

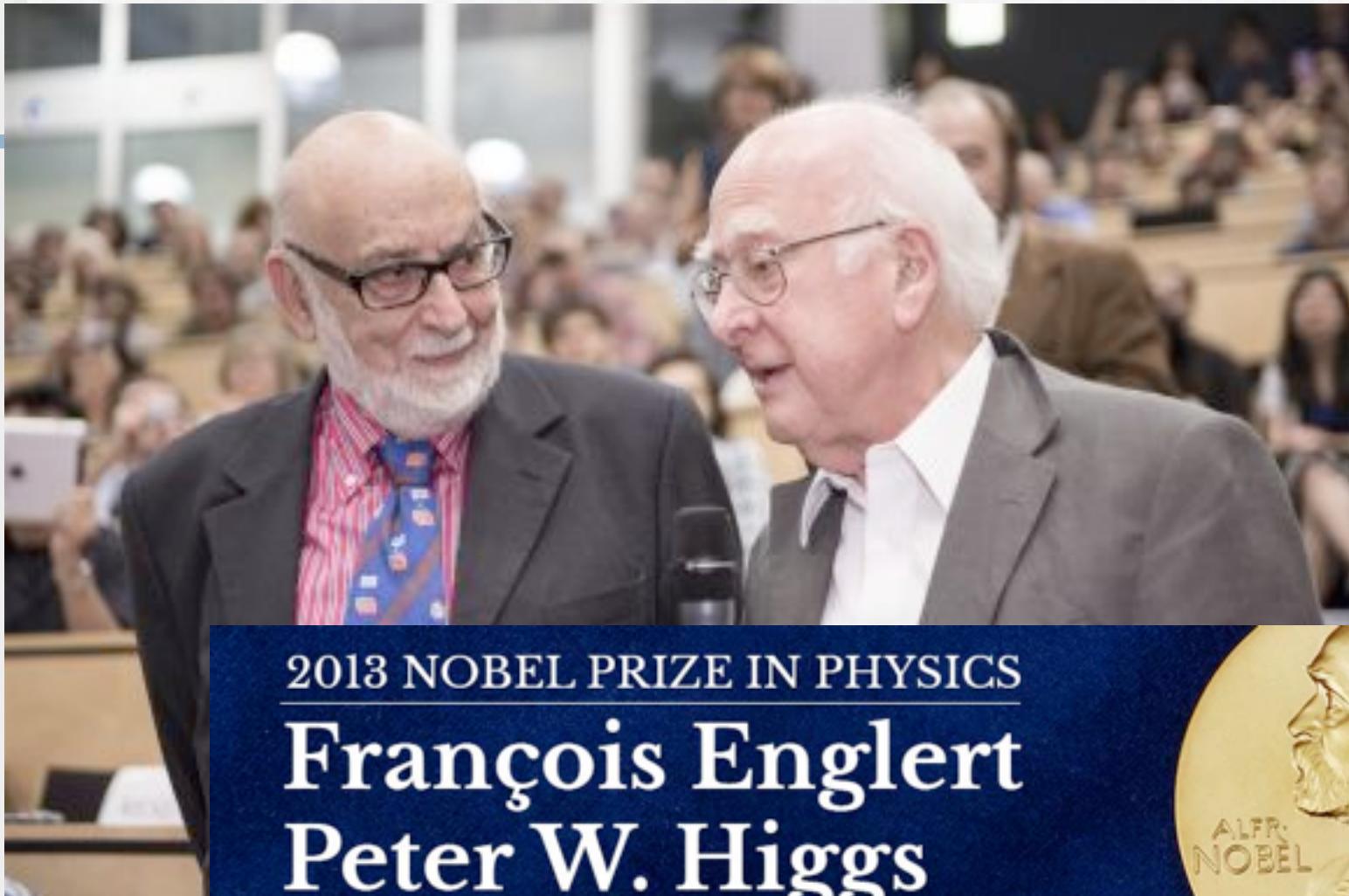
La scoperta del Bosone di Higgs

Prof. Vitaliano Ciulli

Università e INFN Firenze



Pianeta Galileo 2016-17



2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS
François Englert
Peter W. Higgs



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

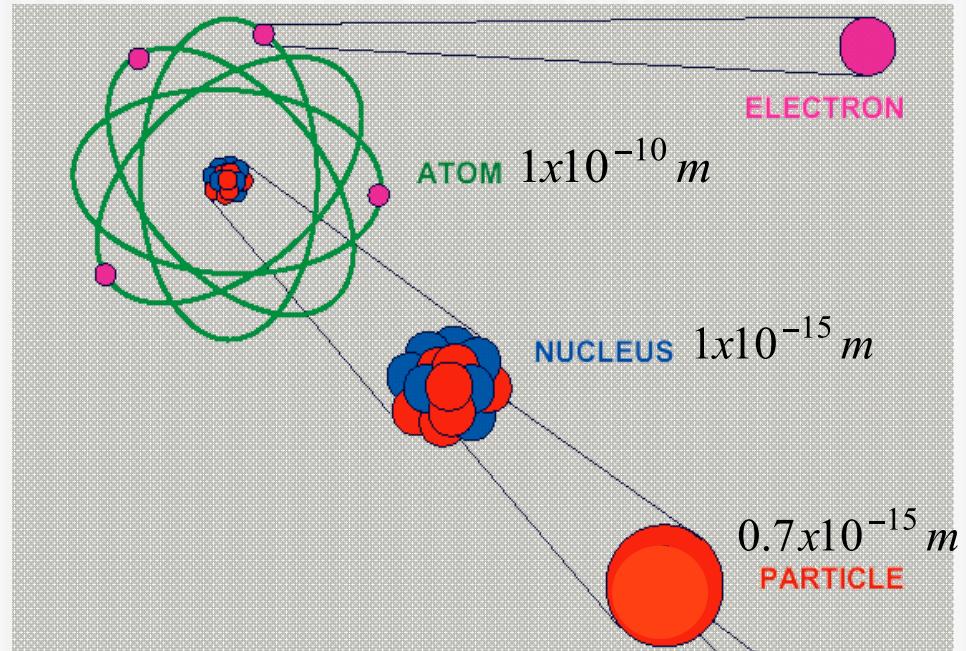


Che cosa studiamo al CERN?

Facciamo qualche passo indietro...

I mattoni fondamentali della materia

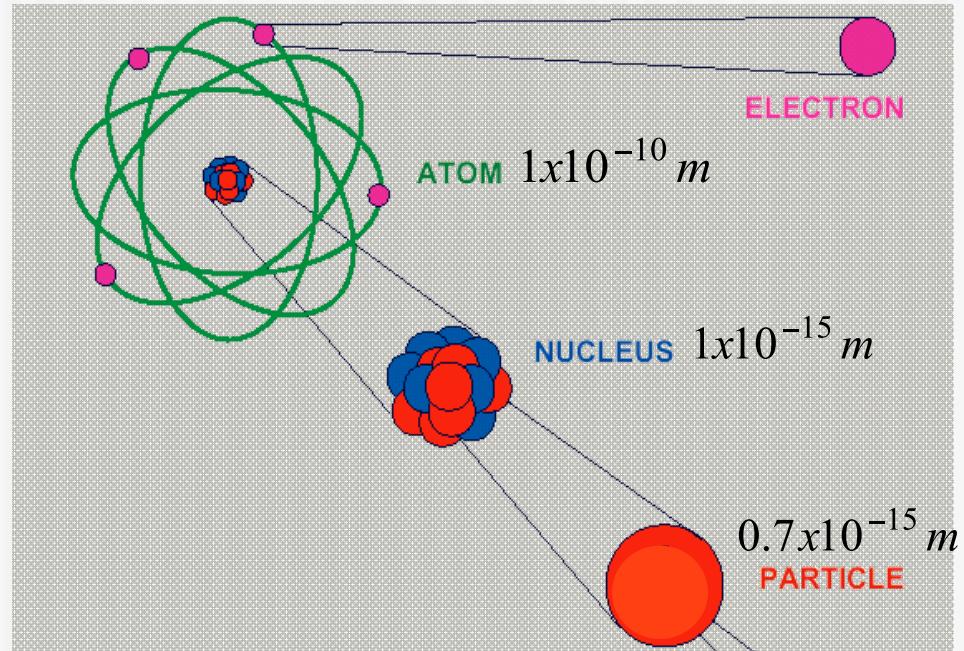
- Gli atomi sono formati da un nucleo di protoni e neutroni circondato da elettroni



Ma come si è visto?

I mattoni fondamentali della materia

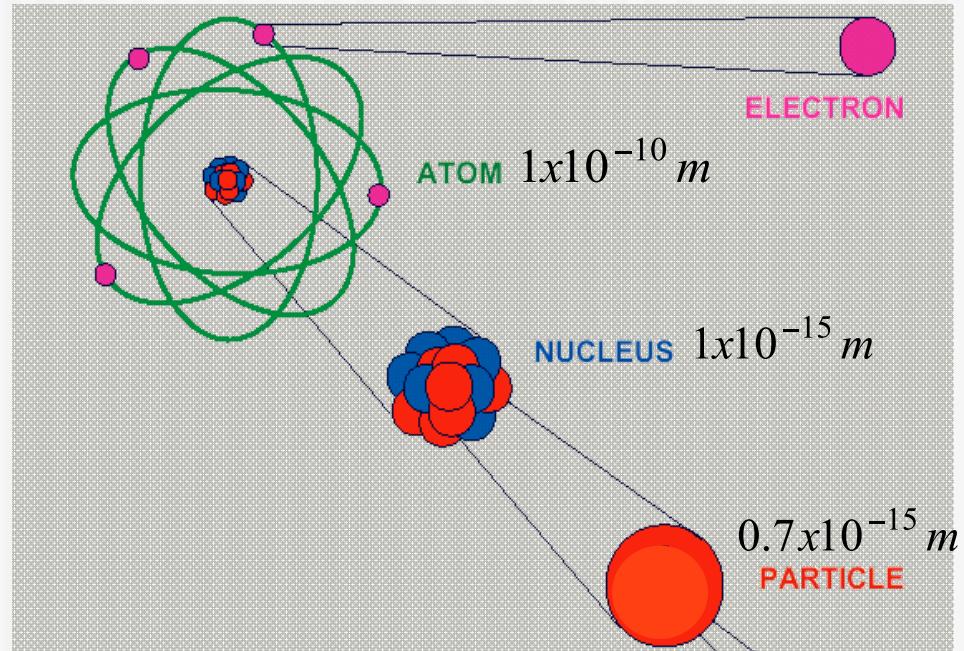
- Gli atomi sono formati da un nucleo di protoni e neutroni circondato da elettroni
- Se l'atomo fosse grande come uno stadio il nucleo avrebbe le dimensioni di una capocchia di spillo!



Ma come si è visto?

I mattoni fondamentali della materia

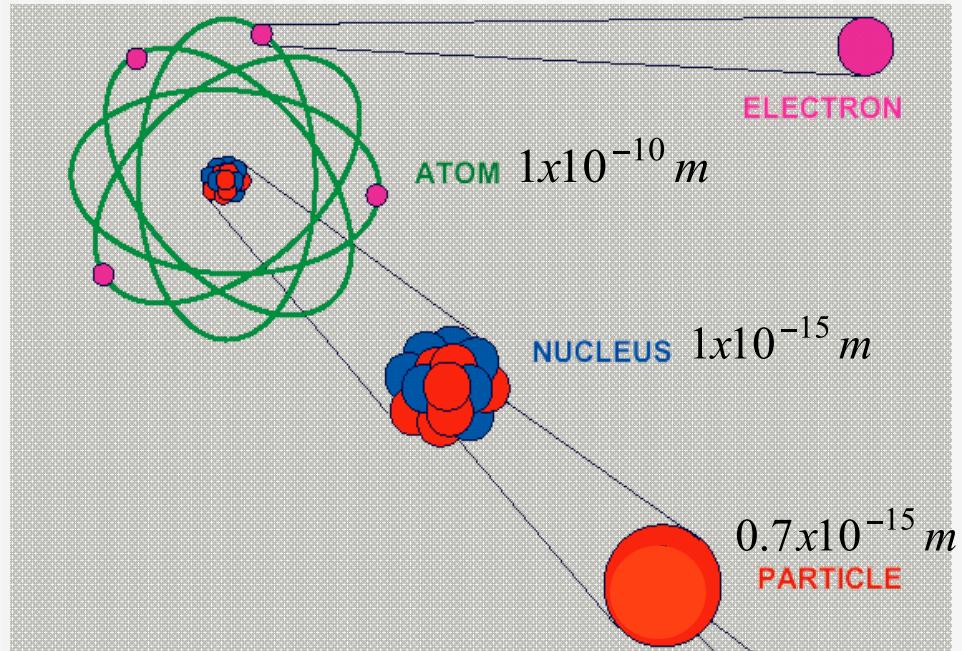
- Gli atomi sono formati da un nucleo di protoni e neutroni circondato da elettroni
- Se l'atomo fosse grande come uno stadio il nucleo avrebbe le dimensioni di una capocchia di spillo!
- Ma quasi tutta la massa dell'atomo è concentrata nel nucleo (il protone e neutrone pesano 2000 volte di più dell'elettrone)



Ma come si è visto?

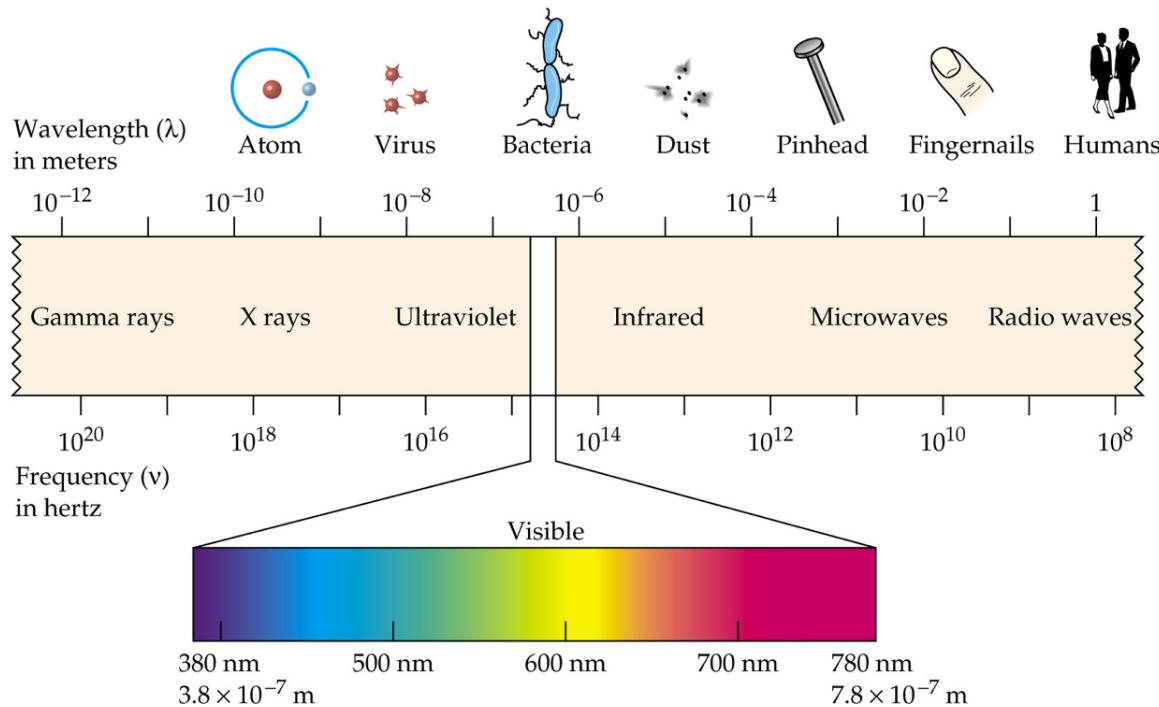
I mattoni fondamentali della materia

- 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**

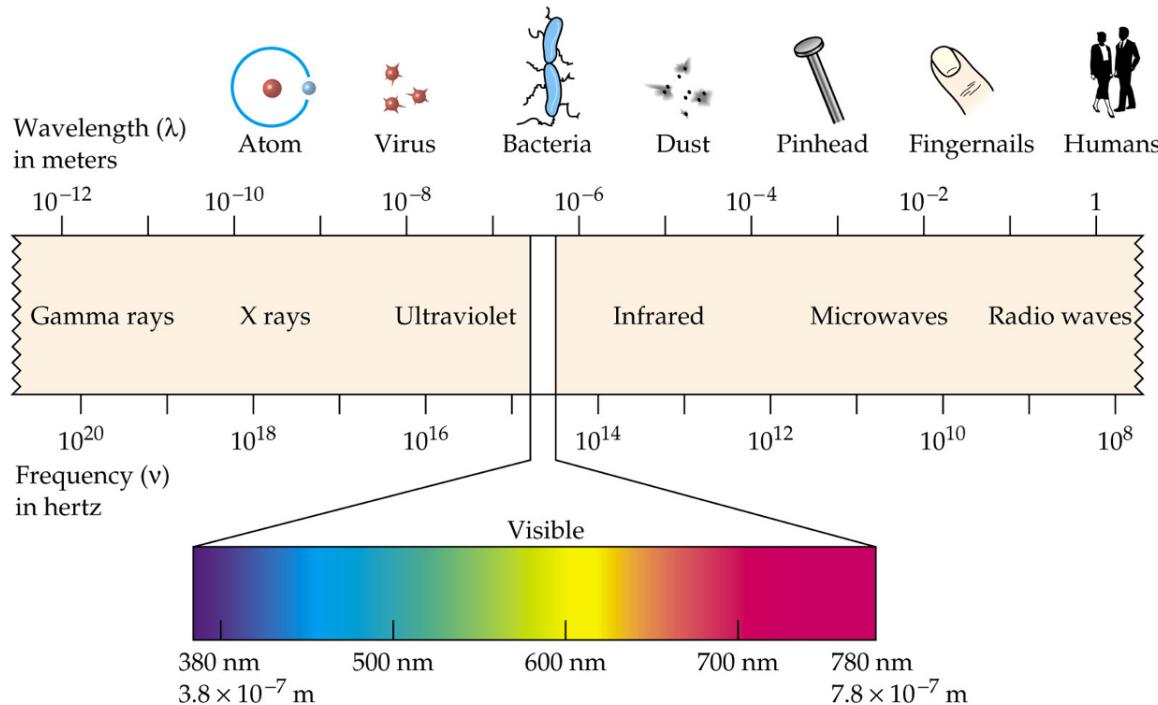


Ma come si è visto?

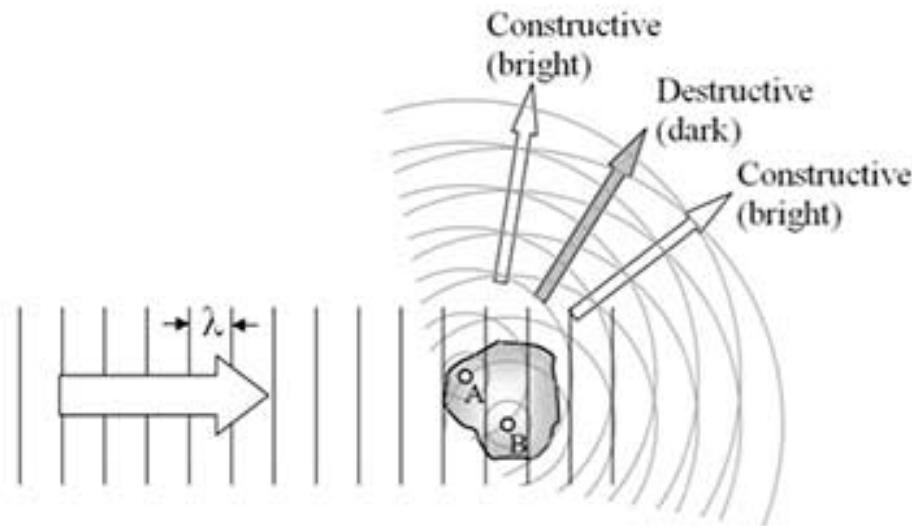
Si possono vedere le particelle?



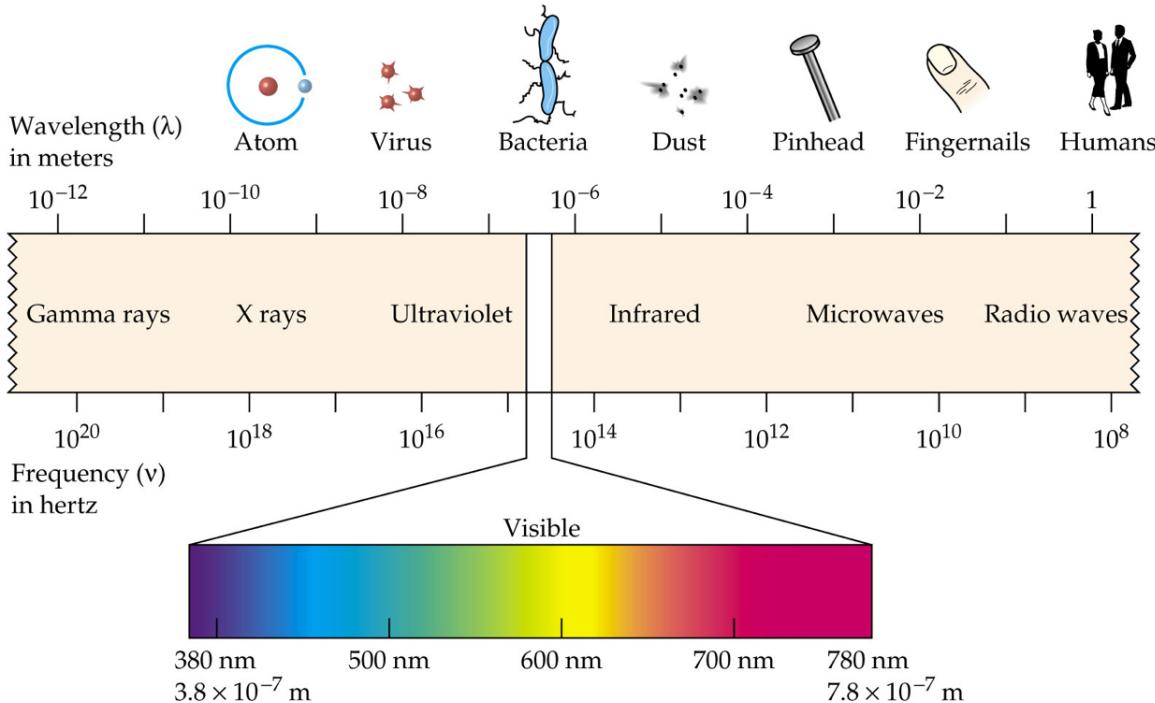
Si possono vedere le particelle?



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



Si possono vedere le particelle ?



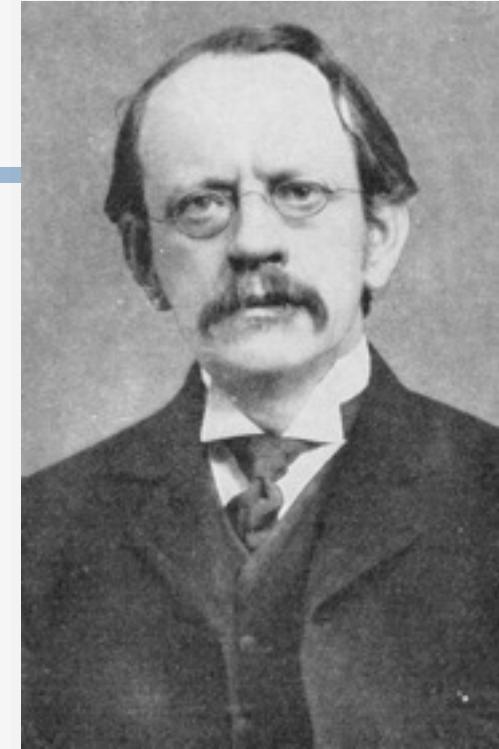
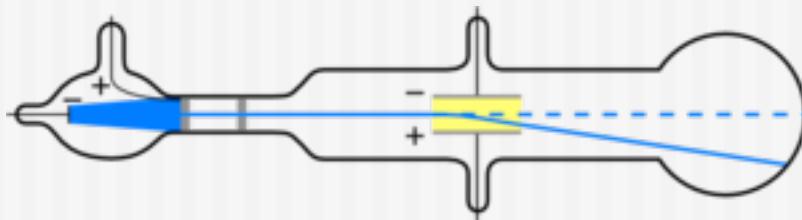
Esiste un limite alle dimensioni che posso “risolvere” con la luce.

