

Particelle elementari e fisica delle alte energie

Fabrizio Ferro

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

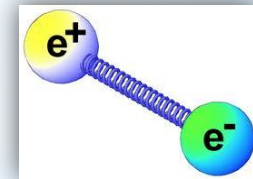


Domande fondamentali

Fin dall'antichità l'uomo si è posto alcune domande fondamentali:

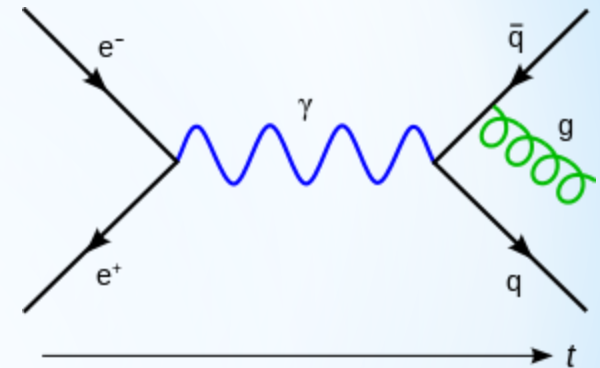
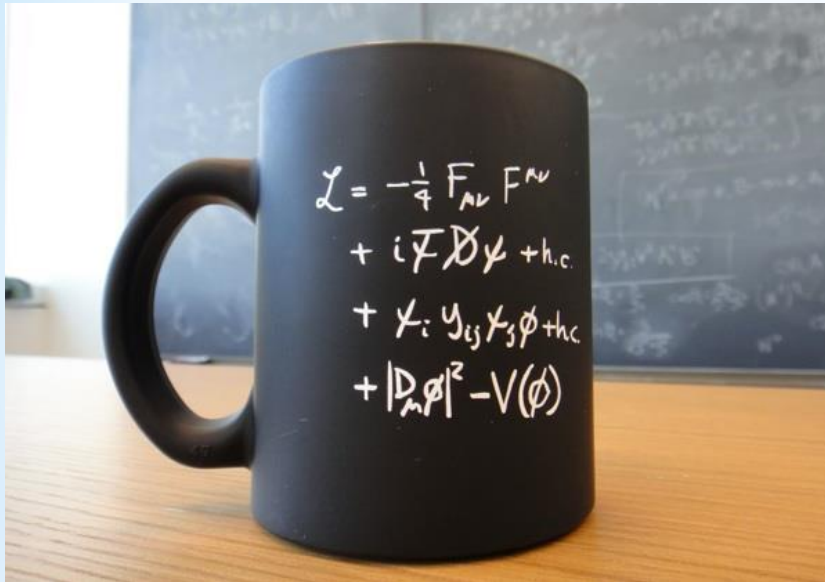


- Quali sono i costituenti fondamentali della materia distribuita nell'universo?
- Quali sono le forze fondamentali che agiscono tra i costituenti elementari, li legano insieme a vari livelli fino a costruire la materia così come ci appare?
- Come ha avuto origine l'universo e come si è evoluto fino allo stato attuale?



La matematica

La matematica è il linguaggio con cui rappresentiamo la natura



Un po' come uno spartito rappresenta la musica

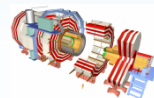


Fisica delle particelle

- **Cos'è?**
 - è la scienza che ambisce a descrivere e spiegare gli elementi costitutivi della materia e le loro interazioni
- **Perché?**
 - usando un approccio *riduzionista*, conoscendo le singole parti si può spiegare il funzionamento di un sistema complesso
- **Ok... ma... PERCHÉ?**
 - per capire **di cosa siamo fatti** noi e tutto ciò che ci circonda
 - per risalire indietro nel tempo (quasi) sino all'istante in cui tutto ha avuto inizio
 - per porre le basi dello sviluppo tecnologico
- **Come?**
 - con un virtuoso gioco di scambio tra



TEORIA - ESPERIMENTI - TECNOLOGIA



La teoria oggi

- **Modello Standard delle particelle elementari**

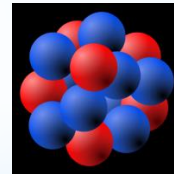
- Elettromagnetismo



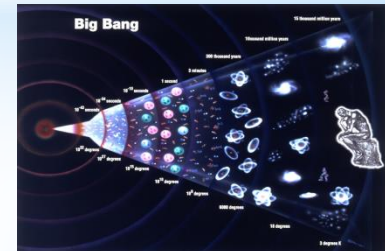
- Forza nucleare debole



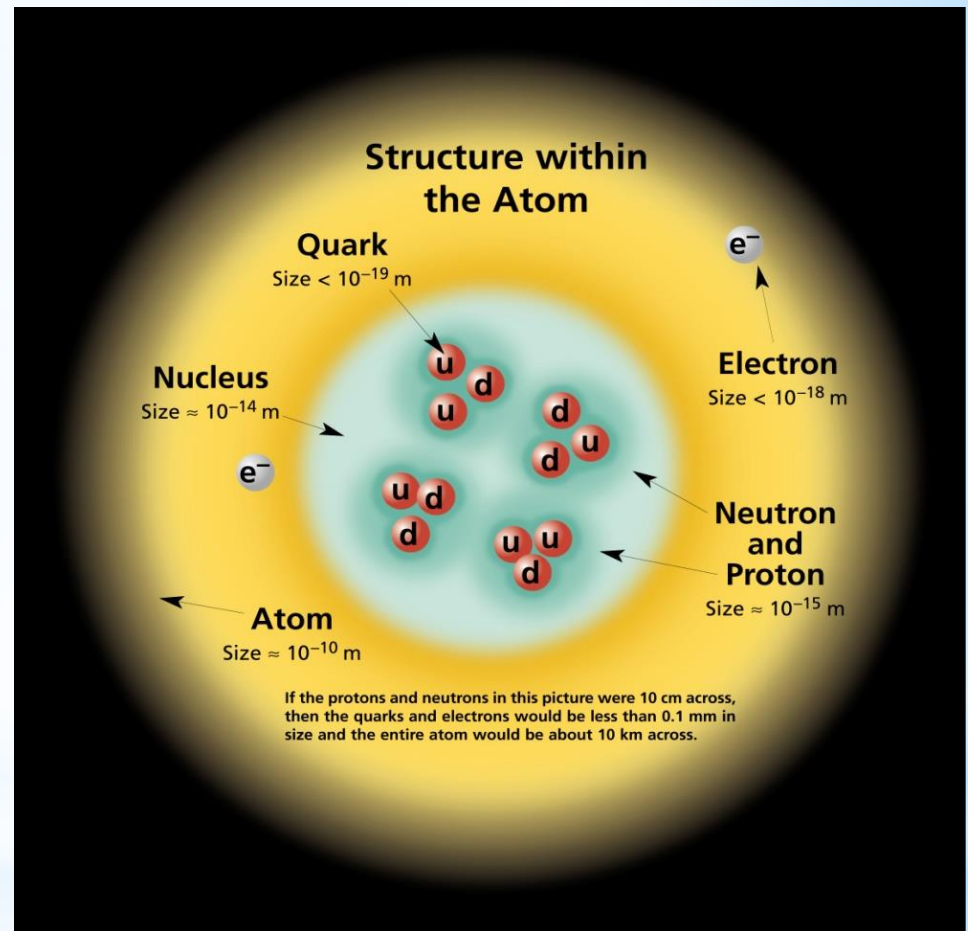
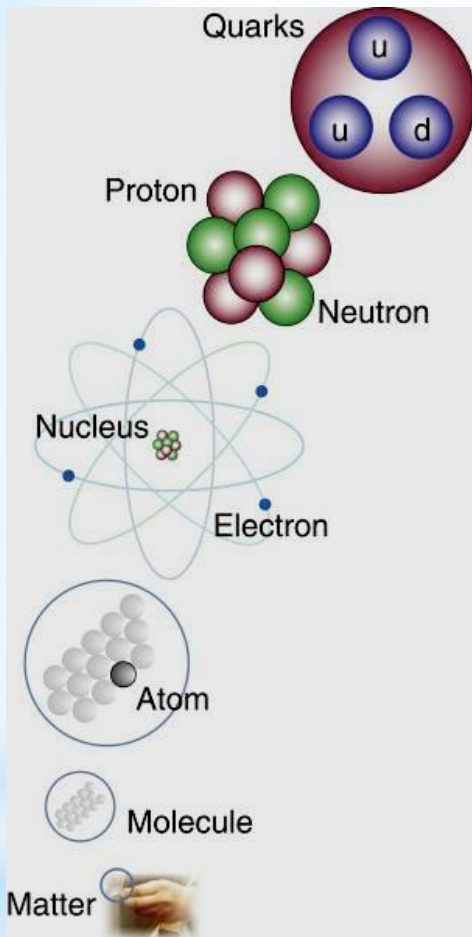
- Forza nucleare forte



- **Modello cosmologico del Big Bang**







Di cos'è fatta la materia?



Noi siamo fatti di elettroni, quark up e quark down (contenuti in protoni e neutroni)

Particelle stabili e instabili

- Le sole particelle **stabili** (note) sono:
 - Elettroni 
 - Protoni 
 - Neutroni (nel nucleo) 
 - Neutrini 
- Esistono molte particelle **instabili** che decadono spontaneamente, si trasformano cioè in tempi più o meno brevi in particelle stabili
- Le particelle instabili vengono prodotte negli urti tra particelle

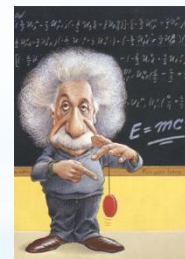
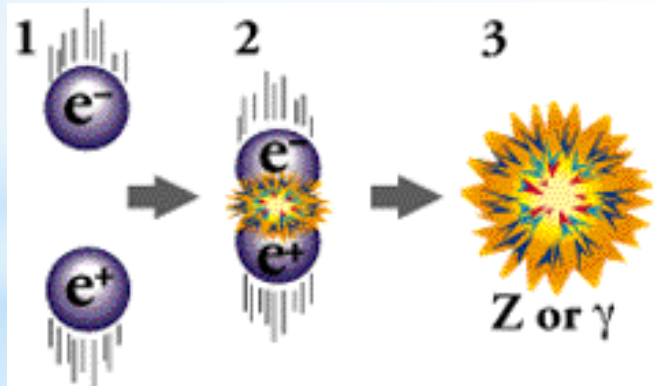
L'anti-materia

In esperimenti di laboratorio si è scoperto che esistono anche le particelle elementari dell'antimateria:

antiquark e antileptoni

Antiquark e antileptoni hanno la **stessa massa** dei corrispondenti quark e leptoni ma hanno **carica elettrica di segno opposto**.

Quando particella e antiparticella interagiscono **si annichilano**: le loro masse scompaiono e vengono trasformate in radiazione



$$E = mc^2$$

Ma allora

Il Big Bang

Durante il big bang, cioè il momento iniziale del nostro universo, si è creata tanta materia quanta anti-materia, quindi abbiamo un ovvio problema:

Dove è finita l'anti-materia?

NON LO SAPPIAMO!

Pero' sappiamo che:

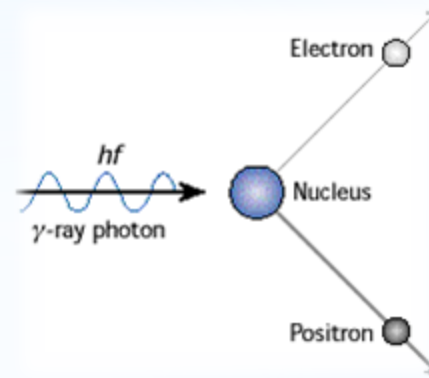
materia ed anti-materia non sono esattamente uguali: se lo fossero sarebbero scomparse entrambe nello stesso modo ed adesso ci sarebbe solo energia (questo effetto si chiama “CP violation”, è una violazione di simmetria)

Siamo qui grazie ad una “imperfezione” della Natura

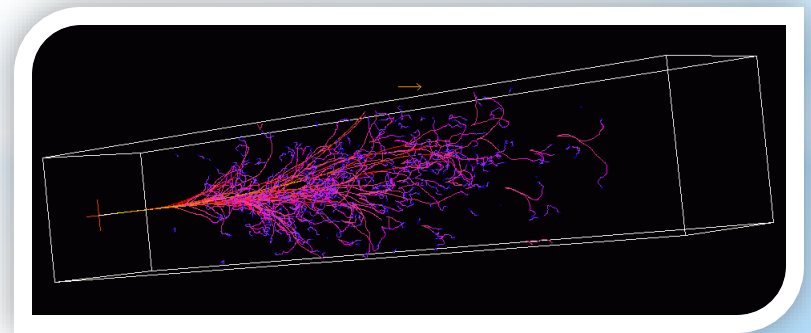
Creazione di materia

Produzione di coppie particella - anti-particella

$$\gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

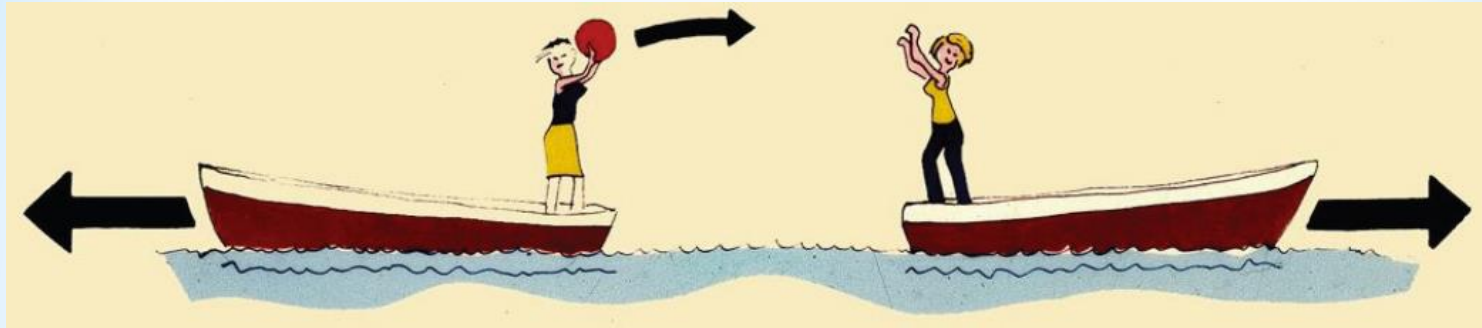


Succede in continuazione sopra le nostre teste
I raggi cosmici producono nell'atmosfera sciami elettromagnetici



Le interazioni

Le interazioni tra particelle sono mediate da altre particelle



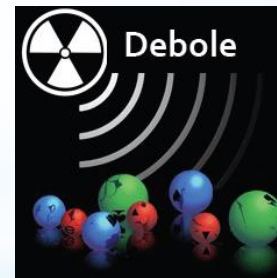
Le 4 forze fondamentali



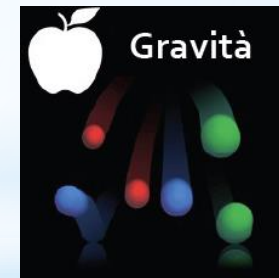
gluone



fotone



W e Z



gravitone (?)

