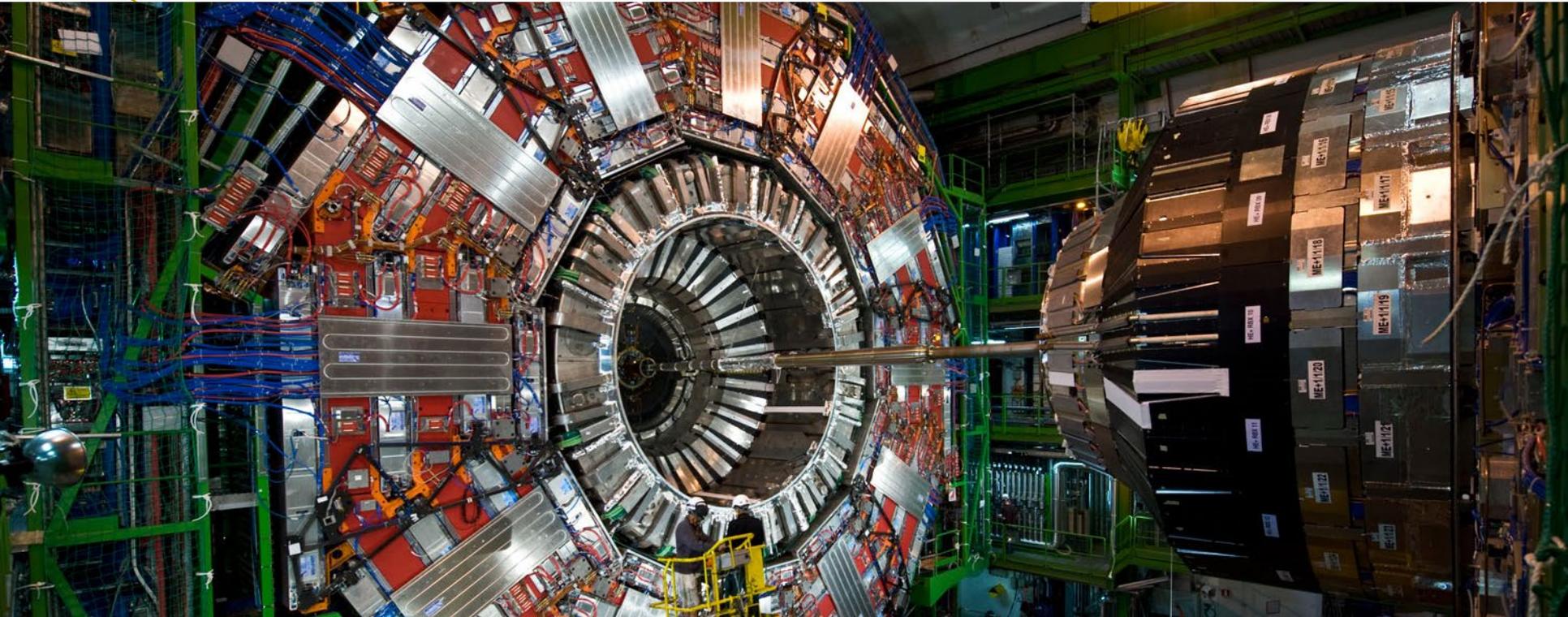


Il CERN e l'LHC: la ricerca di frontiera



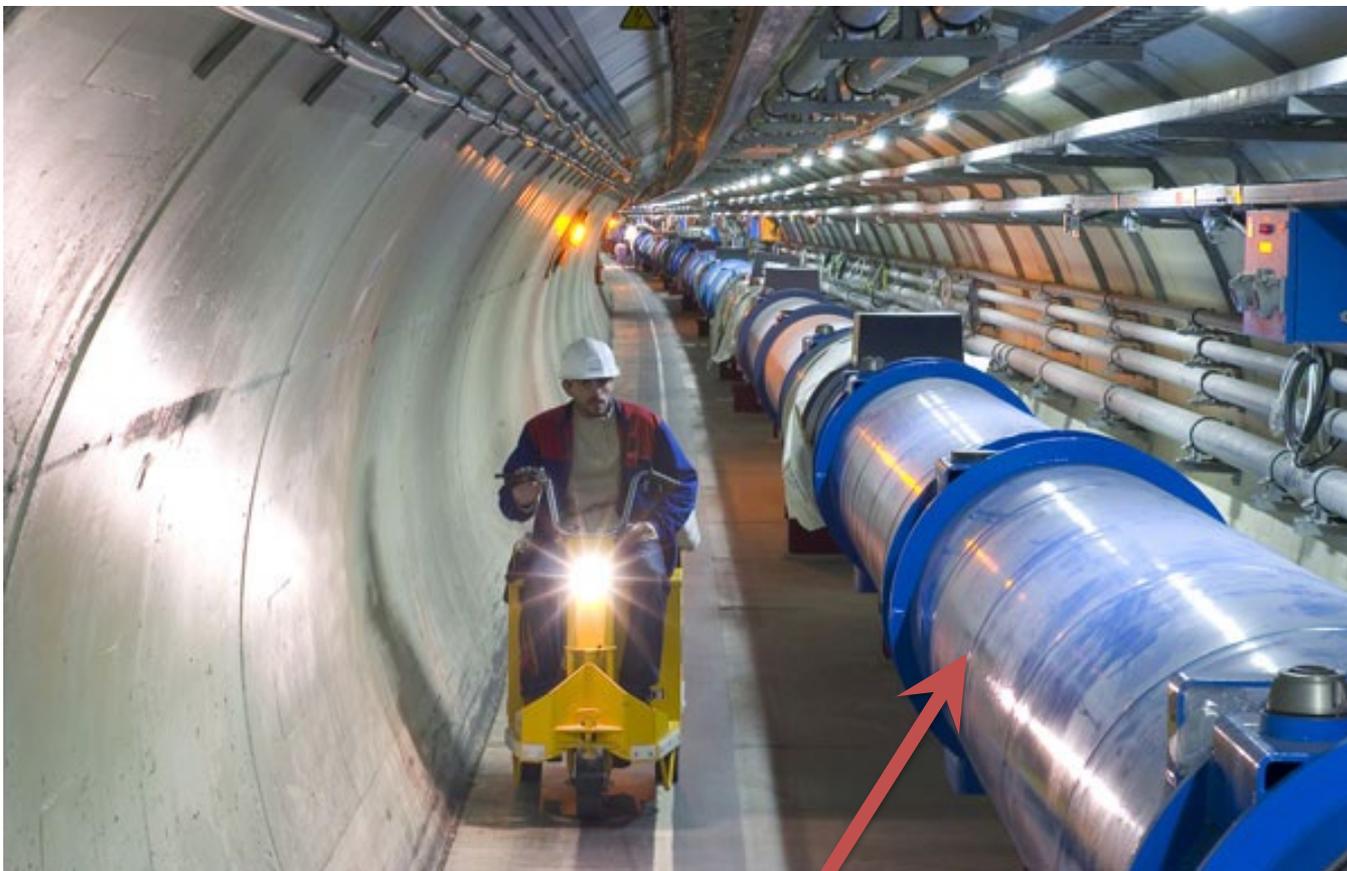
CERN – European Centre for Nuclear Research

Il più grande laboratorio di fisica delle particelle al mondo...



CERN – European Centre for Nuclear Research

...dove si svolge la corsa più veloce, più affollata e con più collisioni di sempre...



Il circuito è questo!

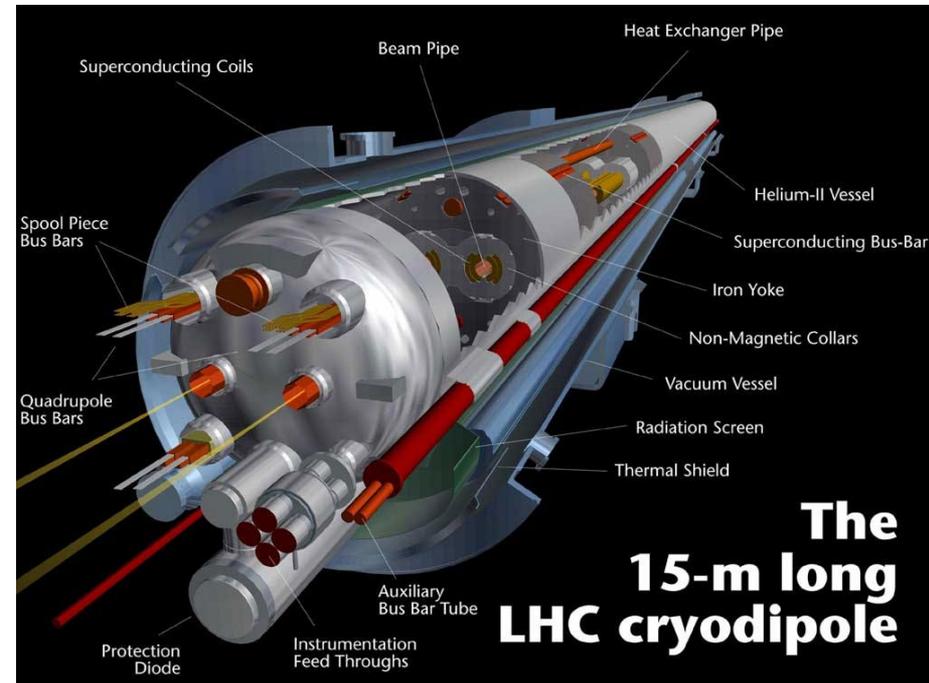
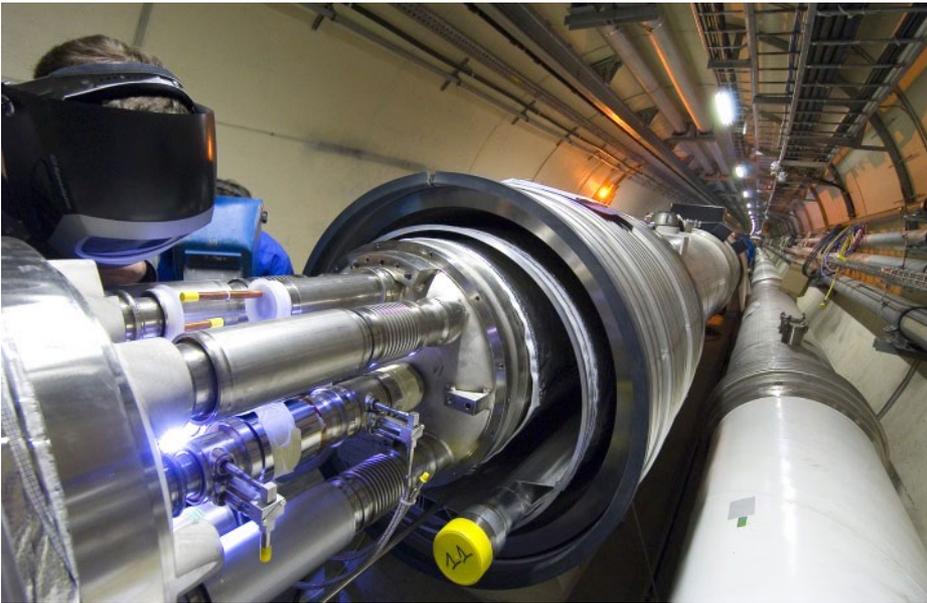
I protoni percorrono un circuito di circa 27 km a **99.999999%** la velocità della luce nel vuoto. Quindi in un secondo percorrono 11 mila giri del circuito.

Migliaia di pacchetti di protoni corrono nei due sensi. Ogni pacchetto contiene **cento miliardi di protoni**.

I pacchetti si scontrano uno contro l'altro circa **40 milioni di volte ogni secondo** in quattro punti del circuito.

CERN – European Centre for Nuclear Research

... in uno spazio più vuoto del nostro Sistema Solare...



La pressione dell'aria nel tubo dove corrono i protoni è pari a 10^{-13} atmosfere (come essere sulla superficie della Luna).

CERN – European Centre for Nuclear Research

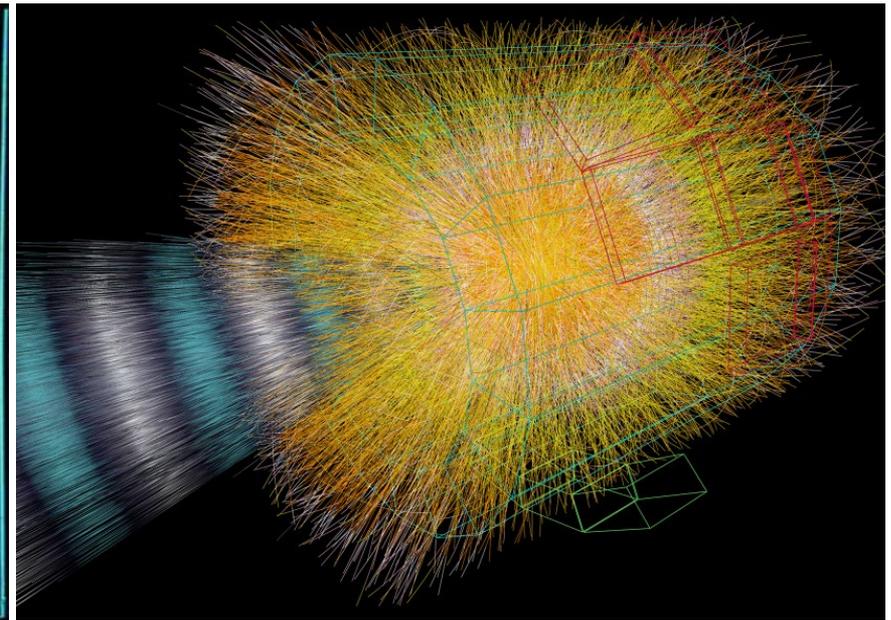
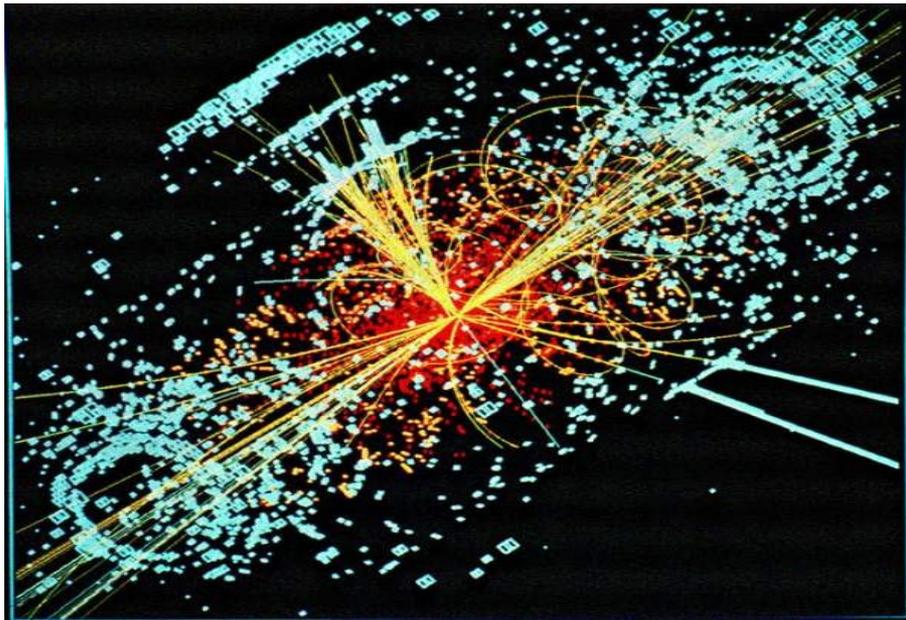
...in una tra le zone **più fredde** dell'universo...



L'elio liquido viene mantenuto in uno stato di superconduttività e superfluidità alla temperatura di $-271.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ o 1.9 K .

CERN – European Centre for Nuclear Research

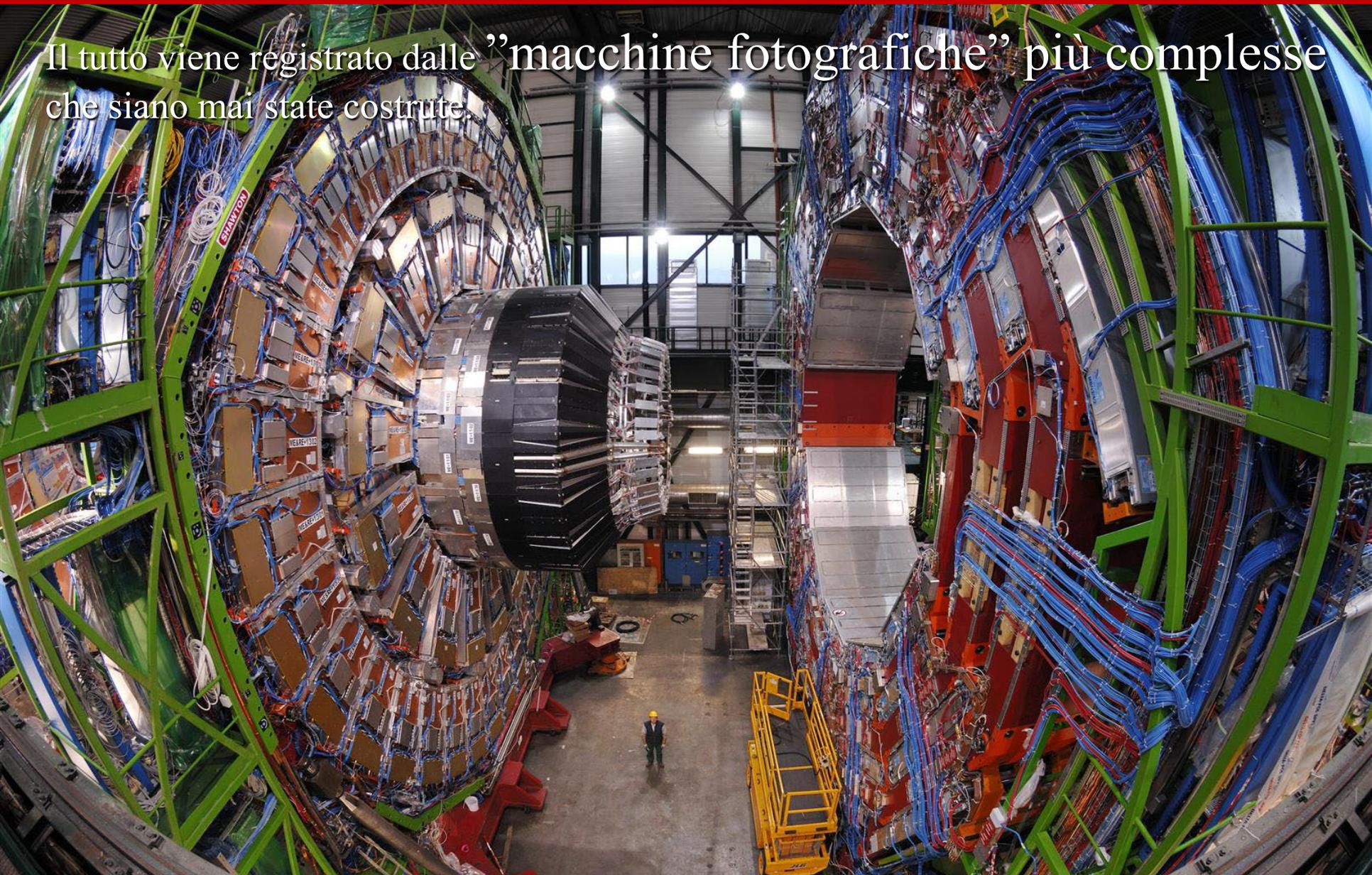
...dove però avvengono reazioni tra le **più energetiche** della nostra galassia...



Si producono infatti violente collisioni corrispondenti a temperature un miliardo di volte superiori a quella del nucleo del Sole (che è di 15 milioni di gradi!)

CERN – European Centre for Nuclear Research

Il tutto viene registrato dalle "macchine fotografiche" più complesse che siano mai state costruite.



Rivelatori con centinaia di milioni di canali (pixel) che scattano 40 milioni di volte al secondo.

Perché?

A che serve tutto ciò?

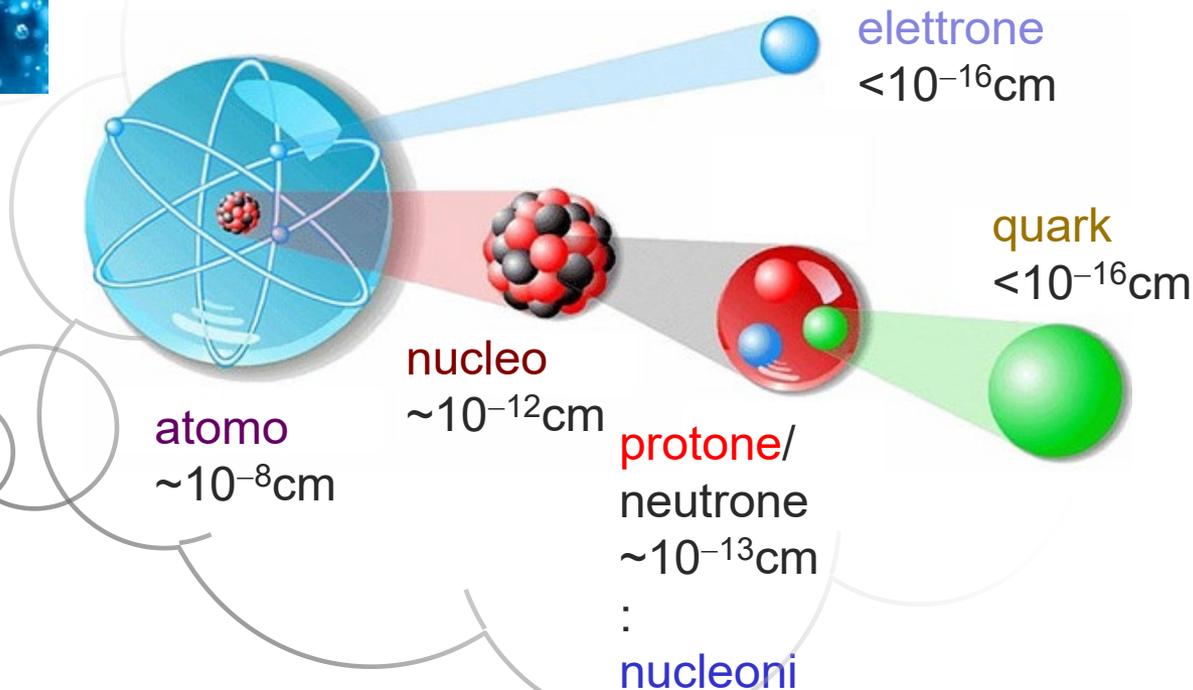
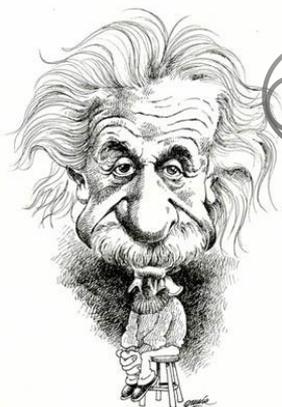
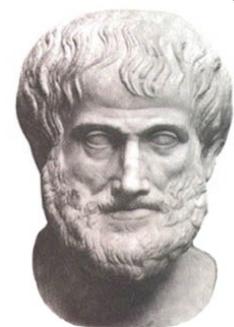
**A rispondere ad alcune
domande fondamentali.**

A stimolare il progresso.

Di che cosa siamo fatti ?



