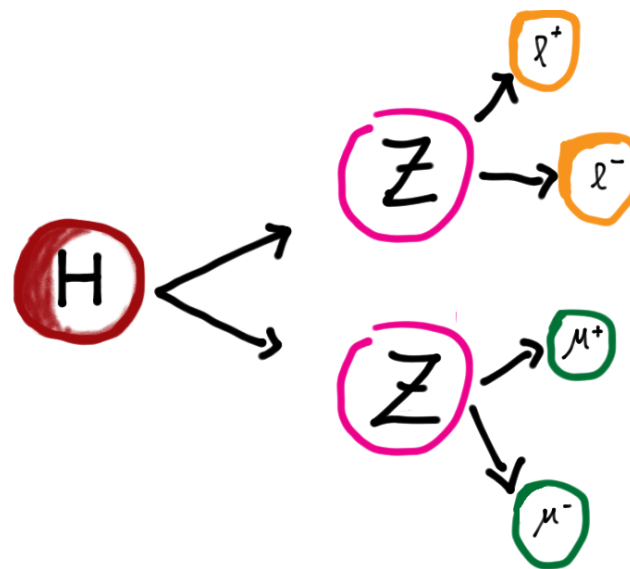
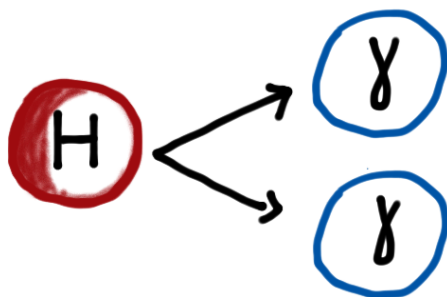
La ricerca del bosone di Higgs

Solo 1 collisione p-p
su 5 miliardi produce
un bosone di Higgs.
Come lo individuo ?

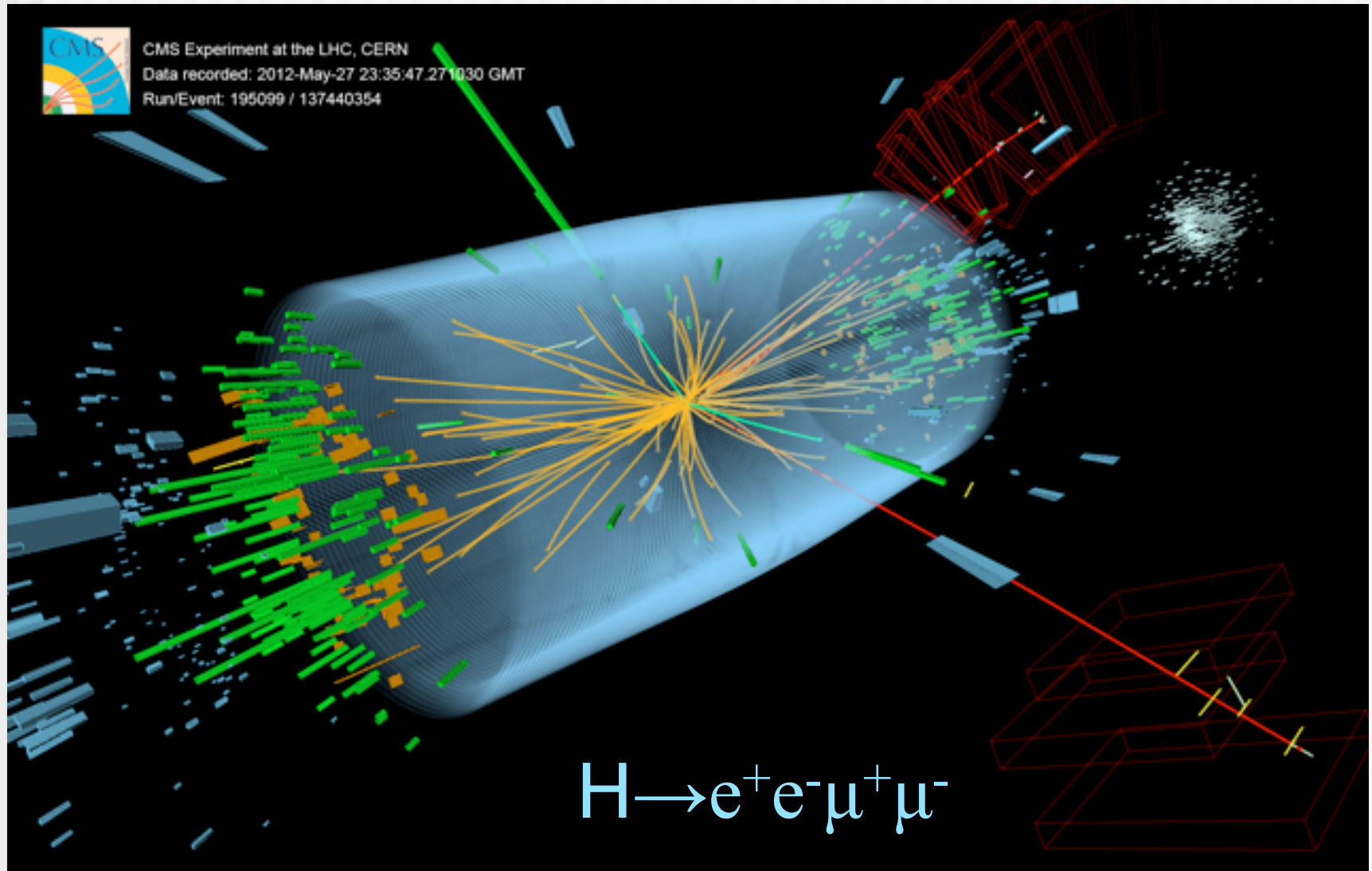


La ricerca del bosone di Higgs

Solo 1 collisione p-p
su 5 miliardi produce
un bosone di Higgs.
Come lo individuo ?



