CERN

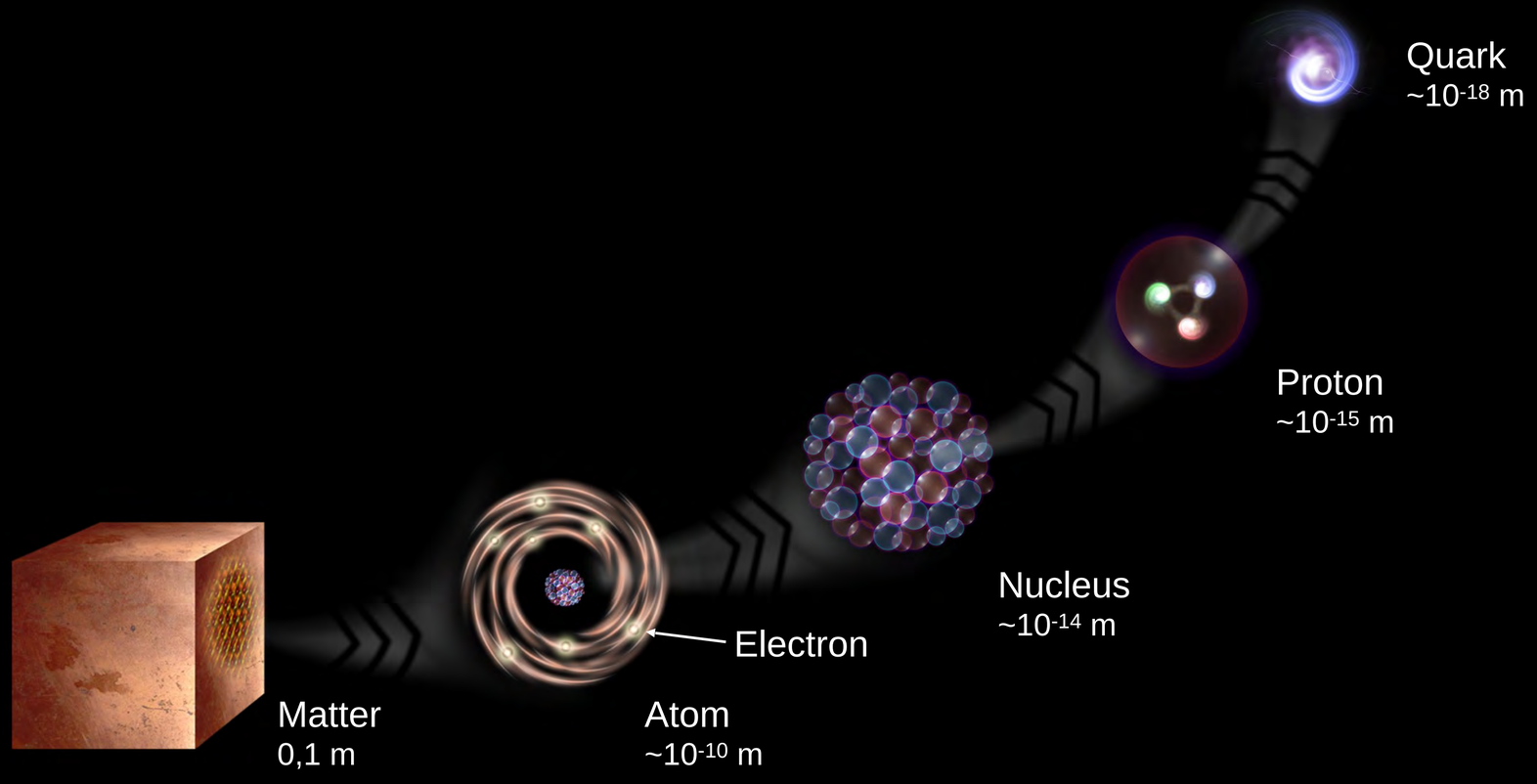
LHC: i primi dieci anni del più grande strumento scientifico del mondo

L. Malgeri

Un tuffo nel sapere: colloqui in rete

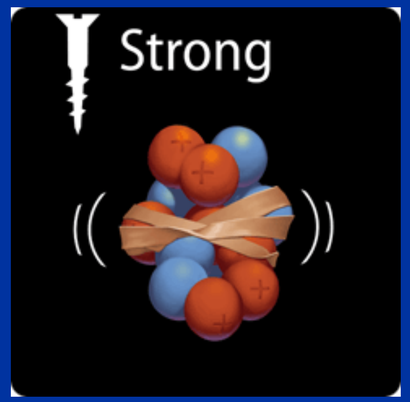
Di cosa è fatto l'universo?

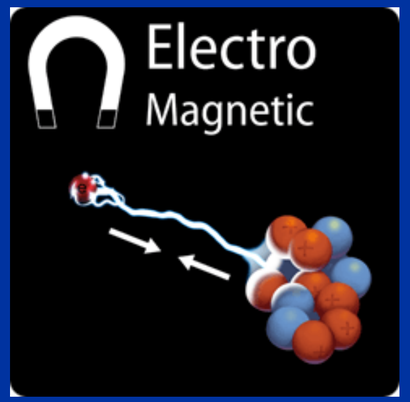
Al CERN si studiano i componenti fondamentali della materia e le forze che controllano le loro interazioni



Forze/Interazioni fondamentali

Come interagiscono tra loro le particelle e come
si creano strutture complesse (per esempio l'uomo)

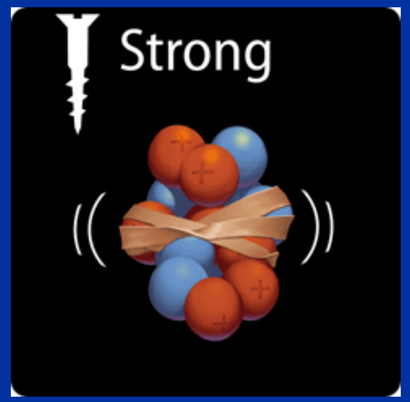


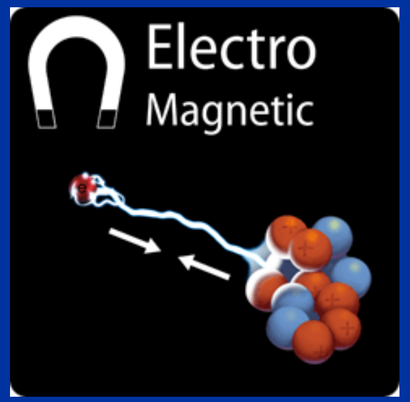


Forze/Interazioni fondamentali

Come interagiscono tra loro le particelle e come
si creano strutture complesse (per esempio l'uomo)

Modello Standard

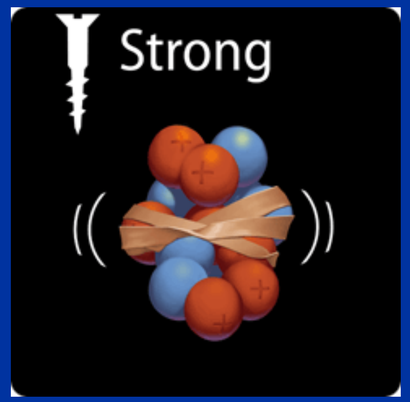


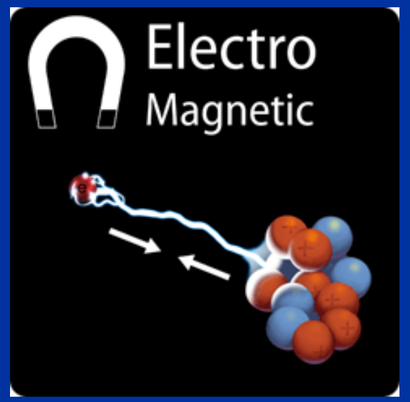


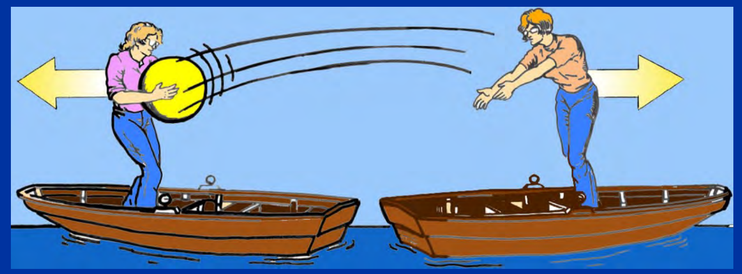
Forze/Interazioni fondamentali

Come interagiscono tra loro le particelle e come si creano strutture complesse (per esempio l'uomo)

Modello Standard



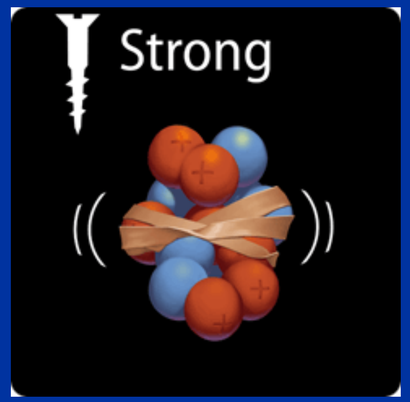


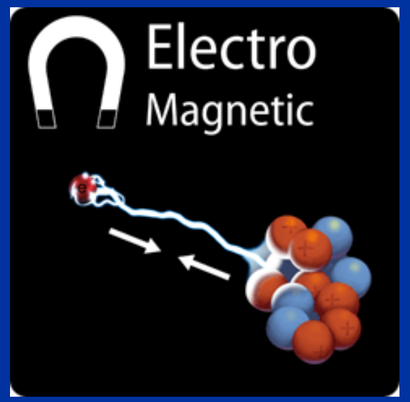


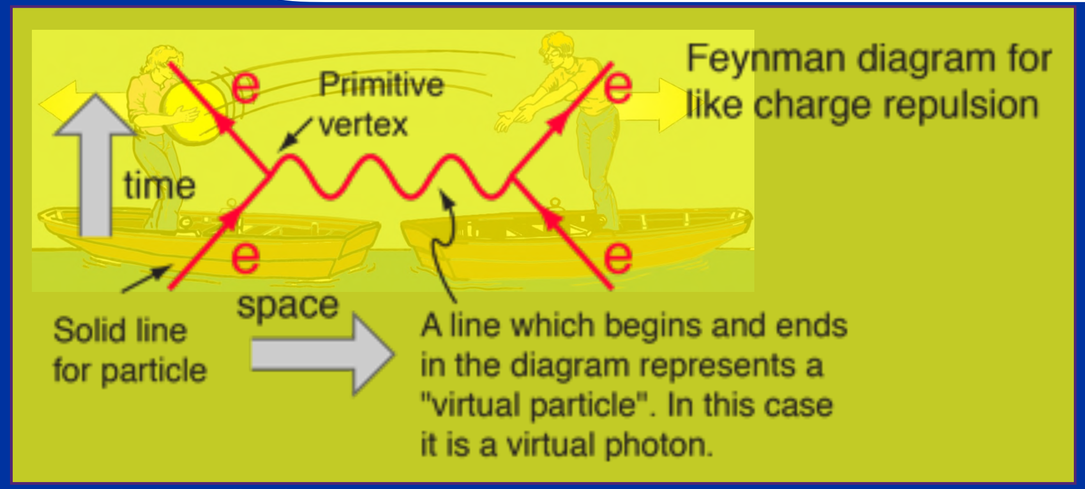
Forze/Interazioni fondamentali

Come interagiscono tra loro le particelle e come si creano strutture complesse (per esempio l'uomo)

Modello Standard







Feynman:

Le forze sono l'effetto della continua emissione ed assorbimento di "particelle" messaggere. In maniera semplicistica le particelle si dividono in due classi: quelle che formano la materia e quelle che regolano le interazioni.

Forze/Interazioni fondamentali

Interazione	“Messaggero”	Distanza	Forza relativa	Esempio
Forte	gluone	10^{-15}m	1	protone
Elettromagnetica	fotone	∞	$<10^{-2}$	atomi
Debole	bosoni W,Z	10^{-17}m	10^{-5}	radioattività
Gravitazionale	gravitone?	∞	10^{-38}	sistema solare

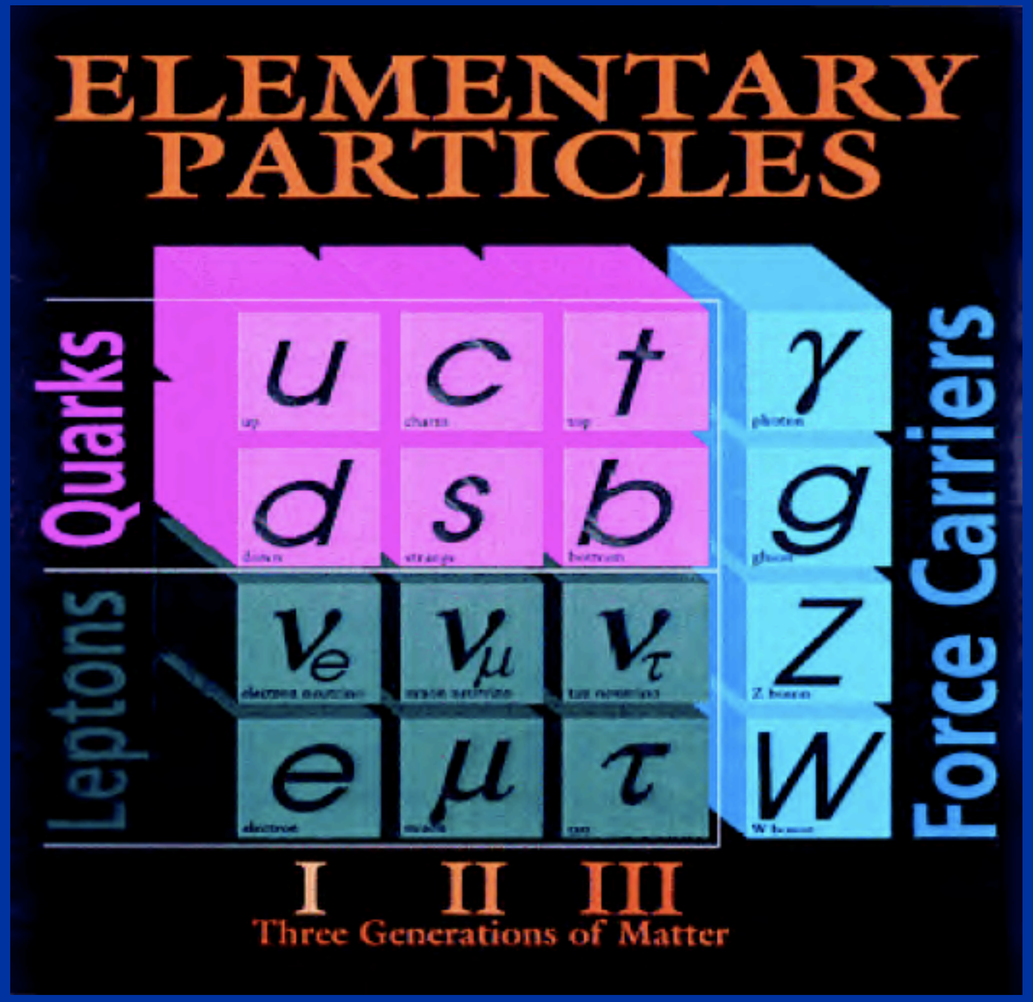
Forze/Interazioni fondamentali

Interazione	"Messaggero"	Distanza	Forza relativa	Esempio
Forte	gluone	10^{-15}m	1	protone
Elettromagnetica	fotone	∞	$<10^{-2}$	atomi
Debole	bosoni W,Z	10^{-17}m	10^{-5}	radioattività
Gravitazionale	gravitone?	∞	10^{-38}	sistema solare

Modello Standard

Modello Standard

E' alla base della fisica subnucleare moderna e praticamente ricopre il ruolo di tavola di Mendelev delle particelle elementari



$M_e \sim 0.5$ MeV

$M_\nu \sim 0$

$M_t \sim 175{,}000$ MeV!

$M_\gamma = 0$

$M_Z \sim 100{,}000$ MeV

(1 MeV = 1.8×10^{-27} g, $E=mc^2$)

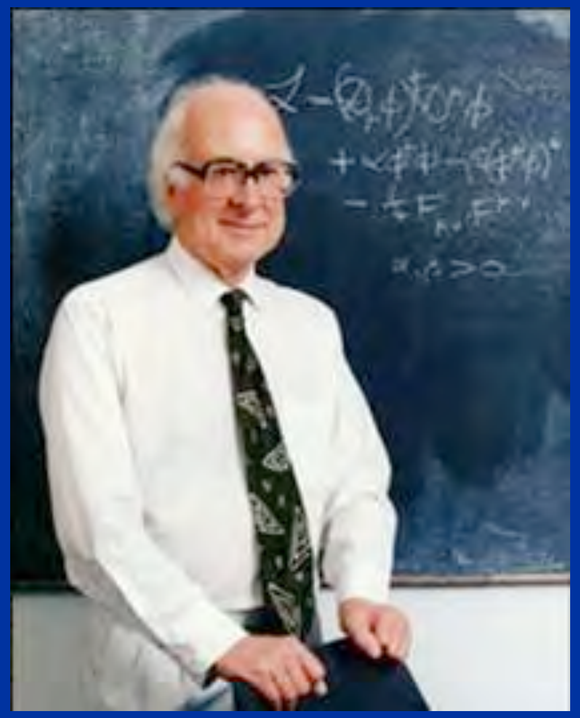
1) perché questa differenza?
2) e la gravità?

Domanda fondamentale 1

Domanda fondamentale 1

Perché questa differenza in massa?
O meglio, perché c'è una massa?

- La teoria che anticipava il Modello Standard prevedeva l'esistenza di particelle senza massa, come il fotone o il neutrino.
- È un'ipotesi che l'universo nel momento della sua nascita fosse composto da particelle senza massa e con le quattro interazioni fondamentali "unificate"



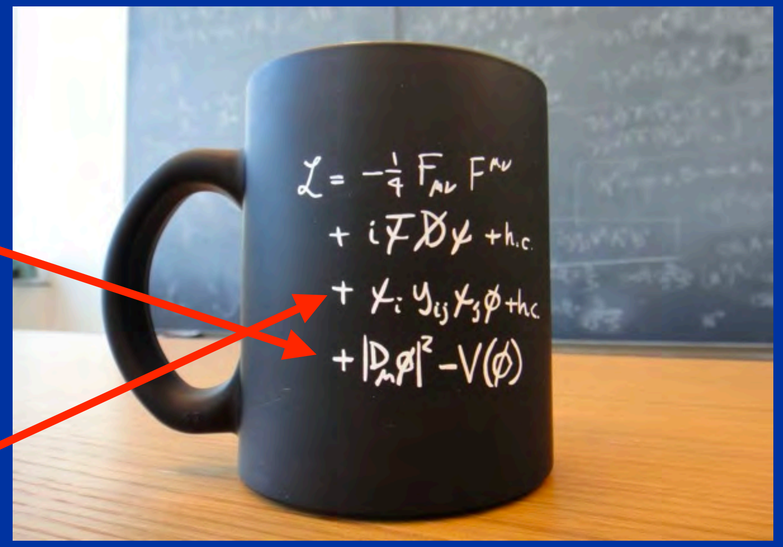
- Così come elettricità e magnetismo sono state unificate in un unico modello da Maxwell, c'è la convinzione diffusa che tutte le interazioni fondamentali siano (o almeno fossero) un unico tipo di interazione con manifestazioni differenti.
- (P. Higgs): introduzione un "campo", come quello elettromagnetico, tale che alcune particelle passandovi dentro acquistino massa

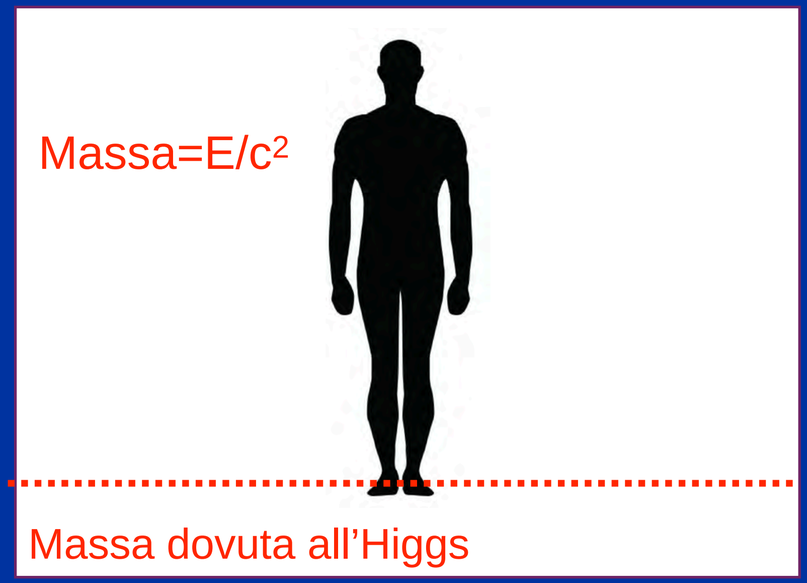
Higgs: due/tre note di precisione

L'Higgs fornisce il meccanismo che dà la massa ai "messaggeri" dell'interazione debole (W e Z).

L'interazione con il campo di Higgs dà anche la massa a tutte le altre particelle fondamentali (quark, leptoni) ma con un meccanismo totalmente diverso!

Il 99% della massa che vediamo non è dovuta all'Higgs ma all'energia che tiene insieme il nucleo dell'atomo.

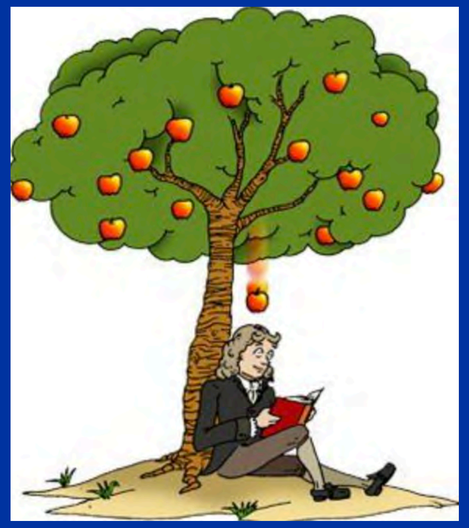




Domanda fondamentale 2

Domanda fondamentale 2

Ma la gravità (la mela che cade, il sistema solare, il moto delle galassie) come la giustifichiamo? Possiamo descriverla con il modello Standard? Unificarla?

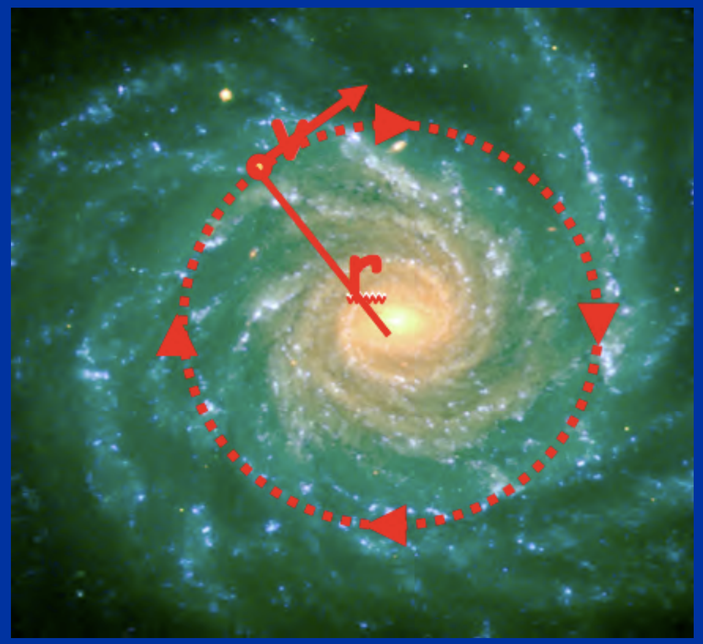


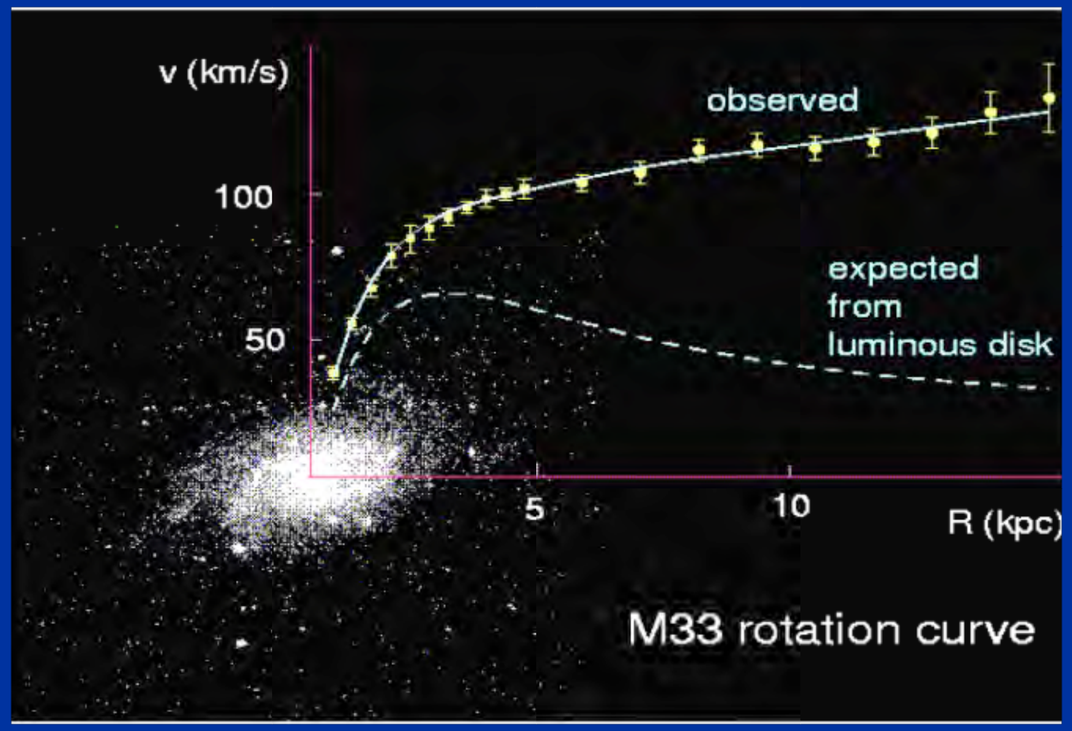
La risposta per il momento è semplice: NO!

Questo ci dice che oltre il Modello Standard c'è qualcos'altro....ma cosa?

Materia oscura

La velocità di rotazione delle galassie è incompatibile con l'ipotesi che tutta la materia sia quella visibile con i telescopi. La maggior parte della materia non è visibile (cioè non emette fotoni) ed è intorno a noi!

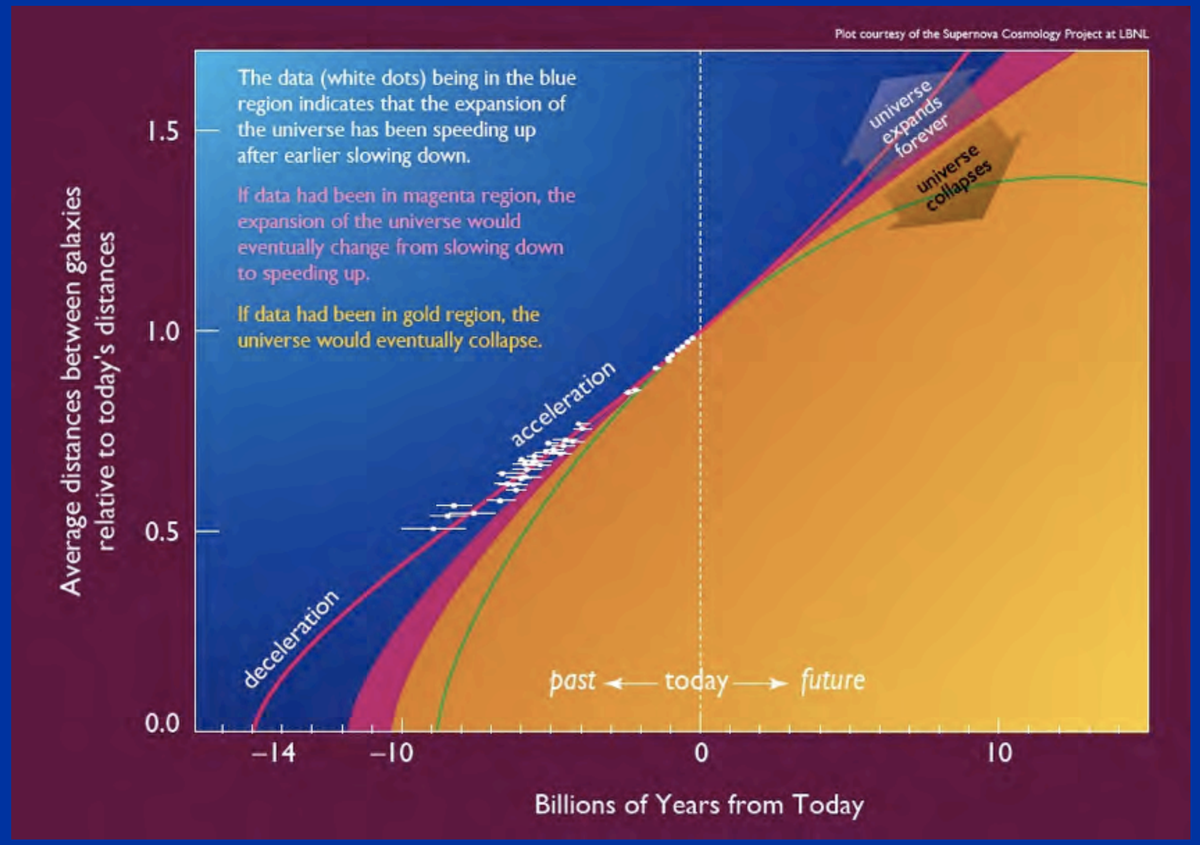




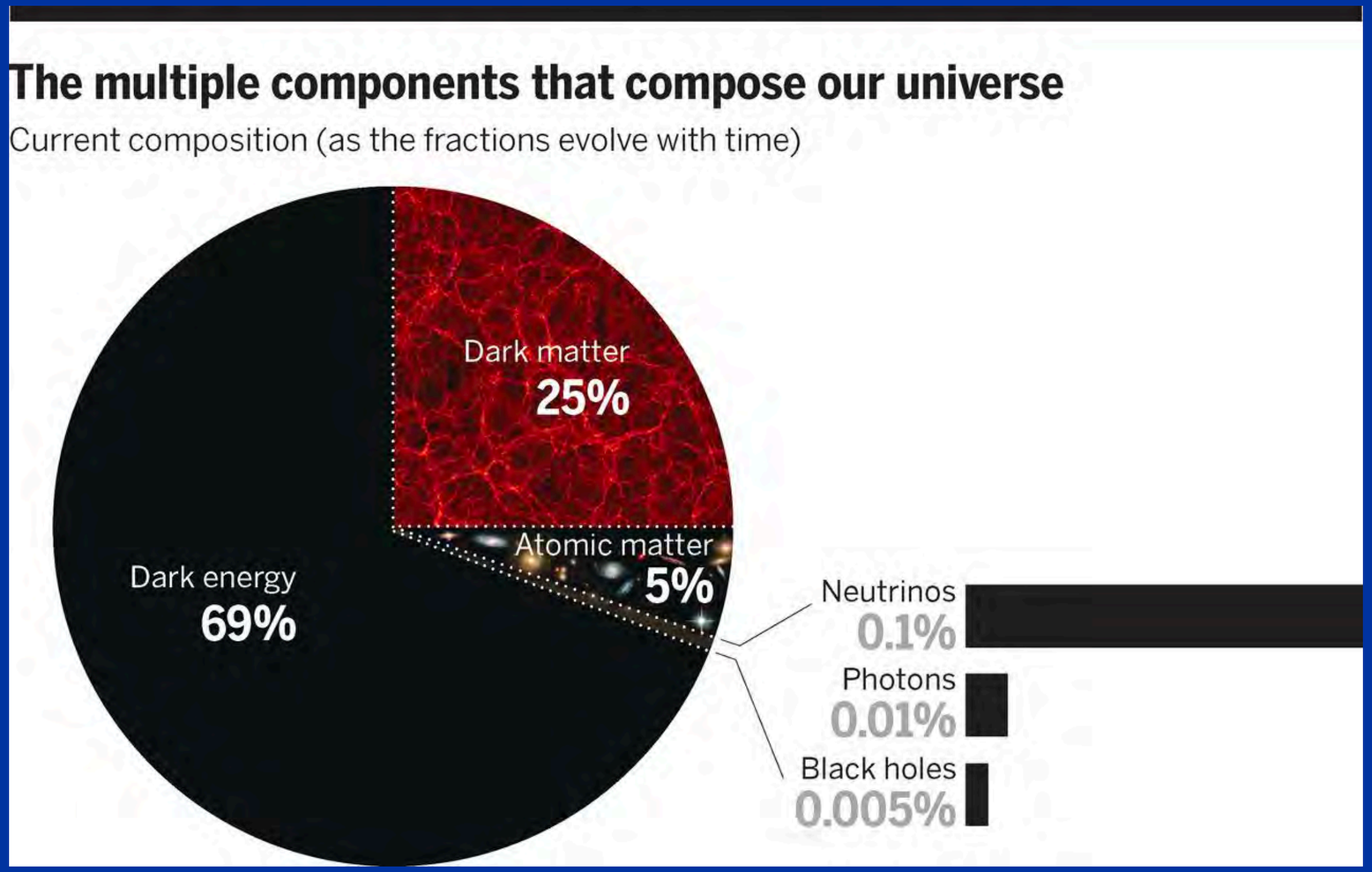
Ipotesi: si tratta di particelle che interagiscono pochissimo e che probabilmente sono state prodotte nel Big Bang e da allora "riposano"

Energia oscura

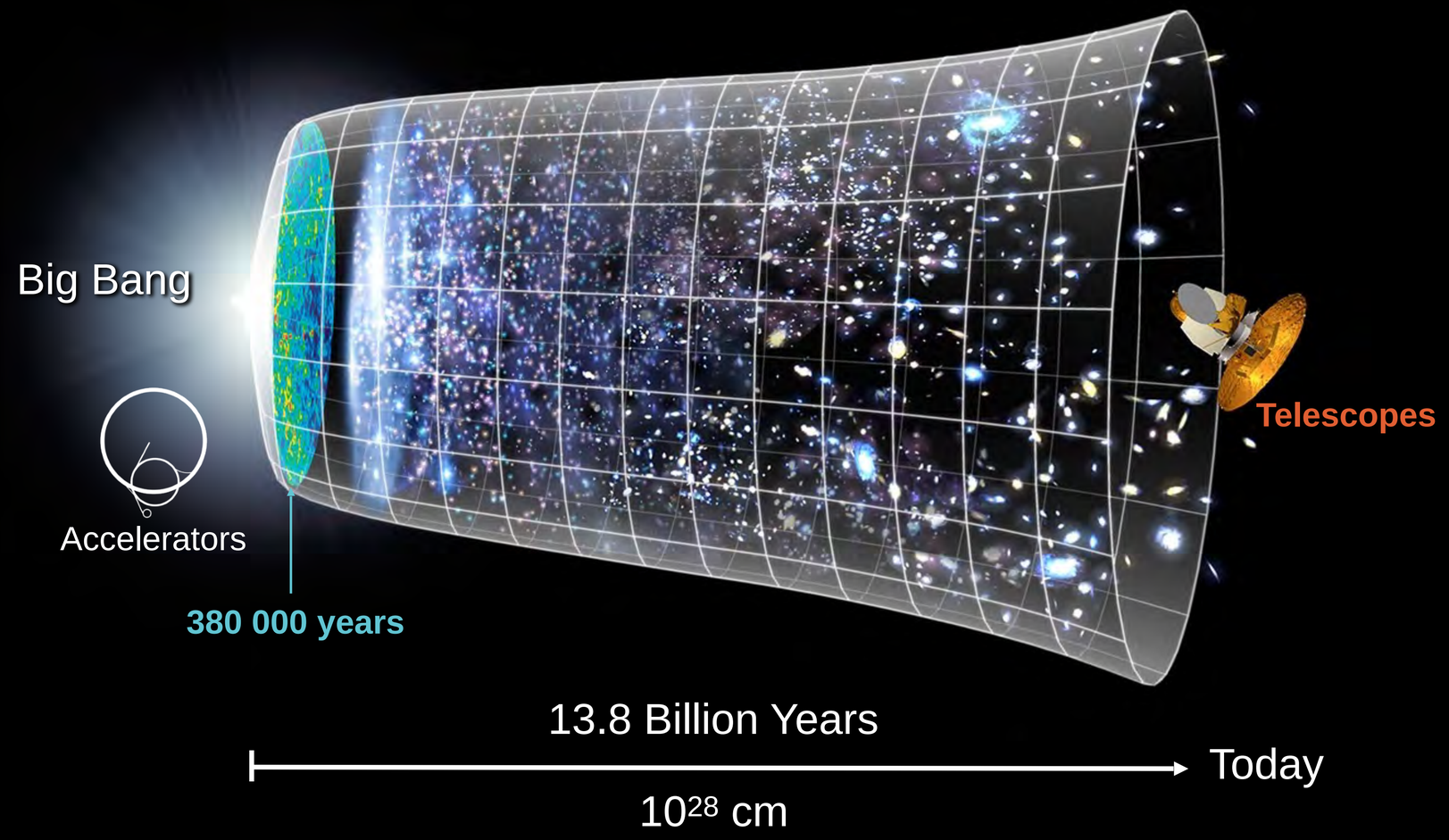
L’espansione dell’Universo invece che rallentare accelera!
È come se ci fosse una forza repulsiva (energia) che pervade tutto l’Universo e che contribuisce a questa espansione.
Che sia un campo come quello di Higgs, ma ancora sconosciuto?