Mediatore



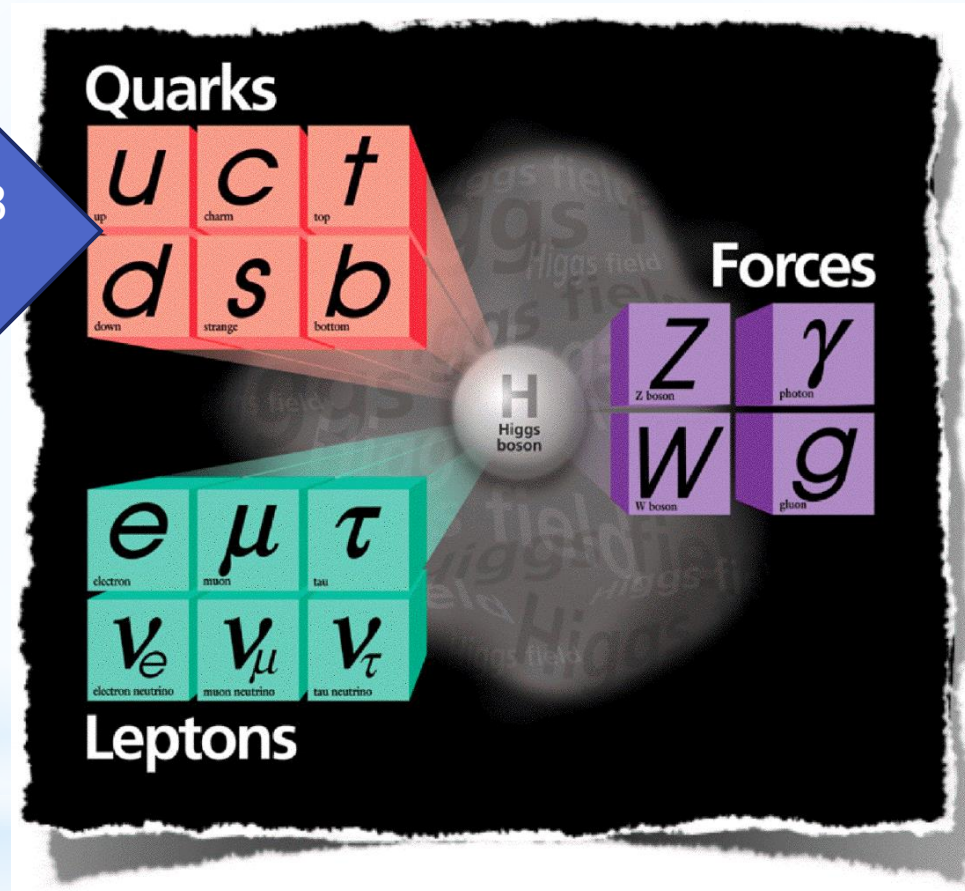
Le particelle del Modello Standard

La bellezza delle simmetrie

3 famiglie di quarks e 3 famiglie di leptoni

Con solo 2 famiglie non ci sarebbe violazione di CP: non saremmo qui.

C'è una quarta famiglia?



I quark e i leptoni sono le particelle elementari della materia che è distribuita nell'Universo

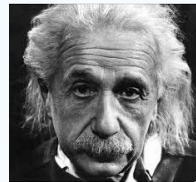
La massa: cos'è?

La massa è prima di tutto un concetto e in quanto tale si è evoluto nella Storia



Quantità di materia

$$F = ma$$

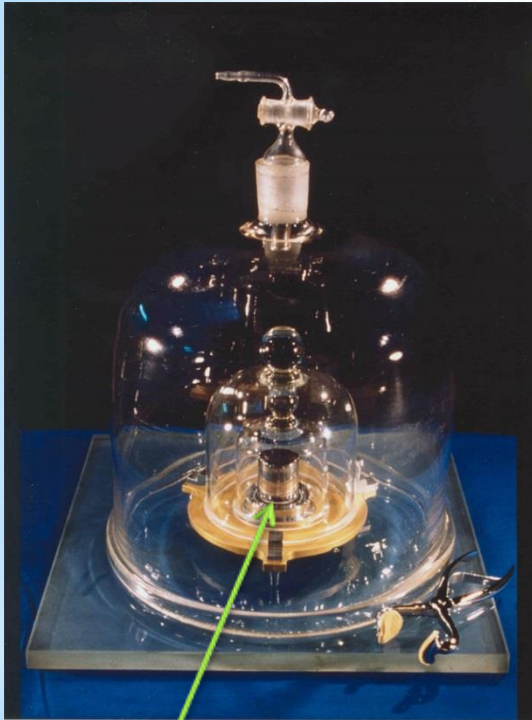


Massa = Energia

$$E = mc^2$$



Massa = Energia di una particella a riposo
(ferma)



kg campione
di Sèvres

Il bosone di Higgs



Il vuoto è permeato da un campo, detto campo di Higgs con cui le particelle massive interagiscono. Le particelle che **interagiscono poco** saranno **leggere**, quelle che **interagiscono molto** saranno **pesanti**.



Immaginiamo che il mare sia il campo di Higgs: un aliscafo si muove leggero perché interagisce poco con l'acqua, mentre una chiatta si muove pesantemente perché interagisce molto.



Il bosone di Higgs

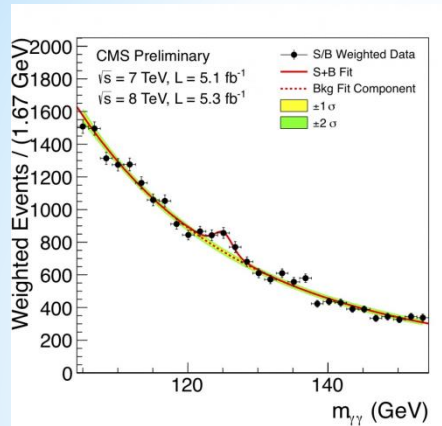
Il bosone di Higgs è **un'eccitazione del campo** di Higgs ed **esso stesso interagisce col campo**, quindi acquisisce massa!

Il ben più familiare fotone è anche lui un bosone ed è un'eccitazione del campo elettromagnetico (luce, radio, telefonini...)



*Se il mare è il campo,
l'onda è il bosone del mare.*

Il bosone di Higgs



La scoperta:

il 4 luglio 2012 gli esperimenti **ATLAS** e **CMS** annunciano al **CERN** la scoperta di una particella compatibile con il bosone di Higgs

Il nobel:

l'8 ottobre 2013 Higgs ed Englert vengono insigniti del premio Nobel per la Fisica



Quindi, il Modello Standard...

Una teoria eccellente che, ad oggi, descrive e prevede in modo eccezionalmente preciso i processi fondamentali della natura.

Ha alcuni aspetti insoddisfacenti:



Alcune **difficoltà interne** (fine-tuning, grande gerarchia delle masse).

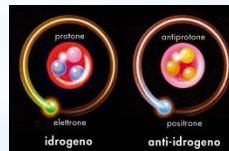
Non descrive la forza di **gravità**.



Non risponde alla domanda: cos'è **la materia oscura** dell'Universo?
Non risponde alla domanda: cos'è **l'energia oscura** dell'Universo?

95%

Dove e' finita tutta l'anti-materia ?



Estensioni?

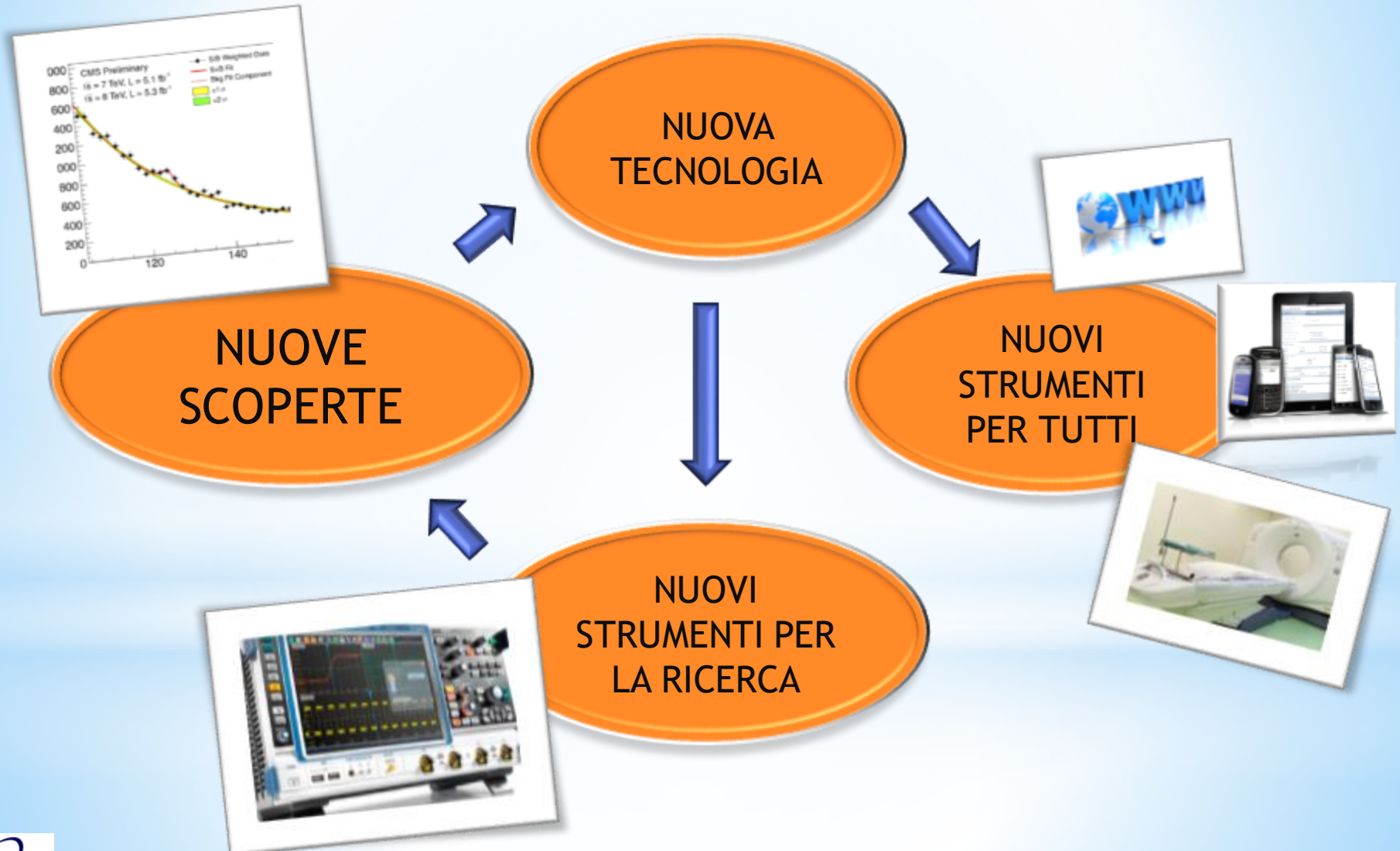
Super-simmetria, nuove dimensioni, altro?!

