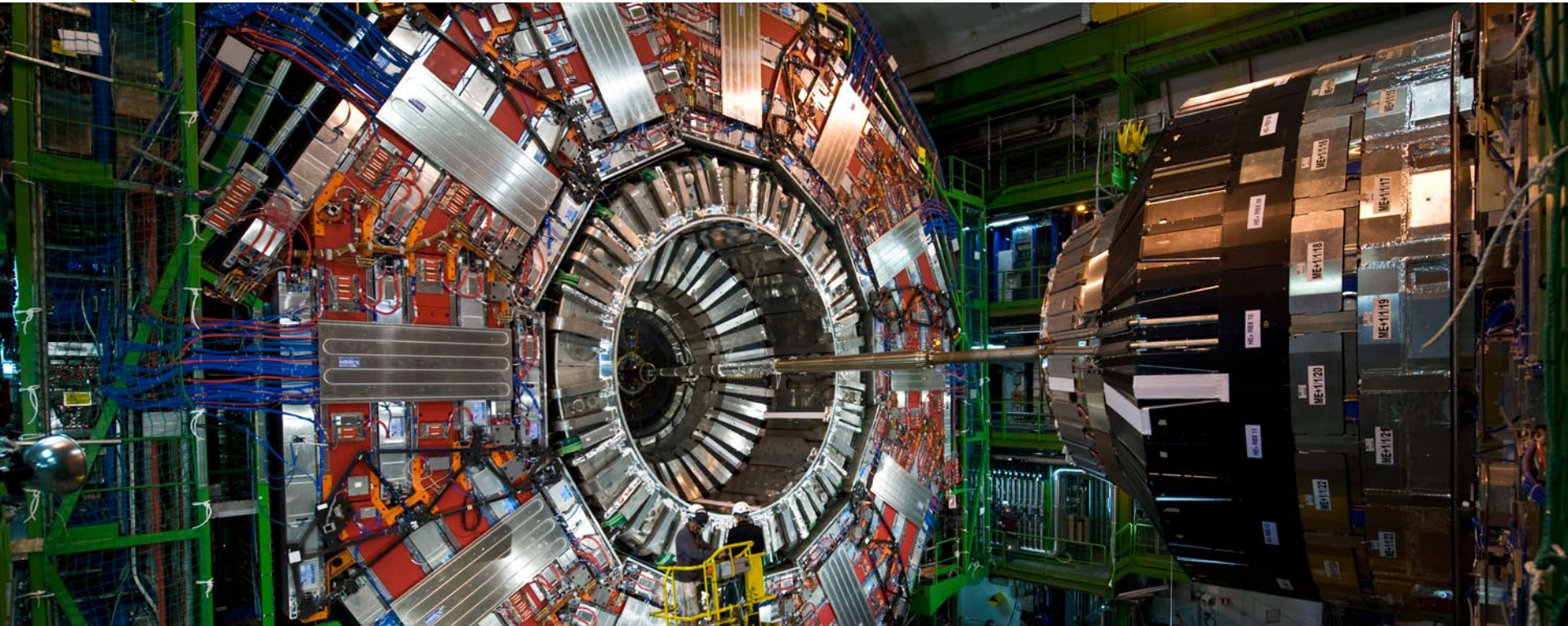
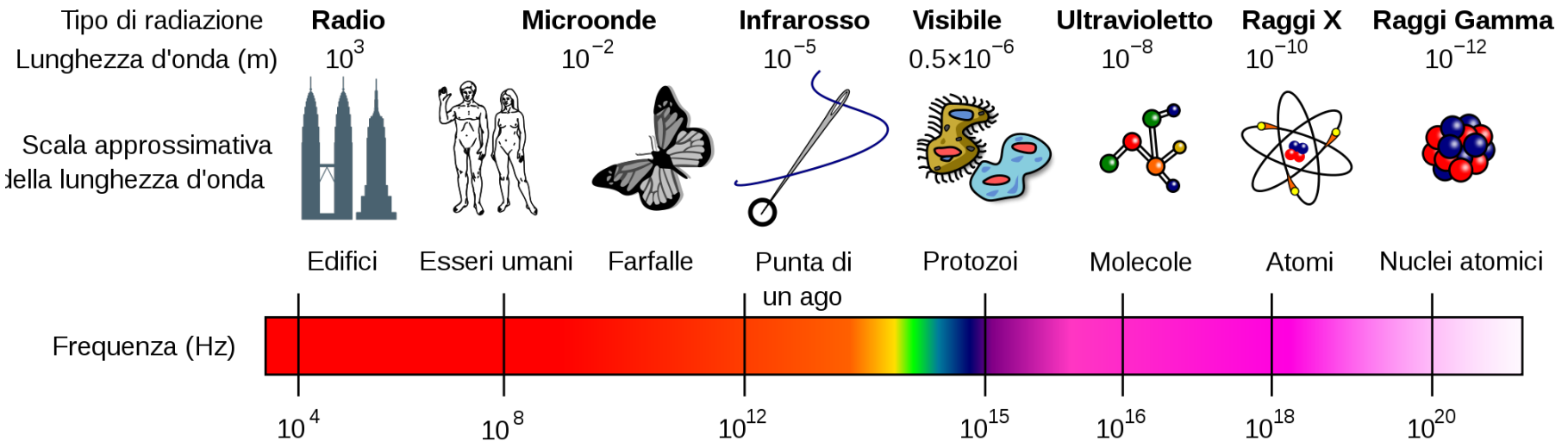