Materia ed energia oscura



L'universo "visibile" è appena il 5% di tutto quello che si puo' derivare da osservazioni.
Il tutto dipende dalle condizioni del Big Bang.
Dobbiamo provare a ricrearlo (in piccolo).



La nascita dell’universo

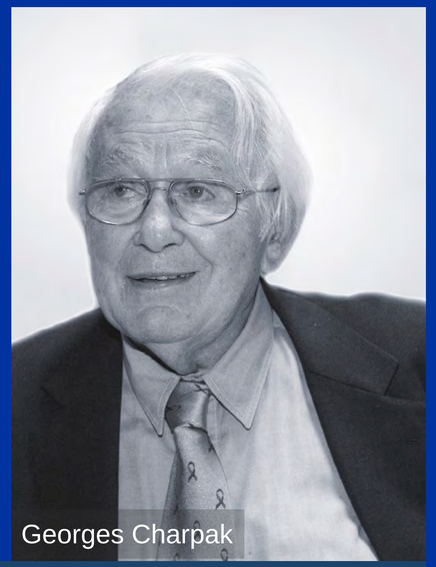
Al CERN si riproducono le condizioni iniziali appena dopo il Big Bang per cercare di capire la struttura e l’evoluzione dell’universo

Cerchiamo di rispondere alle domande fondamentali

Cerchiamo di rispondere alle domande fondamentali

Carlo Rubbia

Simon Van der Meer

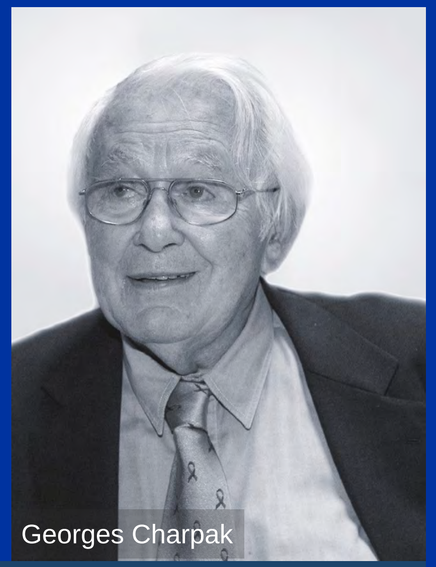

Georges Charpak

Diversi scienziati del CERN sono stati premiati con il premio Nobel per le loro ricerche

Cerchiamo di rispondere alle domande fondamentali

Carlo Rubbia

Simon Van der Meer


Georges Charpak

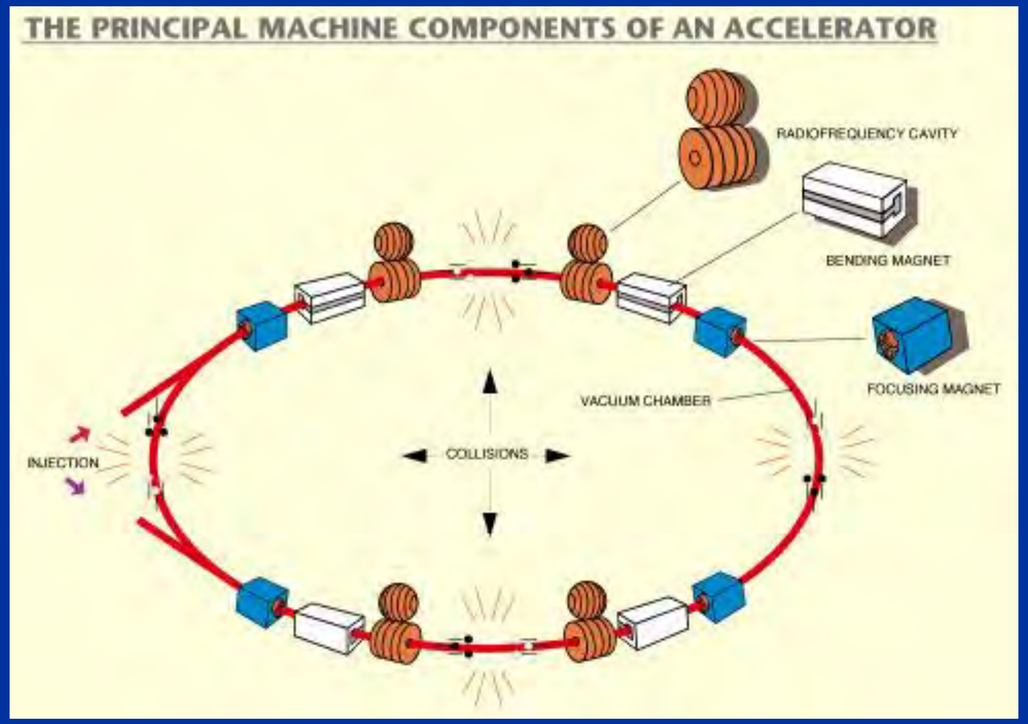
Diversi scienziati del CERN sono stati premiati con il premio Nobel per le loro ricerche

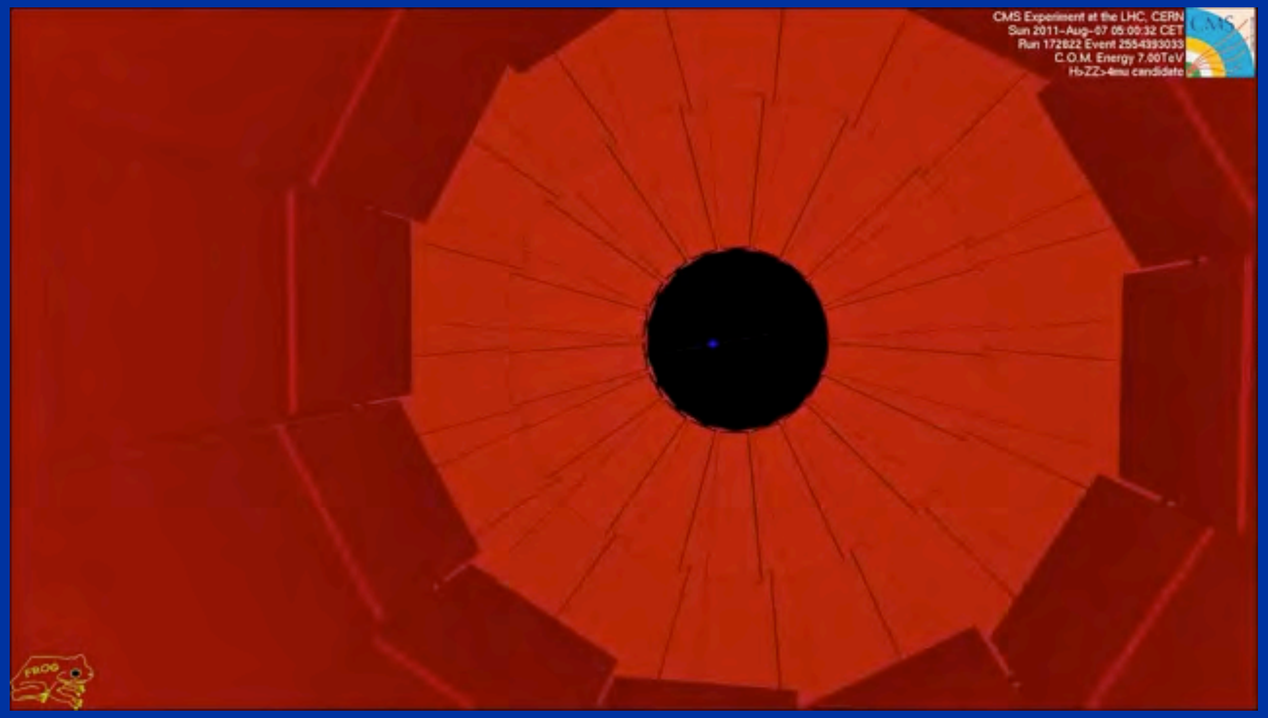
Il bosone di Higgs è stato scoperto nel 2012. Senza il campo associato, le particelle fondamentali non avrebbero massa

François Englert and Peter Higgs

Ma come si producono le particelle?
E le condizioni del Big Bang?

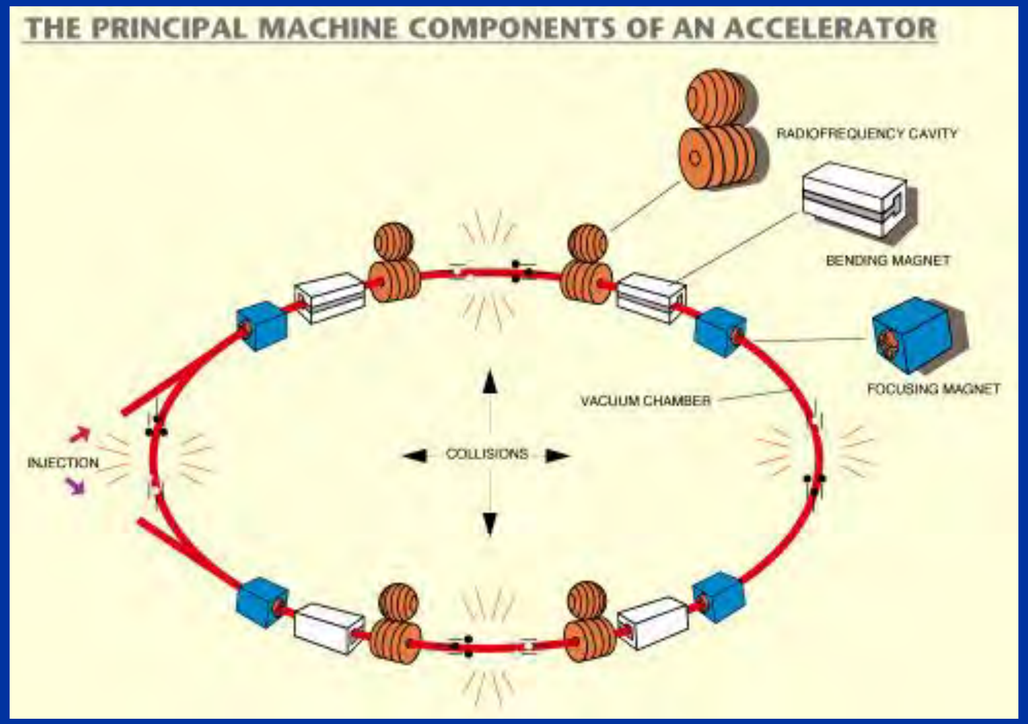
L'idea di base è semplice: prendiamo due particelle, le acceleriamo l'una contro l'altra, le facciamo collidere così da produrre una densità di materia, temperatura, ecc. simili a quella del Big Bang. "Nuove" particelle con masse fino all'energia di collisione possono essere prodotte.

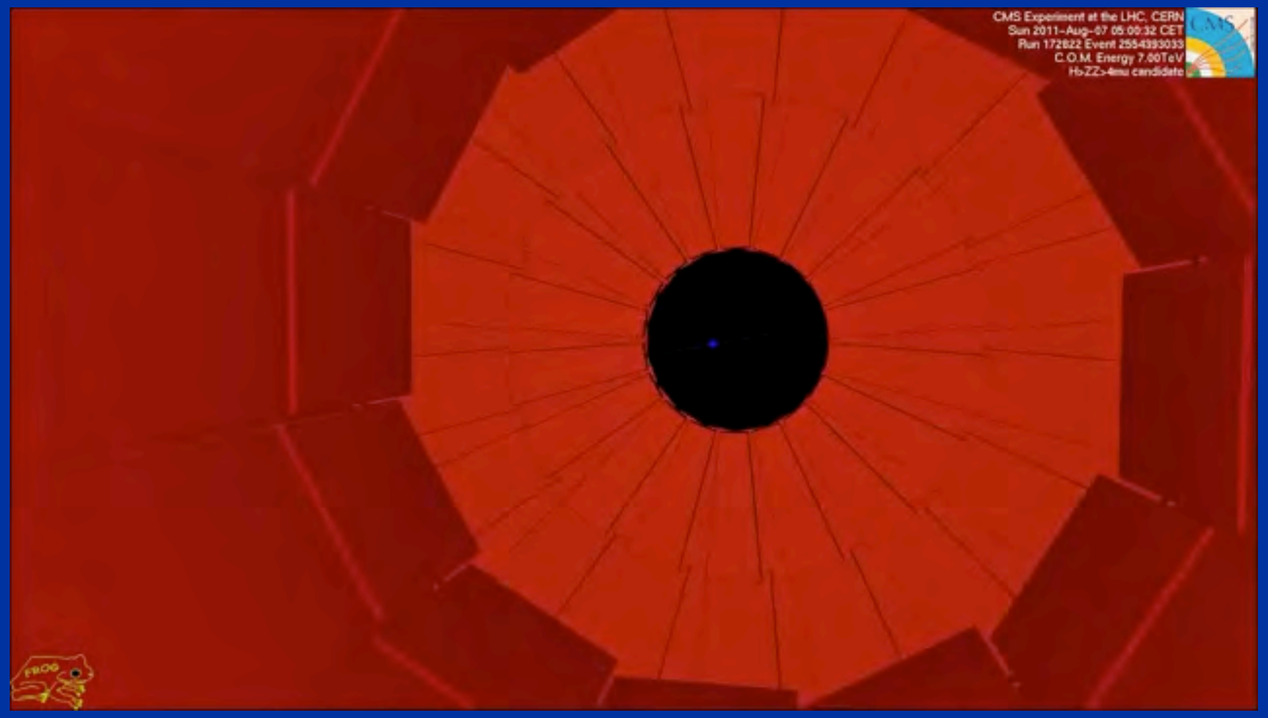




Ma come si producono le particelle?
E le condizioni del Big Bang?

L'idea di base è semplice: prendiamo due particelle, le acceleriamo l'una contro l'altra, le facciamo collidere così da produrre una densità di materia, temperatura, ecc. simili a quella del Big Bang. "Nuove" particelle con masse fino all'energia di collisione possono essere prodotte.





Cosa serve per questa ricerca fondamentale

- Costruire gli acceleratori più potenti
- Avanzare nello sviluppo e nella ricerca tecnologica

Cosa serve per questa ricerca fondamentale

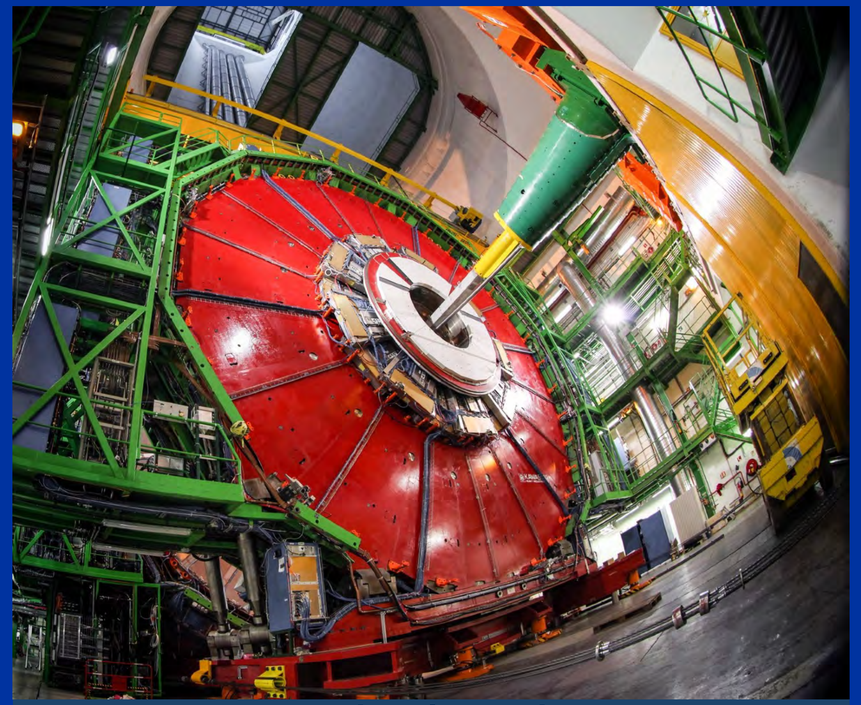
- Costruire gli acceleratori più potenti
- Avanzare nello sviluppo e nella ricerca tecnologica

Acceleratori

Cosa serve per questa ricerca fondamentale

- Costruire gli acceleratori più potenti
- Avanzare nello sviluppo e nella ricerca tecnologica

Acceleratori

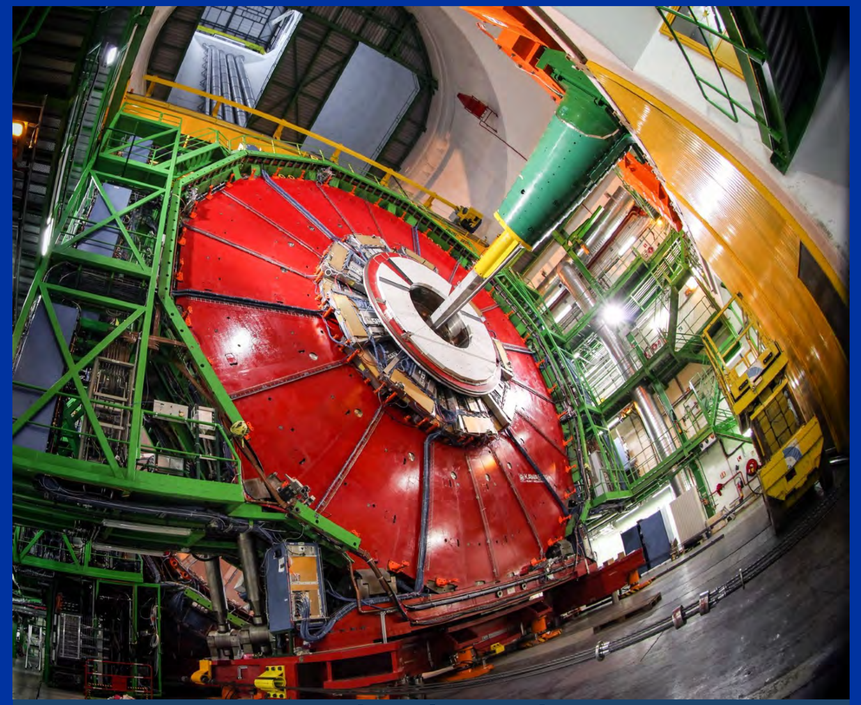


Rivelatori

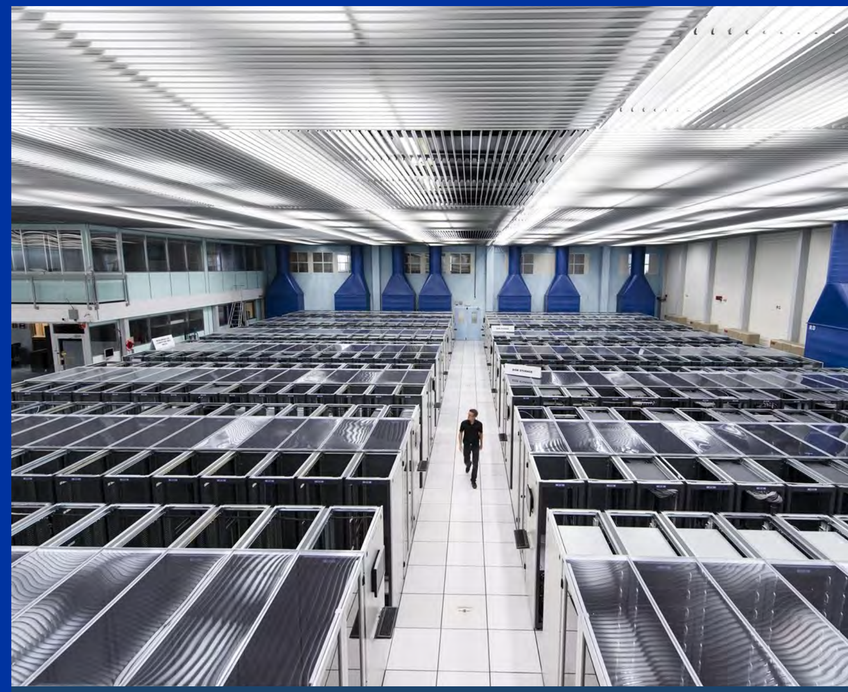
Cosa serve per questa ricerca fondamentale

- Costruire gli acceleratori più potenti
- Avanzare nello sviluppo e nella ricerca tecnologica

Acceleratori



Rivelatori



Calcolo

Il CERN è il laboratorio più grande del mondo per la fisica delle alte energie.

Scienza per la pace

Il CERN è stato fondato nel 1954 da 12 stati membri europei

Il budget annuale del CERN è di 1200 MCHF (equivalente ad una università di media grandezza)

Al 31 Dicembre 2020:
2635 staff, **756** fellows

Utilizzatori associati:
11 399 users, **1687** others

23 Stati Membri

Austria – Belgium – Bulgaria – Czech Republic
Denmark – Finland – France – Germany – Greece
Hungary – Israel – Italy – Netherlands – Norway
Poland – Portugal – Romania – Serbia – Slovakia
Spain – Sweden – Switzerland – United Kingdom

3 Membri Associati avviati alla piena integrazione

Cyprus – Estonia – Slovenia

6 Membri Associati

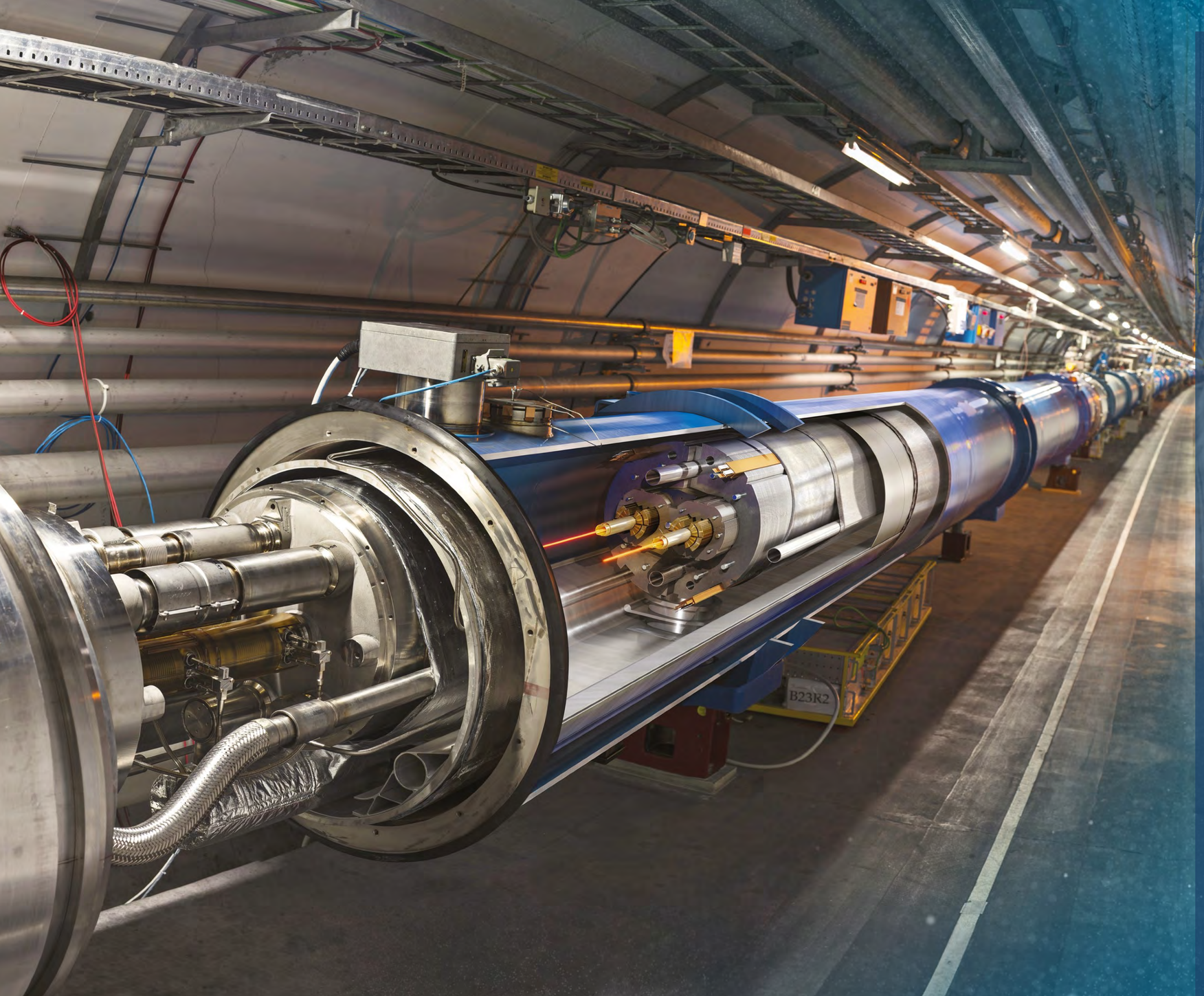
Croatia – India – Lithuania – Pakistan – Turkey – Ukraine

6 Osservatori

Japan – Russia – USA
European Union – JINR – UNESCO

35 Stati con accordi di cooperazione:

Albania – Algeria – Argentina – Armenia – Australia – Azerbaijan – Bangladesh – Belarus – Bolivia
Bosnia and Herzegovina – Brazil – Canada – Chile – China – Colombia – Costa Rica – Ecuador – Egypt
North Macedonia – Georgia – Iceland – Iran – Jordan – Korea – Malta – Mexico – Mongolia – Montenegro
Morocco – New Zealand – Peru – Saudi Arabia – South Africa – United Arab Emirates – Vietnam



Large Hadron Collider (LHC)

- 27 km di circonferenza
- a circa 100 m sotto la superficie
- magneti superconduttori per guidare le particelle
- protoni e ioni accelerati a velocità prossime a quella della luce

Storia dell'LHC

Per la comunità sperimentale tutto cominciò al workshop CERN-ECFA a Losanna (1984) sulla fattibilità di un futuro collisionatore adronico nel tunnel del LEP.

CHAPTER I

THE PHYSICS CASE

Physics with a Multi-TeV Hadron Collider

C.H. Llewellyn Smith

11. SUMMARY AND CONCLUSIONS

A theoretical consensus is emerging that new phenomena will be discovered at or below 1 TeV. There is no consensus about the nature of these phenomena but it is interesting that many of the ideas which have been suggested can be tested in experiments at an LHC. Although many, if not all, of these ideas will doubtless have been discarded, disproved or established by the time an LHC is built, this demonstrates the potential virtues of such a machine. → discussion of Luminosity-Energy trade off (14 TeV vs. 40 TeV),

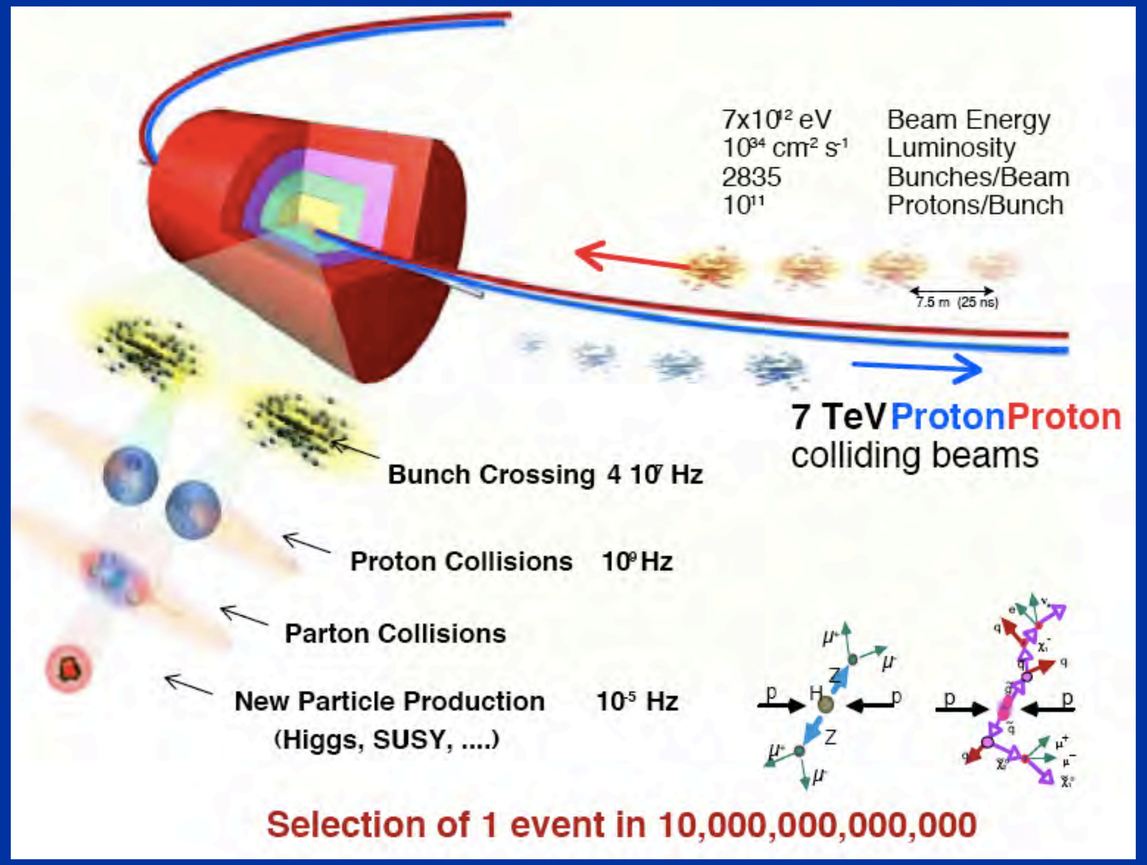
1. LHC

Raccomandazioni del giugno 1987

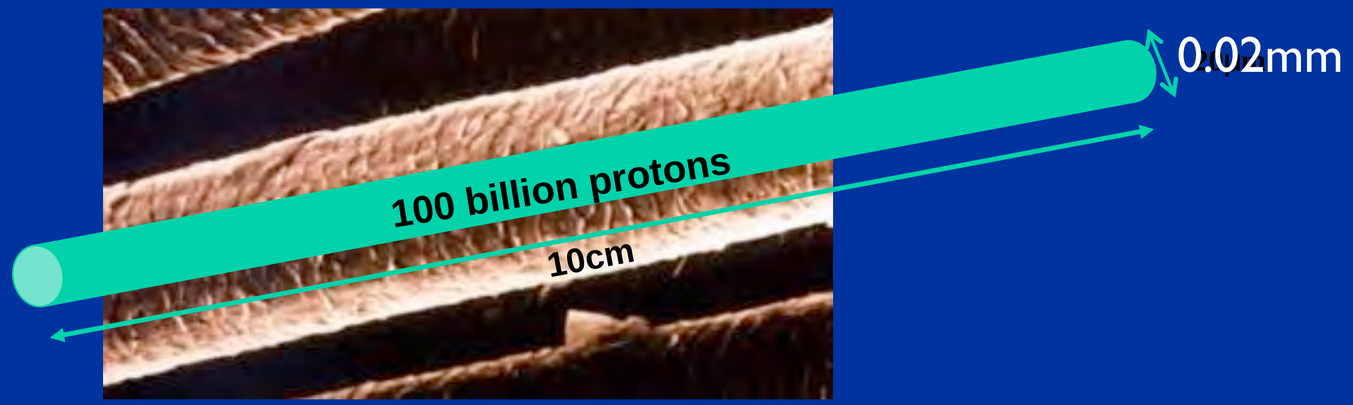
- 8 + 8 TeV p + p con magneti da 10 Tesla (due in uno) 1.4×10^{23} $cm^{-2}s^{-1}$
  - offre il modo più veloce e più economico di raggiungere la regione del TeV (sempre in concorrenza con la proposta USA chiamata SSC)
- Infrastrutture del CERN (tunnel pre-esistente del LEP, iniettori, esperimenti)
- Un'energia più bassa del SSC parzialmente compensata da una luminosità più elevata
- Coesistenza con il LEP (e-p possibile)
- Lanciare un programma a dinamico in cooperazione con gli istituti nazionali interessati

LHC: Large Hadron Collider

Qualche dettaglio in più



Nel tubo del fascio i protoni sono riuniti in gruppi.
Ogni gruppo ne contiene ~100 miliardi.
2835 di questi gruppi circolano contemporaneamente.