Fare ricerca

Il metodo scientifico



Scienza e tecnologia



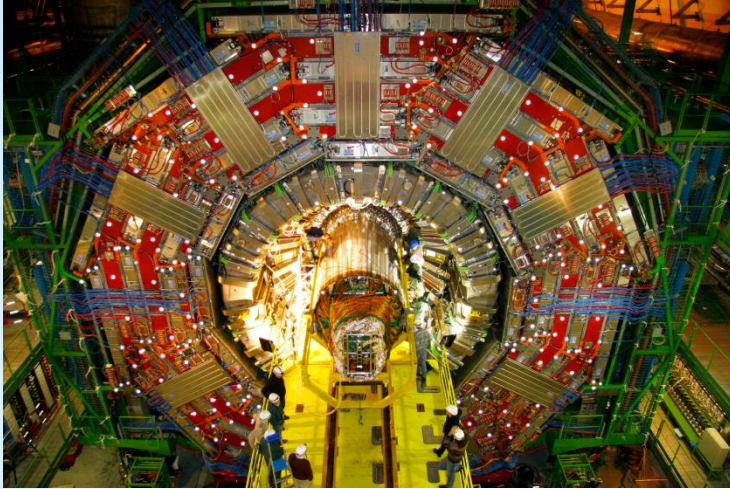
Chi fa ricerca?

- Le Università
- Gli Enti di Ricerca nazionali (INFN, INAF, ENEA, etc.) organizzati in
 - Sezioni (Genova, Torino, Milano, Roma, etc.)
 - Laboratori Nazionali (Gran Sasso, Legnaro, Frascati, etc.)
- Gli istituti di ricerca stranieri
- I centri di ricerca internazionali (CERN)
- Le aziende e i centri di ricerca privati

Per fare ricerca il primo passo è fare la tesi di laurea con un gruppo che fa il tipo di ricerca a cui siete interessati

N.B.: una ricerca valida può essere fatta solo se si hanno SOLIDE BASI
Quello che studiate oggi vi servirà domani

Strumenti per particelle



Rivelatori



L'occhio vede luce e colori:
cioè è un rivelatore di fotoni



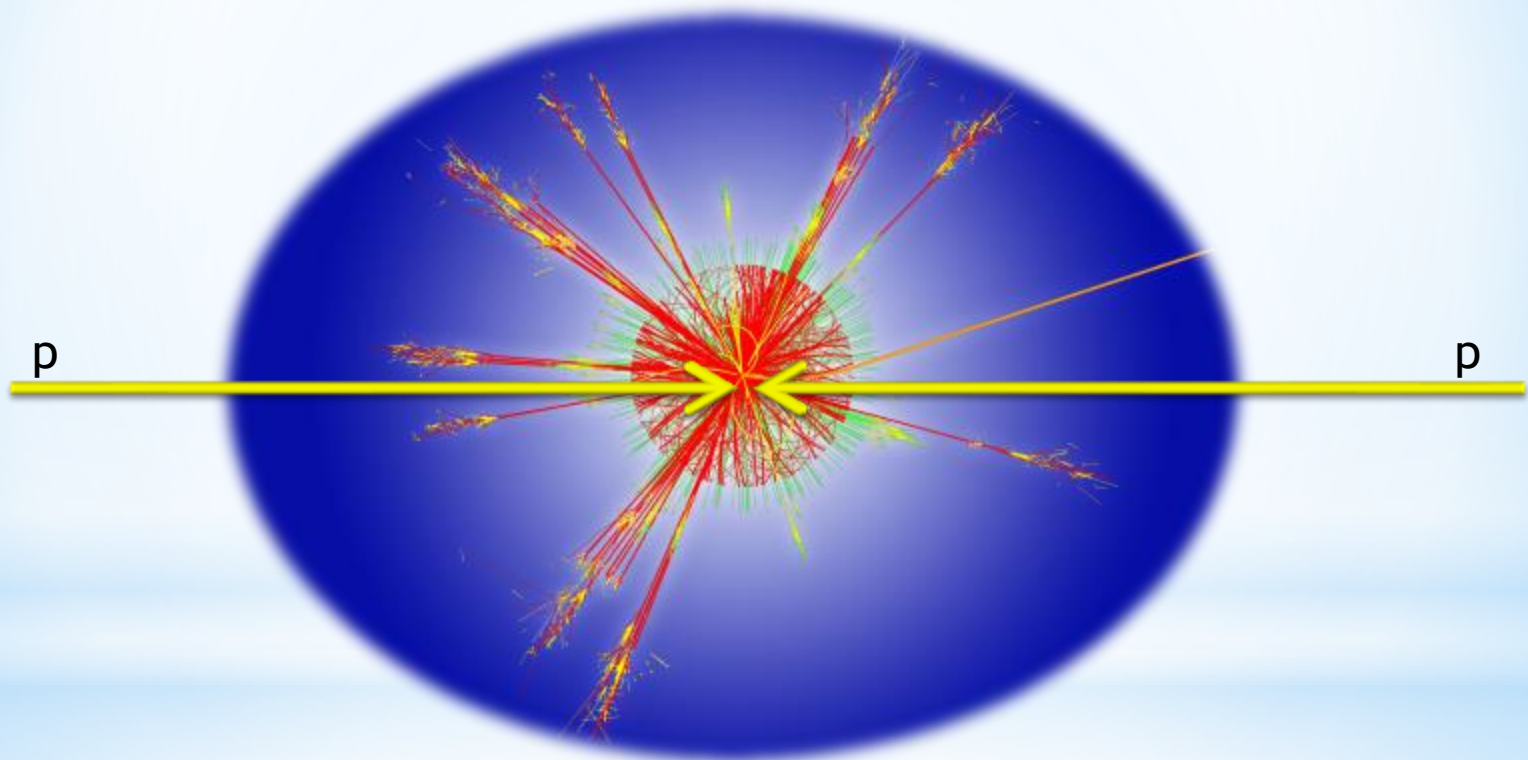
Acceleratori



Le vecchie TV erano acceleratori di
elettroni

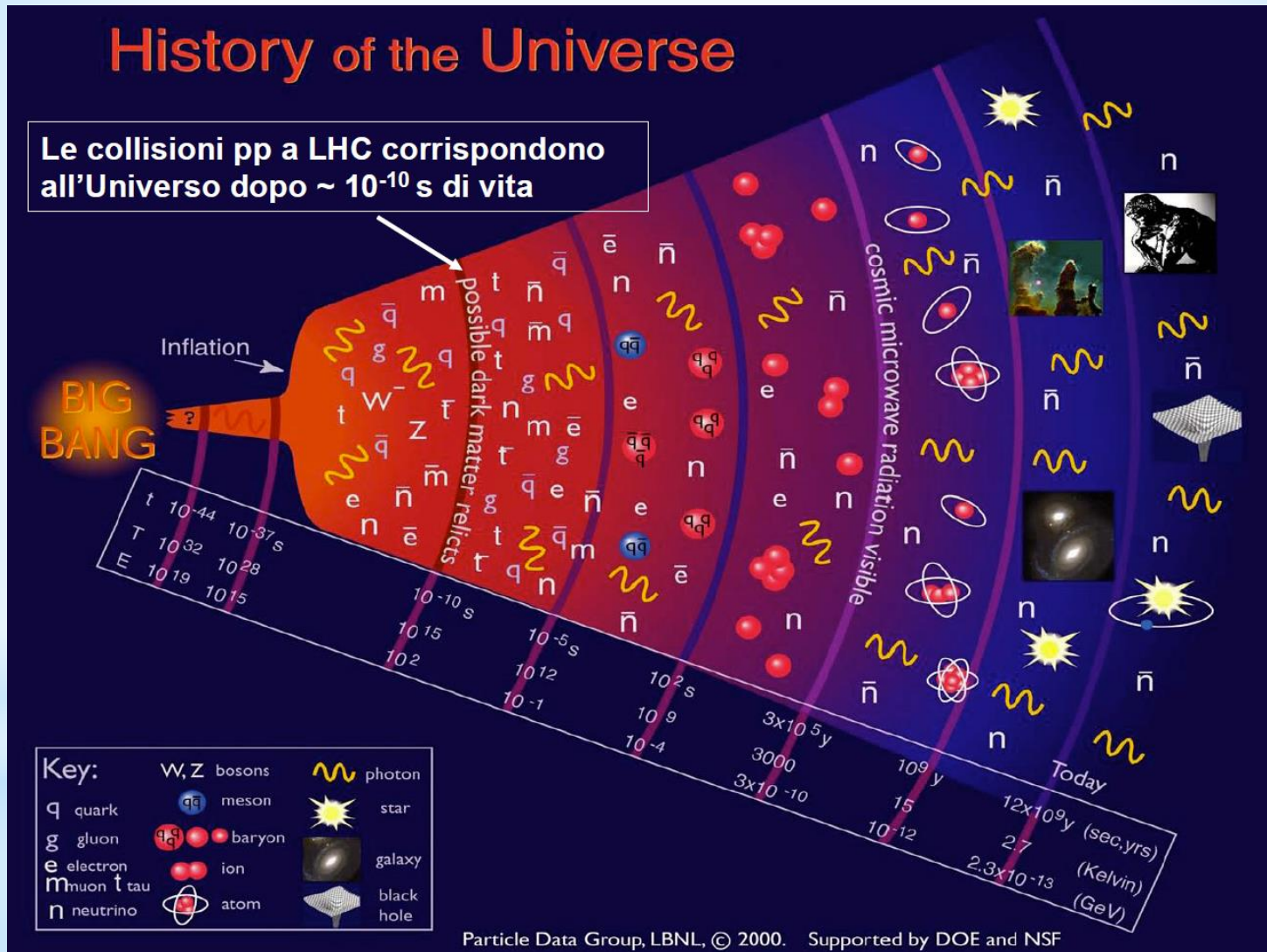
Urti per generare particelle

Facendo urtare frontalmente due particelle ad altissima energia (velocità) si producono nuove particelle che vengono *fotografate* dai rivelatori

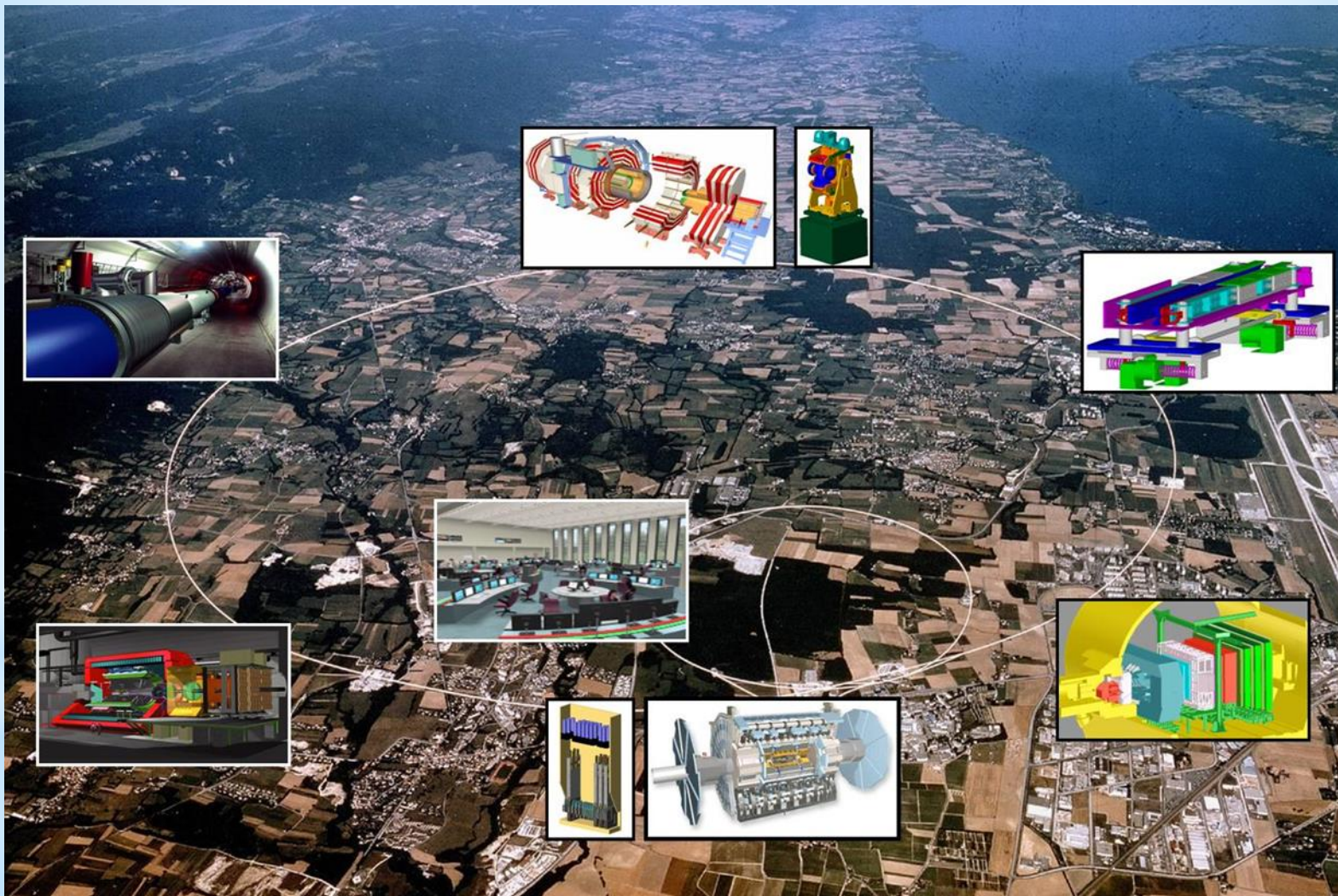


Lo studio delle particelle prodotte ci consente di capire cosa sia successo durante l'urto