- Lo spazio occupato dalla materia è **soprattutto vuoto**
- Tutta la materia ordinaria che conosciamo può essere ricondotta a due tipi di **costituenti elementari**: **elettroni** e **quark**



Gli atomi che conosciamo

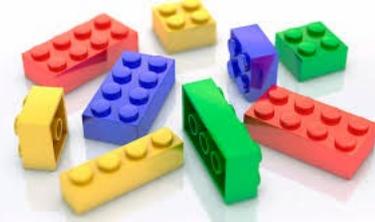


Tavola Periodica

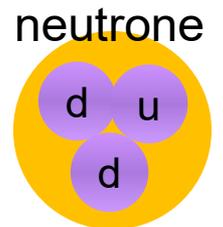
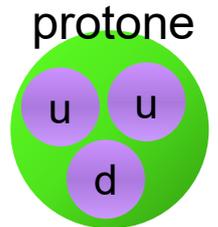
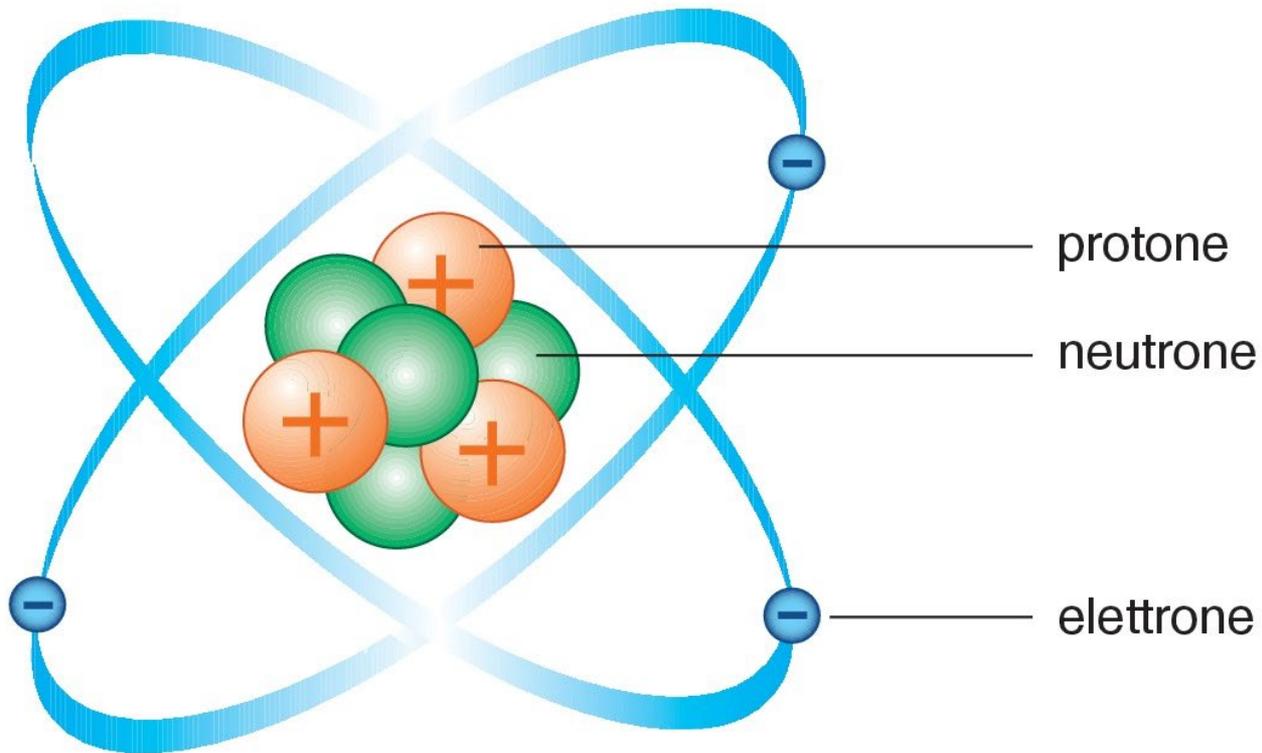
gruppo 1
gruppo 18

IA	IIA										IIIB	IVB	VB	VIB	VIBB	VIBB	VIBB	IB	IIIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIA	VIIIA															
1 H 1.008 1	2 He 4.003 2																																								
3 Li 6.941 1	4 Be 9.012 2											5 B 10.81 3	6 C 12.01 4	7 N 14.01 5	8 O 16 6	9 F 19 7											10 Ne 20.18 10														
11 Na 22.99 1	12 Mg 24.31 2	13 Al 26.98 3	14 Si 28.09 4	15 P 30.97 5	16 S 32.07 6	17 Cl 35.45 7	18 Ar 39.95 8	19 K 39.1 1	20 Ca 40.08 2	21 Sc 44.96 3	22 Ti 47.87 4	23 V 50.94 5	24 Cr 52 6	25 Mn 54.94 7	26 Fe 55.85 8	27 Co 58.93 9	28 Ni 58.69 10	29 Cu 63.55 11	30 Zn 65.37 12	31 Ga 69.72 13	32 Ge 72.64 14	33 As 74.92 15	34 Se 78.96 16	35 Br 79.91 17	36 Kr 83.8 18																
37 Rb 85.47 1	38 Sr 87.62 2	39 Y 88.91 3	40 Zr 91.22 4	41 Nb 92.91 5	42 Mo 95.94 6	43 Tc 98.91 7	44 Ru 101.1 8	45 Rh 102.9 9	46 Pd 106.4 10	47 Ag 107.9 11	48 Cd 112.4 12	49 In 114.8 13	50 Sn 118.7 14	51 Sb 121.8 15	52 Te 127.6 16	53 I 126.9 17	54 Xe 131.3 18	55 Cs 132.9 1	56 Ba 137.3 2	57 La 138.9 3	58 Ce 140.1 4	59 Pr 140.9 5	60 Nd 144.2 6	61 Pm 145 7	62 Sm 150.4 8	63 Eu 152 9	64 Gd 157.3 10	65 Tb 158.9 11	66 Dy 162.5 12	67 Ho 164.9 13	68 Er 167.3 14	69 Tm 168.9 15	70 Yb 173 16	71 Lu 175 17							
87 Fr [223] 1	88 Ra [226] 2	Lantanidi										89 La 138.9 3	90 Ce 140.1 4	91 Pr 140.9 5	92 Nd 144.2 6	93 Pm 145 7	94 Sm 150.4 8	95 Eu 152 9	96 Gd 157.3 10	97 Tb 158.9 11	98 Dy 162.5 12	99 Ho 164.9 13	100 Er 167.3 14	101 Tm 168.9 15	102 Yb 173 16	103 Lu 175 17	104 Ac [227] 3	105 Th [232] 4	106 Pa [231] 5	107 U [238] 6	108 Np [237] 7	109 Pu [244] 8	110 Am [243] 9	111 Cm [247] 10	112 Bk [247] 11	113 Cf [251] 12	114 Es [252] 13	115 Fm [257] 14	116 Md [258] 15	117 No [259] 16	118 Og [284] 18
		Atinidi										119 Nh [284] 13	120 Fl [289] 14	121 Mc [288] 15	122 Lv [292] 16	123 Ts [293] 17	124 Og [294] 18																								

Legenda:

- Altre informazioni per l'elemento: numero atomico (Z), simbolo, peso atomico standard (A), classificazione IUPAC.
- Elemento: numero atomico (Z), simbolo, nome, gruppo di primo ionizzazione (kJ/mol), densità (g/cm³), elettonegatività, proprietà degli ossidi, stato d'ossidazione, configurazione elettronica.
- Stato: X solido, X liquido, X gassoso, X non conosciuto.
- Caratteristiche: fortemente acido, moderatamente acido, debolmente acido, neutro, debolmente basico, moderatamente basico, fortemente basico, alcalino.
- Altre informazioni: Lr lantanide, Sc scandio, Cd cadmio, At attinio, Sp sinterio.
- Altre informazioni: elemento stabile, elemento instabile o radioattivo, elemento naturale, elemento sintetico.

Cosa c'e` dentro un atomo?



Forze e interazioni

- La materia, così come le particelle, interagisce attraverso le **forze**.
- Le interazioni possono avvenire a distanza grazie a **campi** di forza.
 - Il **campo gravitazionale** generato dal Sole determina il moto dei pianeti.
 - Il **campo elettromagnetico** permette comunicazioni a grandi distanze con la trasmissione di onde.



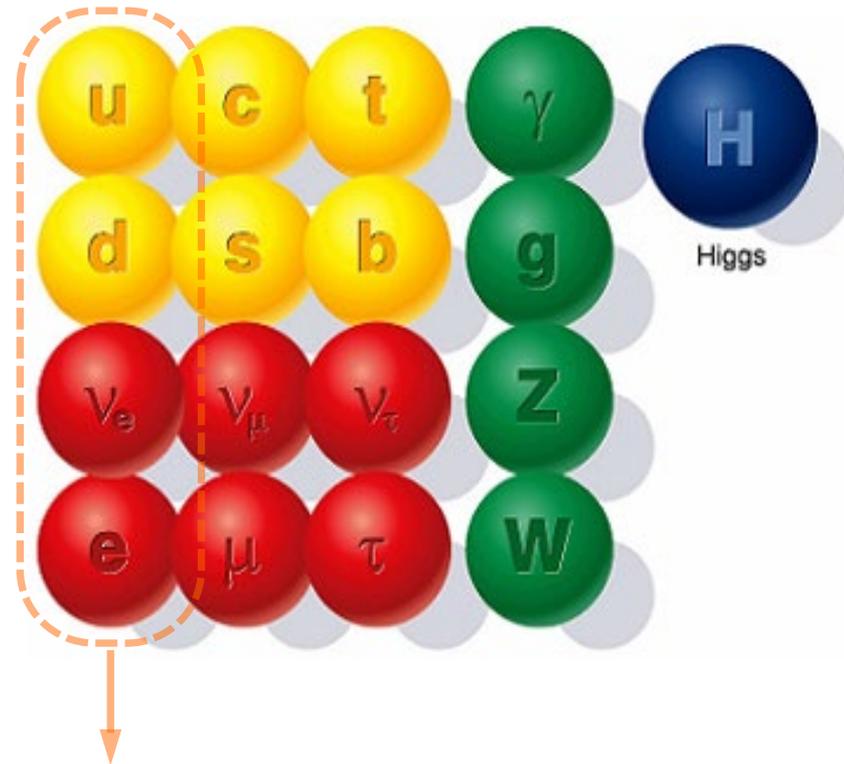
[Forze e interazioni

- Le forze si possono spiegare su scala microscopiche come lo scambio tra due particelle di un'altra particella che fa da mediatore.
- Il fotone è il mediatore della forza/interazione elettromagnetica.
- Un'applicazione della fisica dei fotoni è il laser.
- Le altre particelle mediatori sono i gluoni (interazione nucleare forte) e i bosoni W e Z (interazioni nucleari deboli)



Il Modello Standard

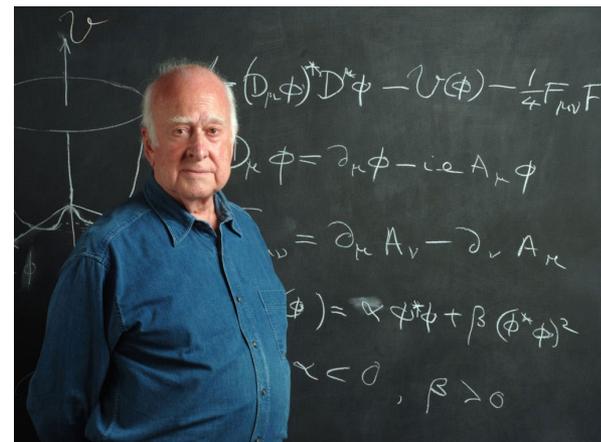
- Tutte le particelle elementari conosciute e le loro forze (interazioni) sono riunite in un unico modello teorico.
- Le particelle che formano la materia ordinaria esistono in **tre repliche**.
- Per ogni particella di materia esiste una antiparticella.
- Il Modello Standard non è completo:
 - È il gravitone la particella che corrisponde al campo gravitazionale?



Solo la prima replica forma la materia che ci circonda.

A che serve il campo di Higgs ?

- Nel Modello Standard non c'è modo di spiegare perché le particelle hanno la massa; esse dovrebbero sempre viaggiare alla velocità della luce, come i fotoni.
- Ma il mondo non è fatto così: e per fortuna !
- Peter Higgs e altri trovarono quasi 60 anni fa un meccanismo che permette di spiegare **perché le particelle elementari hanno massa.**
- La massa delle particelle viene generata da un nuovo campo che è presente e si manifesta in tutto lo spazio.
- Le particelle che interagiscono con il **campo di Higgs** vengono rallentate; non viaggiano più alla velocità della luce, e acquistano una massa non nulla !



[Il bosone di Higgs

- Maggiore è l'intensità dell'interazione col campo di Higgs, maggiore è la massa. Perciò ci sono particelle più pesanti di altre.
- Ma come facciamo a capire che il meccanismo di Higgs sia realmente la soluzione esistente in natura e **non soltanto una ipotesi affascinante** ?
- Come ogni campo anche quello di Higgs lascia una traccia... una particella associata ad esso, con proprietà ben definite, **il bosone di Higgs**.
- Ci sono voluti 50 anni per (produrre) trovare questa traccia !!





Cern - 4 luglio 2012

Volume 712, Issue 3, 6 June 2012 ISSN 0370-2693

ELSEVIER

PHYSICS LETTERS B

Available online at www.sciencedirect.com
SciVerse ScienceDirect

The cover features two main plots. The top plot shows $S/(S+B)$ Weighted Events / 1.5 GeV on the y-axis (0 to 1500) versus m_T (GeV) on the x-axis (110 to 150). It includes data points, a fit component, and a magnified view of the peak region. The bottom plot is an ATLAS plot of $Local\ p_0$ on a logarithmic y-axis (10⁻¹⁰ to 1) versus m_H [GeV] on the x-axis (110 to 500). It shows observed data and an expected signal for $\sqrt{s} = 7-8$ TeV.

<http://www.elsevier.com/locate/physletb>

The Economist

JULY 7TH - 13TH 2012 Economist.com

In praise of charter schools
Britain's banking scandal spreads
Volkswagen overtakes the rest
A power struggle at the Vatican
When Lonesome George met Nora

A giant leap for science

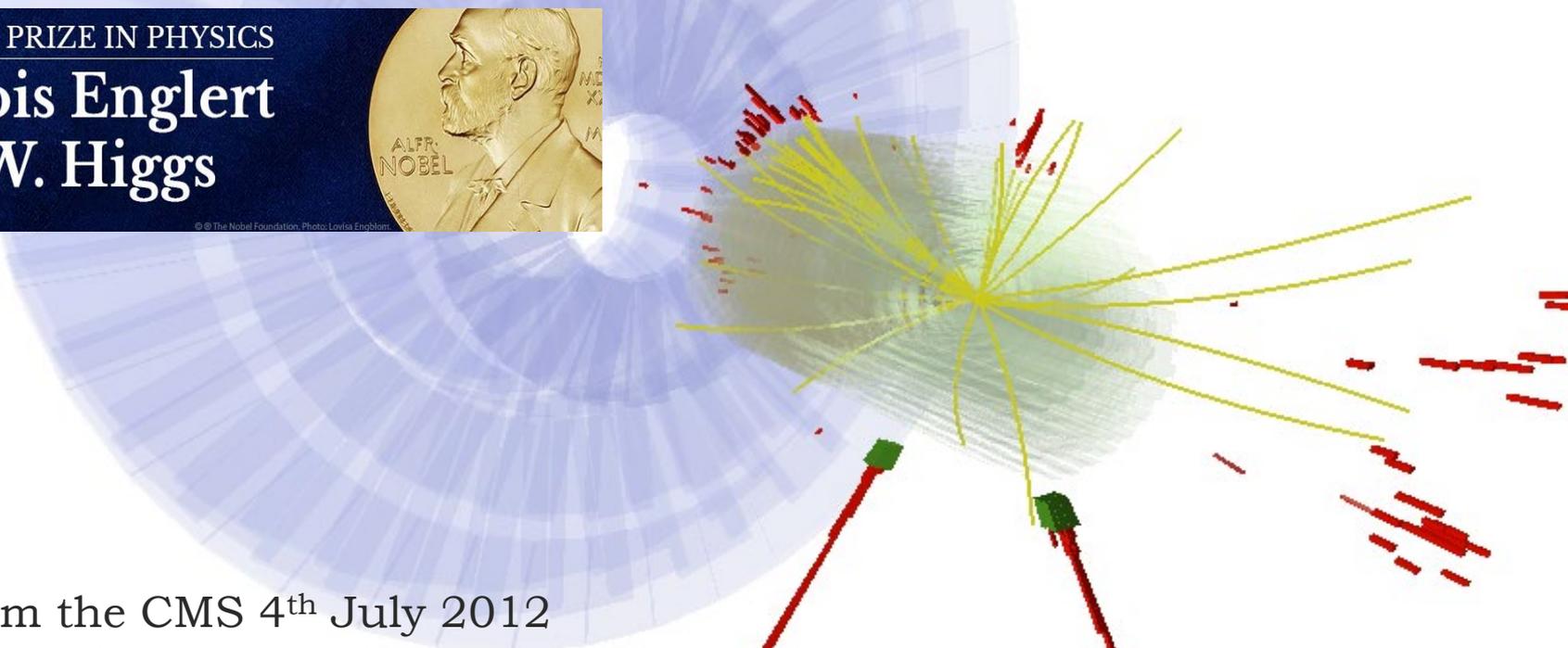
The cover features a man in a suit running through a colorful, abstract space. The text "A giant leap for science" is prominently displayed in white. At the bottom right, the text "Finding the Higgs boson" is written in yellow.

Finding the Higgs boson

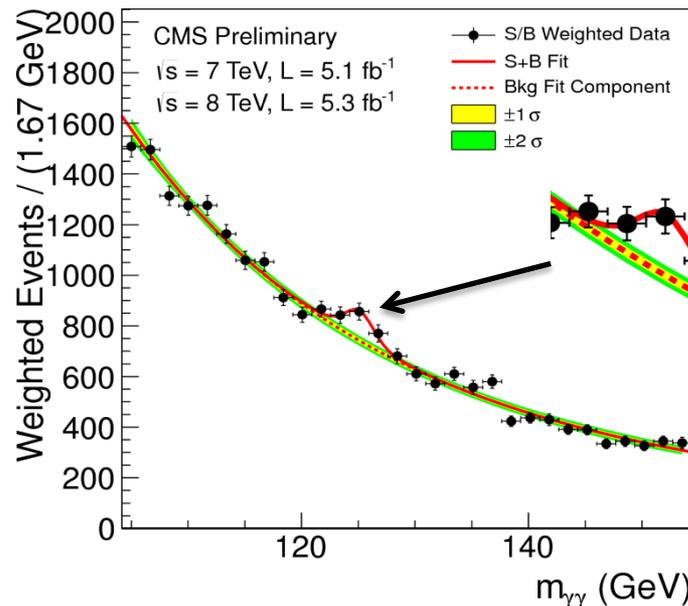
François Englert Peter W. Higgs



© The Nobel Foundation. Photo: Lovisa Engblom



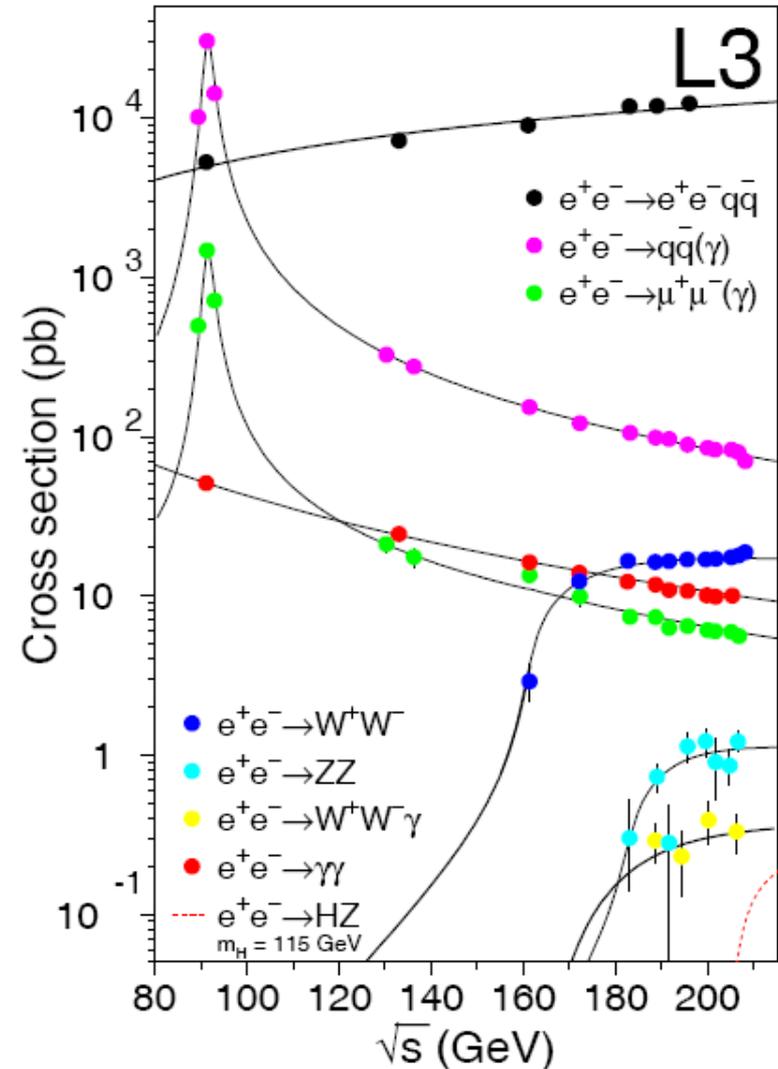
Plot from the CMS 4th July 2012
Higgs search presentation



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Sat May 26 08:58:34 2012 CEST
Run/Event: 195013 / 101541168
Lumi section: 466

[Il Modello Standard

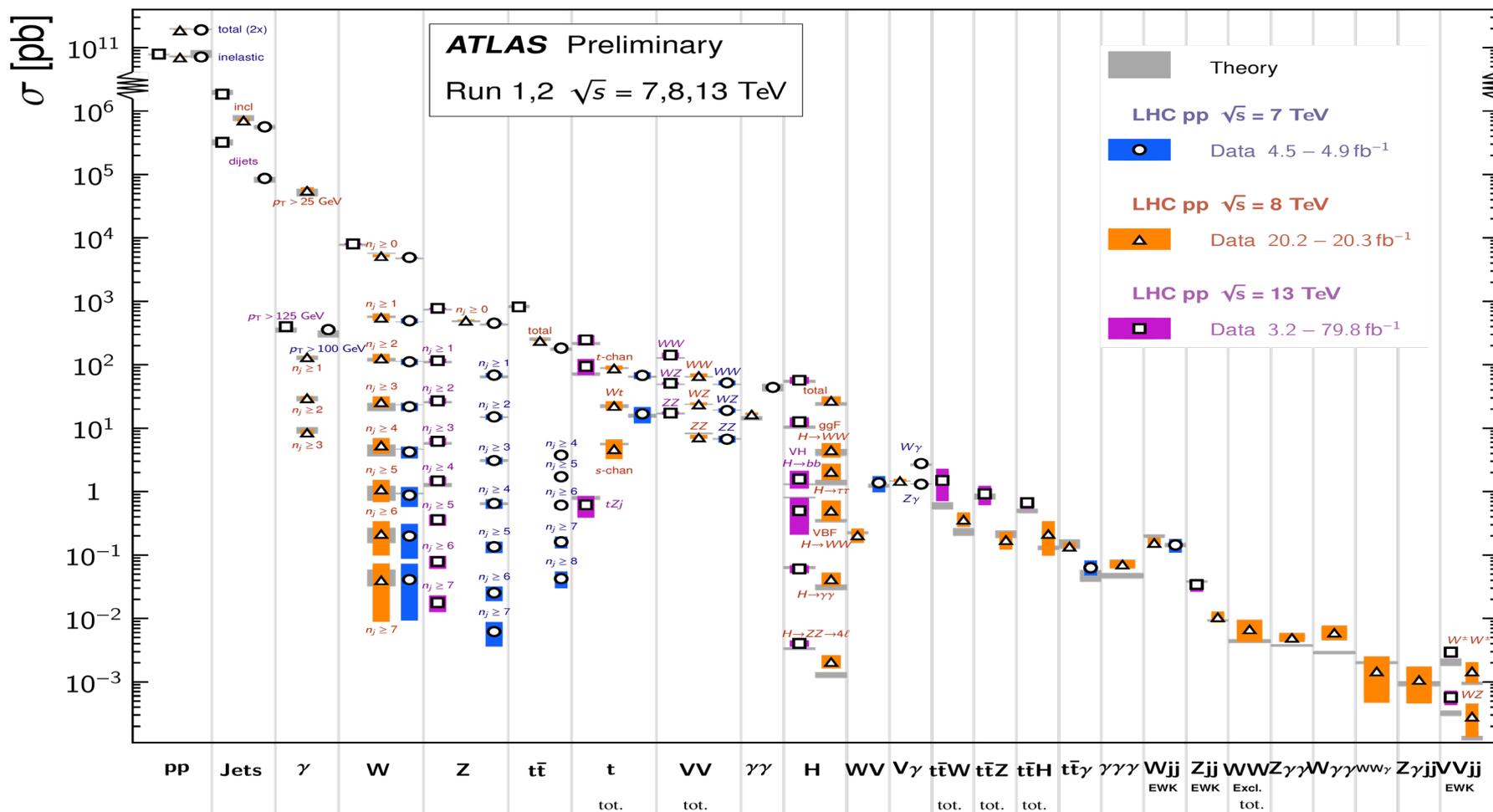
- Questa teoria ha mostrato finora una impressionante capacità predittiva
- Le previsioni teoriche coincidono con i risultati sperimentali ottenuti negli ultimi decenni con un livello di precisione molto elevato.
- E ora? Cerchiamo di andare oltre al MS.



Il Modello Standard

Standard Model Production Cross Section Measurements

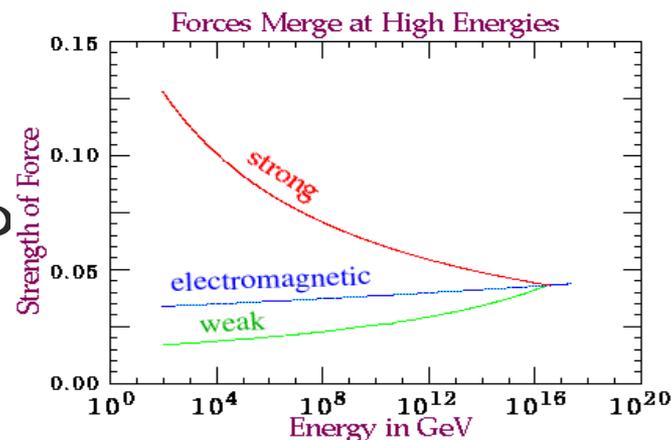
Status: July 2018





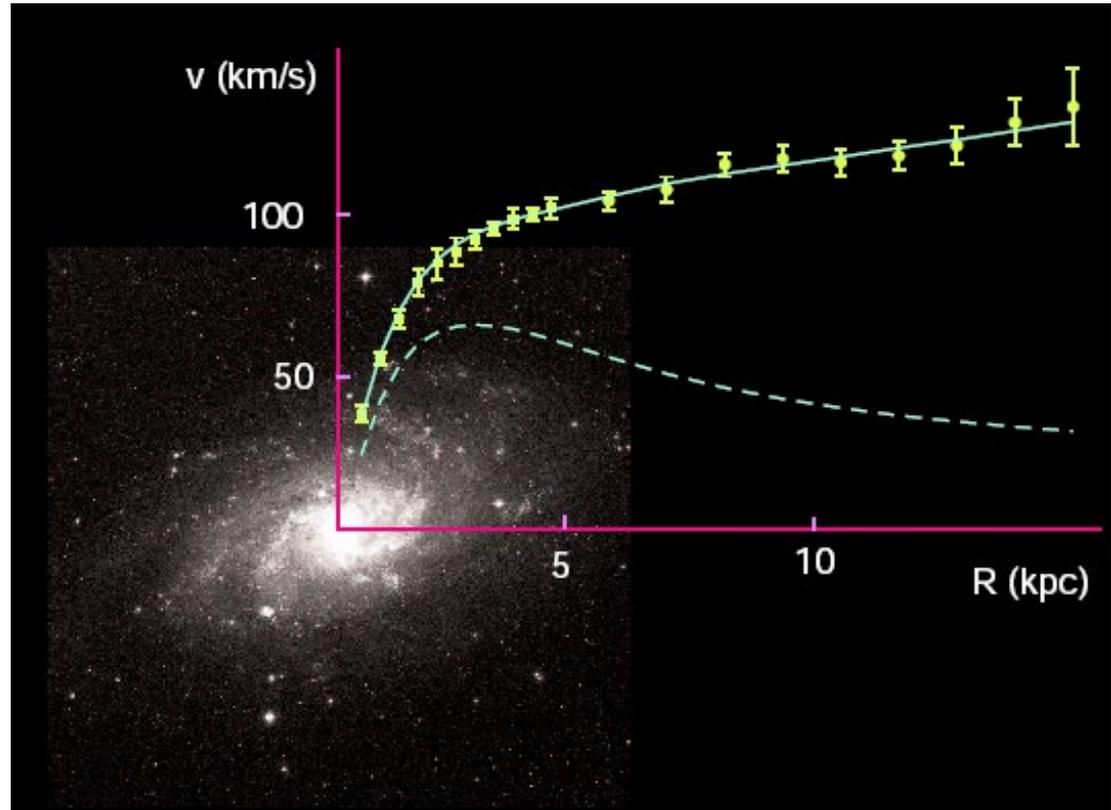
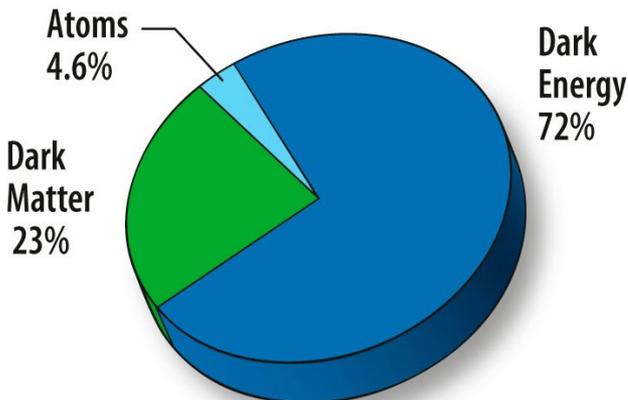
Domande fondamentali (ancora) senza risposta

- Perché proprio tre repliche di quark e leptoni ?
E perché di masse così diverse ?
- Perché nell'universo esiste questa forte
asimmetria tra materia e antimateria ?
- Come è connessa la gravità alle altre tre forze ?
Le forze sono unificate ad
altissime energie ?
- Che massa hanno i neutrini?
- Cosa è la materia oscura ?
- ...