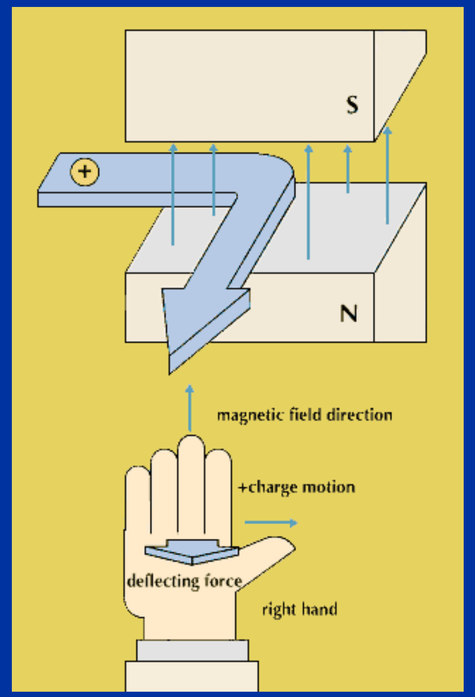


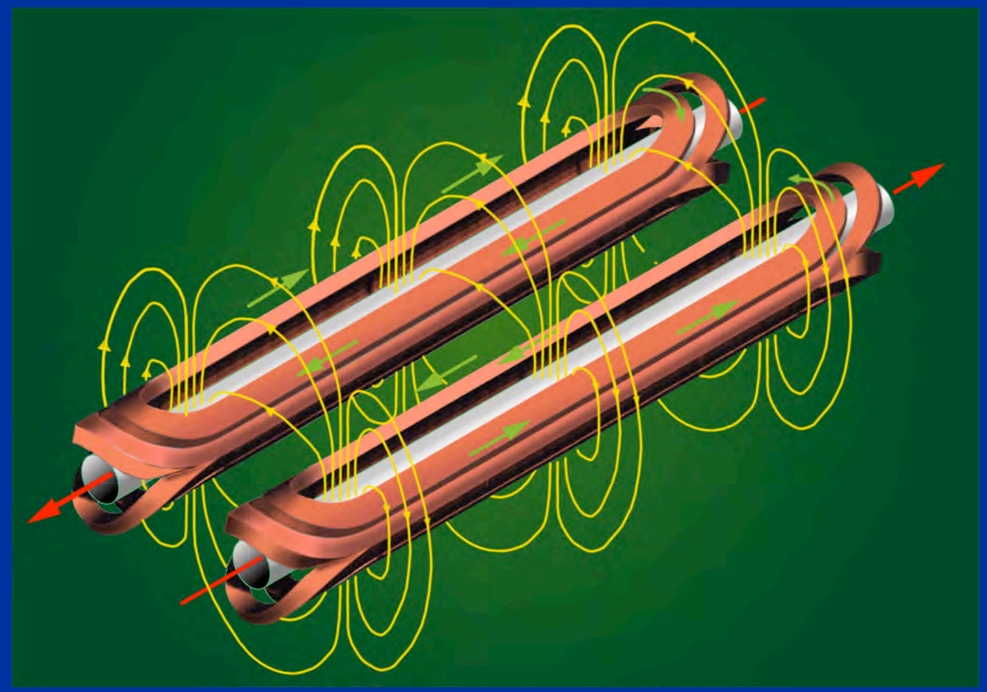
Un gruppo è lungo ~6 cm e largo ~0.02 mm (un quinto di un capello umano)

Possibilità di far circolare e collidere anche ioni pesanti: Pb, Xe producendo una “densità” energetica ancora superiore.

LHC: Large Hadron Collider

Magneti superconduttori sono utilizzati per curvare i protoni nel tunnel





Campi magnetici di 8.3 Tesla= 200.000 volte quello terrestre

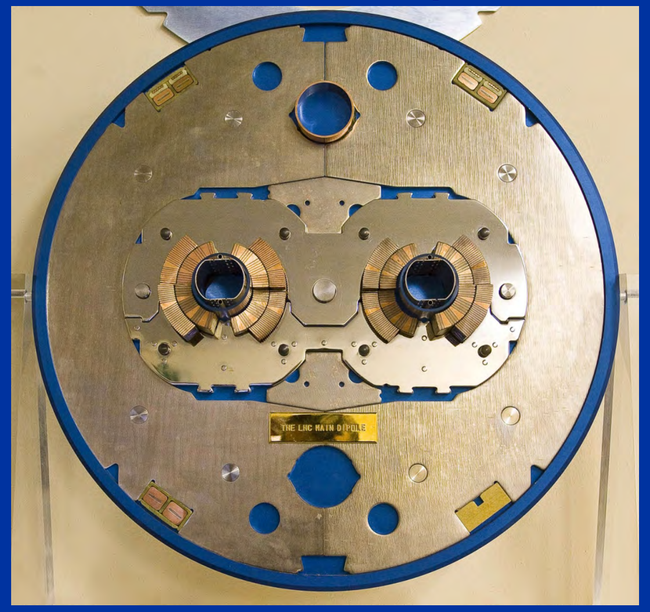
11500 Ampere scorrono in ognuno dei magneti (~2000 forni da cucina)

L'energia immagazzinata in un fascio: 80 kg di tritolo

LHC: Large Hadron Collider

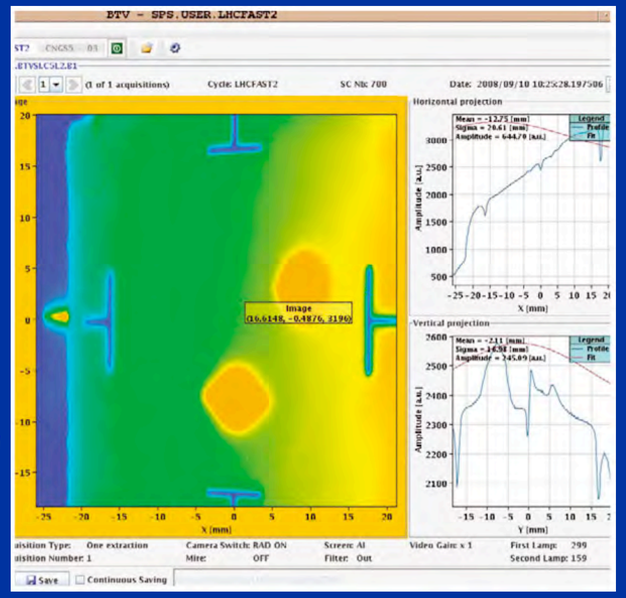
Ci sono 1232 dipoli (magneti) nell'LHC, ognuno dei quali lungo 15 m.

Sezione di dipolo

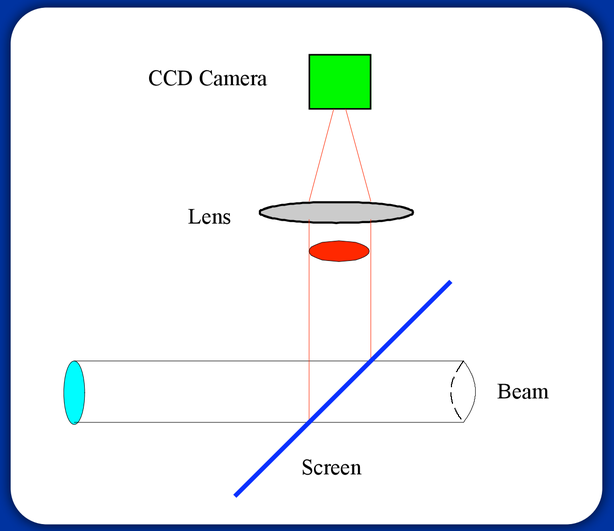


Il vuoto all'interno del tubo e' maggiore che nello spazio interstellare: 10^{-13} atm ($3x10^6$ molecole/cm^3)
I magneti superconduttori sono raffreddati con elio liquido a -271 gradi C (più freddo che nello spazio esterno)
12 milioni di litri di azoto liquido sono vaporizzati nella fase iniziale di raffreddamento ed in totale sono necessari 700 000 litri di elio liquido

LHC: Large Hadron Collider

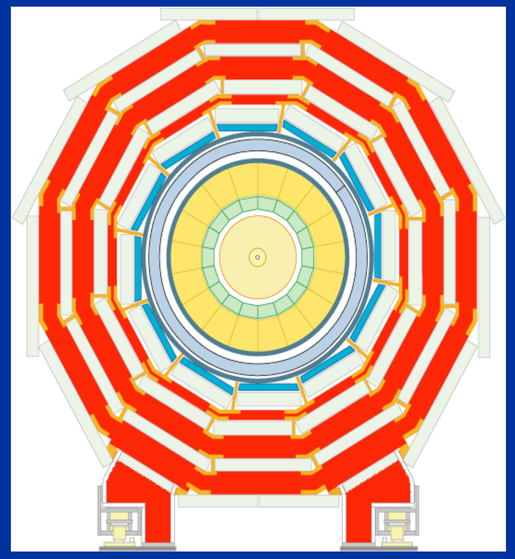


Primi fasci in LHC il 10/9/2008 alle 10:23.
Schermi fluorescenti hanno registrato il giro completo di un singolo fascio.



Come si osservano le particelle elementari

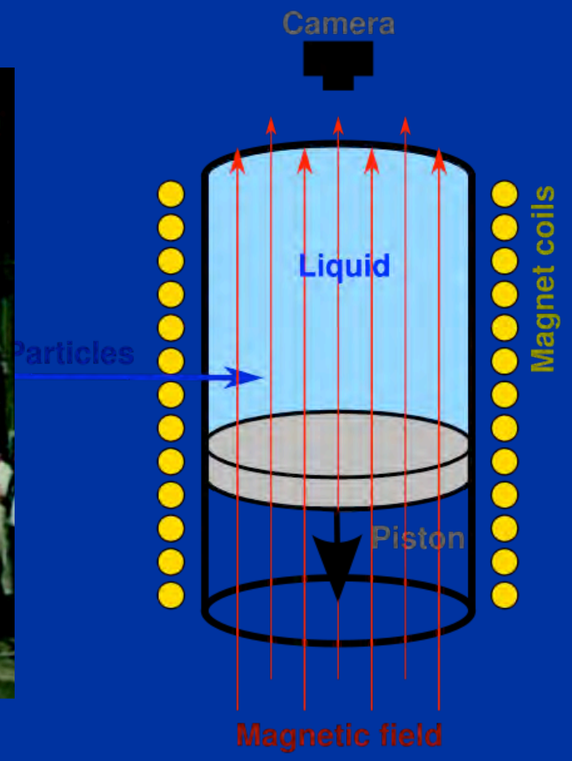
- Le particelle che hanno una carica elettrica, passando attraverso la materia, interagiscono con gli elettroni degli atomi producendo degli effetti a valanga visibili macroscopicamente
- Le particelle neutre “urtando” contro i nuclei degli atomi, o interagendo con gli atomi stessi, rallentano e cedono parte della loro energia alla materia attraversata.
- Le particelle instabili, che si trasformano in altre particelle subito dopo essere state prodotte (p.e. l’Higgs), vengono rivelate studiando i prodotti di decadimento

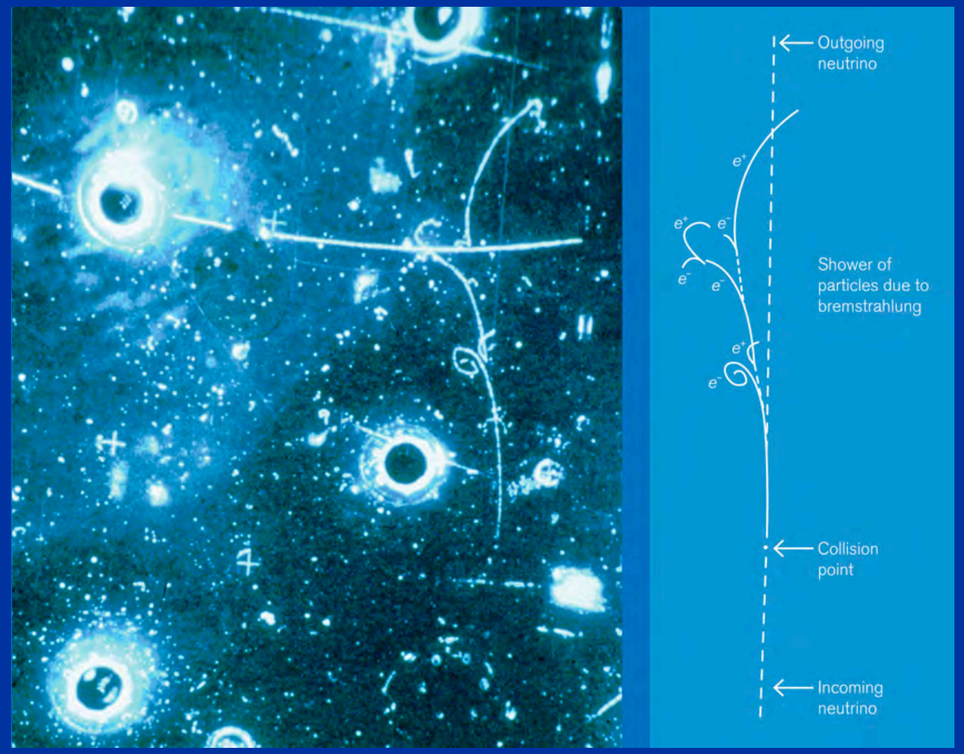


Come si osservano le particelle elementari

All’inizio c’erano le camere a bolle: 1973 - scoperta della correnti neutre (Z)

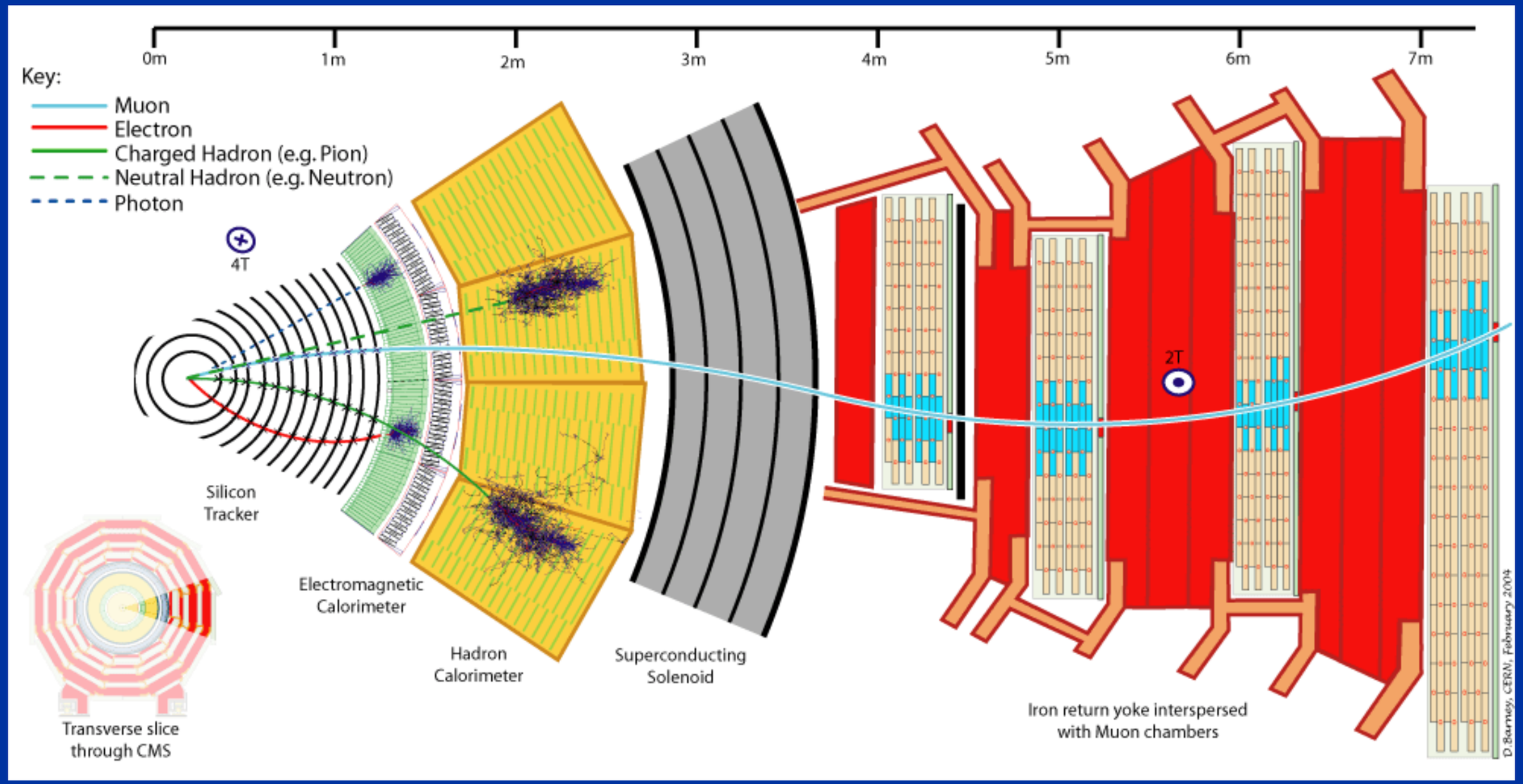
Gargamelle





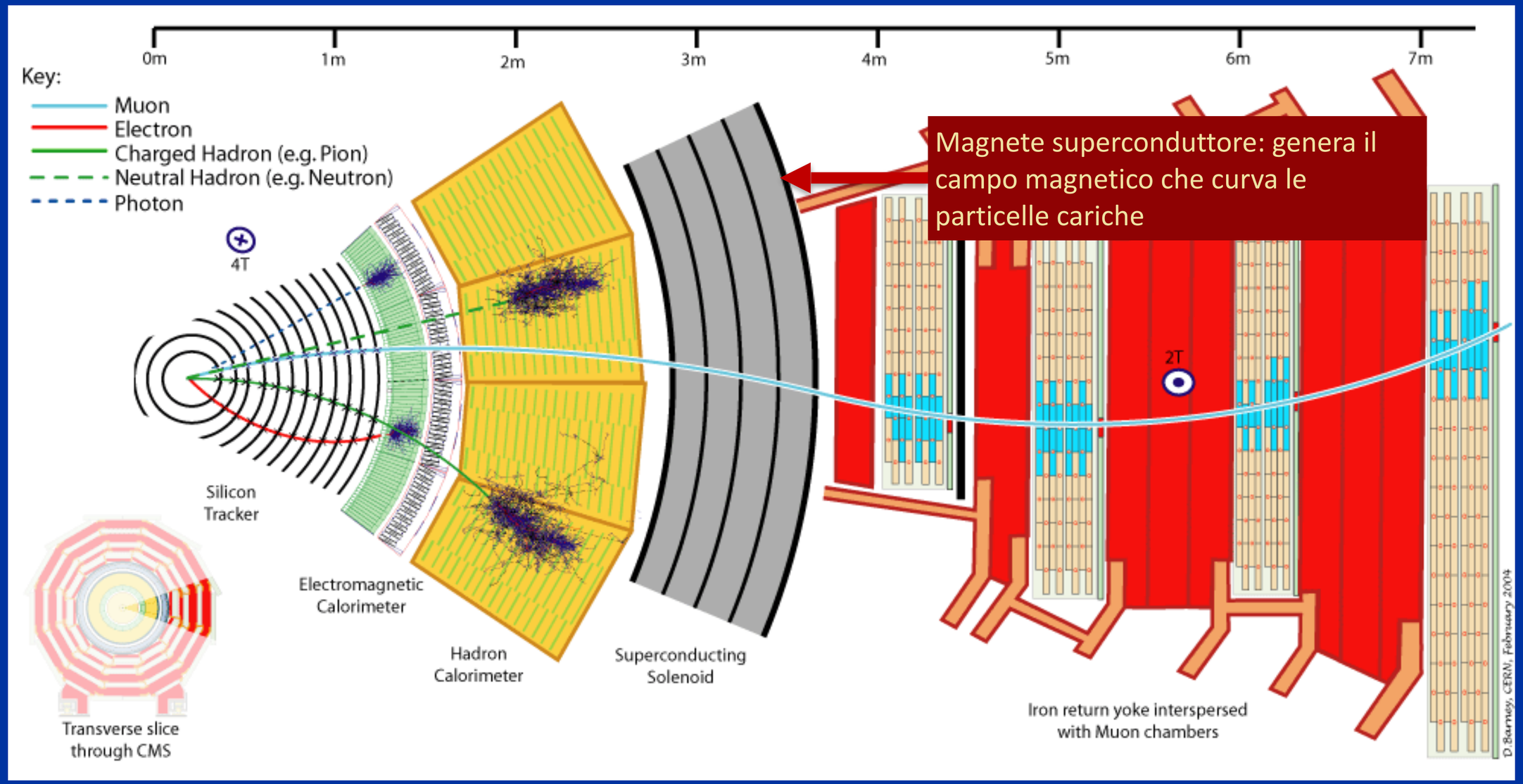
Come si osservano le particelle elementari

Oggi: tipicamente rivelatori giganteschi a “cipolla”



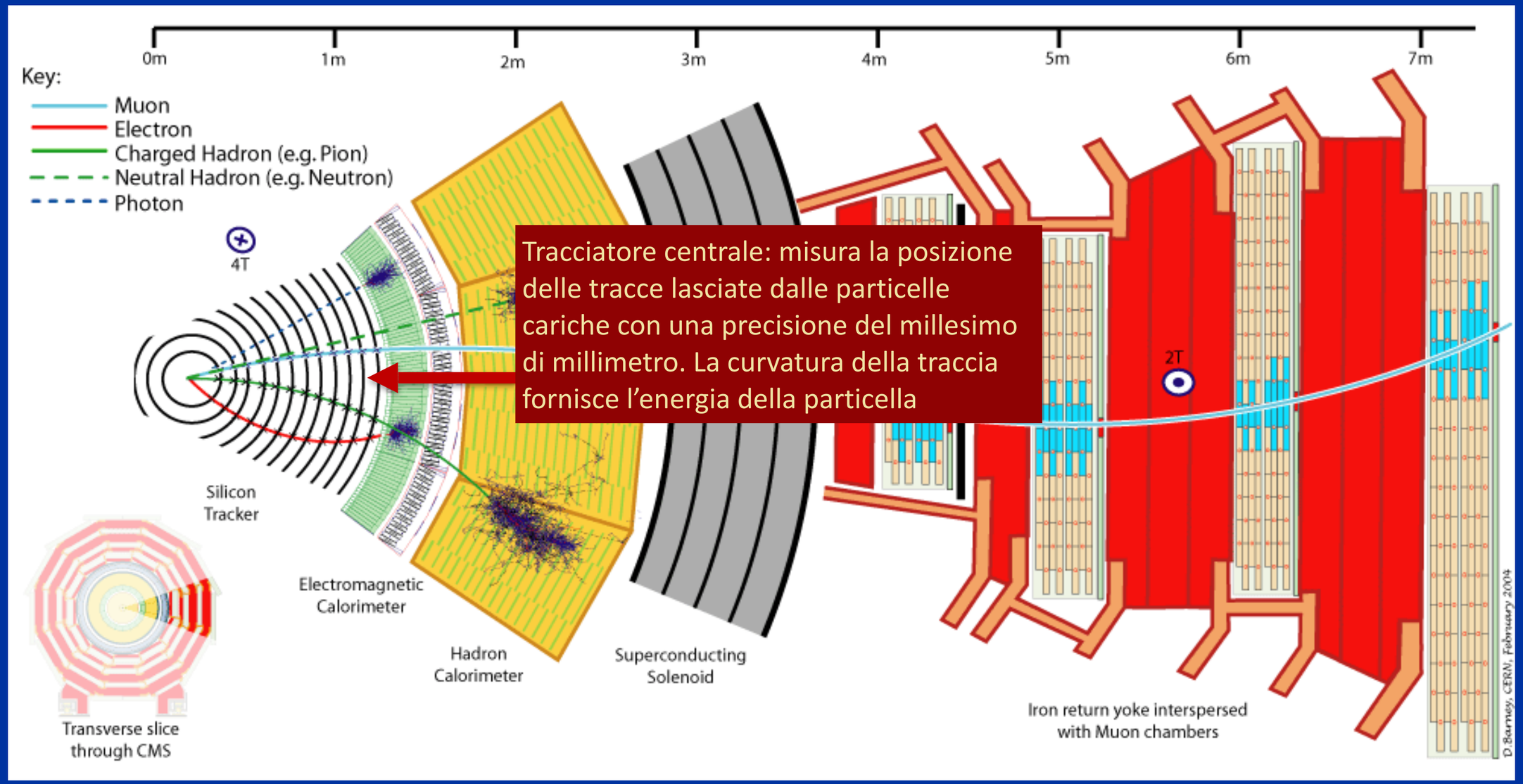
Come si osservano le particelle elementari

Oggi: tipicamente rivelatori giganteschi a “cipolla”



Come si osservano le particelle elementari

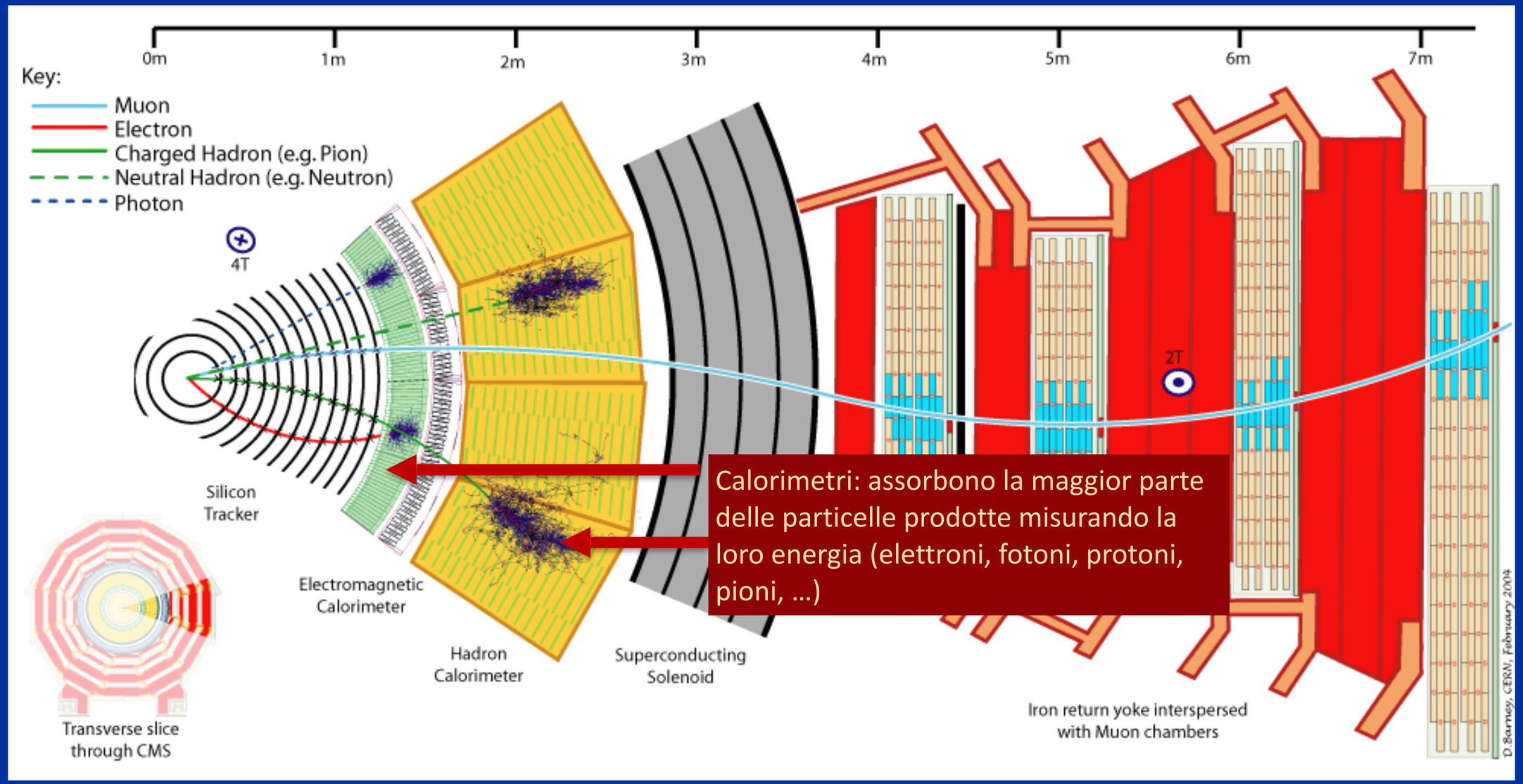
Oggi: tipicamente rivelatori giganteschi a “cipolla”



Tracciatore centrale: misura la posizione delle tracce lasciate dalle particelle cariche con una precisione del millesimo di millimetro. La curvatura della traccia fornisce l’energia della particella

Come si osservano le particelle elementari

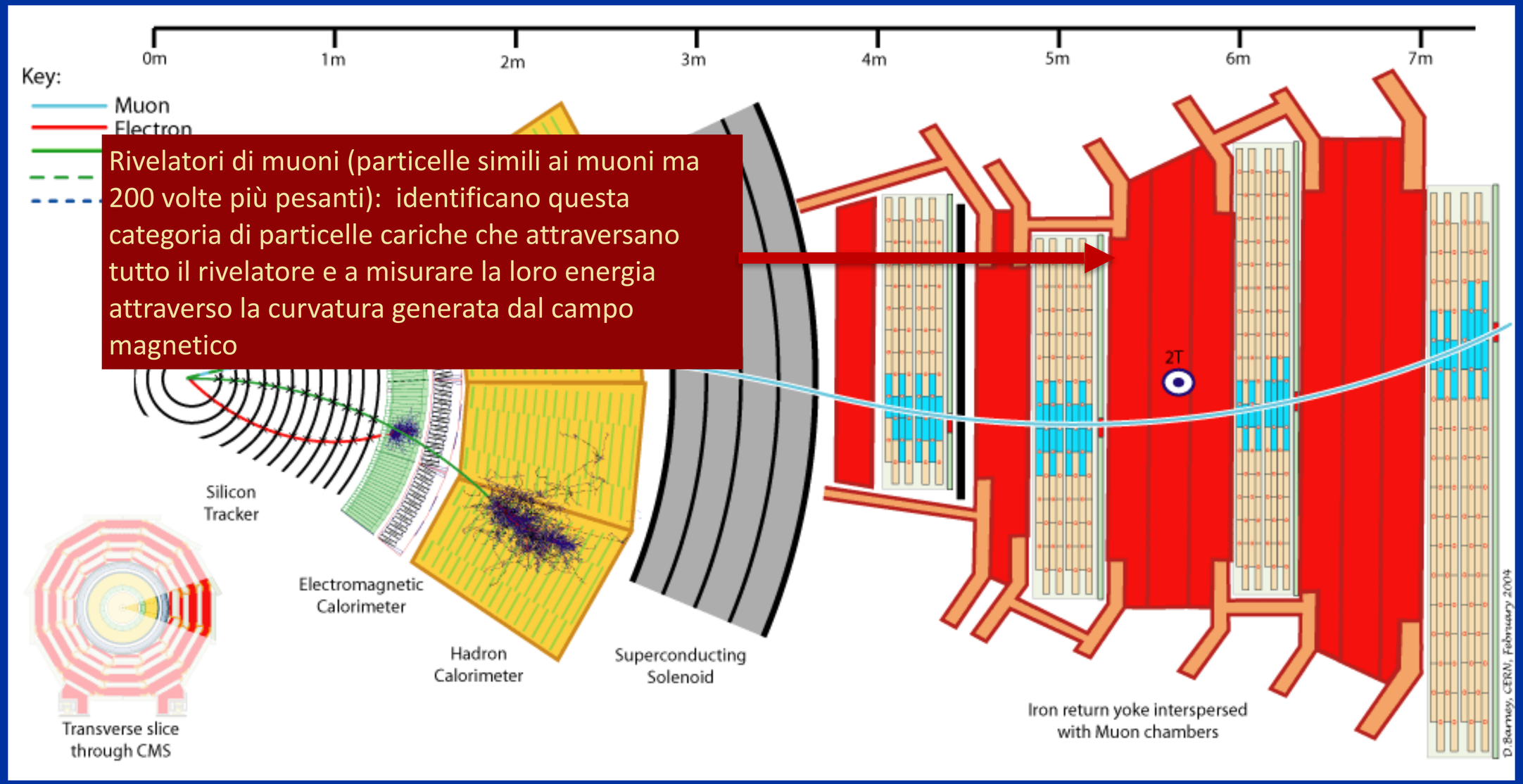
Oggi: tipicamente rivelatori giganteschi a “cipolla”



Calorimetri: assorbono la maggior parte delle particelle prodotte misurando la loro energia (elettroni, fotoni, protoni, pioni, …)

Come si osservano le particelle elementari

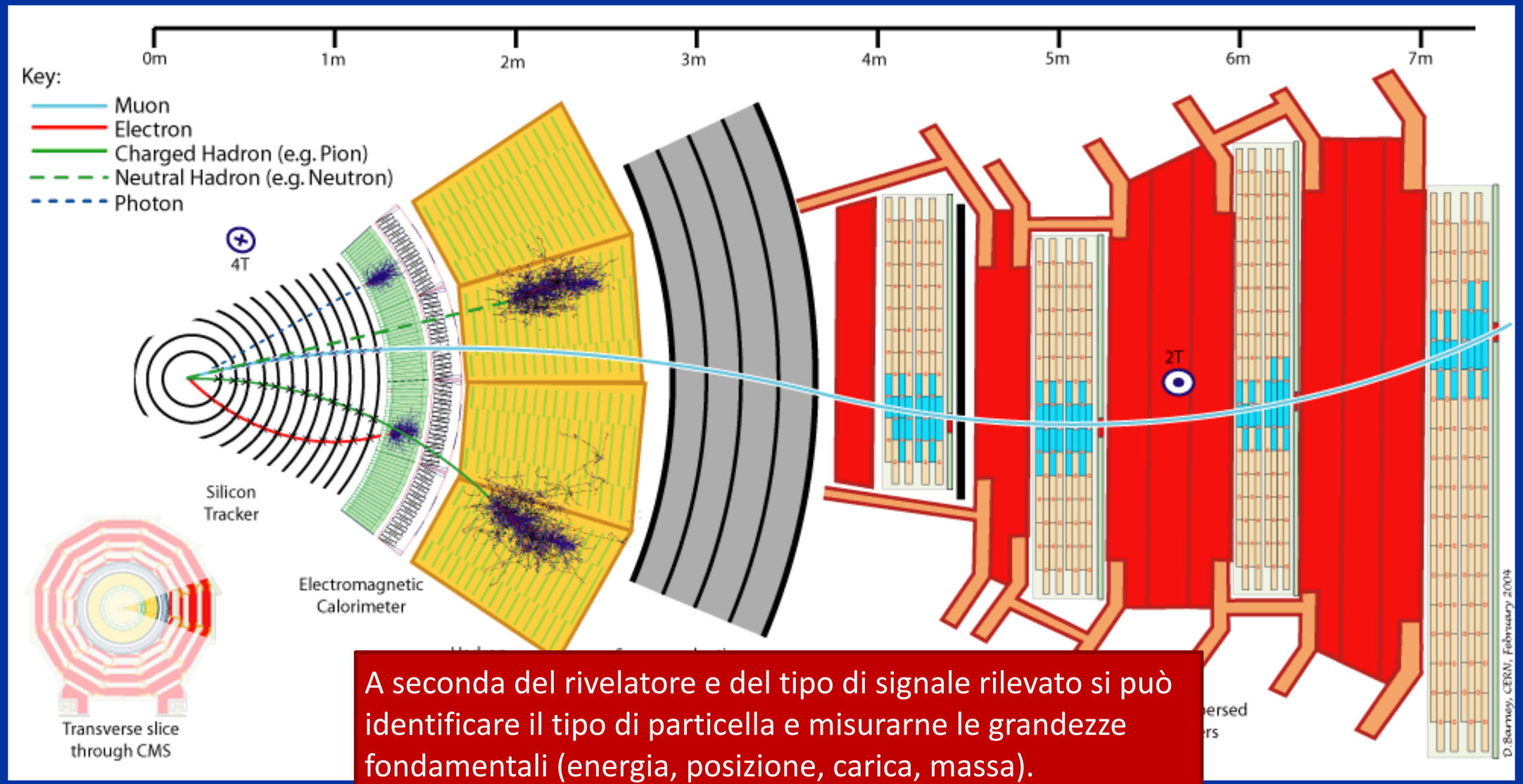
Oggi: tipicamente rivelatori giganteschi a “cipolla”



Rivelatori di muoni (particelle simili ai muoni ma 200 volte più pesanti): identificano questa categoria di particelle cariche che attraversano tutto il rivelatore e a misurare la loro energia attraverso la curvatura generata dal campo magnetico

Come si osservano le particelle elementari

Oggi: tipicamente rivelatori giganteschi a “cipolla”



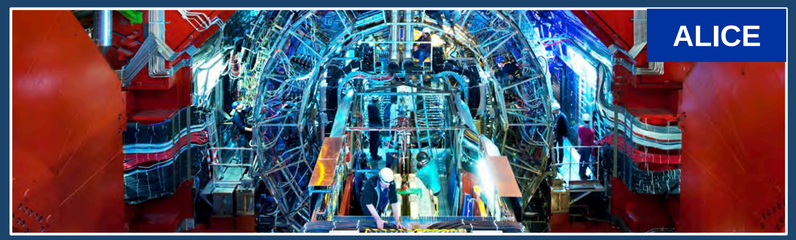
A seconda del rivelatore e del tipo di signale rilevato si può identificare il tipo di particella e misurarne le grandezze fondamentali (energia, posizione, carica, massa).