Nei rivelatori registriamo gli effetti del passaggio delle particelle

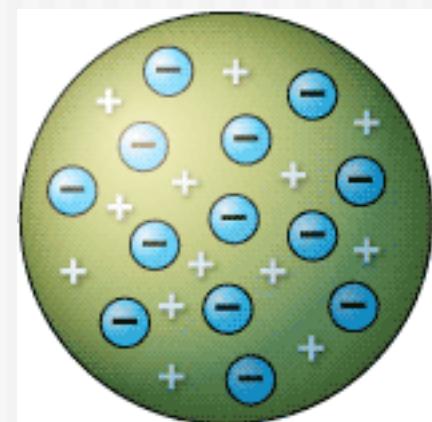


1897 L'elettrone

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



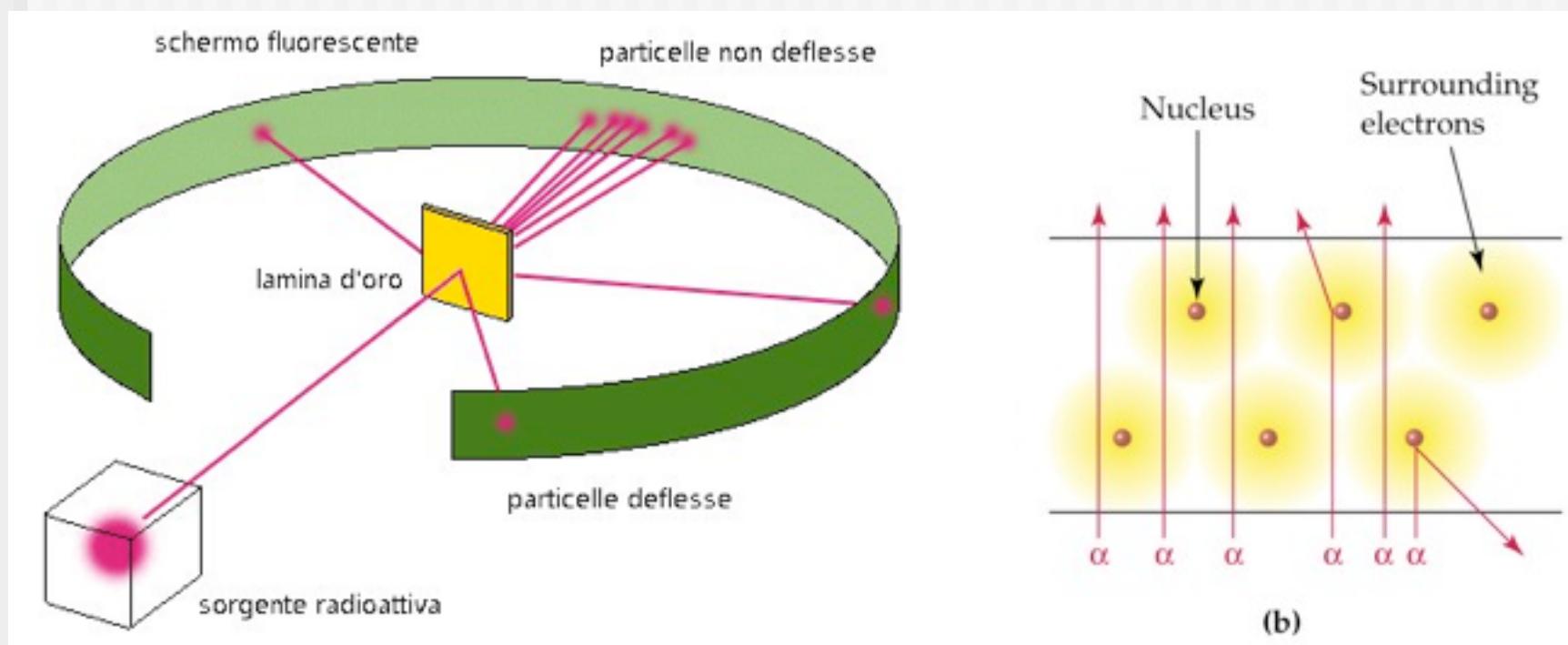
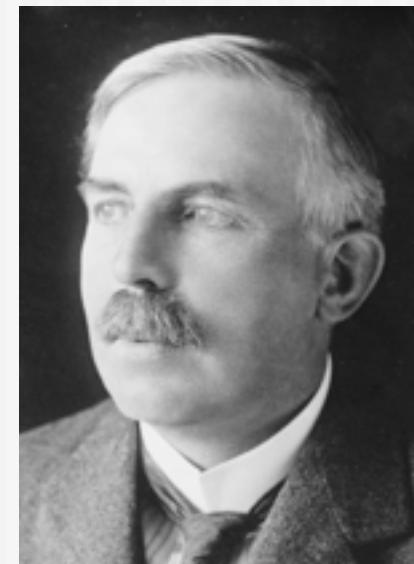
- Nel suo modello l'atomo è simile a un “panettone” dove la pasta ha carica elettrica positiva e gli elettroni (negativi) sono l'uvetta



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

L'esperimento di Rutherford

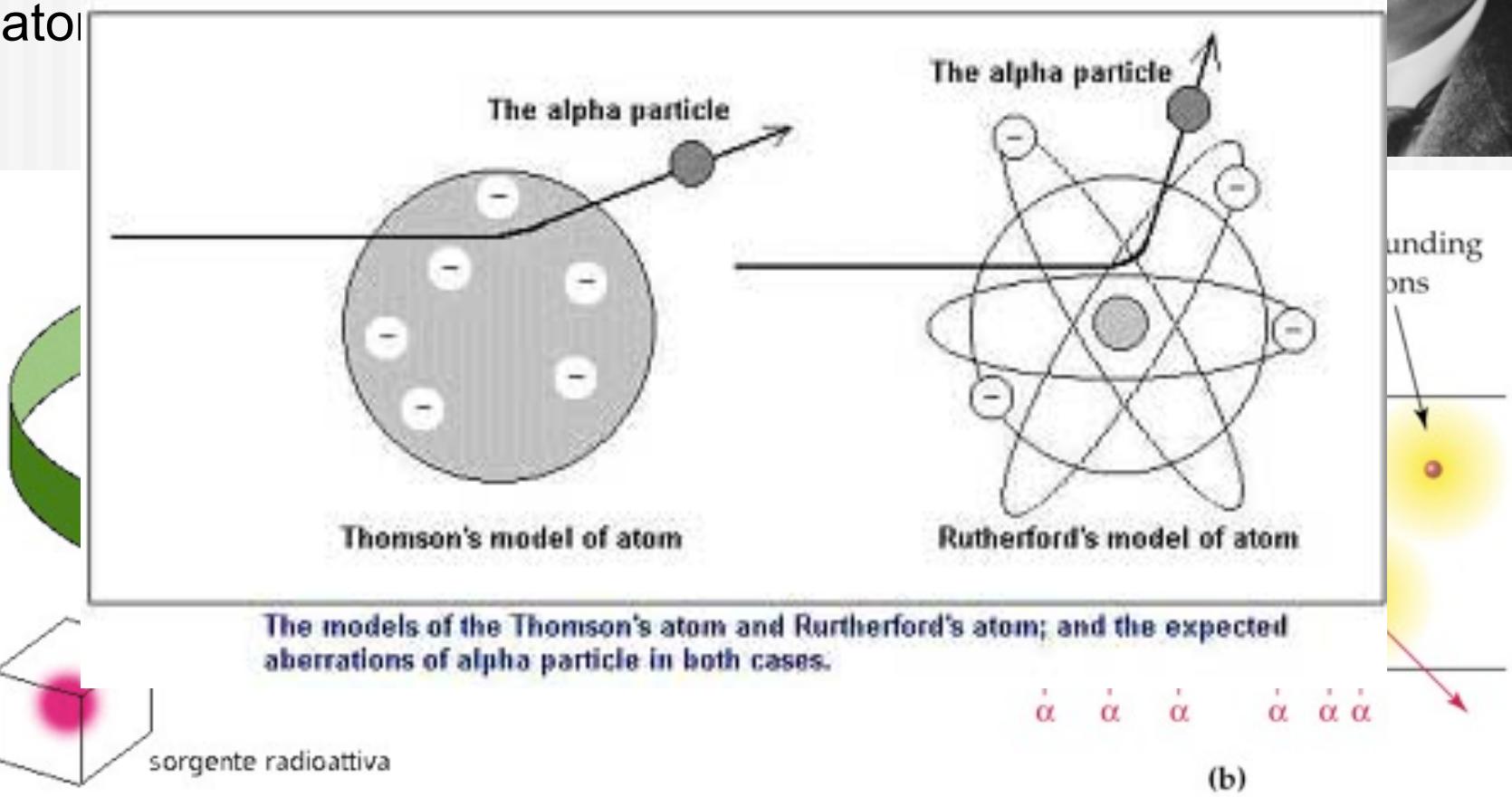
Nel 1911 guardando come delle particelle alpha erano deflesse da un foglio di oro stabilì che gli atomi erano vuoti e tutta la massa era nel nucleo



L'esperimento di Rutherford



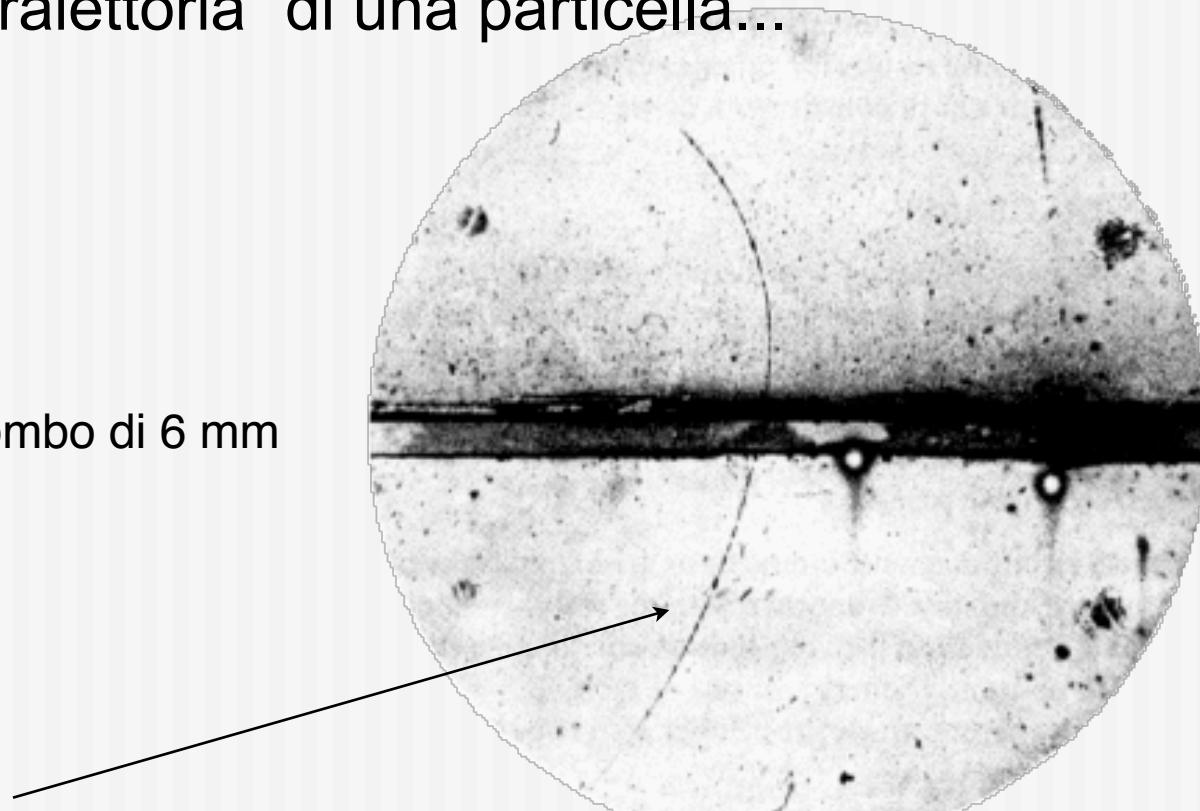
Nel 1911 guardando come delle particelle alpha erano deflesse da un foglio di oro stabilì che gli atomi



I rivelatori

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

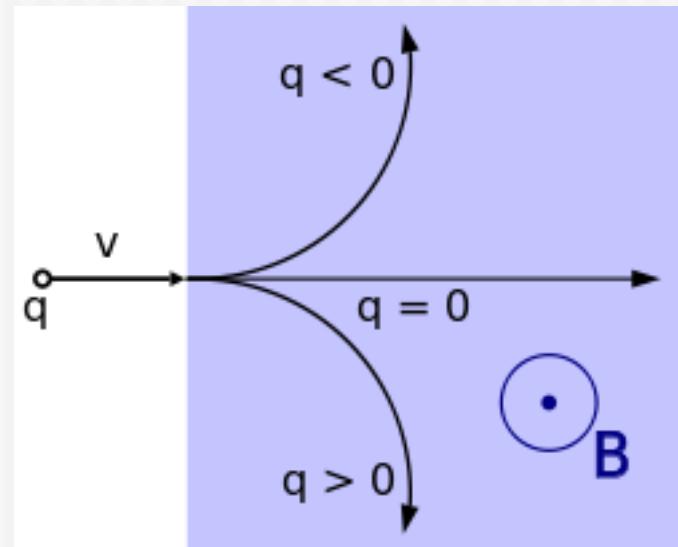
Lastra di piombo di 6 mm



Un positrone (ovvero la scoperta dell'antimateria!)

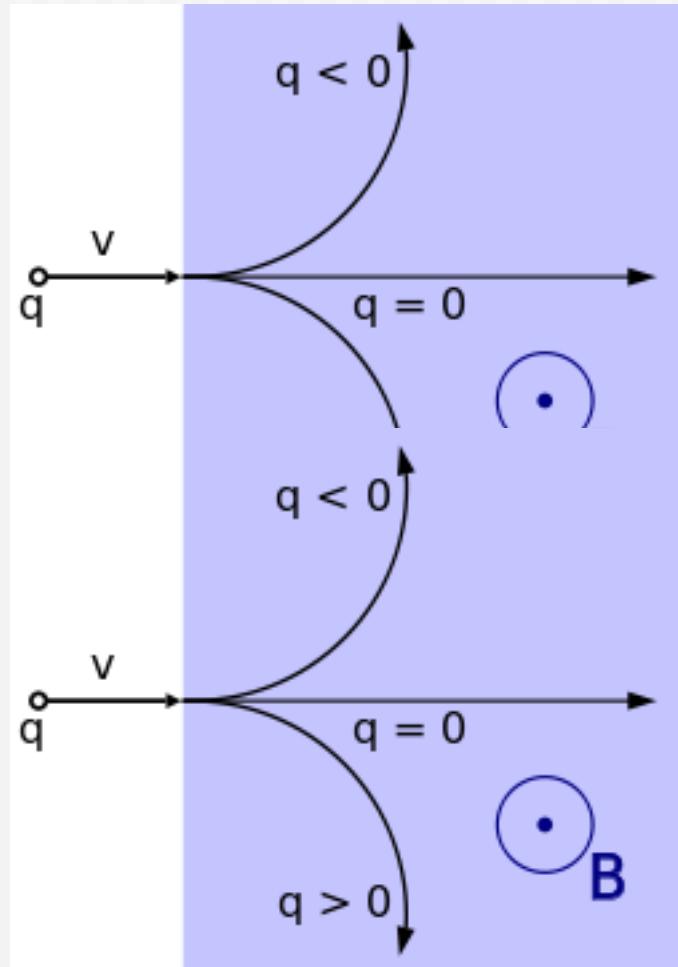
Particella in campo magnetico

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



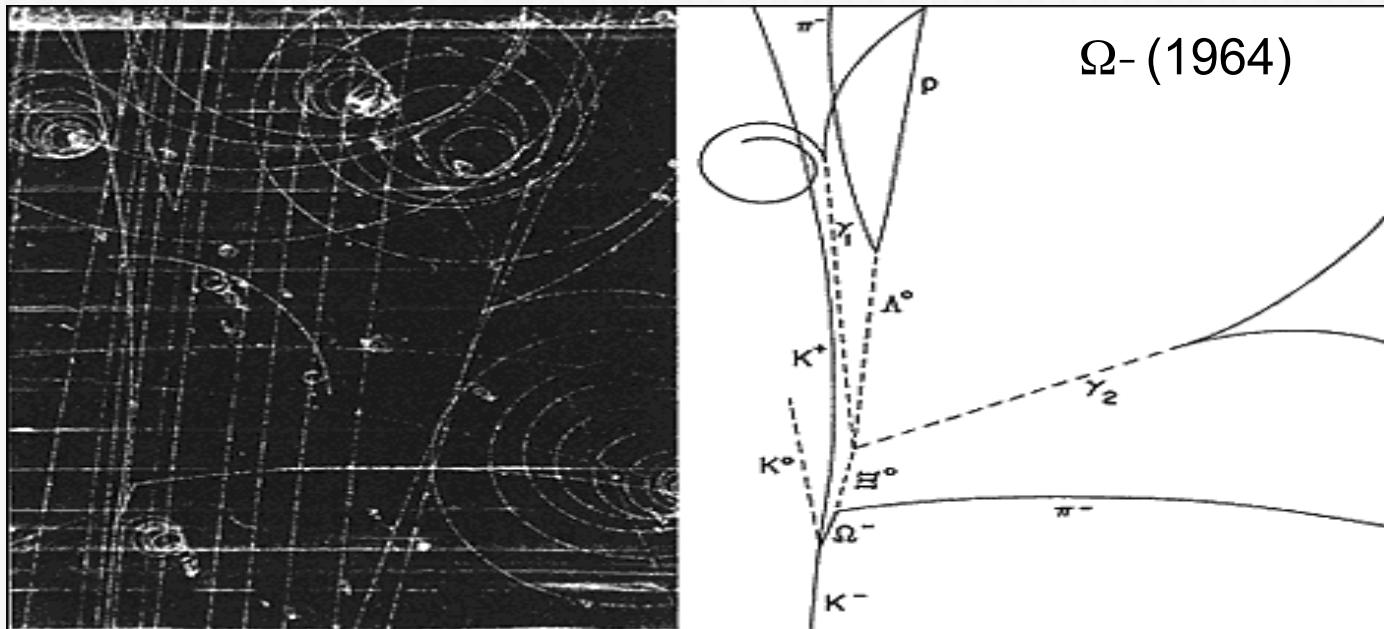
Particella in campo magnetico

- 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 identifierle





Finale, 10-Ball, 10 Gewinnspiele
Jentsch 4 Stuttgart
Heimmeier 4 Open

Un esperimento

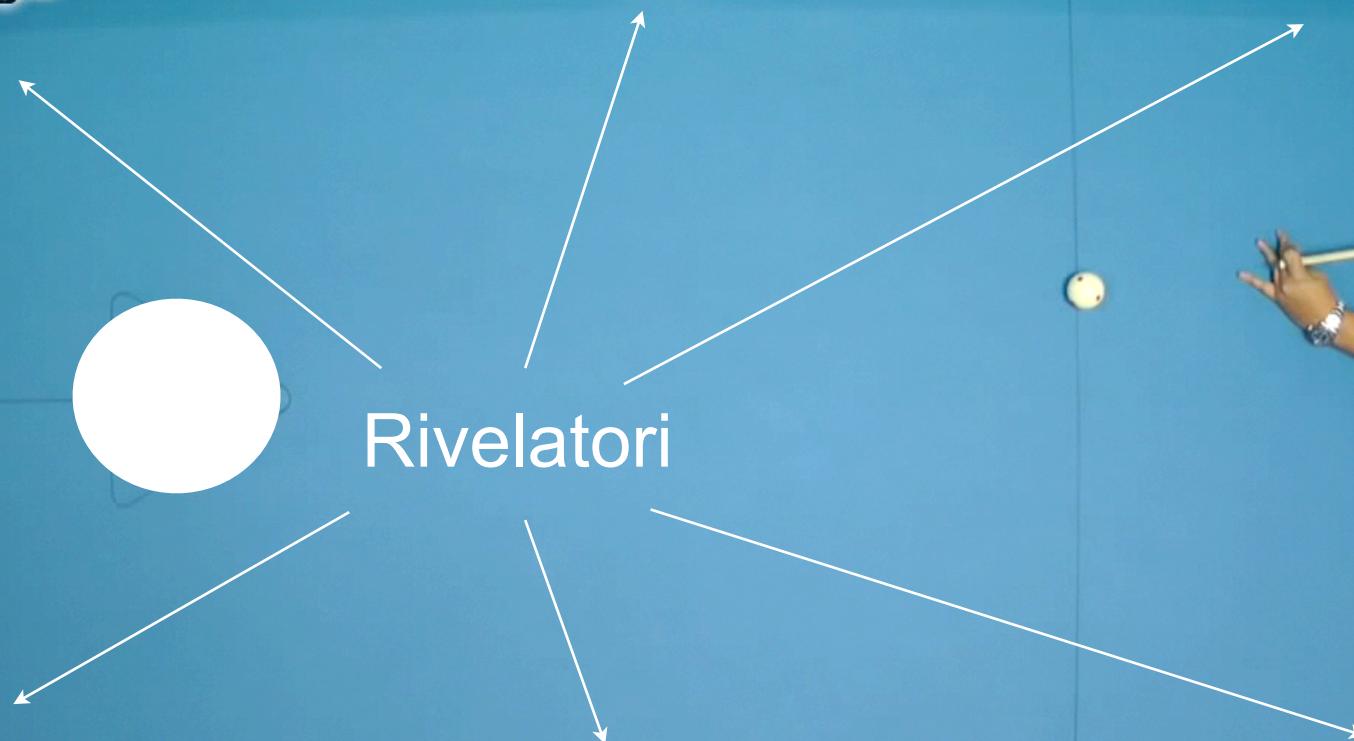




Finale, 10-Ball, 10 Gewinnspiele
Jentsch 4 Stuttgart
Heimmerer 4 Open



Rivelatori



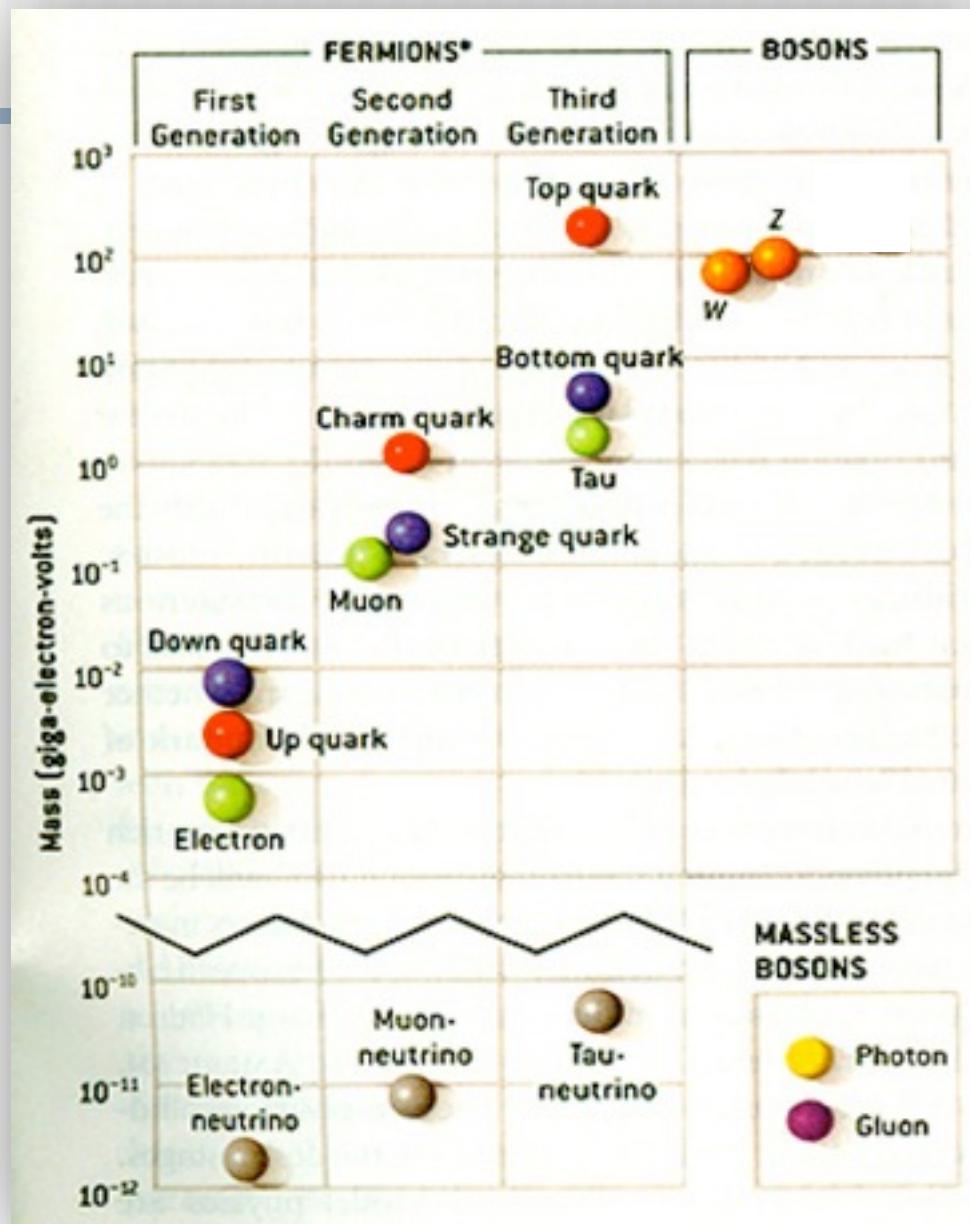


Finale, 10-Ball, 10 Gewinnspiele
Jentsch 4 Stuttgart
Heimmeier 4 Open



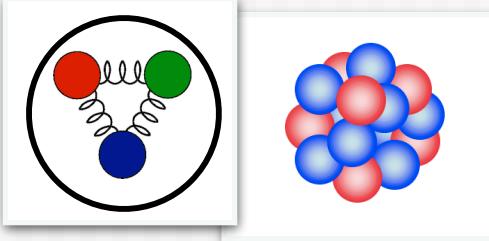
Il Modello Standard

- 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

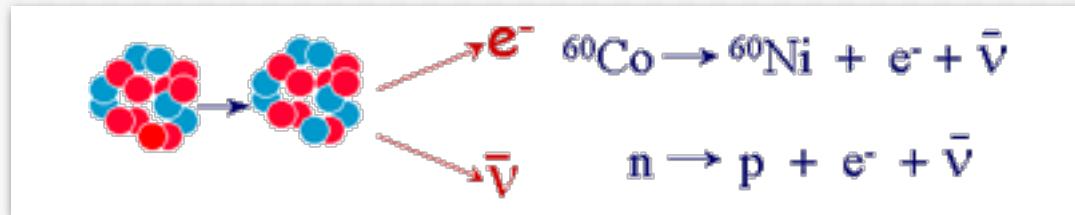


Le quattro forze fondamentali

- Forte: gluoni



- Debole: W, Z



- Elettromagnetica: fotone

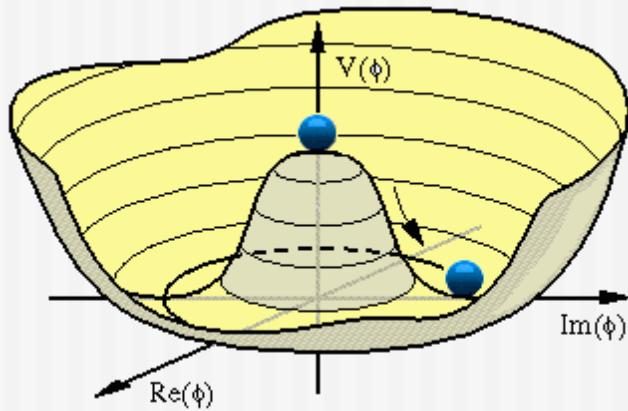


- Gravitazionale: ?