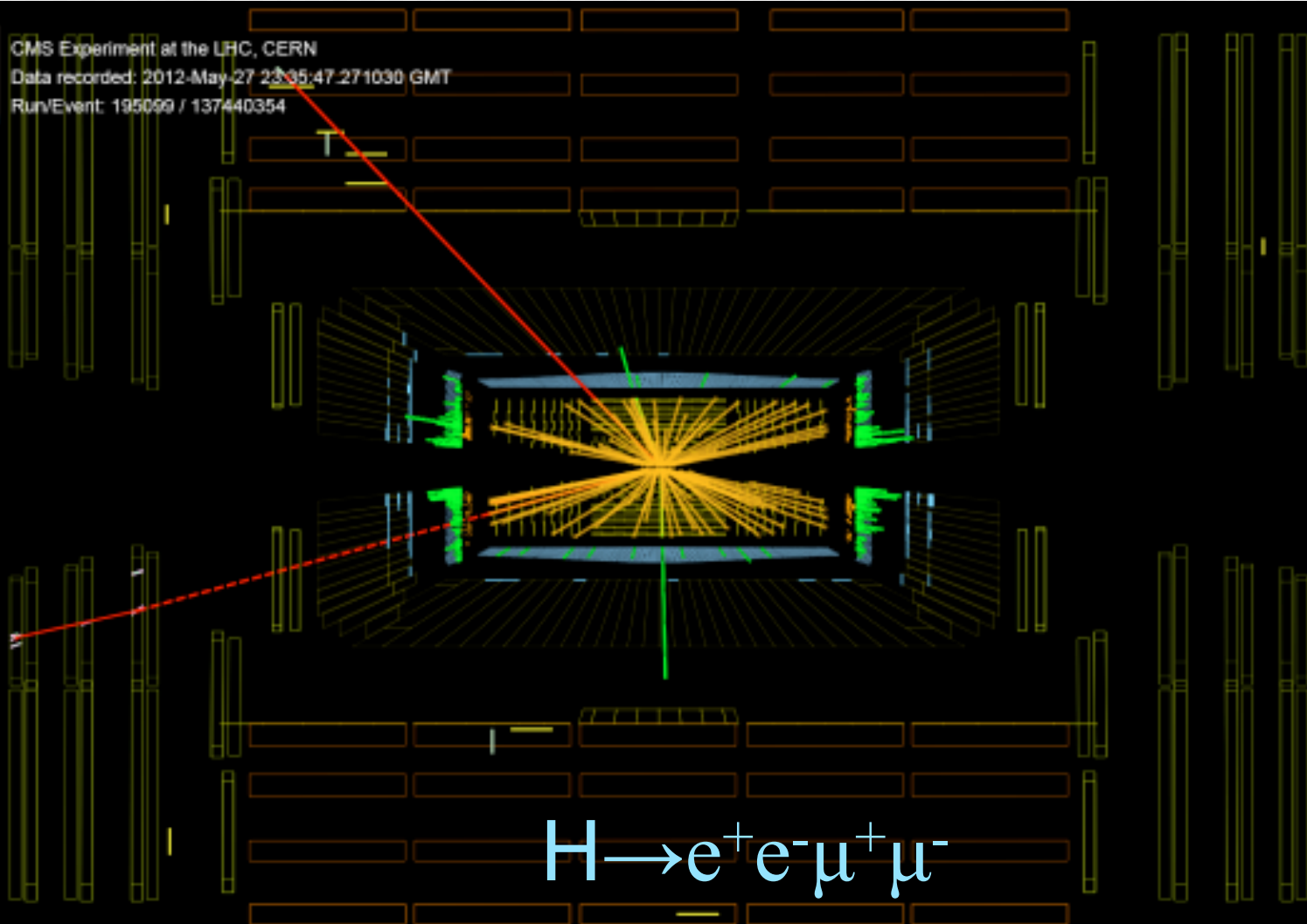
Un candidato Higgs



Un candidato Higgs

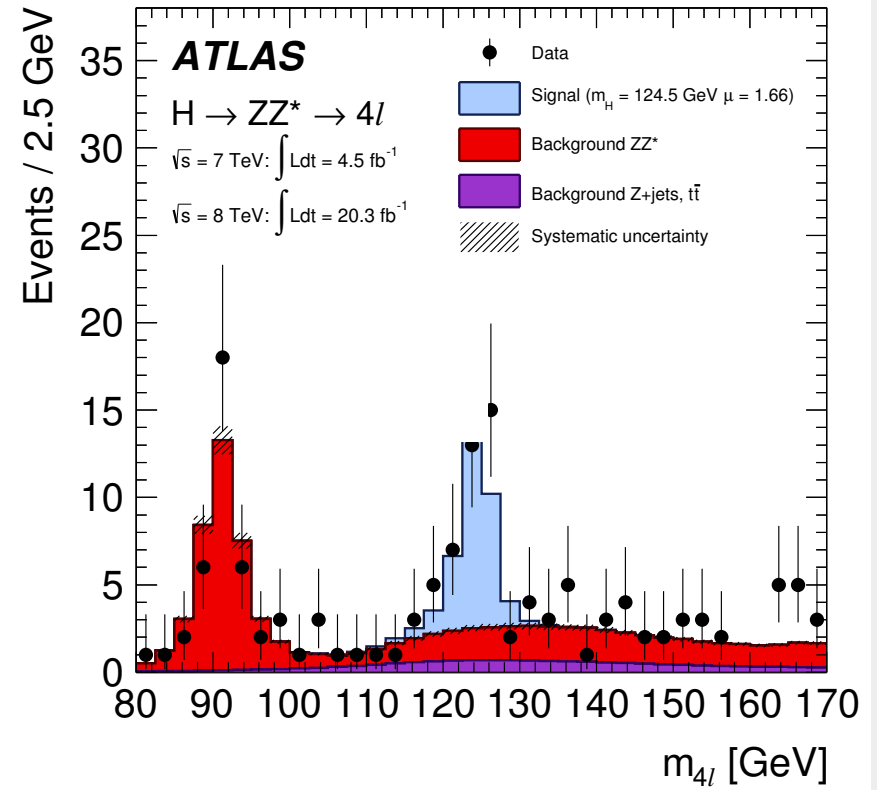
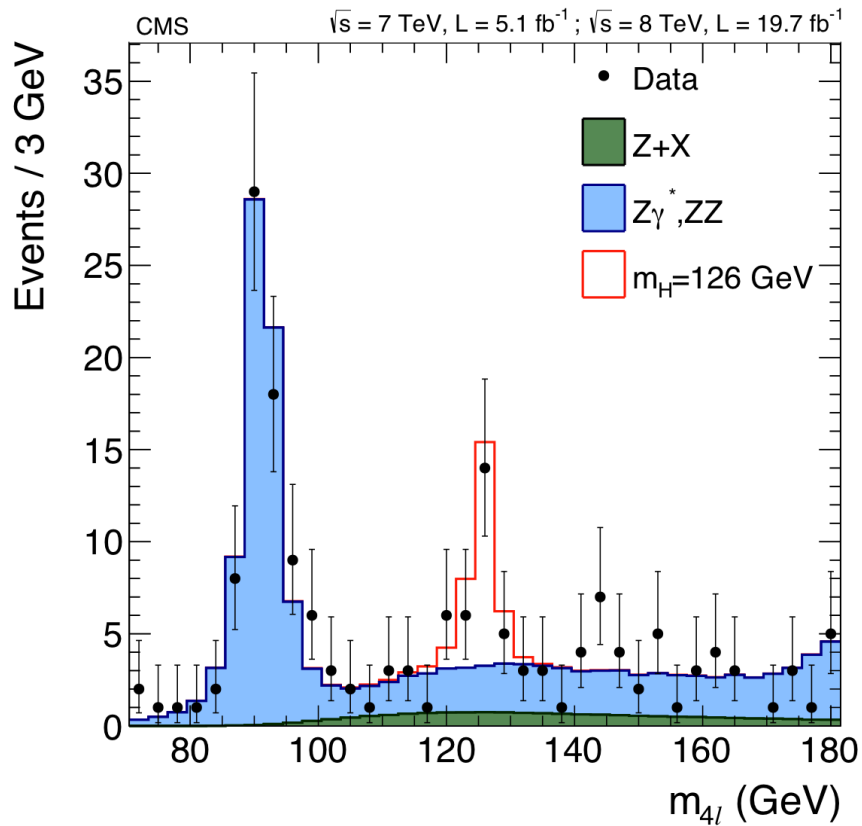


CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:05:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354