Rivelatori giganti in quattro punti di collisione per le particelle formate dallo scontro di protoni

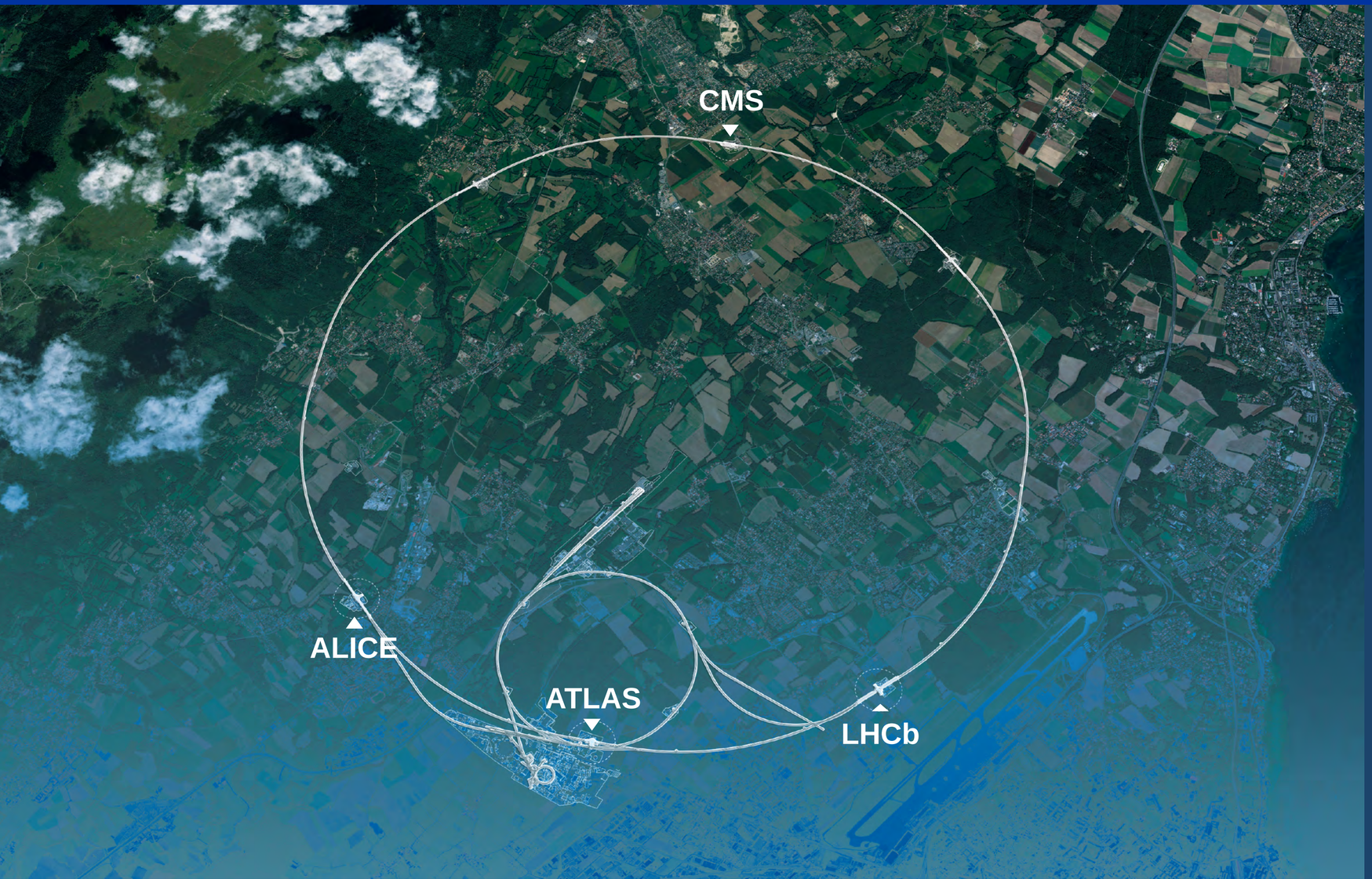
Rivelatori giganti in quattro punti di collisione per le particelle formate dallo scontro di protoni

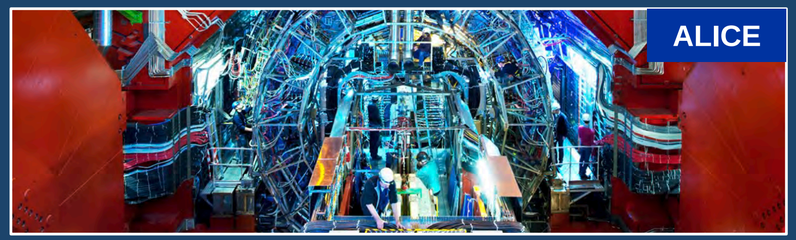
Rivelatori giganti in quattro punti di collisione per le particelle formate dallo scontro di protoni

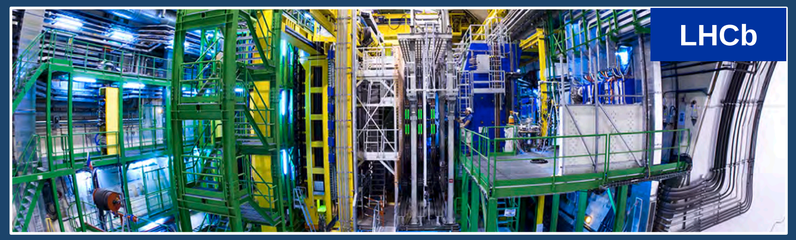
Rivelatori giganti in quattro punti di collisione per le particelle formate dallo scontro di protoni



Rivelatori giganti in quattro punti di collisione per le particelle formate dallo scontro di protoni

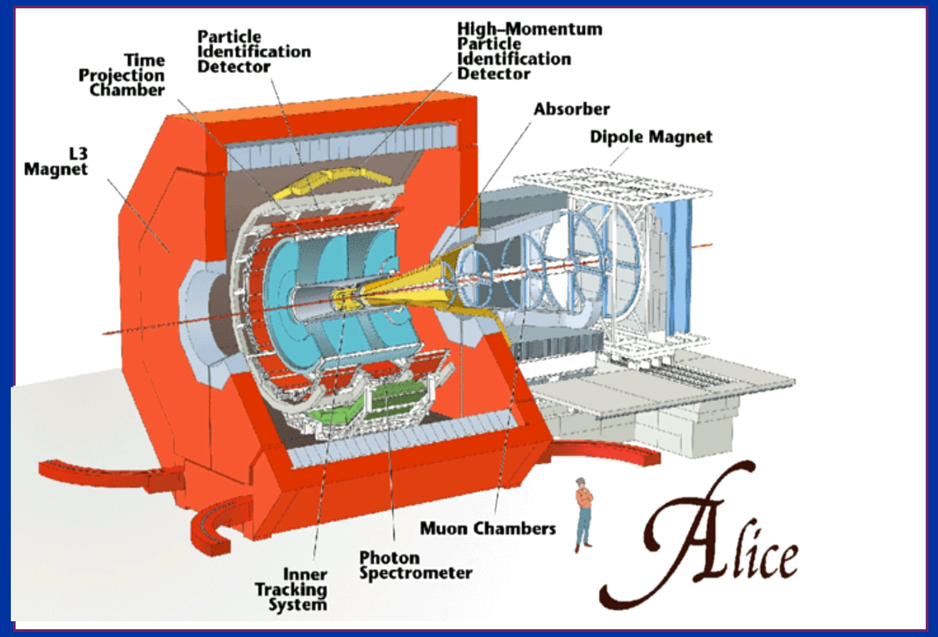




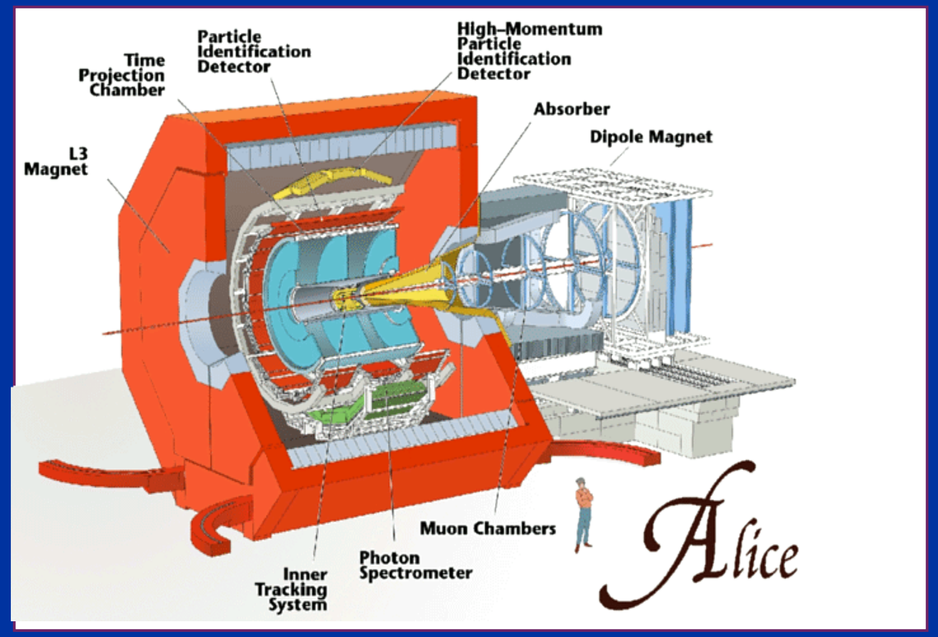


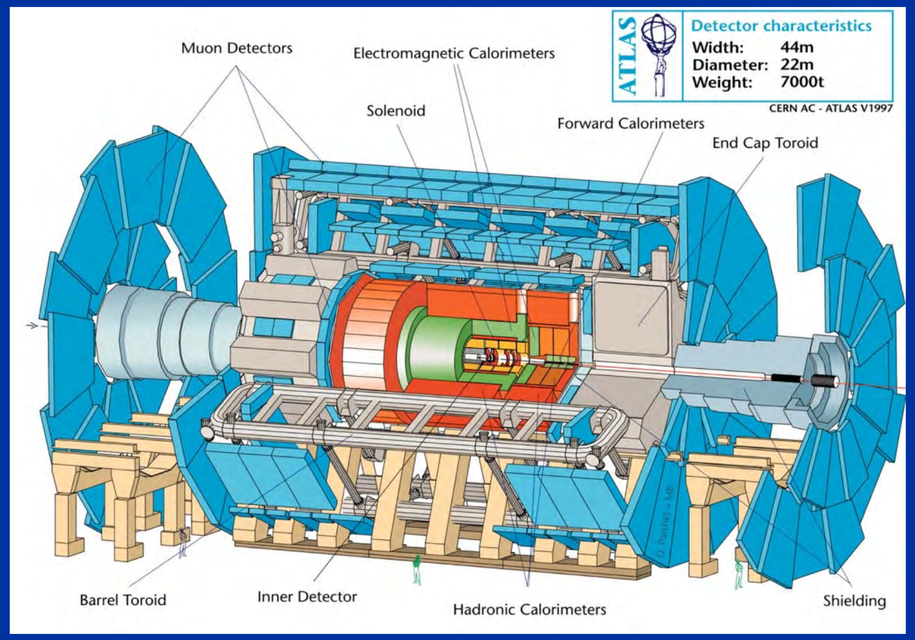
I quattro rivelatori principali dell’LHC

I quattro rivelatori principali dell’LHC

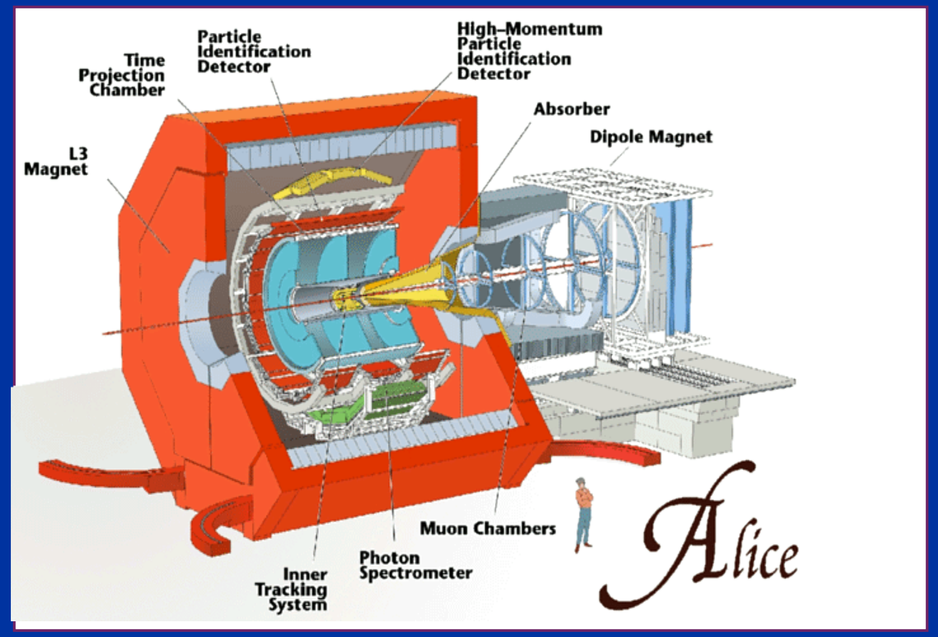


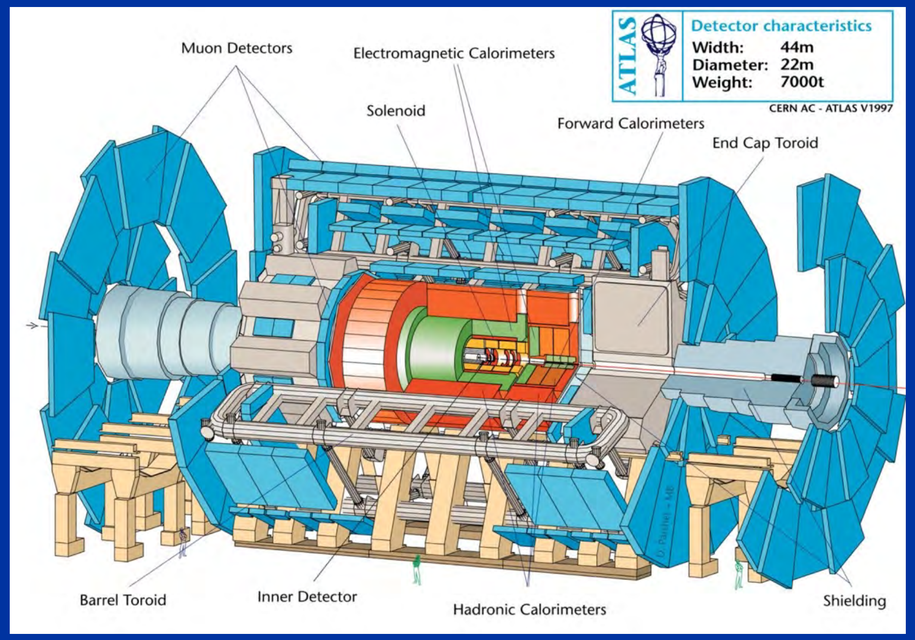
I quattro rivelatori principali dell'LHC

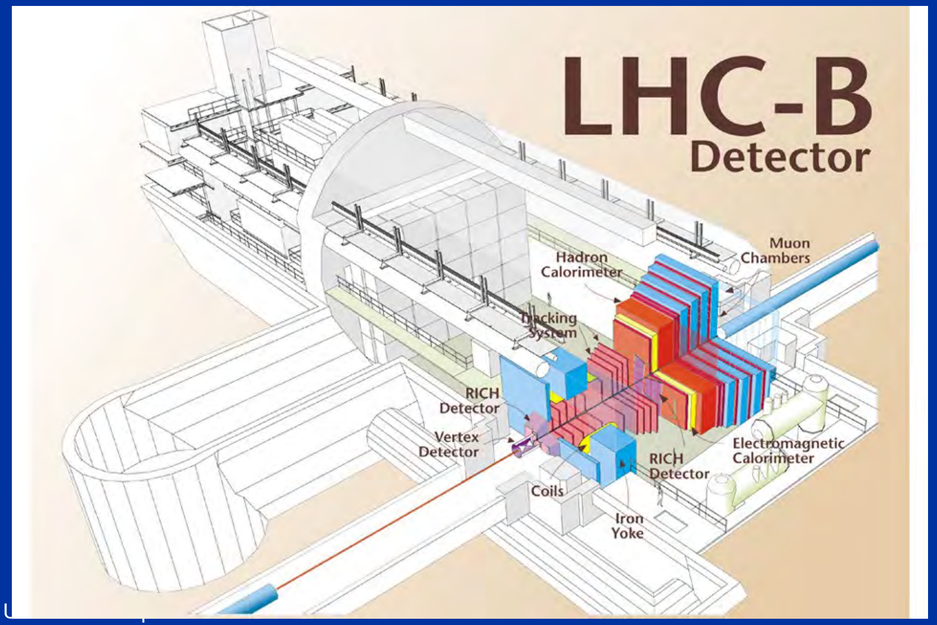




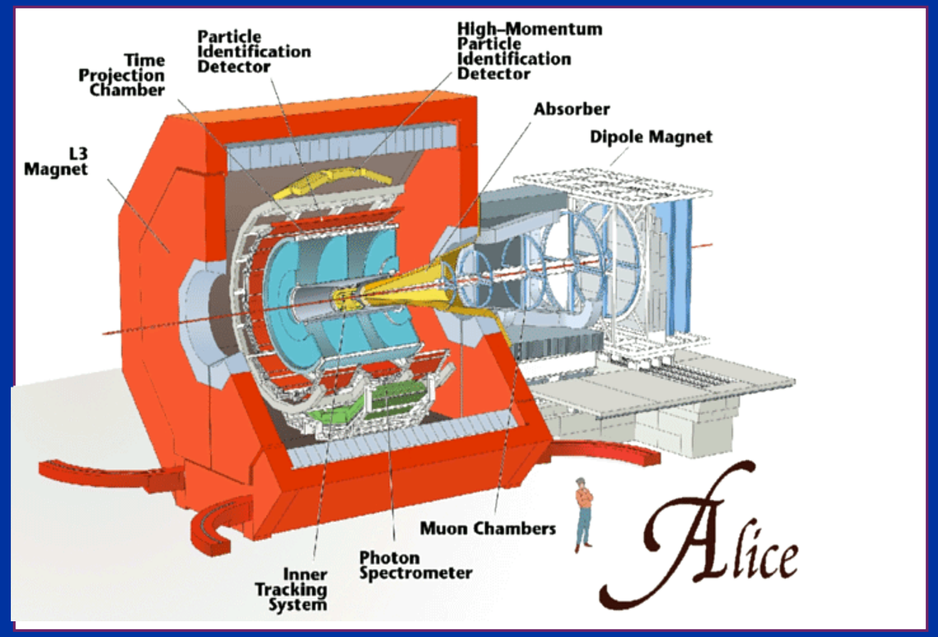
I quattro rivelatori principali dell'LHC

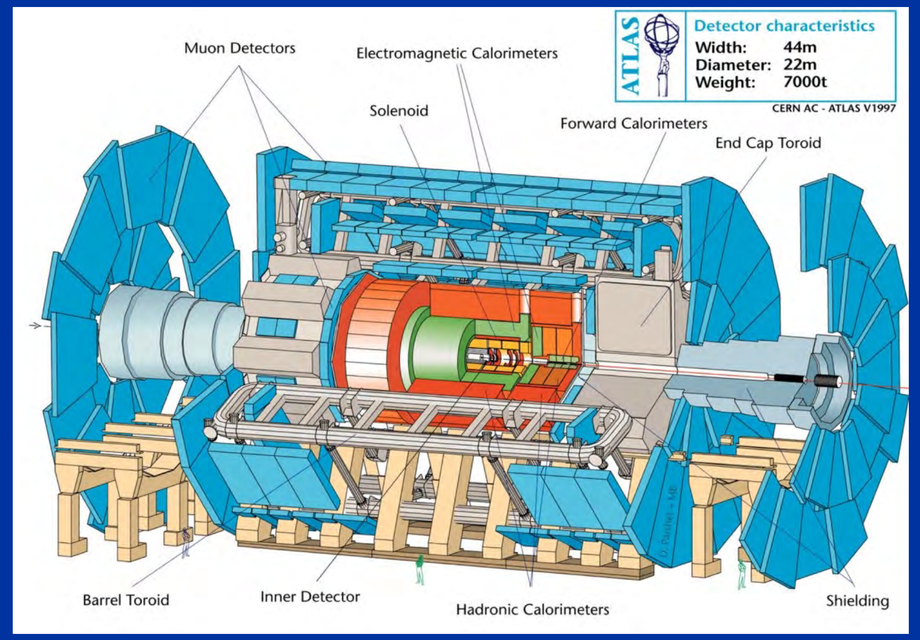


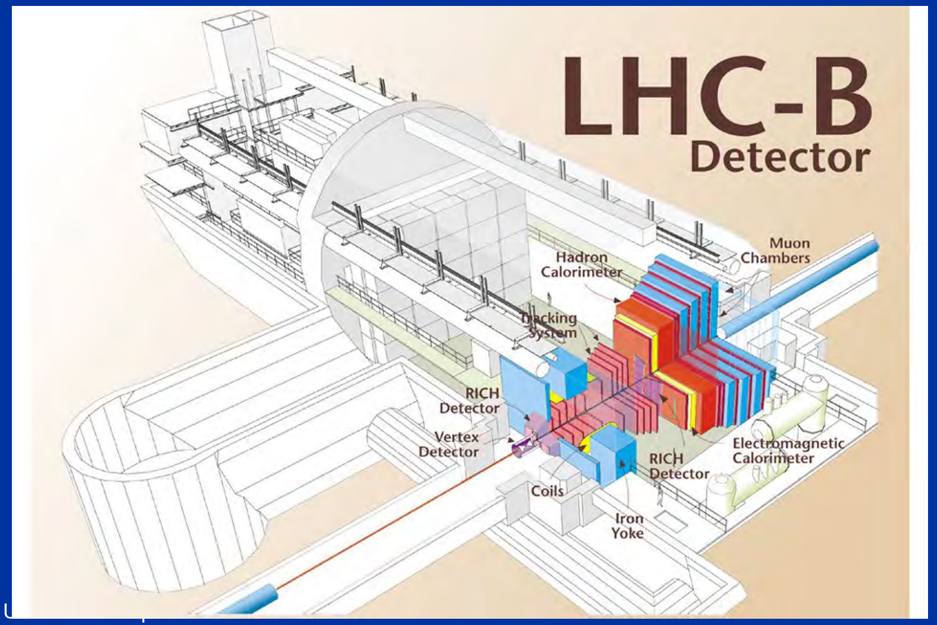


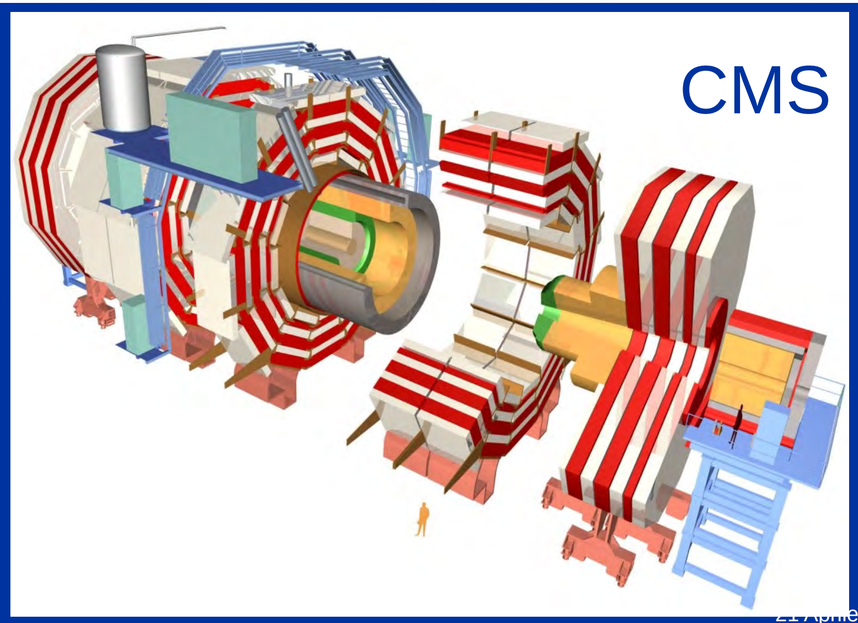


I quattro rivelatori principali dell'LHC

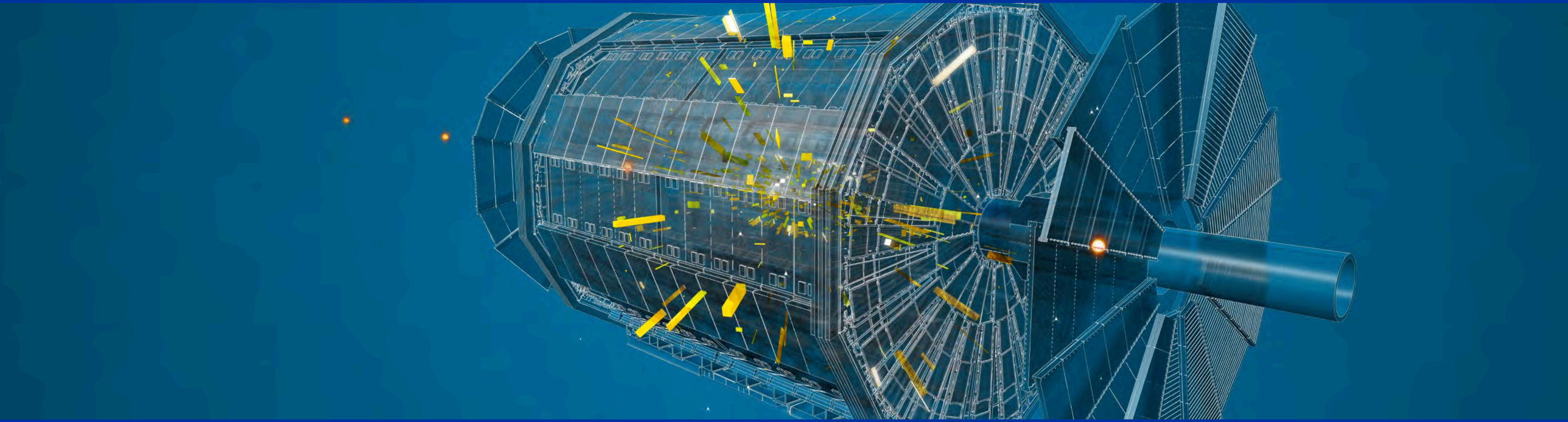




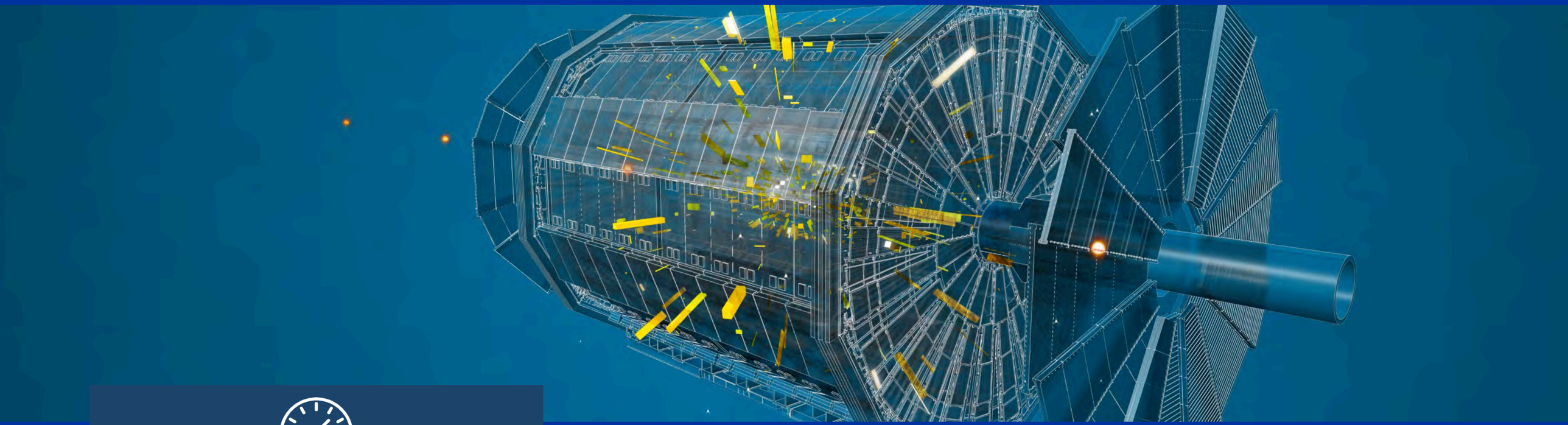




I rivelatori LHC sono analoghi a macchine fotografiche in 3 dimensioni

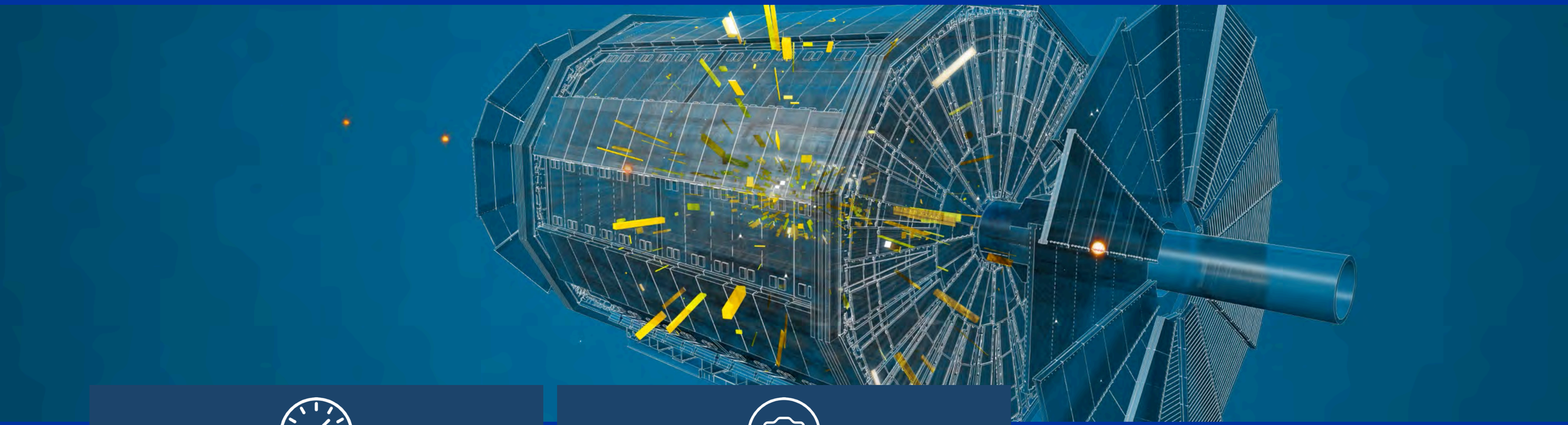


I rivelatori LHC sono analoghi a macchine fotografiche in 3 dimensioni



I rivelatori misurano l’energia, la direzione e la cariche delle particelle prodotte nelle collisioni

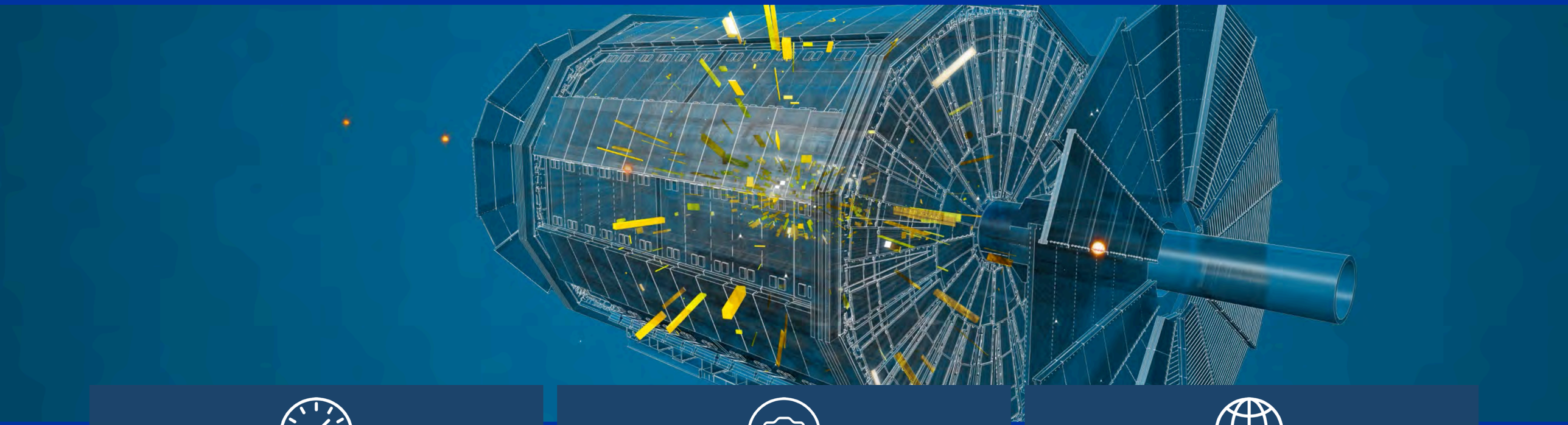
I rivelatori LHC sono analoghi a macchine fotografiche in 3 dimensioni



I rivelatori misurano l’energia, la direzione e la cariche delle particelle prodotte nelle collisioni

40 milioni di “foto” al secondo sono scattate ma solo ~1000 sono salvate per studi più approfonditi

I rivelatori LHC sono analoghi a macchine fotografiche in 3 dimensioni



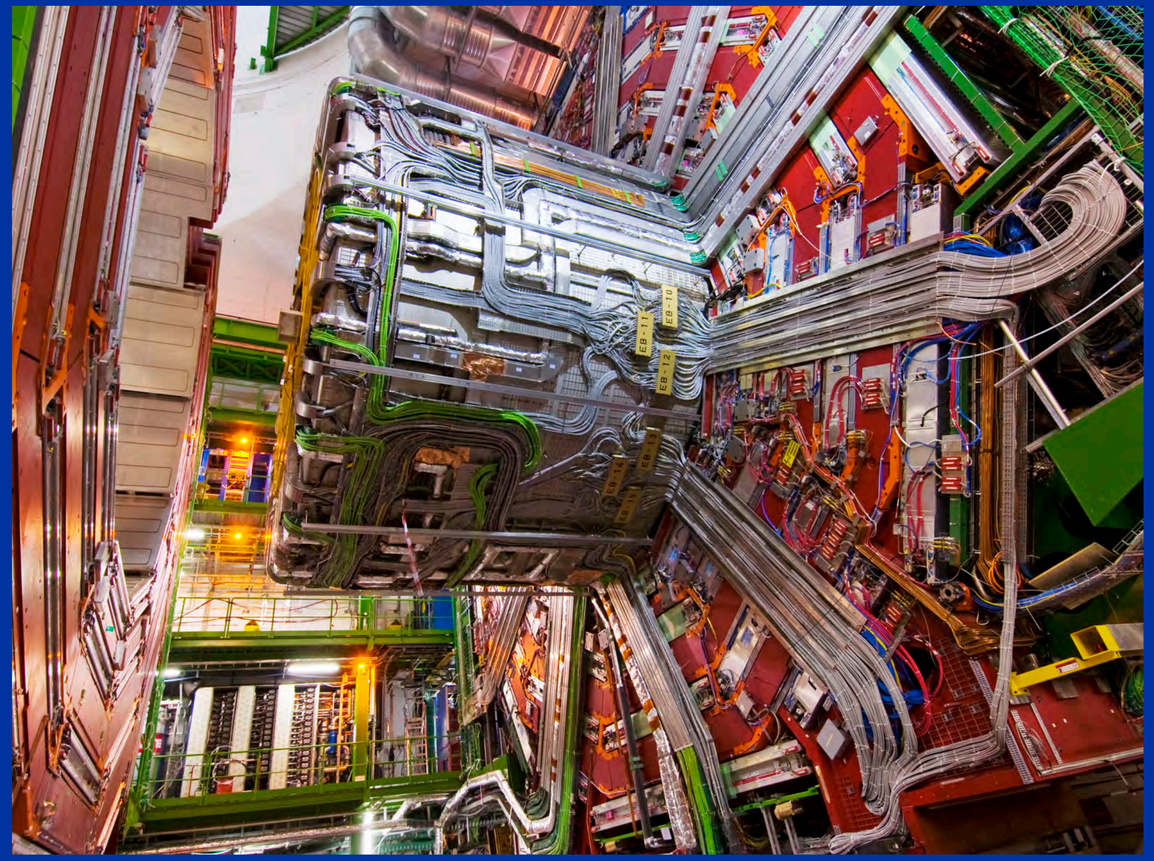
I rivelatori misurano l’energia, la direzione e la cariche delle particelle prodotte nelle collisioni