# Forze e particelle, eleganza e semplicità





# Come è fatta la materia e come la studiamo?







# Esistono i costituenti / le particelle elementari?

La natura è fatta come le  
matrioske dove c'è sempre  
qualcosa di più piccolo?

o si arriva ad un  
mattoncino non  
più scomponibile?





# 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.

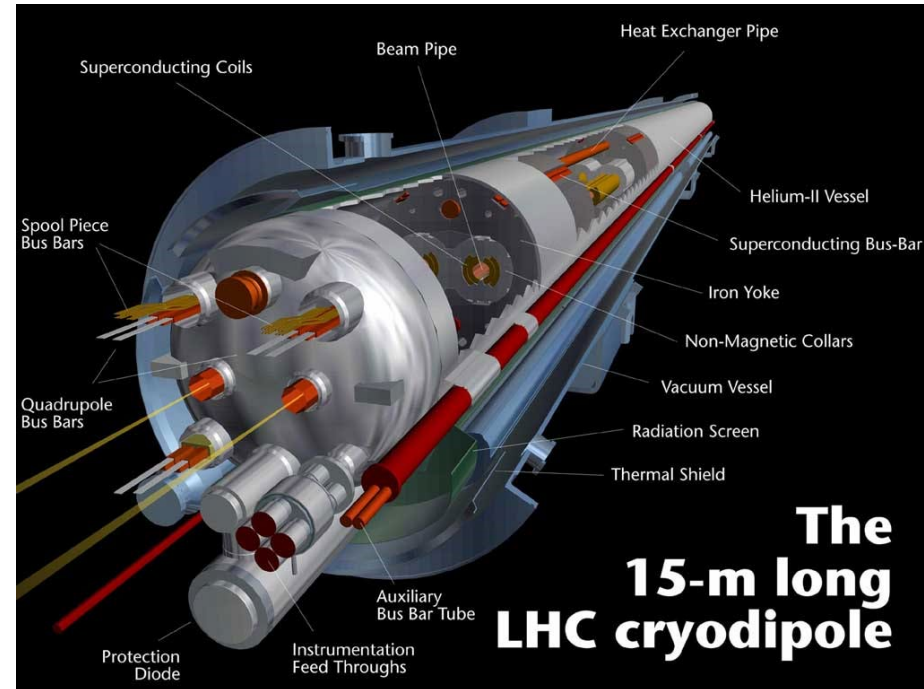
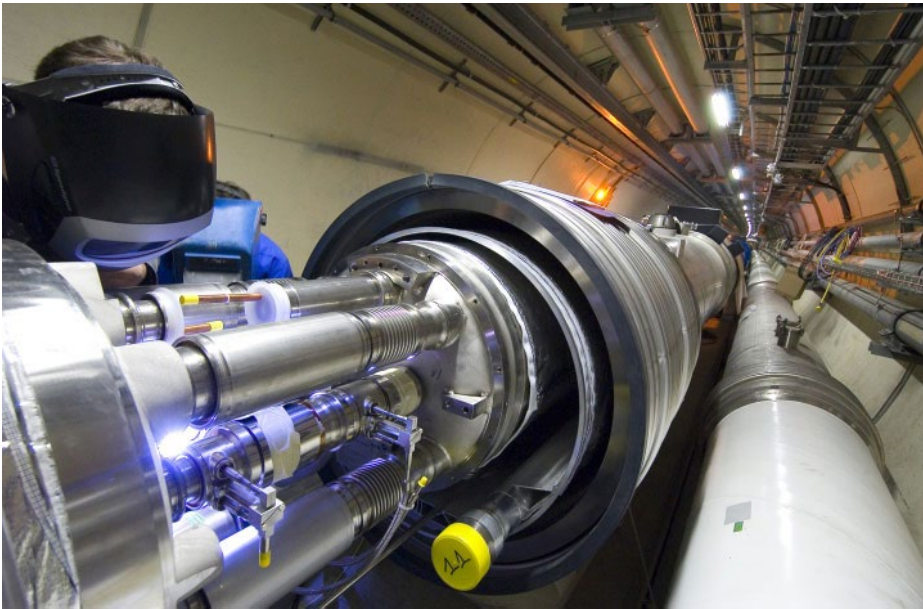
**Migliaia di pacchetti** di protoni corrono nei due sensi. Ogni pacchetto contiene **cento miliardi di protoni**.