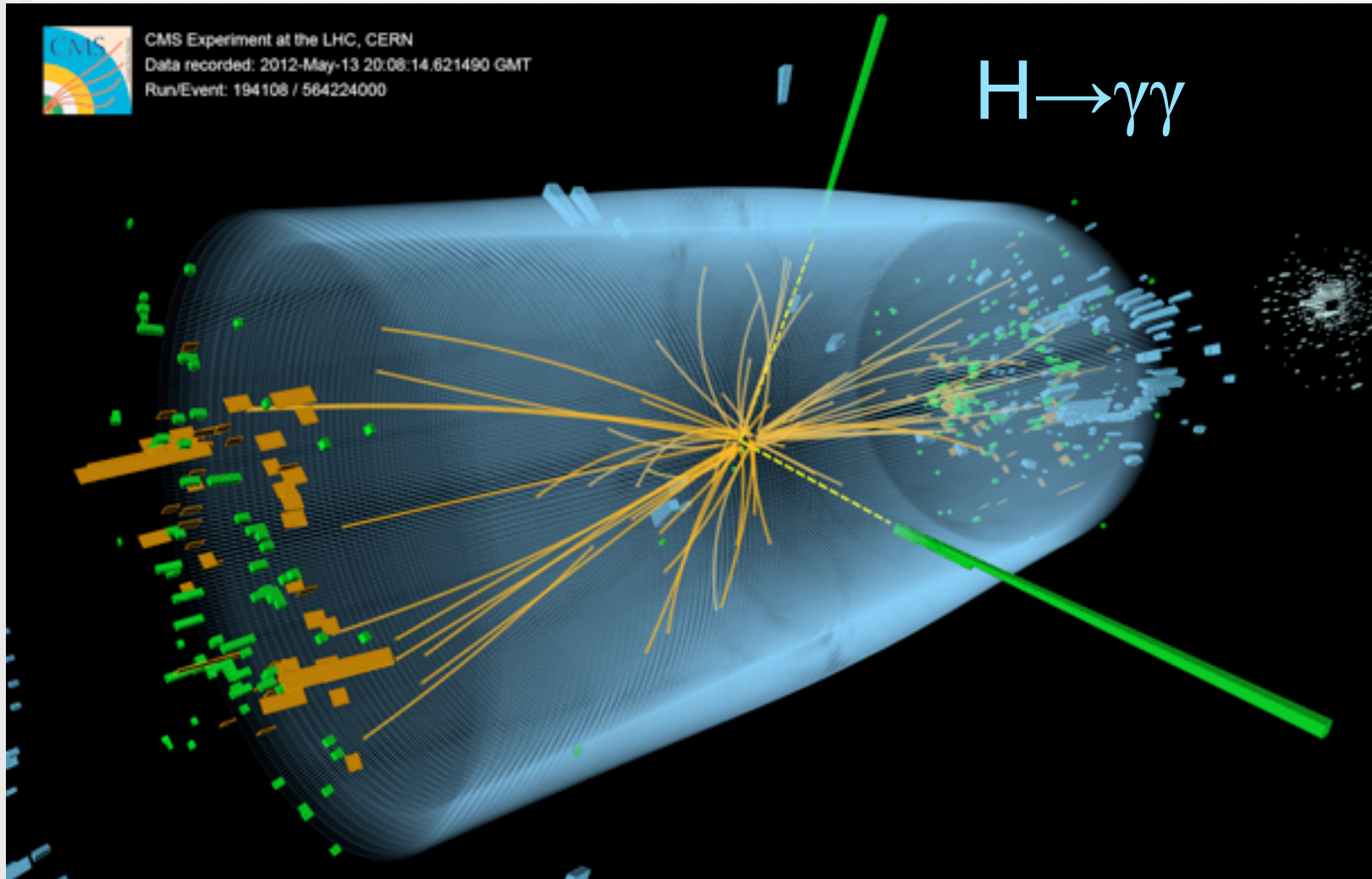


$$H \rightarrow e^+ e^- \mu^+ \mu^-$$

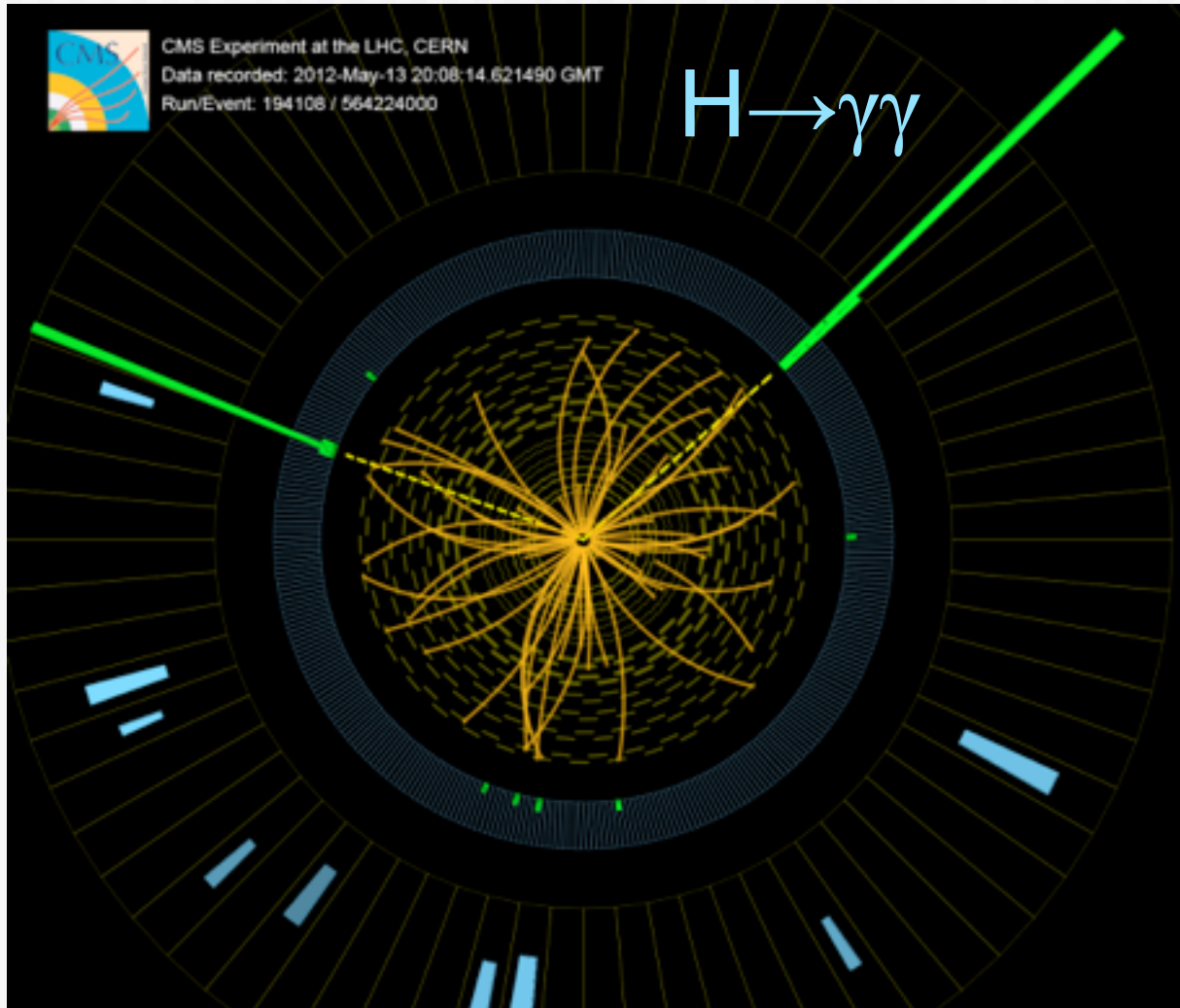
$$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$$



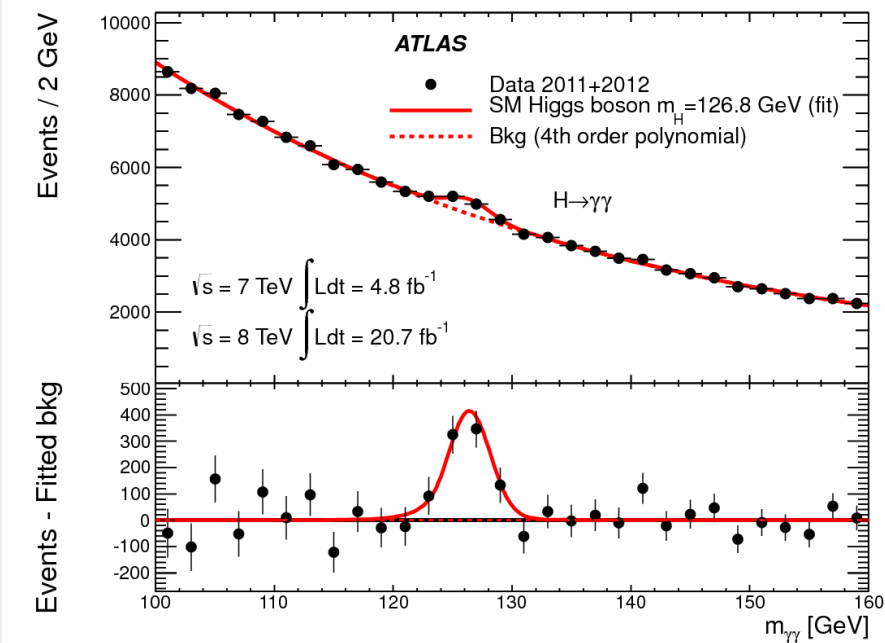
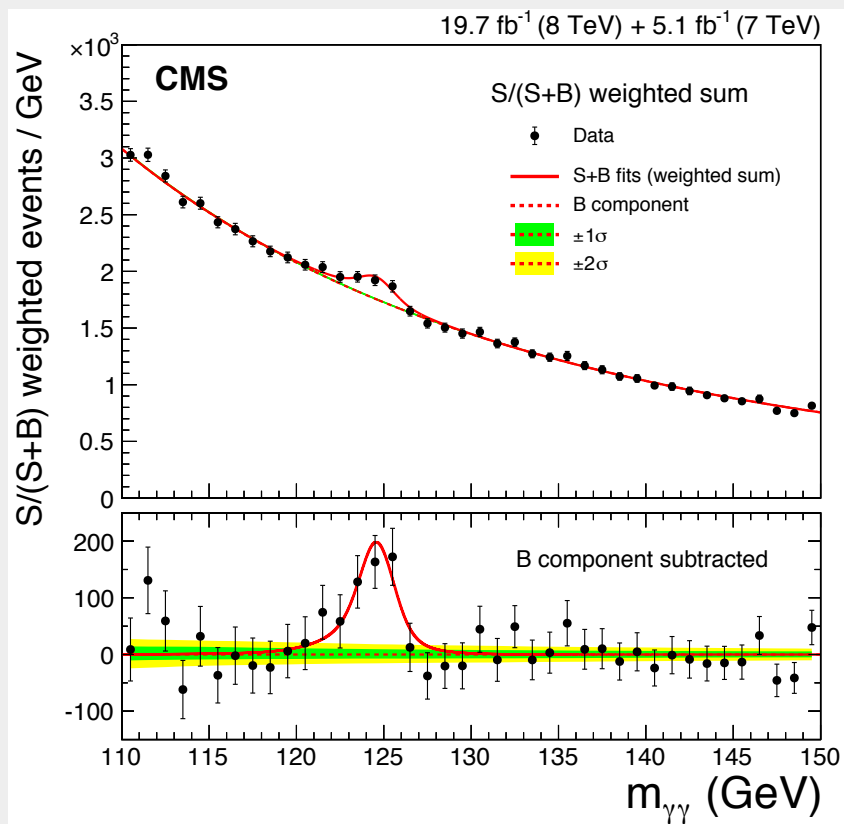
Un altro candidato Higgs



Un altro candidato Higgs

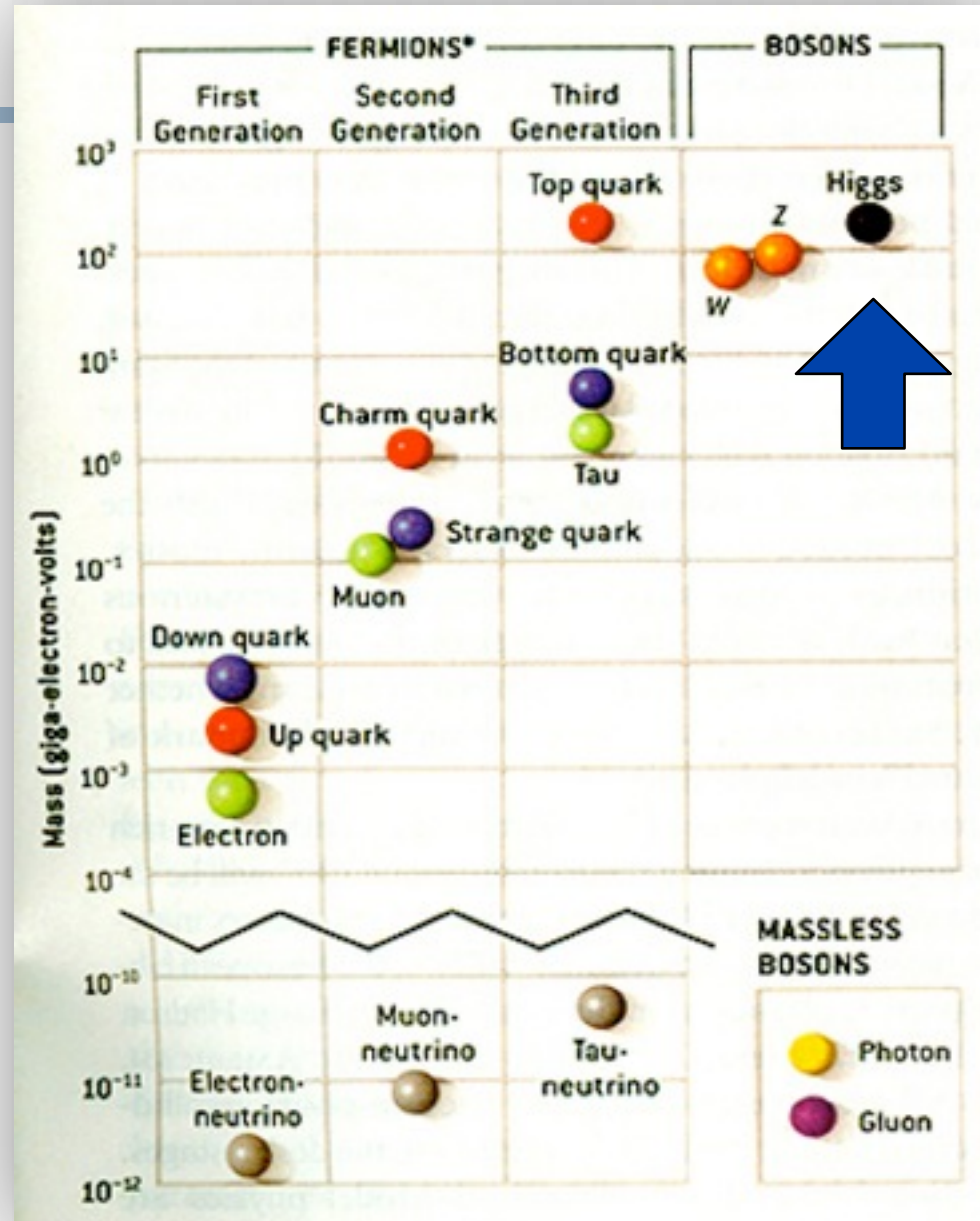


$$H \rightarrow \gamma\gamma$$



Il Modello Standard

finalmente completo!