40 milioni di “foto” al secondo sono scattate ma solo ~1000 sono salvate per studi più approfonditi

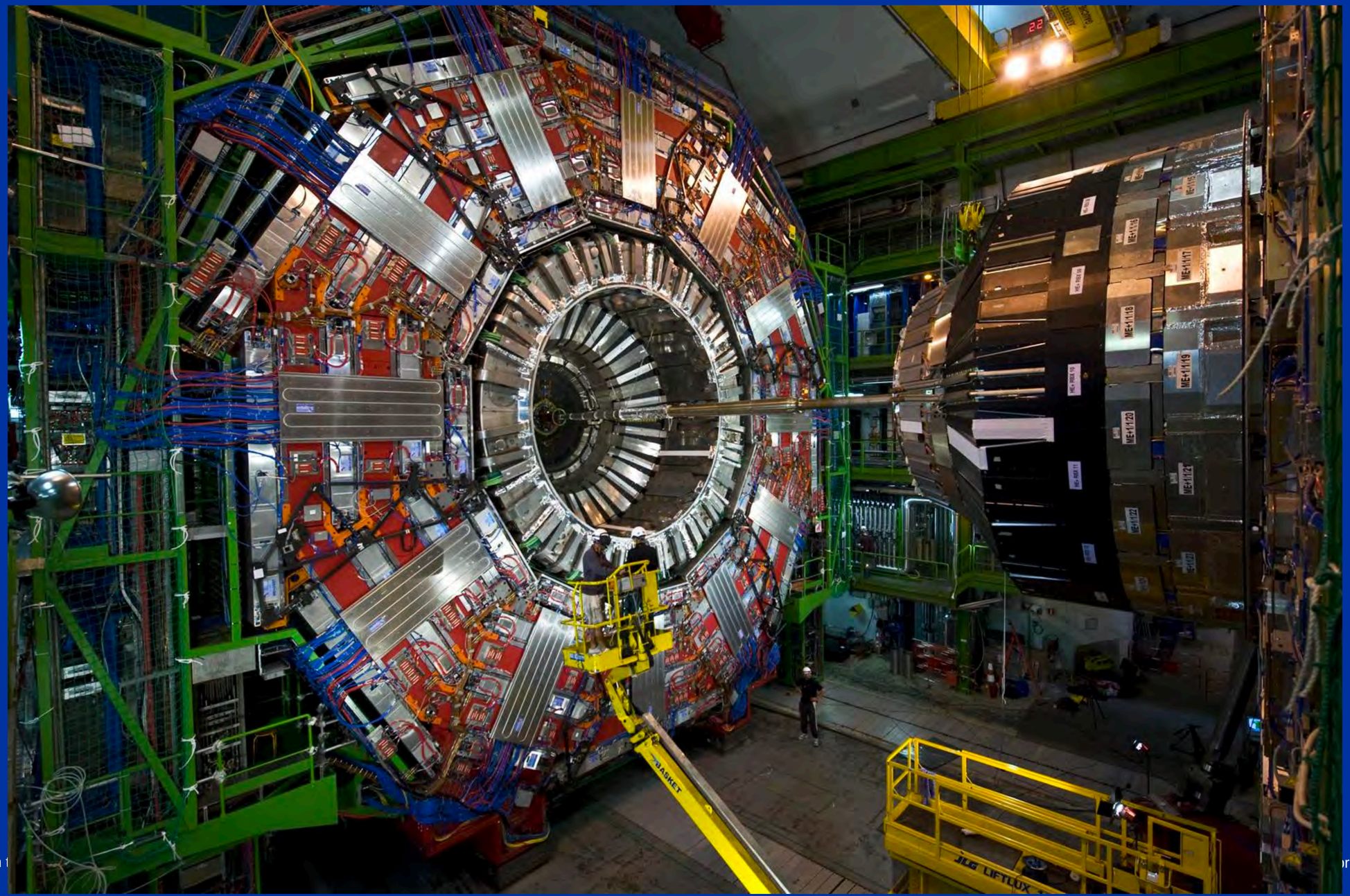
I rivelatori dell’LHC sono stati costruiti da collaborazioni internazionali distribuite in tutto il mondo

CMS come esempio

Cablaggi di CMS ad opera finita



CMS during maintenance



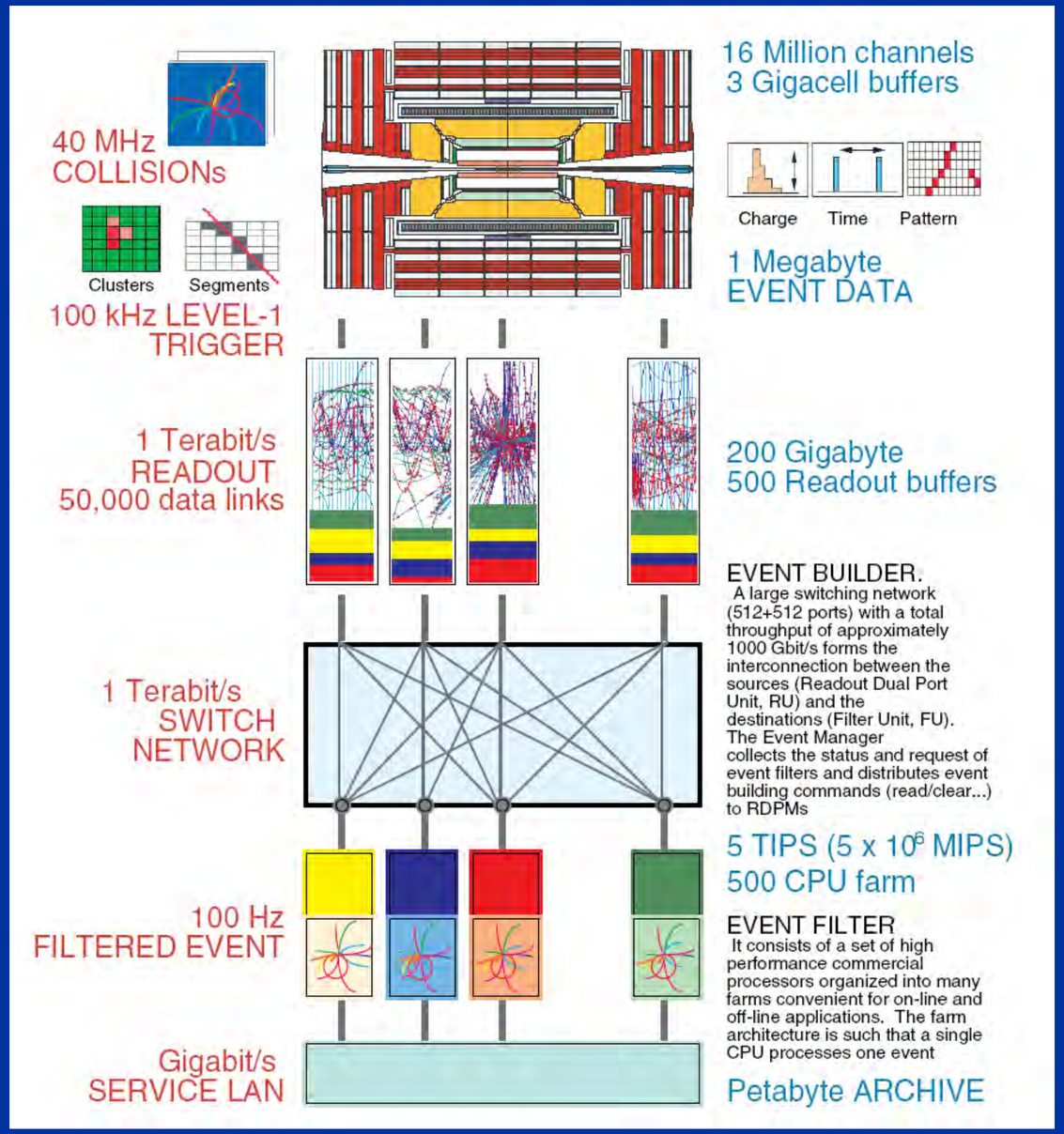
Come leggere ed archiviare questi dati

I segnali elettrici (>100 milioni canali) vengono letti 40 milioni di volte al secondo. Di queste collisioni, solo le ~1000 più interessanti vengono “salvate” su disco ogni secondo.

La velocità di lettura e’ di 500 GB/s, paragonabile a tutti i servizi di comunicazione messi insieme.

Ogni secondo l’equivalente di 10000 enciclopedie (volume di dati) vengono analizzate.

4000 computer (a 12 pocessori, 32 GB) sono necessari per la selezione degli eventi real-time



La griglia di calcolo distribuita nel mondo:

Utilizzata per memorizzare, distribuire, processare e analizzare i dati

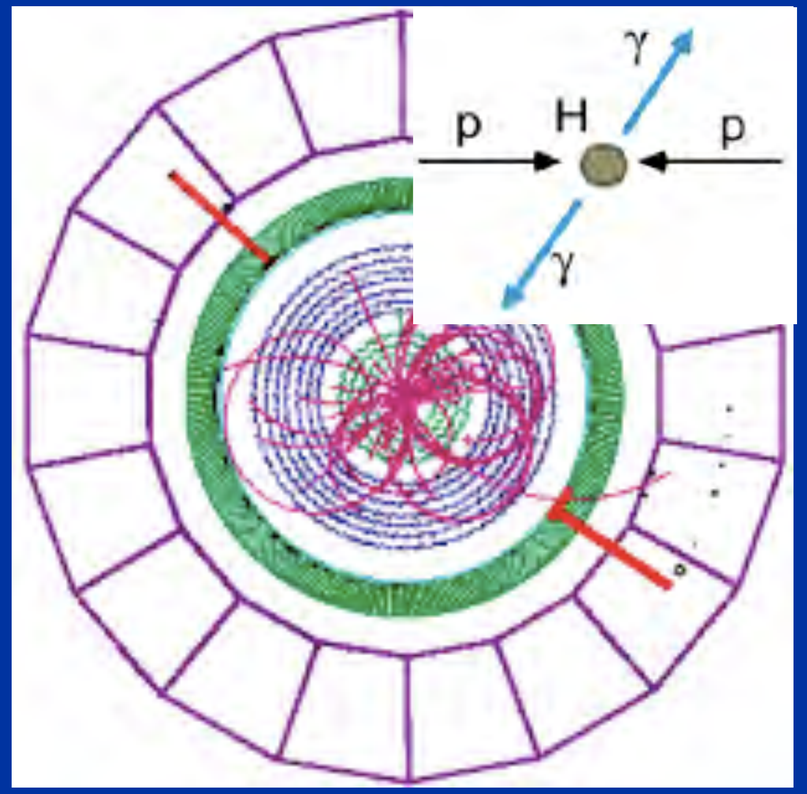
~1 milione di processori (cores) in ~160 centri di calcolo in 42 paesi

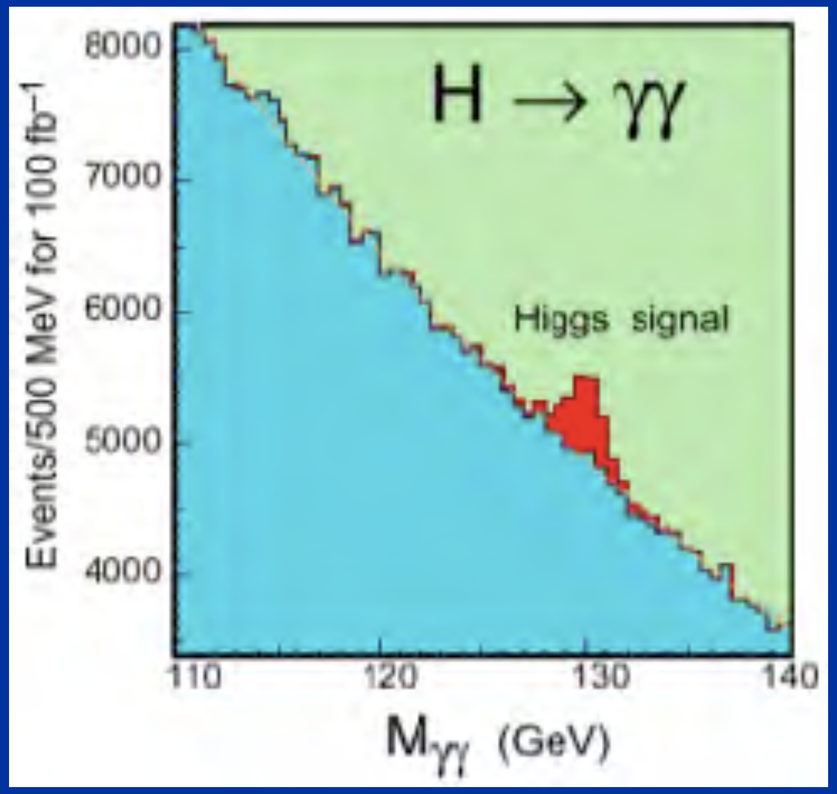
Più di 1000 Petabytes di dati immagazzinati in tutto il mondo

Come facciamo a “vedere” un bosone di Higgs?

Il bosone di Higgs, se creato, decade subito in altre particelle.
Una possibilità è il decadimento in due fotoni.
Le loro energie e direzioni possono essere utilizzate per ricostruirn la massa:

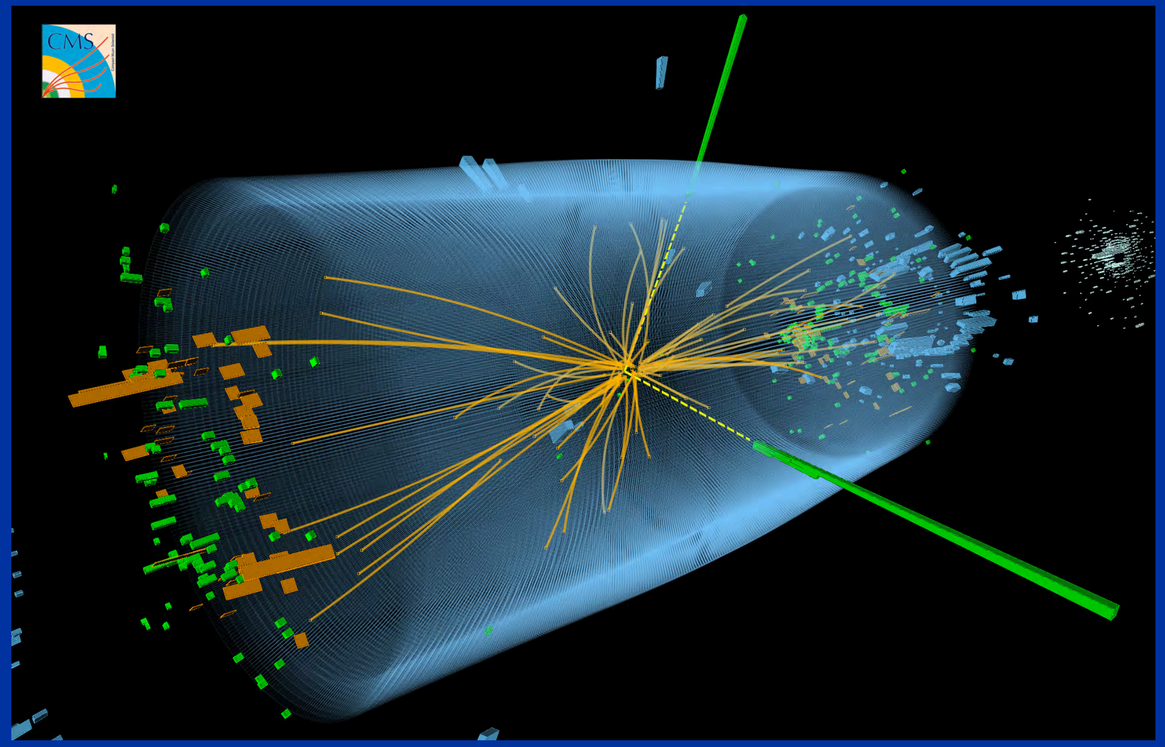
In preparazione della presa dati diversi studi di simulazione per ottimizzare i parametri del rivelatore:



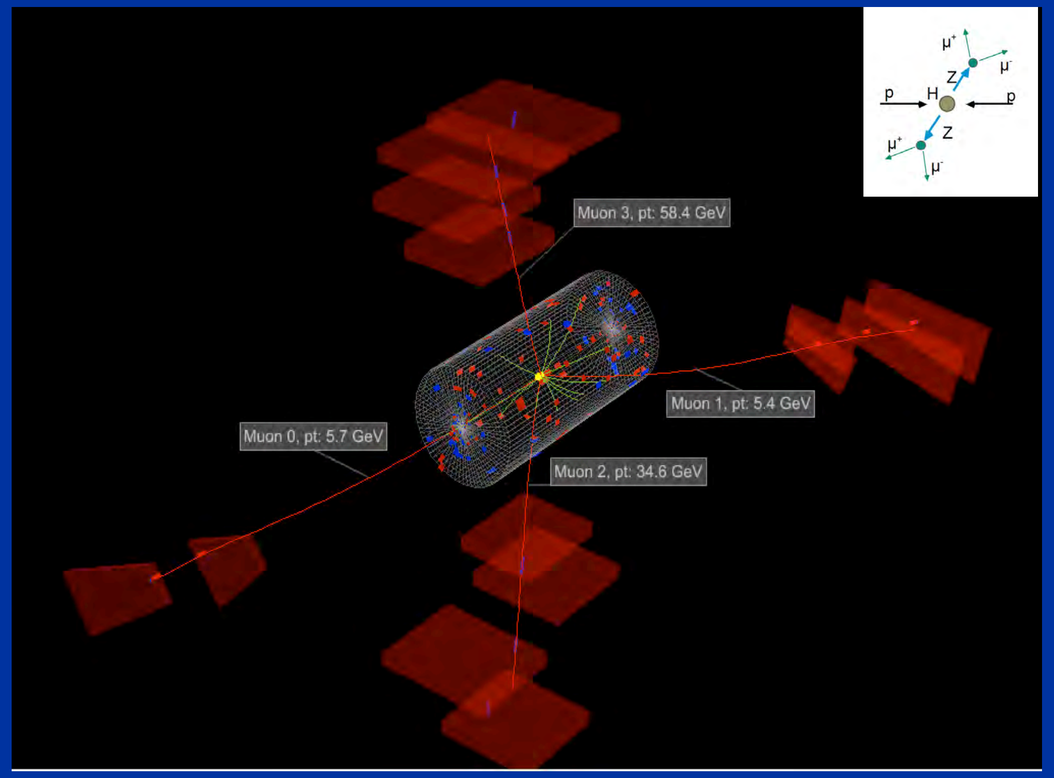


Dopo diversi anni di studio: le collisioni reali!

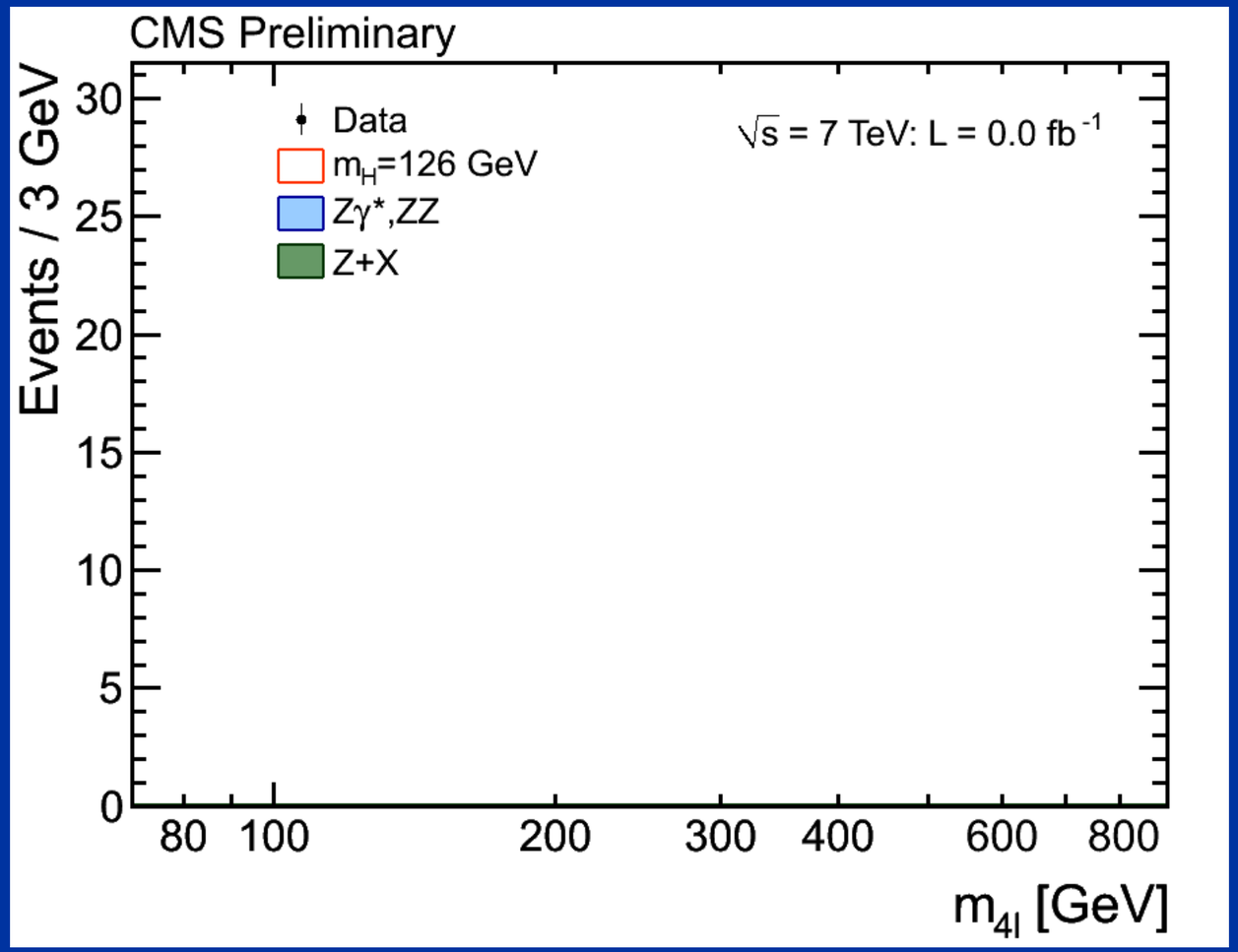
H→γγ event (Higgs in due fotoni)



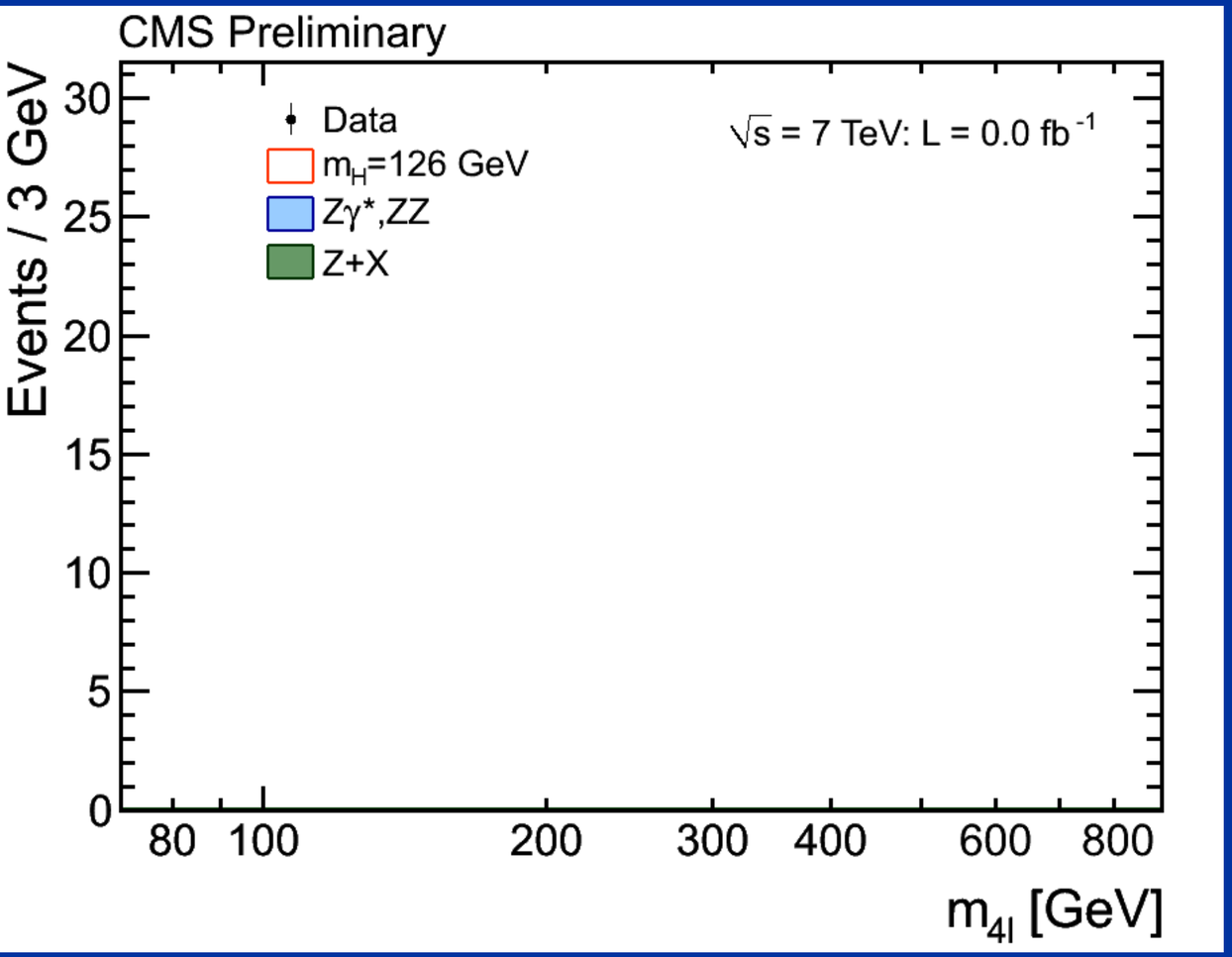
H→ZZ event (Higgs in quattro muoni)



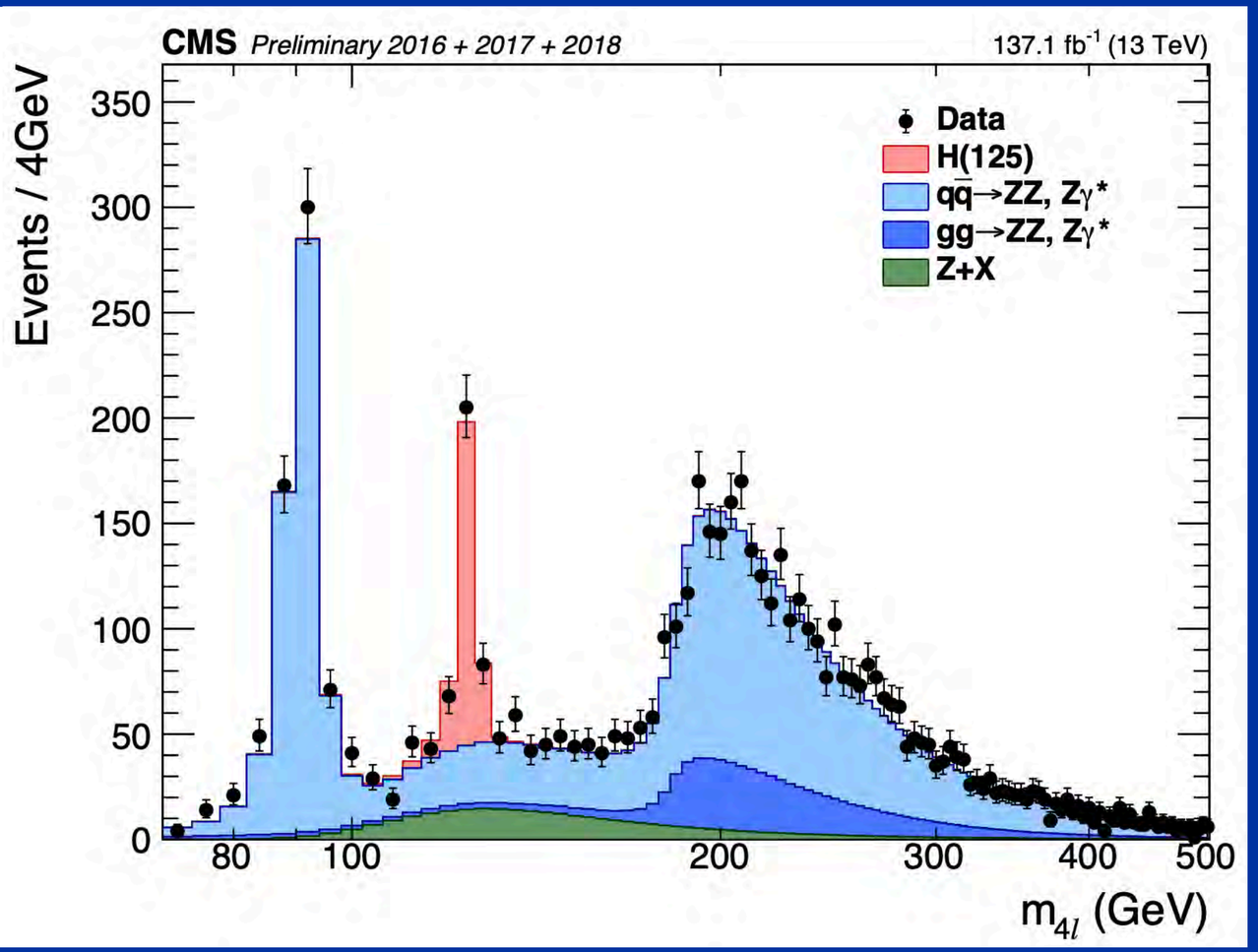
Ma non basta un solo evento:
bisogna essere sicuri che non si tratti di una fluttuazione statistica



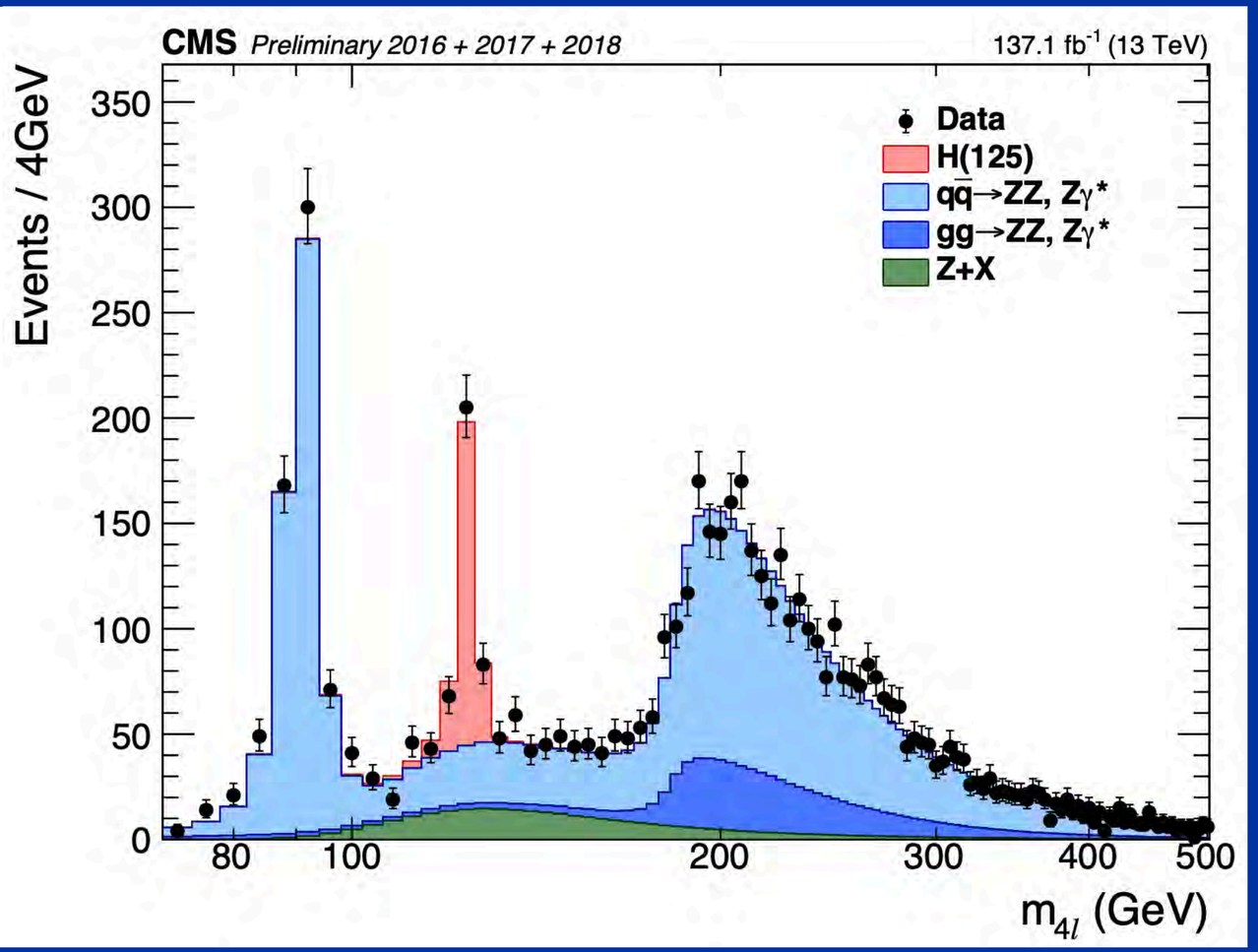
Ma non basta un solo evento:
bisogna essere sicuri che non si tratti di una fluttuazione statistica