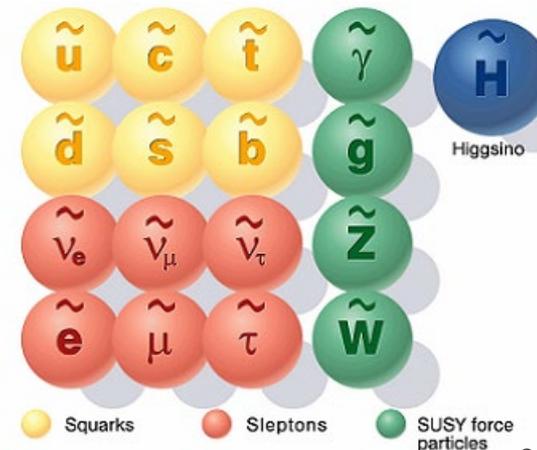
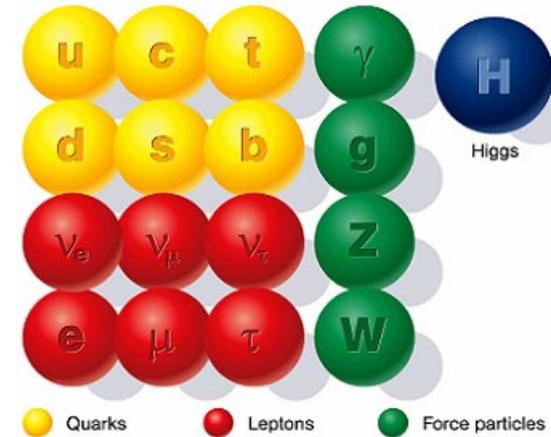
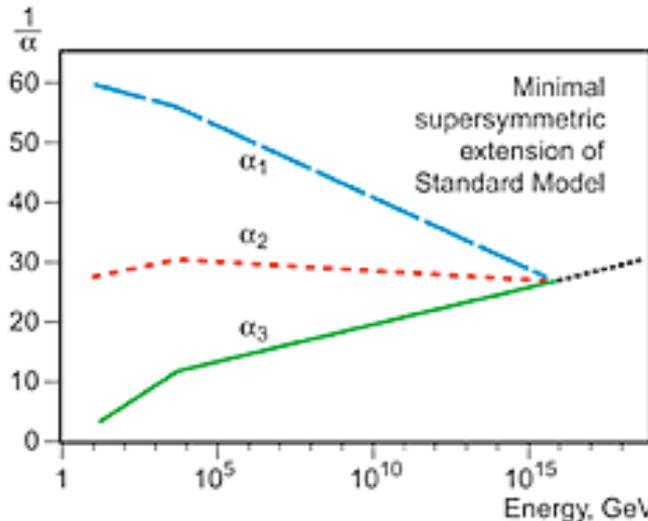
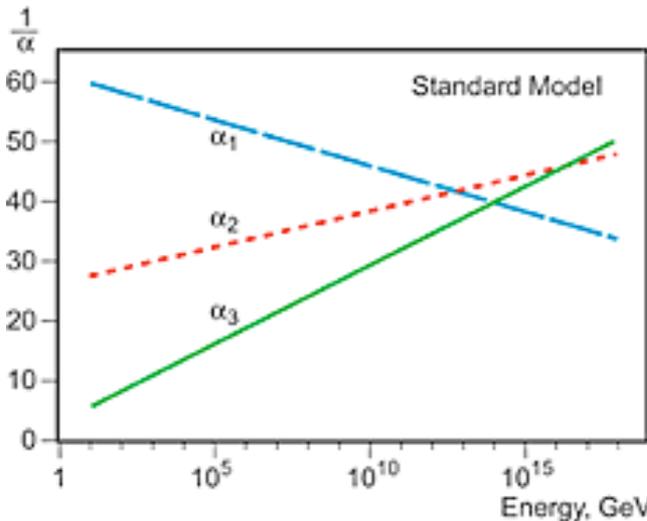
L'inaspettato: la ricerca di materia oscura

- Stelle e pianeti costituiscono **solo il 5%** circa del contenuto dell'universo
- Gran parte della massa **non è visibile** direttamente, ma solo attraverso i suoi **effetti gravitazionali**



Curva di rotazione della galassia M33

L'inaspettato: unificazione e supersimmetria ?



- Le intensità degli accoppiamenti nello SM non sono compatibili con una grande unificazione
- La **Supersimmetria** (SUSY) potrebbe essere un meccanismo necessario per garantire l'unificazione delle interazioni
- Per ogni particella esisterebbe una corrispondente **s**-particella
- SUSY prevede anche particelle candidati di **materia oscura**: particelle stabili che interagiscono pochissimo con la materia

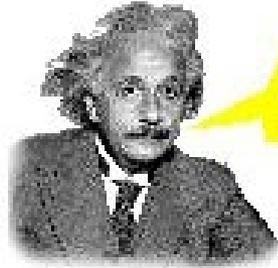
E cosa ci serve?

Gli acceleratori di
particelle.

I rivelatori di particelle.

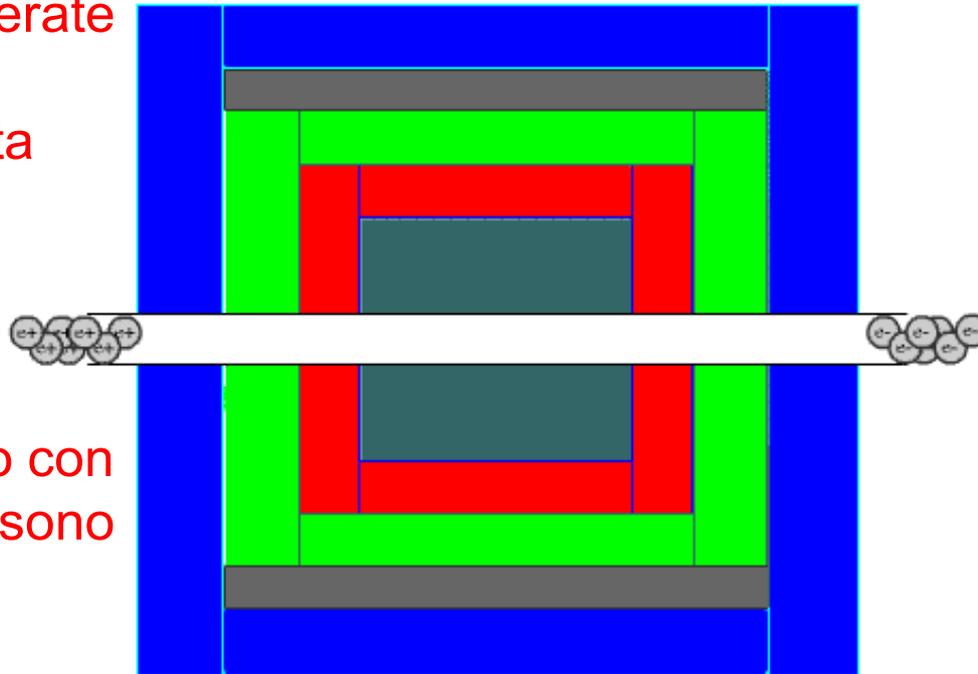
Tanto altro...

acceleratori di particelle, perchè ?



$$E=mc^2$$

Le particelle accelerate nell'acceleratore raggiungono un'alta energia **E**



...nuove
particelle di
massa **m**

E quando sbattono con altre particelle possono creare

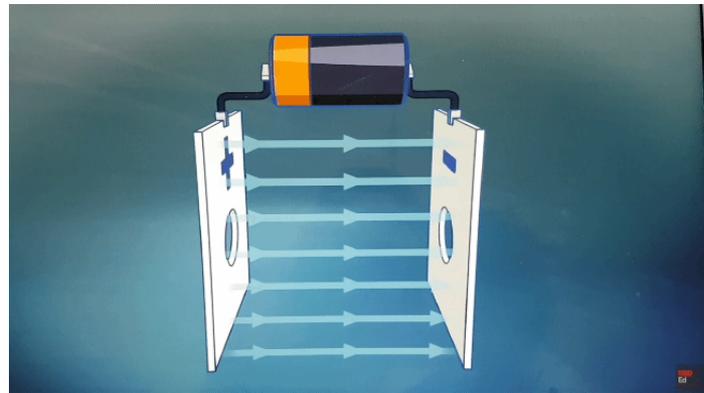
Gli acceleratori ci permettono di studiare le particelle che esistevano subito dopo il big bang e adesso non ci sono più

Unita` di misura dell'energia per particelle

A livello atomico o delle particelle, si usa spesso una unità di misura che si chiama elettronVolt eV:

1 eV e` l'energia che acquista una particella di carica e attraversando una differenza di potenziale di 1 Volt

$$1eV = (1.6 \cdot 10^{-19} C) \cdot (1 V) = 1.6 \cdot 10^{-19} J$$

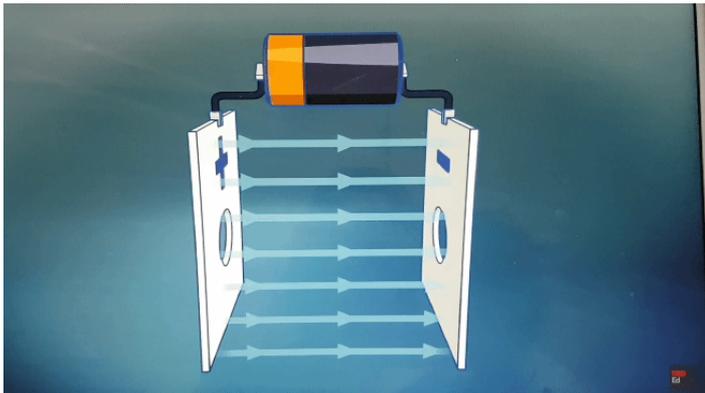


poi naturalmente ci sono: ...meV, eV, KeV, MeV, GeV, TeV...

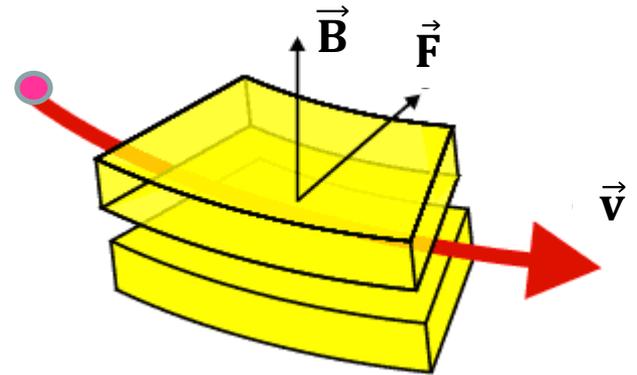
Forza di Lorentz

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

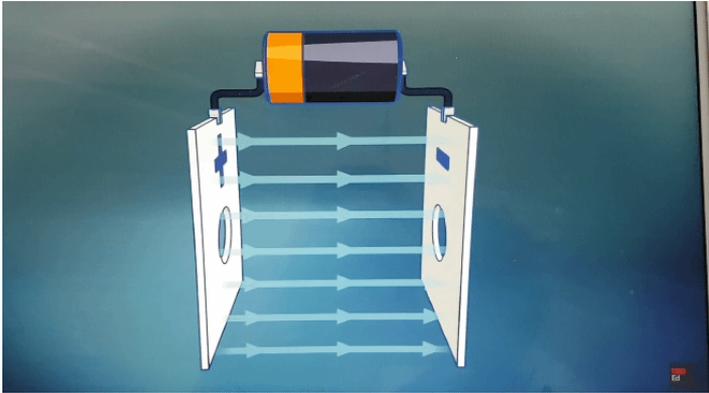
Effetto di un campo elettrico su una particella carica → la particella accelera



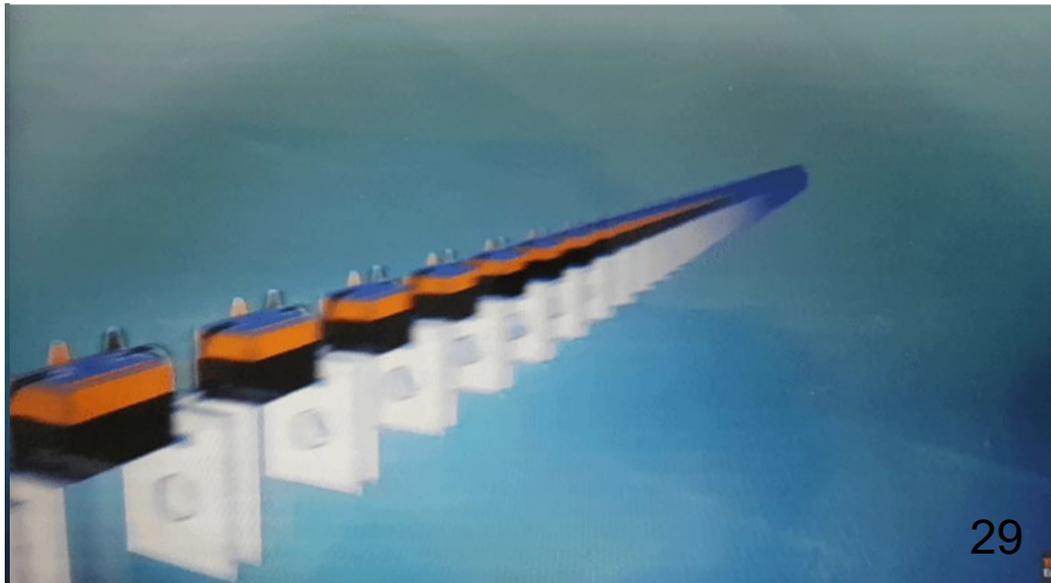
Effetto di un campo magnetico su una particella carica → la particella curva



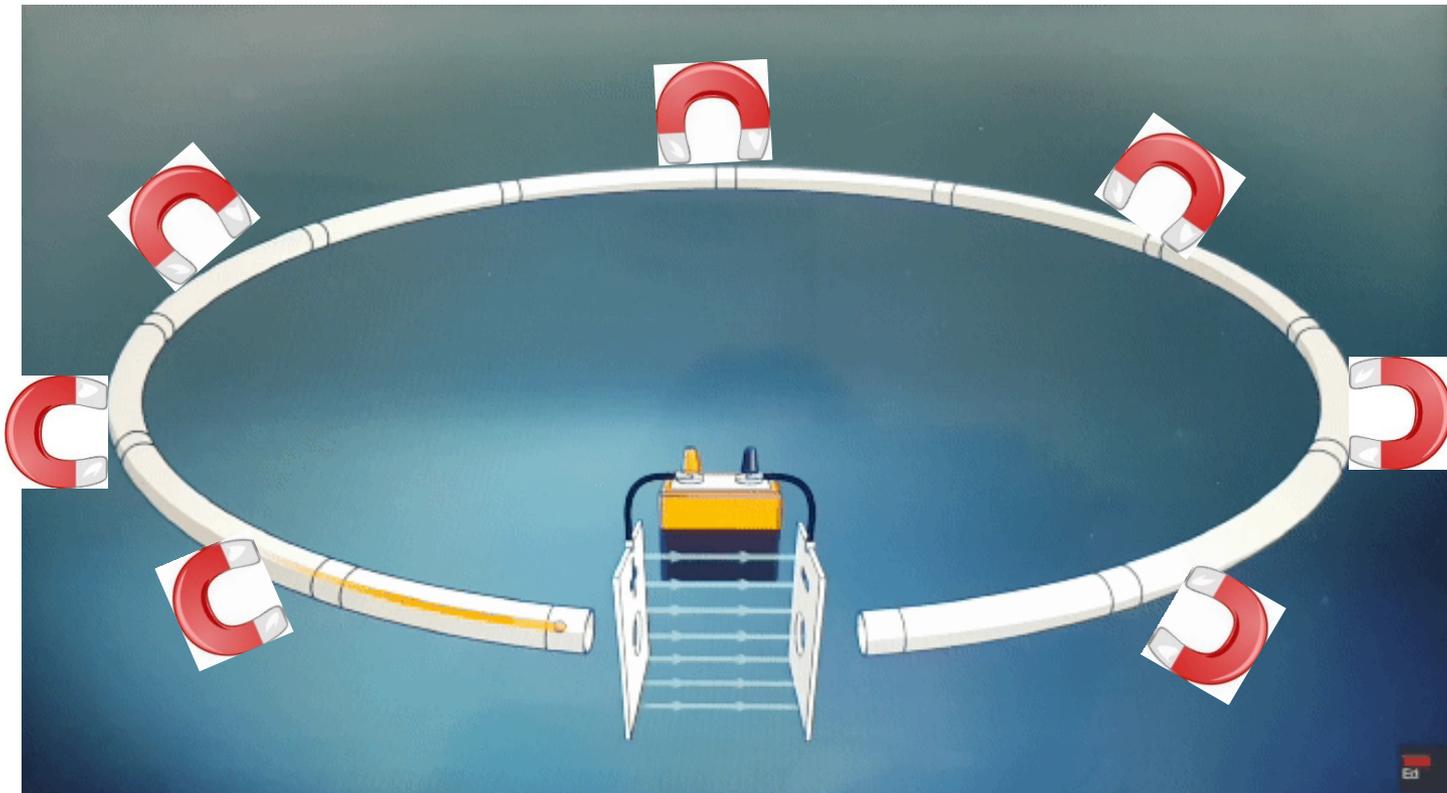
Il limite di un acceleratore lineare



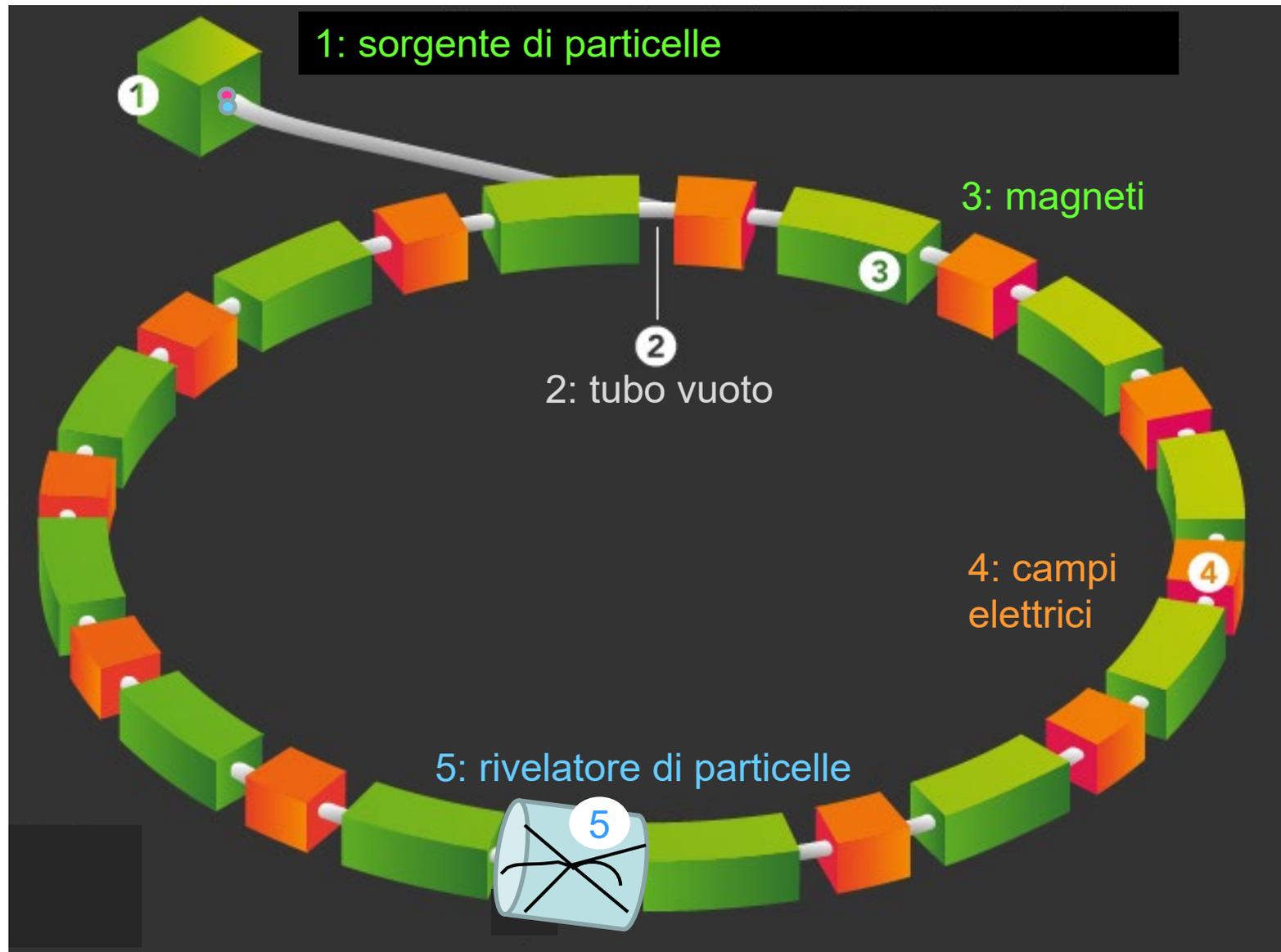
Energia protoni LHC= 7 TeV \rightarrow
servono 5 milioni di milioni di pile da
1.5V



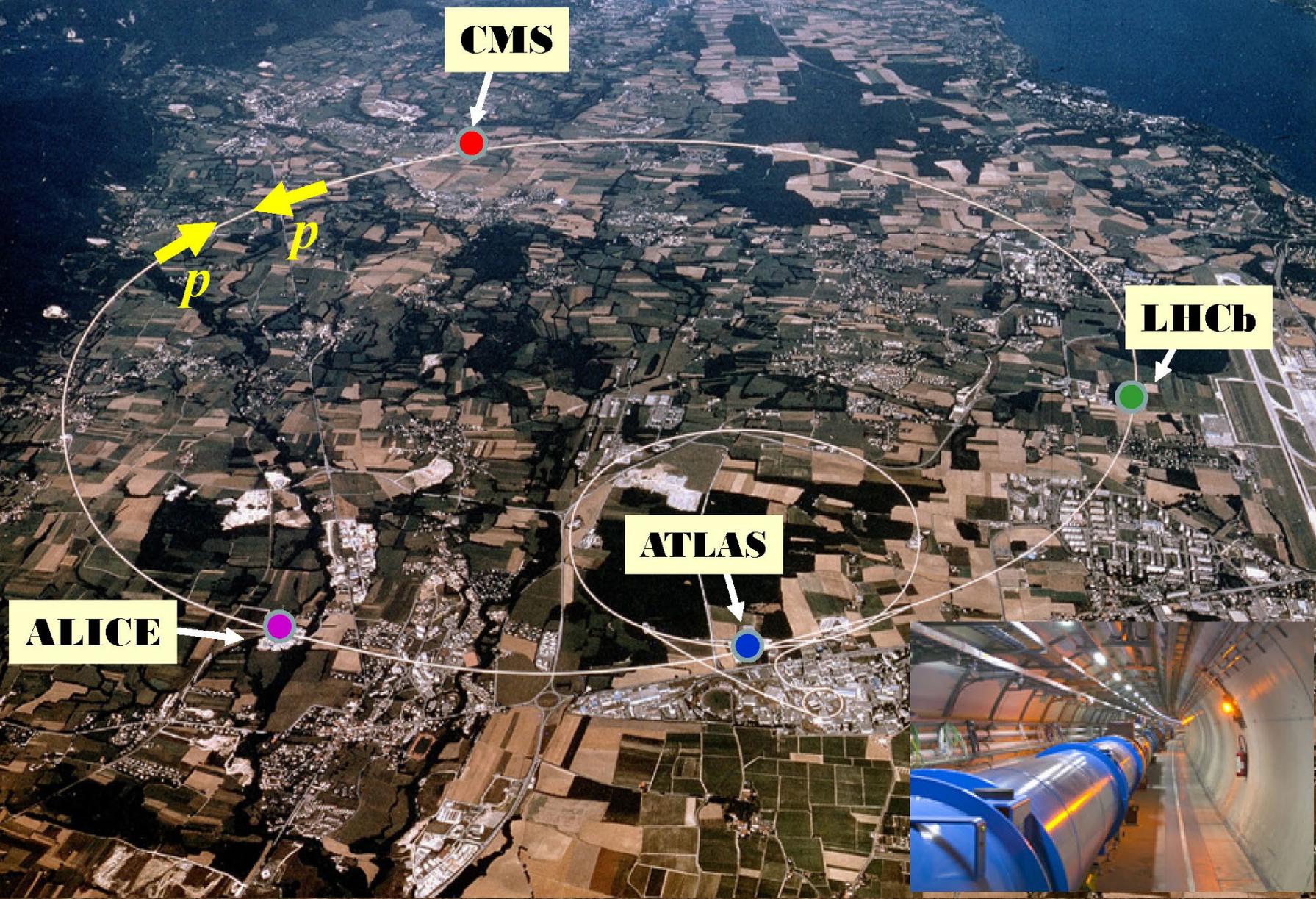
Acceleratore circolare



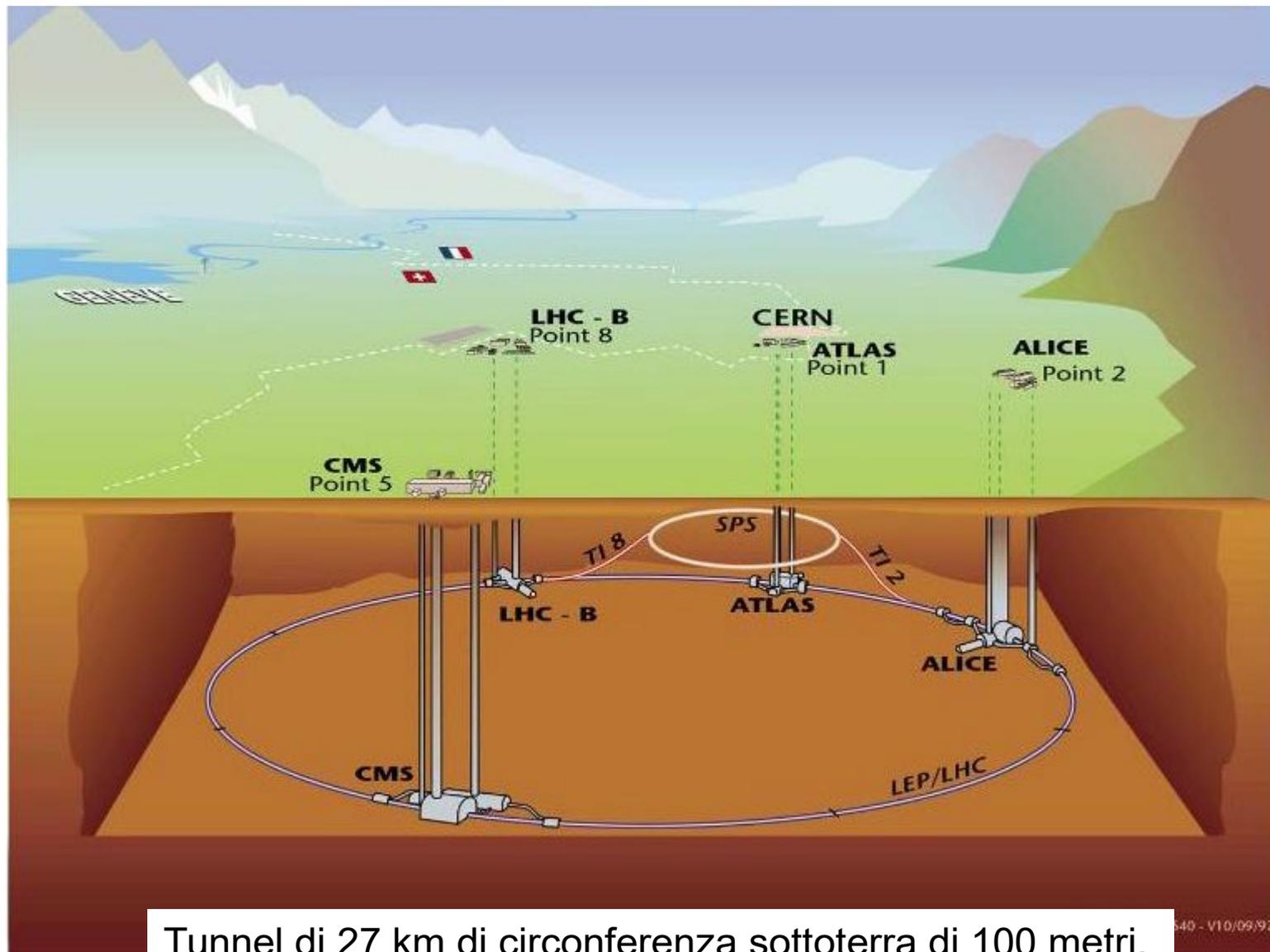
Un acceleratore circolare



Large Hadron Collider



LHC al CERN



Tunnel di 27 km di circonferenza sottoterra di 100 metri.