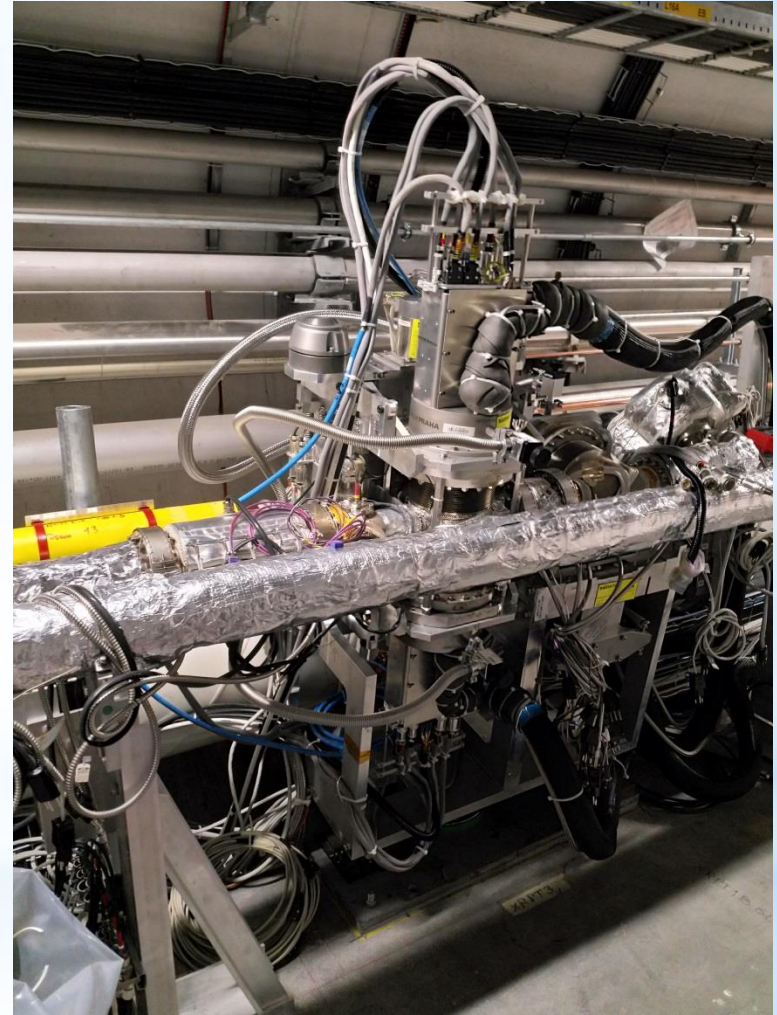
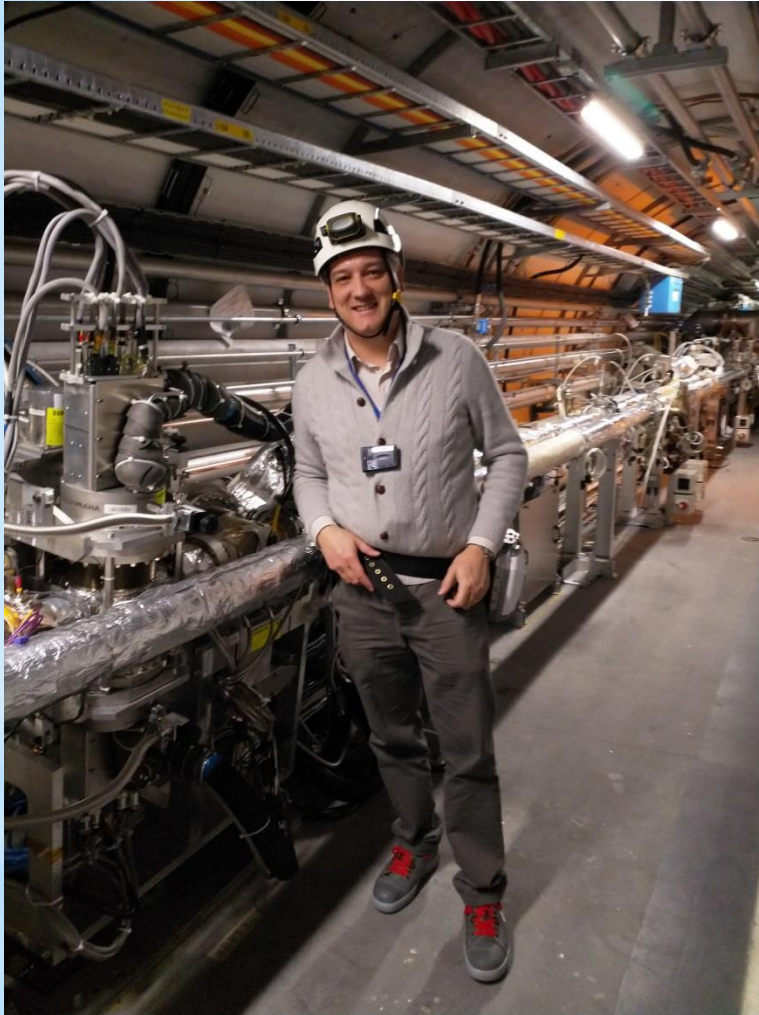
Alte energie: indietro nel tempo



IL CERN, l'LHC, gli esperimenti



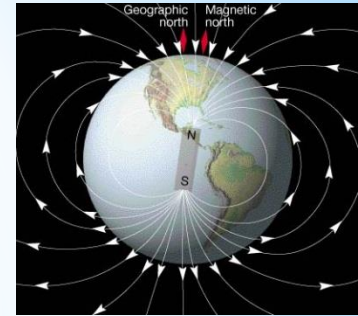
Il tunnel di LHC



I magneti di LHC



= 100000



- Per far ruotare protoni che si muovono quasi alla velocità della luce sono necessari campi magnetici molto intensi: quasi 100000 volte il campo magnetico terrestre!
- 1600 magneti superconduttori a -271.25°C (He liquido, 1.9 Kelvin)



Fili Nb-Ti

Il luogo più freddo dell'Universo

La sala di controllo di LHC



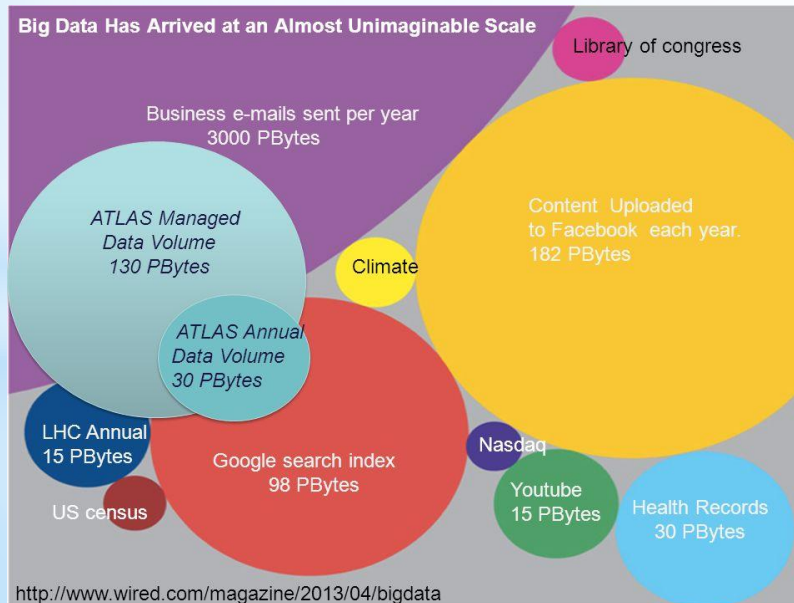
La sala di controllo di un esperimento



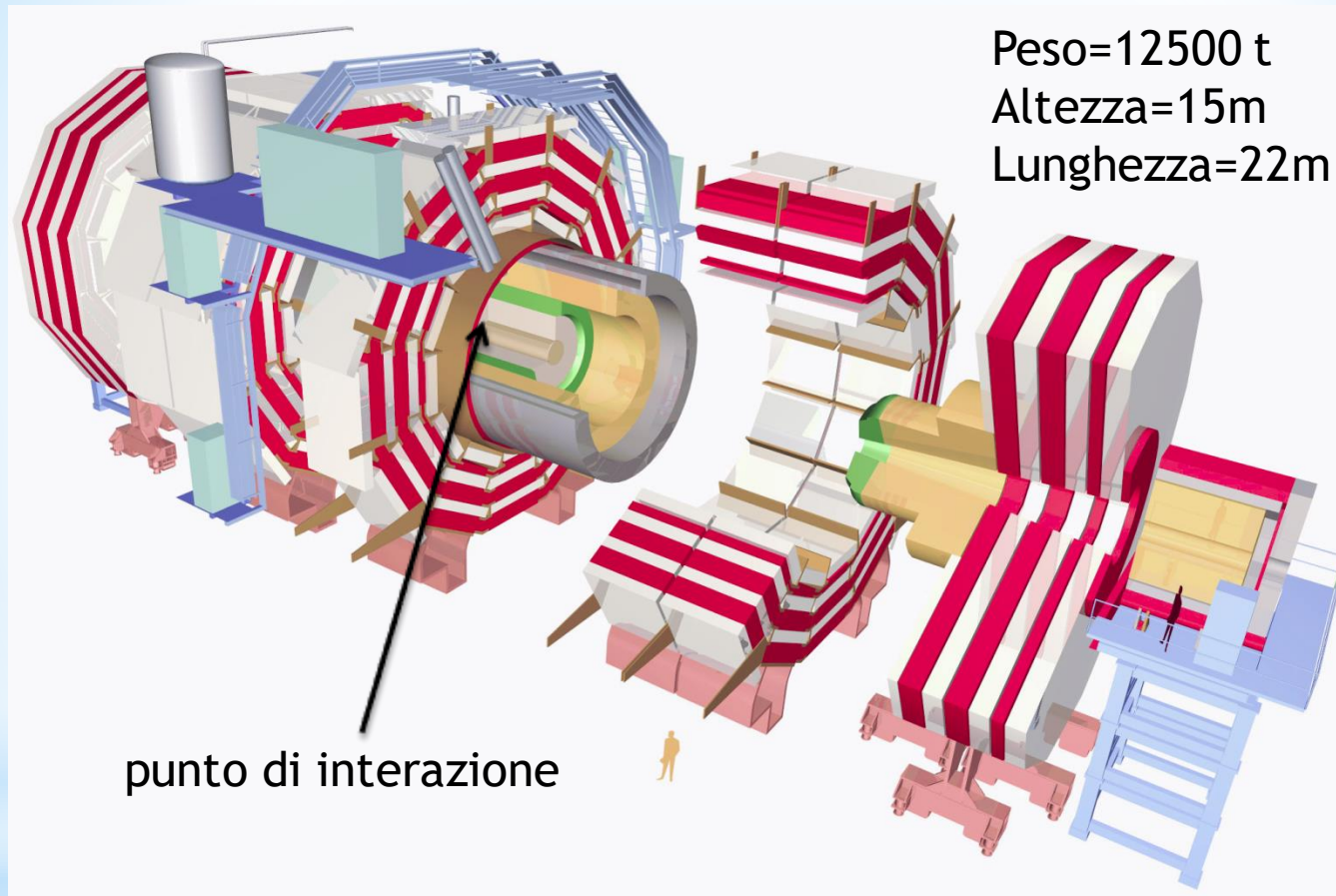
Una marea di dati da analizzare



- LHC ha prodotto finora più di **200.000 Tbytes (200 Pbytes)** di dati per esperimento (il disco fisso di un PC casalingo contiene circa $\frac{1}{2}$ Tbyte)
- I centri di calcolo sono distribuiti sull'intero pianeta (GRID)