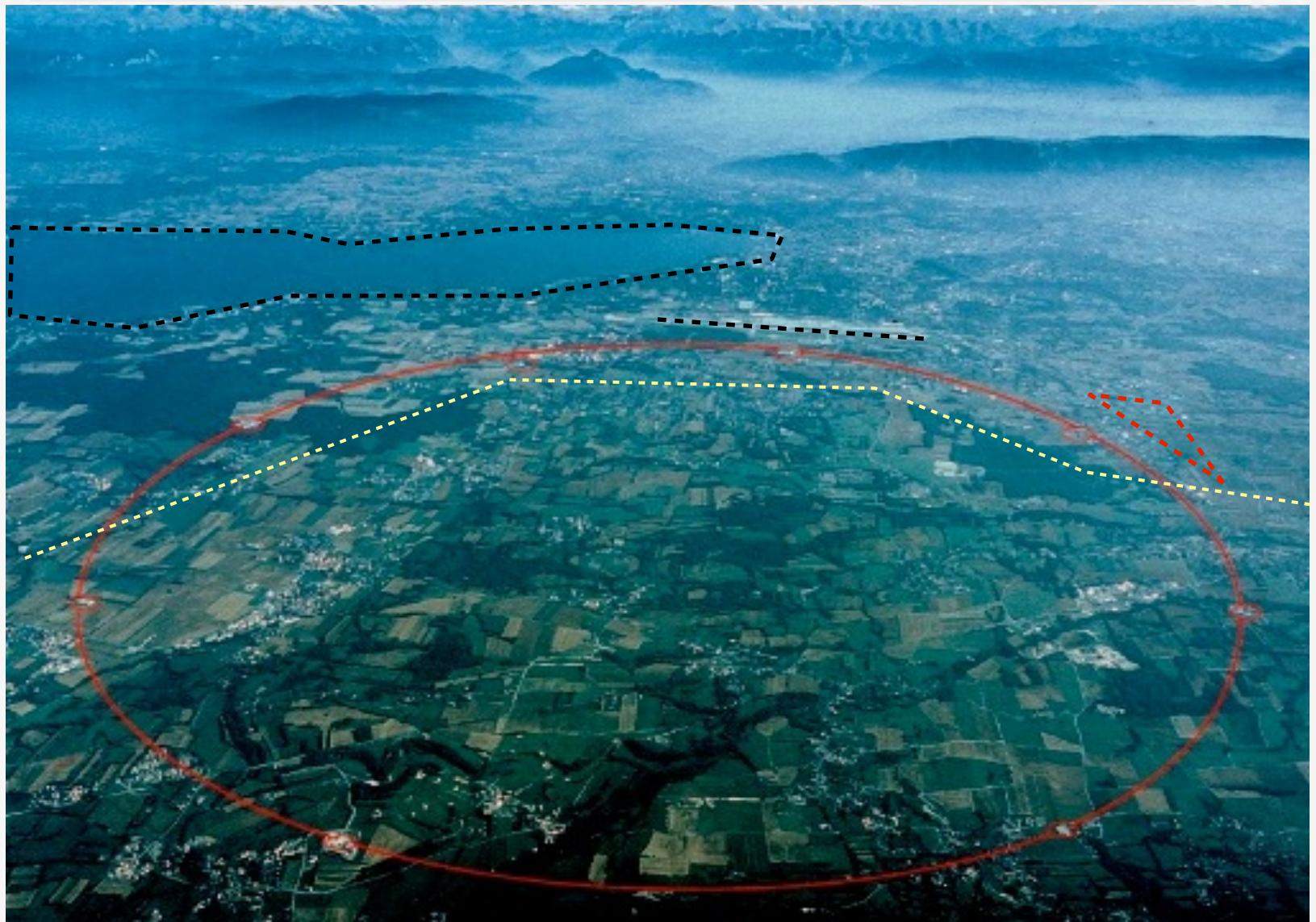
Il Bosone di Higgs

- 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

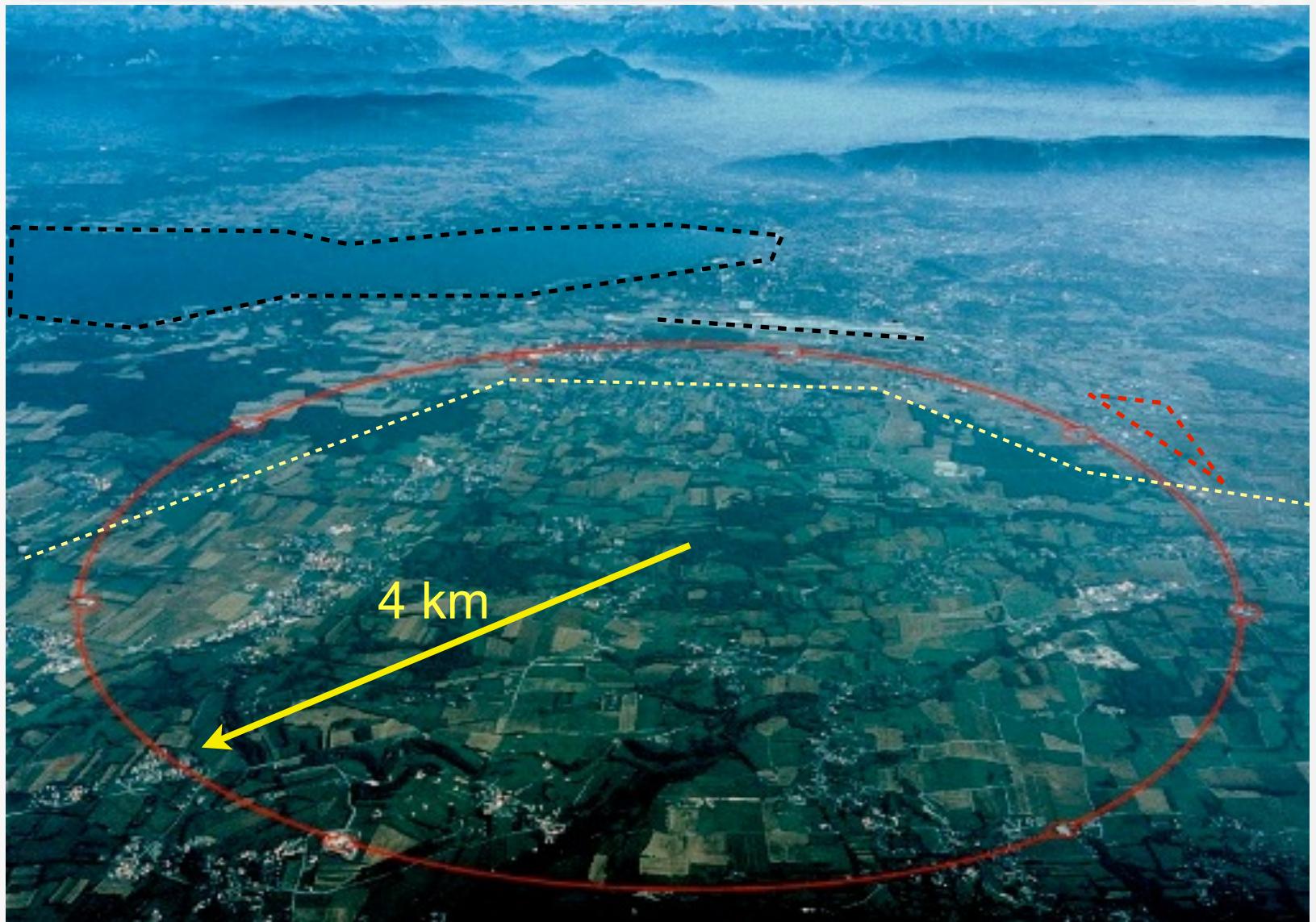


- Come conseguenza di questo meccanismo doveva però esistere una particella che aveva proprietà molto particolari: il Bosone di Higgs

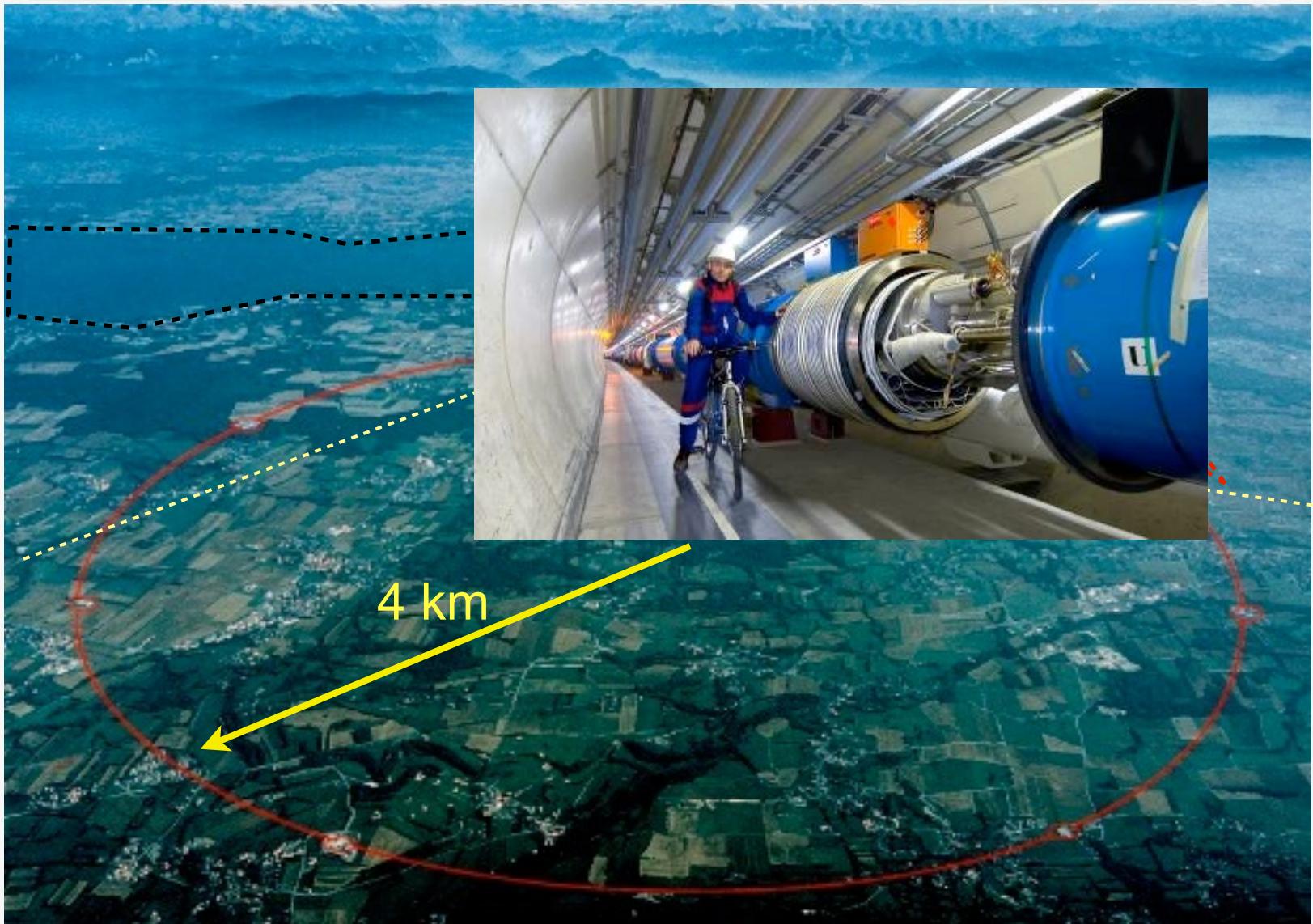
Alla ricerca del Bosone di Higgs: Il Large Hadron Collider



Alla ricerca del Bosone di Higgs: Il Large Hadron Collider

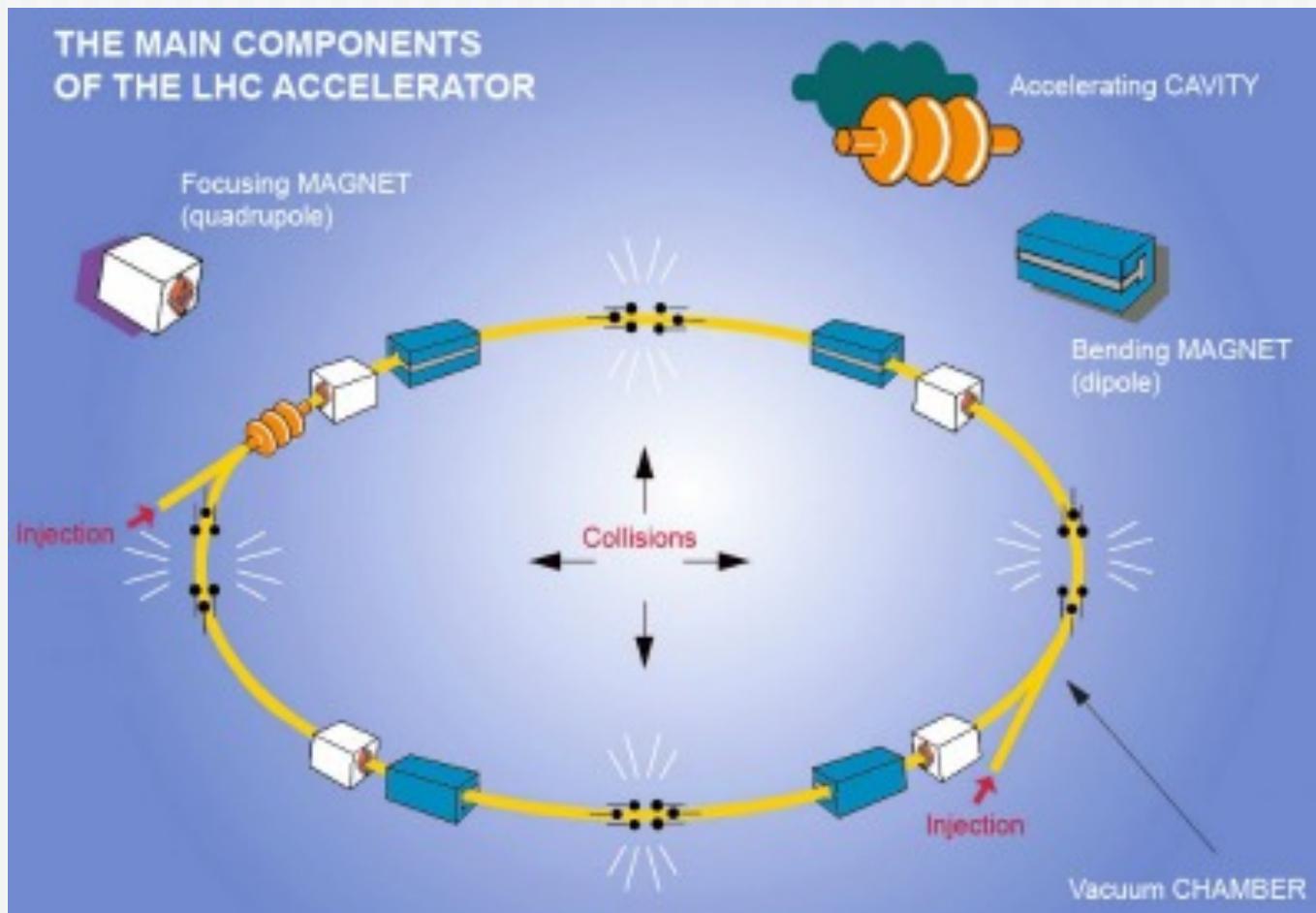


Alla ricerca del Bosone di Higgs: Il Large Hadron Collider

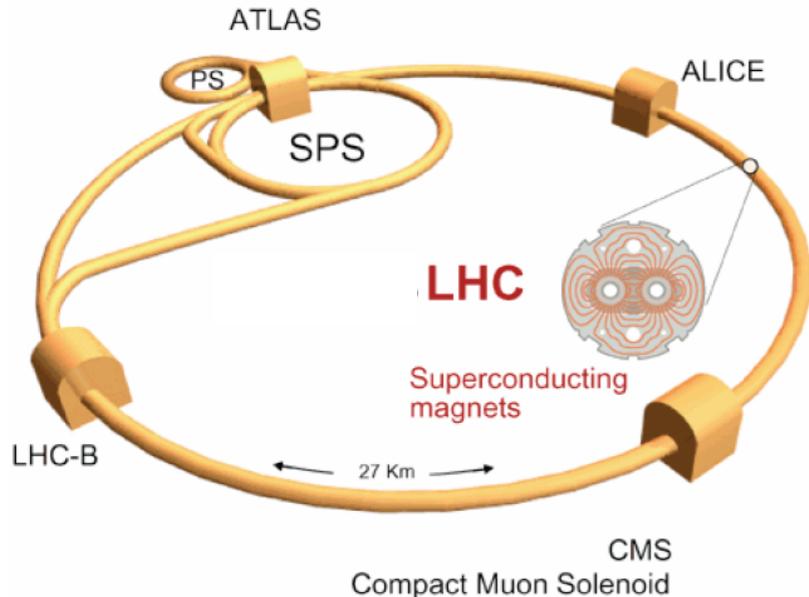


Gli acceleratori

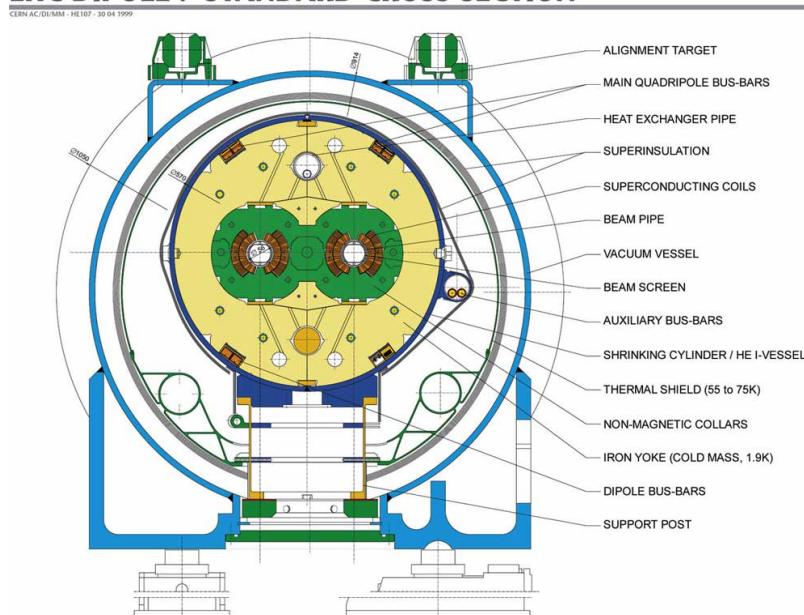
- permettono di avere tantissimi proiettili e spararli sempre nello stesso modo