I magneti dell'LHC

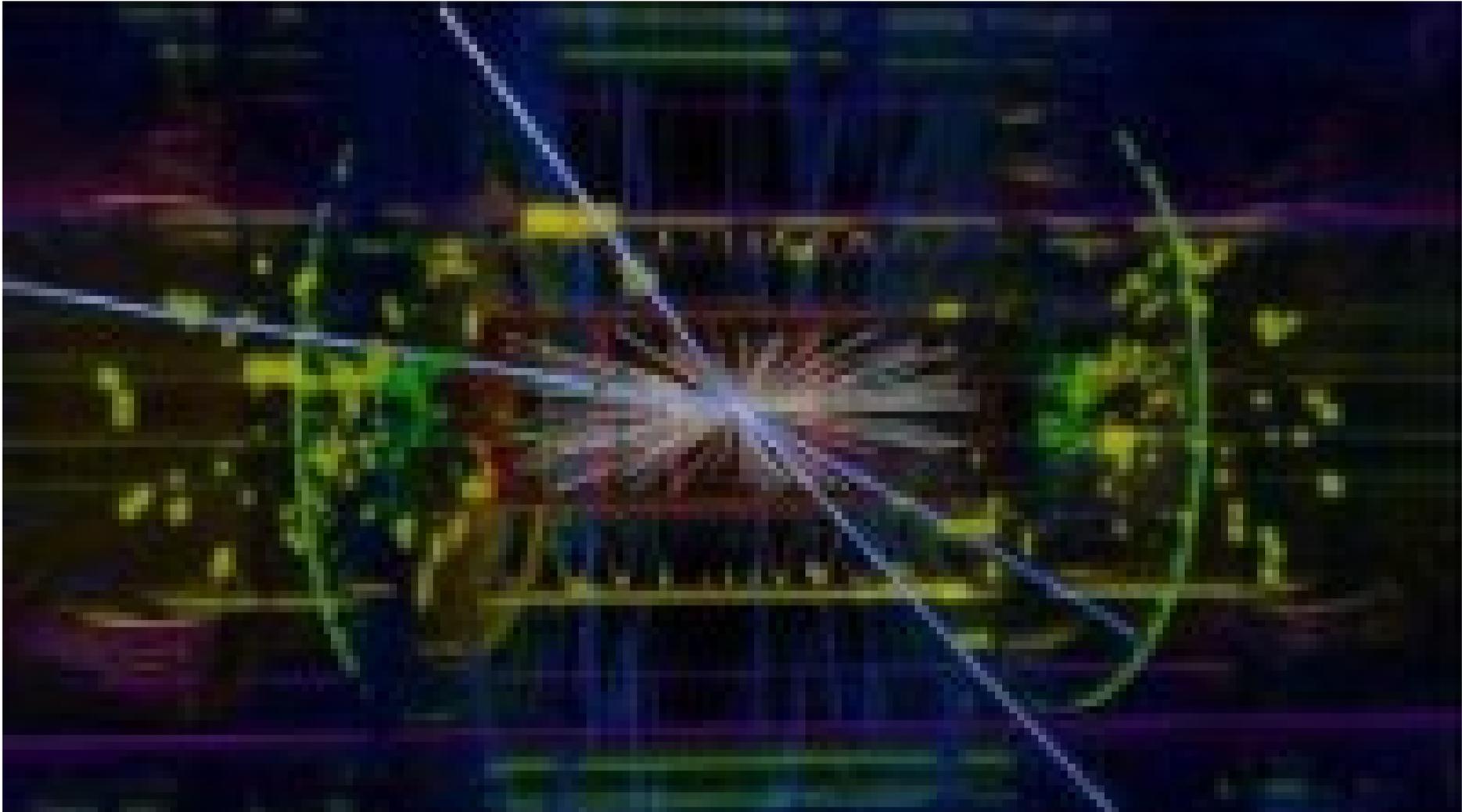


1232 magneti super-conduttori (1.9 K, -271°C) mantengono i protoni di 7 TeV sull'orbita circolare di 27 km.

Un magnete è lungo 15 metri e pesa 35 tonnellate. Campo magnetico: 8.3 Tesla.

1/3 dei magneti sono stati prodotti in Italia

LHC in azione



<https://www.youtube.com/watch?v=G4O3ciWHVdg>

Sala di controllo degli acceleratori del CERN



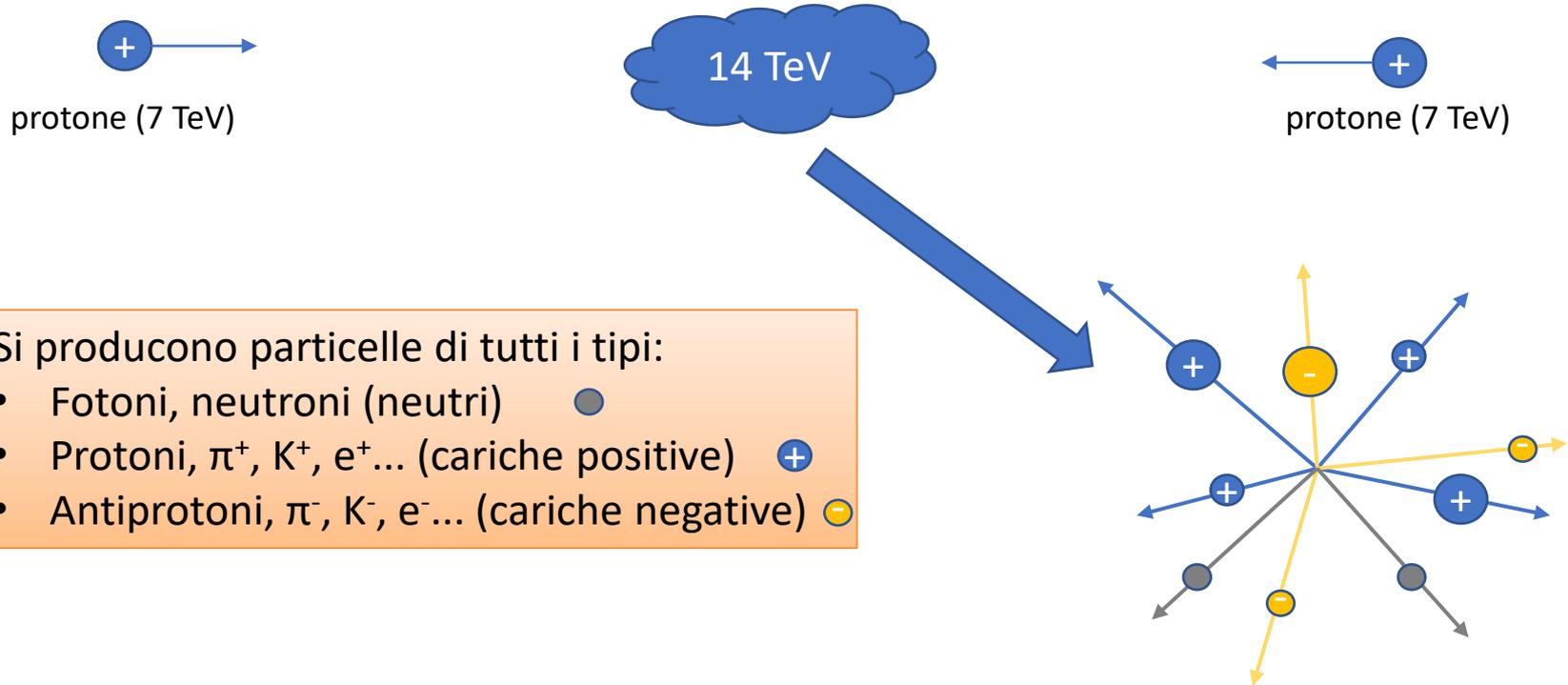
L'energia di un fascio di protoni ad LHC è pari a quella di un treno di 400 tonnellate che viaggia a 150 km/h.
E ci sono due treni che viaggiano alla velocità della luce uno contro l'altro!

Rivelare le particelle prodotte nelle collisioni



Un “evento” a un collisore

Ad un *collisore* (es. LHC), un **evento** è una collisione tra particelle accelerate ad una data energia in un punto. Ad es. LHC:



Si producono particelle di tutti i tipi:

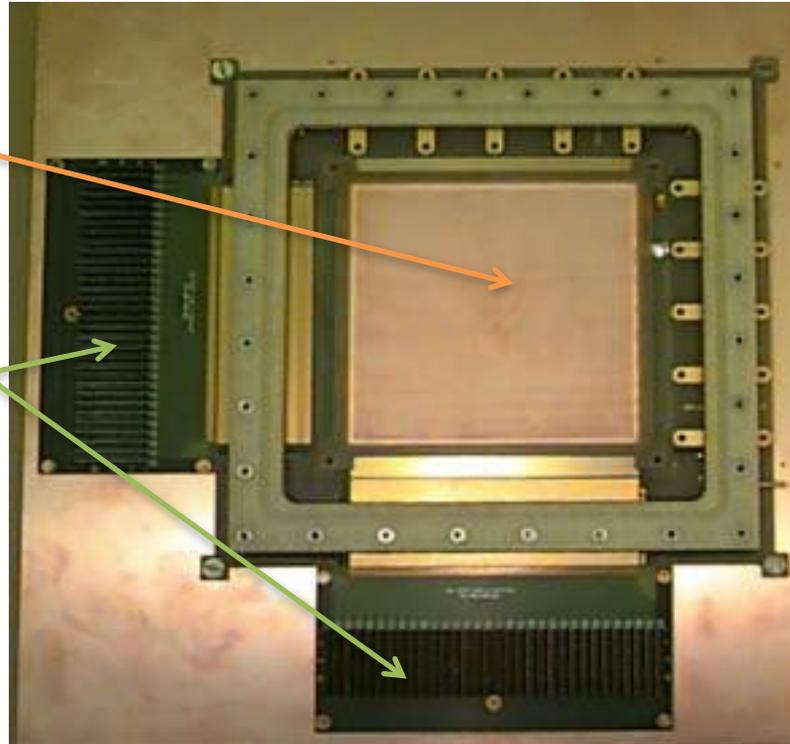
- Fotoni, neutroni (neutri) ●
- Protoni, π^+ , K^+ , e^+ ... (cariche positive) ⊕
- Antiprotoni, π^- , K^- , e^- ... (cariche negative) ⊖

Il *rivelatore di particelle* si colloca nel punto di interazione per *identificare* le particelle e *misurarne la carica, l'energia, la posizione...*

I rivelatori di particelle

area
attiva

elettronica di
lettura



Nella *fisica sperimentale*, un **rivelatore di particelle** o **rivelatore di radiazione** è uno strumento usato per *rivelare, tracciare* e *identificare* particelle. (Wikipedia)

rivelatore
di fotoni



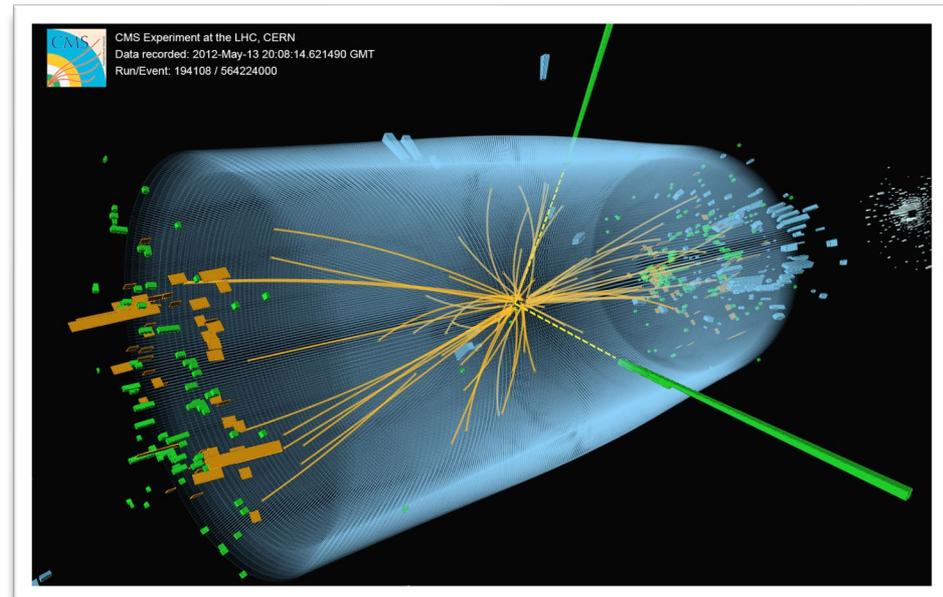
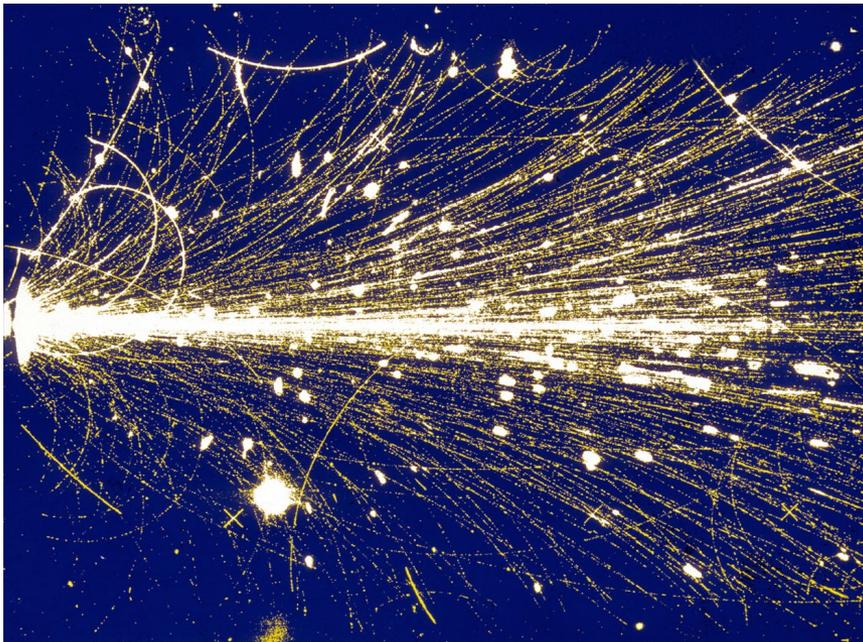
I **rivelatori di particelle** sono strumenti che producono un *segnale osservabile* quando vengono colpiti da una particella. Sono solitamente costituiti da un **elemento attivo** (con cui interagisce la radiazione) e da un **sistema di lettura** (che forma il segnale e lo invia all'acquisizione dati)

I rivelatori di particelle

Le particelle non possono essere viste direttamente
Solo la loro *interazione con la materia* può essere misurata

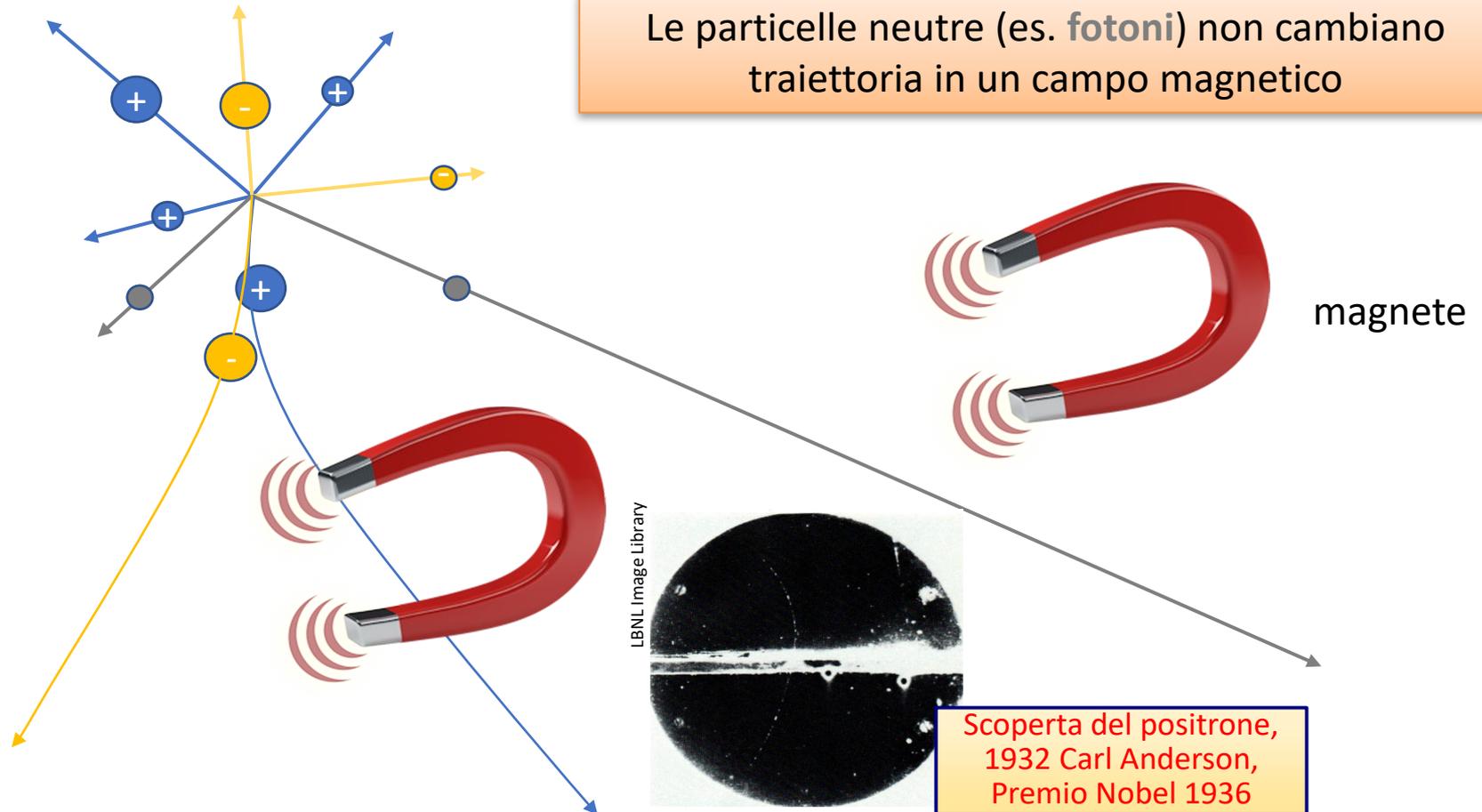
Questa è convertita in:

- fotografie ottiche
- *segnali* in corrente o tensione elettrica



Distinguere le cariche delle particelle

Le particelle neutre (es. **fotoni**) non cambiano traiettoria in un campo magnetico



Le particelle cariche (es. **elettroni**, **positroni**) curvano in un campo magnetico:

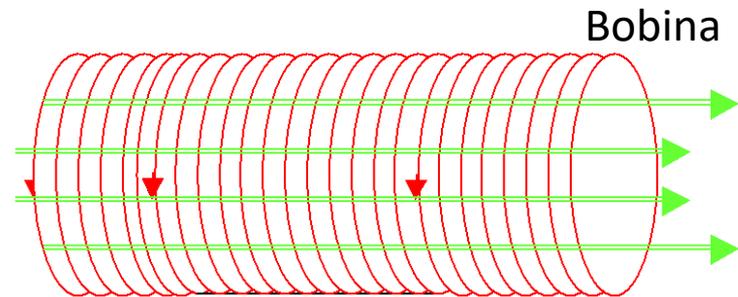
- il verso della deflessione dipende dalla carica
- il raggio di curvatura è inversamente proporzionale alla velocità

Grandi magneti



Magnete dell'esperimento CMS:

- solenoide superconduttore di niobio-titanio, operato a $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Intensità del campo: 3.8 T (~ 76000 volte il campo magnetico terrestre)



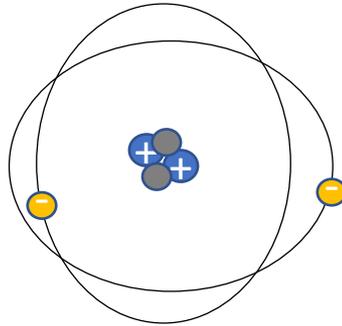
frecce verdi: *campo magnetico*

frecce rosse: *corrente elettrica*

Rivelazione di particelle cariche



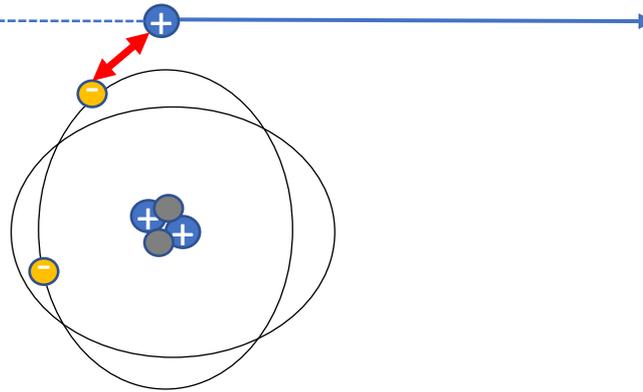
Una particella carica di alta energia prodotta in un evento



Atomo del materiale di cui è composto il rivelatore

Rivelazione di particelle cariche

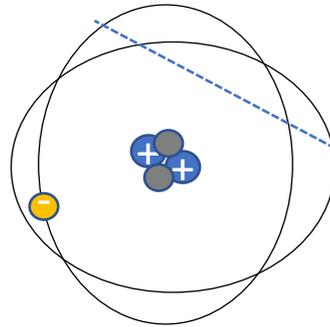
Interazione coulombiana,
che può espellere elettroni
dall'atomo



Atomo del materiale di cui
è composto il rivelatore

Rivelazione di particelle cariche

La particella di alta energia perde pochissima energia e la sua velocità non varia apprezzabilmente