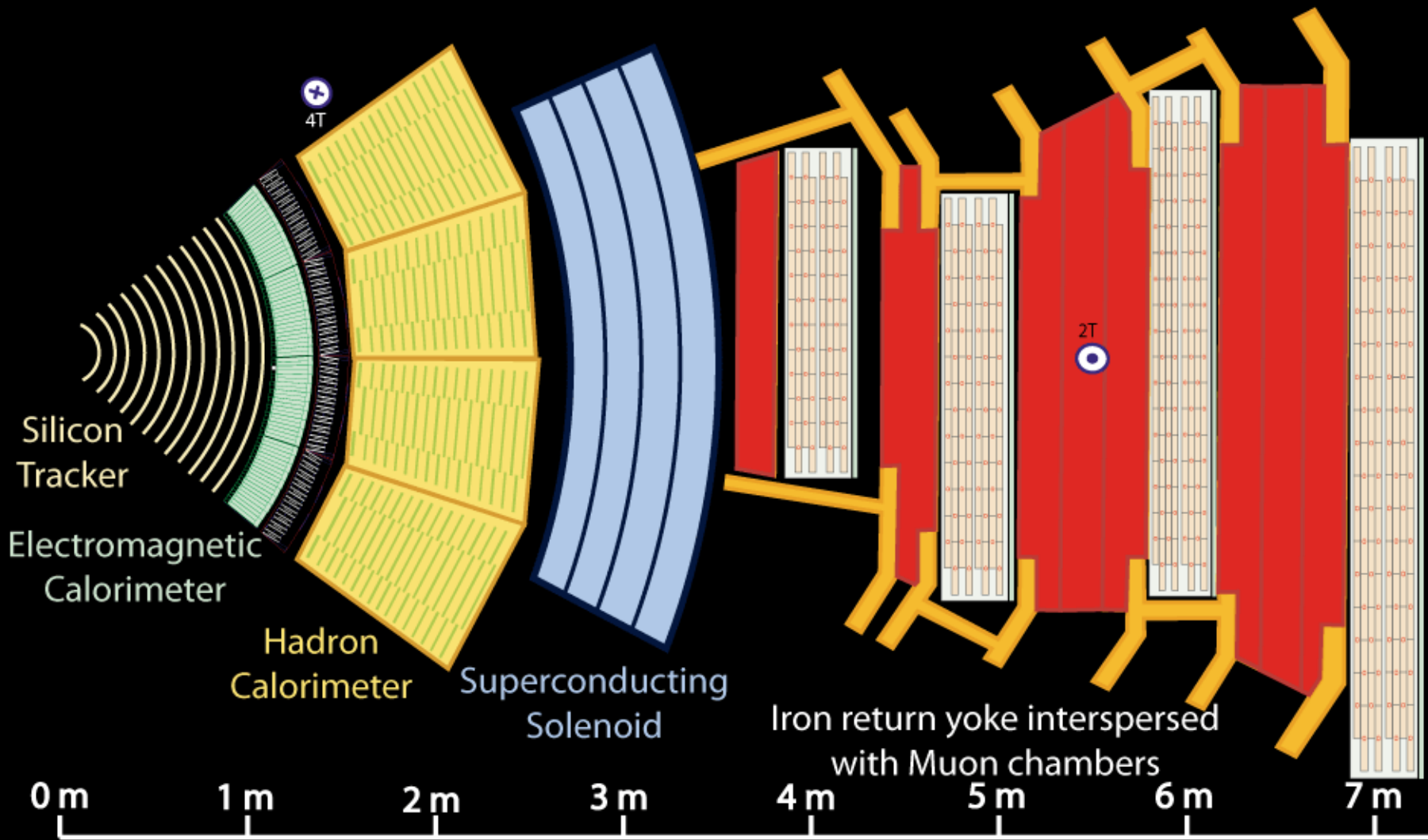


CMS: uno degli esperimenti



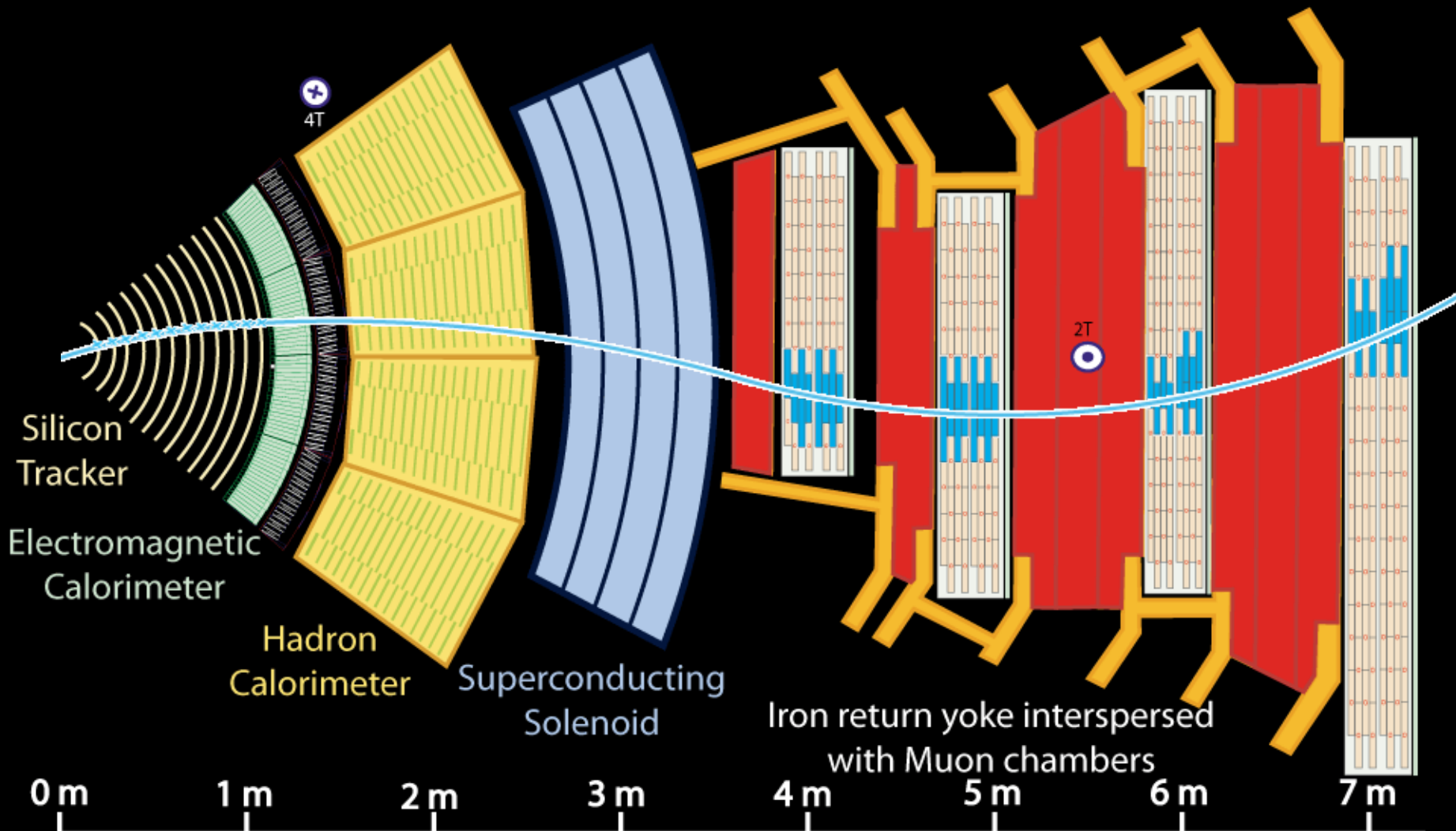
I rivelatori **circondano** la zona dell'urto e **fotografano** le particelle prodotte per capire cosa è avvenuto durante l'urto.

20-40 milioni di urti al secondo!!!



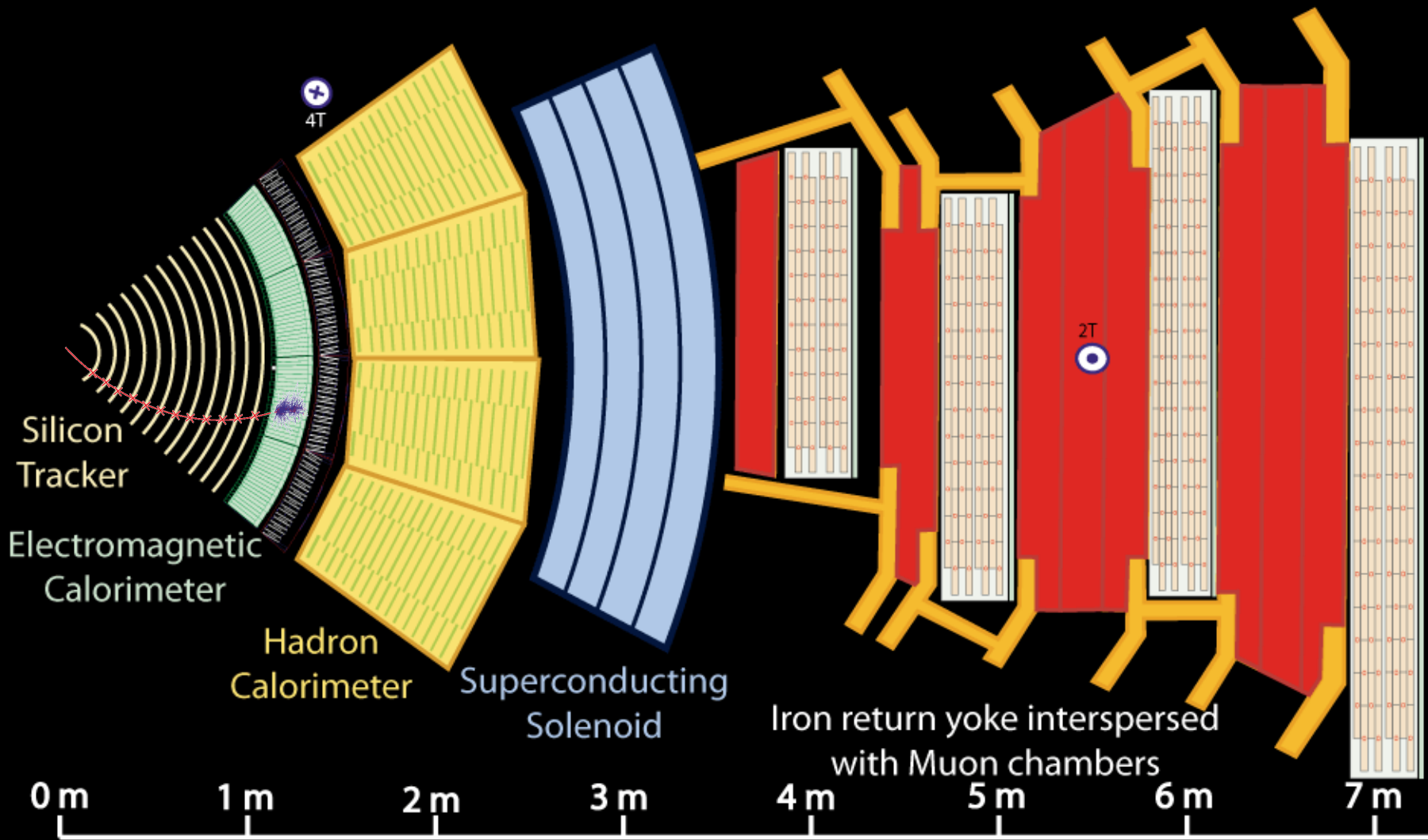
Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



Key:

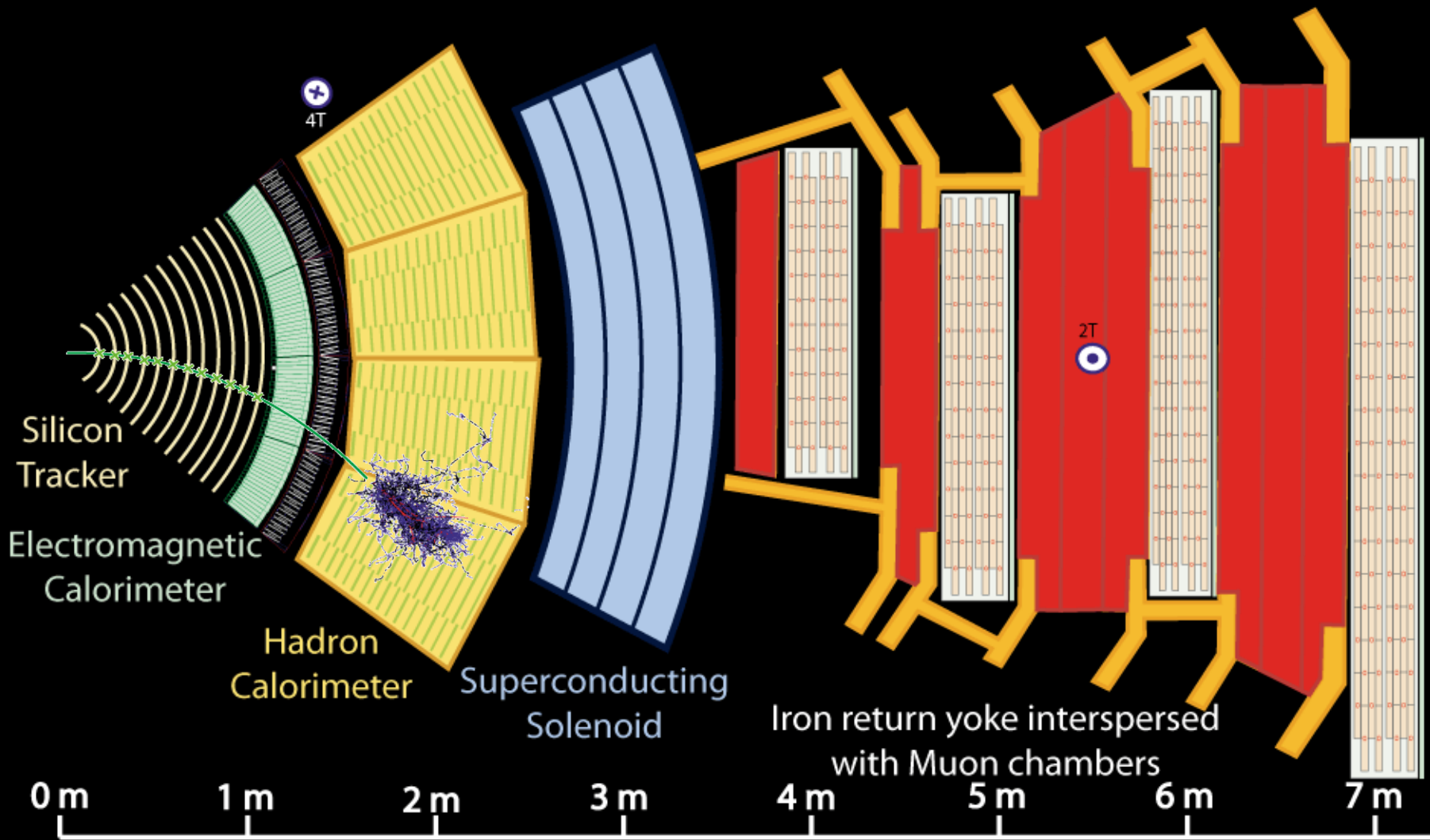
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