Il Modello Standard

fi



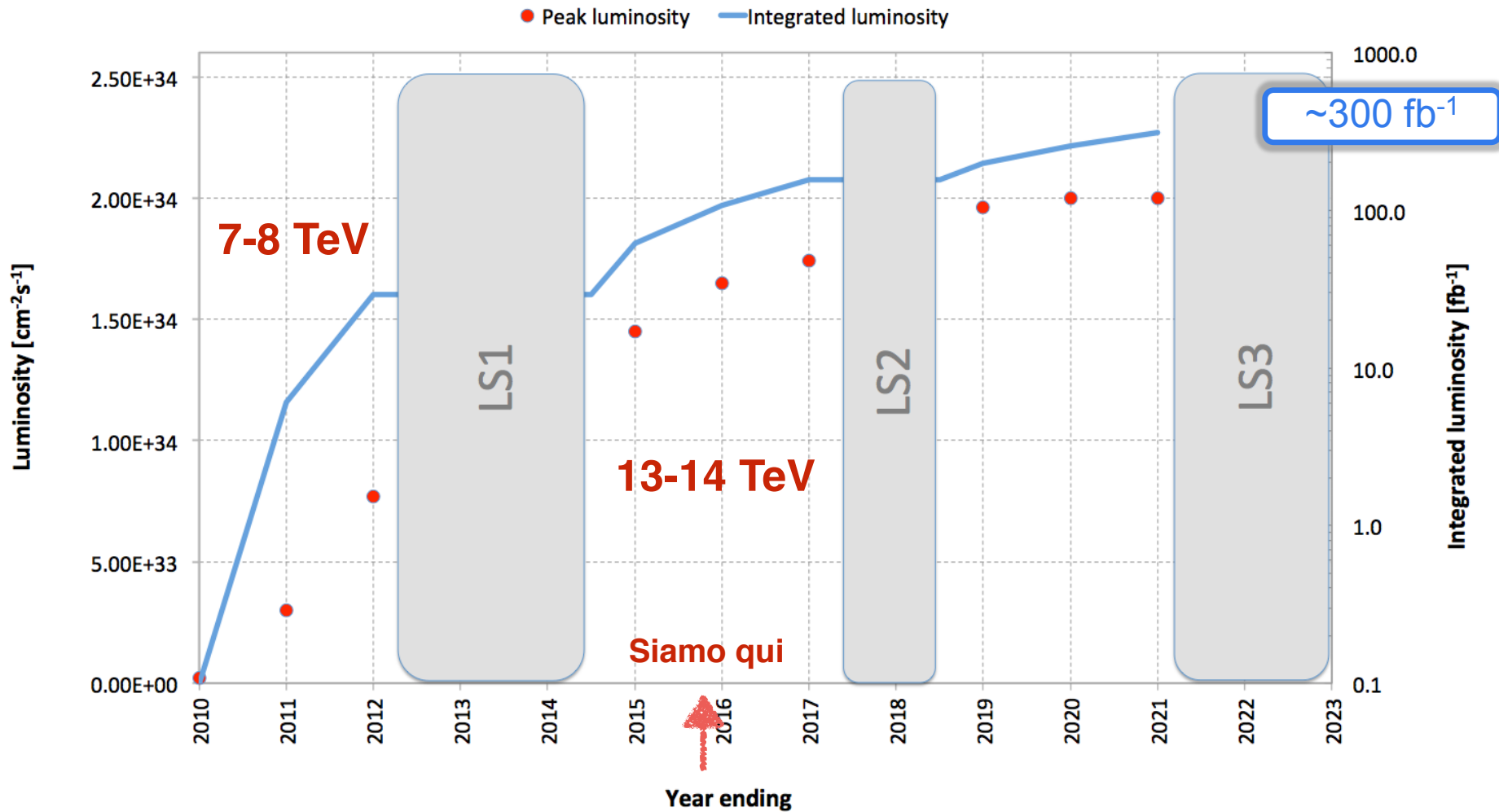
2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

François Englert
Peter W. Higgs



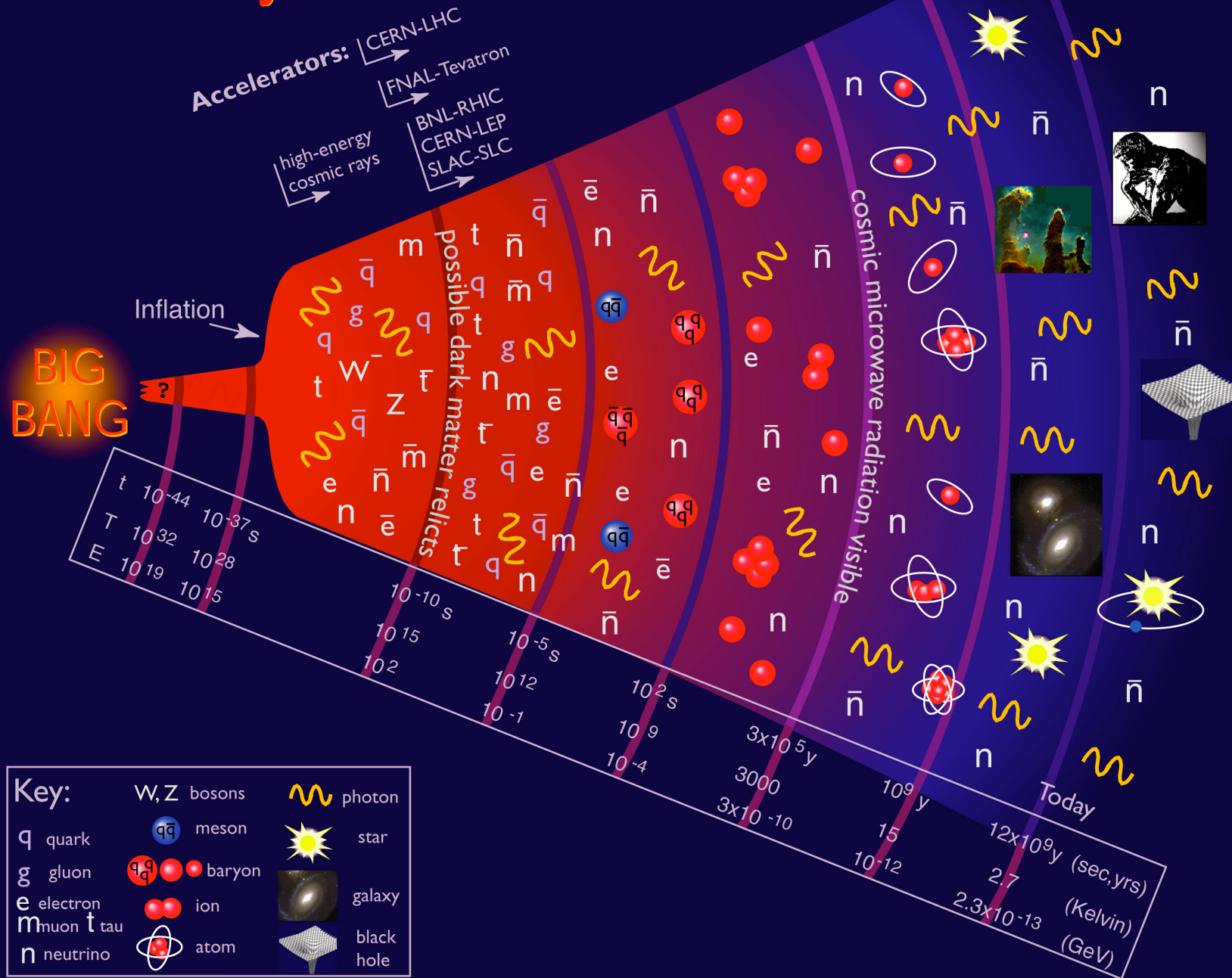
E adesso?

Il futuro di LHC



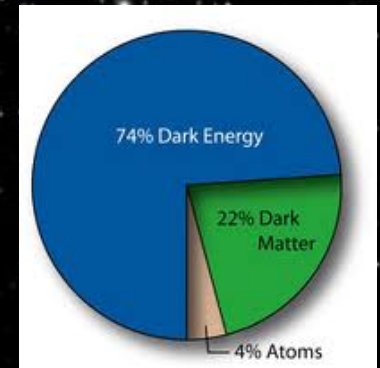
LHC è ripartito nel 2015 e grazie al salto in energia possiamo scoprire nuove particelle!

History of the Universe



FAQ... ancora senza risposta!