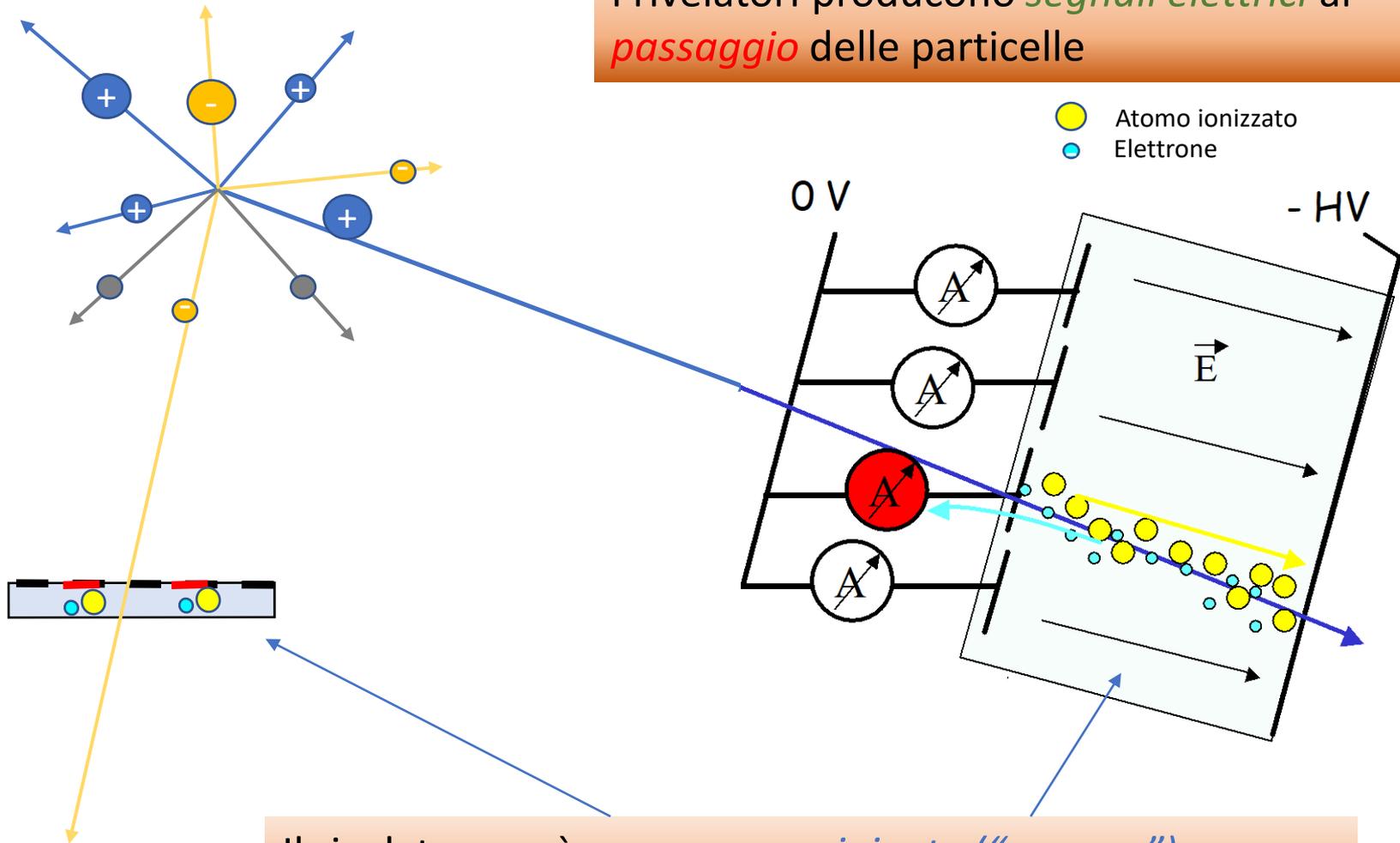
L'atomo viene ionizzato



Elettrone espulso

Rivelatore di particelle cariche

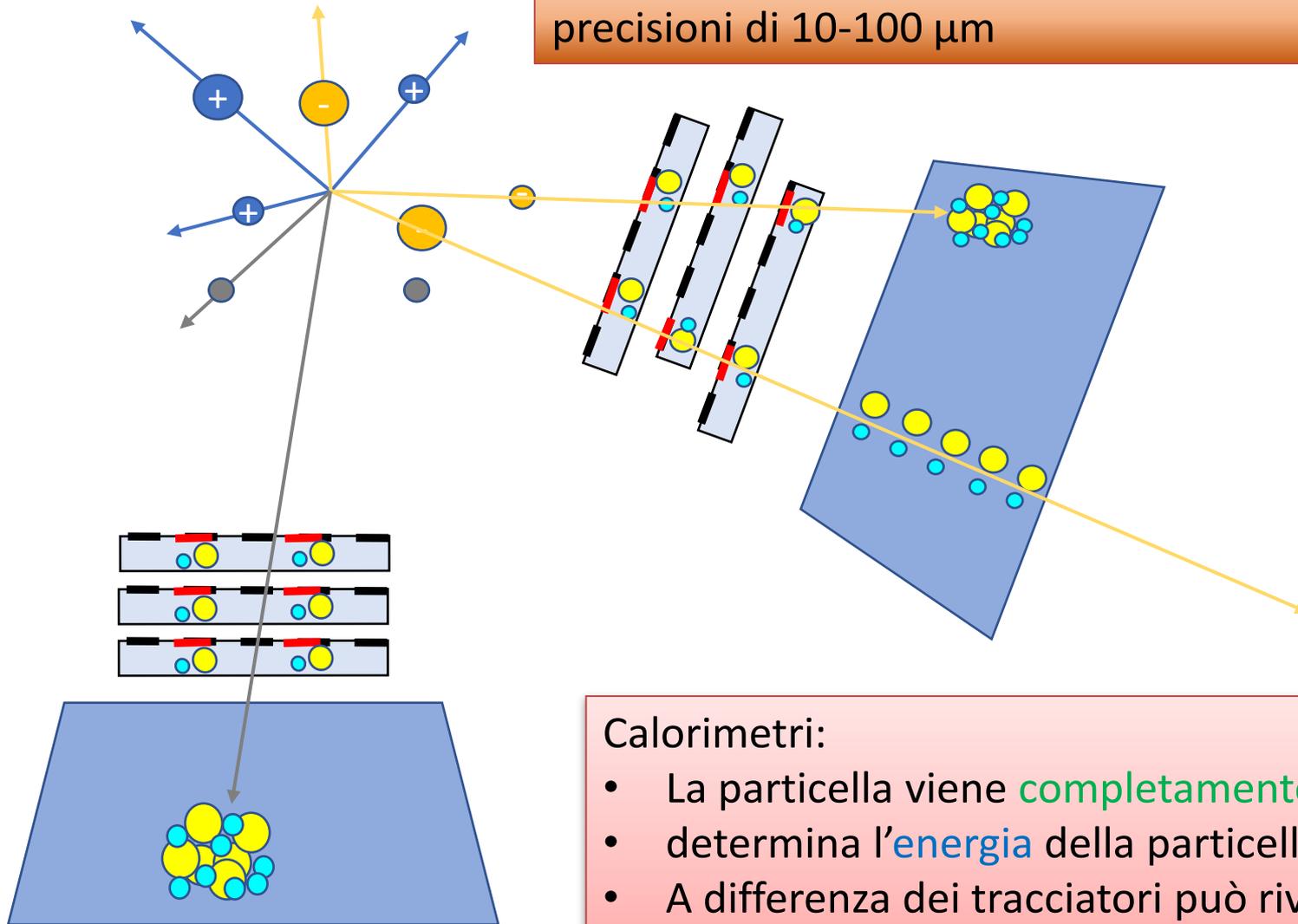
I rivelatori producono *segnali elettrici* al *passaggio* delle particelle



Il rivelatore può essere un *recipiente* ("camera") con gas, oppure un *sottile cristallo di Silicio*...

Rivelatori di particelle cariche e neutre

Tracciatori per carichi: camere con gas o Silicio con precisioni di 10-100 μm



Calorimetri:

- La particella viene **completamente assorbita**
- determina l'**energia** della particella
- A differenza dei tracciatori può rivelare anche **particelle neutre** (*fotoni, neutroni*)

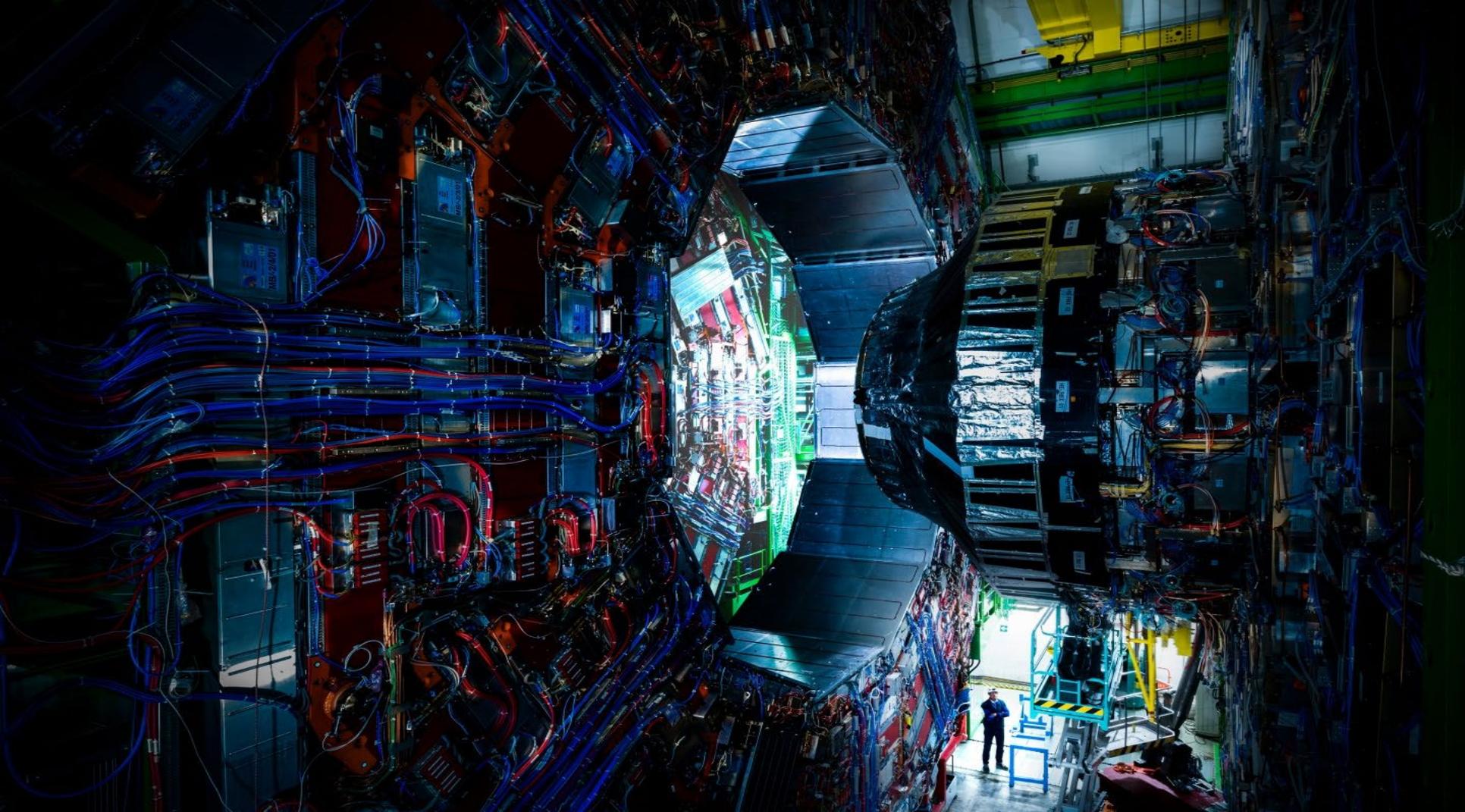


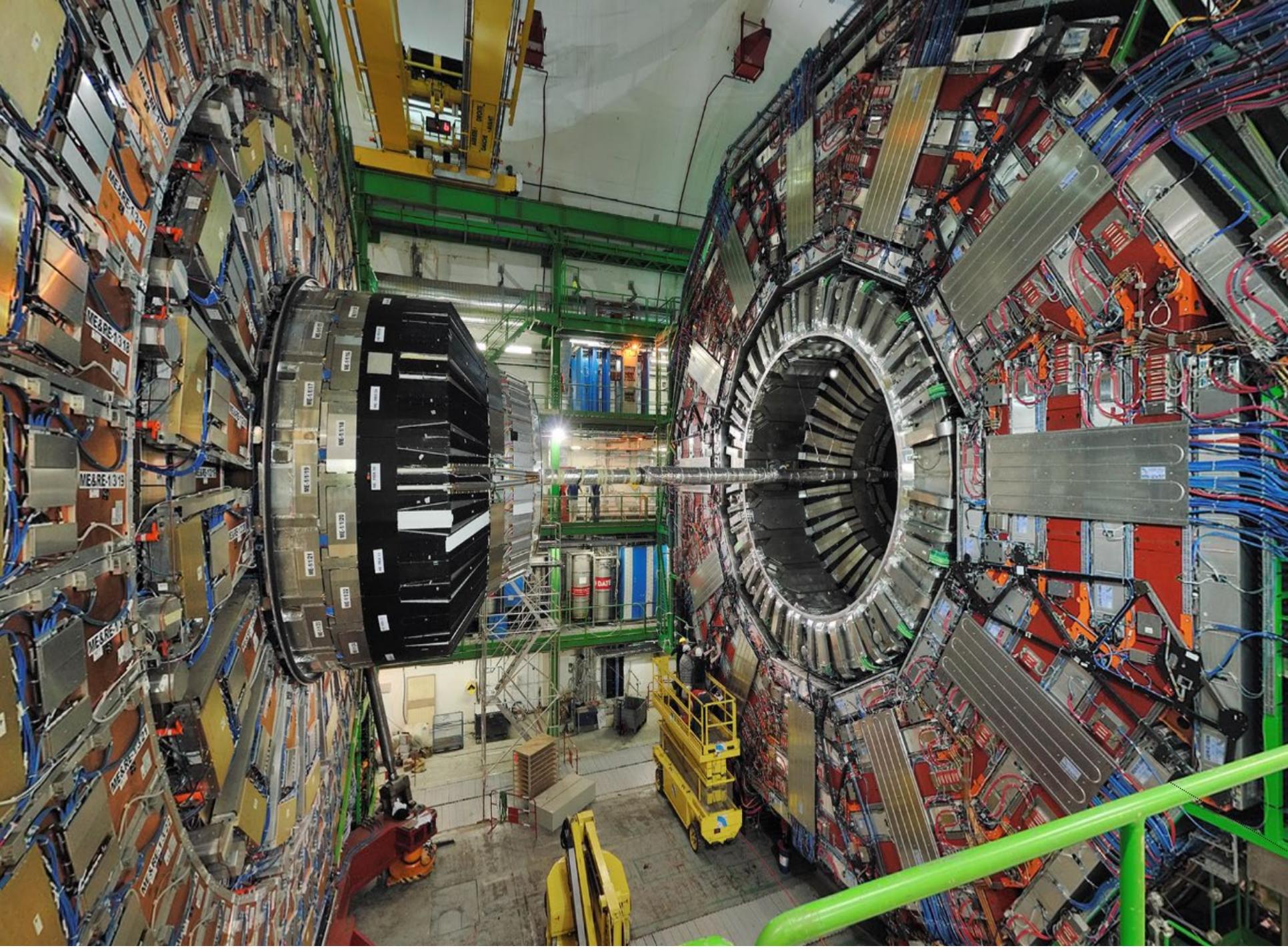
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

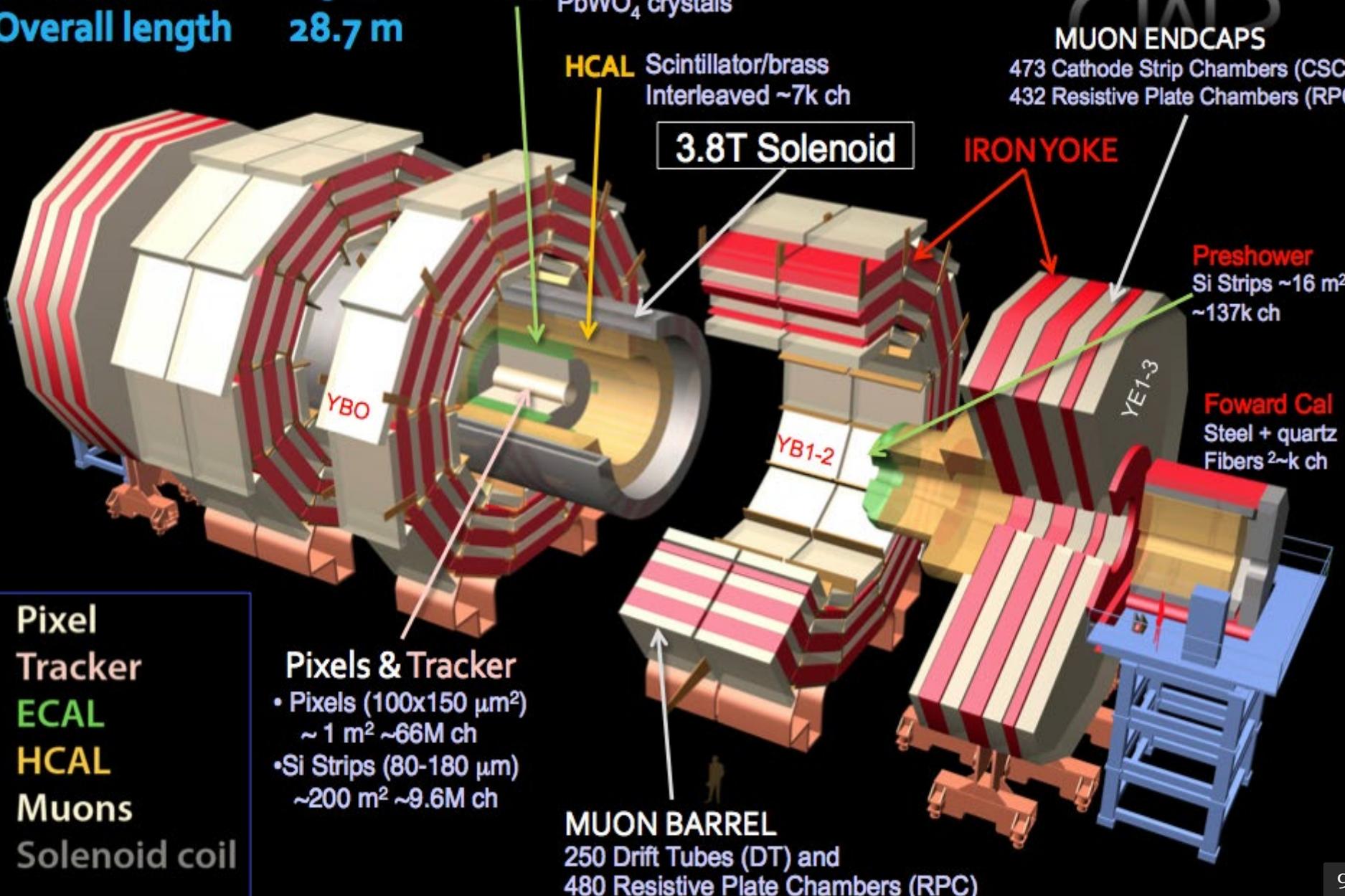
[The CMS detector





CMS

Total weight 14000 t
Overall diameter 15 m
Overall length 28.7 m



ECAL 76k scintillating PbWO₄ crystals

HCAL Scintillator/brass Interleaved ~7k ch

MUON ENDCAPS
473 Cathode Strip Chambers (CSC)
432 Resistive Plate Chambers (RPC)

3.8T Solenoid

IRONYOKE

Preshower
Si Strips ~16 m²
~137k ch

Forward Cal
Steel + quartz
Fibers² ~k ch

Pixel Tracker
ECAL
HCAL
Muons
Solenoid coil

Pixels & Tracker
• Pixels (100x150 μm²)
~ 1 m² ~66M ch
• Si Strips (80-180 μm)
~200 m² ~9.6M ch

MUON BARREL
250 Drift Tubes (DT) and
480 Resistive Plate Chambers (RPC)



The CMS Collaboration

3394

PHYSICISTS
(1228 STUDENTS)