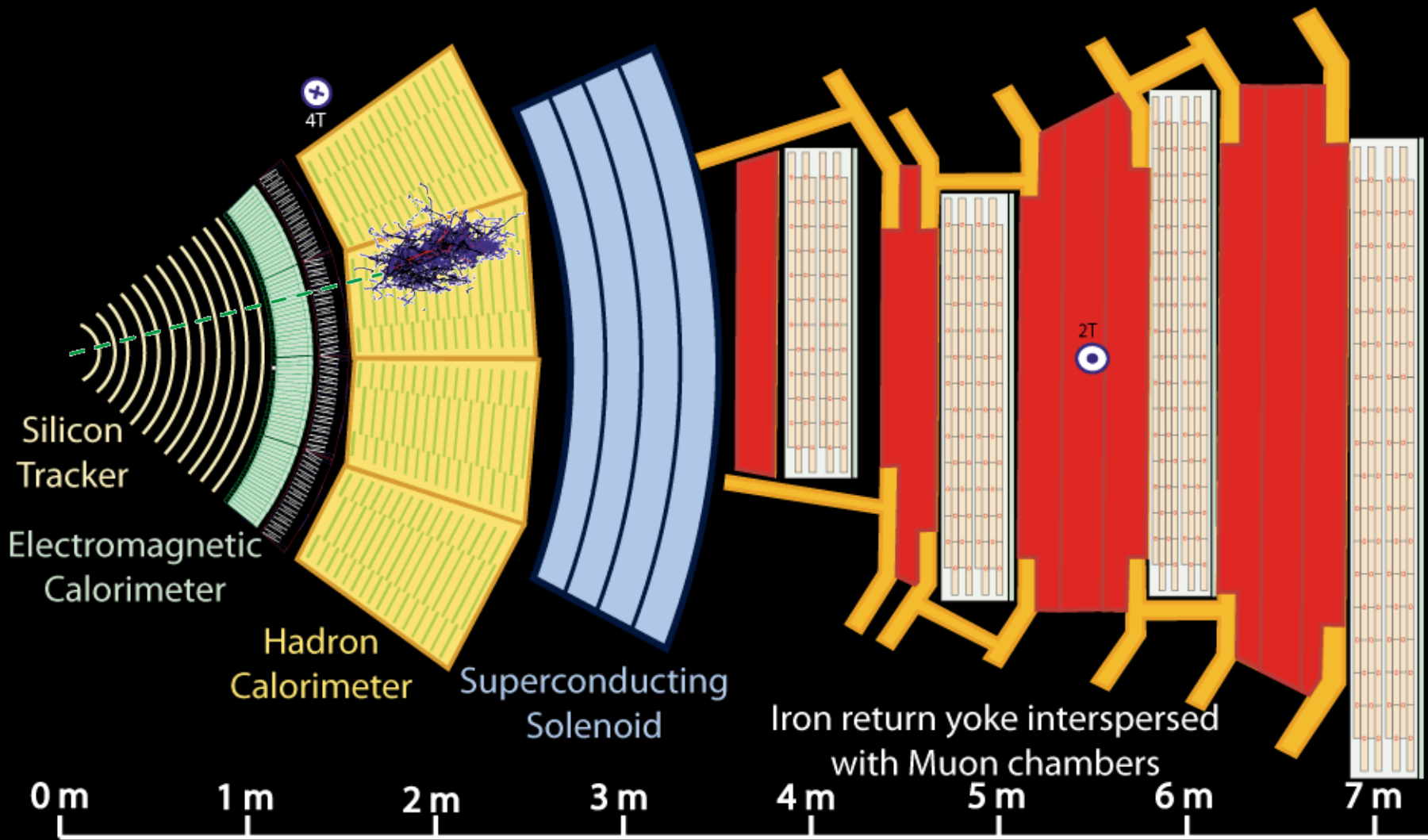
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



Key:

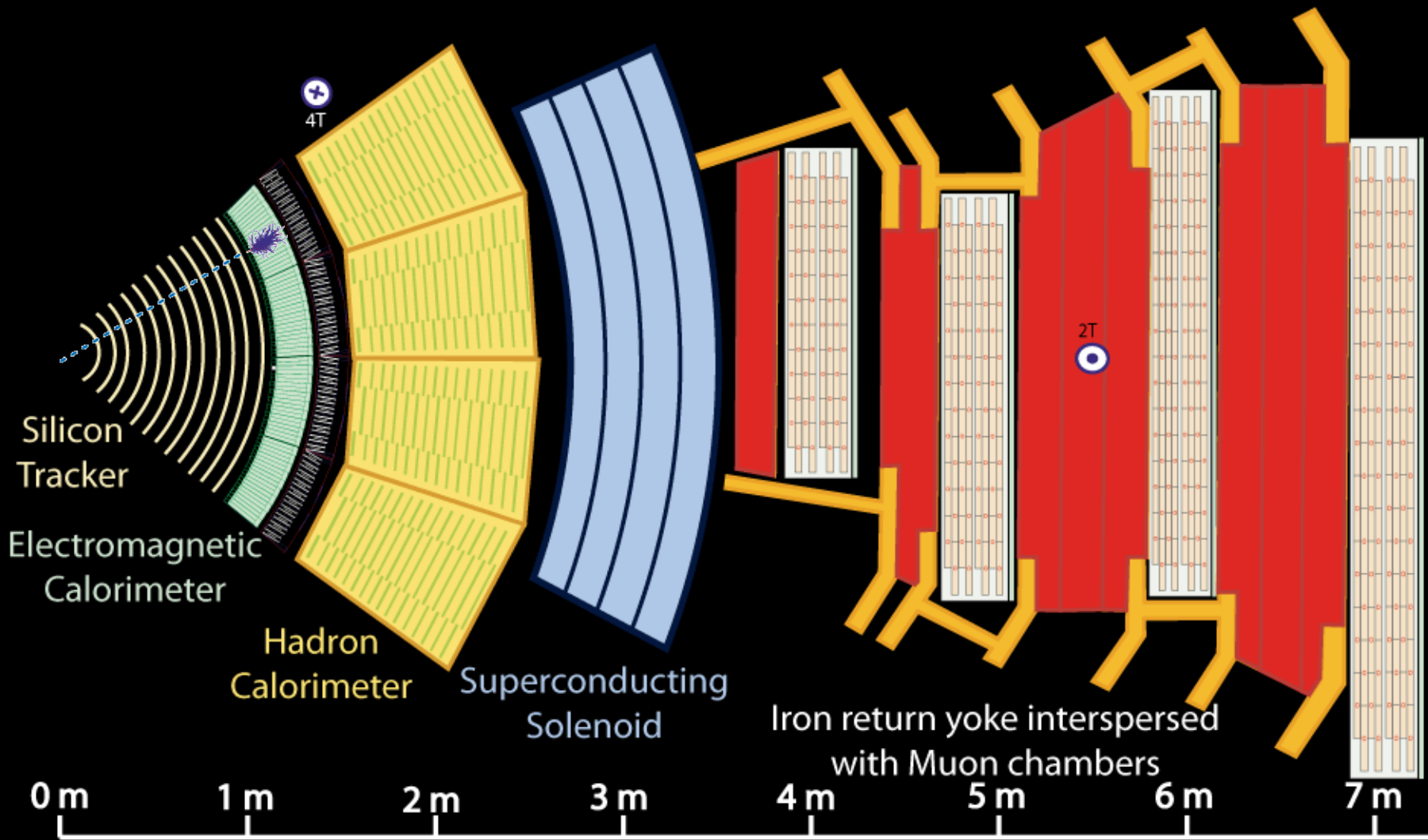
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



Key:

— Muon

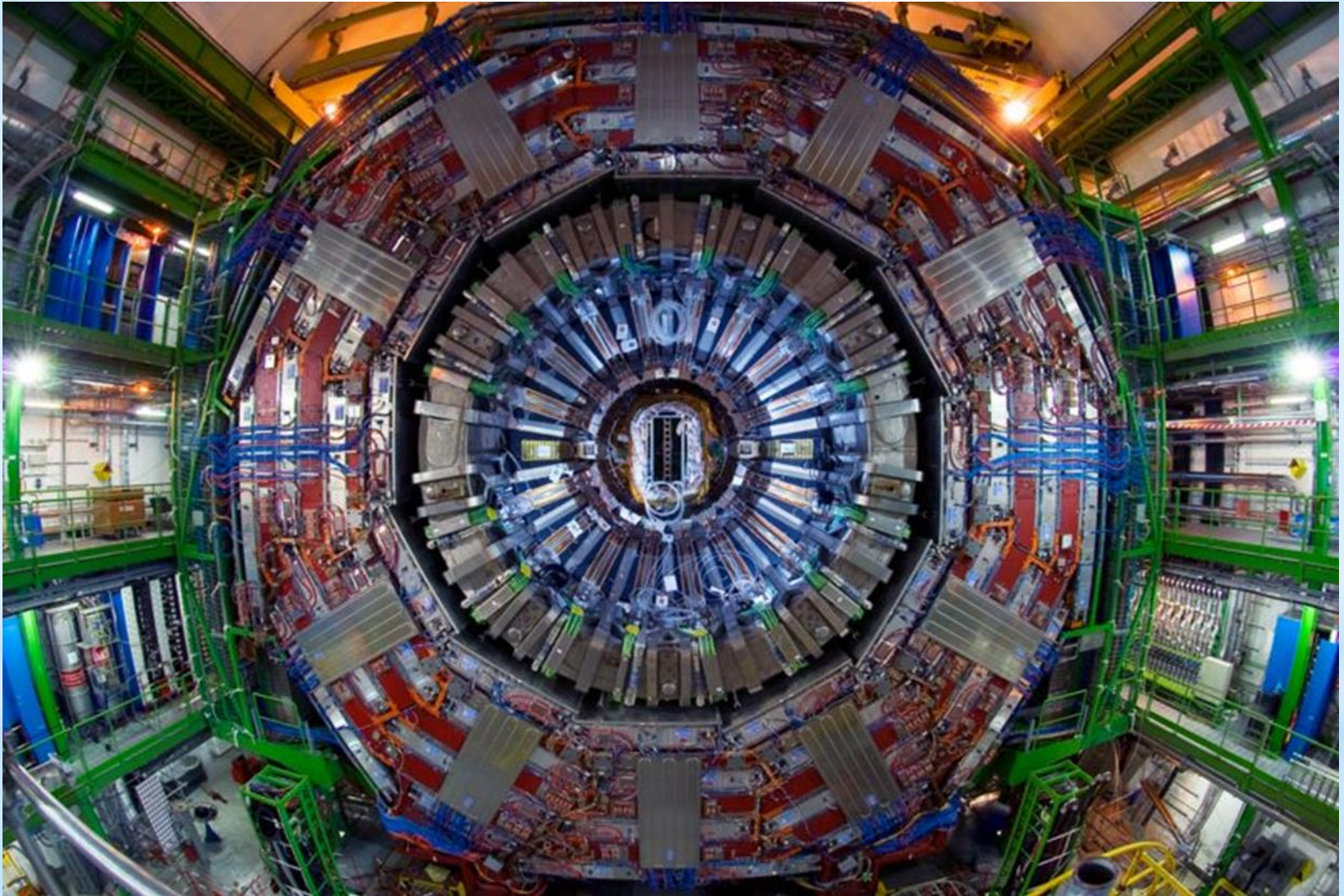
— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