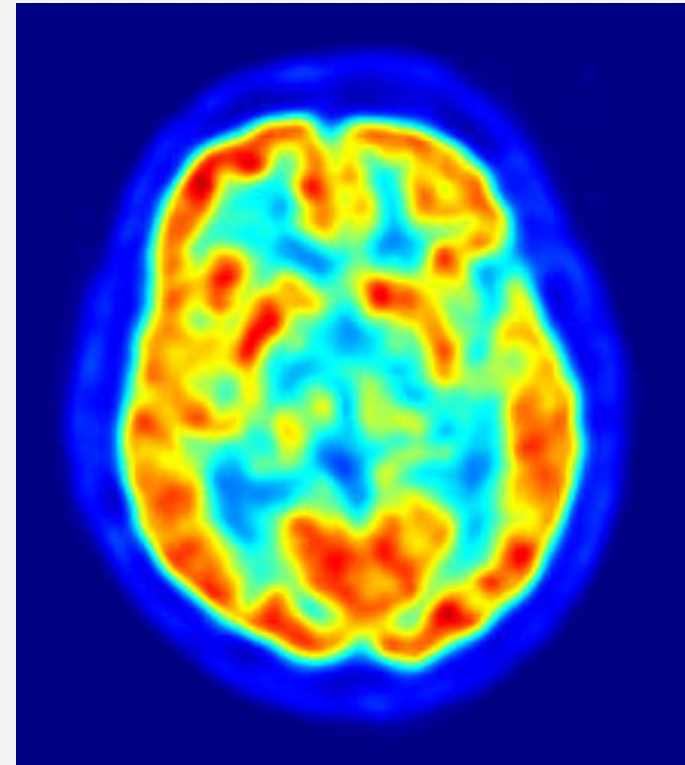
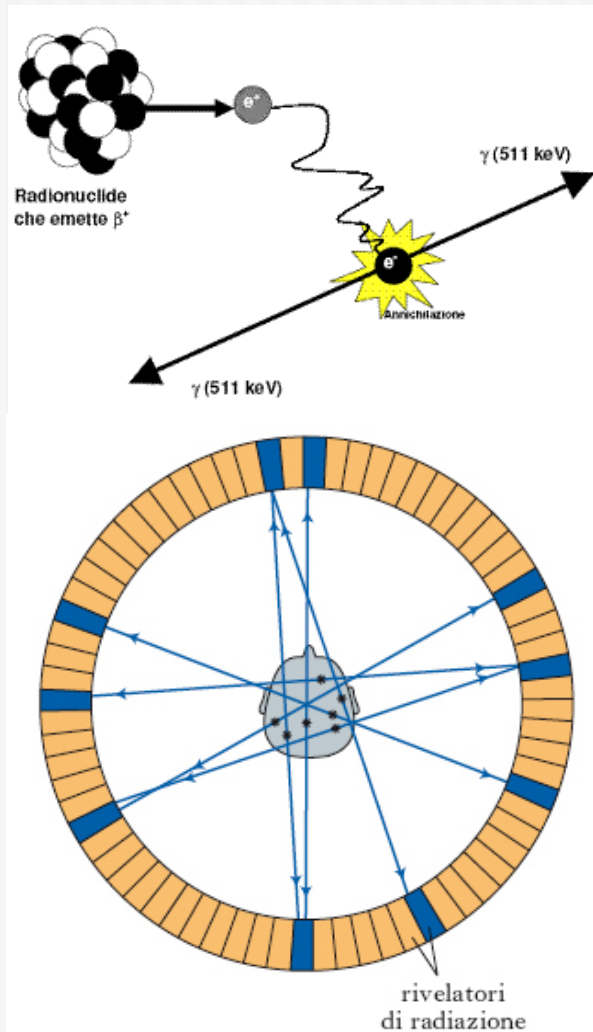
- Se materia e antimateria sono tanto simili, come mai l'universo che conosciamo è fatto solo di materia?
- Perché la forza gravitazionale è tanto più debole delle altre?
- Perché le tre famiglie hanno masse così diverse?
- Che cos'è la materia oscura? Una particella sconosciuta?



**Ma a che serve la
fisica delle particelle
(oltre che a studiare il
Big-Bang) ?**

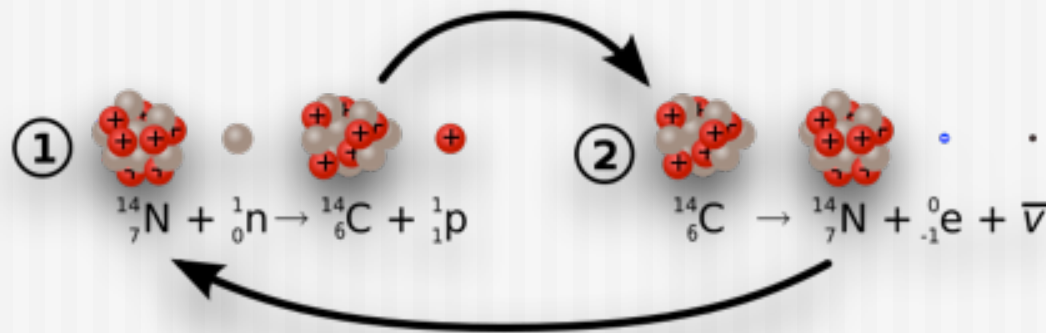
Tomografia a emissione di positroni

- permette di ottenere immagini molto precise delle regioni dove le cellule sono più attive



Datazione con il radiocarbonio

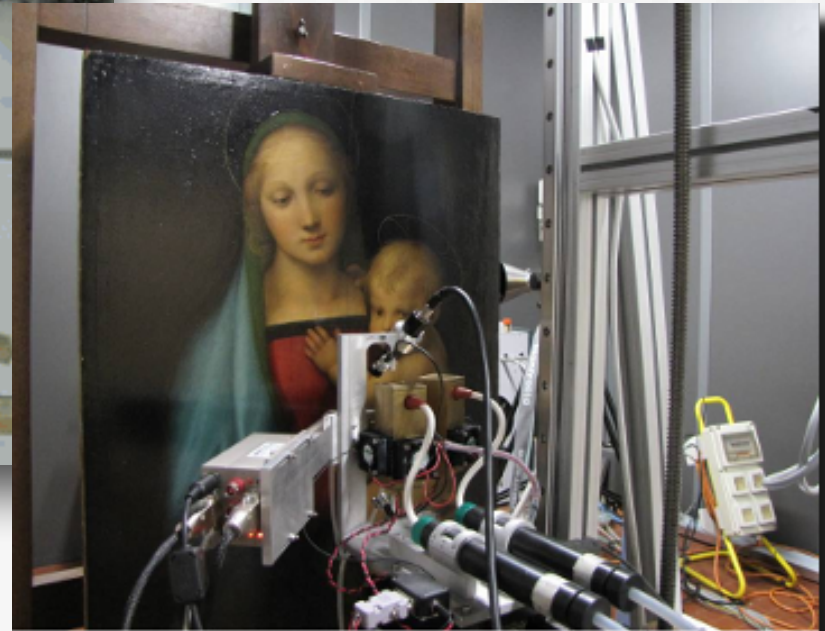
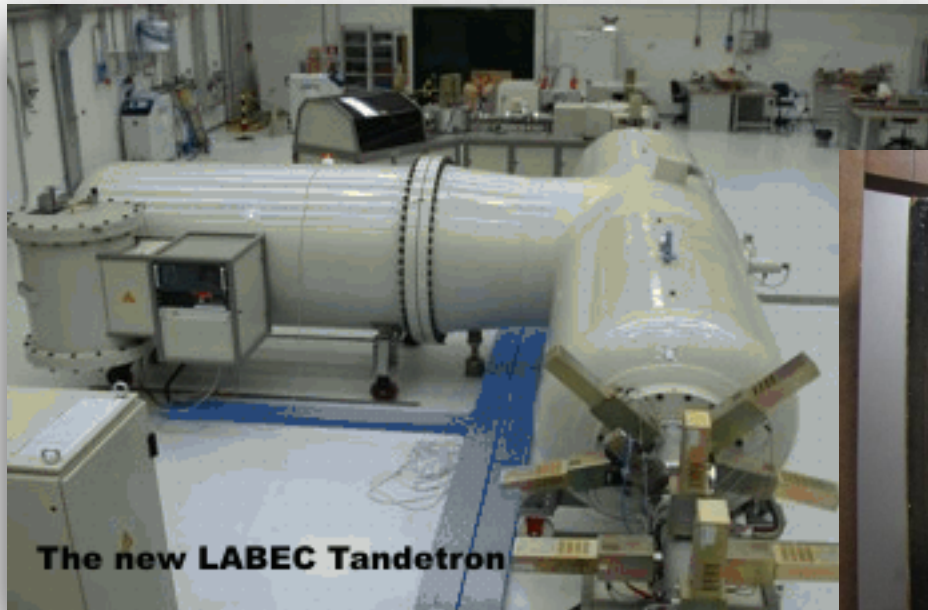
- Il ^{14}C è un isotopo radioattivo che decade con un tempo di dimezzamento di circa 5000 anni
- $\text{Mol } ^{14}\text{C} = 10^{-12} \text{ Mol } ^{12}\text{C}$ e la frazione è costante perché rigenerata continuamente dai “raggi cosmici”



- La quantità di ^{14}C negli organismi diminuisce dopo la loro morte
- Da quanto ne rimane si può capire da quanto tempo l'organismo è morto