1102

ENGINEERS

282

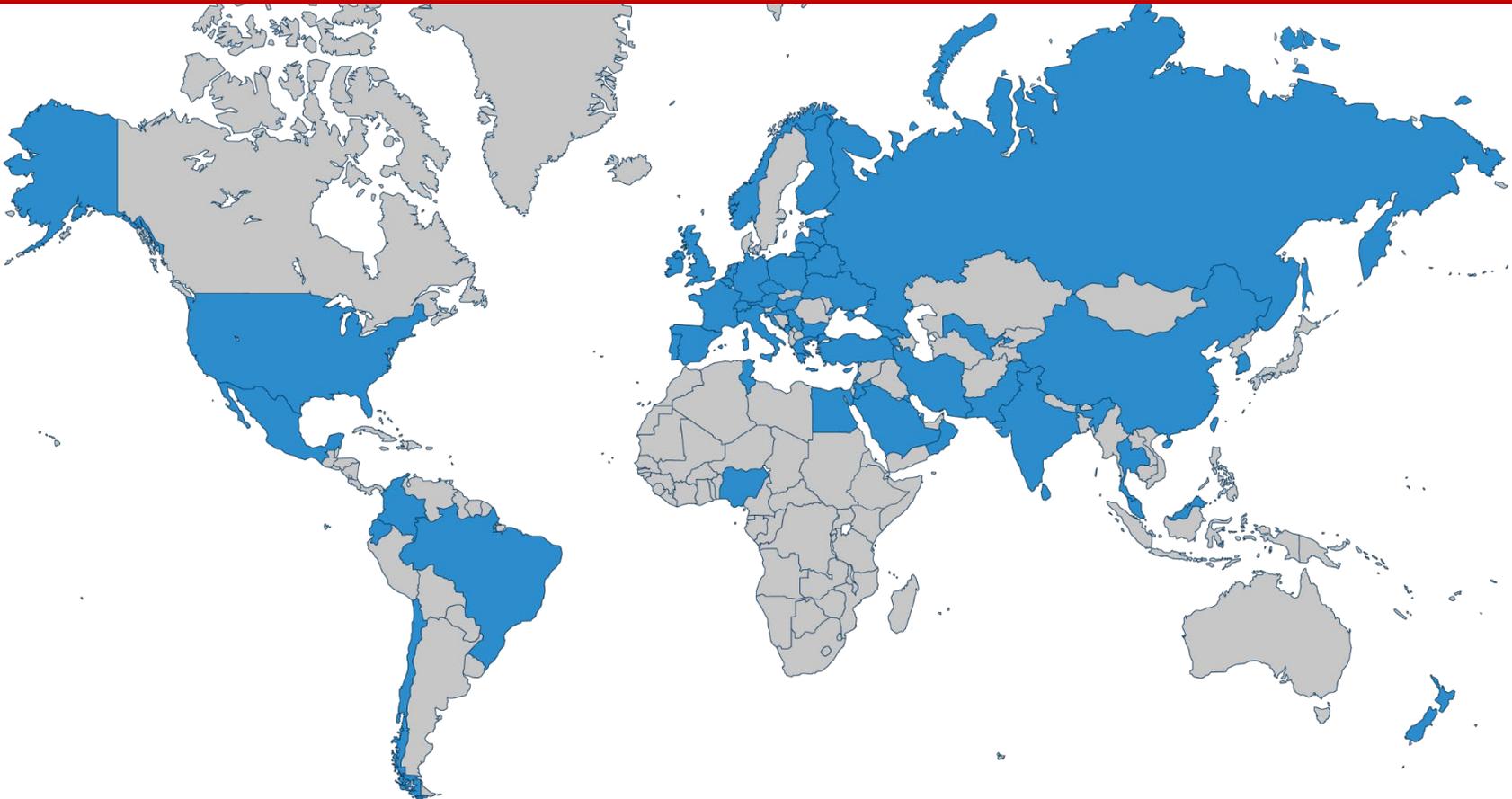
TECHNICIANS

247

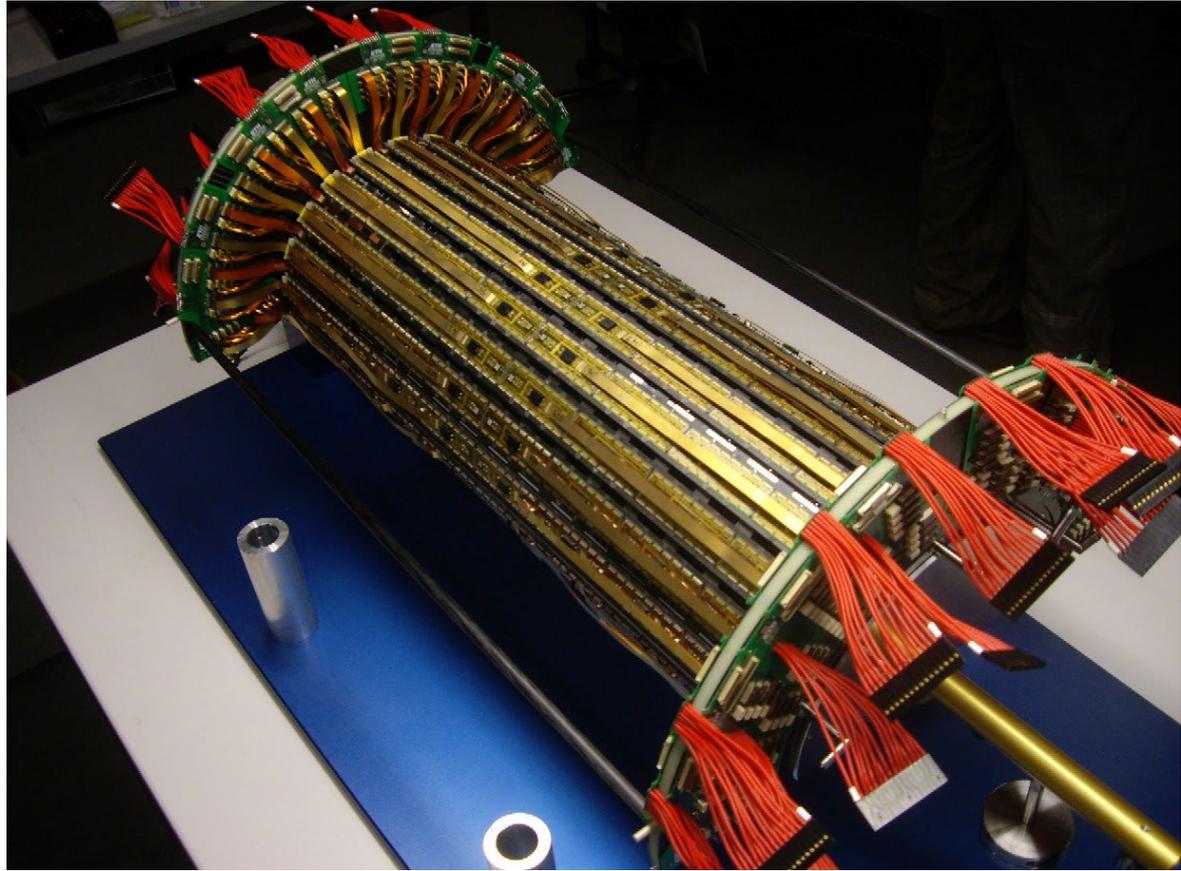
INSTITUTES

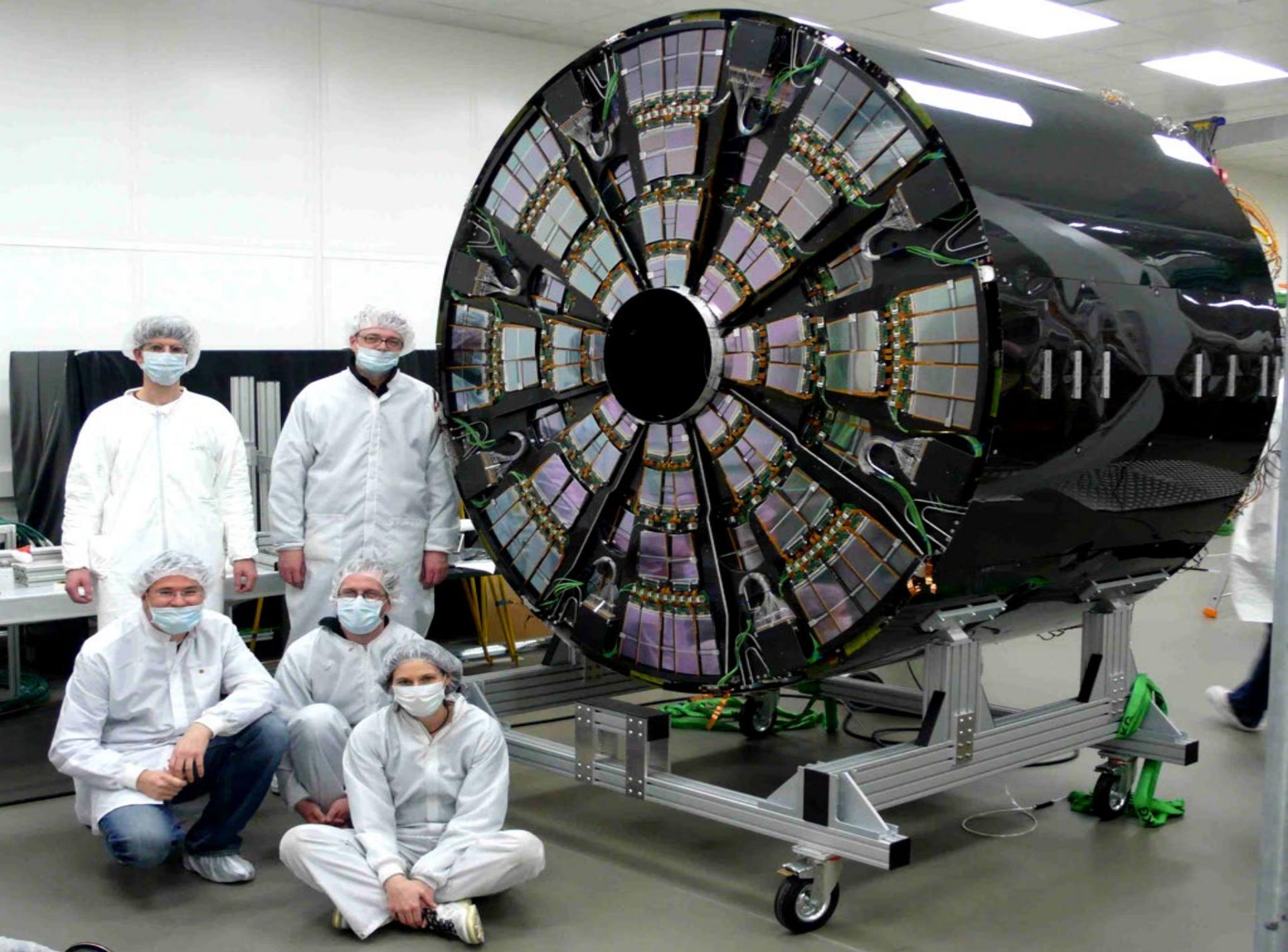
57

COUNTRIES &
REGIONS

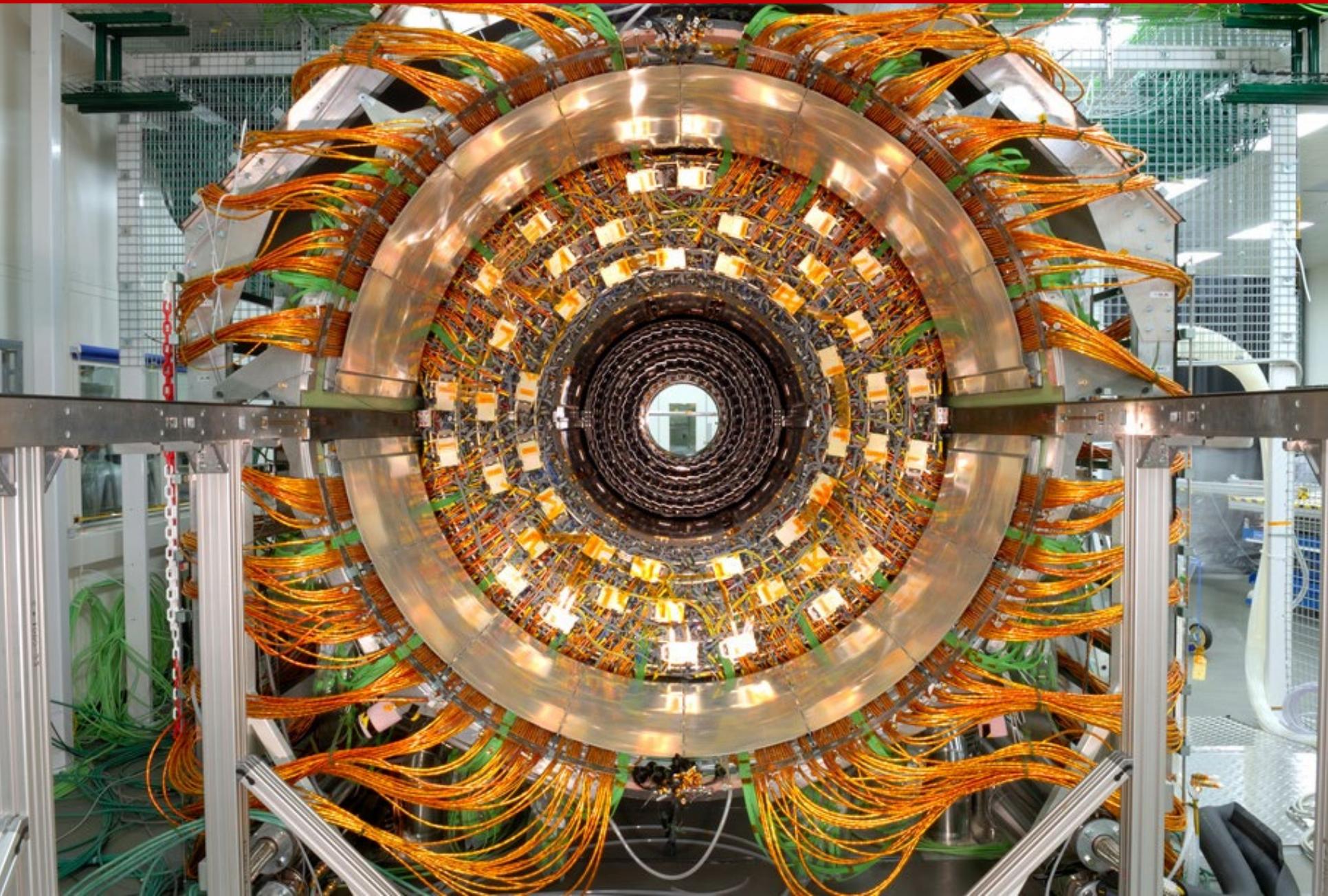


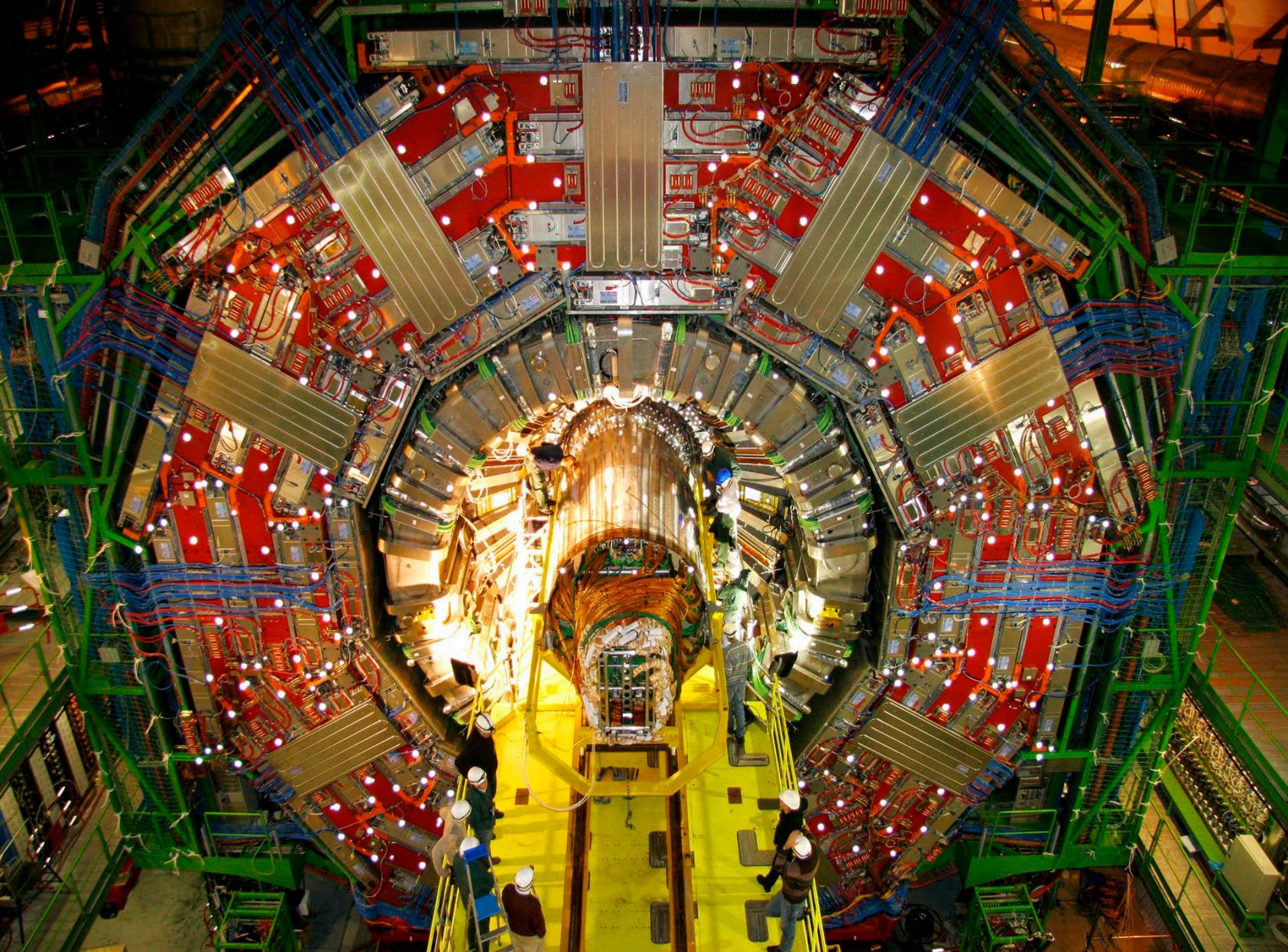
CMS – Pixels





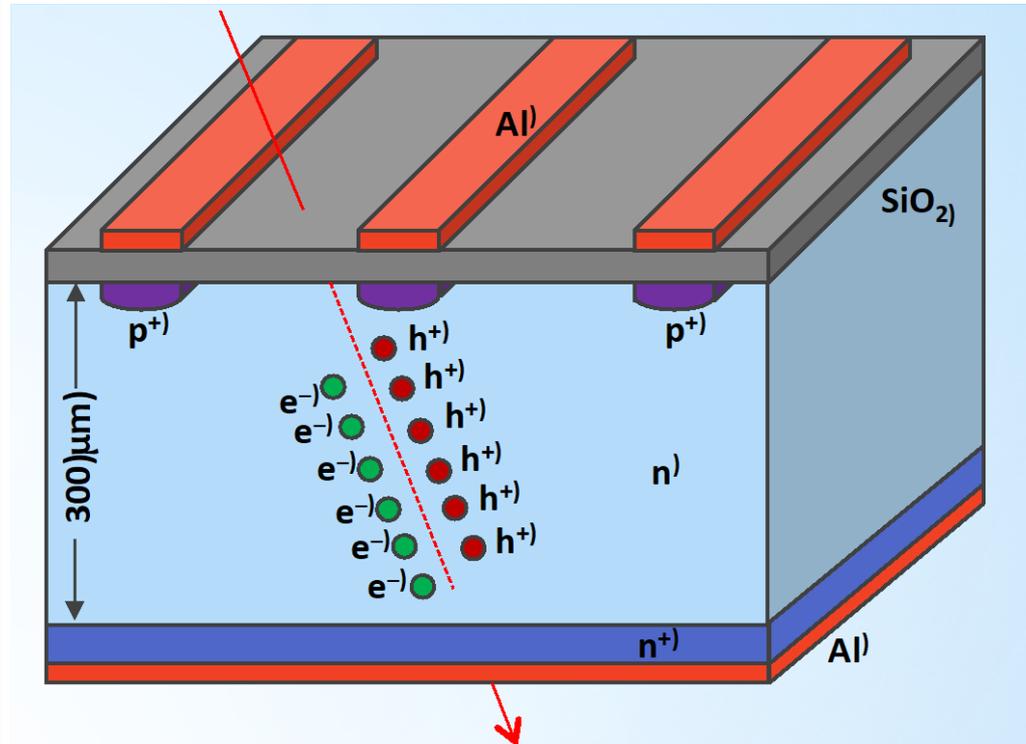
CMS – Tracker





Rivelatori al Silicio

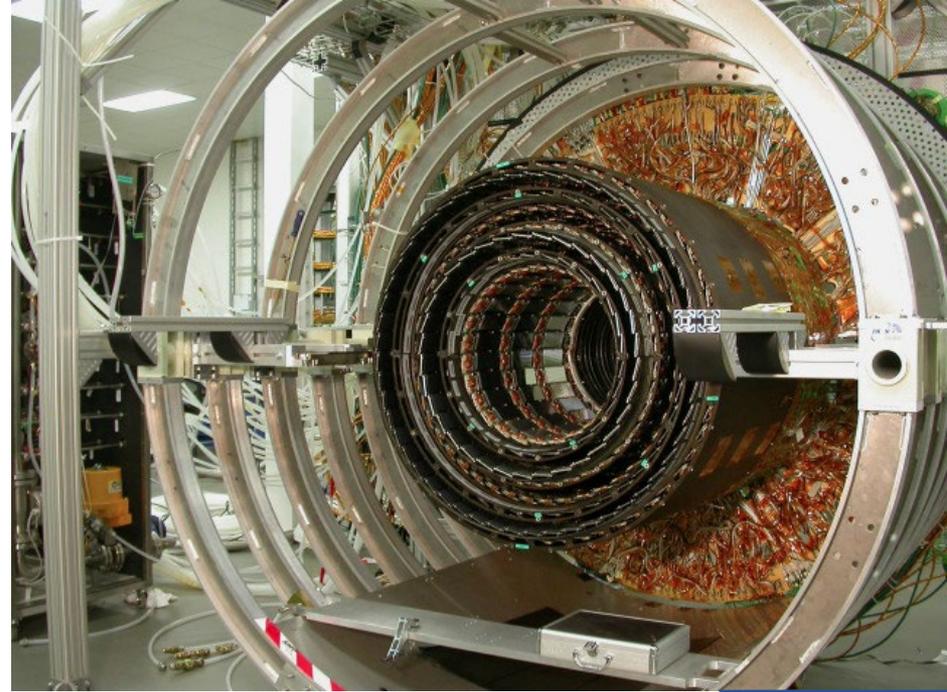
- Questi rivelatori usano un sottile strato di **Silicio** come **elemento attivo**.
- Il Silicio viene **ionizzato** dalle **particelle cariche**, che creano coppie **elettrone (e)** **lacuna (h)** (**ionizzazione primaria**).
- In presenza di campo elettrico gli elettroni viaggiano verso **l'anodo** e le lacune verso il **catodo**, producendo un **segnale elettrico**. A differenza dei rivelatori a gas non c'è né **ionizzazione Secondaria** né **Moltiplicazione a Valanga**.



- **Small band gap** $E_g = 1.12 \text{ eV} \Rightarrow E(\text{e-h pair}) = 3.6 \text{ eV} (\approx 30 \text{ eV for gas detectors})$
- **High specific density** $2.33 \text{ g/cm}^3 ; dE/dx (\text{M.I.P.}) \approx 3.8 \text{ MeV/cm} \approx 106 \text{ e-h}/\mu\text{m} (\text{average})$

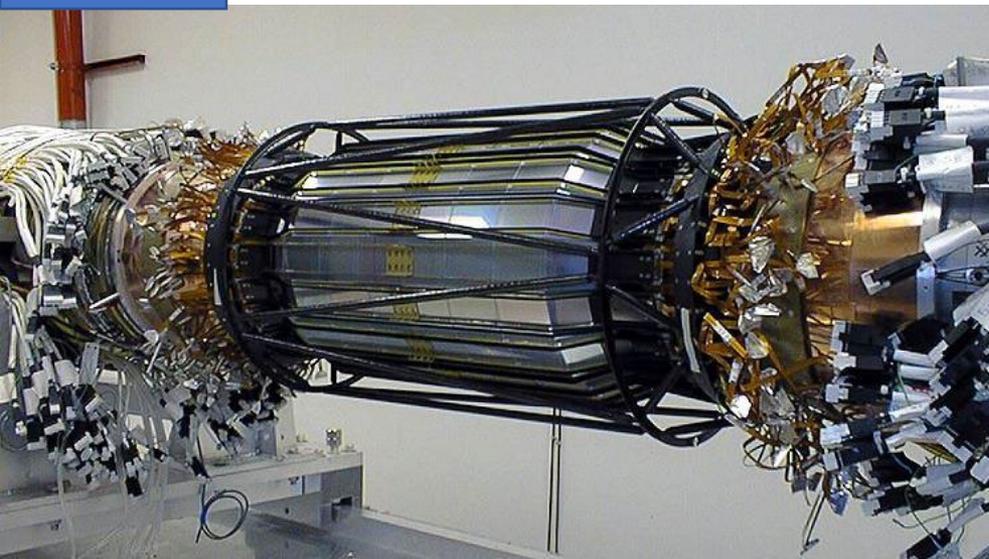
Rivelatori al Silicio

Sono rivelatori ad **altissima** risoluzione spaziale (**50 μ m**)
usa ti spesso come **rivelatori di vertice**, in zone molto vicine
al punto di collisione dei fasci
di particelle



CMS

BaBar



Volume cilindrico di 1.3 m di raggio:

3 piani di “**pixel**” (celle di 100x150 μ m)

10 piani di “**strip**” (strisce da 80 μ m x 10 cm a 180 μ m x 25 cm)

75 milioni di canali di lettura

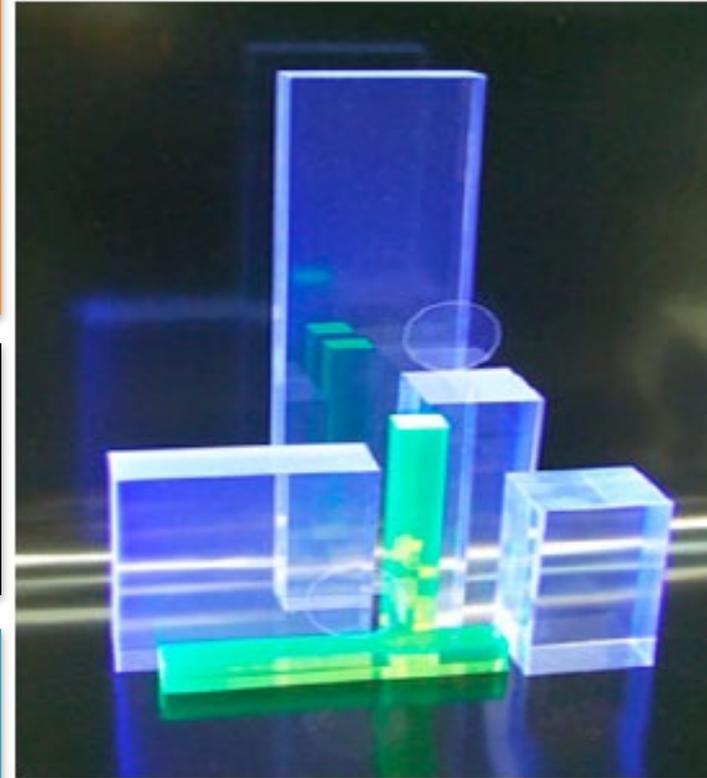
Rivelatori a Scintillazione

Questi rivelatori usano come **elemento attivo** dei materiali che hanno la proprietà di **emettere luce visibile** quando sono attraversati da **particelle cariche**

Il fenomeno di **Scintillazione** è causato dalla **eccitazione** e successiva **diseccitazione** degli atomi dei **materiali scintillanti**

Esistono vari tipi di materiali scintillanti:

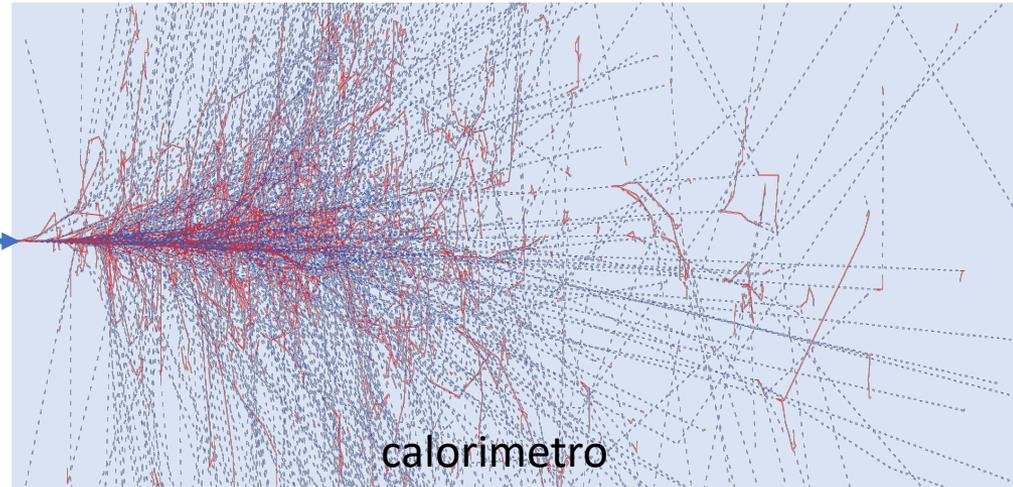
- *cristalli*
- *materiali plastici*



La scintillazione e' utilizzata principalmente nei calorimetri

Un **calorimetro** è un rivelatore di particelle che misura l'energia, la posizione e il tempo di arrivo di una particella

particella incidente



- La particella interagendo con il calorimetro crea uno **sciame** e viene *completamente assorbita*

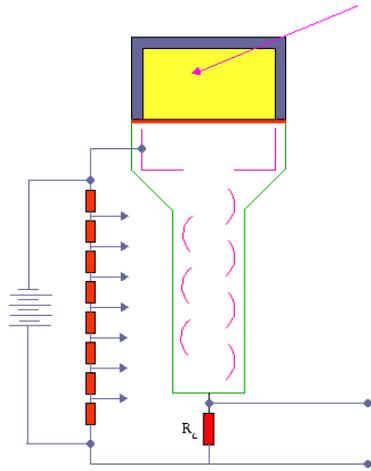
- Il segnale prodotto è *proporzionale all'energia* della particella:

$$S = kE$$

Esistono 2 *tipi* di calorimetri:

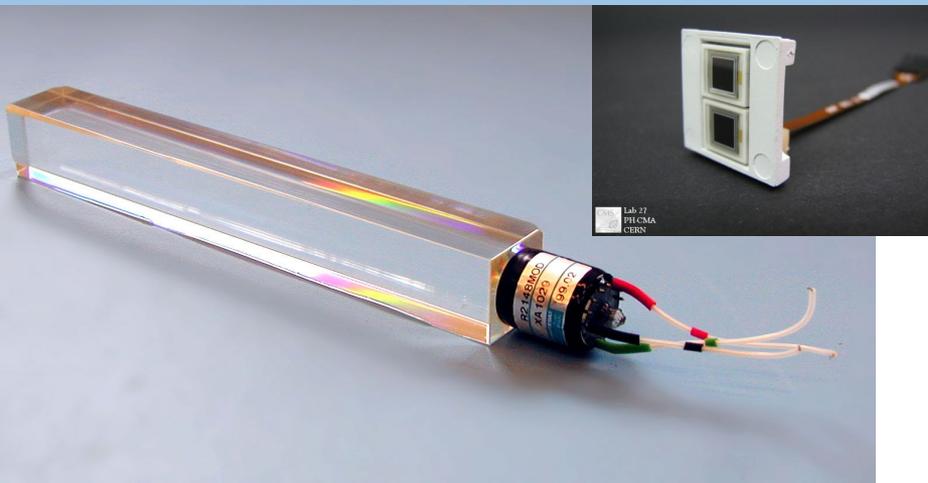
- **Calorimetri Elettromagnetici** (rivelazione di **elettroni**, **positroni** e **fotoni**)
- **Calorimetri Adronici** (rivelazione di **adroni carichi** e **neutri**: **p**, **n**, **π**, **K**)