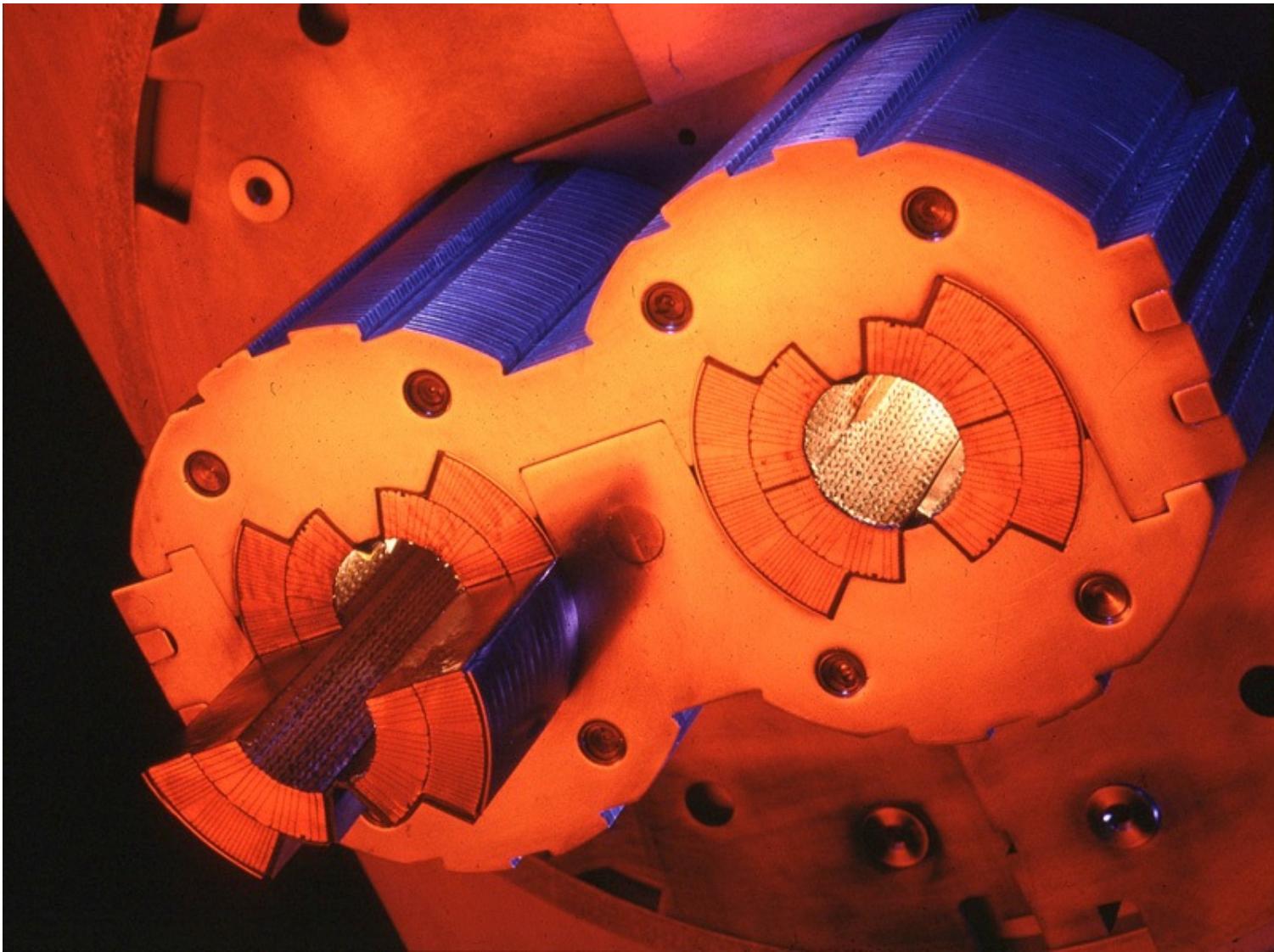
Il Large Hadron Collider

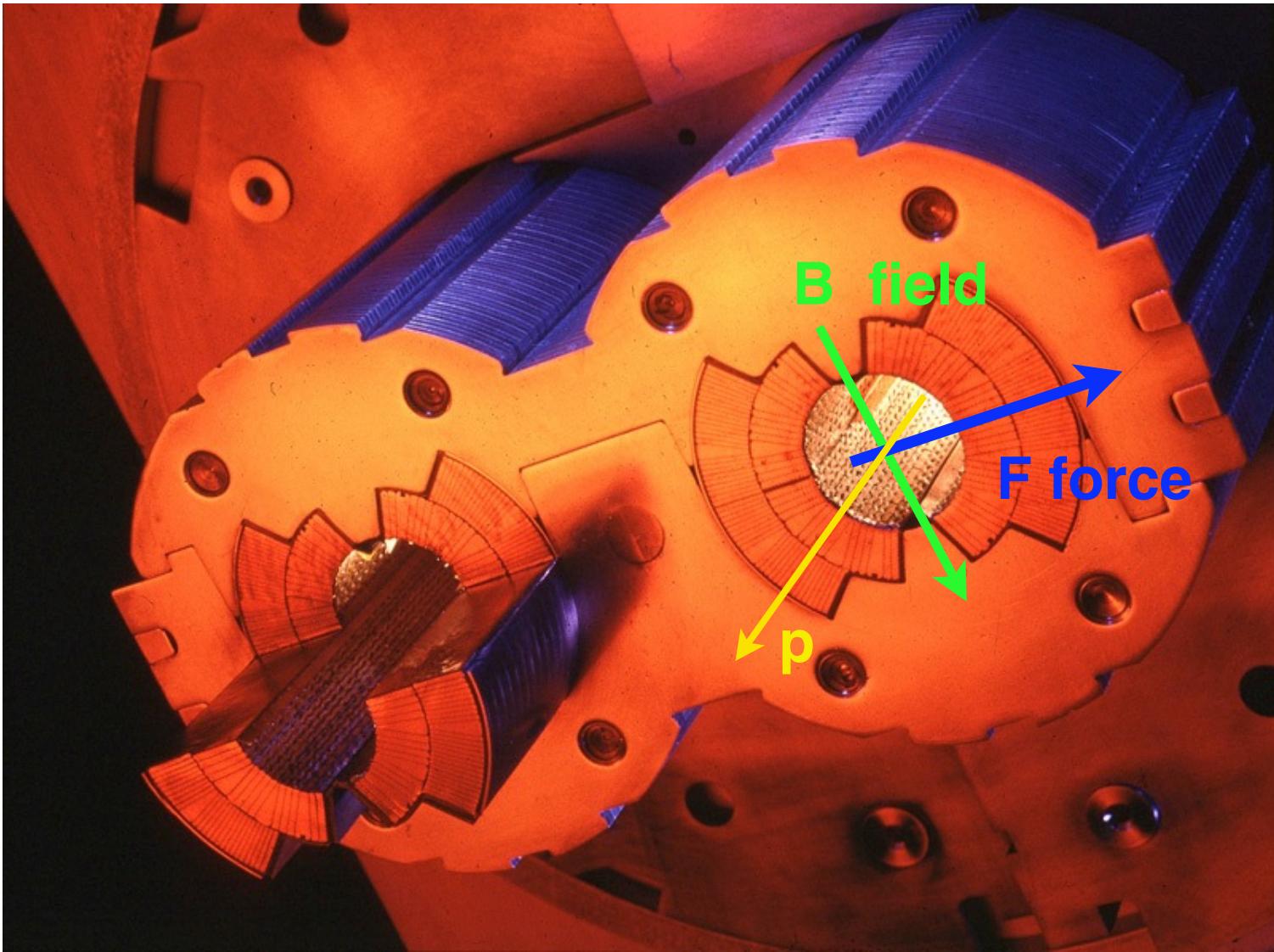


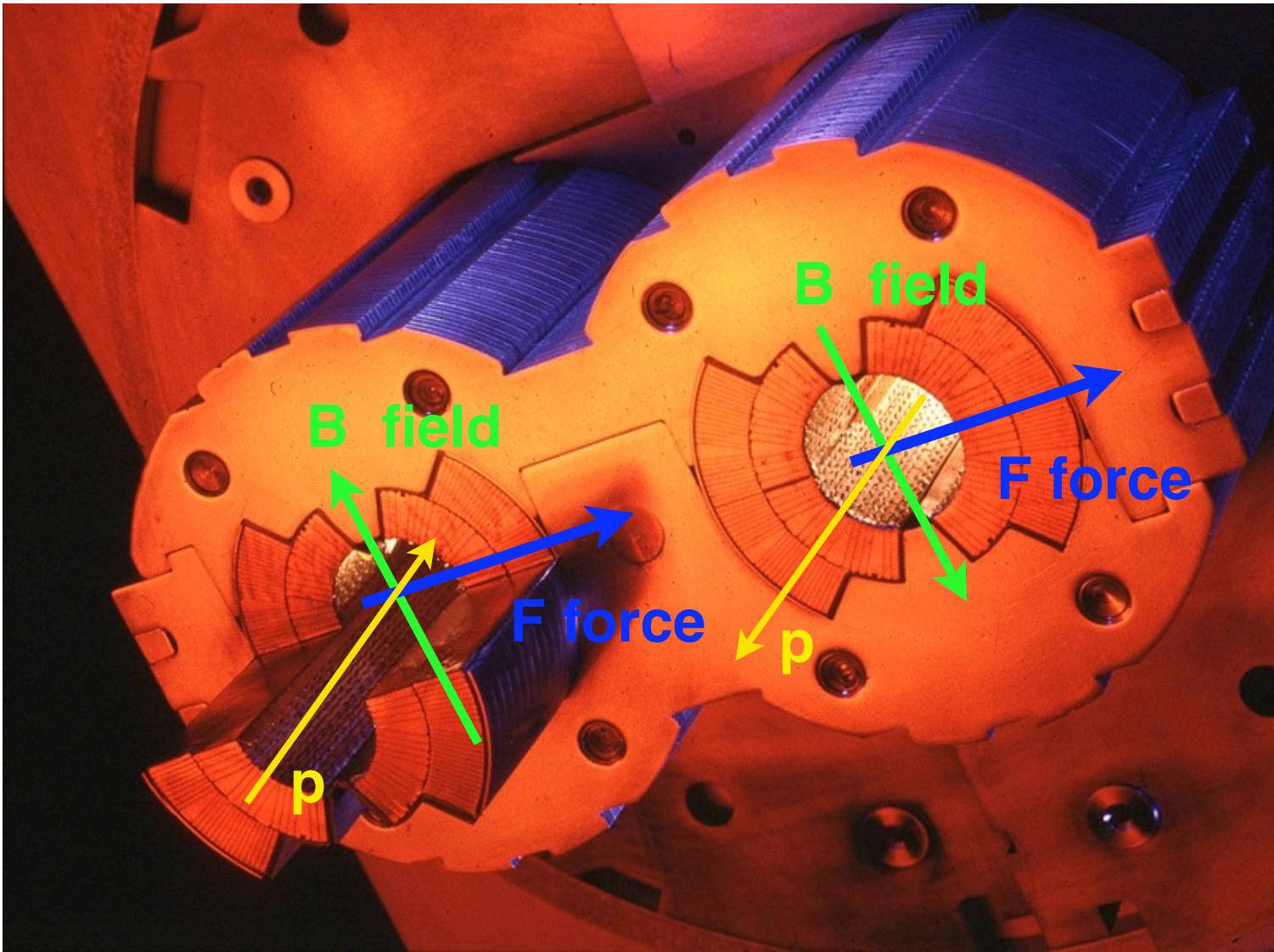
LHC DIPOLE : STANDARD CROSS-SECTION



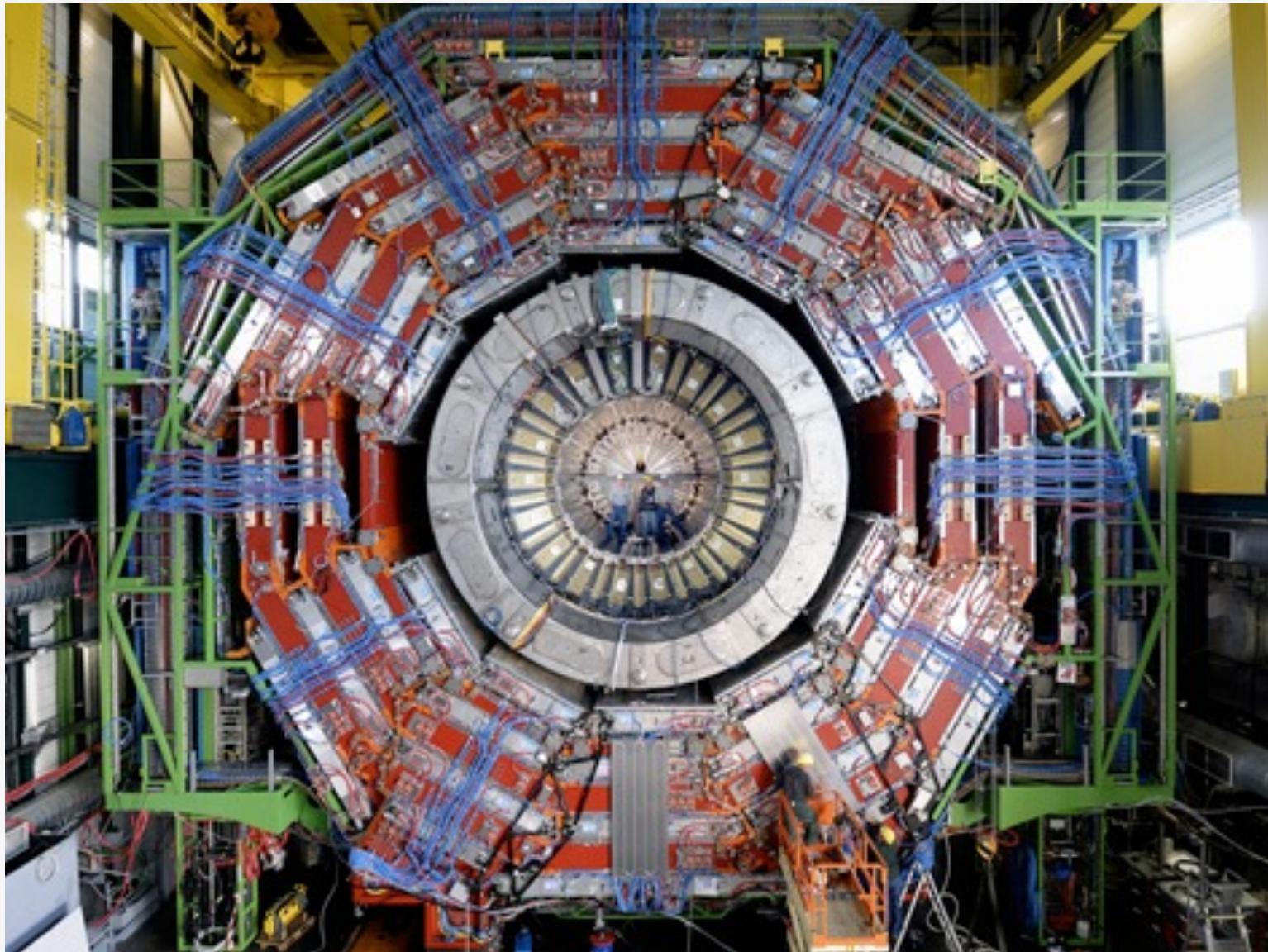
- collisioni p-p (ma anche Pb-Pb e p-Pb)
 - 14 TeV nel centro di massa
 - ▶ $m_p = 1 \text{ GeV}$
 - 40 MHz è la frequenza di collisione
 - 1200 dipoli di 8 T raffreddati a 2 K







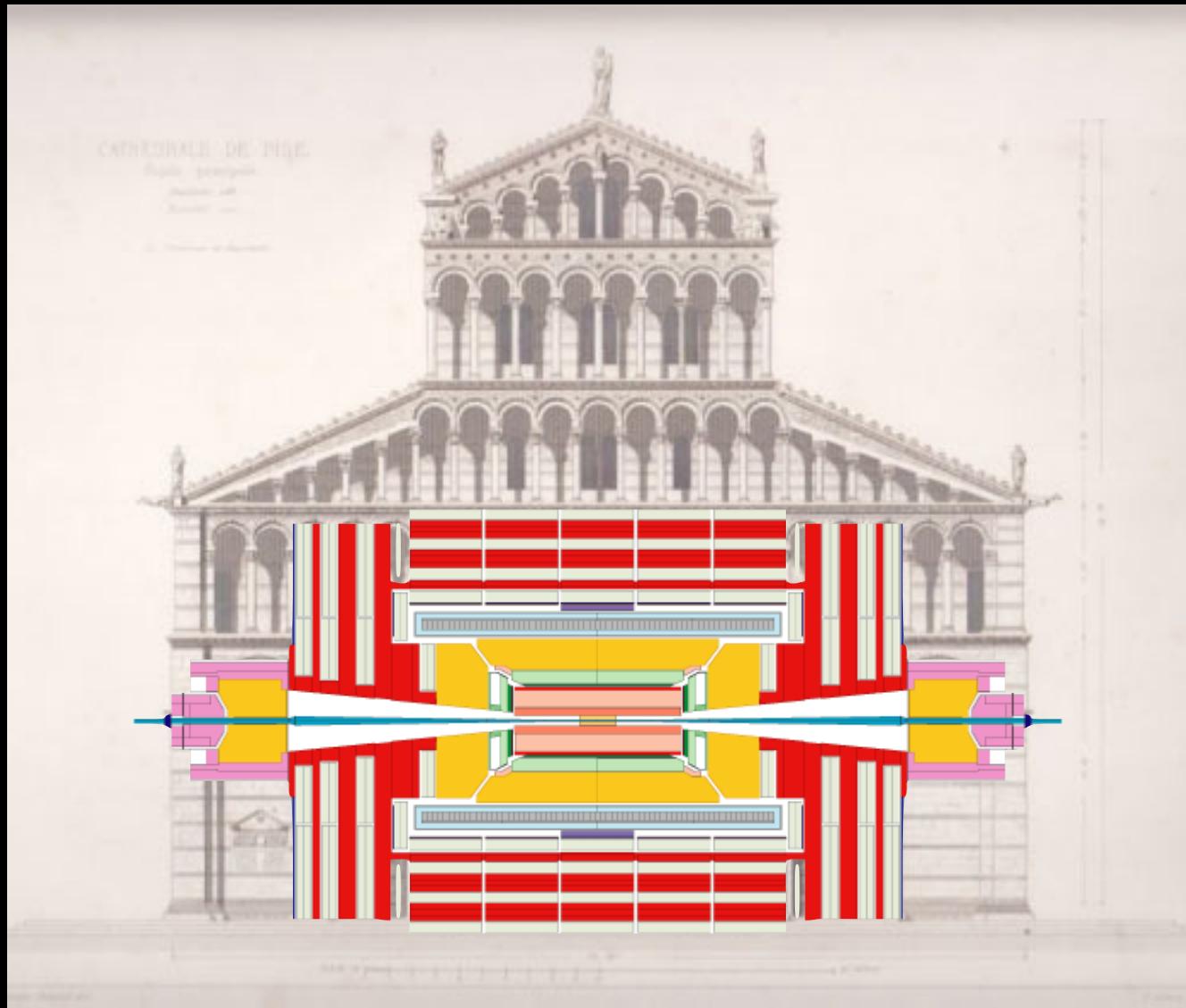
Il rivelatore CMS



CATHÉDRALE DE PISE

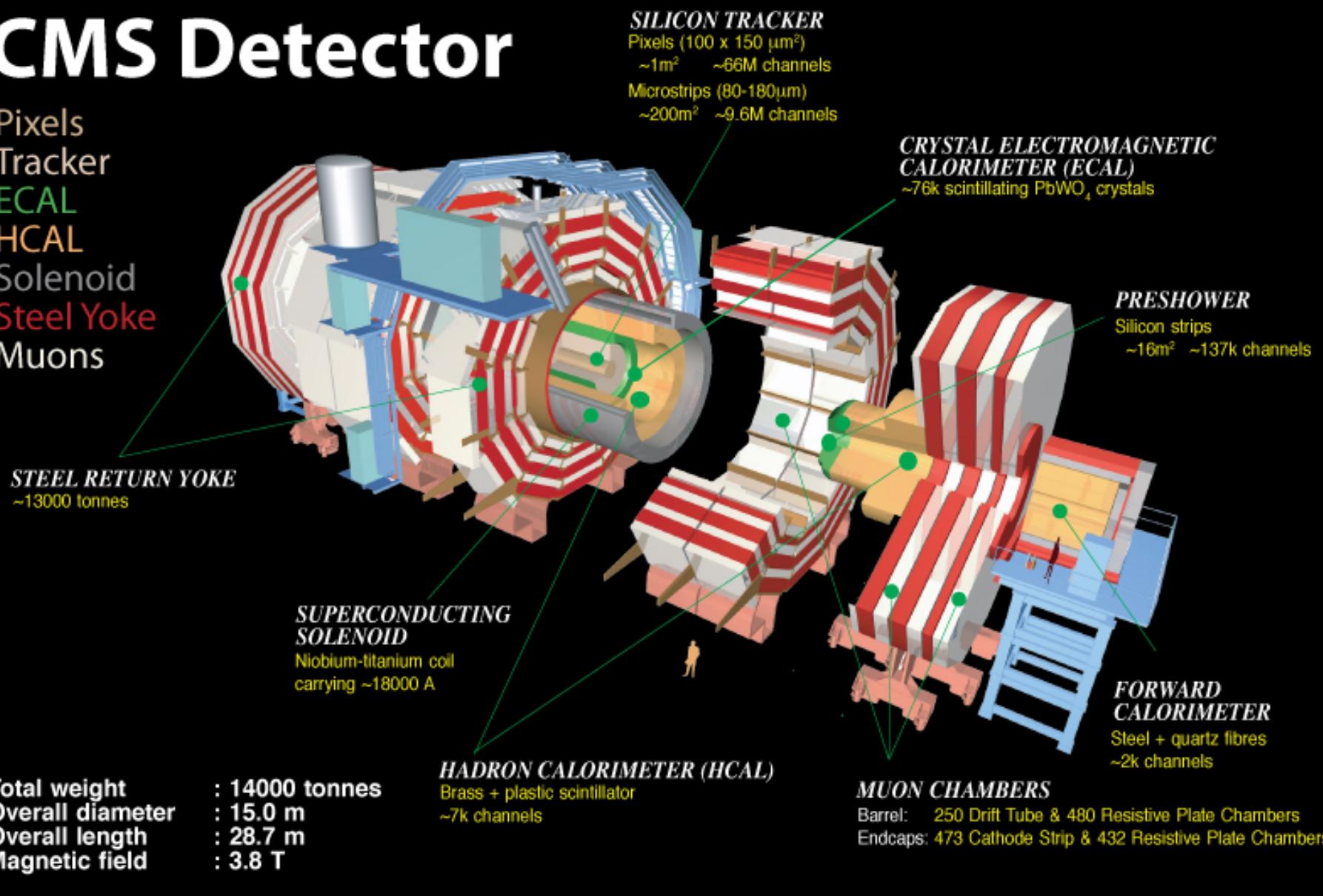
Face principale
Façade de
l'entrée principale





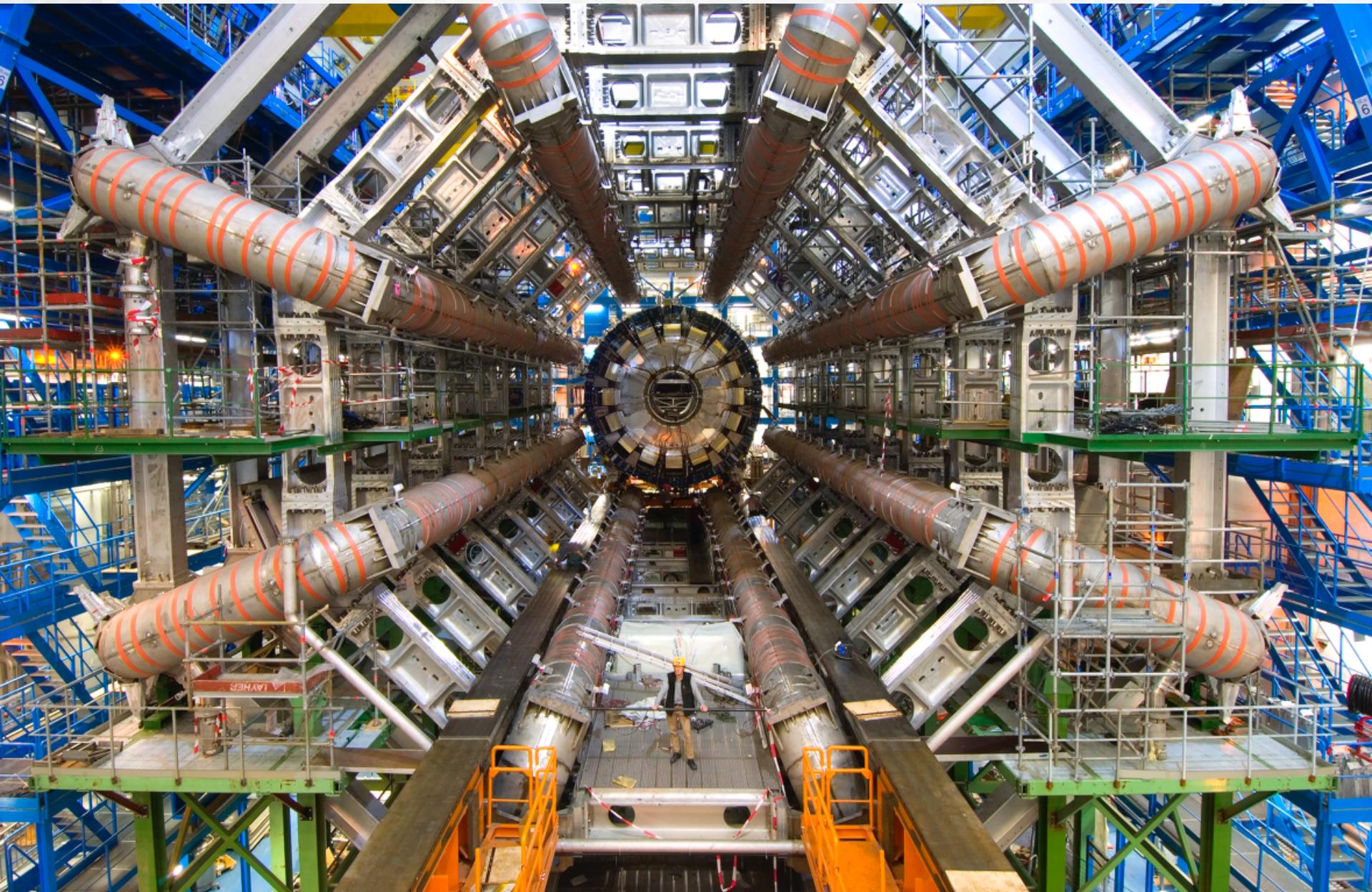
CMS Detector

Pixels
Tracker
ECAL
HCAL
Solenoid
Steel Yoke
Muons



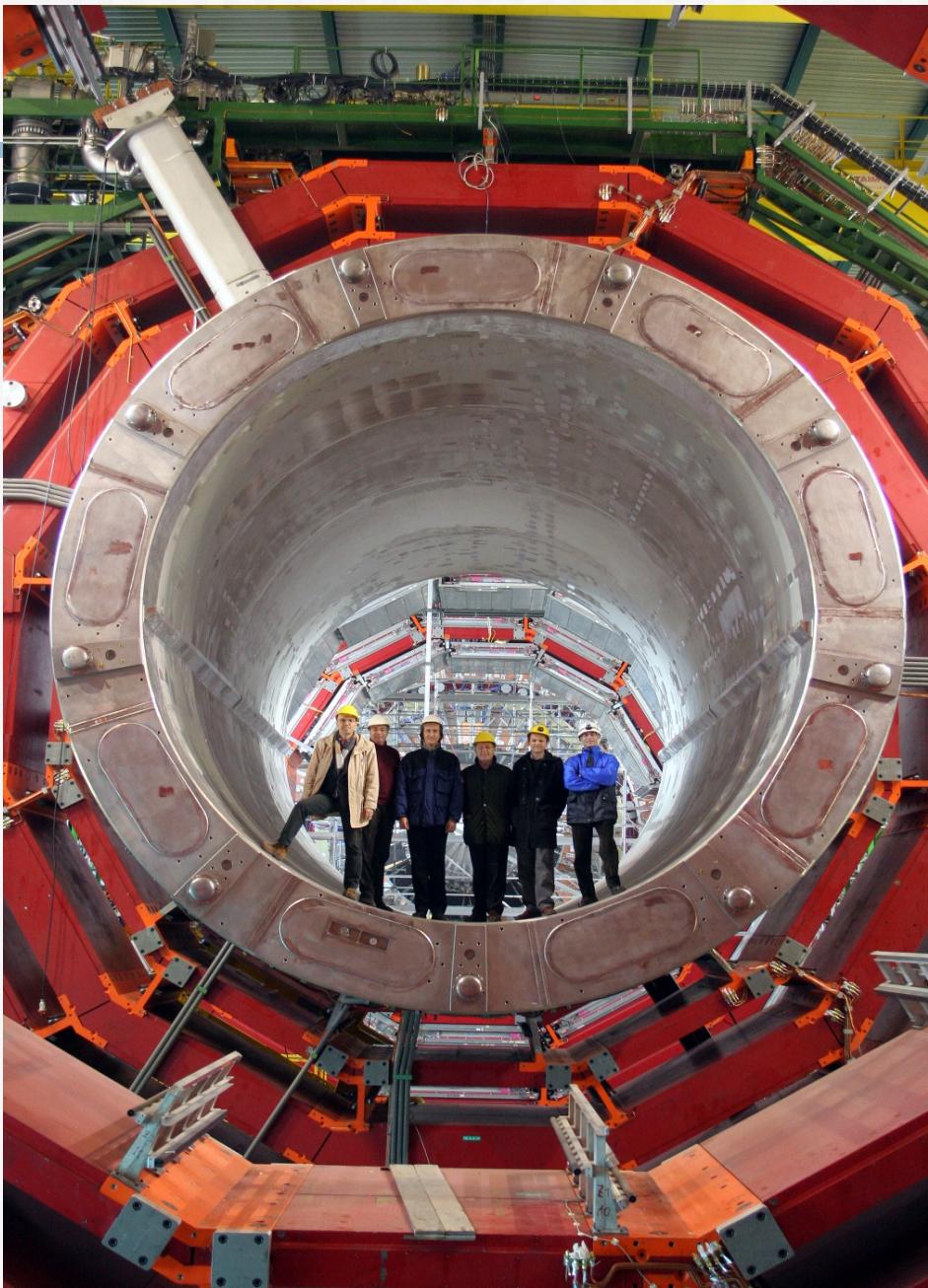
La collaborazione è formata da più di 2000 fisici da tutto il mondo