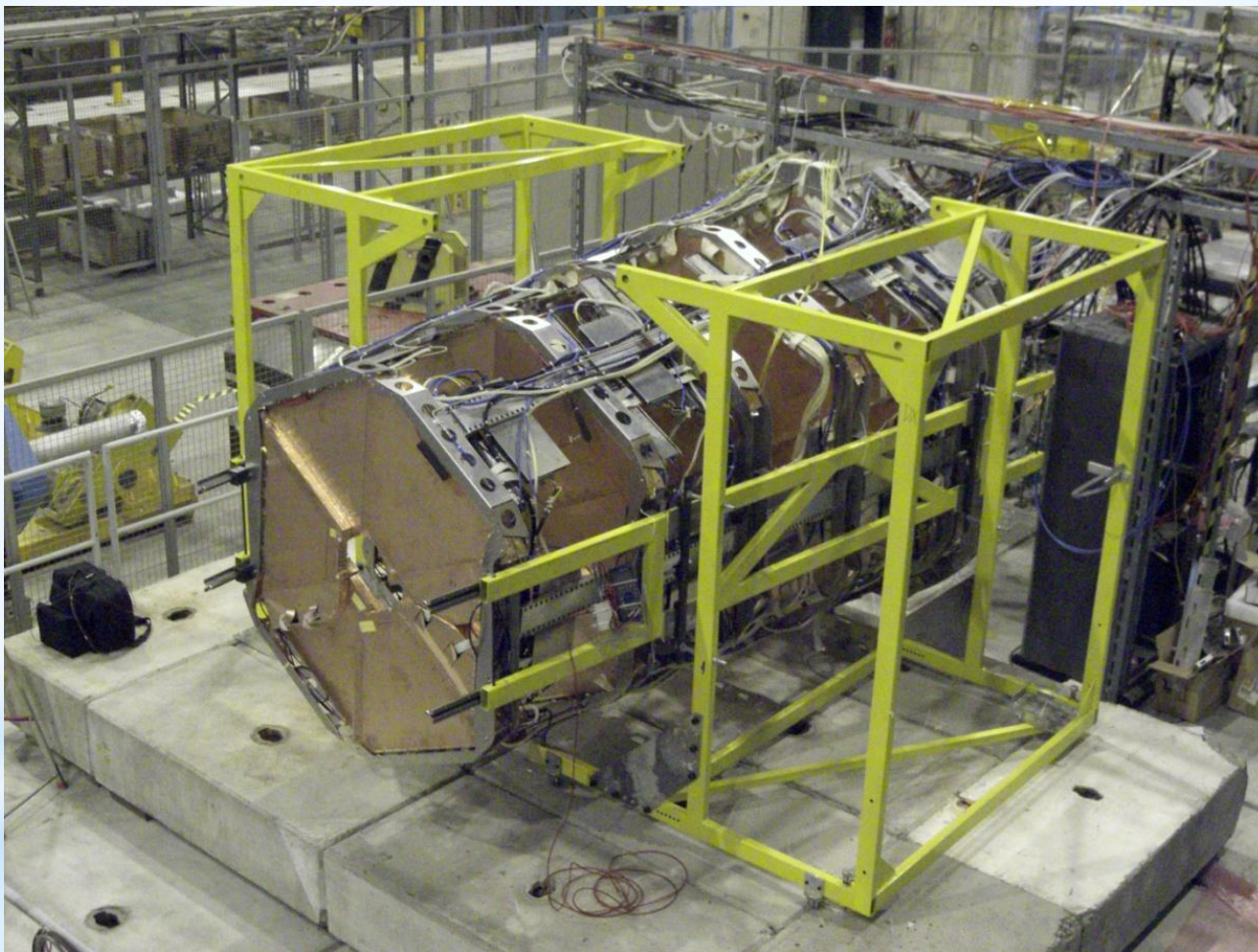
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon

CMS: dal vivo

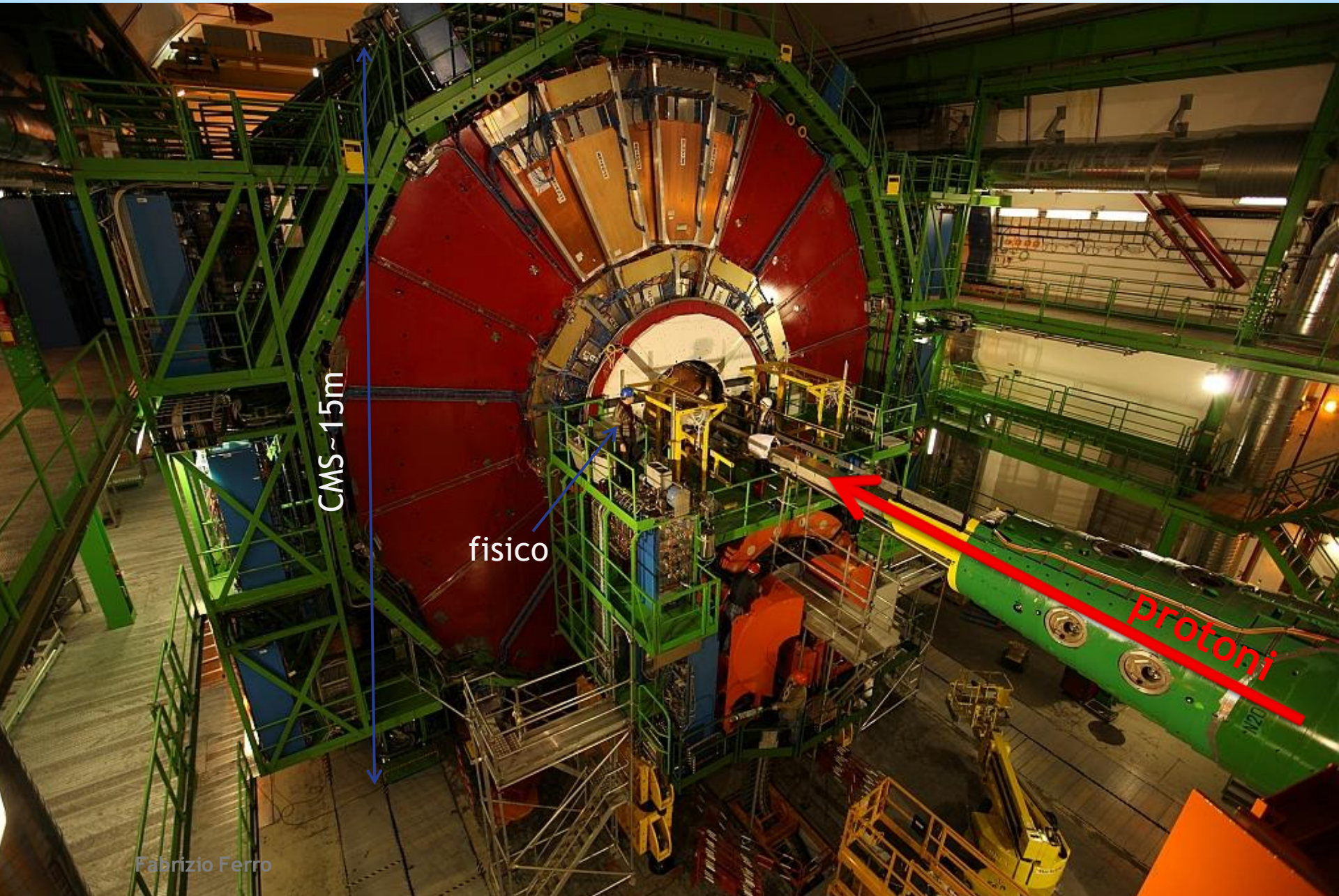


Un rivelatore Genovese

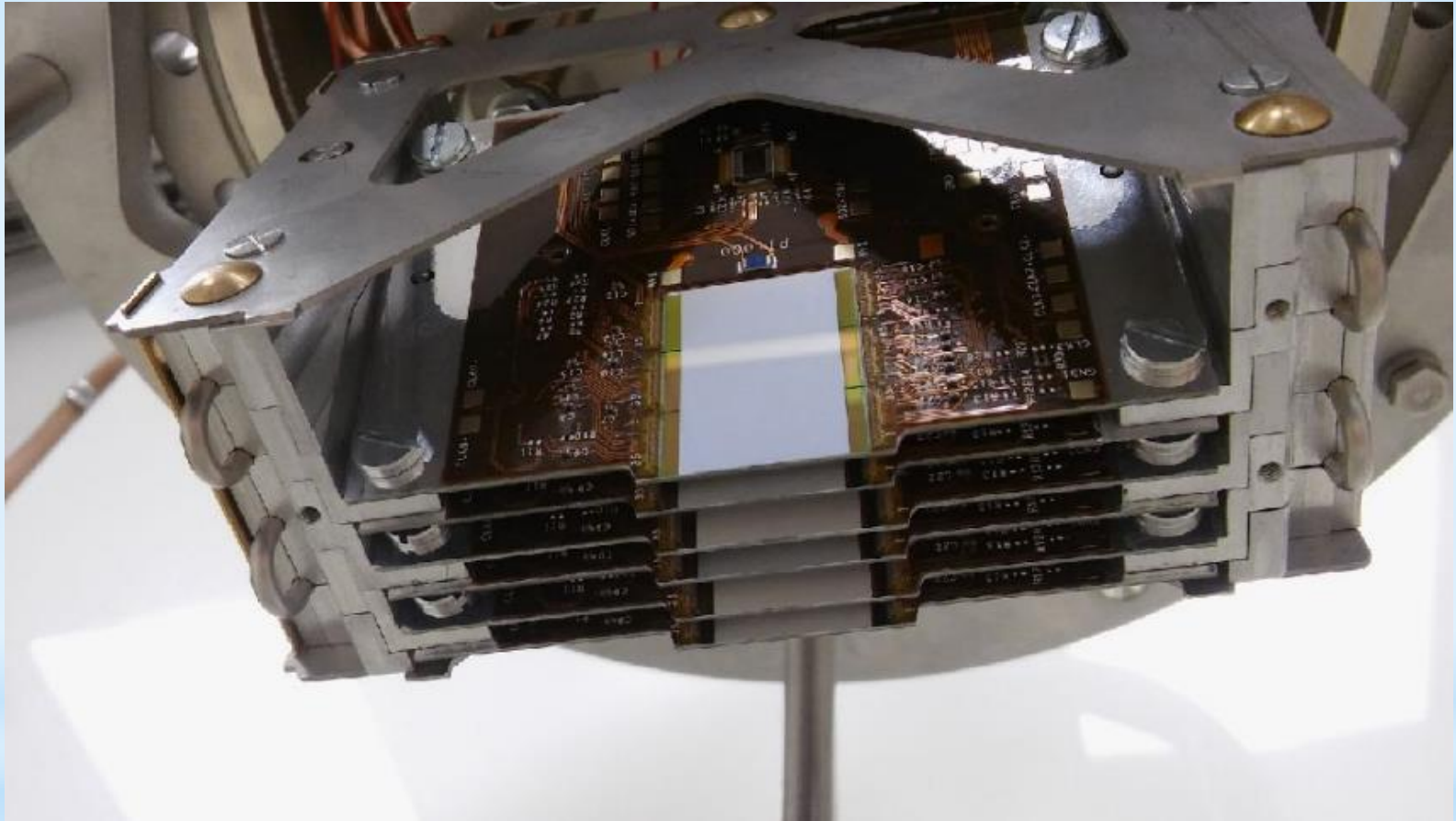


T1 in fase di test

Durante l'installazione

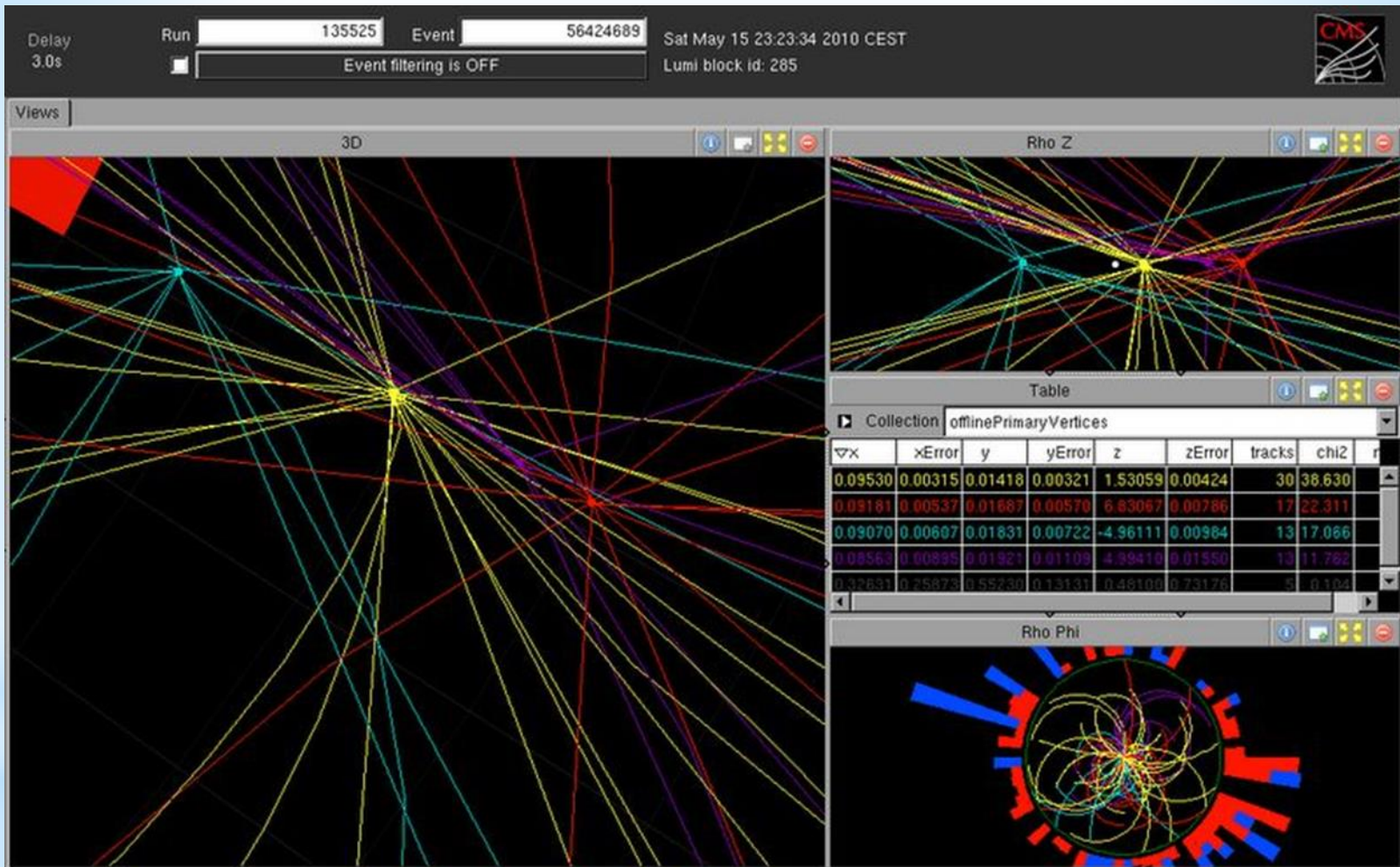


Un altro rivelatore genovese

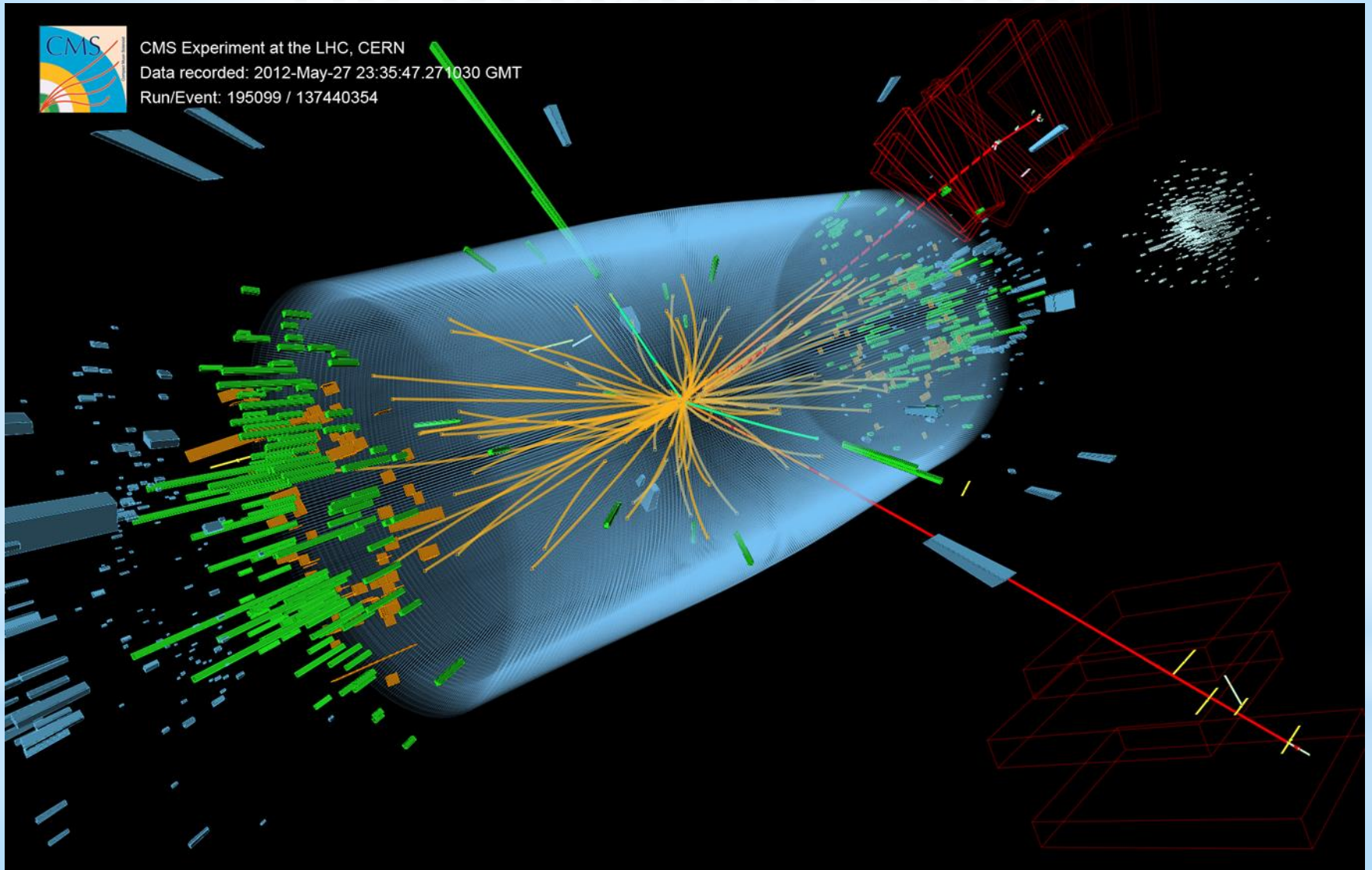


Rivelatore a pixel 3D da 150x100 μm

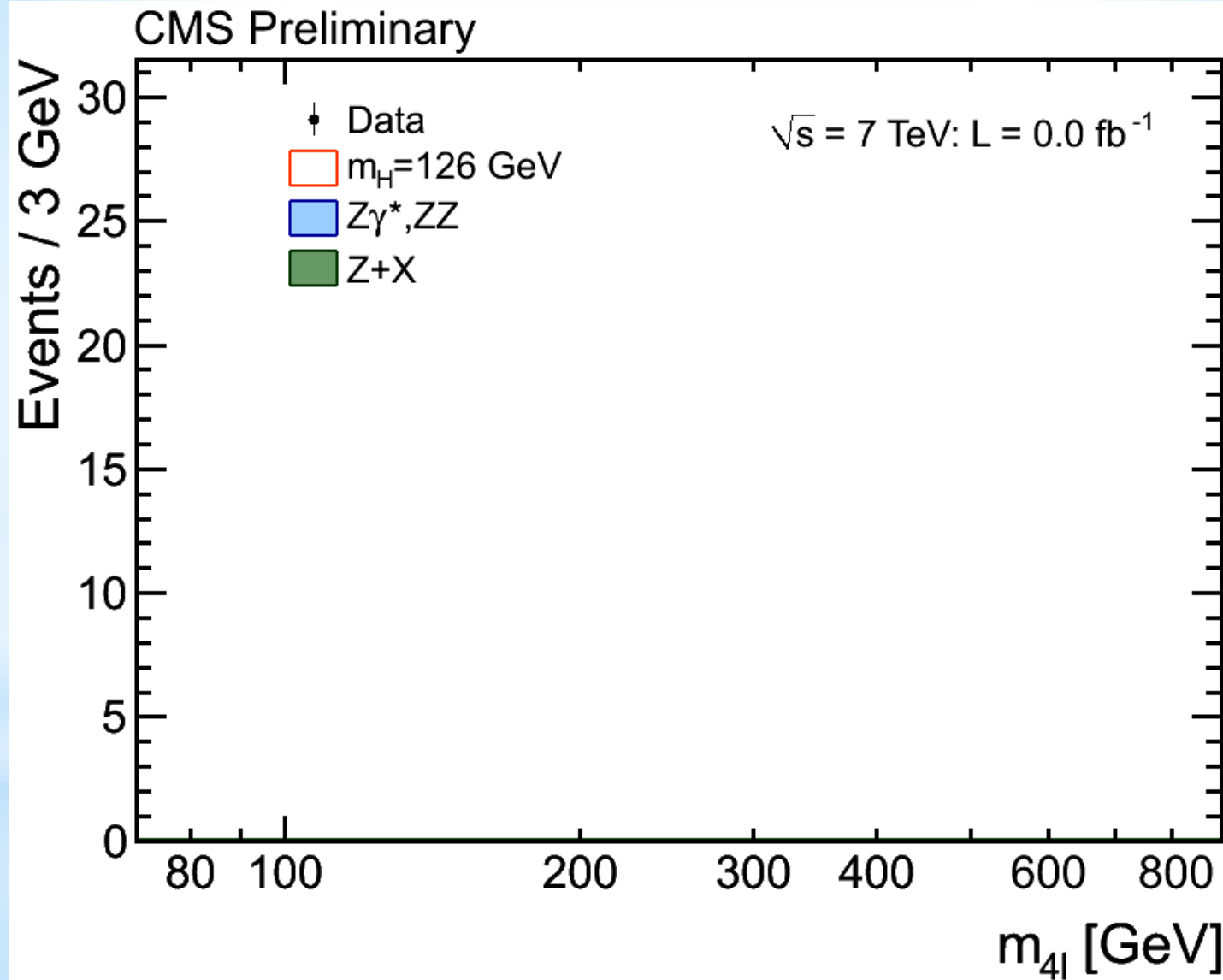
Cosa si vede



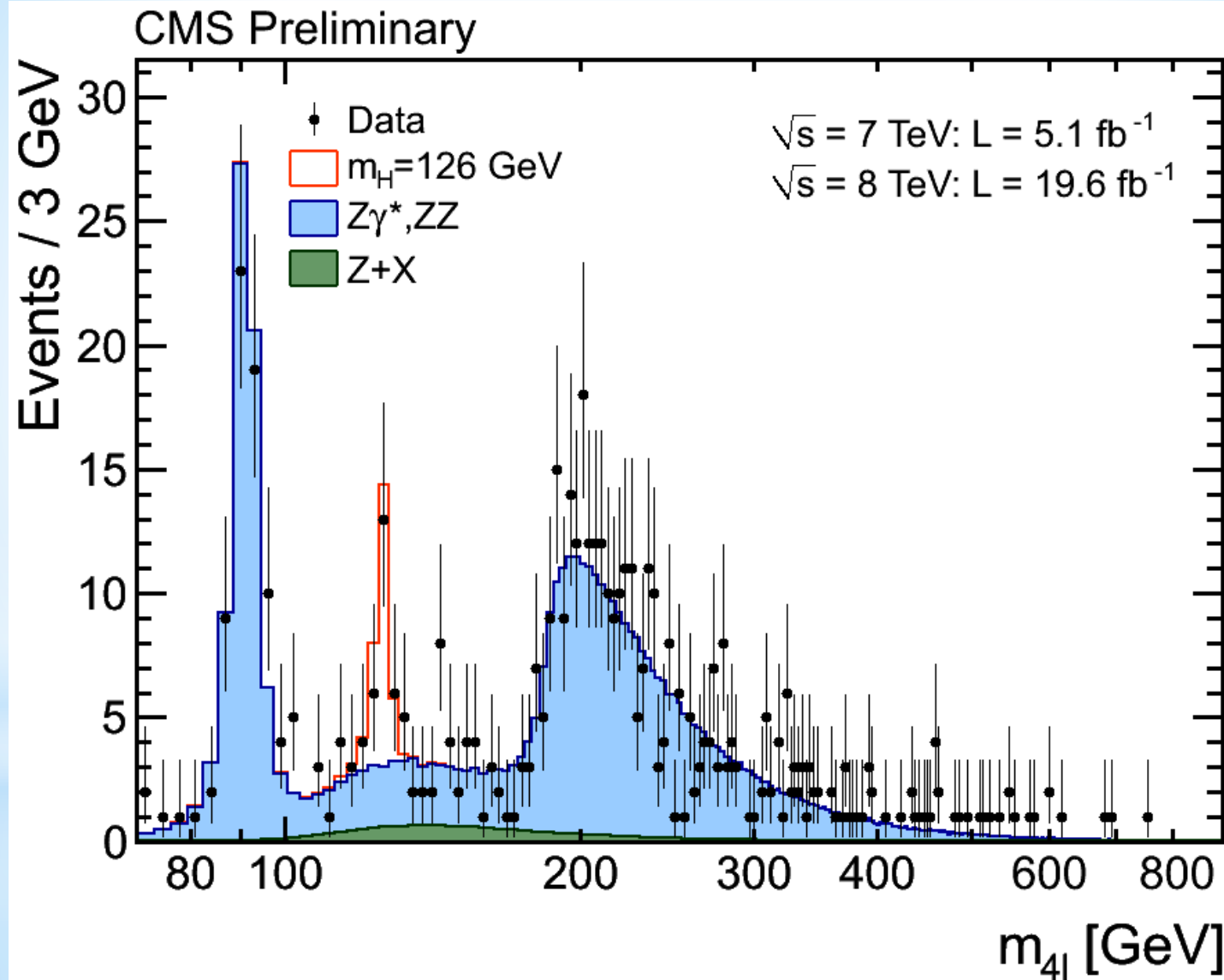
Un possibile Higgs



Come appare l'Higgs



Come appare l'Higgs



Tornando alla fisica

- Il Modello Standard resiste. Nessun segnale evidente di nuova fisica.
- Osservata una nuova particella con caratteristiche compatibili col bosone di Higgs di massa 125-126 GeV
- La ricerca si concentrerà nei prossimi anni sullo studio delle proprietà del bosone di Higgs appena scoperto e alla ricerca di tracce dirette e indirette di nuova fisica.

CERN: non solo ricerca pura

Applicazioni non facili da prevedere a priori!

- **Applicazioni pratiche dei rivelatori di particelle:**

- Diagnostica (per immagini, PET)
- Terapia medica (adroterapia)

- **Tecnologie**

- Materiali
- Superconduttività
- Magneti
- Criogenia
- Elettronica

- **Computing**

- WWW
- GRID



- **Ritorno degli investimenti in commesse industriali di alta tecnologia**
 - per es. 1/3 dei magneti sono stati costruiti dall'Ansaldo

Memento

La ricerca non è mai fine a se stessa

Se Faraday, Roentgen e Hertz
si fossero concentrati sui *problemi reali* dei loro tempi,
non avremmo mai sviluppato i motori elettrici, i raggi X e la radio (etc...).

Ma questa è un'altra storia...