Calorimetri elettromagnetici: raccolta della luce di Scintillazione

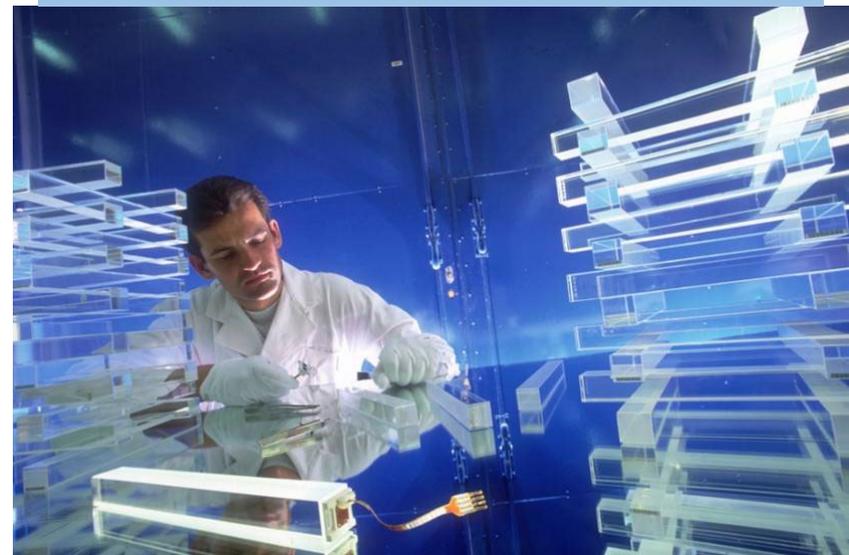


La *luce di scintillazione* prodotta dalla particella si propaga all'interno dello scintillatore e viene raccolta da appositi sensori (**Fotomoltiplicatori, fotodiodi...**)

Cristallo di CMS (PbWO_4 = tungstato di piombo) con rivelatore di luce



Circa 78000 cristalli scintillanti in CMS





SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

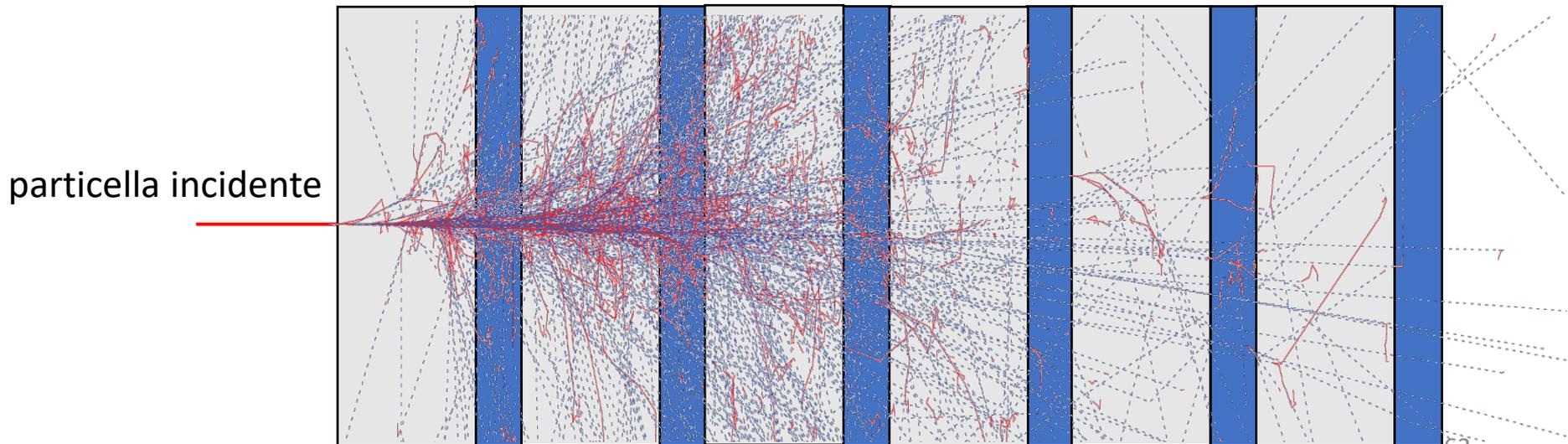
CMS Electromagnetic Calorimeter

INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



Calorimetri adronici

- Sono **adroni** le particelle formate da **quark e gluoni**, come n , p , π , k ...
- Gli adroni (n , p , π , k) interagiscono anche *con i nuclei* del materiale che attraversano, quindi **sciame** più complessi di quelli elettromagnetici: più larghi, con componente elettromagnetica,...
- **Calorimetro a campionamento**: strati di materiale denso (**ottone e ferro in CMS**) che sviluppa e **assorbe** parte dello sciame (**assorbitore**) alternati a strati di **scintillatore plastico** per rivelare i secondari e misurare l'energia

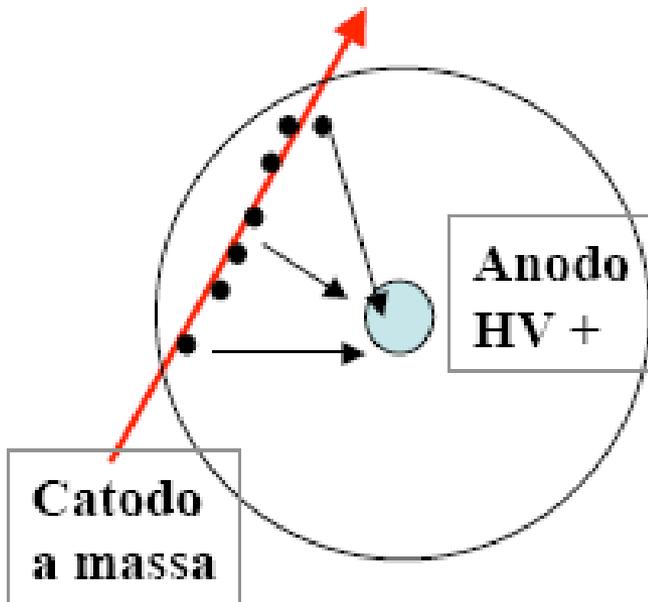


Rivelatori per muoni

- **Caratteristiche dei muoni:** *particelle cariche (~elettroni pesanti)* che attraversano tutto il materiale, compresi i calorimetri
- in principio, si potrebbe usare qualsiasi rivelatore per tracciare particelle cariche, ma si deve *coprire un'area grande*
- \Rightarrow il silicio è troppo costoso
- *strati di rivelatori a gas* (es. camere a deriva), alternati con strati di ferro necessario a chiudere le linee del campo magnetico solenoidale

Rivelatori a Gas

- Questi rivelatori usano un gas come **elemento attivo**.
- Il gas viene *ionizzato* dalle *particelle cariche*, che creano coppie **elettrone** (e^-) **ione** (X^+) (**ionizzazione primaria**).
- Gli elettroni emessi vengono accelerati applicando un campo elettrico e possono produrre a loro volta **ionizzazione Secondaria** innescando una **Moltiplicazione a Valanga**



Un tipico rivelatore a ionizzazione è costituito da un cilindro riempito di gas con al centro un filo metallico posto ad alta tensione ($HV \approx 3000V$)

La ionizzazione è utilizzata principalmente nei *rivelatori traccianti*

Rivelatori a Ionizzazione

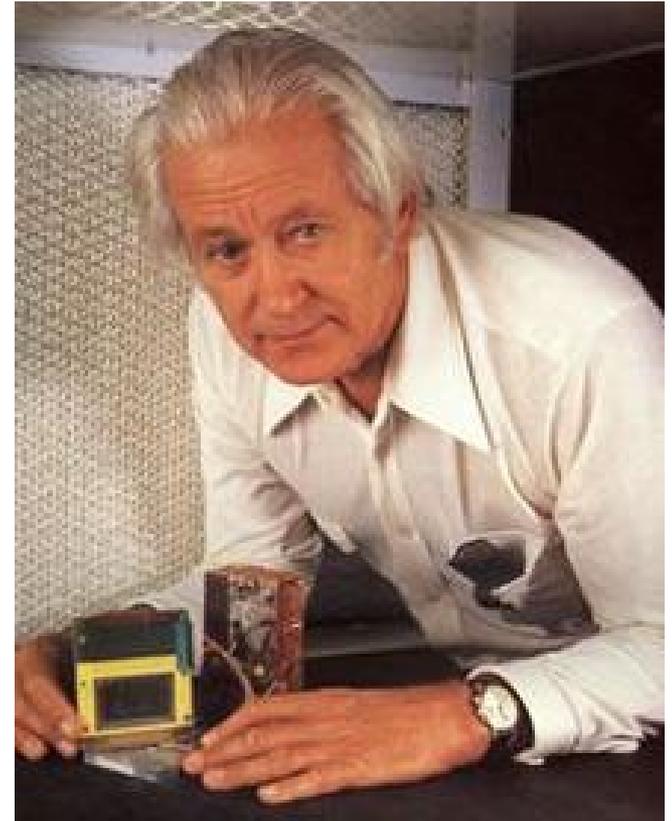
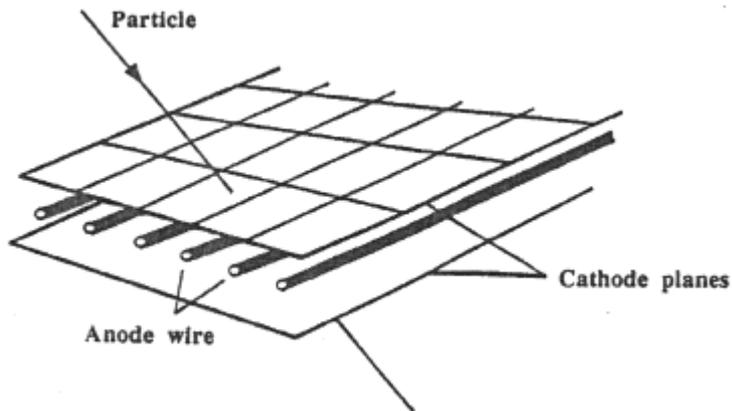
- In presenza di campo elettrico gli elettroni viaggiano verso l'anodo (gli ioni verso il catodo), *producendo un segnale elettrico*
- Cambiando la tensione applicata si hanno diversi modi di funzionamento:
 - Camera a Ionizzazione
 - Contatore Proporzionale
 - Contatore Geiger

Number of ion pairs



Camere Proporzionali a Multifilo (MWPC)

- Il principio è quello dei rivelatori a gas a **geometria cilindrica**.
- Il rivelatore è formato da **molti fili paralleli** posti tra 2 **catodi** ad una distanza di **$\sim 2\text{ mm}$** .
- Il segnale elettrico si forma sul filo più vicino alla particella dando una **informazione sulla sua posizione**



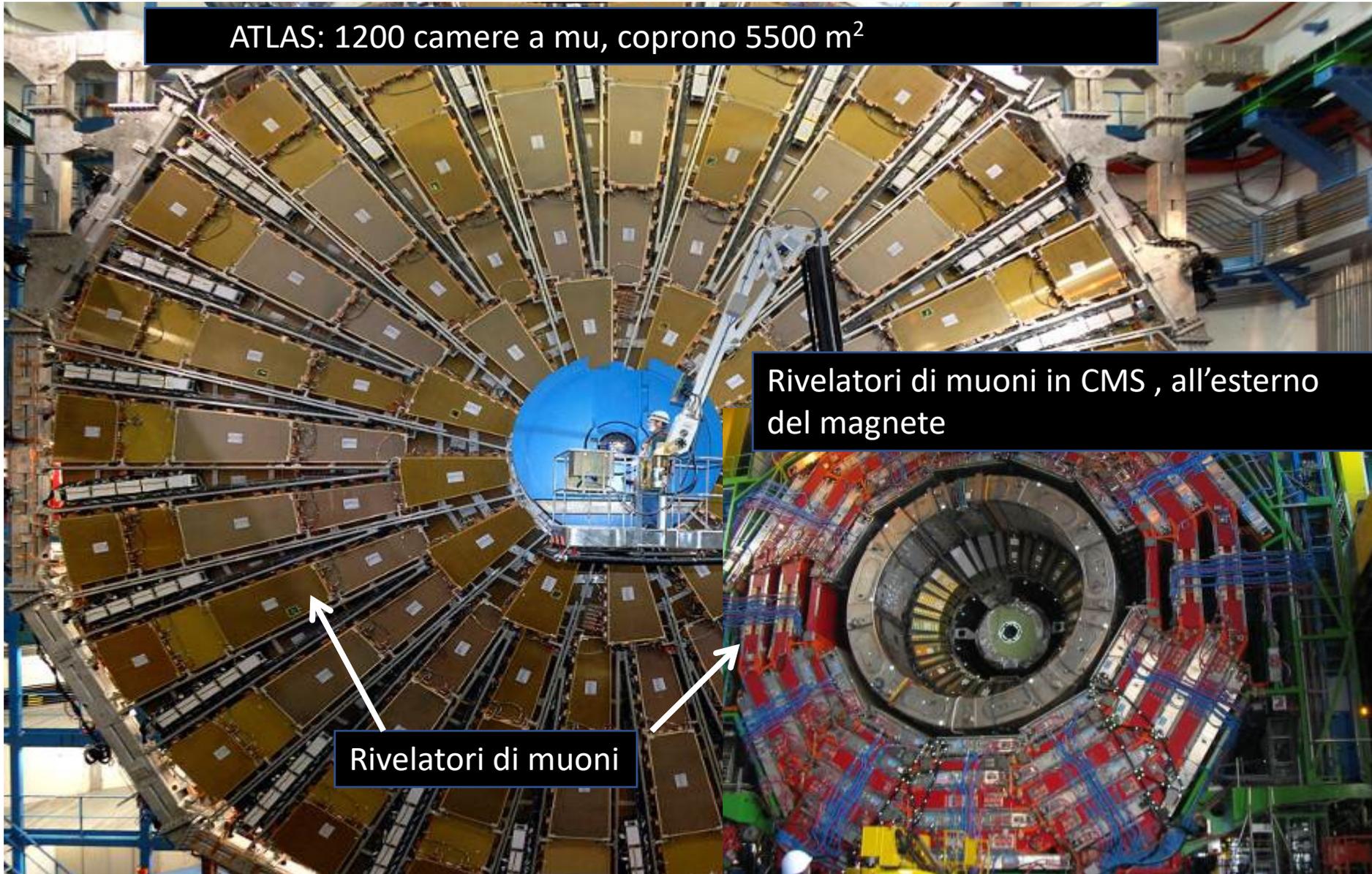
George Charpak, 1968
Premio Nobel 1992

Grandi rivelatori di muoni a LHC

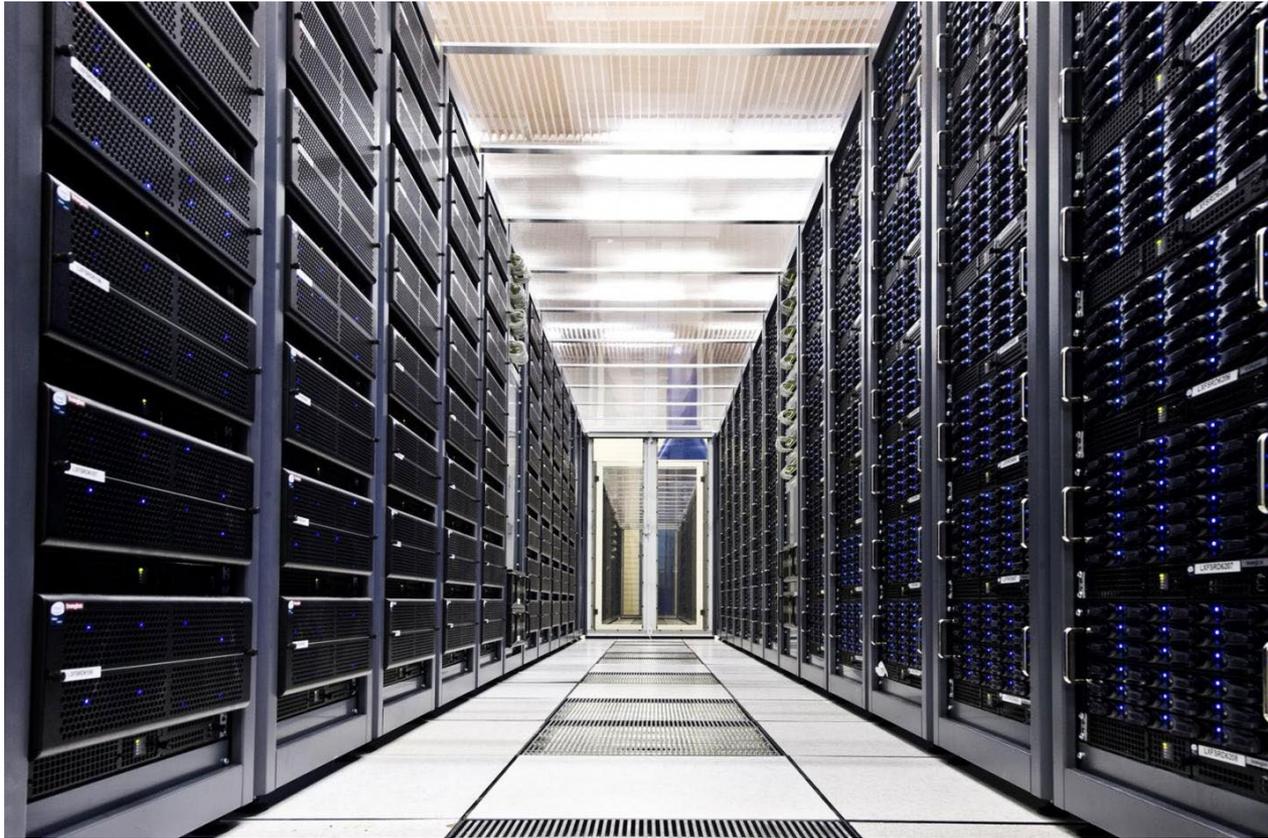
ATLAS: 1200 camere a mu, coprono 5500 m²

Rivelatori di muoni in CMS , all'esterno del magnete

Rivelatori di muoni



Infine i dati raccolti vengono
analizzati da centinaia di computer



15 Petabytes (15 milioni di Gb) generati ogni anno da LHC

Una “grid” di computer disegnata per distribuire e analizzare i dati

Circa *1 milione di programmi di analisi* eseguiti in 1 giorno

Trasferimento di dati di *circa 10 Gb/secondo*

Ricadute tecnologiche e applicazioni di fisica medica

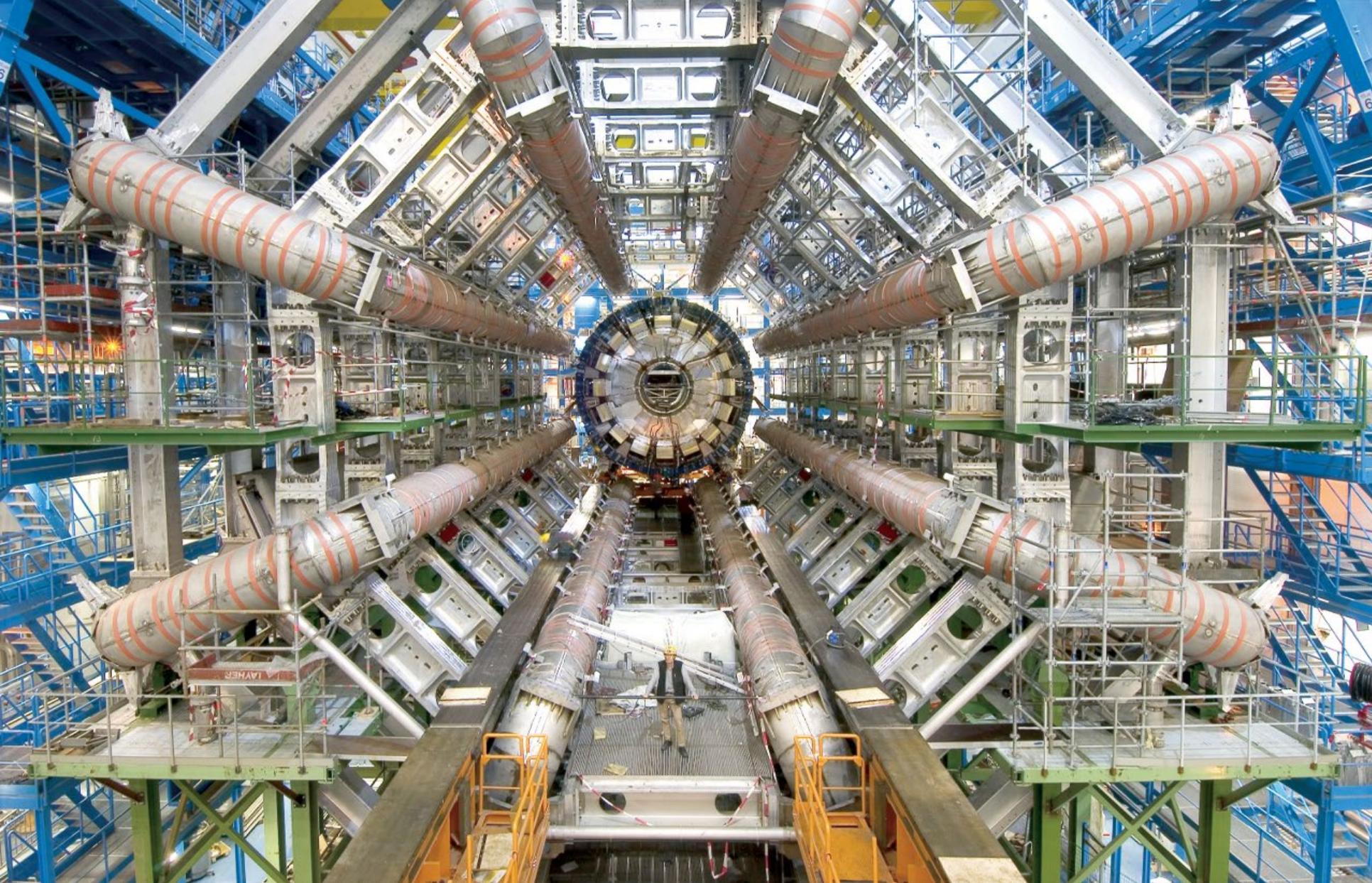
Alcuni “effetti collaterali” della ricerca di base in fisica delle particelle:

- Adroterapia oncologica: curare i tumori con acceleratori di protoni e ioni (CNAO a Pavia)
- Positron emission tomography (PET) è un’applicazione medica dell’antimateria
- Il World-Wide Web è nato al CERN 30 anni fa!
- e molto altro...



Il computer utilizzato da [Tim Berners-Lee](#) per realizzare il primo server web, esposto nel [Globo della Scienza e dell'Innovazione del CERN](#).

**Vediamo infine
come distinguere i
diversi tipi di
particelle nel
rivelatore.**

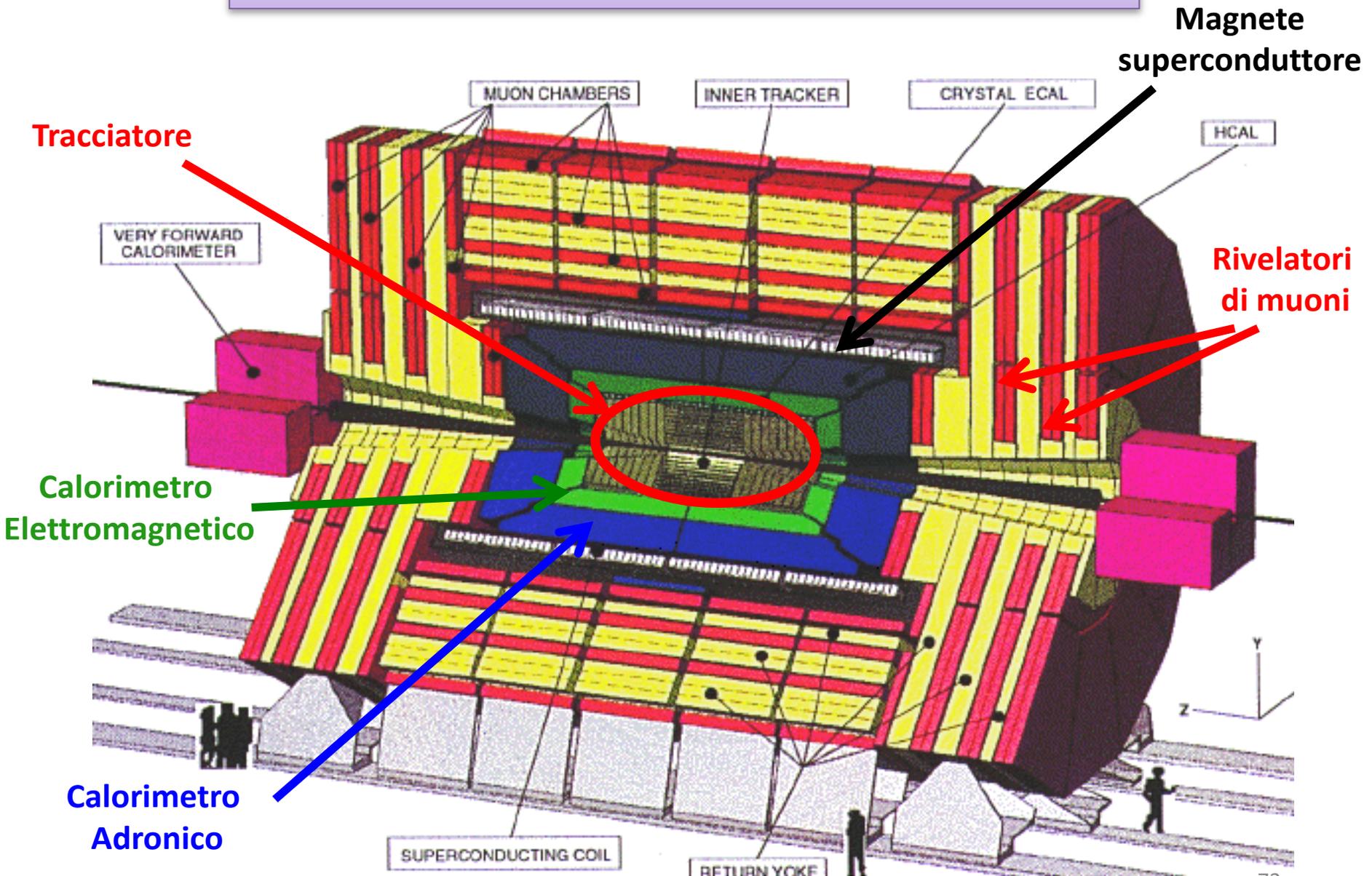


Il rivelatore ATLAS al CERN è lungo 46 metri e ha un diametro di 25 metri (un palazzo di otto piani).⁷¹