ATLAS

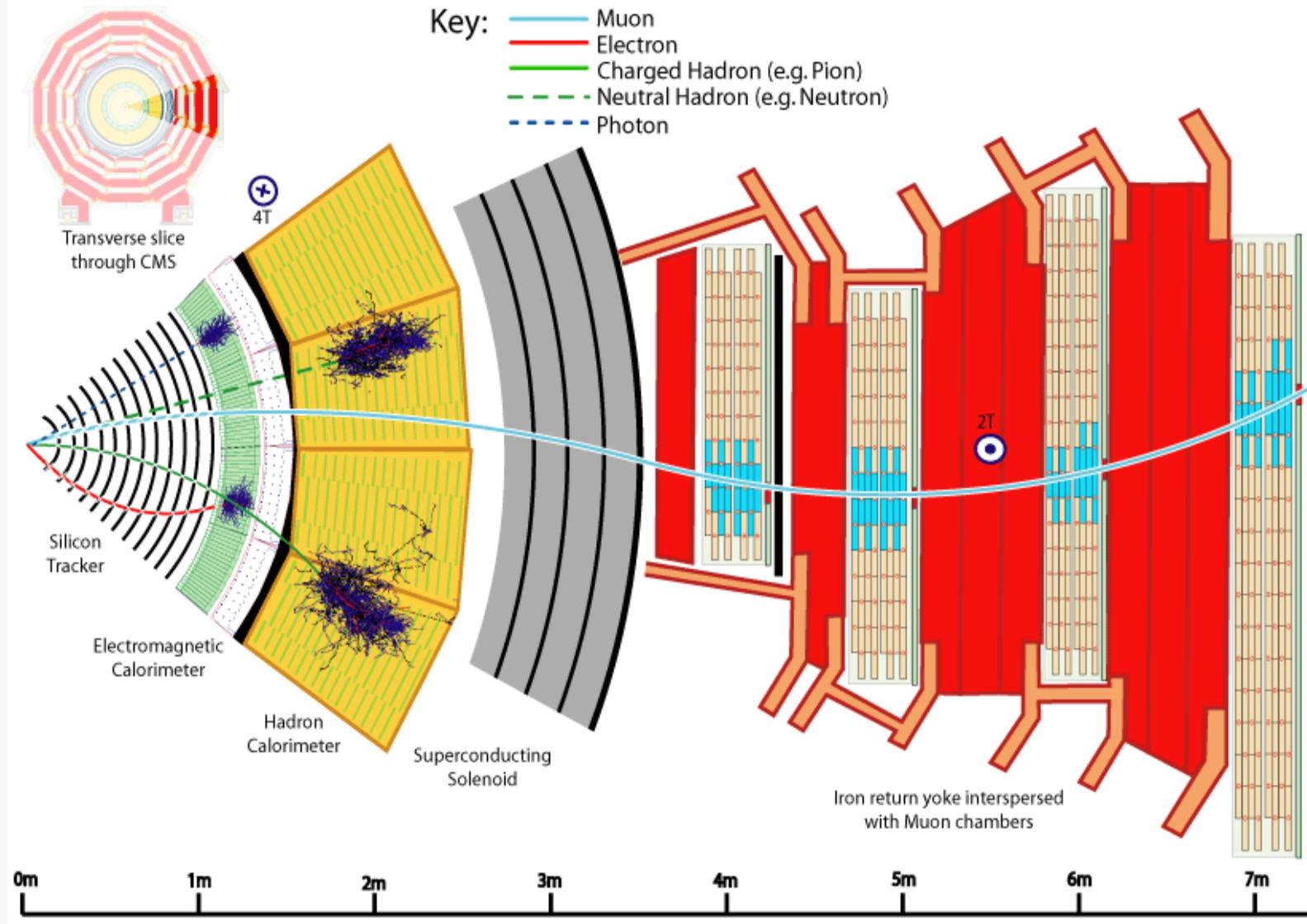


Il magnete

- 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'ANSA



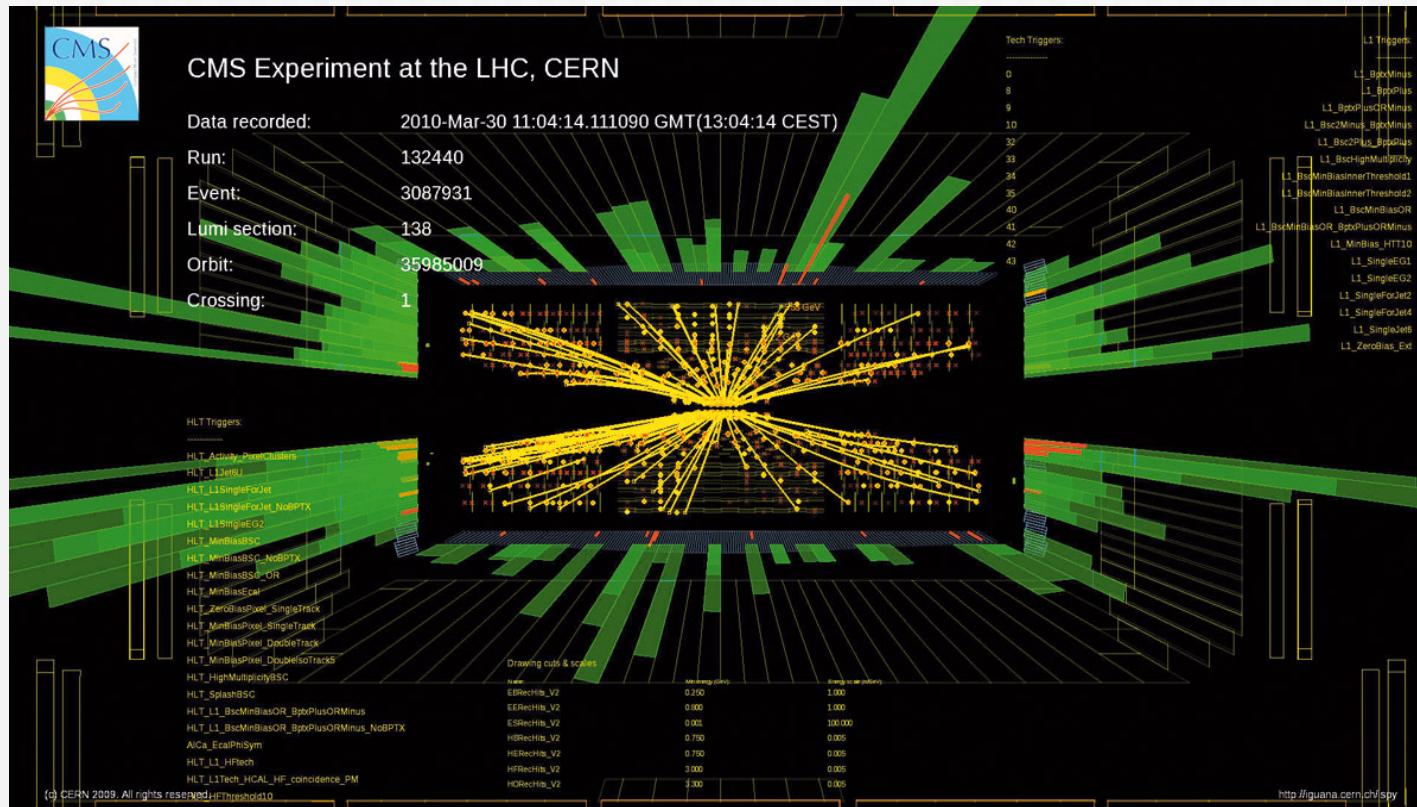
Le particelle nel rivelatore CMS





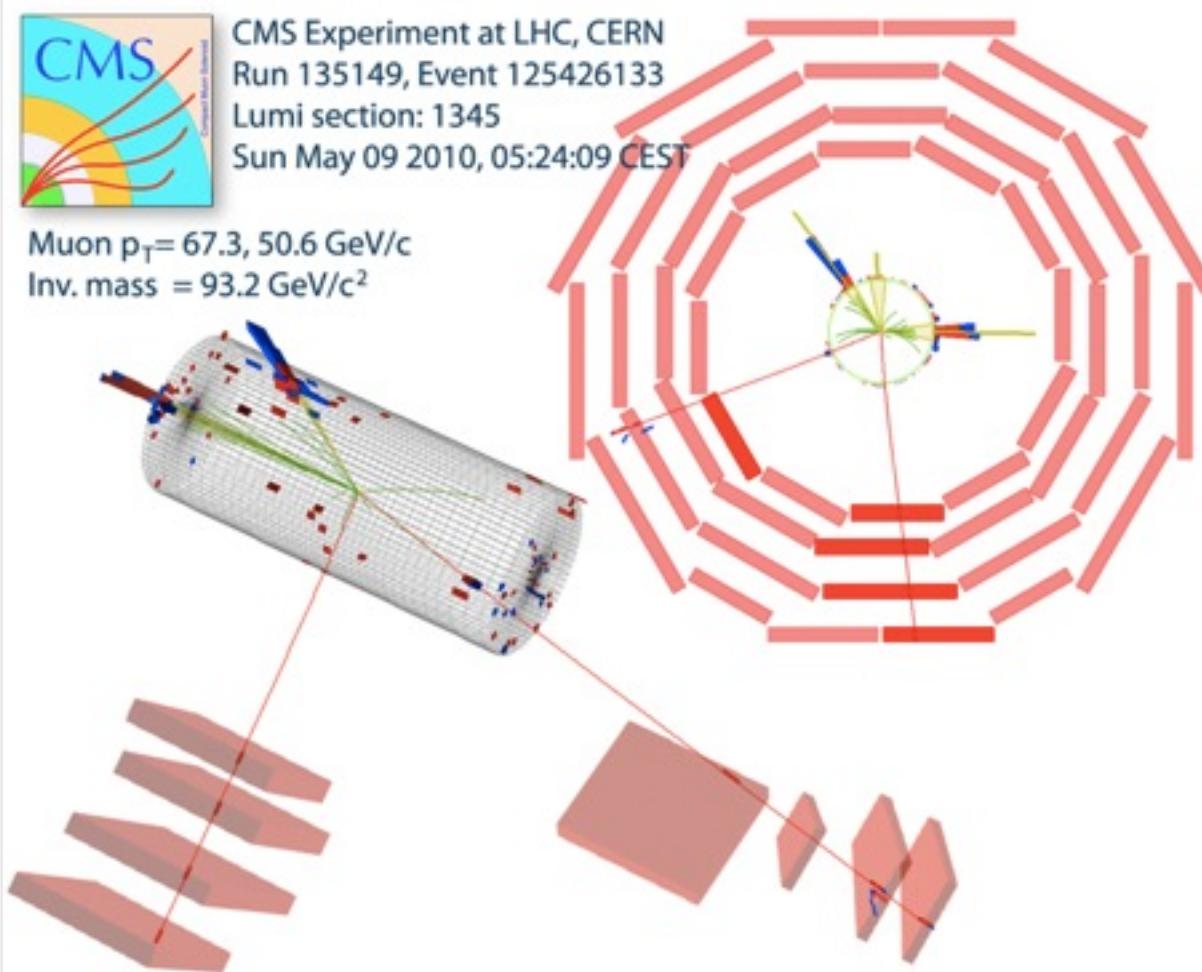


Il nostro microscopio!...



- **E=mc²** : grazie all'energia dei protoni si producono altre particelle anche molto più pesanti

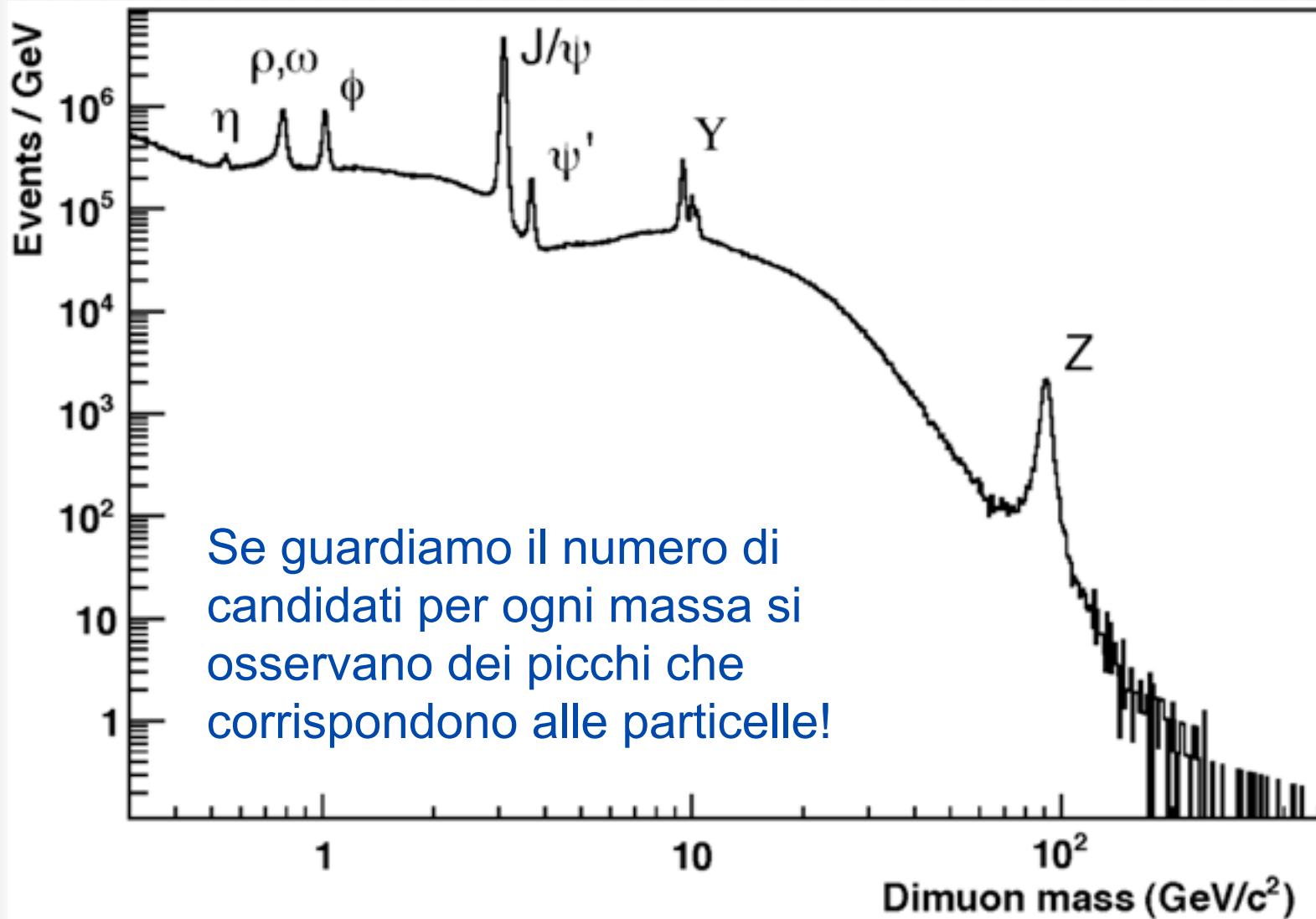
Un esempio: le coppie $\mu^+\mu^-$



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 $\mu^+\mu^-$





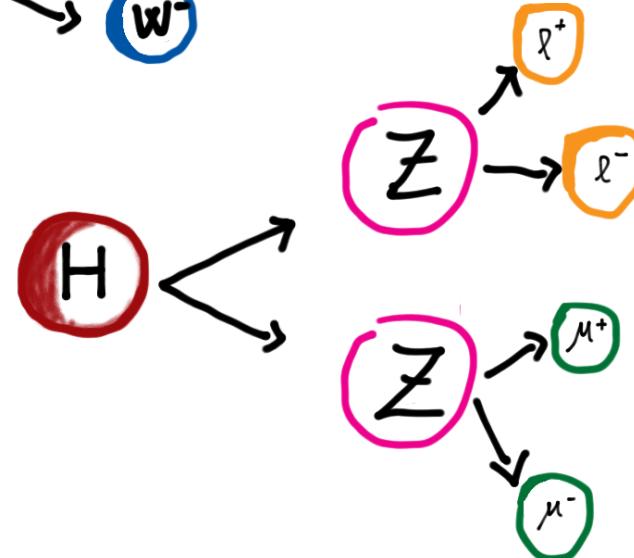
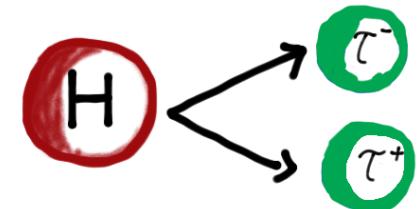
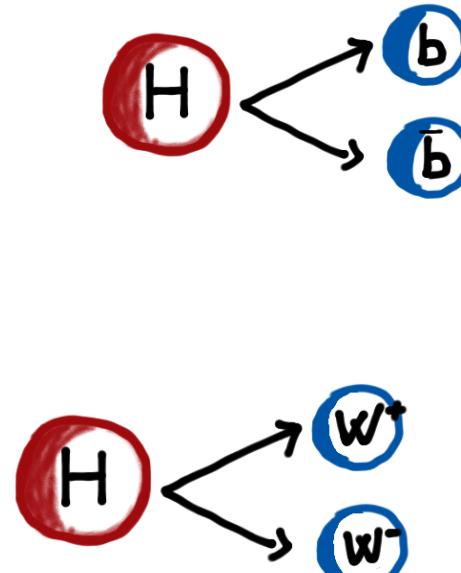
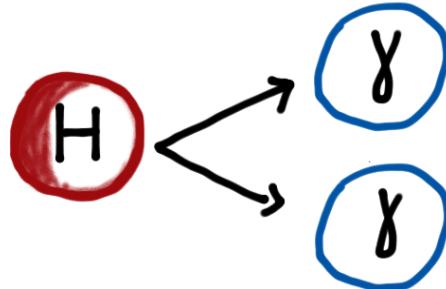
La ricerca del bosone di Higgs

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



La ricerca del bosone di Higgs

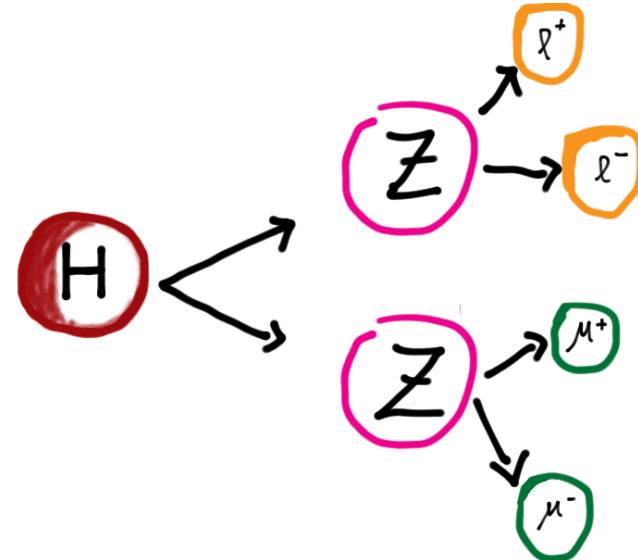
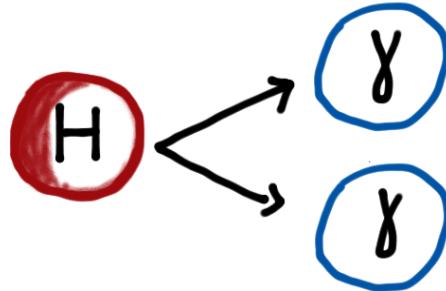
Solo 1 collisione p-p
su 5 miliardi produce
un bosone di Higgs.
Come lo individuo ?





La ricerca del bosone di Higgs

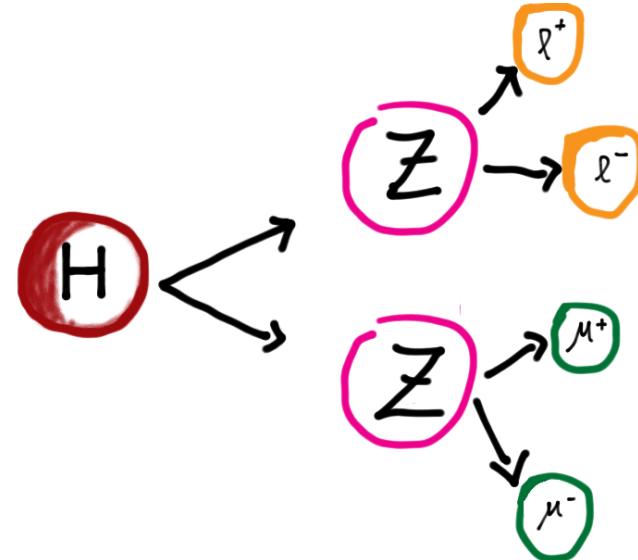
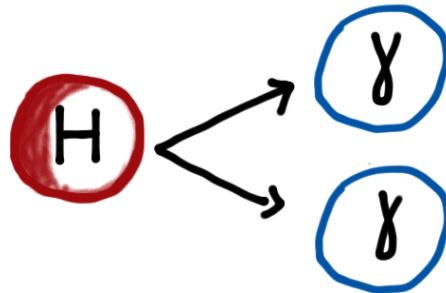
Solo 1 collisione p-p
su 5 miliardi produce
un bosone di Higgs.
Come lo individuo ?