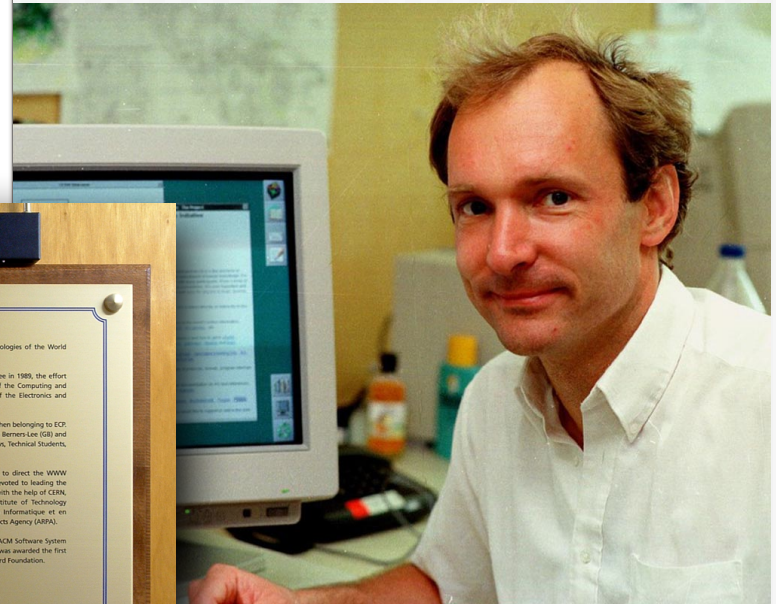
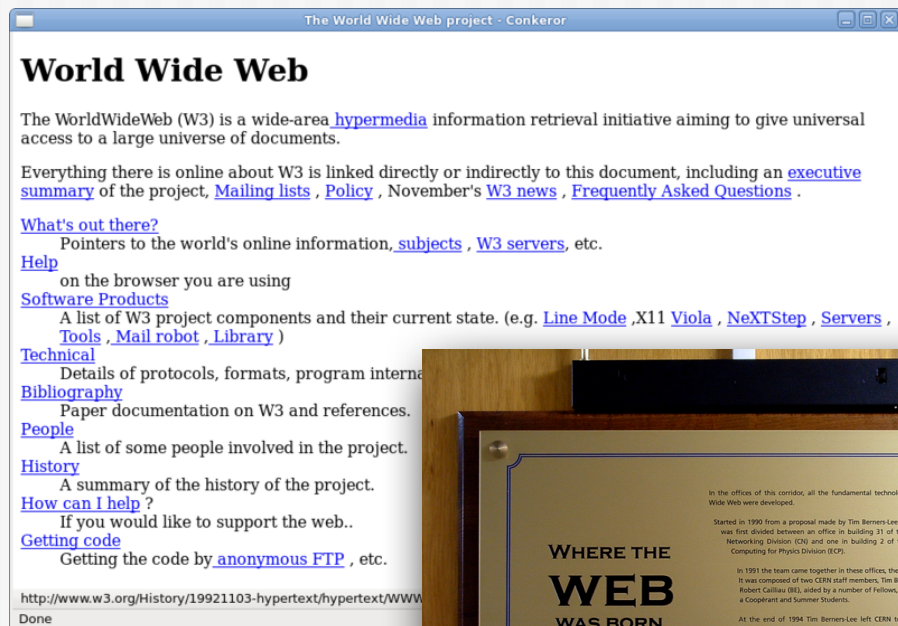
Beni culturali e ambiente

- Nel LABEC*, a Firenze, si studia come applicare i metodi della fisica nucleare per il restauro e il monitoraggio ambientale



World Wide Web

- È stato ideato proprio al CERN da T. Berners-Lee nel 1989 per favorire lo scambio di informazioni tra fisici di tutto il mondo



Se volete approfondire!



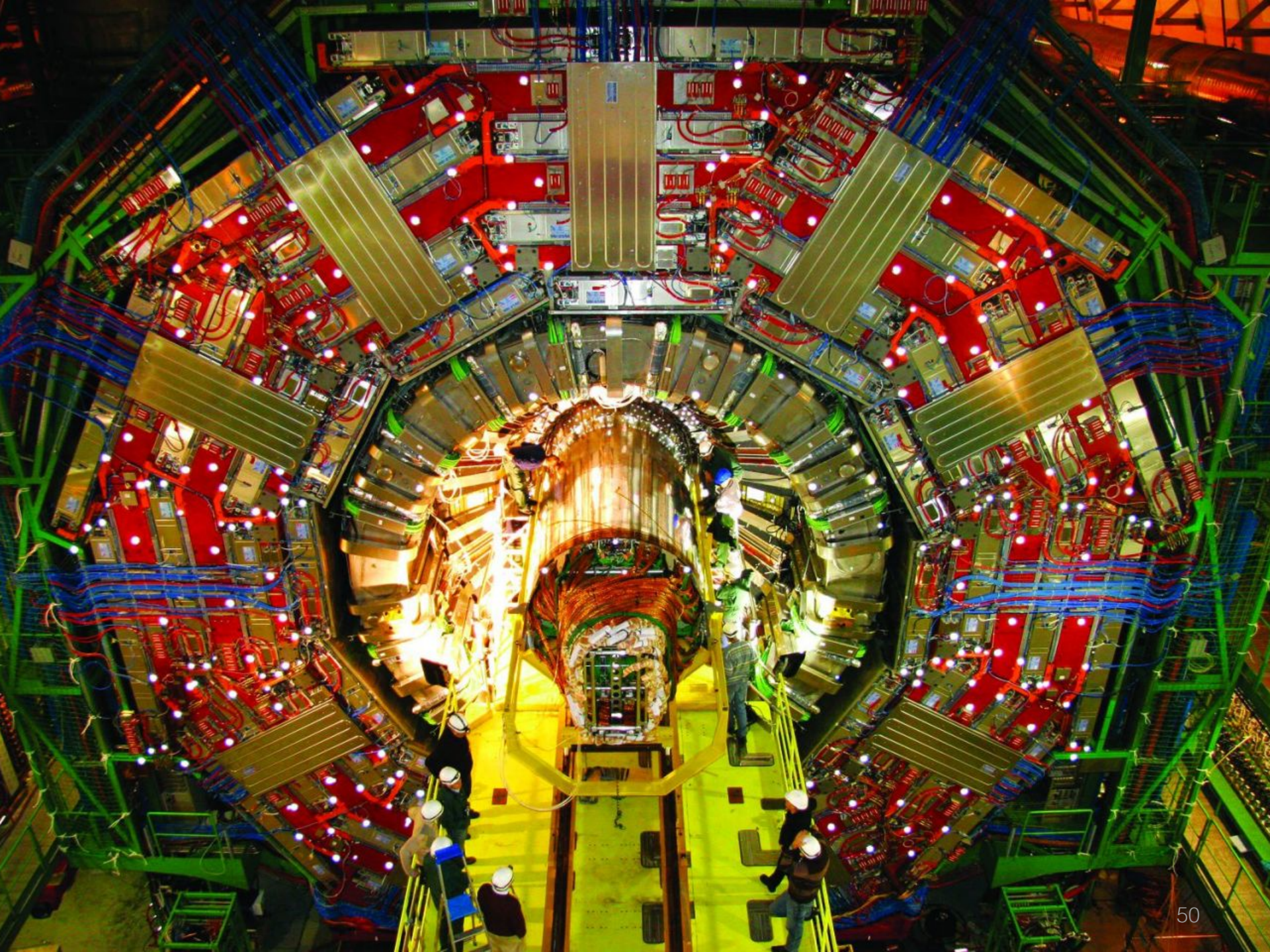
la scienza raccontata dai protagonisti

IN ONDA DAL 26 OTTOBRE 2015 DAL LUNEDÌ AL VENERDÌ ALLE 21.00
(in replica alle 13:00 del giorno seguente) SU RAI SCUOLA (canale 146 del digitale terrestre)
E SU RAIDUE IL SABATO E LA DOMENICA ALLE 06:30

Su Rai Scuola trovate le puntate realizzate in collaborazione con l'INFN

<http://www.scienze.rai.it>

<http://www.raiscuola.rai.it/memex/default.aspx>





Grazie per l'attenzione!

Slides di backup

Spesa italiana per la ricerca e costo di LHC

L'Italia ha un PIL di circa 2000 miliardi di Euro

Spende per Università e Ricerca meno di 20 miliardi / anno
1% del PIL a fronte di una media Europea del 1.5%

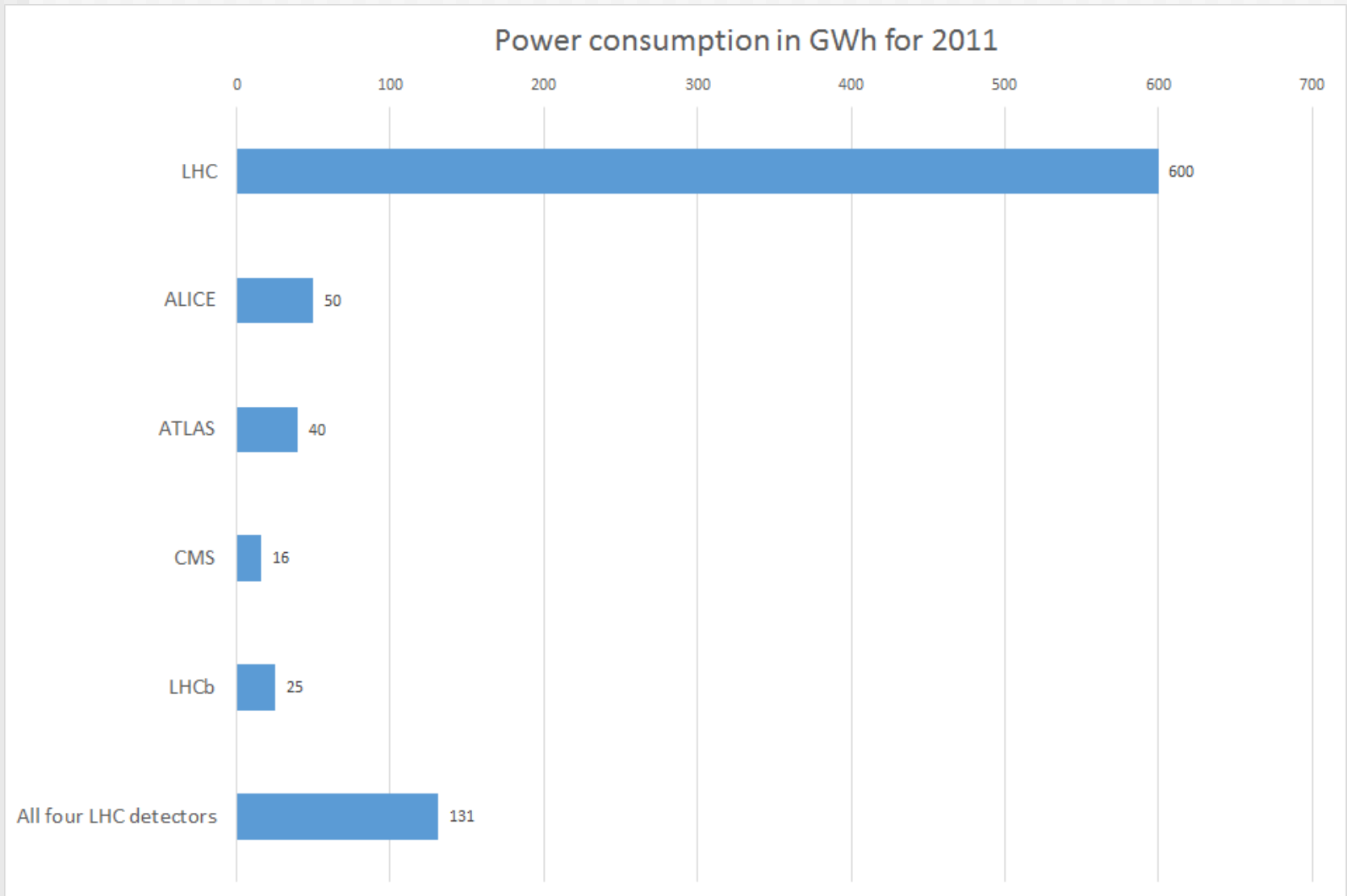
Spesa per Enti Pubblici di Ricerca: 1.8 miliardi / anno
INFN: 269 milioni / anno