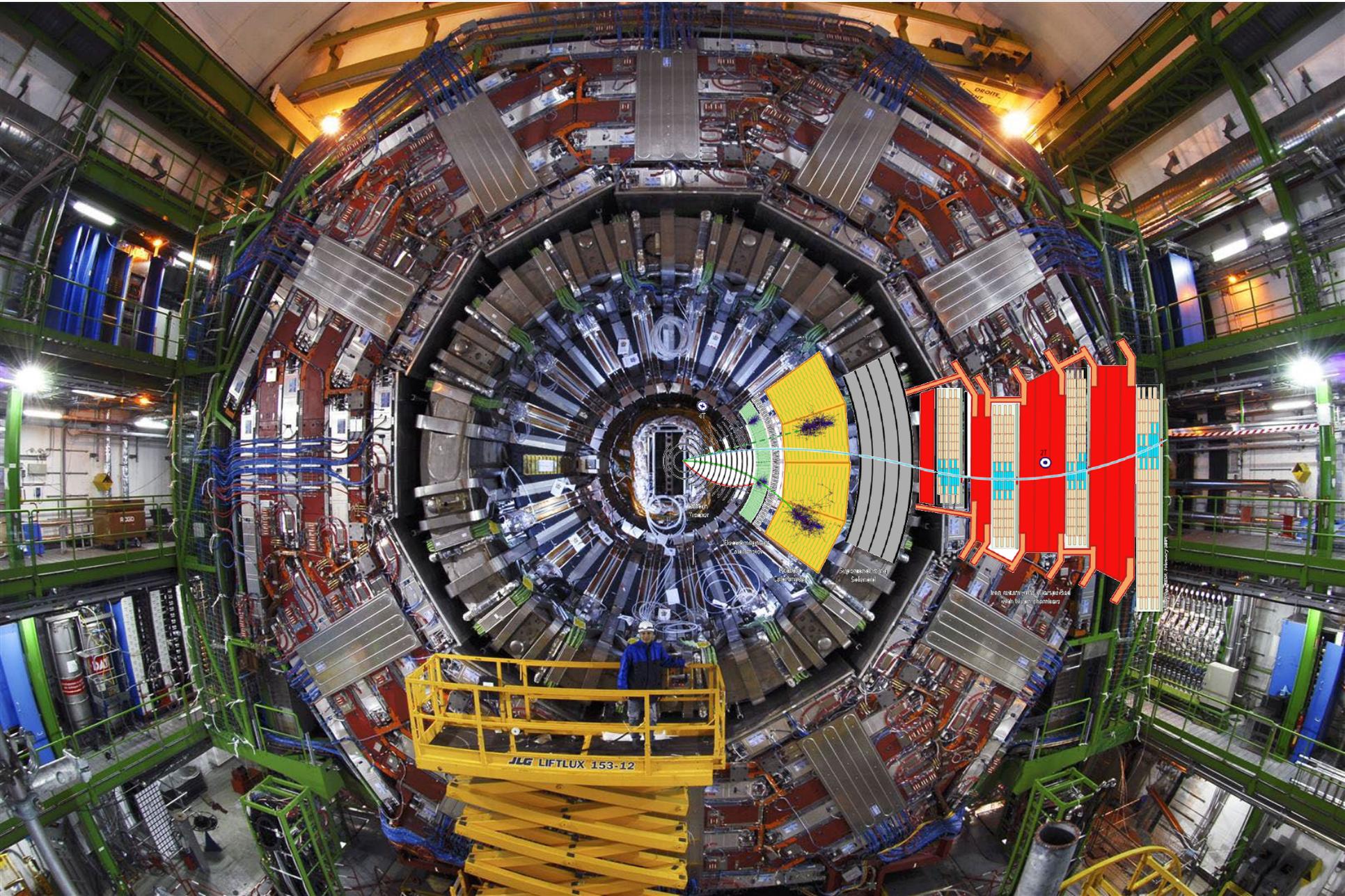
Il rivelatore CMS al CERN ha una massa di 12500 tonnellate (più pesante della Torre Eiffel)



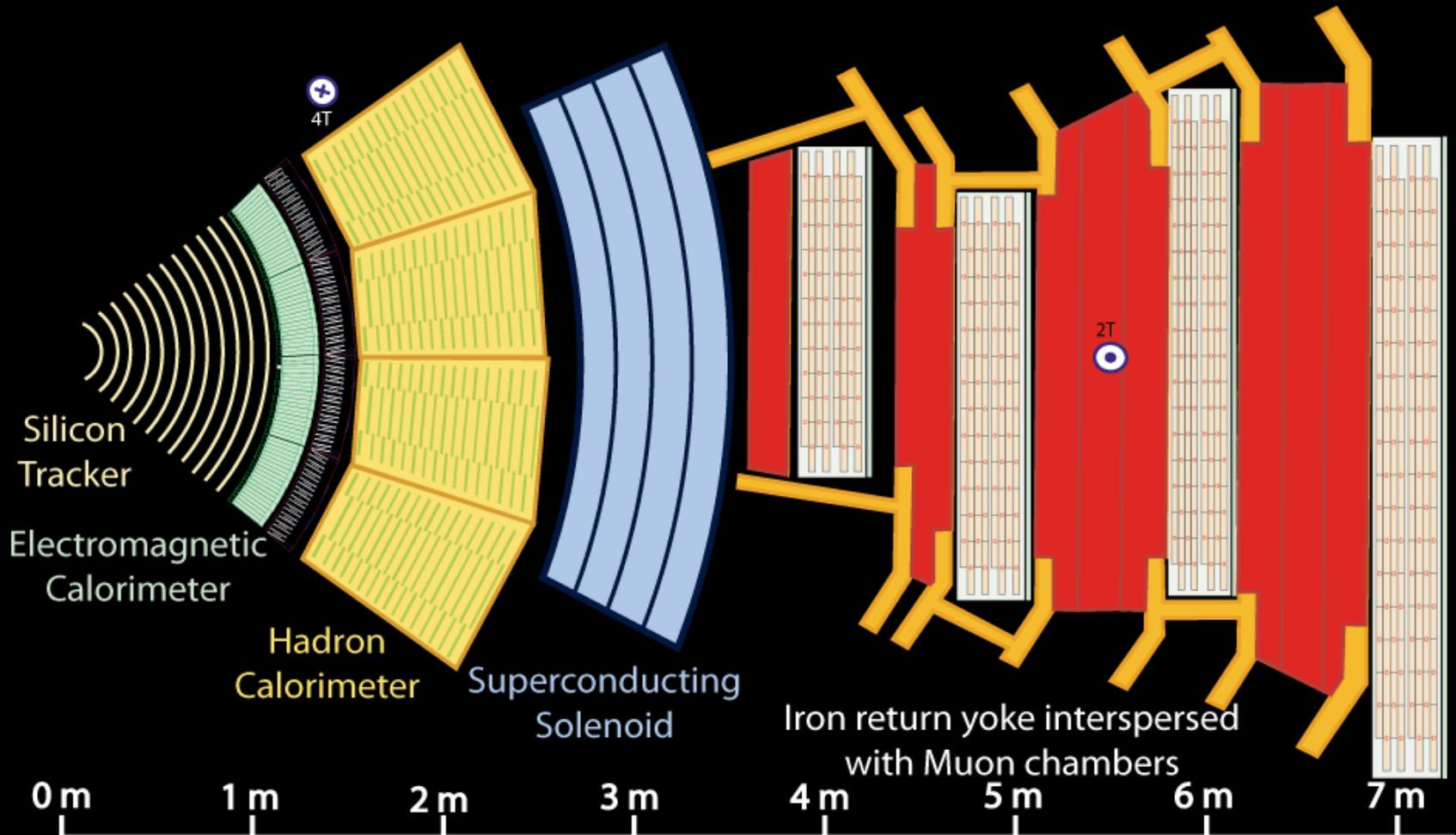
Compact Muon Solenoid



Compact Muon Solenoid

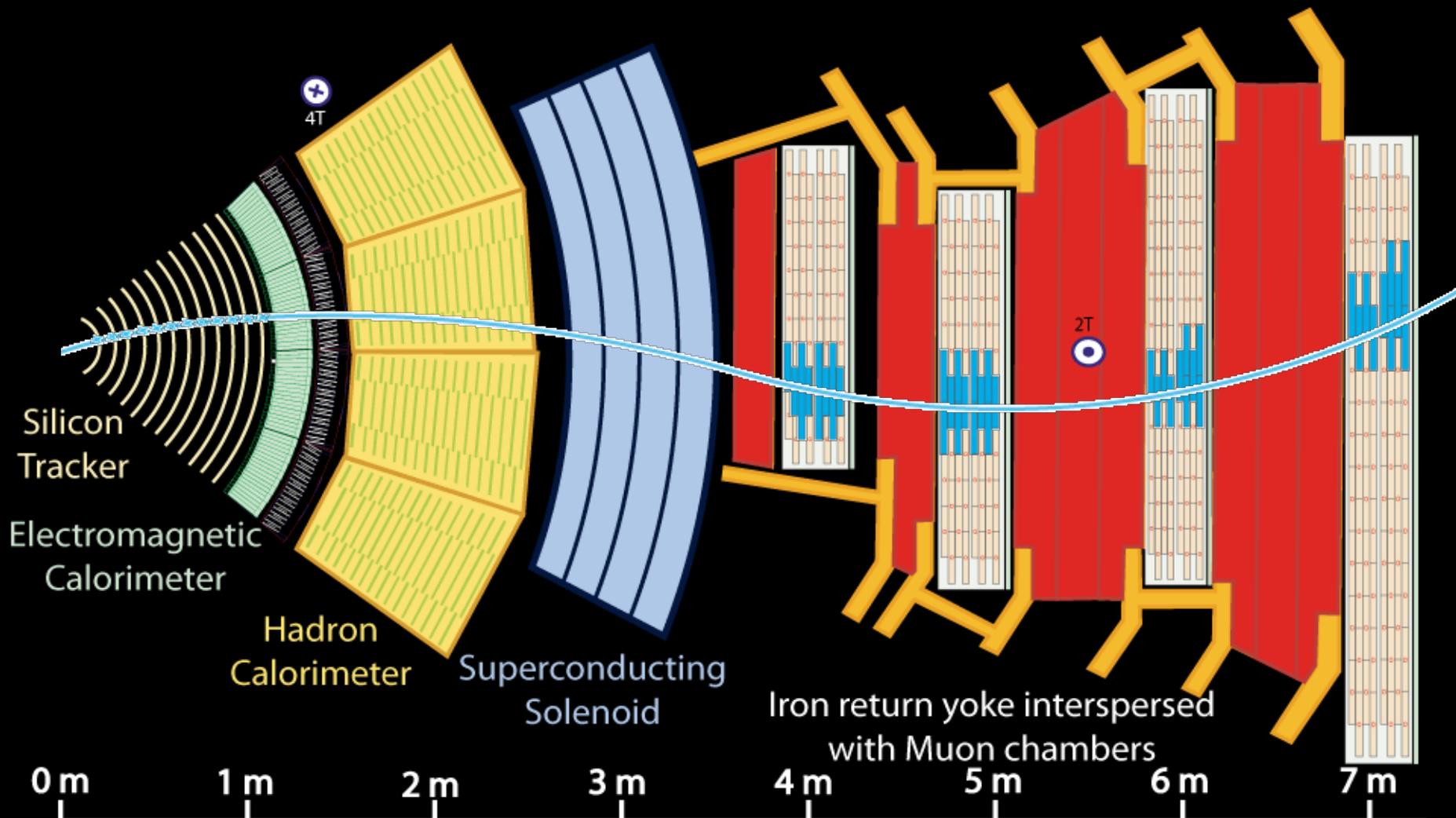


Passaggio delle particelle in CMS



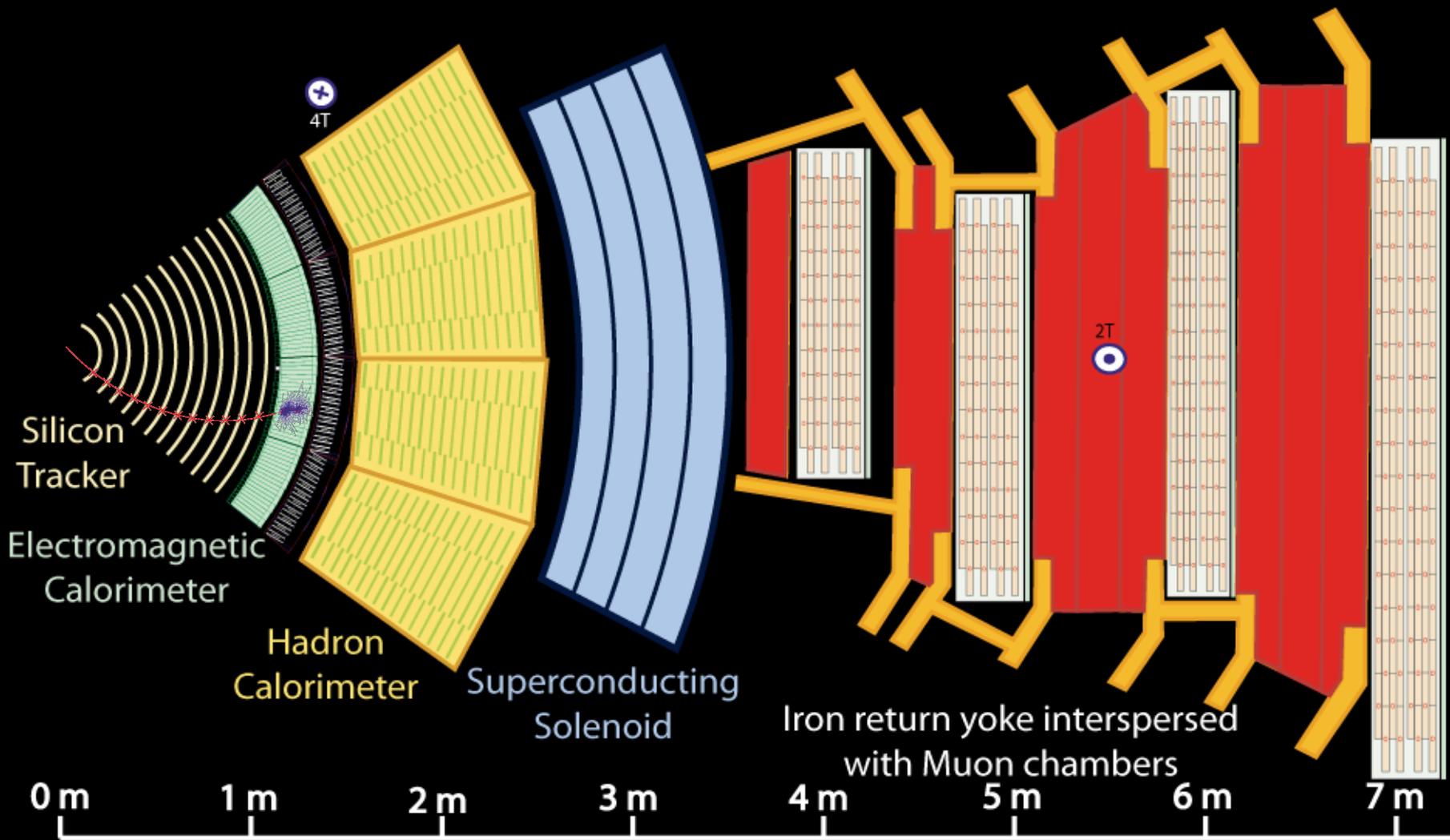
Key:

- 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:

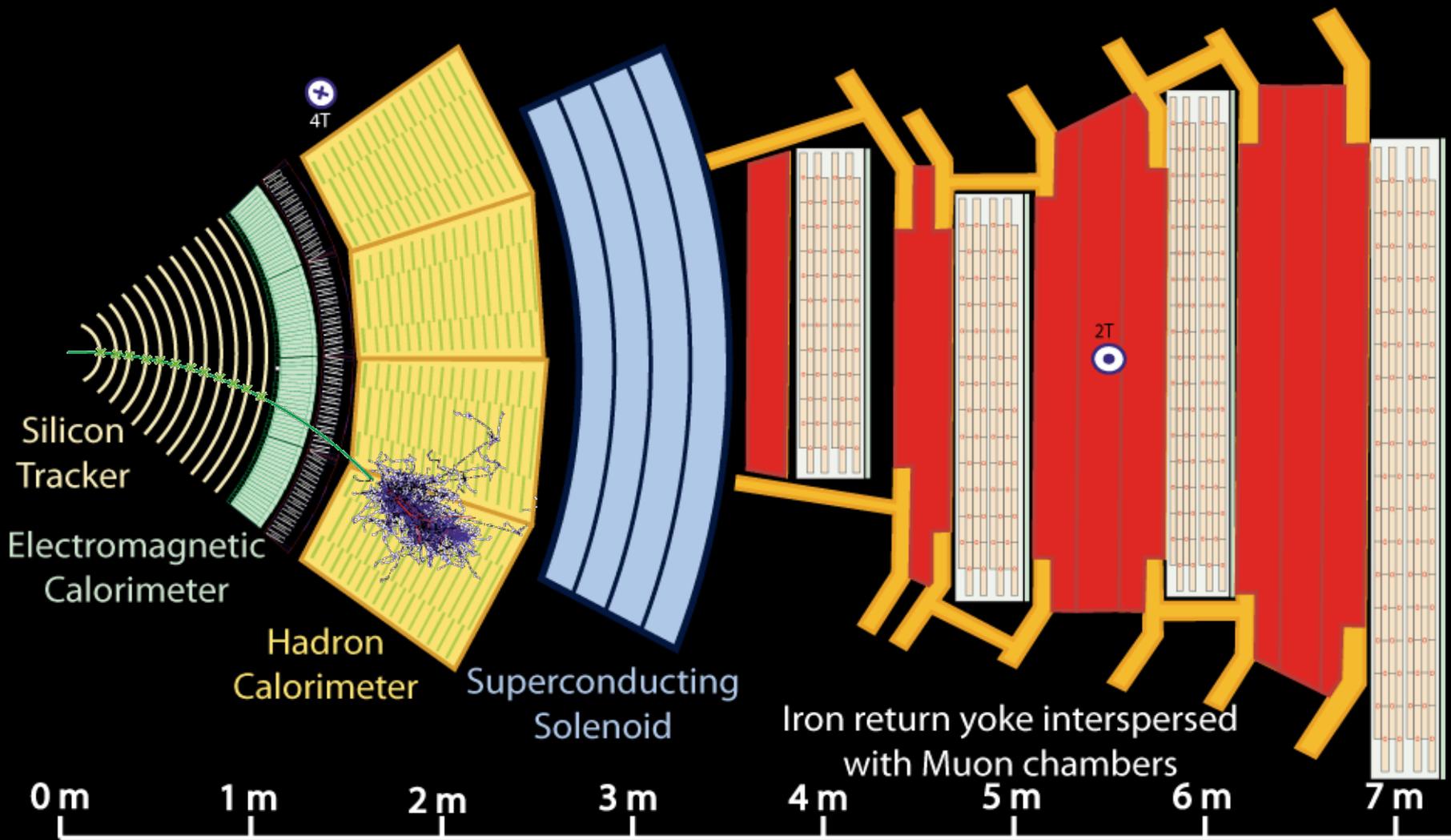
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

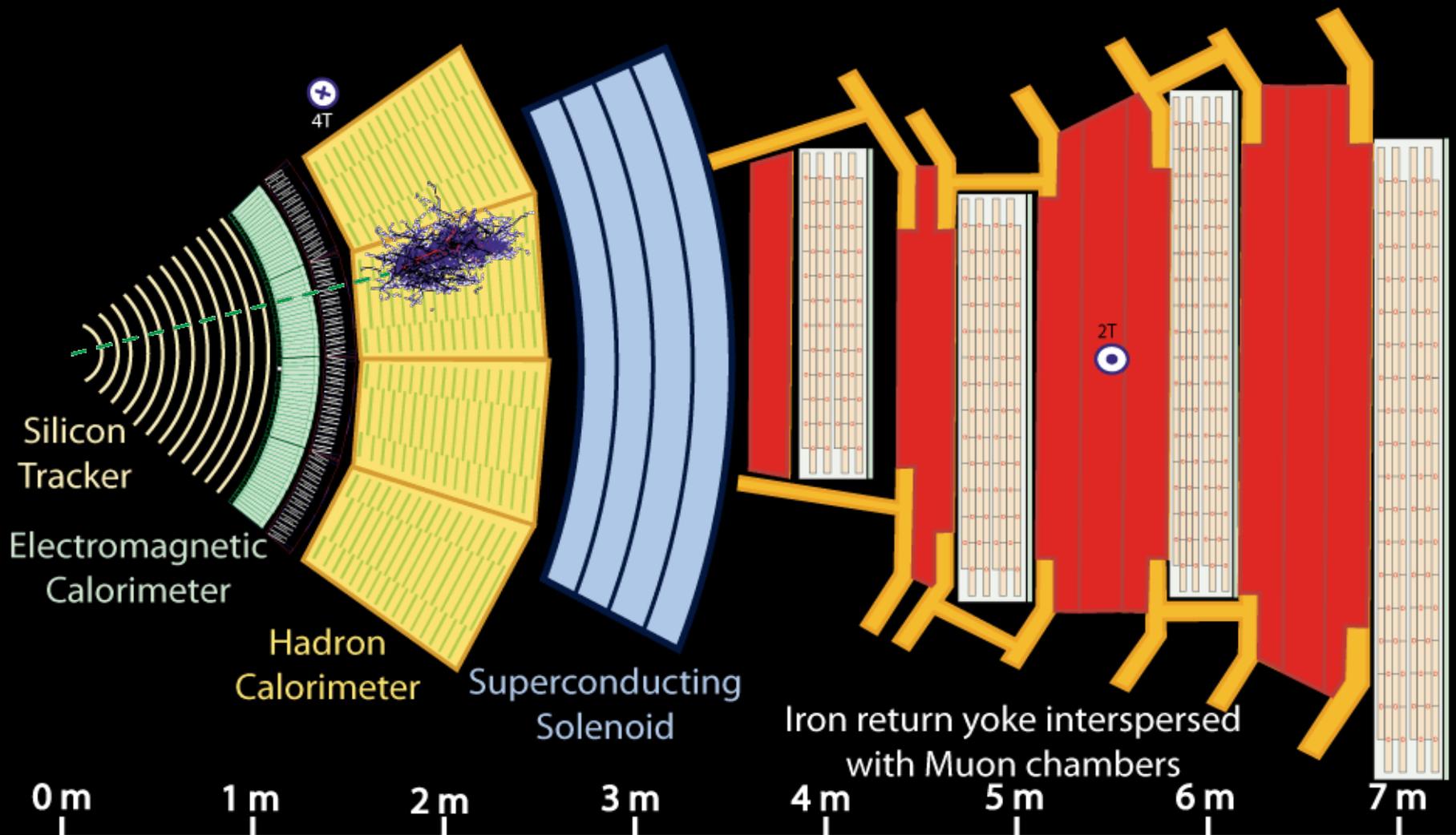
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



Key:

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



Key:

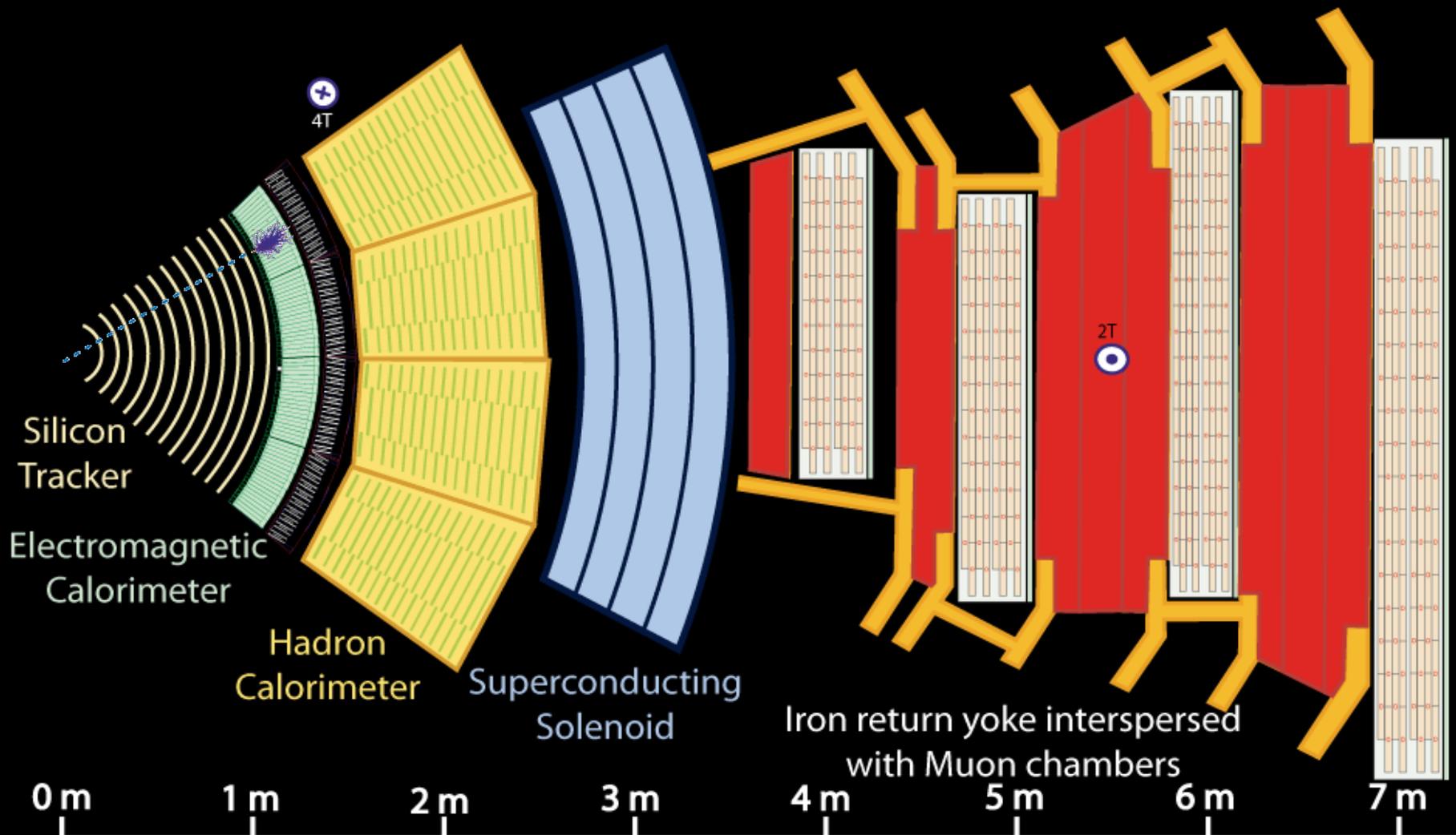
— Muon

— 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