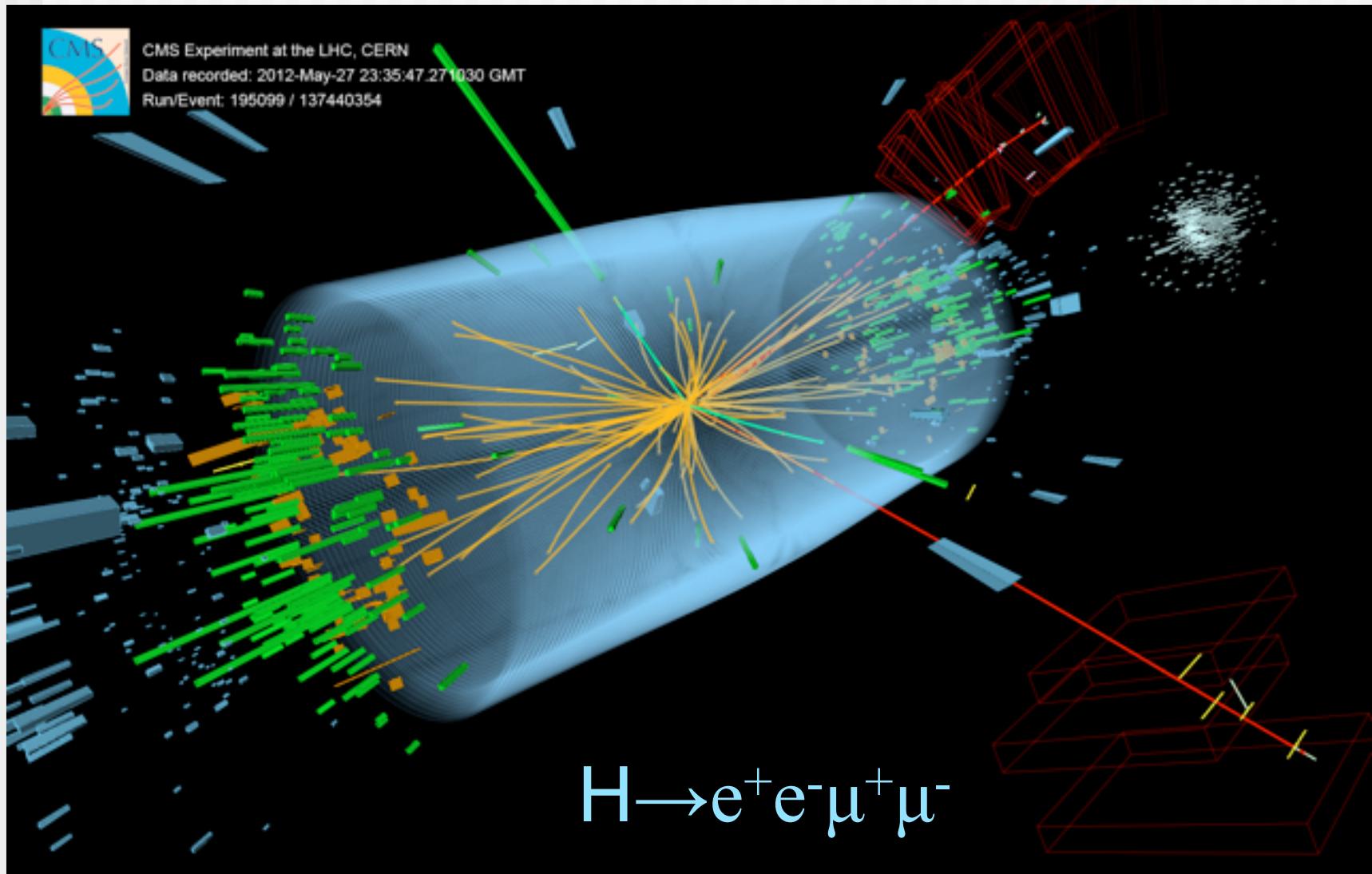


La ricerca del bosone di Higgs

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



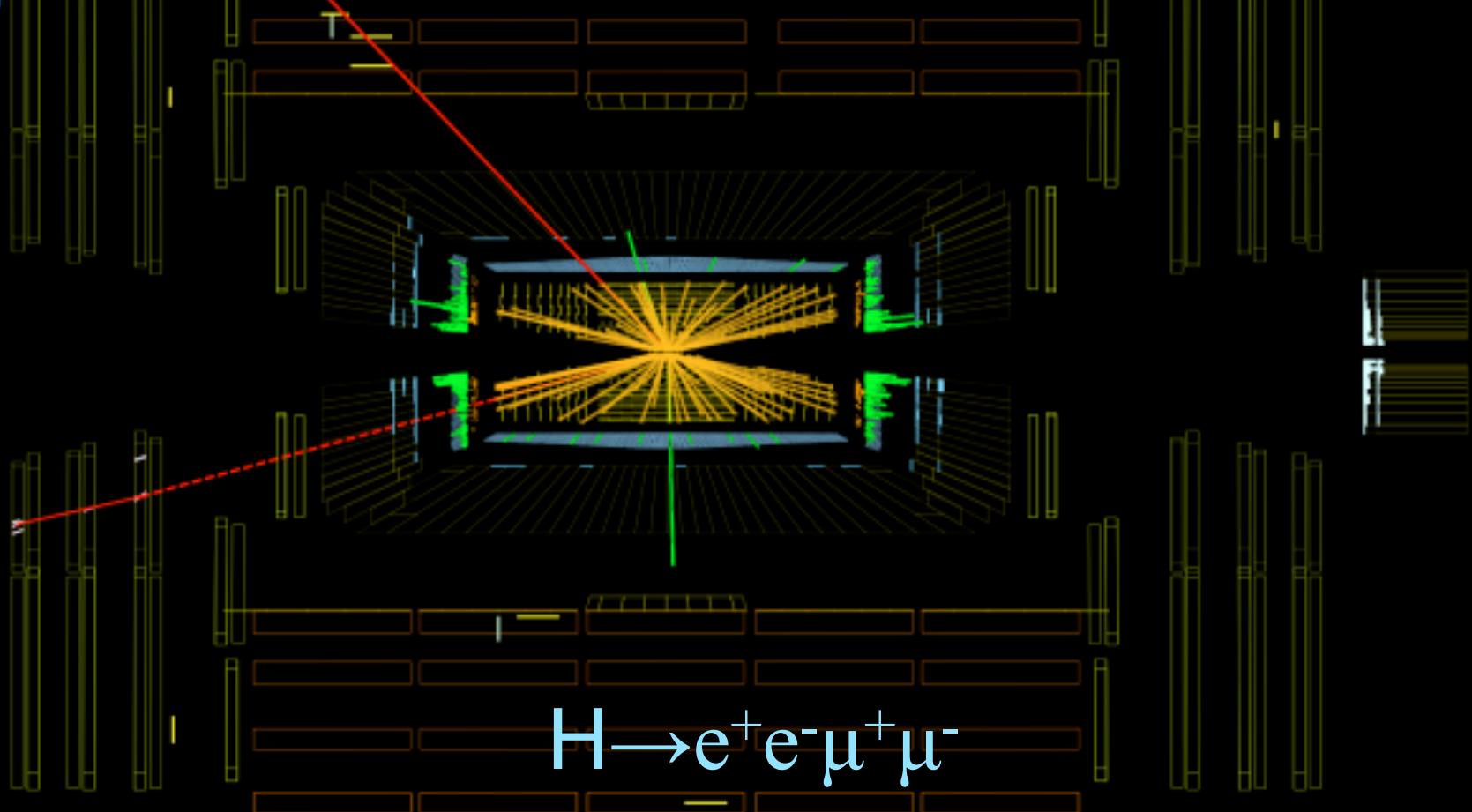
Un candidato Higgs



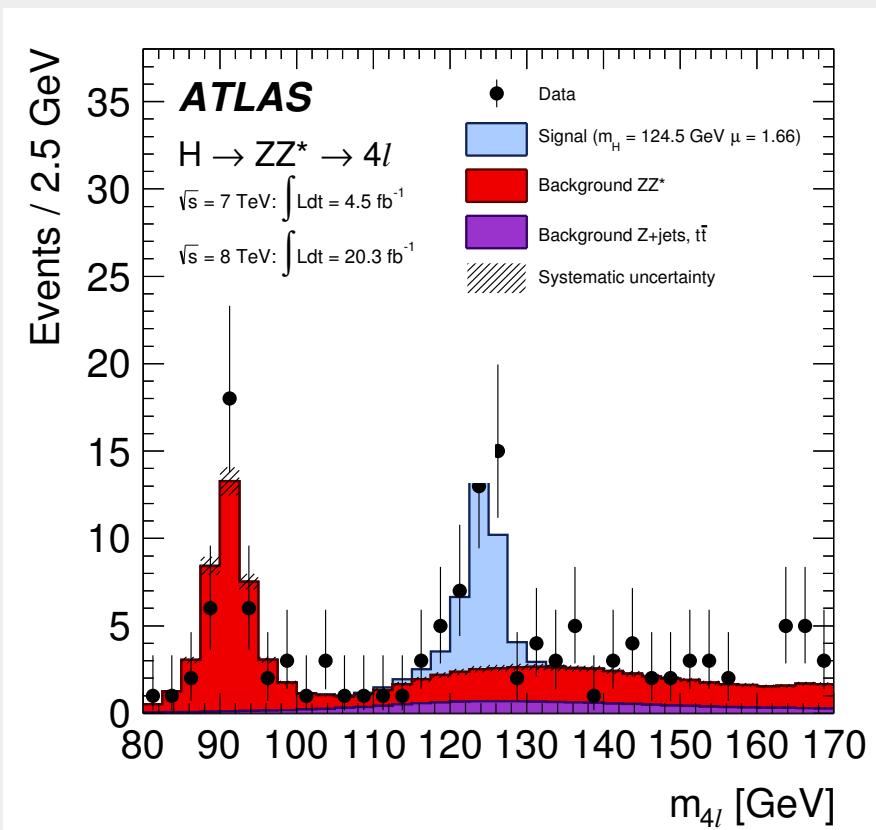
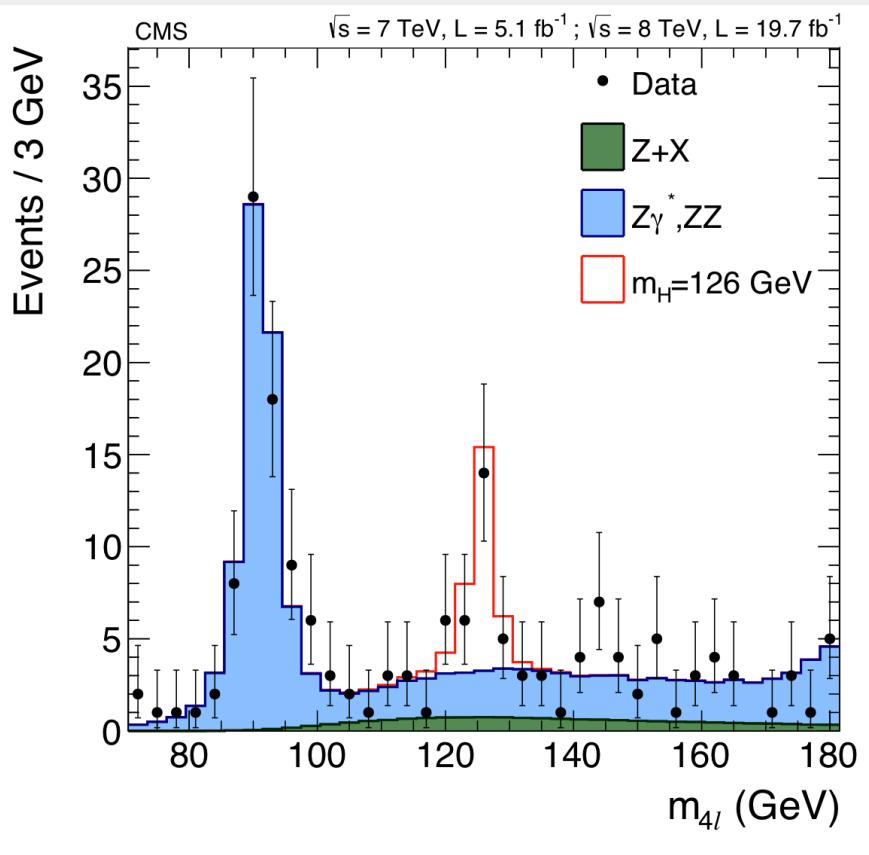
Un candidato Higgs



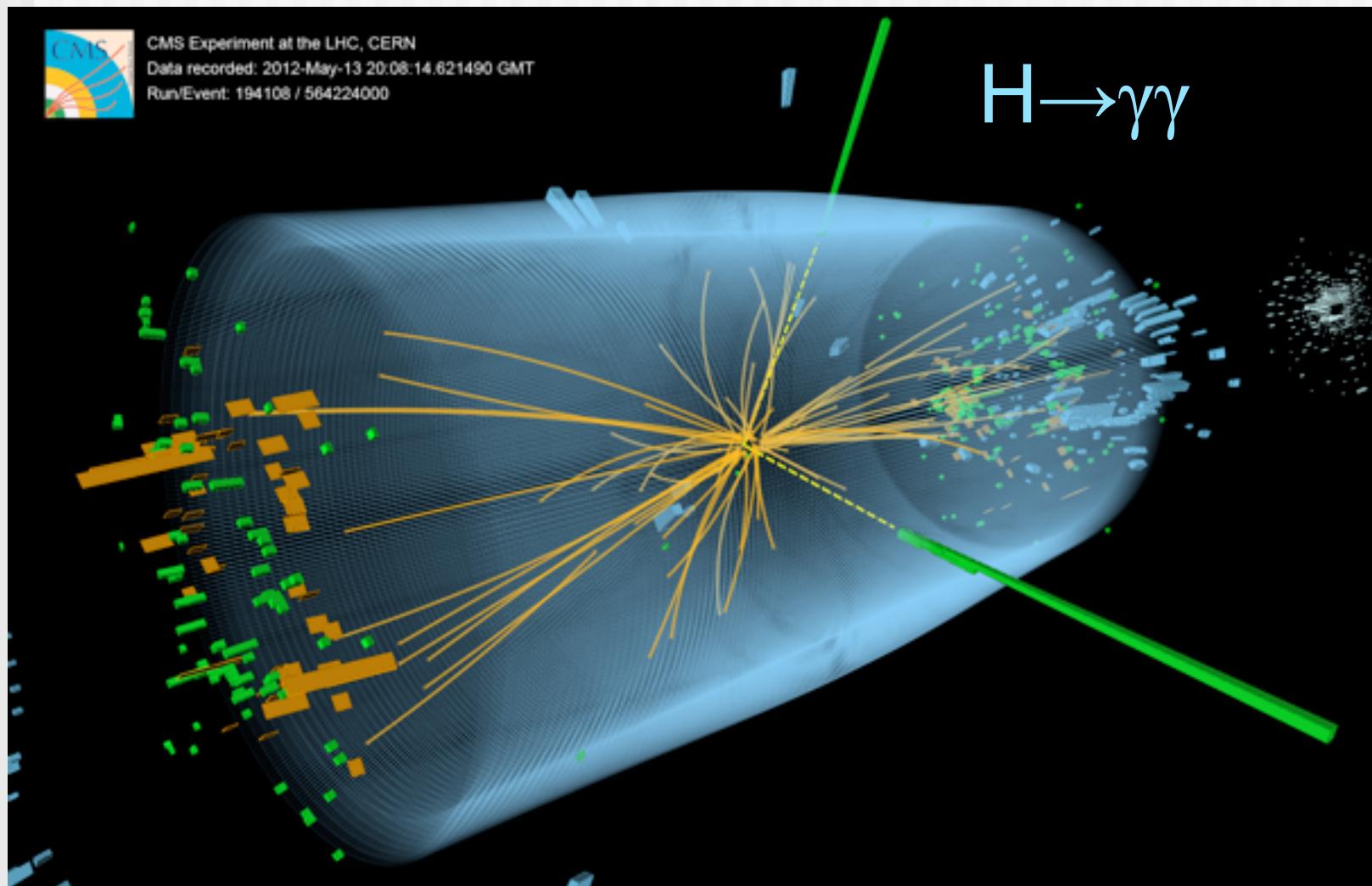
CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354



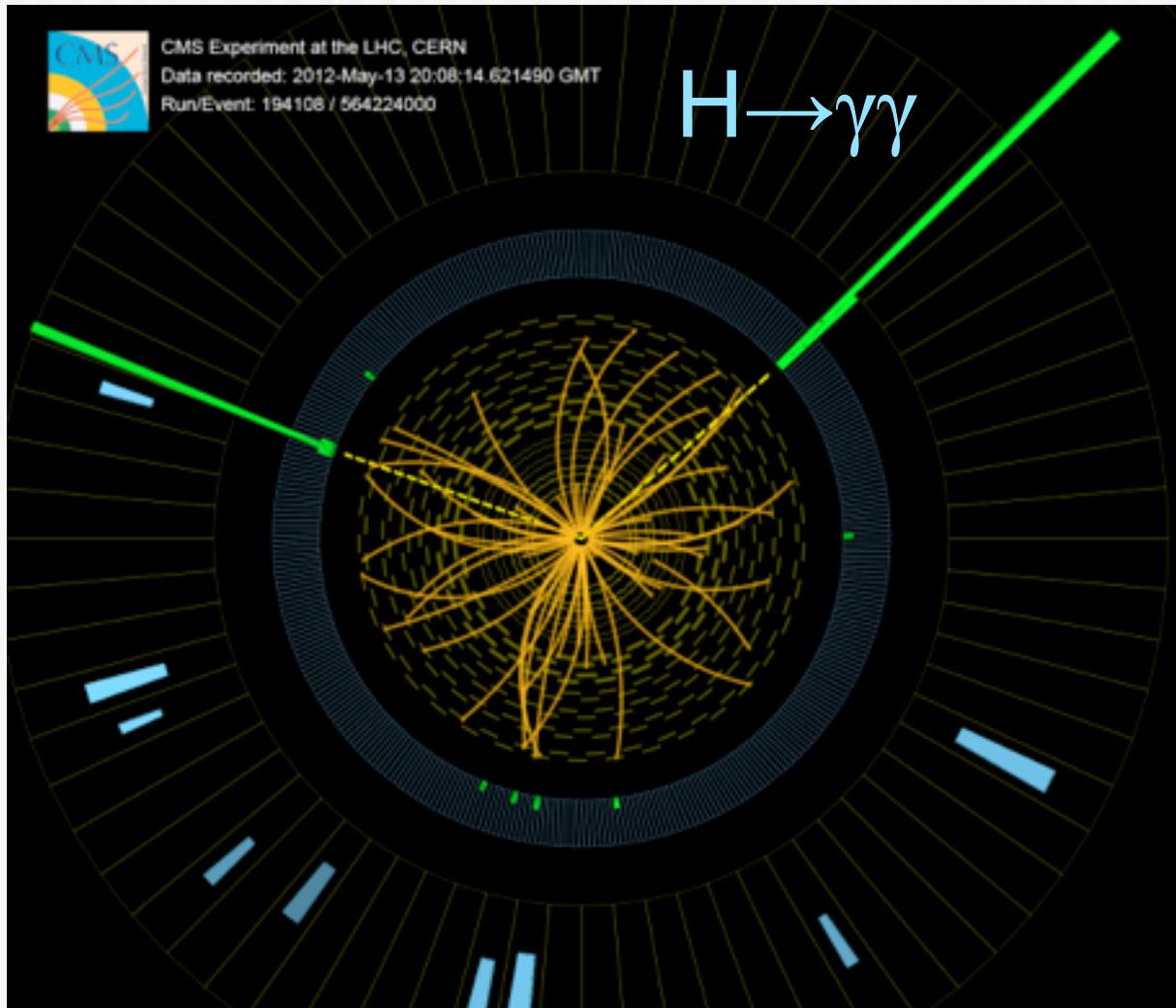
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$



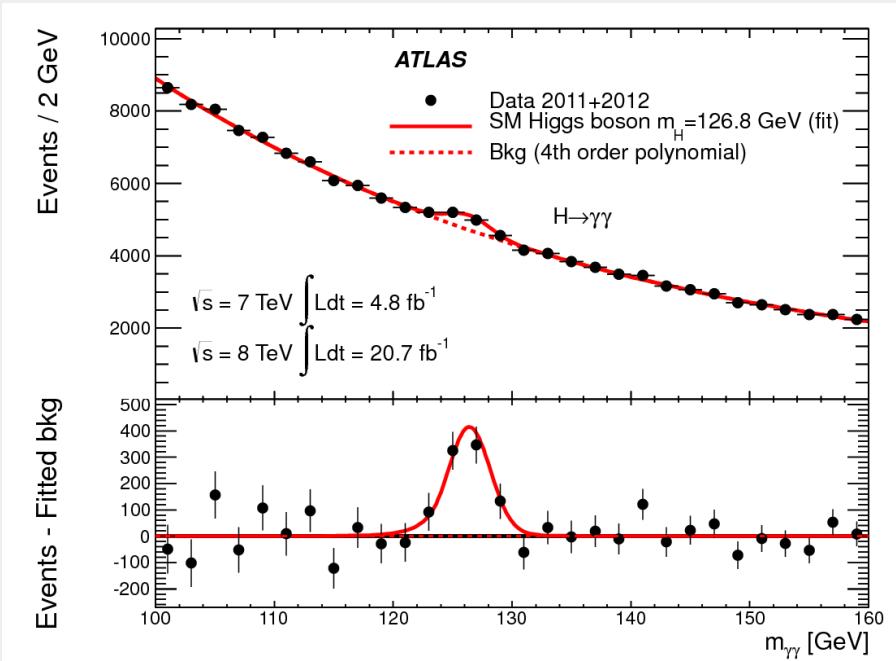
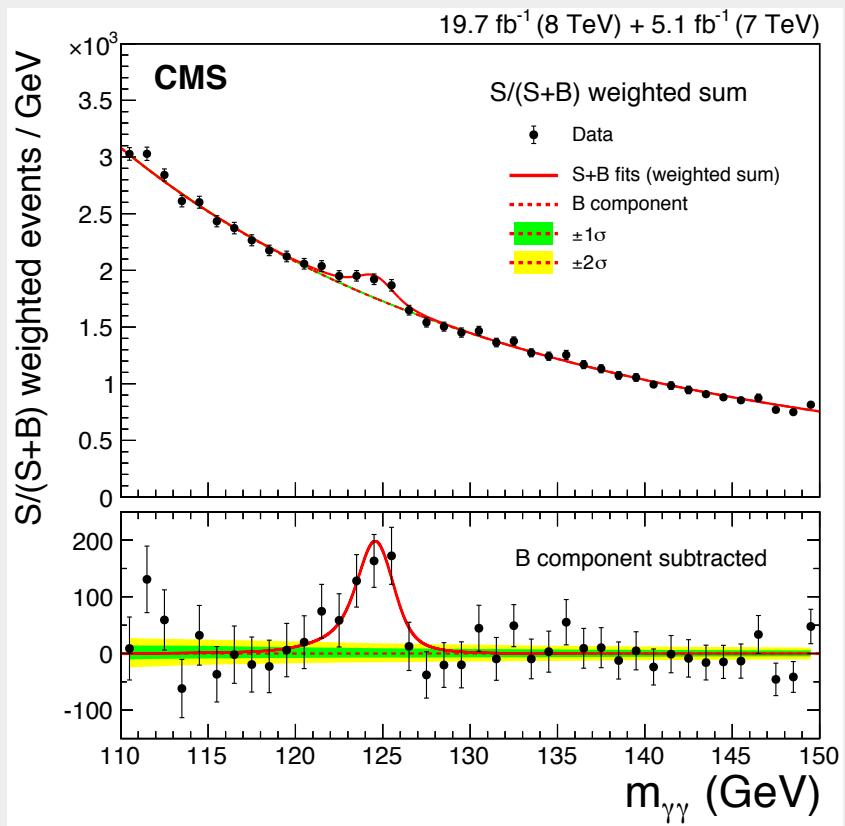
Un altro candidato Higgs



Un altro candidato Higgs

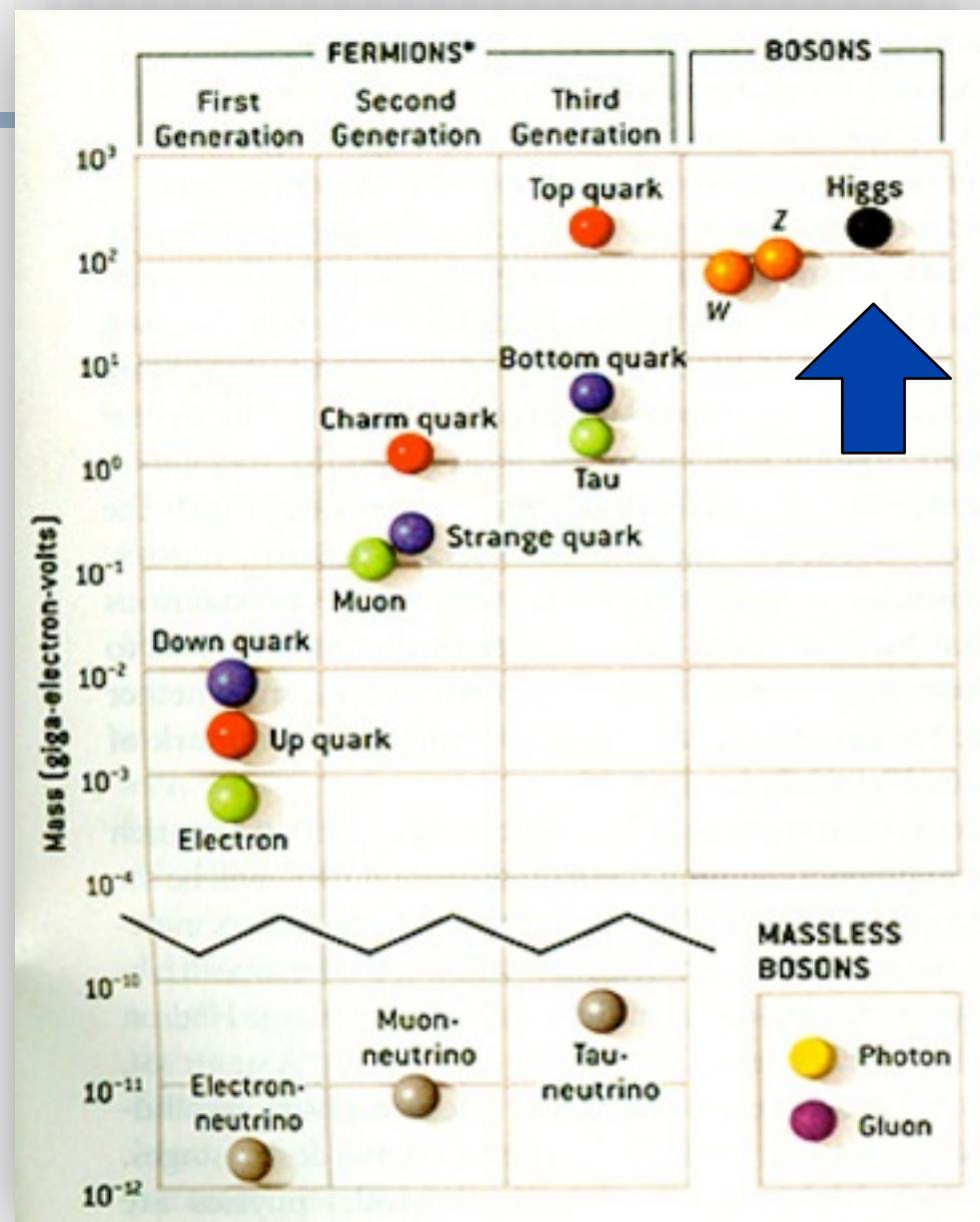


$H \rightarrow \gamma\gamma$



Il Modello Standard

finalmente completo!