Budget CERN: 800 Milioni di Euro / anno
Italia: 100 Milioni

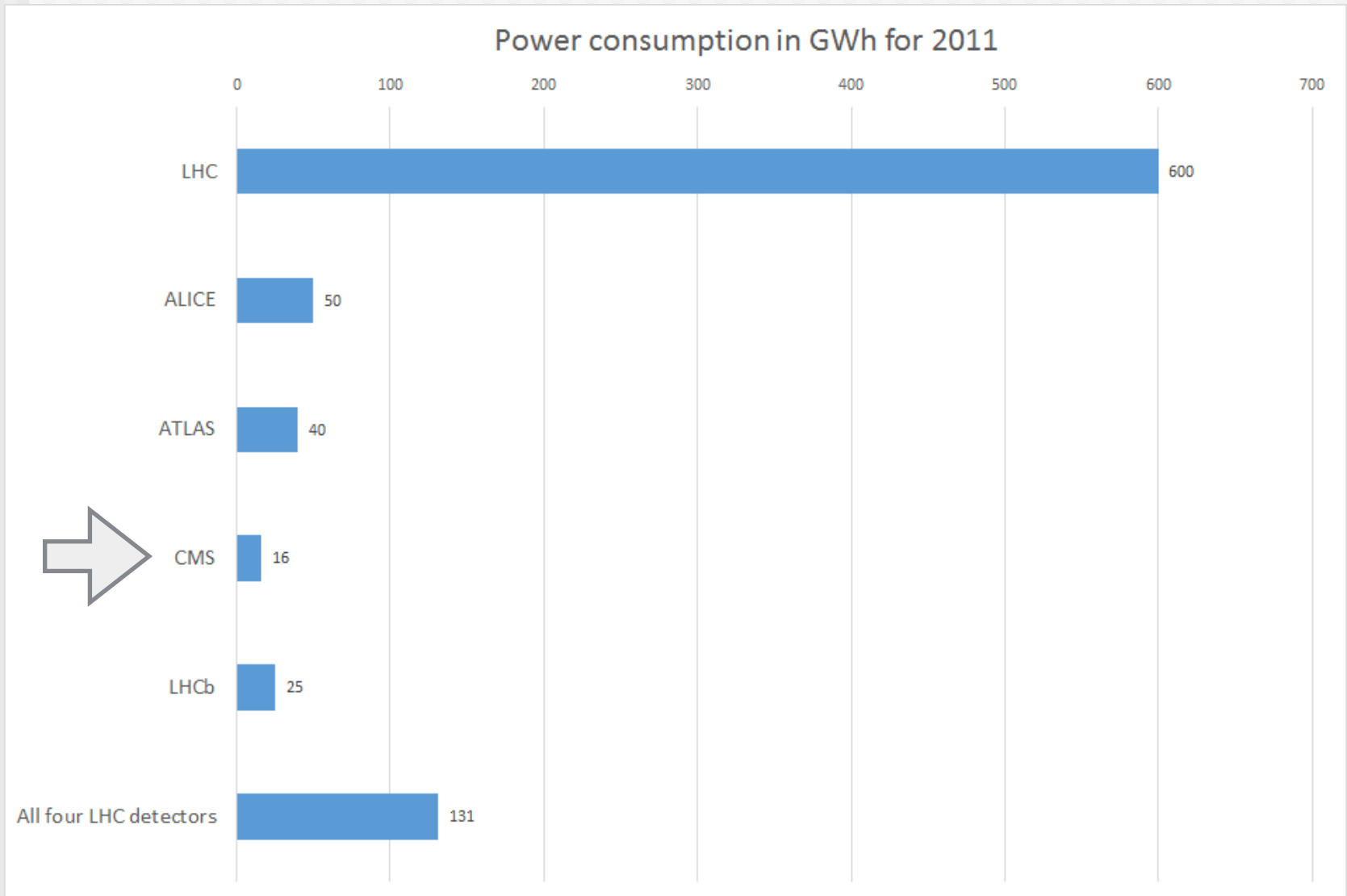
Costo di LHC: 4 miliardi
acceleratore: 2 miliardi
esperimenti: 2 miliardi

Il costo di costruzione e finanziamento di LHC per l'Italia è incluso nei contributi annuali all'INFN e al CERN