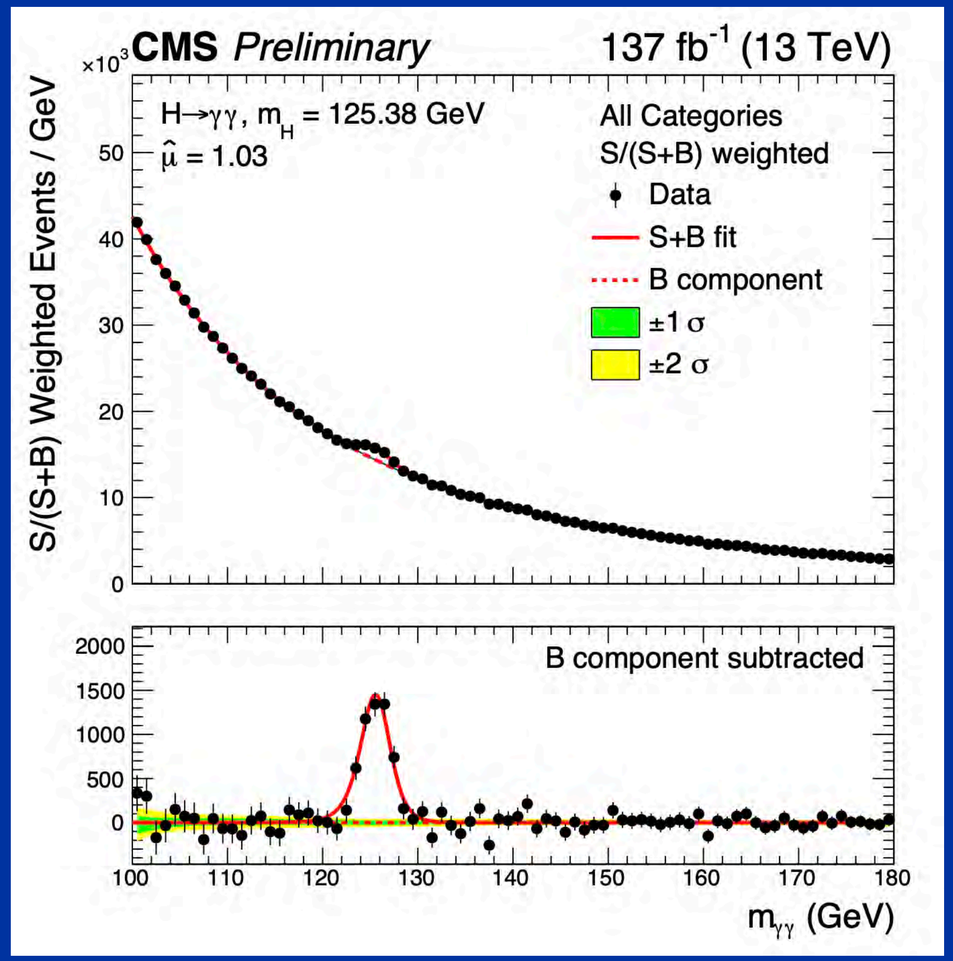


Ma non basta un solo evento:
bisogna essere sicuri che non si tratti di una fluttuazione statistica



Ma non basta un solo evento:
bisogna essere sicuri che non si tratti di una fluttuazione statistica





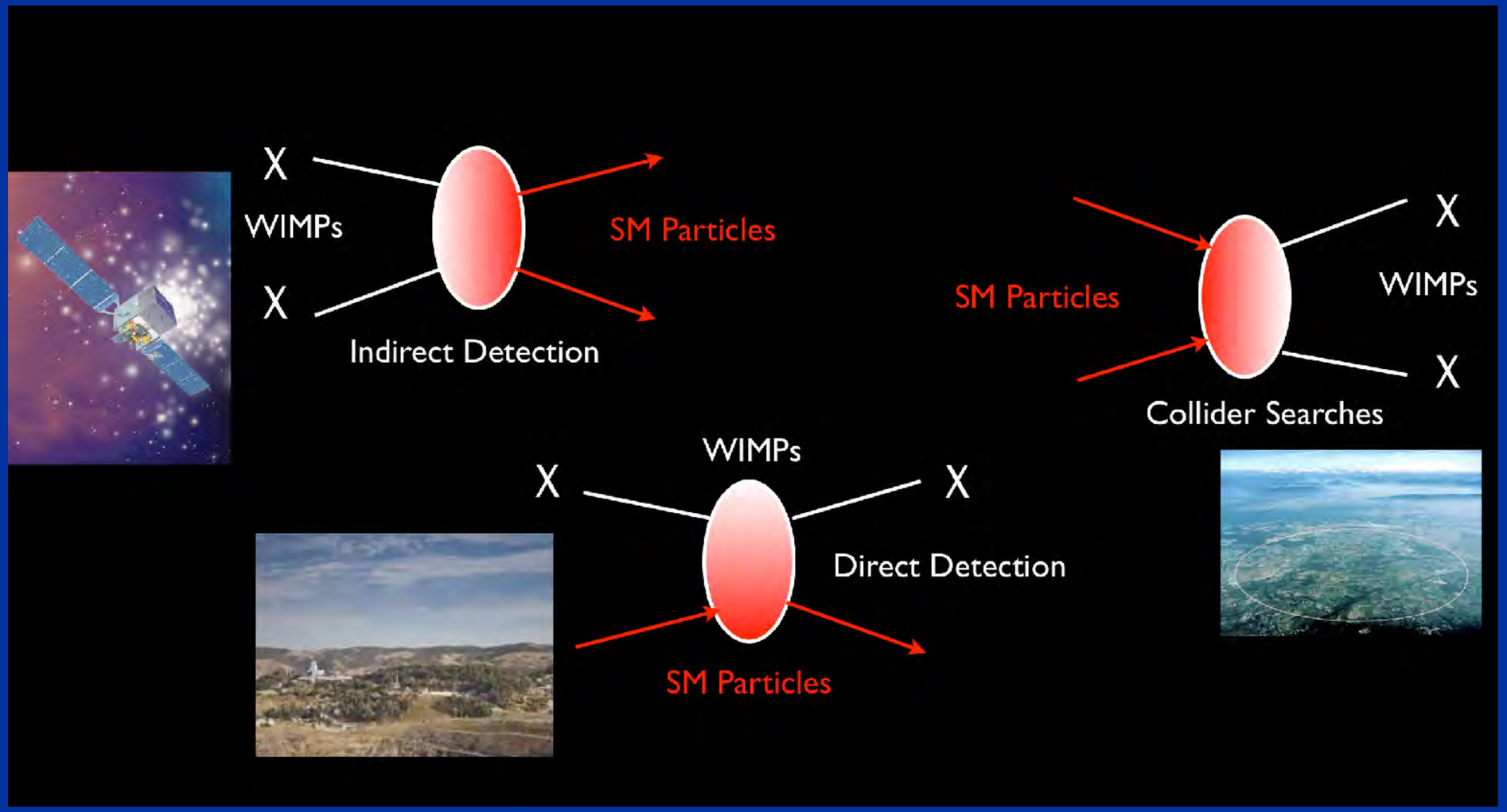
Fabiola Gianotti (ATLAS), Rolf Heuer (CERN) e Joe Incandela (CMS)
Annuncio della scoperta- 4 luglio 2012

L’LHC e la materia oscura

Nello spazio

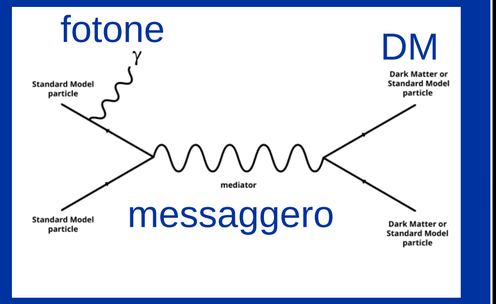
Sulla terra

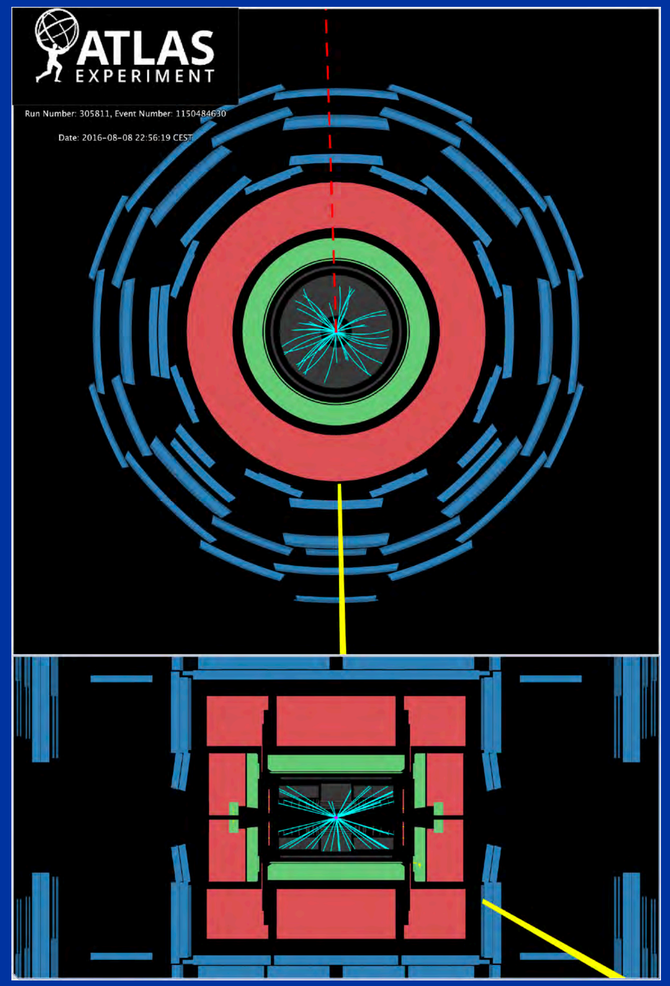
Ad un collisionatore



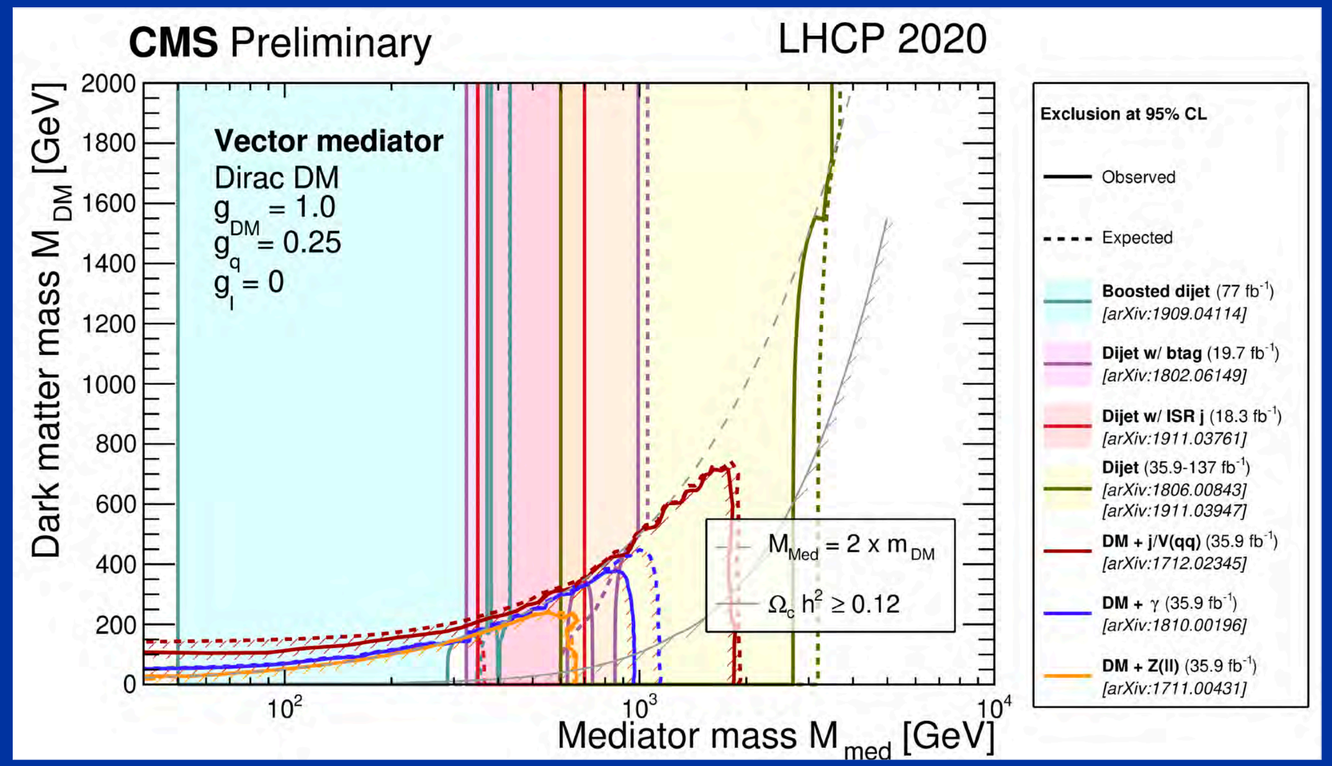
L'LHC e la materia oscura

Eventi spettacolari con niente o quasi nel rivelatore:
un fotone e due particelle oscure invisibili





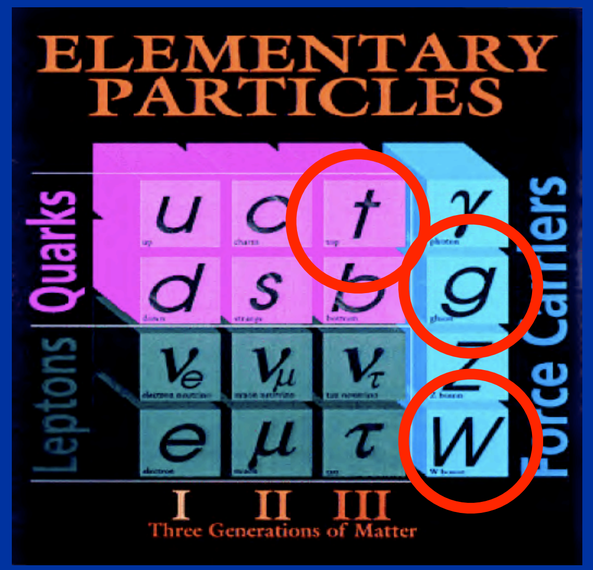
Piano cartesiano: massa materia oscura/massa del messaggero

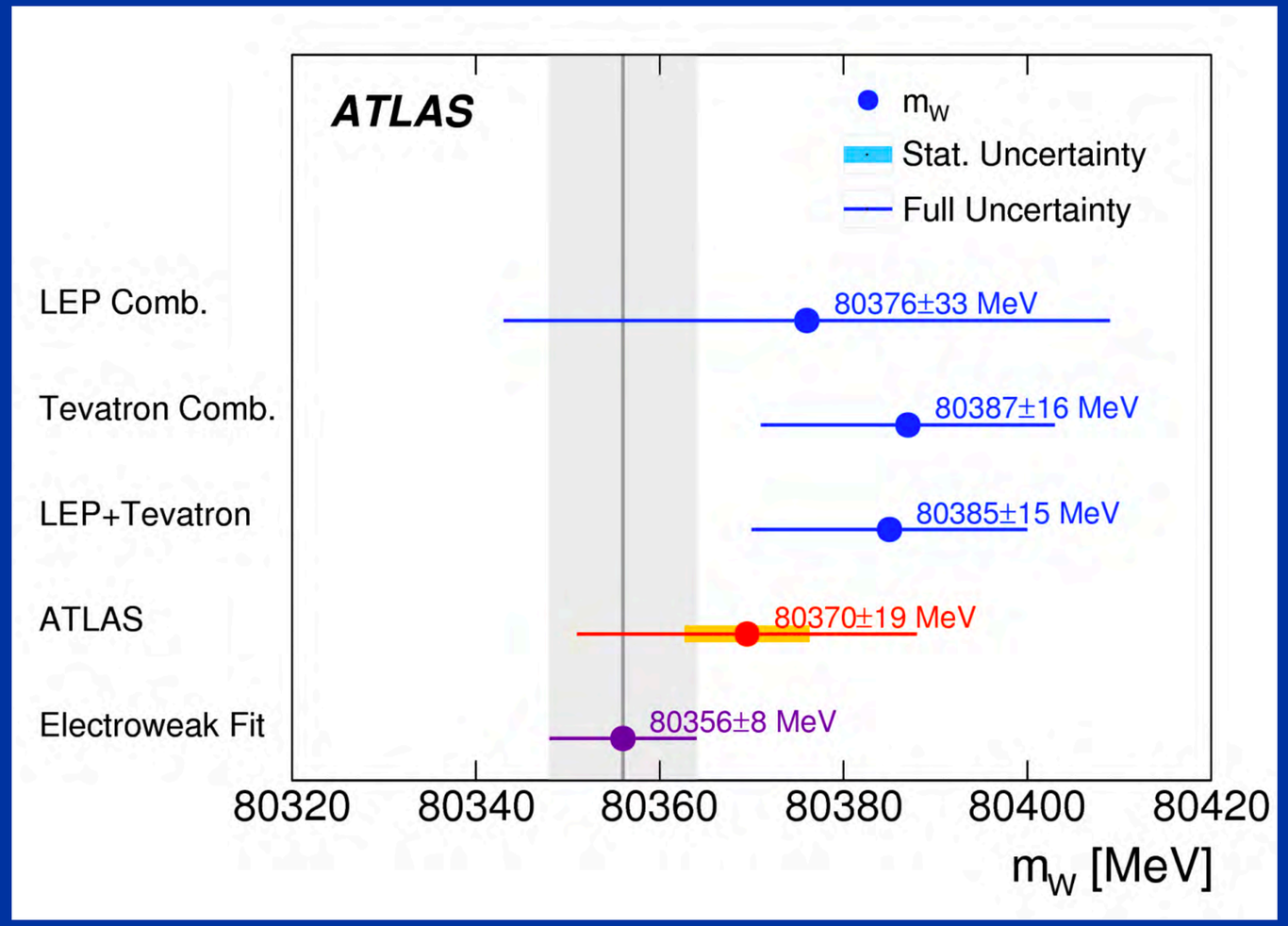


Plot di "esclusione": le zone colorate del piano sono quelle in cui abbiamo cercato ma che non hanno dato un risultato positivo

All’LHC non si cercano solo nuove particelle

Misurare i parametri del Modello Standard con la massima precisione è fondamentale per scoprire ogni possibile deviazione dalle previsioni.

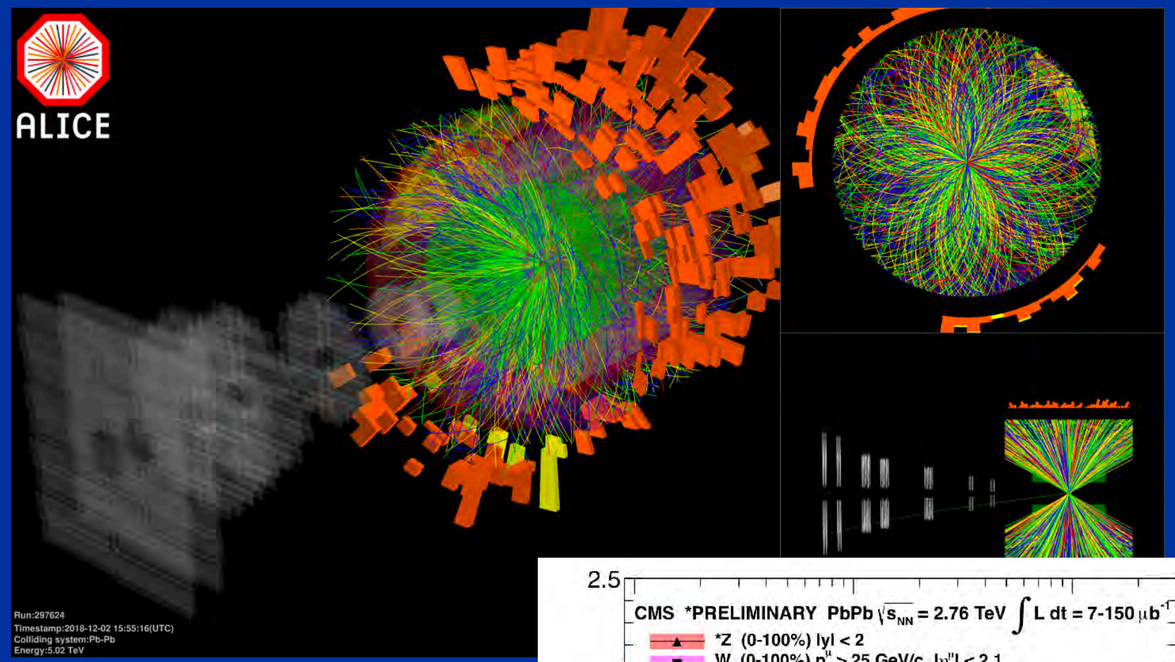


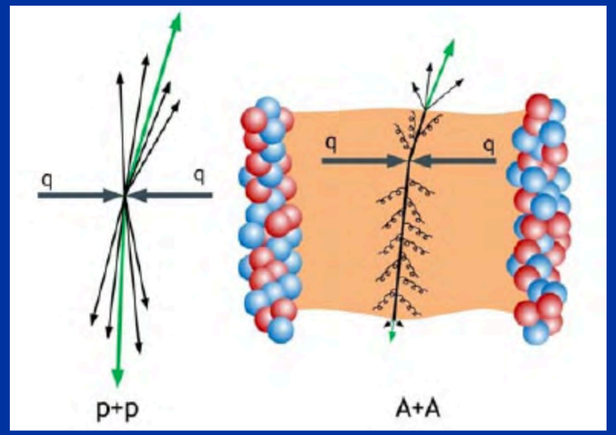


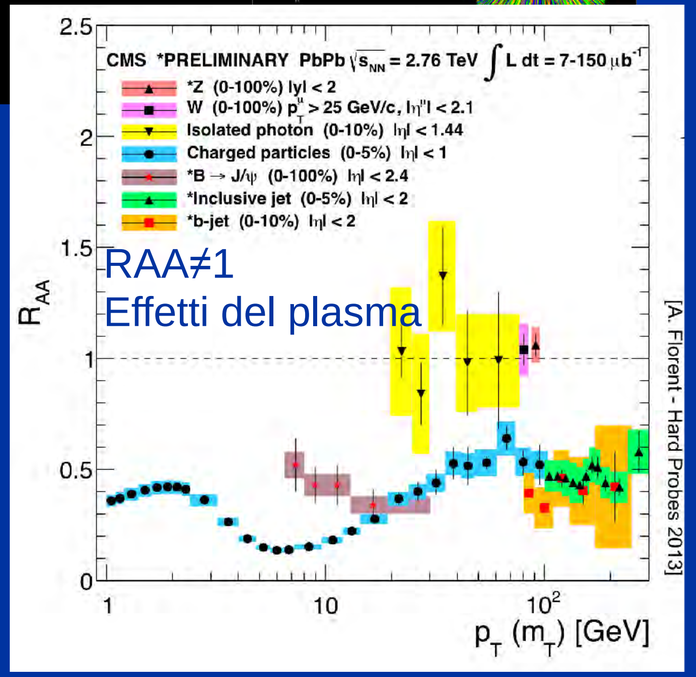
L’LHC eccelle nella misura della massa del W, del Top e della “forza” dell’interazione forte.

Nell'LHC non circolano solo protoni

- Ad alte temperature e/o densità di energia come quelle presenti subito dopo il Big Bang, le attuali teorie prevedono che la materia subisca una transizione di fase in cui quark e gluoni si muovono quasi "liberamente" formando un plasma.
- Questa transizione è analoga alla transizioni di fase ghiaccio/acqua/vapore.
- L'energia a cui avviene questa transizione è ~170 MeV ad una densità di ~1GeV fm^{-3}
- Per ricreare queste condizioni all'LHC si fanno collidere ioni di piombo (Pb-208)



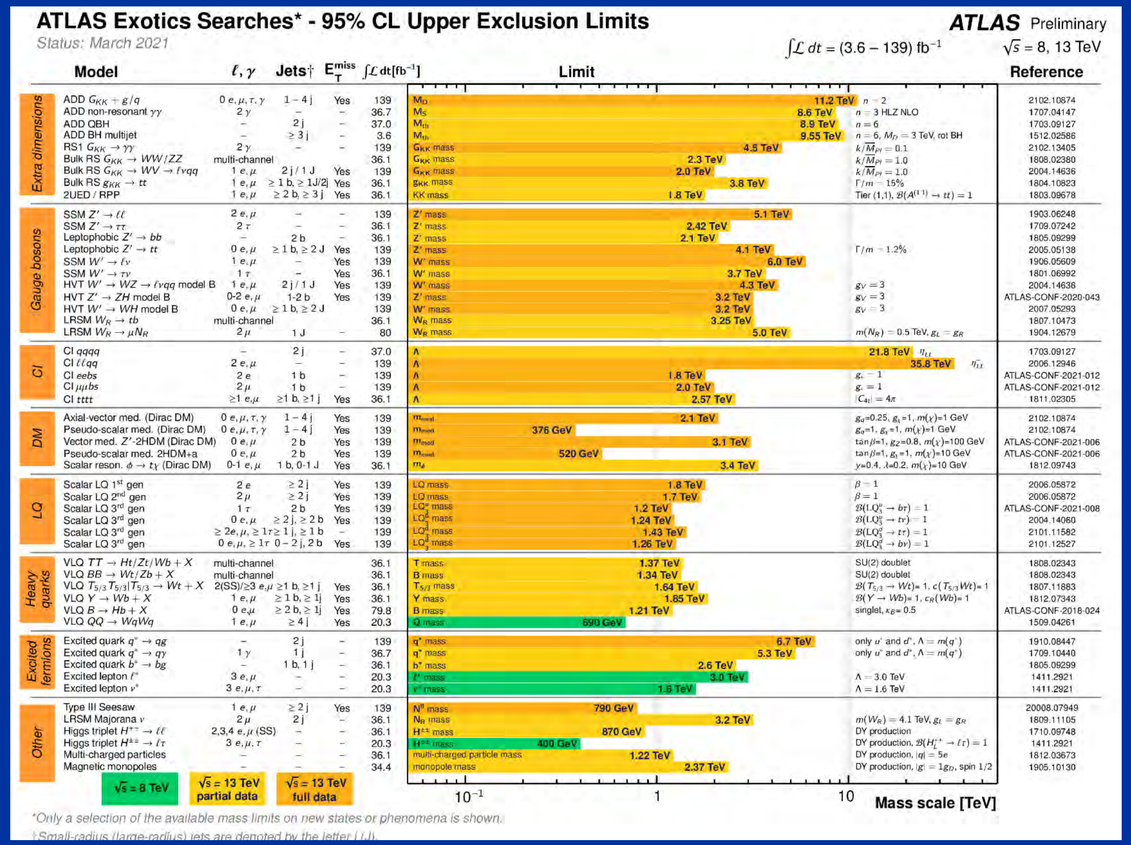




Programma di ricerca vasto e orientato a scoprire nuova fisica

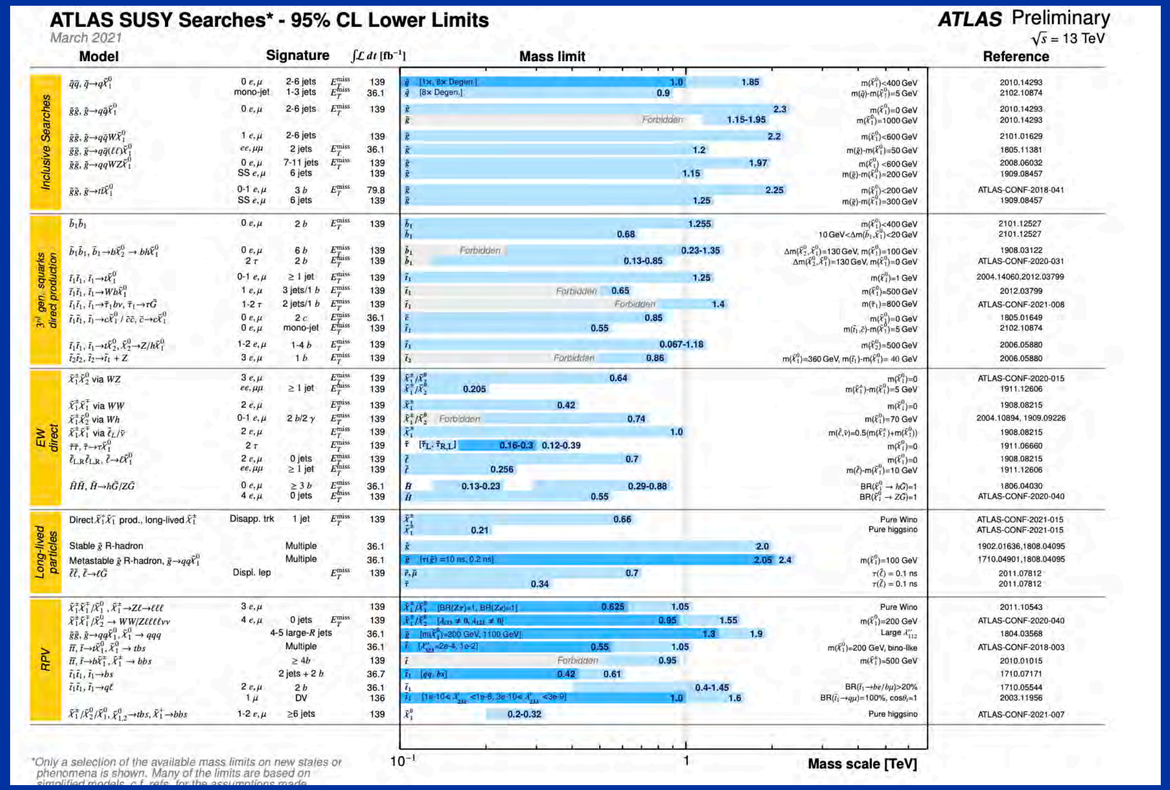
Programma di ricerca vasto e orientato a scoprire nuova fisica

Una piccola parte dei risultati di un singolo esperimento nel valutare nuove teorie



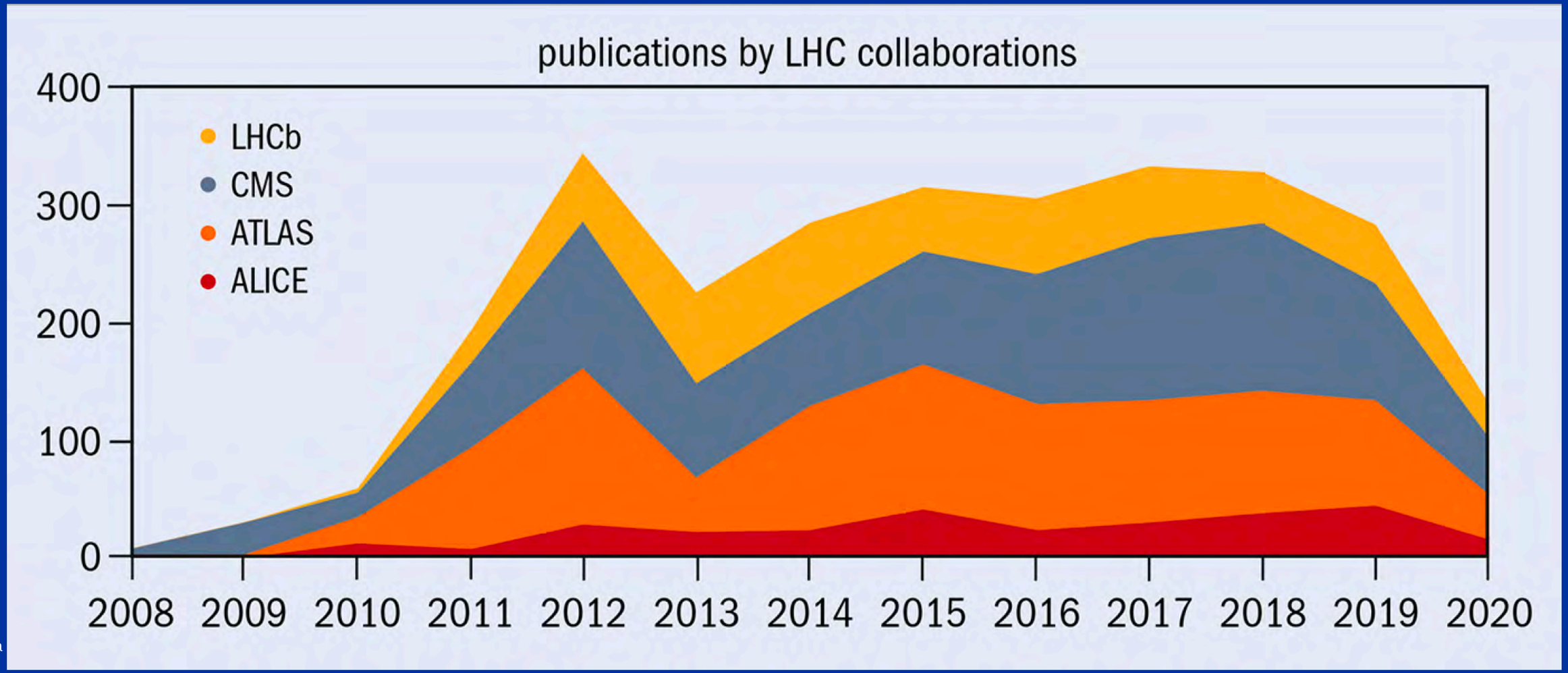
Programma di ricerca vasto e orientato a scoprire nuova fisica

Una piccola parte dei risultati di un singolo esperimento nella ricerca di particelle supersimmetriche



Programma di ricerca vasto e orientato a scoprire nuova fisica

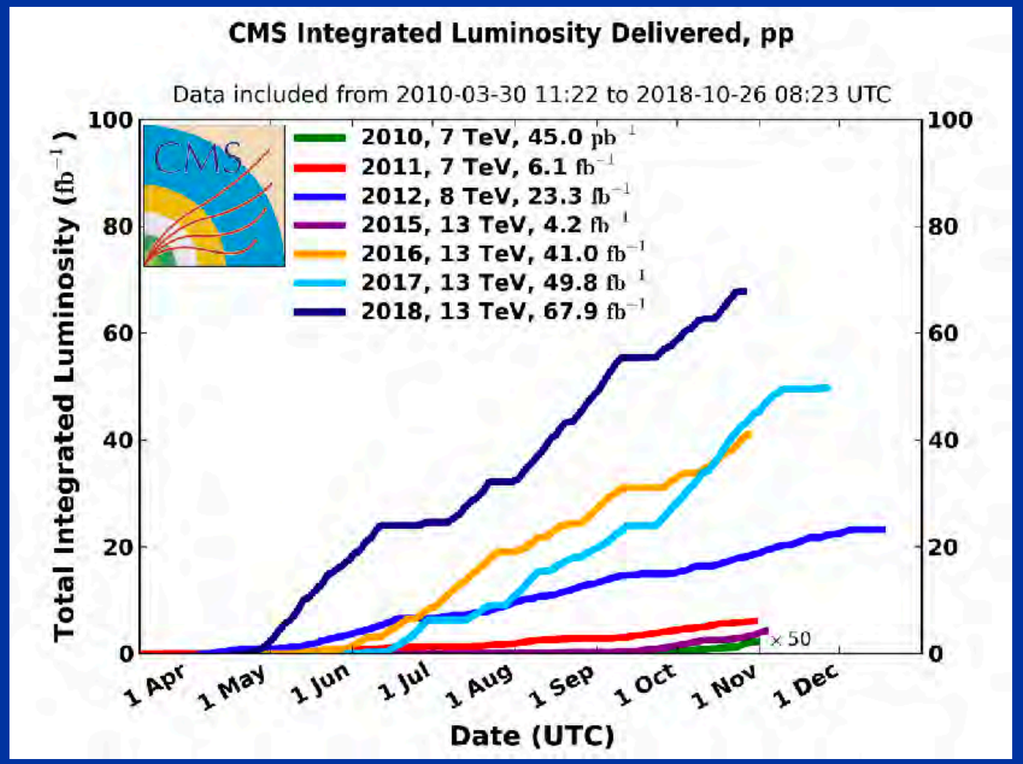
Dal 2010, piu' di 3000 pubblicazioni scientifiche sono state realizzate dai quattro esperimenti



La presa dati

L'LHC ha funzionato in maniera quasi continua dal 2010 con pause regolari per aggiornamenti e manutenzione. La prossima fase di presa dati è prevista per il 2022.