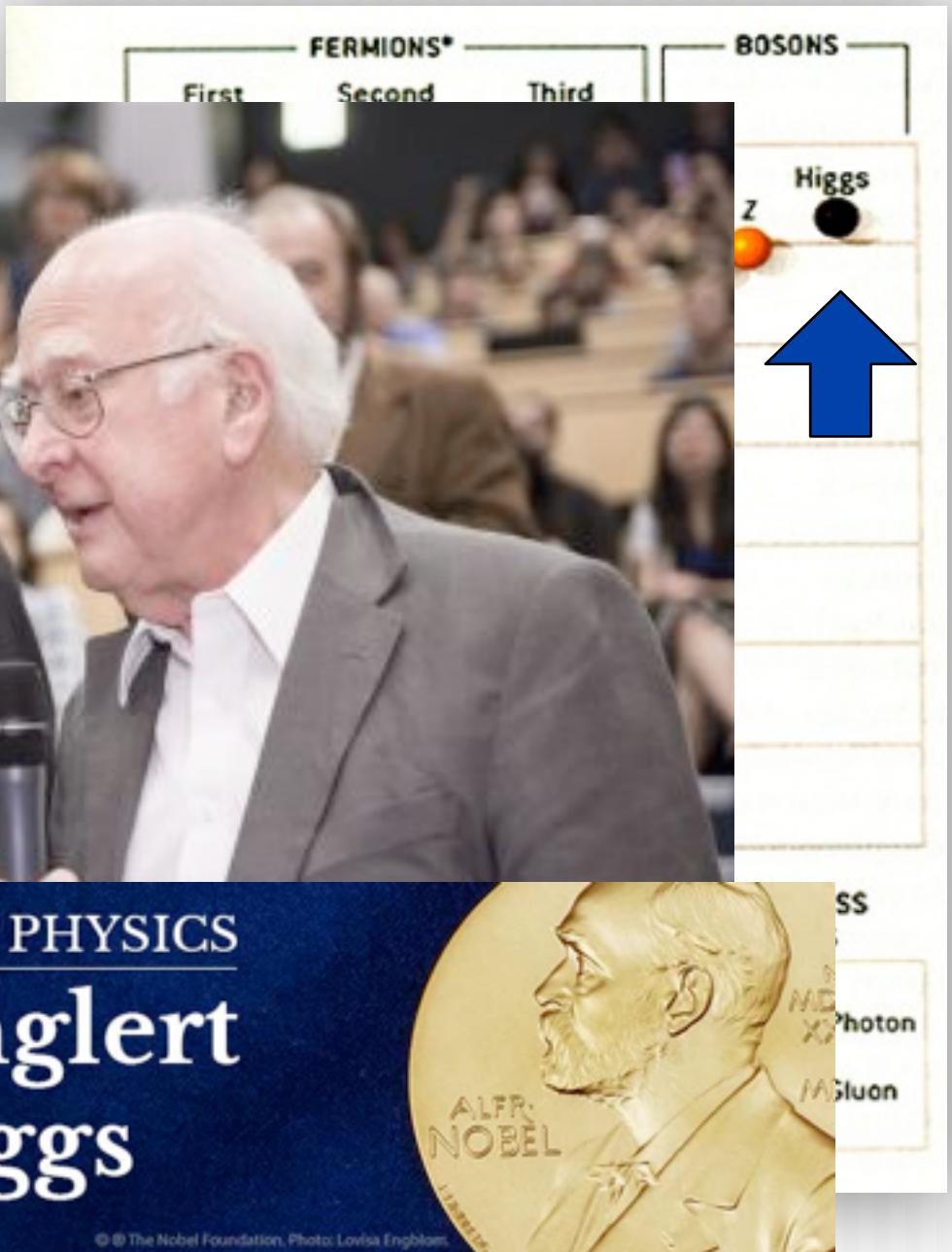
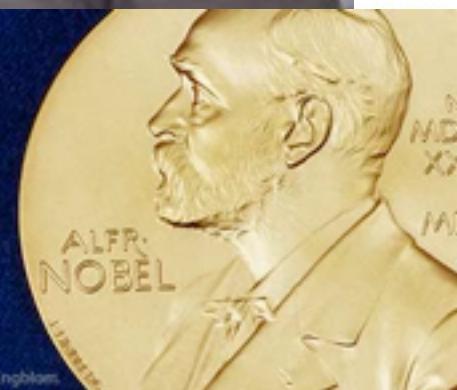


II Modello Standard

fi

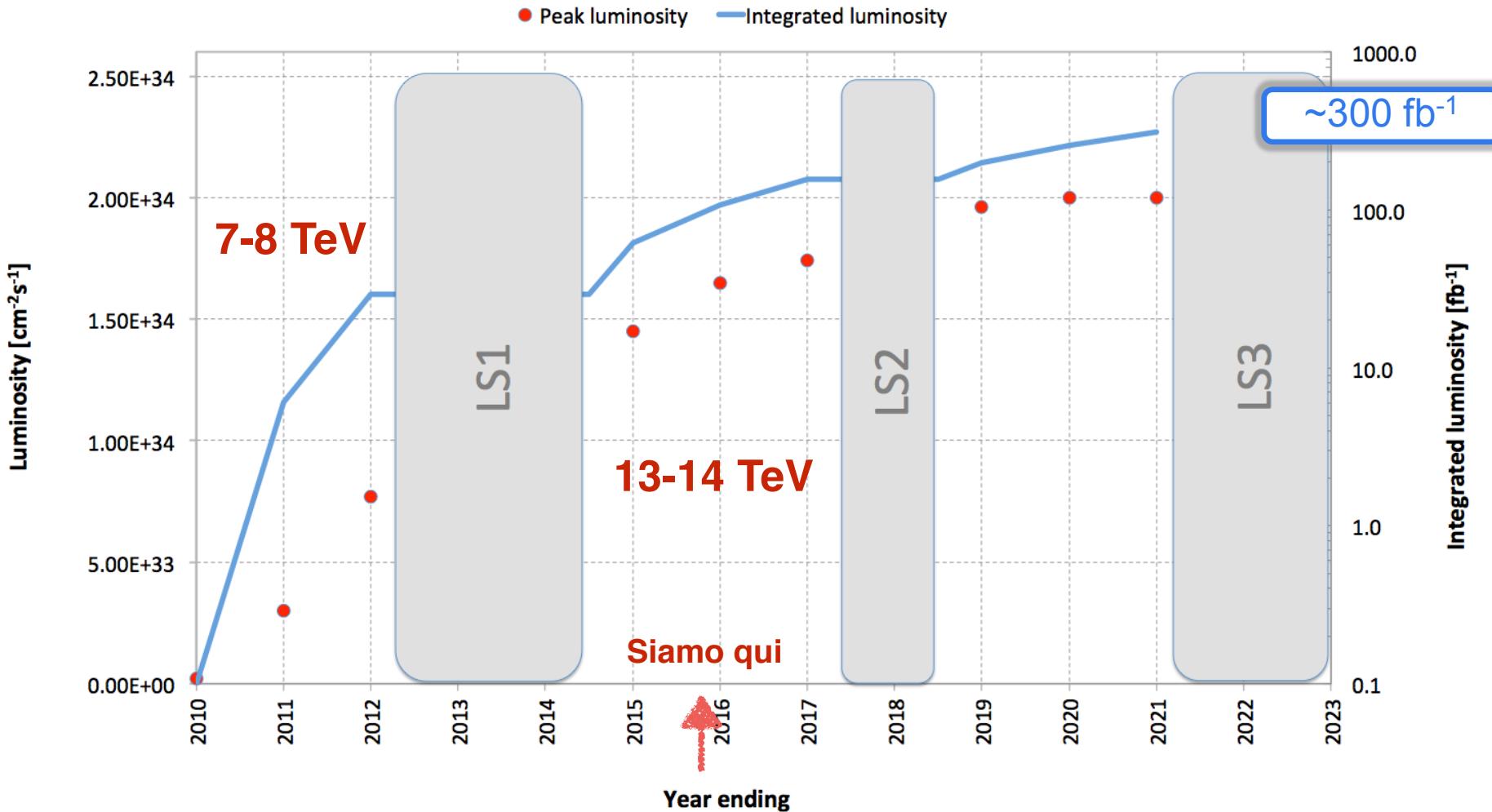


2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS
François Englert
Peter W. Higgs



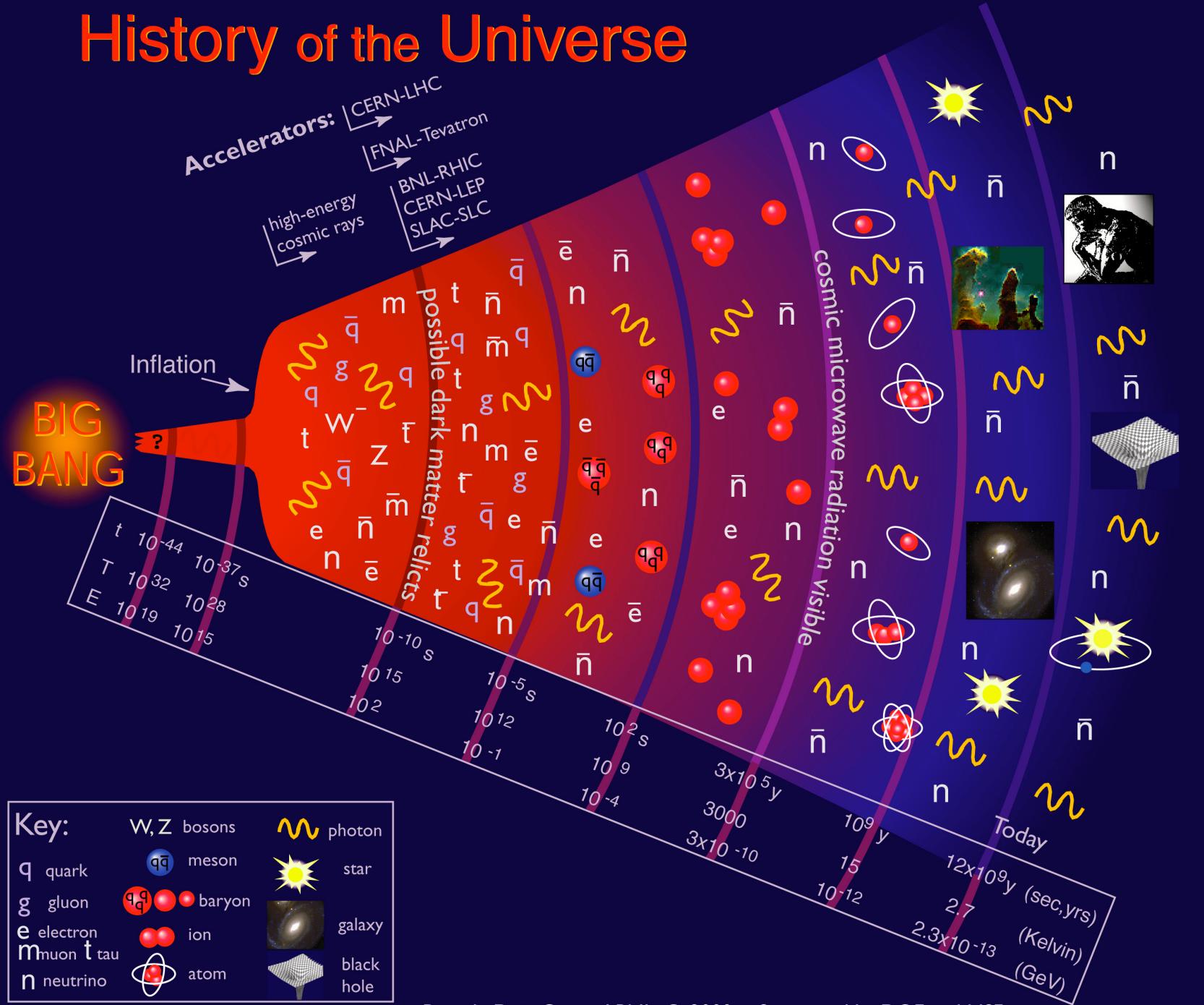
E adesso?

Il futuro di LHC



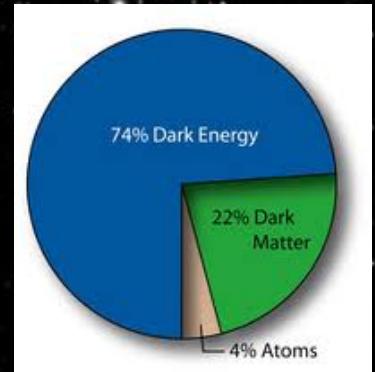
LHC è ripartito nel 2015 e grazie al salto in energia possiamo scoprire nuove particelle!

History of the Universe



FAQ... ancora senza risposta!

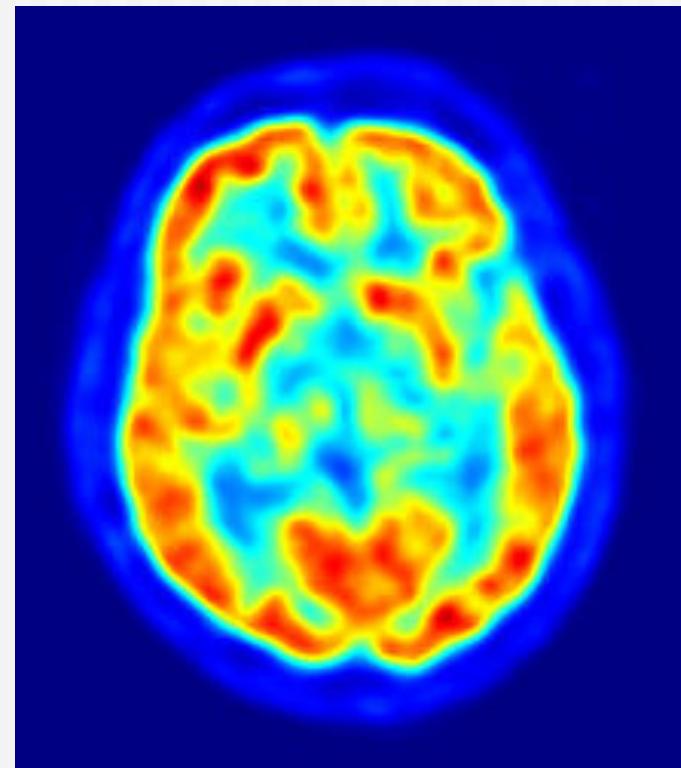
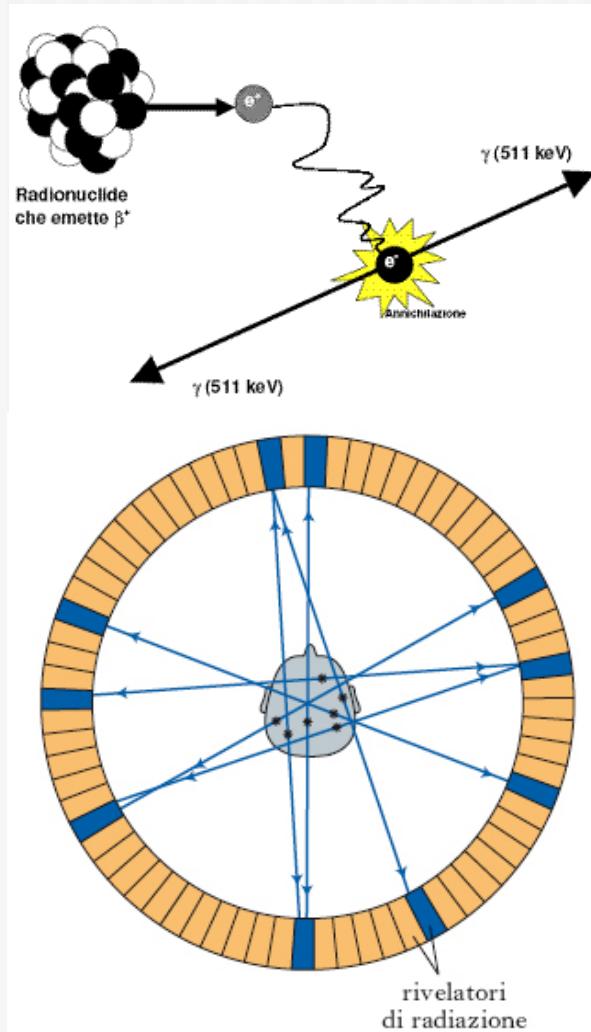
- Se materia e antimateria sono tanto simili, come mai l'universo che conosciamo è fatto solo di materia?
- Perché la forza gravitazionale è tanto più debole delle altre?
- Perchè le tre famiglie hanno masse così diverse?
- Che cos'e' la materia oscura? Una particella sconosciuta?



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

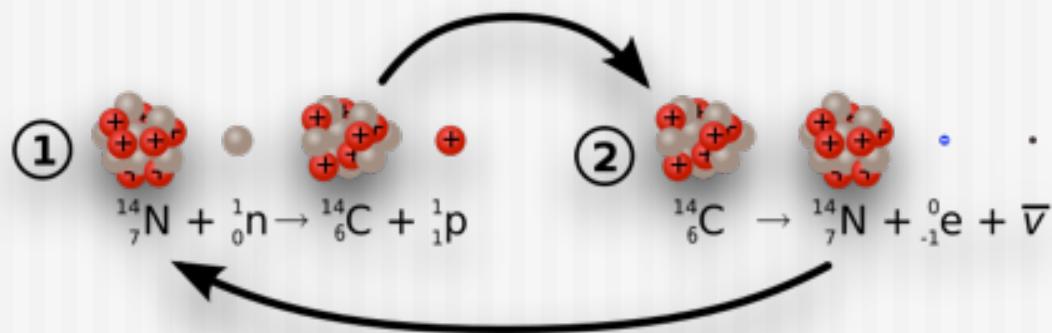
Tomografia a emissione di positroni

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



Datazione con il radiocarbonio

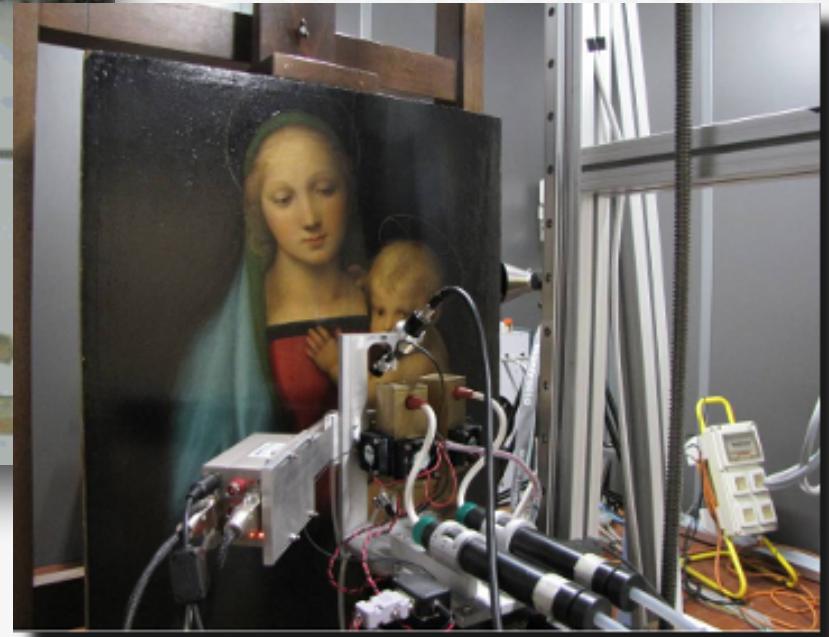
- Il ^{14}C è un isotopo radioattivo che decade con un tempo di dimezzamento di circa 5000 anni
- Mol ^{14}C = 10^{-12} Mol ^{12}C e la frazione è costante perché rigenerata continuamente dai “raggi cosmici”



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

Beni culturali e ambiente

- Nel LABEC*, a Firenze, si studia come applicare i metodi delle 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

The World Wide Web project - Conkeror

World Wide Web

The WorldWideWeb (W3) is a wide-area [hypermedia](#) information retrieval initiative aiming to give universal access to a large universe of documents.

Everything there is online about W3 is linked directly or indirectly to this document, including an [executive summary](#) of the project, [Mailing lists](#), [Policy](#), November's [W3 news](#), [Frequently Asked Questions](#).

What's out there?
Pointers to the world's online information, [subjects](#), [W3 servers](#), etc.

Help
on the browser you are using

Software Products
A list of W3 project components and their current state. (e.g. [Line Mode](#), [X11 Viola](#), [NeXTStep](#), [Servers](#), [Tools](#), [Mail robot](#), [Library](#))

Technical
Details of protocols, formats, program interfaces.

Bibliography
Paper documentation on W3 and references.

People
A list of some people involved in the project.

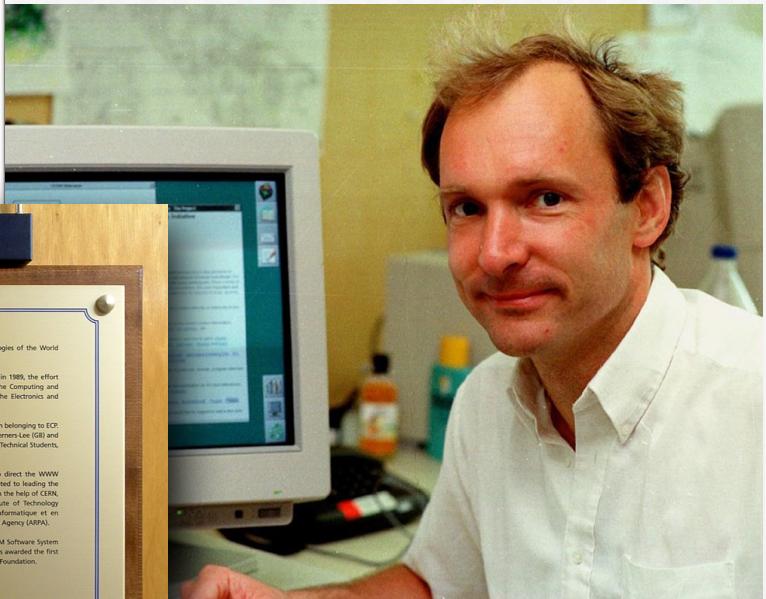
History
A summary of the history of the project.

How can I help?
If you would like to support the web..

Getting code
Getting the code by [anonymous FTP](#), etc.

<http://www.w3.org/History/19921103-hypertext/hypertext/WWW>

Done



Se volette approfondire!