I pacchetti si scontrano uno contro l'altro **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...

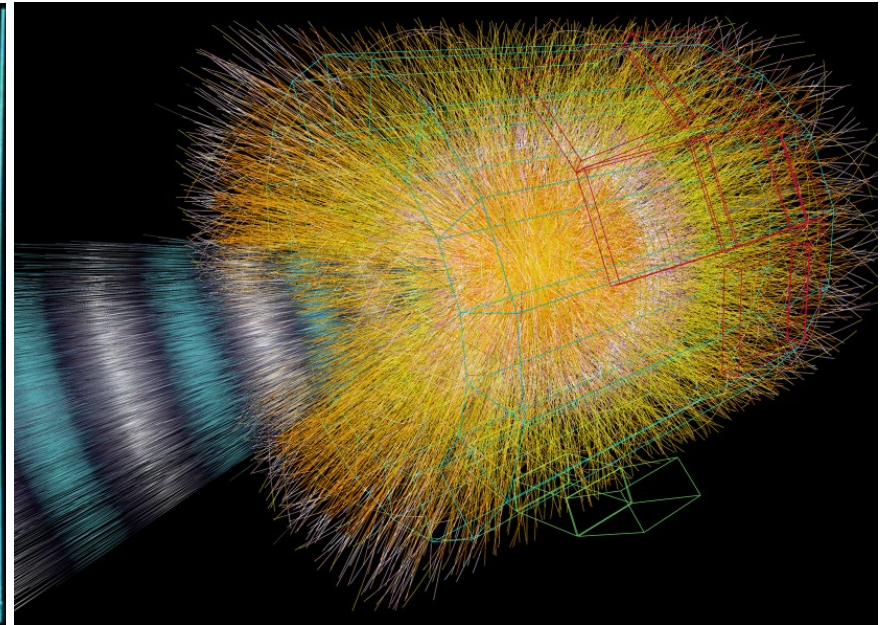
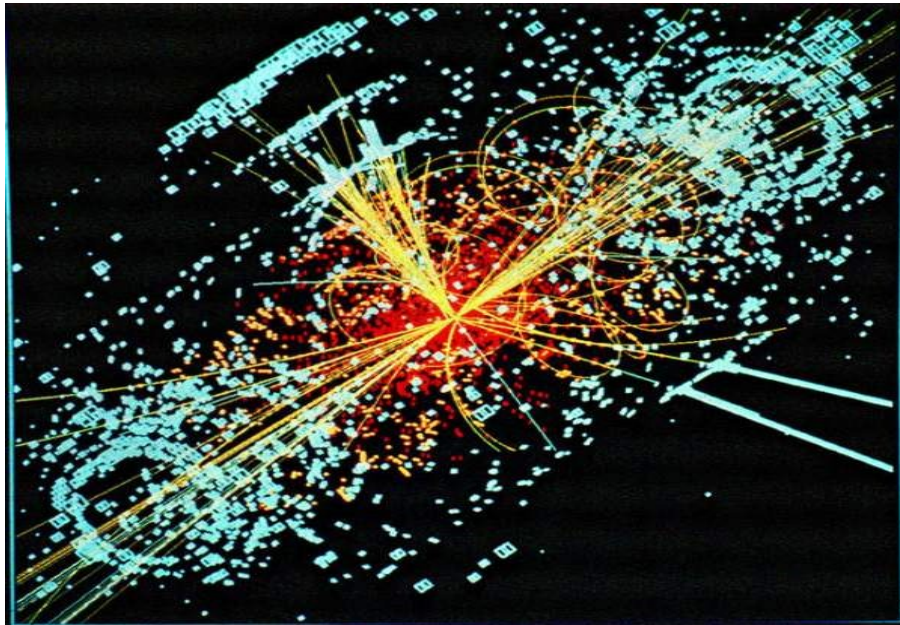


L'elio liquido viene mantenuto in uno stato di superconduttività e superfluidità alla temperatura di  $-271.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  o  $1.9\text{ K}$ .