- L'energia nel centro di massa e' cresciuta da 7 TeV a 13 TeV.
- La "luminosità" è un parametro fondamentale di ogni acceleratore ed è legata alla frequenza delle collisioni tra protoni



	Int. lumi
7 TeV	6.1 fb^{-1}
8 TeV	23.3 fb^{-1}
13 Tev	162.9 fb^{-1}

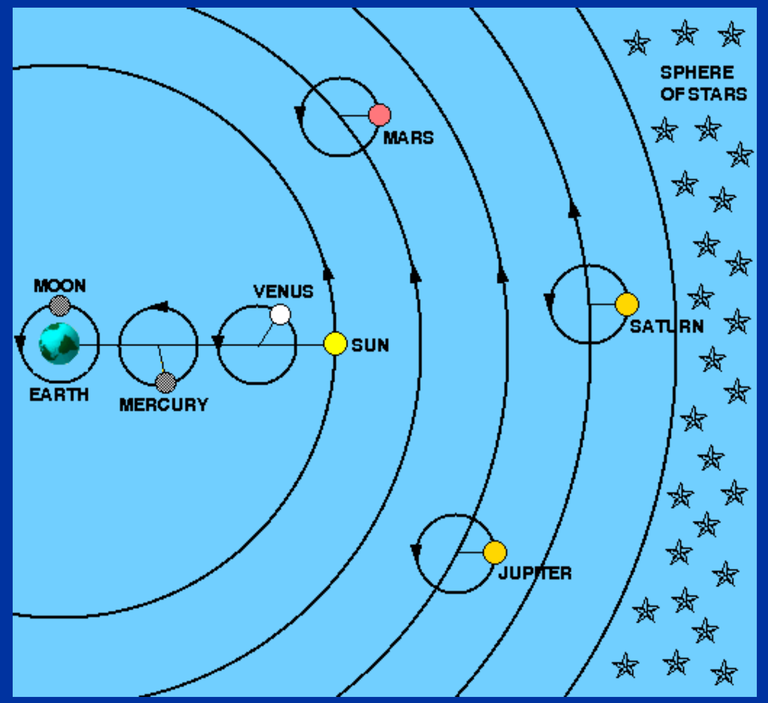
- 150 (W → ev) /s
- 15 (Z → ee)/s
- 8 top top/s
- 0.2 Higgs /s

Anomalie interessanti

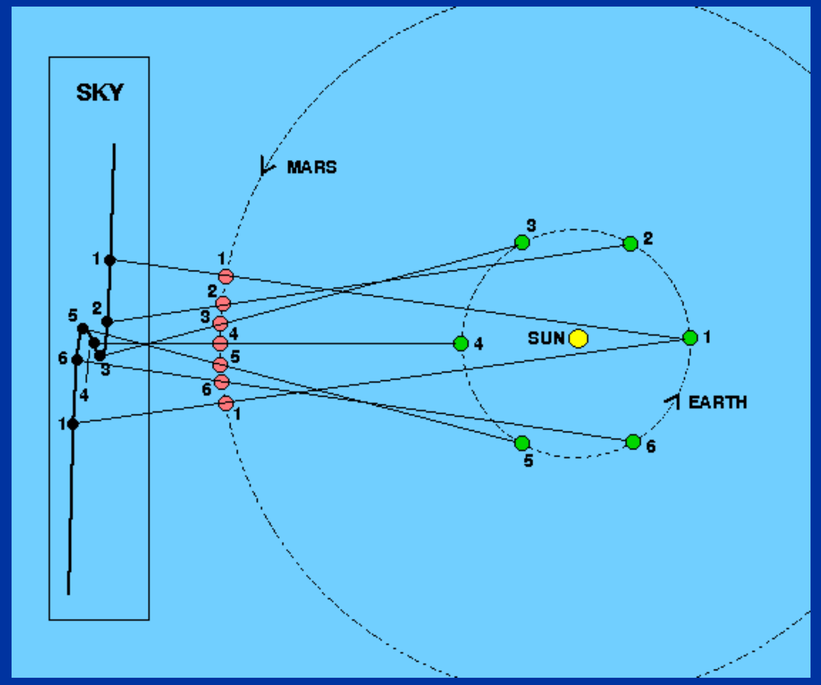
Il Lavoro di un fisico sperimentale è anche quello di verificare le teorie attuali in maniera ossessiva e con precisione crescente. Una qualsiasi crepa (cioè un'osservazione non compatibile con la teoria) necessariamente è un indizio di nuova fisica e può aprire la vista su un mondo totalmente nuovo.

Esempio: la precisione di un nuovo strumento come il telescopio ha mostrato l'incompatibilità tra la visione geocentrica del sistema solare e la "nuova teoria" eliocentrica. La rivoluzione ebbe inizio.

Dall universo tolemaico (epicicli e deferenti)



a quello copernicano



Anomalie interessanti

Anomalie interessanti

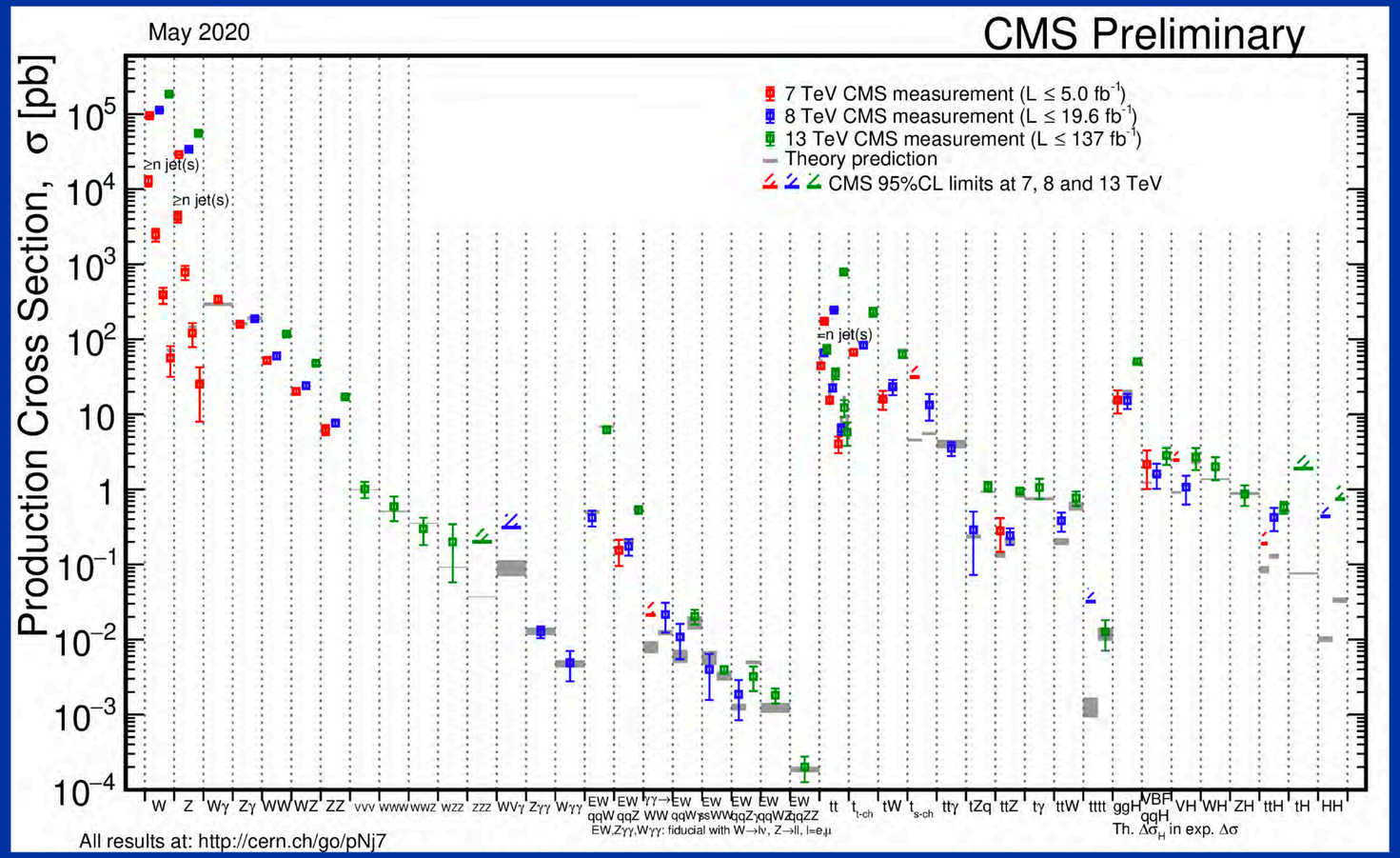
Ci sono “anomalie” interessanti all’LHC che fanno pensare a nuova fisica?

Non molte…..

Anomalie interessanti

Ci sono “anomalie” interessanti all’LHC che fanno pensare a nuova fisica?

Non molte…..



Ognuno di questi punti e’ una misura dell’occorrenza di un diverso processo fisico confrontato con la tearia dominante (il Modello Standard).

Nessuna deviazione è stata osservata tanto da entusiasmarci…..

Anomalie interessanti

Ci sono “anomalie” interessanti all’LHC che fanno pensare a nuova fisica?

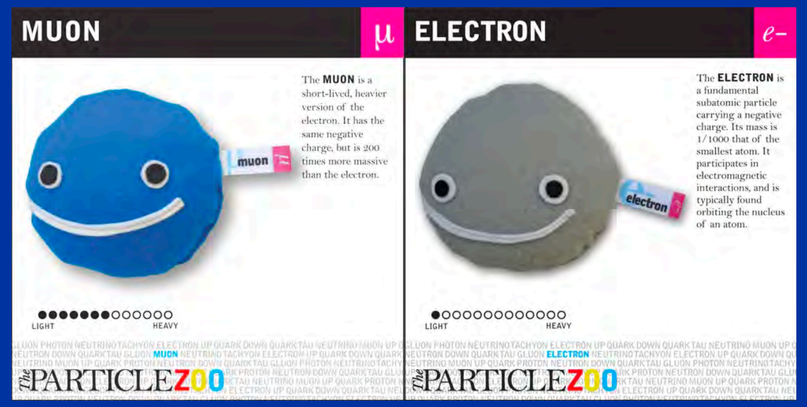
Non molte….. ma una è recente e particolarmente accattivante:

Anomalie interessanti

Ci sono “anomalie” interessanti all’LHC che fanno pensare a nuova fisica?

Non molte….. ma una è recente e particolarmente accattivante:

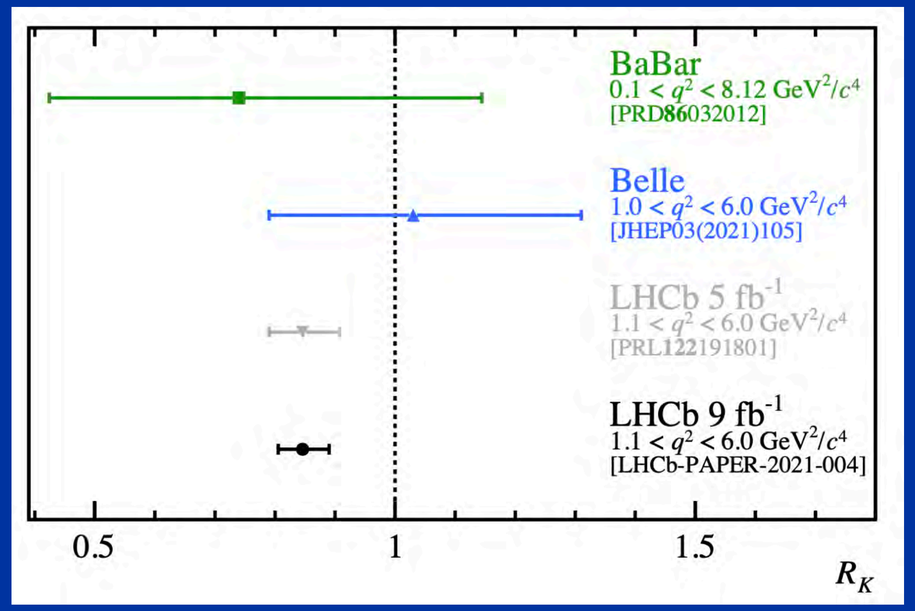
Il Modello Standard prevede una completa simmetria tra elettroni e muoni, a parte la loro massa:



Recentemente l’esperienza LHCb ha confermato un’anomalia gia’ presente dal 2014

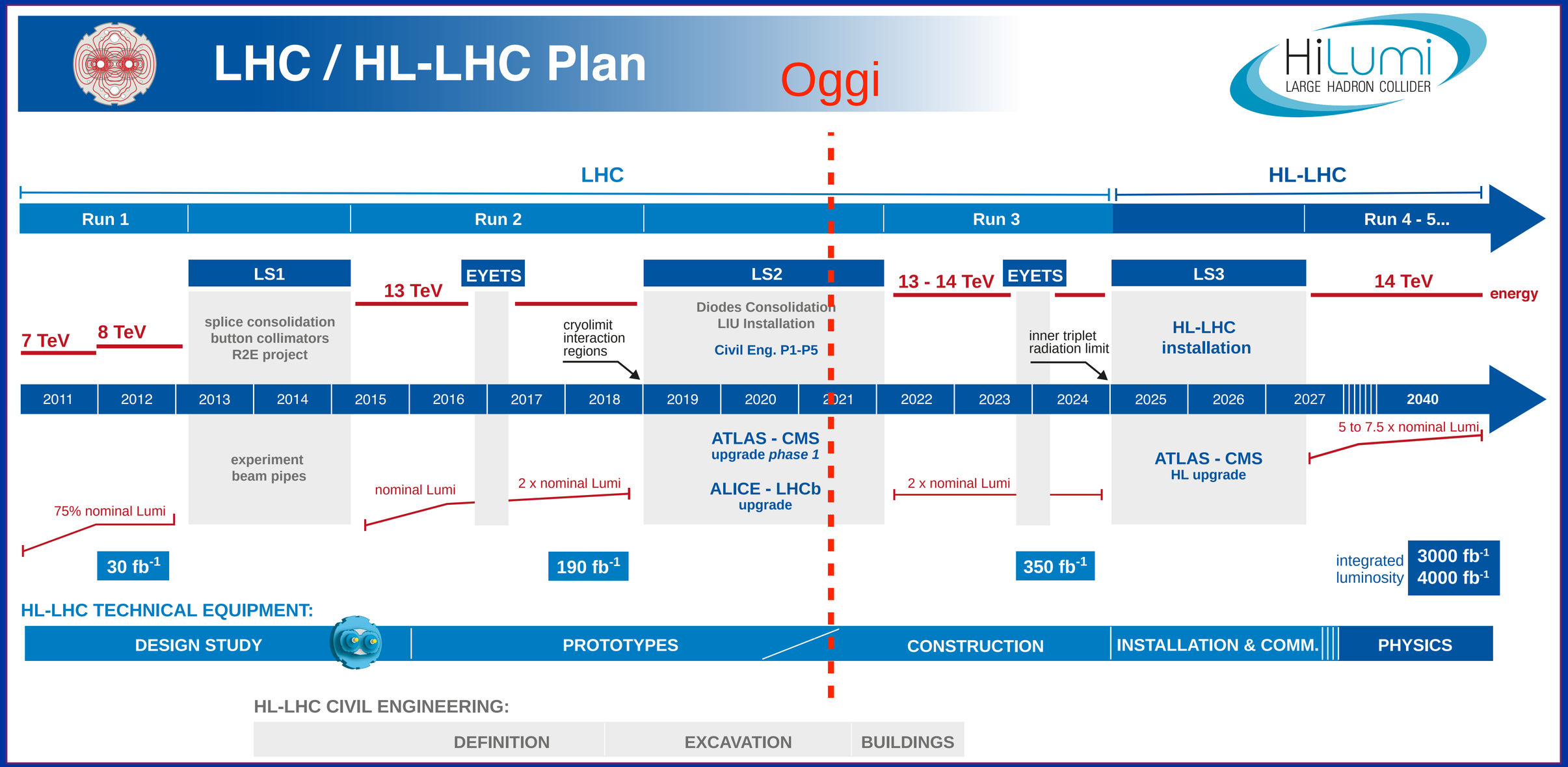
La probabilità che un mesone B decada in elettroni o muoni (+B) dovrebbe essere uguale e invece:

$$R_{K^{(*)}} := \frac{\mathcal{B}(B \to K^{(*)}\mu^+\mu^-)}{\mathcal{B}(B \to K^{(*)}e^+e^-)} \overset{\text{SM}}{\cong} 1$$

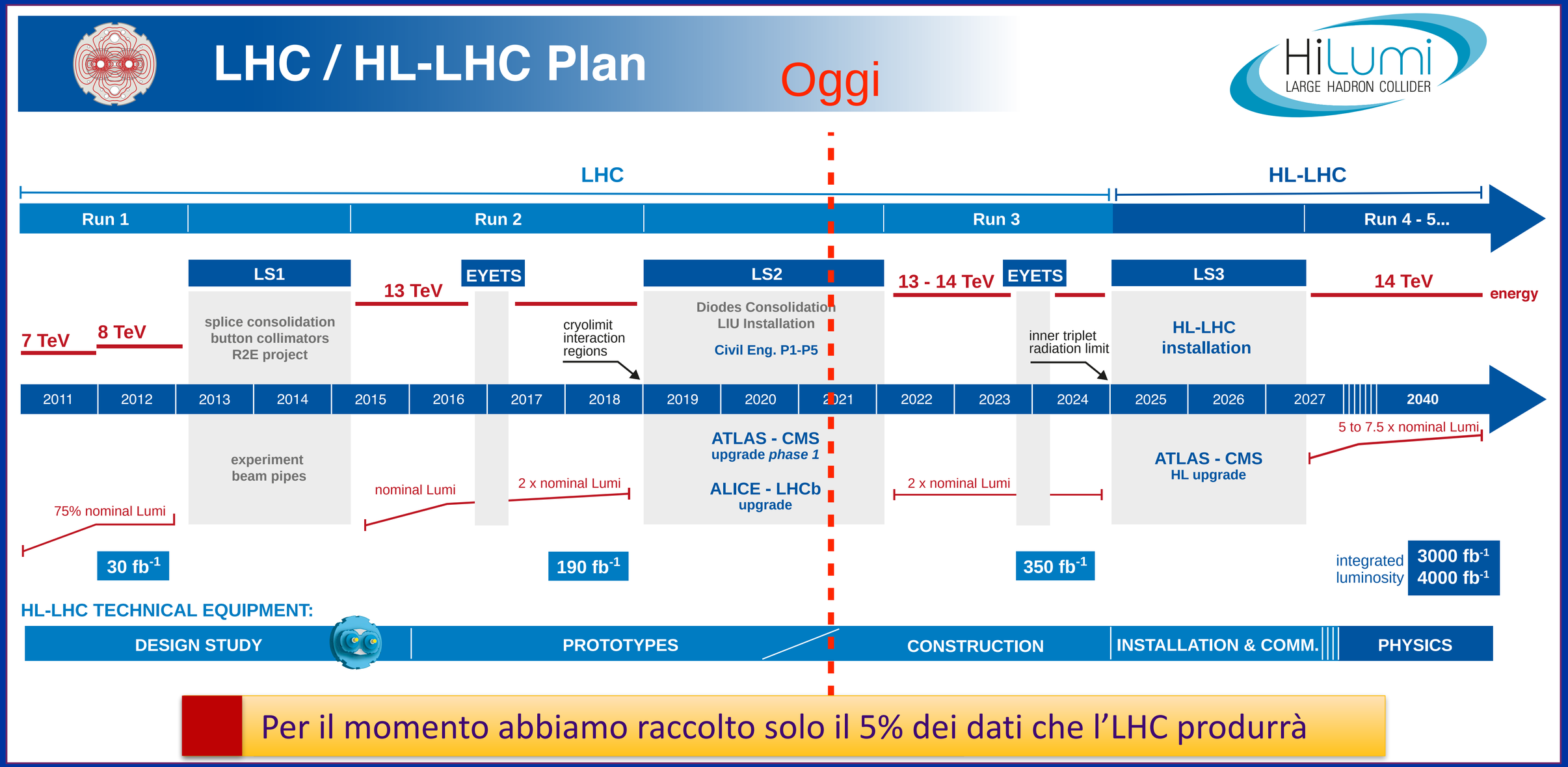


La probabilità che questo accada in maniera casuale e’ lo 0.1% !

Il futuro di LHC: High Luminosity-LHC



Il futuro di LHC: High Luminosity-LHC

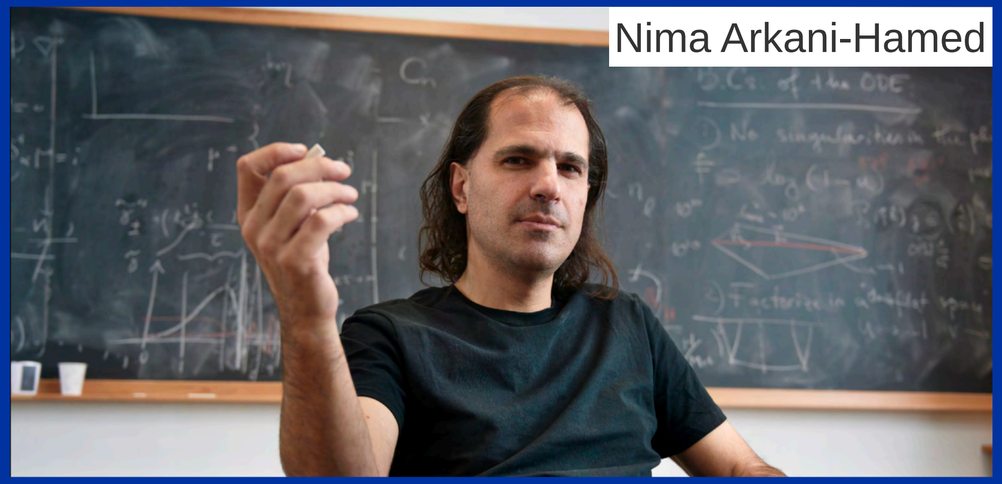


Per il momento abbiamo raccolto solo il 5% dei dati che l'LHC produrrà

Perché c’è bisogno di HL-LHC?

Nelle parole di uno dei più importanti fisici teorici contemporanei

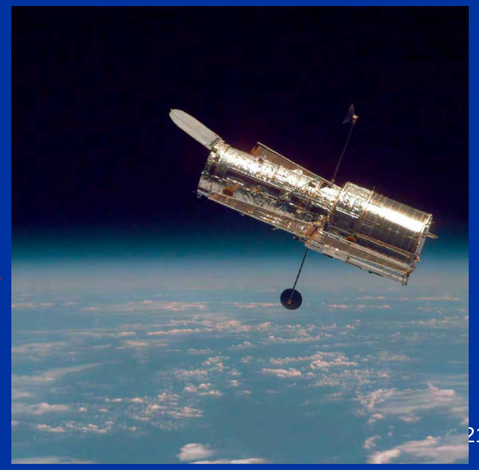
https://cerncourier.com/in-it-for-the-long-haul/

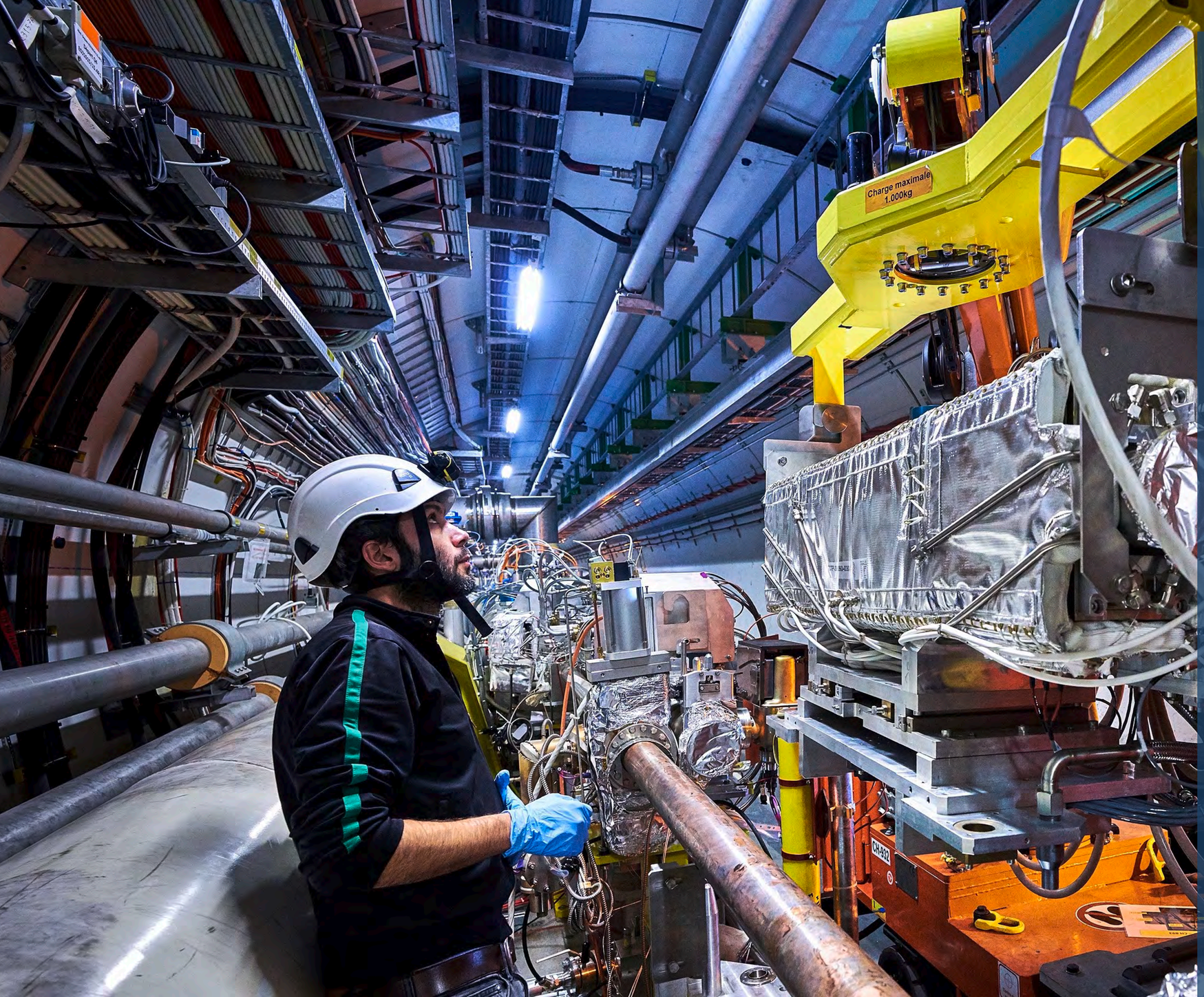


La scoperta della particella di Higgs è diversa da qualsiasi cosa abbiamo visto finora ed è profondamente "nuova fisica" ... i tentativi teorici di calcolare l'energia del vuoto e la scala della massa dell’Higgs pongono sfide teoriche gigantesche. Mentre come teorici continuiamo a grattarci la testa, il percorso più importante per gli sperimentali è completamente chiaro:
misurare tutto il possibile di questo fenomeno pazzesco!

È il primo esempio che abbiamo del tipo più semplice possibile di particella elementare. Non ha spin, né carica, solo massa, e questa estrema semplicità la rende teoricamente un mistero.... “

Senza contare che l’incremento di un fattore 20 dei dati ci permetterà di esplorare regioni fino ad ora inaccessibili





L’upgrade dell’LHC (High Lumi LHC) è già in corso

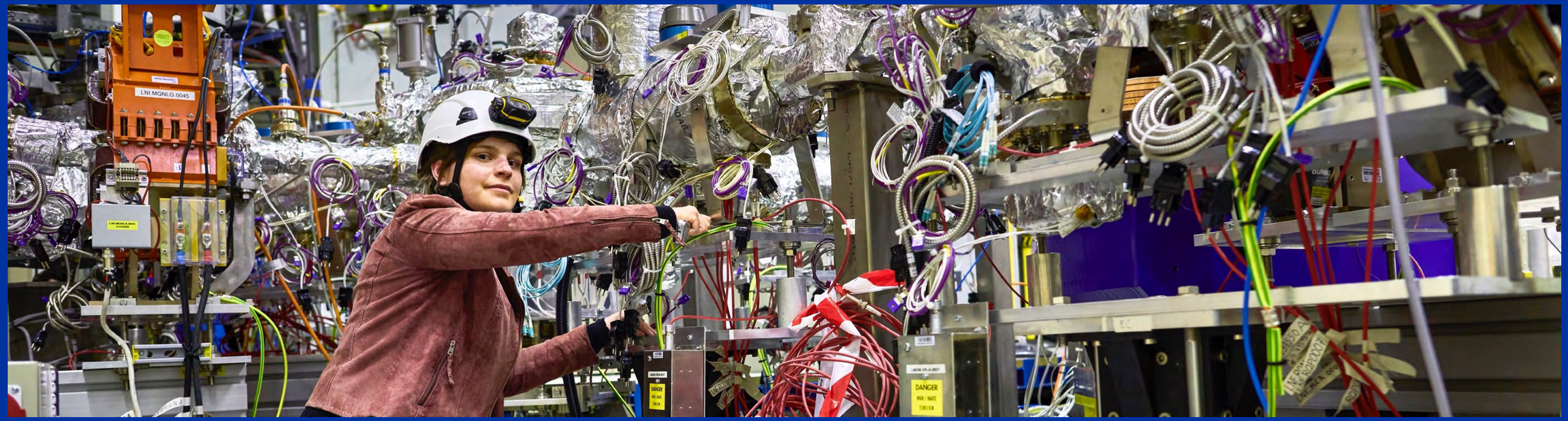
- L’HL-LHC utilizzerà nuove tecnologie per produrre 10x più collisioni che all’LHC.
- Aiuterà a fare misure più precise e ad aumentare il potenziale di scoperta
- Le operazioni cominceranno nel 2027 e continueranno fino al 2040.

Oltre LHC: priorità scientifice per il futuro delle alte energie in Europa

Il CERN ha il mandato di implementare le raccomandazioni fornite nel contesto della **Strategia Europea per la Fisica delle Particelle**:

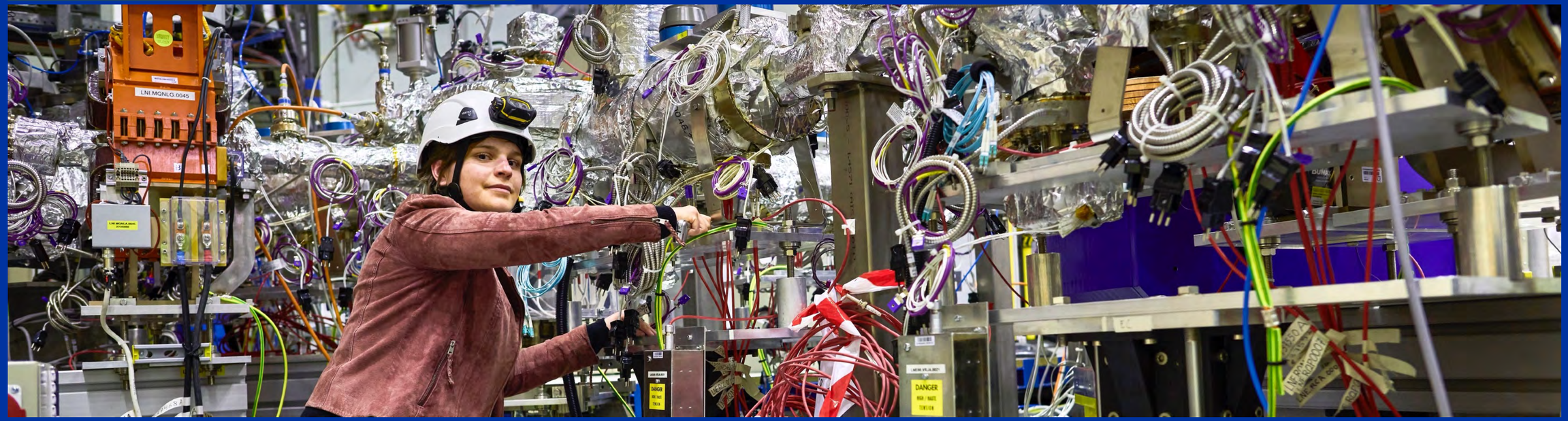
- sfruttamento totale delle potenzialità dell'LHC
- costruzione di una "HIggs factory" per lo studio dettagliato di questa particella unica
- investigare la fattibilità economica e tecnica di un collisionatore da 100 km ad un'energia molto più elevata
- iniziare ricerca e sviluppo
- continuare a supportare altri progetti in tutto il mondo

Il CERN ha un programma scientifico diversificato



Il CERN ha un programma scientifico diversificato

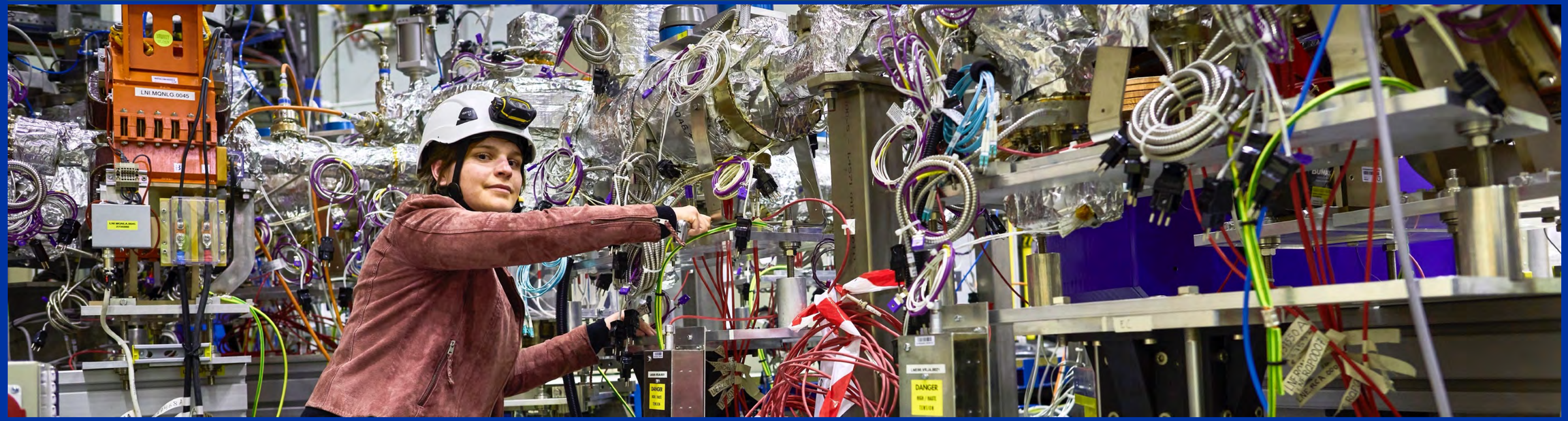
Teoria fondamentale



Il CERN ha un programma scientifico diversificato

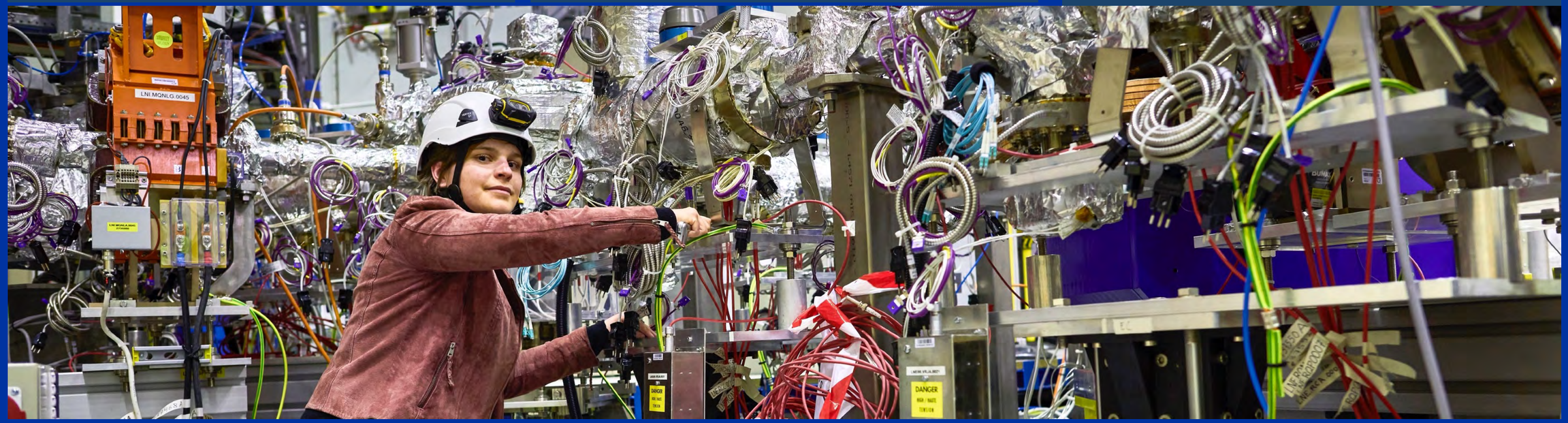
Teoria fondamentale

Fisica nucleare (ISOLDE)