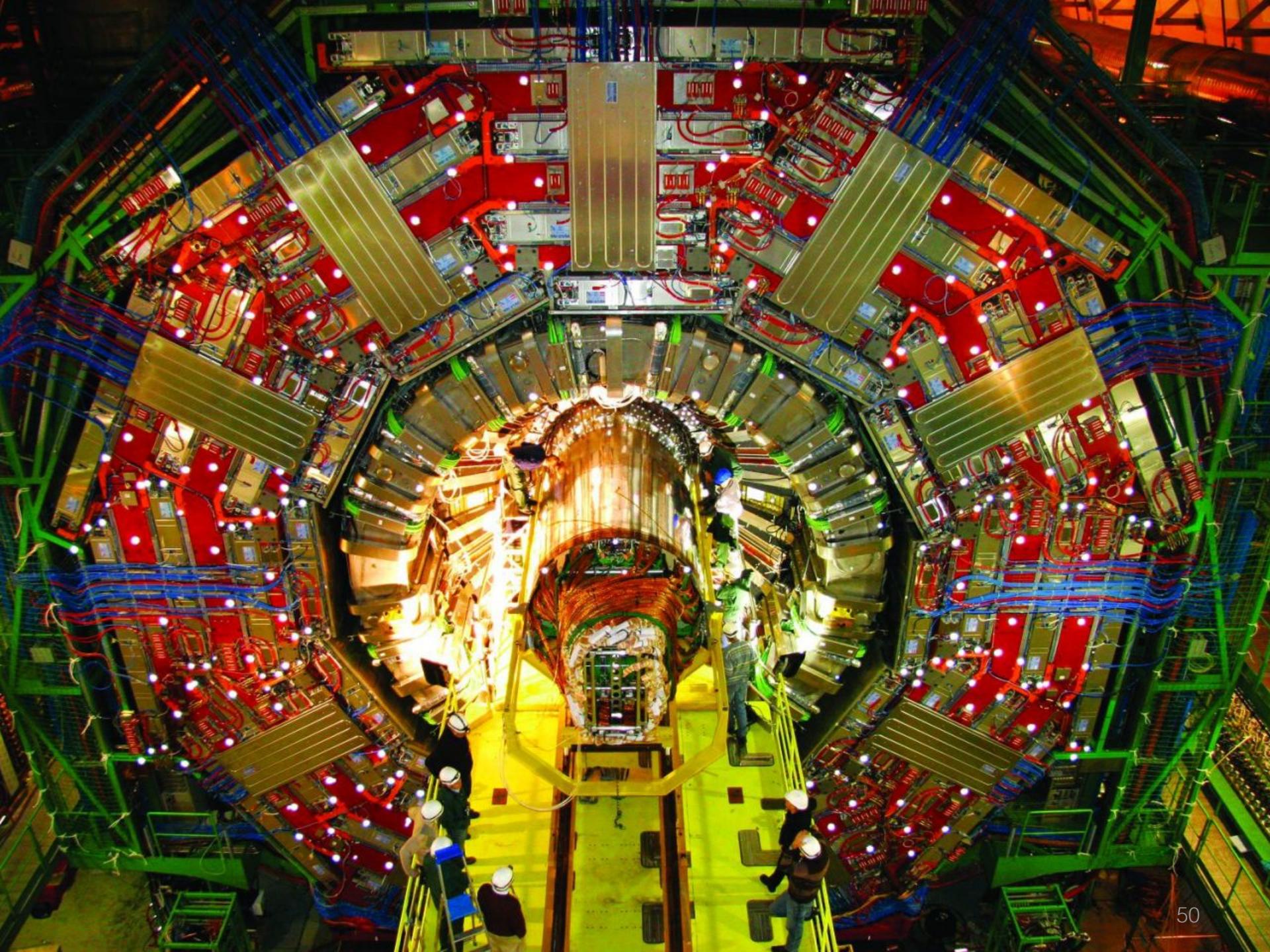


IN ONDA DAL 26 OTTOBRE 2015 DAL LUNEDÌ AL VENERDÌ ALLE 21.00
(in replica alle 13:00 del giorno seguente) SU RAI SCUOLA (canale 146 del digitale terrestre)
E SU RAIDUE IL SABATO E LA DOMENICA ALLE 06:30

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>



An aerial photograph of the ATLAS particle detector at the Large Hadron Collider. The detector is a complex, multi-layered structure with a central cylindrical core and various concentric layers of red, blue, and yellow components. Numerous workers in white hard hats are visible on the yellow safety walkways and ladders, providing a sense of scale to the massive machine.

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%

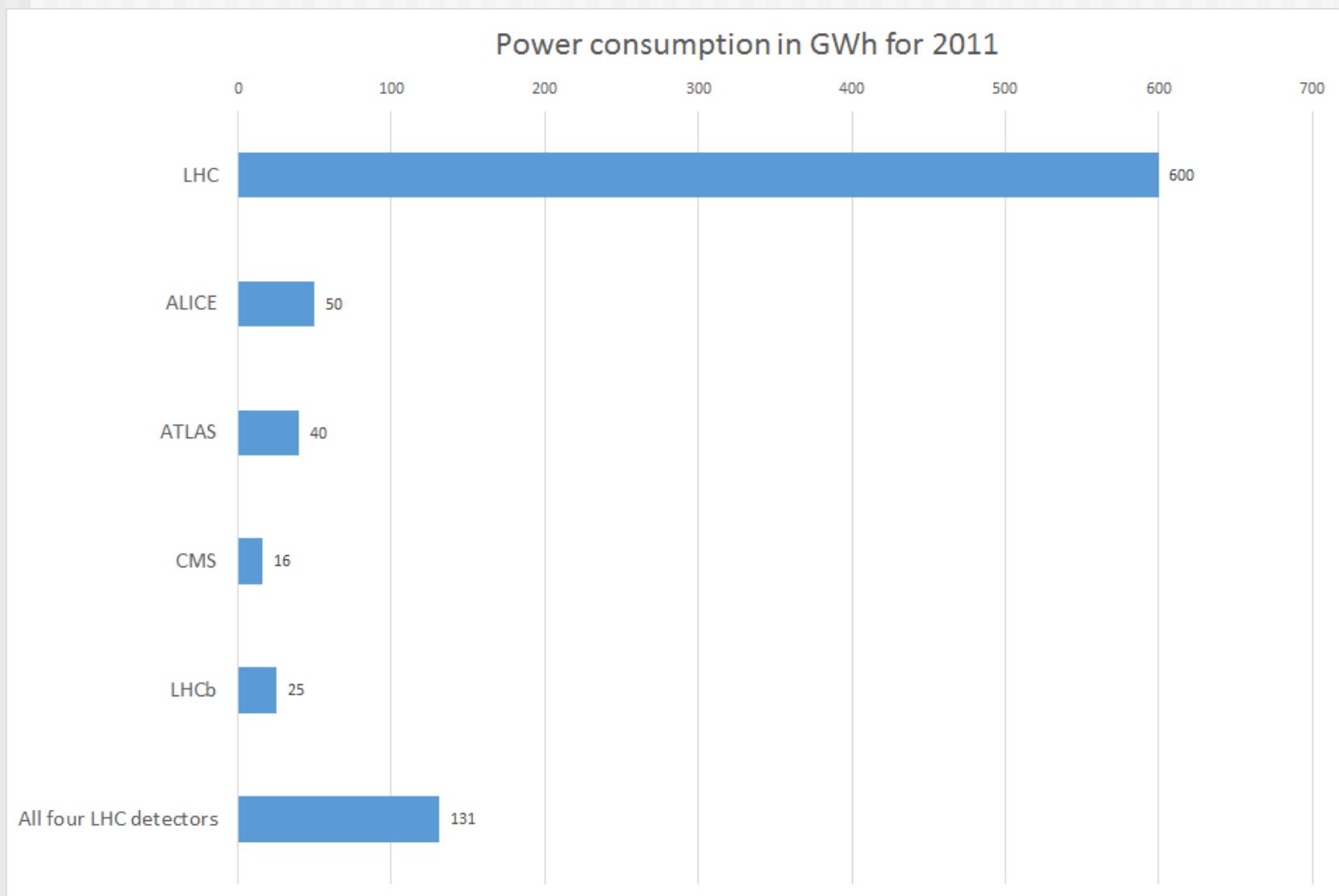
Spesa per Enti Pubblici di Ricerca: 1.8 miliardi / anno
INFN: 269 milioni / anno

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

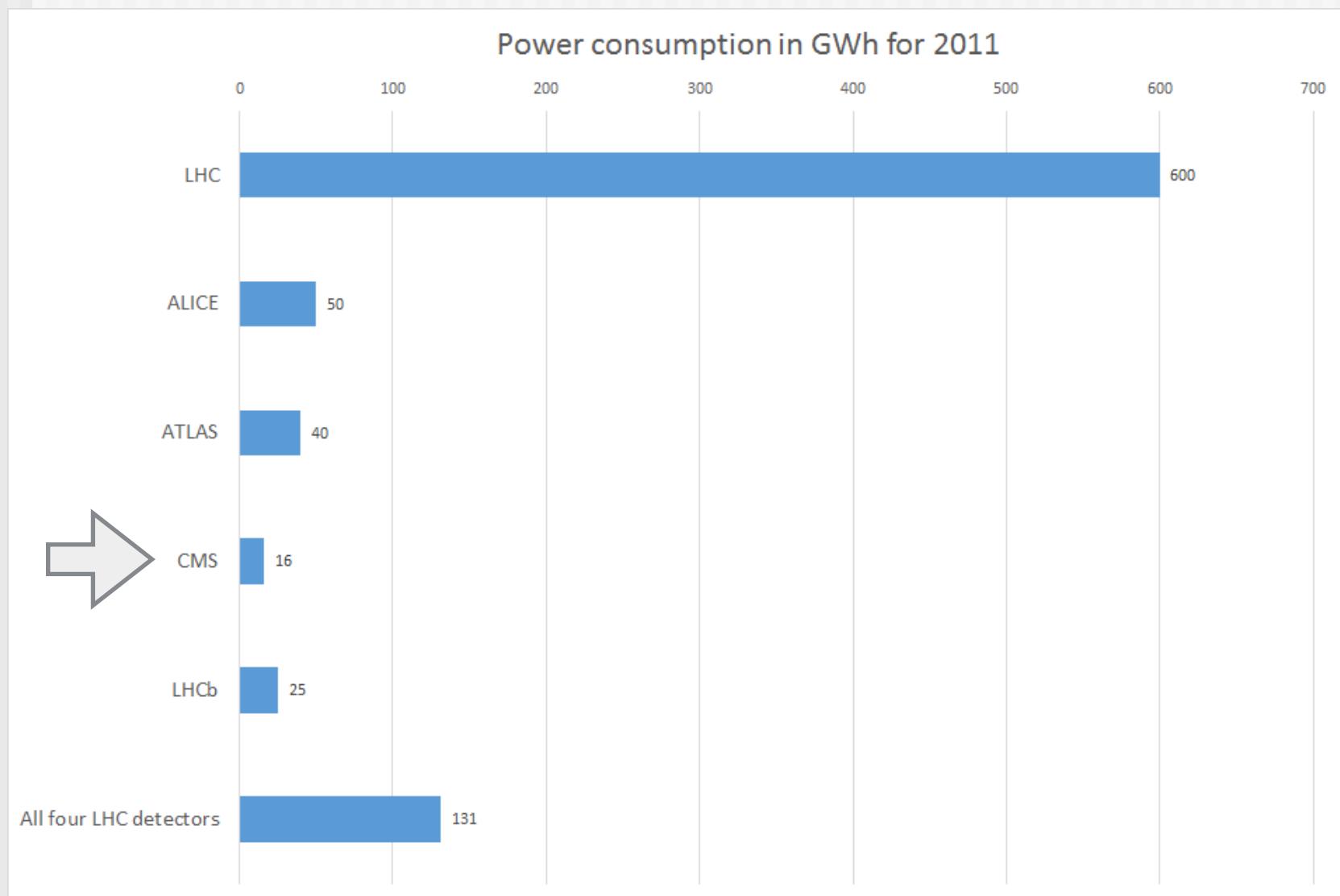
Costo di LHC: 4 miliardi
acceleratore: 2 miliardi
esperimenti: 2 miliardi

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

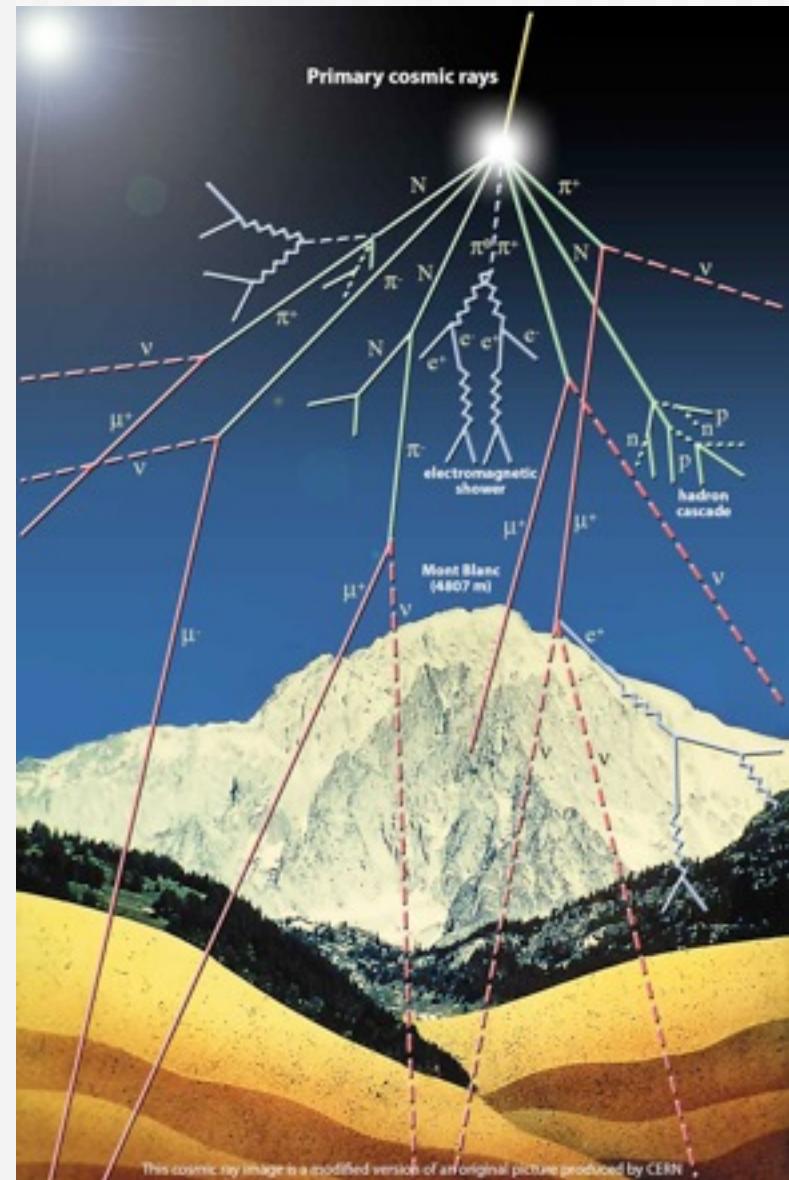


Consumo di energia di LHC



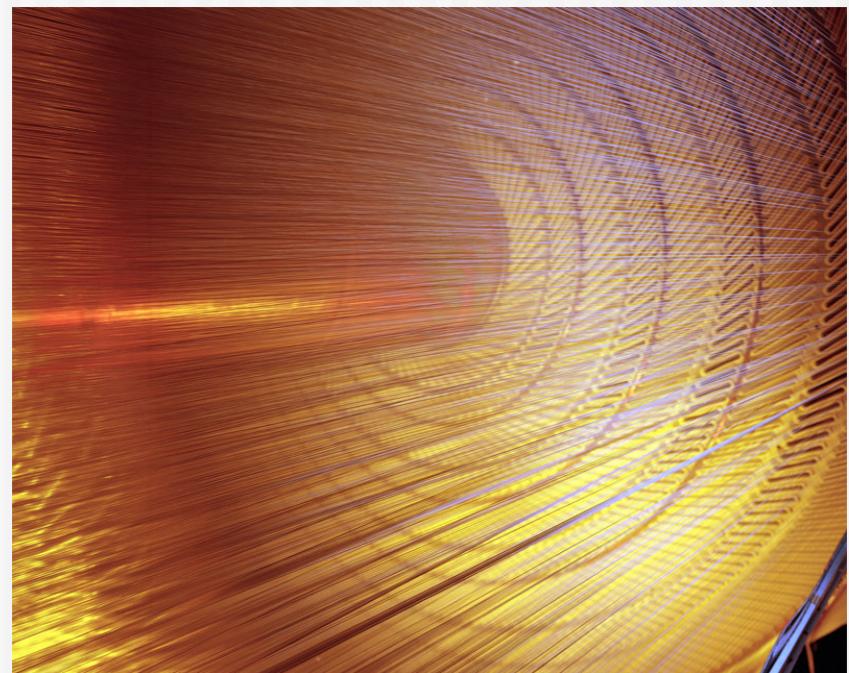
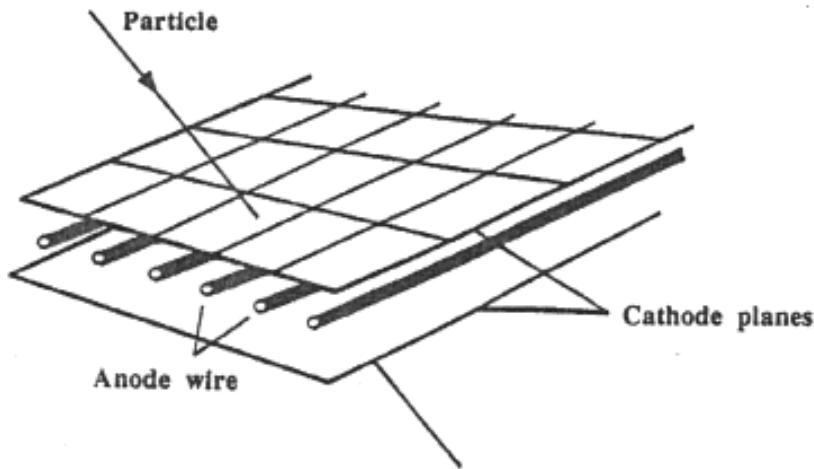
Nei raggi cosmici

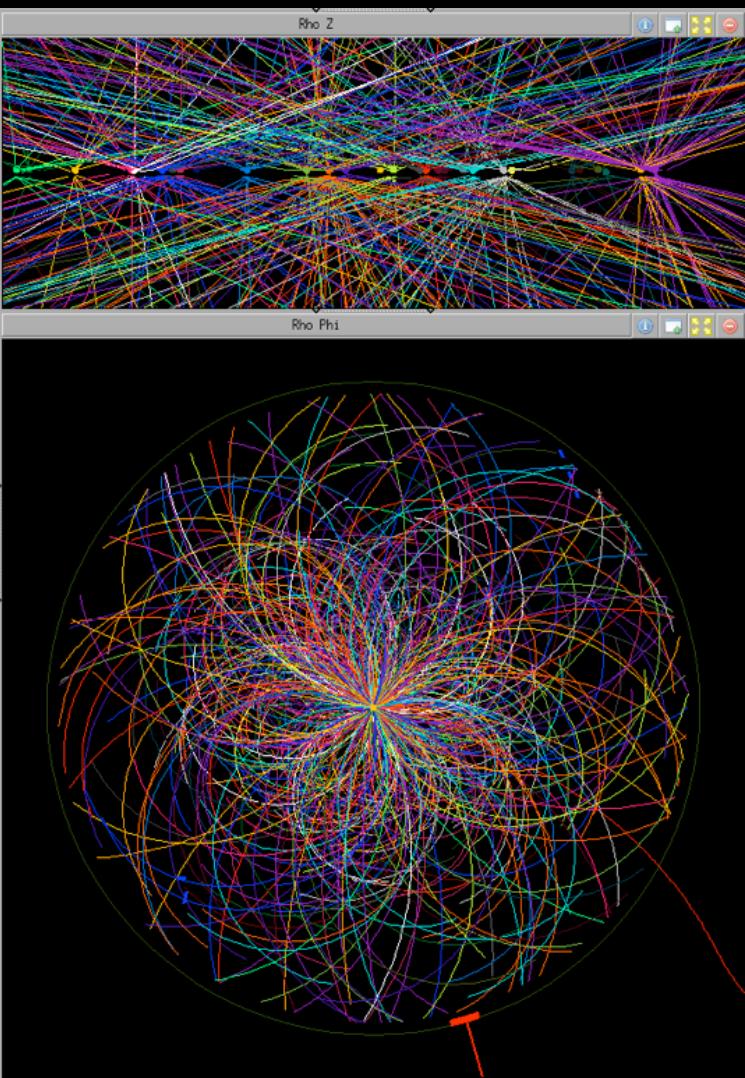
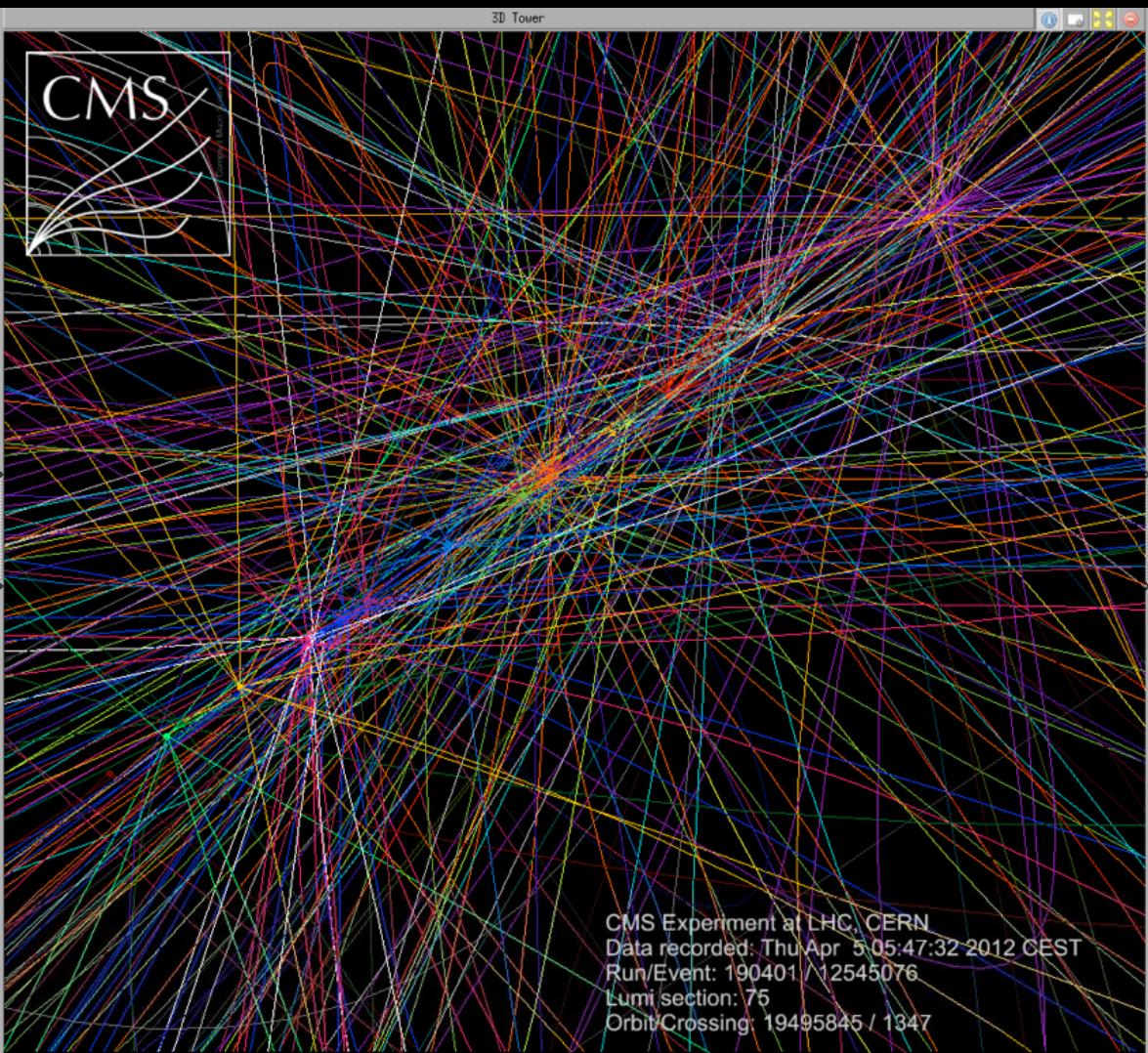
- Studiando i raggi cosmici si scoprirono le prime particelle diverse da p, n ed e^-
- Per esempio il **positrone**, uguale all'elettrone ma di carica opposta
- Ma anche il **muone** un “cugino” più pesante



Le camere a fili

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





p-value

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

Luglio 2012

Novembre 2012