Consumo di energia di LHC

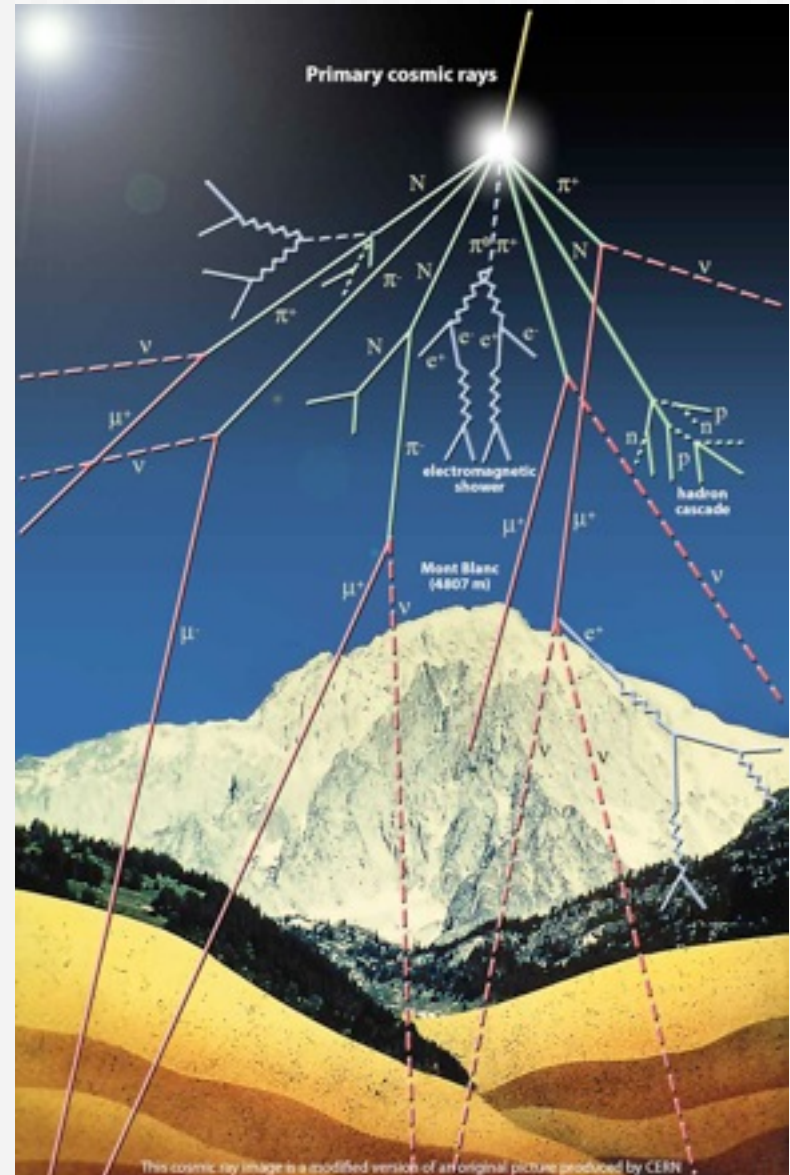


Consumo di energia di LHC



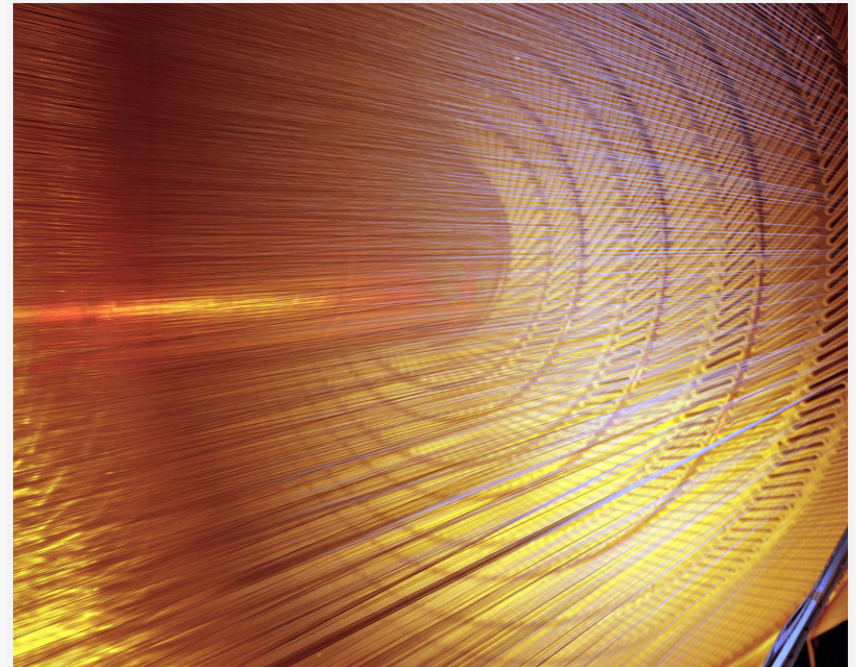
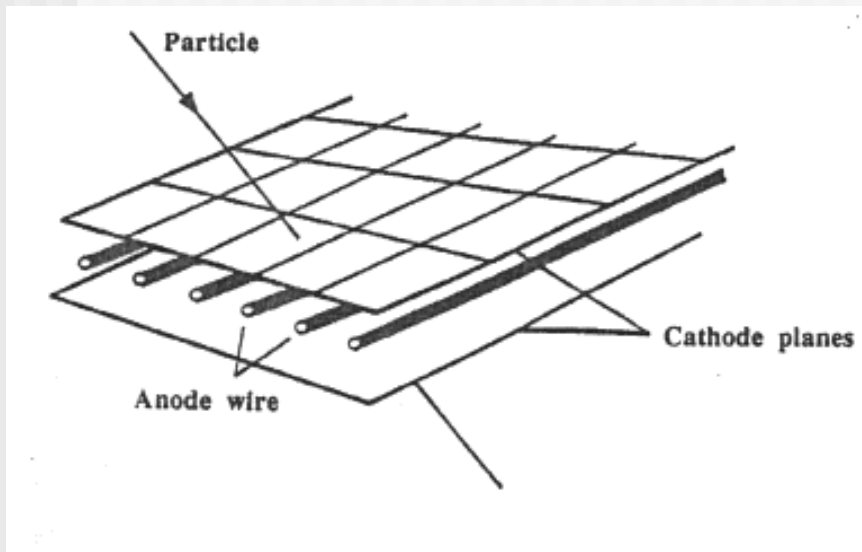
Nei raggi cosmici

- Studiando i raggi cosmici si scoprirono le prime particelle diverse da p , n ed e^-
- Per esempio il ***positrone***, uguale all'elettrone ma di carica opposta
- Ma anche il **muone** un “cugino” più pesante



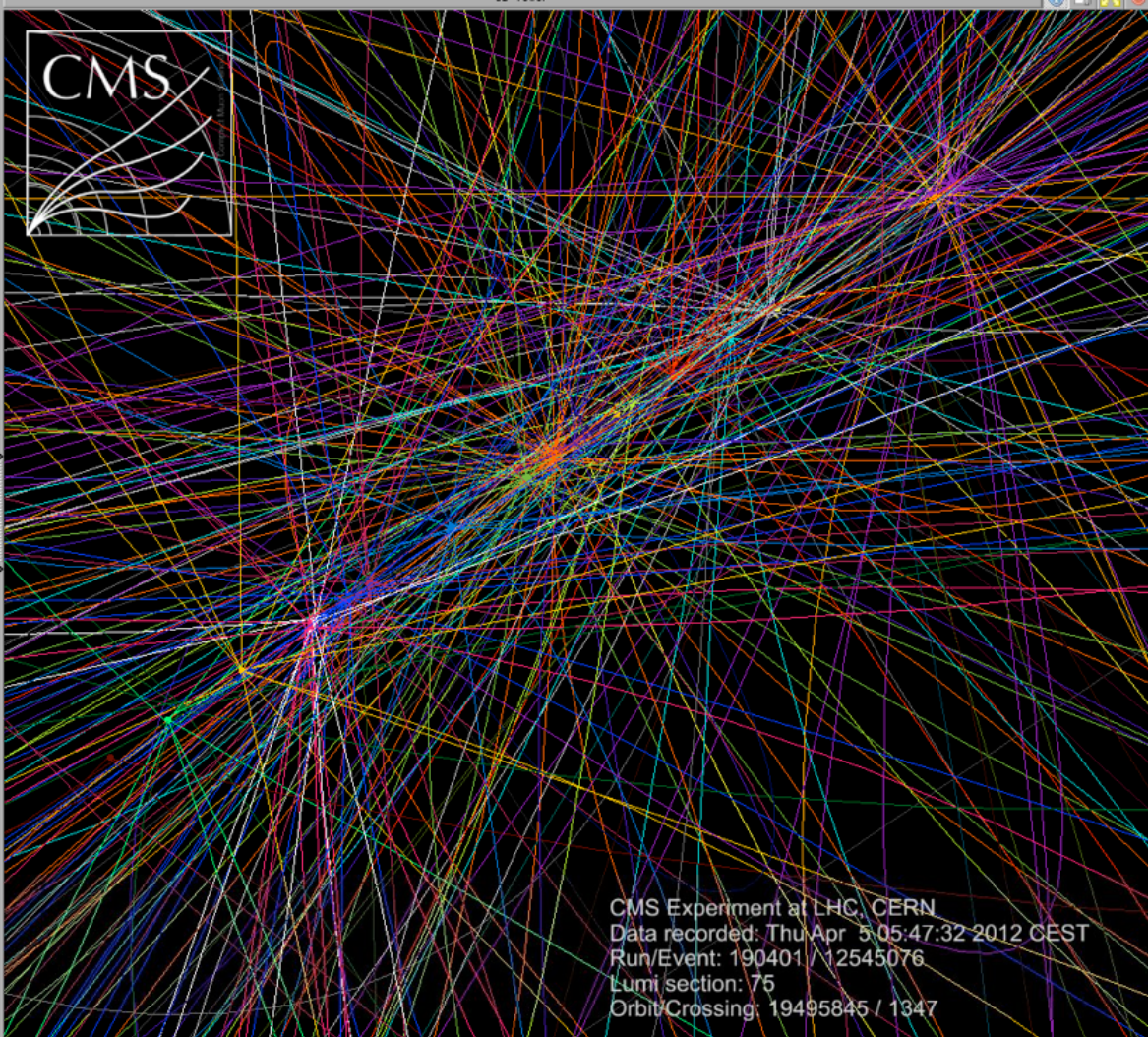
Le camere a fili

- il passaggio della particella genera un segnale sull'anodo che può essere processato in modo elettronico



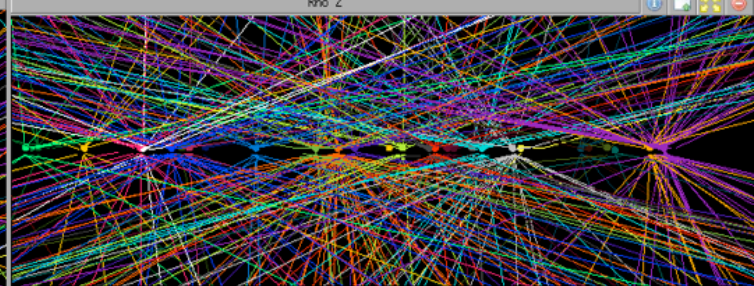


3D Tower

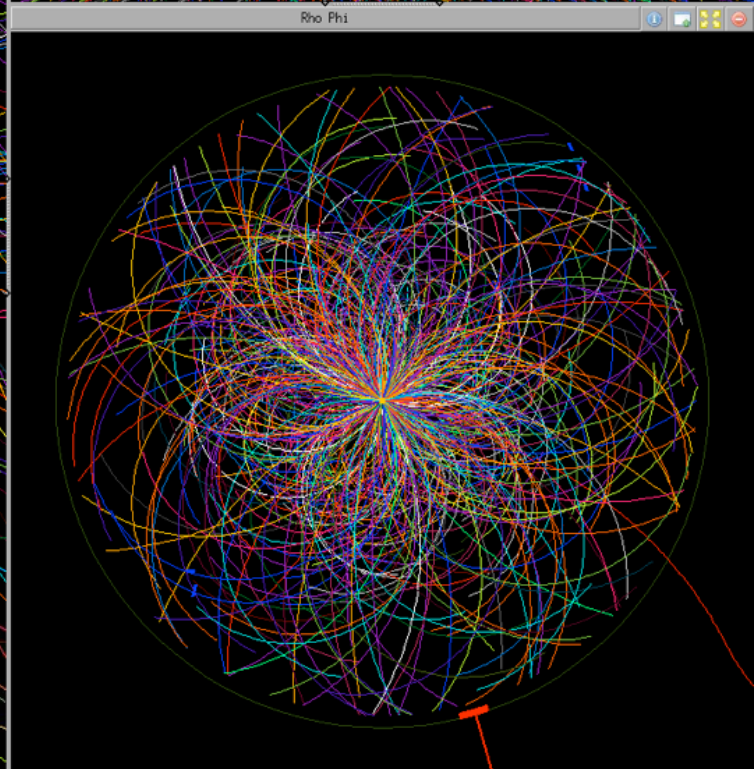


CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Thu Apr 5 05:47:32 2012 CEST
Run/Event: 190401 / 12545076
Lumi section: 75
Orbit/Crossing: 19495845 / 1347

Rho Z



Rho Phi



p-value

- Probabilità che il segnale osservato sia dovuto al fondo soltanto
- Convenzionalmente si parla di scoperta quando si raggiunge la linea delle 5σ ovvero una probabilità di $< 1/1'000'000$

Luglio 2012

Novembre 2012