Il CERN ha un programma scientifico diversificato

Teoria fondamentale	Fisica nucleare (ISOLDE)	Ricerca sull'antimateria (Antiproton Decelerator)

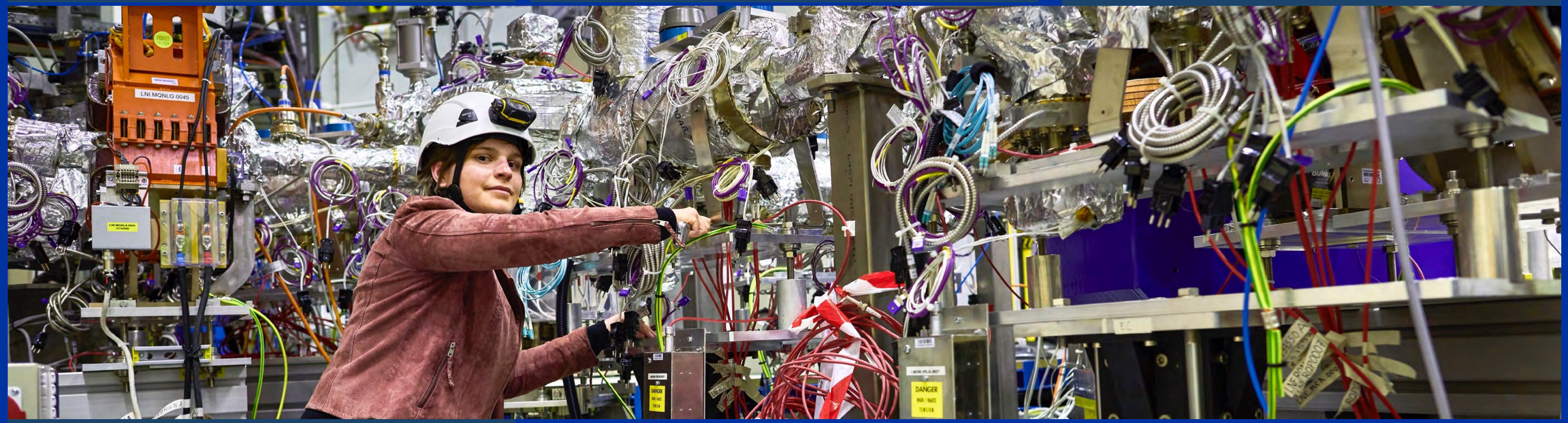


Il CERN ha un programma scientifico diversificato

Teoria fondamentale

Fisica nucleare (ISOLDE)

Ricerca sull'antimateria (Antiproton Decelerator)



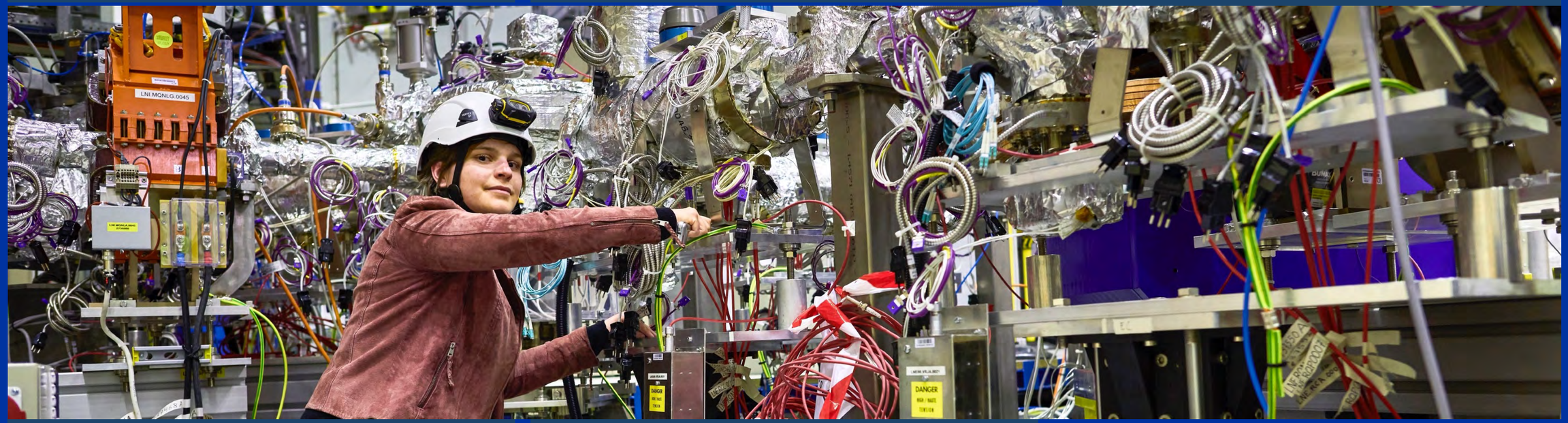
Raggi cosmici e formazione delle nuvole (CLOUD)

Il CERN ha un programma scientifico diversificato

Teoria fondamentale

Fisica nucleare (ISOLDE)

Ricerca sull'antimateria (Antiproton Decelerator)



Raggi cosmici e formazione delle nuvole (CLOUD)

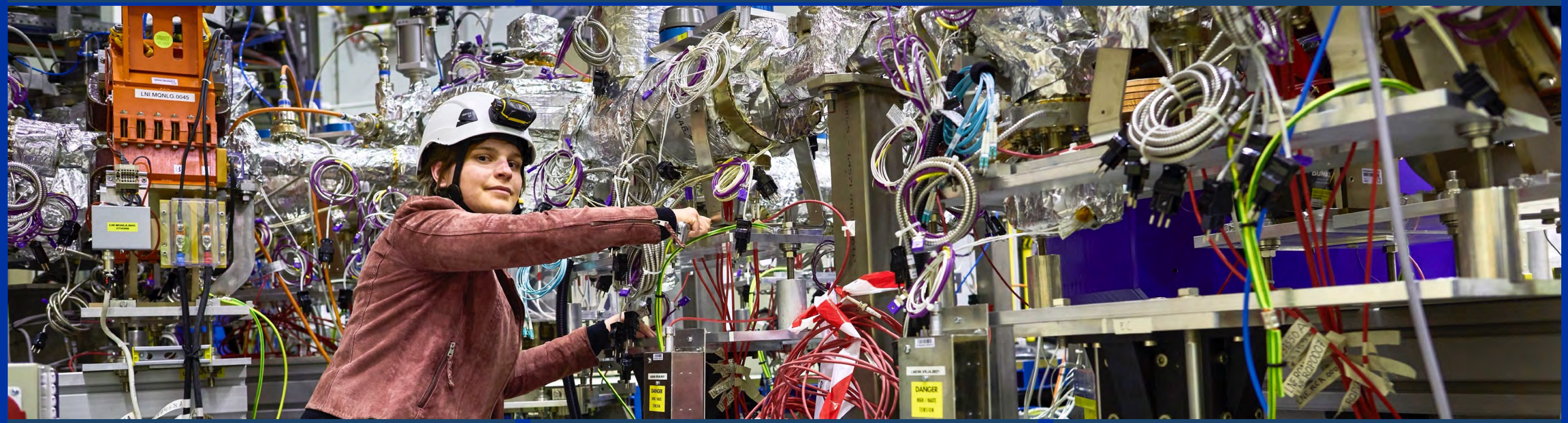
Esperimenti a targhetta fissa per processi rari

Il CERN ha un programma scientifico diversificato

Teoria fondamentale

Fisica nucleare (ISOLDE)

Ricerca sull'antimateria (Antiproton Decelerator)



Raggi cosmici e formazione delle nuvole (CLOUD)

Esperimenti a targhetta fissa per processi rari

Contributi al programma di ricerca sui neutrini al Fermilab negli U.S.A. (LBNF)

Il CERN aiuta a formare le prossime generazioni di fisici, ingegneri e tecnici

>3000 studenti PhD sono registrati al CERN.

600 tesi di PhD sono completate ogni anno.

300 studenti bachelor/master lavorano ai campi estivi del CERN

~800 borsisti in fisica applicata e fondamentale, ingegneri

~200 studenti tecnici o di dottorato in fisica applicata, ingegneria e computing

CERN organizza scuole per studenti di master e bachelor in tutto il mondo

l'Italia è "co-proprietaria" del CERN a livello del 13% e contribuisce sostanzialmente alle sue attività!

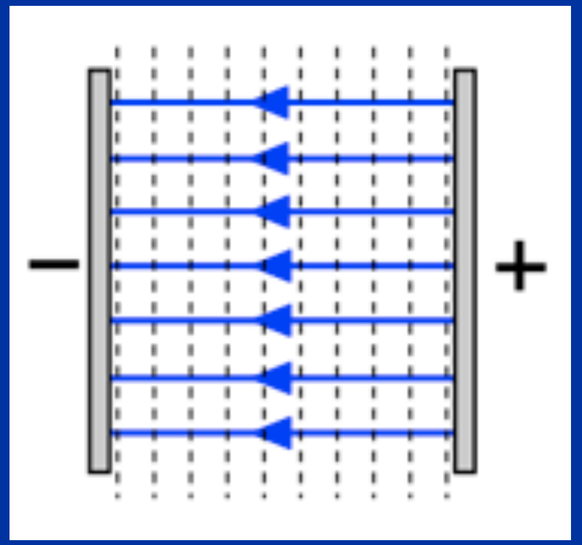
Ci sono diverse domande senza risposta nella fisica fondamentale

Il CERN e l’LHC continueranno a giocare un ruolo cruciale in questo viaggio nella conoscenza

Materiale addizionale

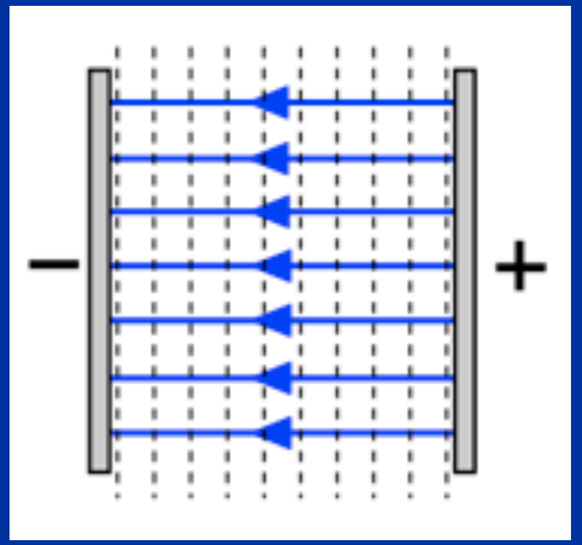
Campo di Higgs

Come esempio prendiamo una carica elettrica posta in un campo elettrico:
le cariche positive si muovono da destra verso sinistra acquistando impulso.



Campo di Higgs

Come esempio prendiamo una carica elettrica posta in un campo elettrico:
le cariche positive si muovono da destra verso sinistra acquistando impulso.



Così alcune particelle muovendosi in un campo di Higgs acquistano massa

L’analogia di D. Miller: è come un personaggio famoso che si muove all’interno di una festa. Tutti gli stanno intorno e ne aumentano la “massa”.

Campo di Higgs

Continuiamo con l'analogia.....
il campo elettromagnetico ha un "messaggero": il fotone
è naturale che ci sia un messaggero per il campo di Higgs: il bosone di Higgs!

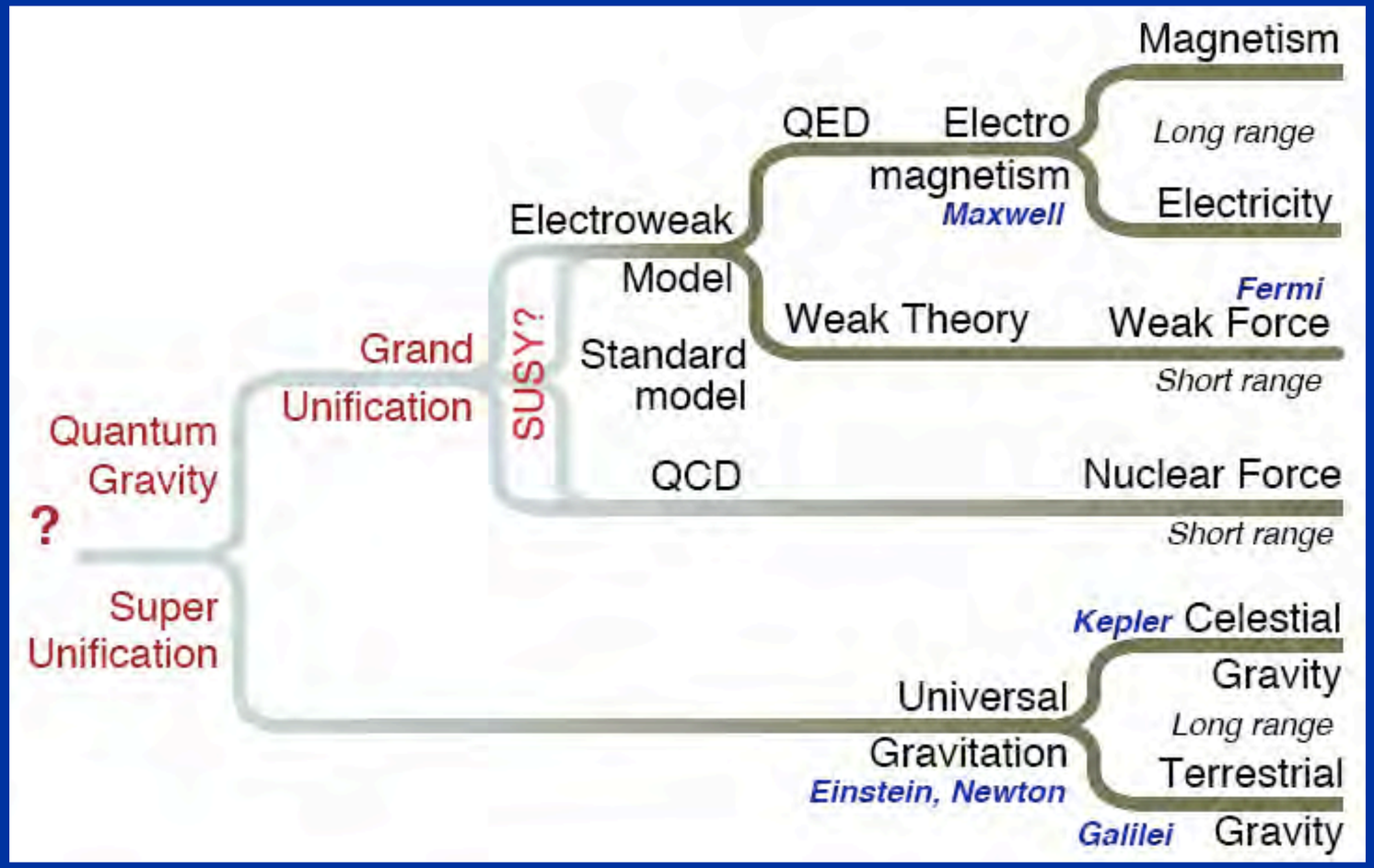
Prima dell'LHC Il bosone di Higgs era il tassello mancante del modello.
Per verificare la teoria bisognava scoprirlo altrimenti inventarne un'altra.

Per fare un esempio, assumendo che il Modello Standard sia valido senza bosone di Higgs, tutti i protoni dell'universo decadrebbero in 15×10^{-12} secondi (0.000000000001 s)

Oltre il Modello Standard

Grande Unificazione

(il sogno dei teorici, ma a parte la bellezza estetica, nessuna necessità formale)



GUT, stringhe?

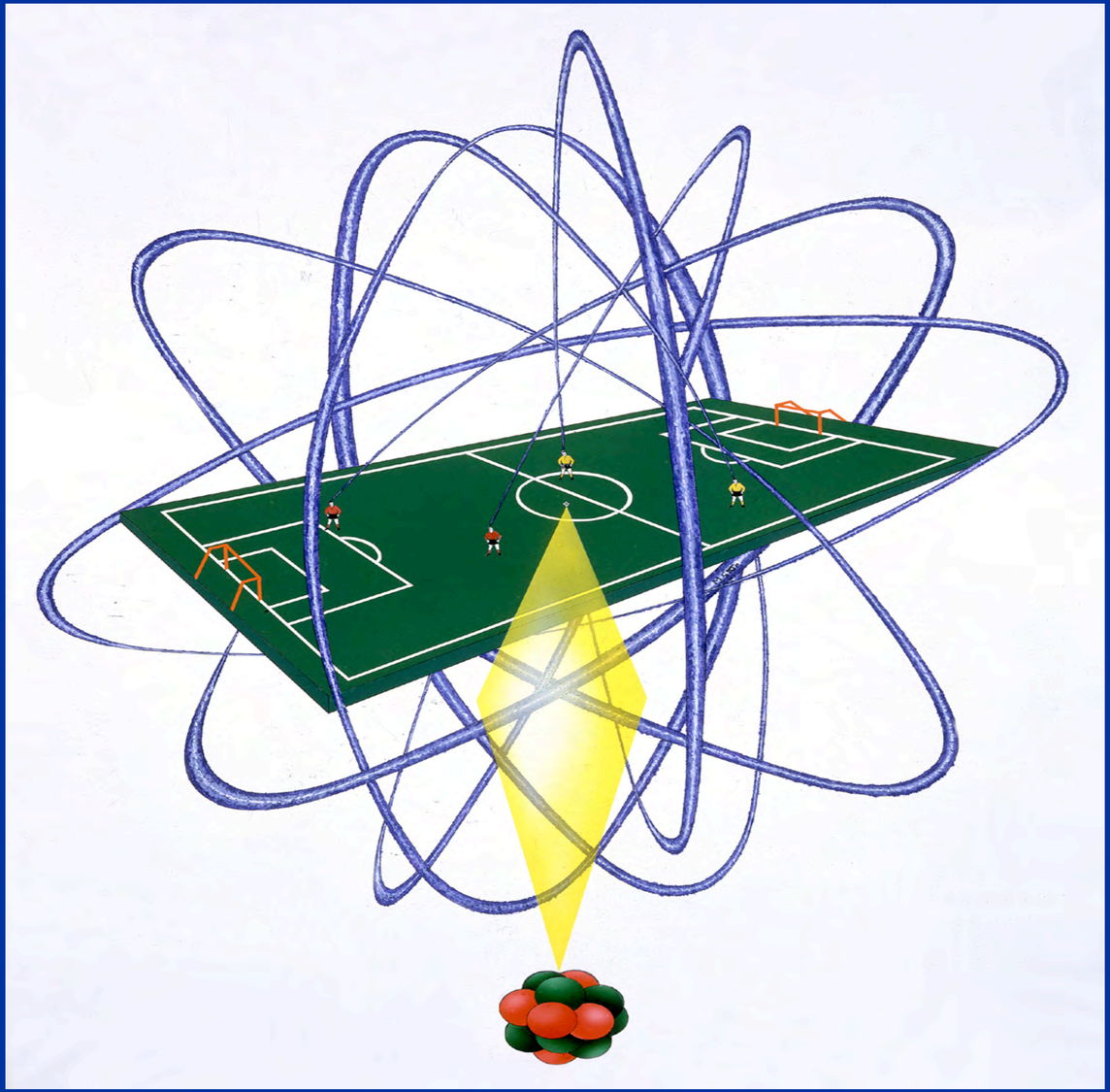
Fisica quantistica relativistica

Fisica classica

Ordine di grandezza delle dimensioni

Atomo ingrandito mille miliardi di volte

Il nucleo, in proporzione, sarebbe grande qualche cm



La legge fisica più elegante e profonda

opinione puramente personale

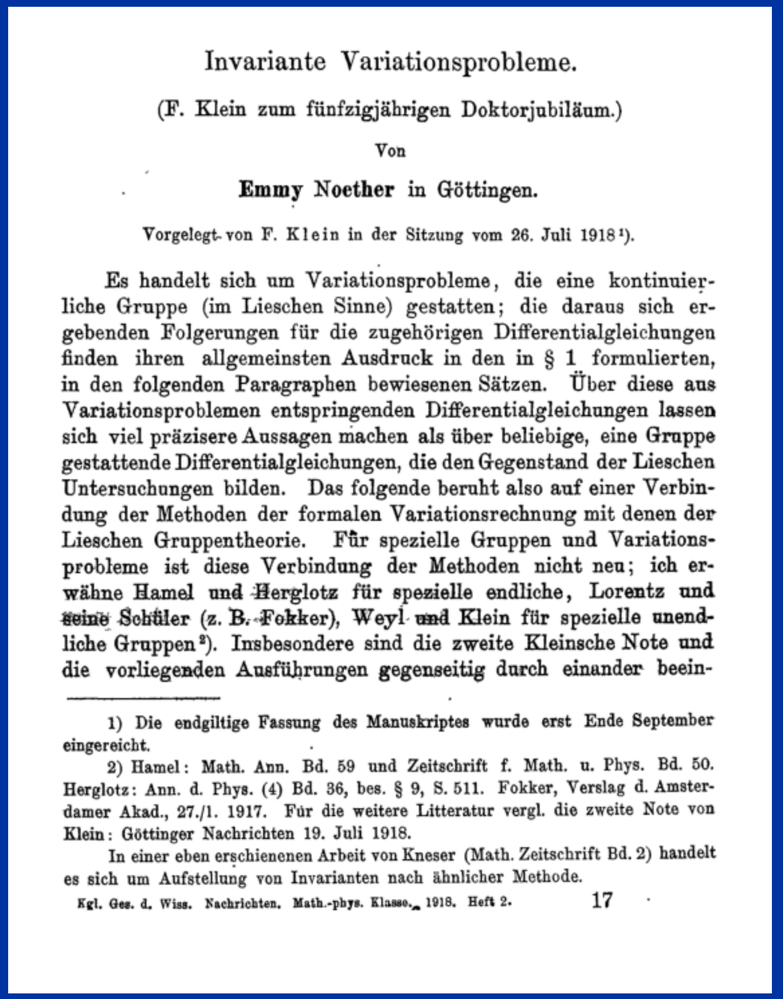
1918

Emmy Noether (1882-1935)

Ad ogni simmetria nelle leggi fisiche corrisponde una legge di conservazione:

- alla simmetria per traslazione corrisponde la conservazione dell'impulso
- alla simmetria nel tempo corrisponde la conservazione dell'energia
- alla simmetria nelle direzioni corrisponde la conservazione del momento angolare

$$\frac{d}{dt}\left(\sum_{\alpha} \frac{\partial \mathscr{L}}{\partial \dot{q}_\alpha} \xi_\alpha\right) = 0$$



Invariante Variationsprobleme.

(F. Klein zum fünfzigjährigen Doktorjubiläum.)

Von

Emmy Noether in Göttingen.

Vorgelegt von F. Klein in der Sitzung vom 26. Juli 1918 [1]).

Es handelt sich um Variationsprobleme, die eine kontinuierliche Gruppe (im Lieschen Sinne) gestatten; die daraus sich ergebenden Folgerungen für die zugehörigen Differentialgleichungen finden ihren allgemeinsten Ausdruck in den in § 1 formulierten, in den folgenden Paragraphen bewiesenen Sätzen. Über diese aus Variationsproblemen entspringenden Differentialgleichungen lassen sich viel präzisere Aussagen machen als über beliebige, eine Gruppe gestattende Differentialgleichungen, die den Gegenstand der Lieschen Untersuchungen bilden. Das folgende beruht also auf einer Verbindung der Methoden der formalen Variationsrechnung mit denen der Lieschen Gruppentheorie. Für spezielle Gruppen und Variationsprobleme ist diese Verbindung der Methoden nicht neu; ich erwähne Hamel und Herglotz für spezielle endliche, Lorentz und seine Schüler (z. B. Fokker), Weyl und Klein für spezielle unendliche Gruppen [2]). Insbesondere sind die zweite Kleinsche Note und die vorliegenden Ausführungen gegenseitig durch einander beein-

1) Die endgiltige Fassung des Manuskriptes wurde erst Ende September eingereicht.

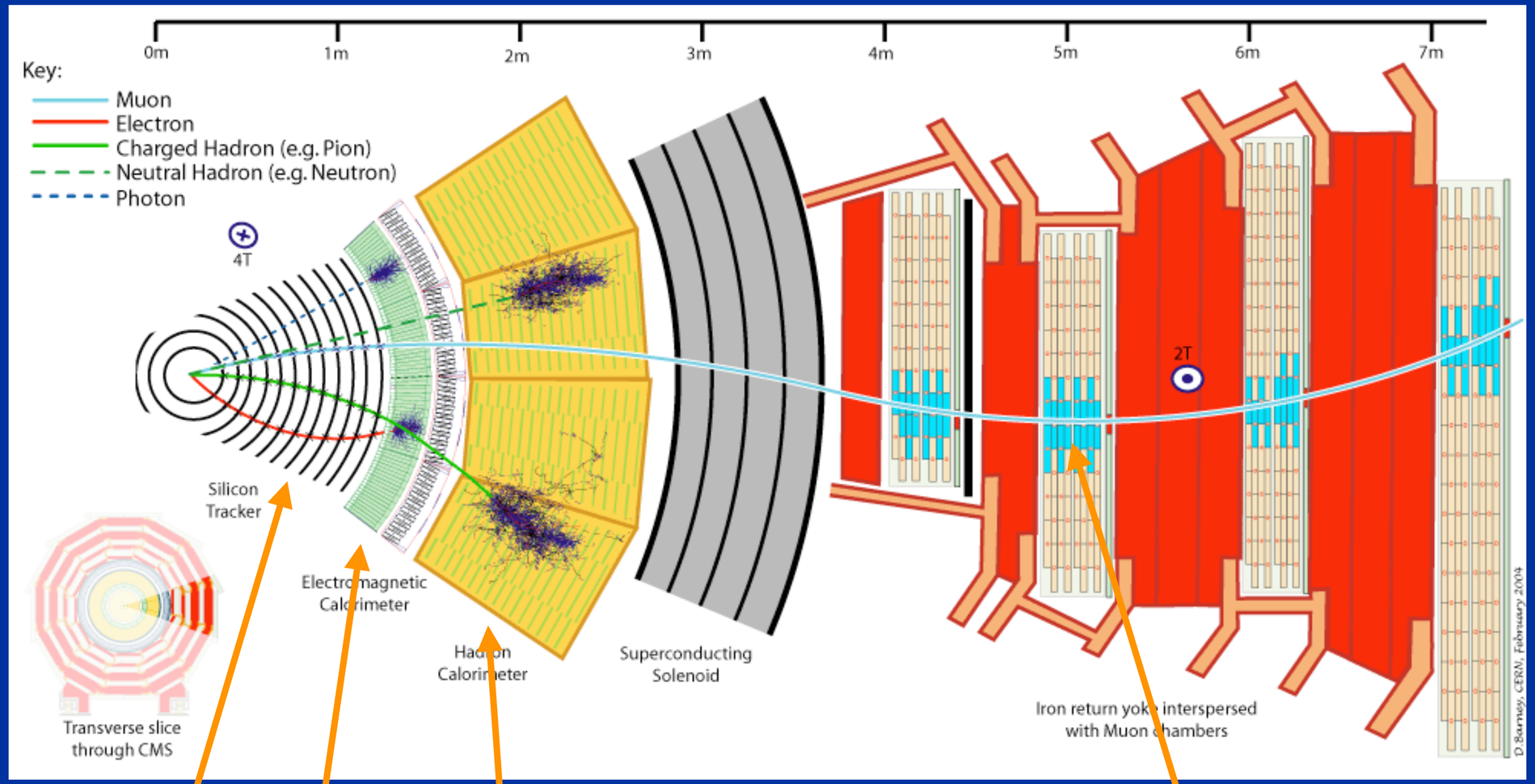
2) Hamel: Math. Ann. Bd. 59 und Zeitschrift f. Math. u. Phys. Bd. 50. Herglotz: Ann. d. Phys. (4) Bd. 36, bes. § 9, S. 511. Fokker, Verslag d. Amsterdamer Akad., 27./1. 1917. Für die weitere Litteratur vergl. die zweite Note von Klein: Göttinger Nachrichten 19. Juli 1918.

In einer eben erschienenen Arbeit von Kneser (Math. Zeitschrift Bd. 2) handelt es sich um Aufstellung von Invarianten nach ähnlicher Methode.

Kgl. Ges. d. Wiss. Nachrichten. Math.-phys. Klasse. 1918. Heft 2. 17

Come si osservano le particelle elementari

Oggi: tipicamente rivelatori giganteschi a “cipolla”



Particelle cariche

Elettroni fotoni

Pioni,protoni neutroni

Muoni

Le tecnologie sviluppate al CERN hanno applicazioni nella medicina e nella diagnostica

© marsbioimaging

© CNAO

© ENVISION / ENLIGHT

Le tecnologie sviluppate al CERN hanno applicazioni nella medicina e nella diagnostica

Tecnologie degli acceleratori sono applicate nella radioterapie per i tumori con protoni, ioni ed elettroni.

© ENVISION / ENLIGHT

© marsbioimaging

Le tecnologie sviluppate al CERN hanno applicazioni nella medicina e nella diagnostica

Le tecnologie applicate al CERN sono anche utilizzate per diagnostica e medical imaging (PET)

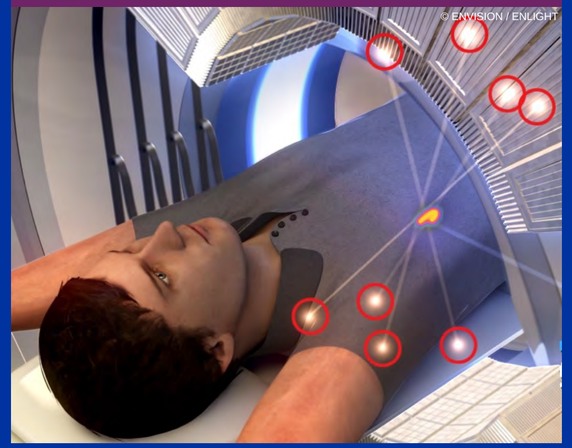
Tecnologie degli acceleratori sono applicate nella radioterapie per i tumori con protoni, ioni ed elettroni.

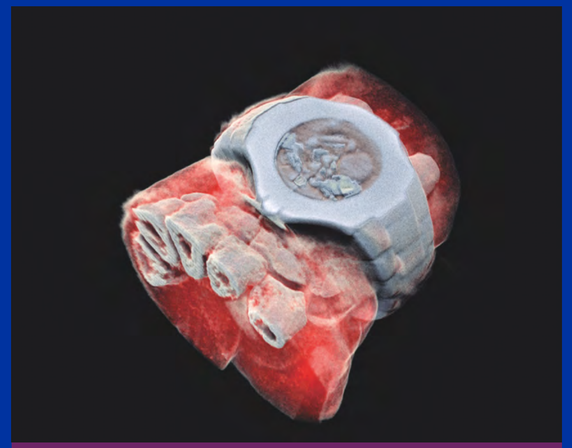
© marsbioimaging

Le tecnologie sviluppate al CERN hanno applicazioni nella medicina e nella diagnostica

Tecnologie degli acceleratori sono applicate nella radioterapie per i tumori con protoni, ioni ed elettroni.

Le tecnologie applicate al CERN sono anche utilizzate per diagnostica e medical imaging (PET)



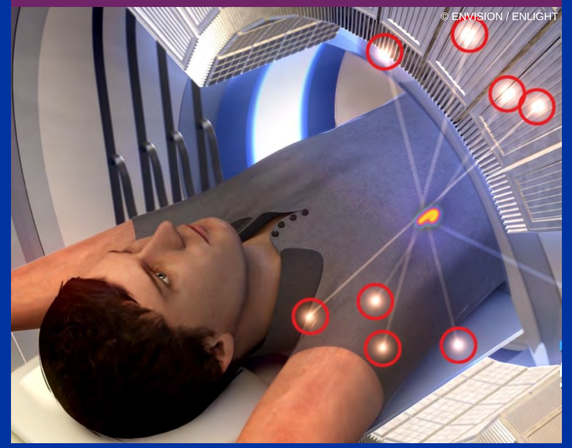


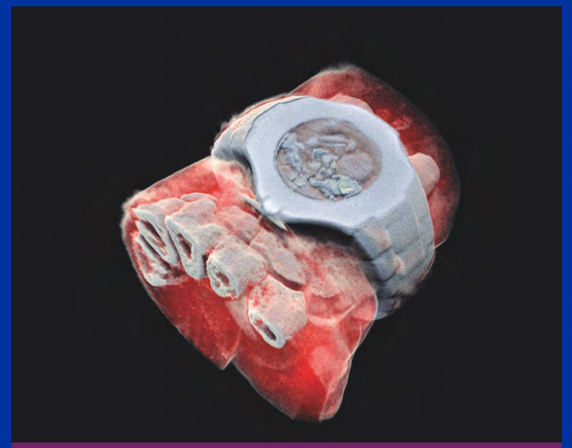
Rivelatori a pixel sono utilizzati per diagnostiche tridimensionali (raggi X 3D)

Le tecnologie sviluppate al CERN hanno applicazioni nella medicina e nella diagnostica

Tecnologie degli acceleratori sono applicate nella radioterapie per i tumori con protoni, ioni ed elettroni.

Le tecnologie applicate al CERN sono anche utilizzate per diagnostica e medical imaging (PET)





Rivelatori a pixel sono utilizzati per diagnostiche tridimensionali (raggi X 3D)

Il CERN produce radioisotopi innovativi per medicina nucleare

Le innovazioni tecnologiche del CERN hanno applicazioni in diversi campi

CERN è il posto dove è nato il WWW

…molti altri esempi….
Medical imaging, terapie per i tumori, scienze dei materiali, tecnologie aerospaziali, automotive, ambiente, salute e sicurezza, processi industriali.

Incidenti di percorso

Qualche giorno dopo aver fatto circolare i primi fasci di protoni nella macchina, il 19 settembre 2008, c'è stato un incidente.
Una connessione elettrica tra due magneti si è fusa e questo ha generato una catena di avvenimenti fino ad una "esplosione" dell'elio liquido di raffreddamento che ha danneggiato pesantemente un settore della macchina. Questo ha causato un ritardo di ~1 anno sul progetto.