# CERN – European Centre for Nuclear Research

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

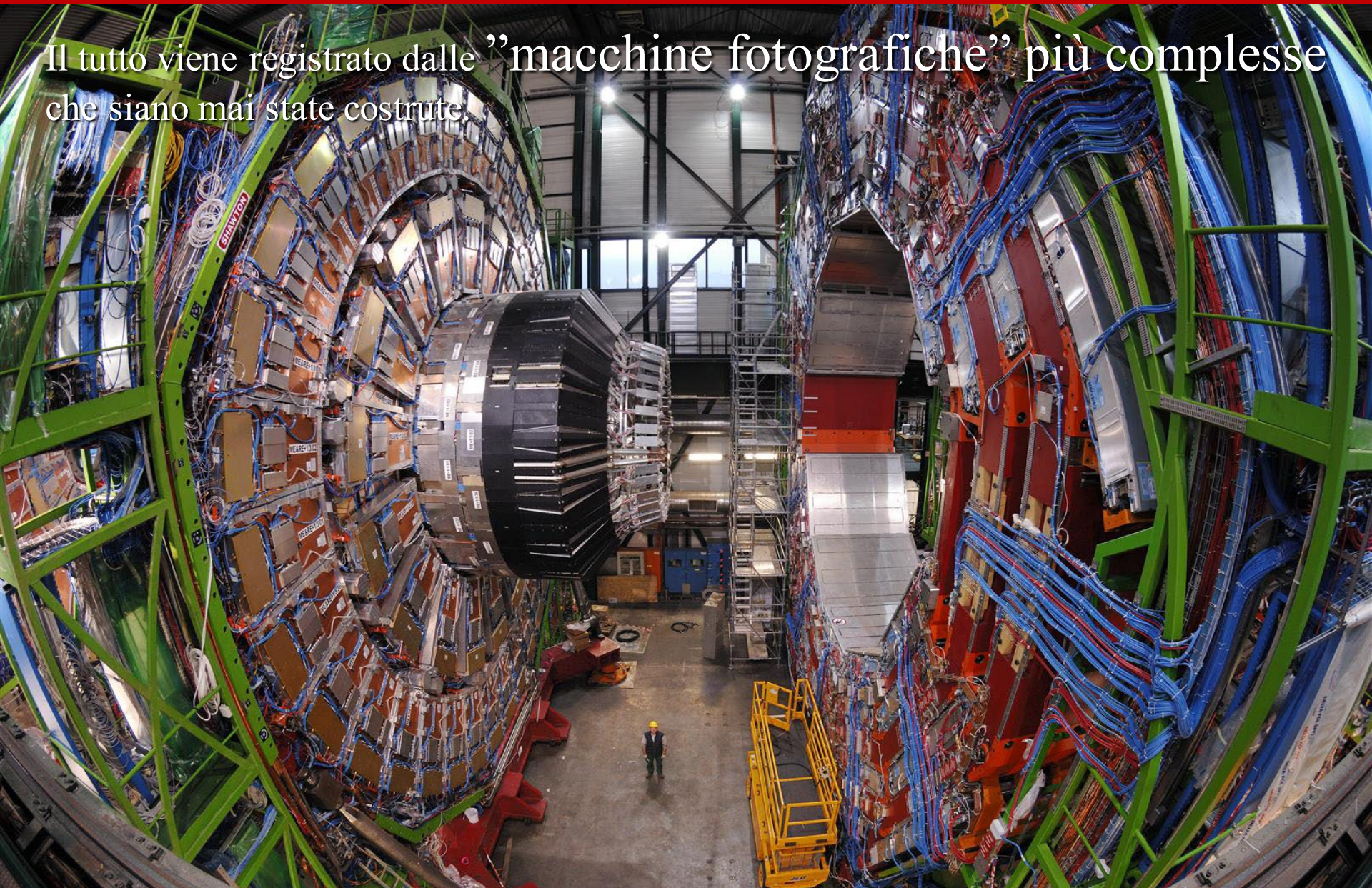


Si producono infatti violente collisioni corrispondenti a temperature un miliardo di volte superiori a quella del nucleo del Sole (che è di 15 milioni di gradi!)



# 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?**

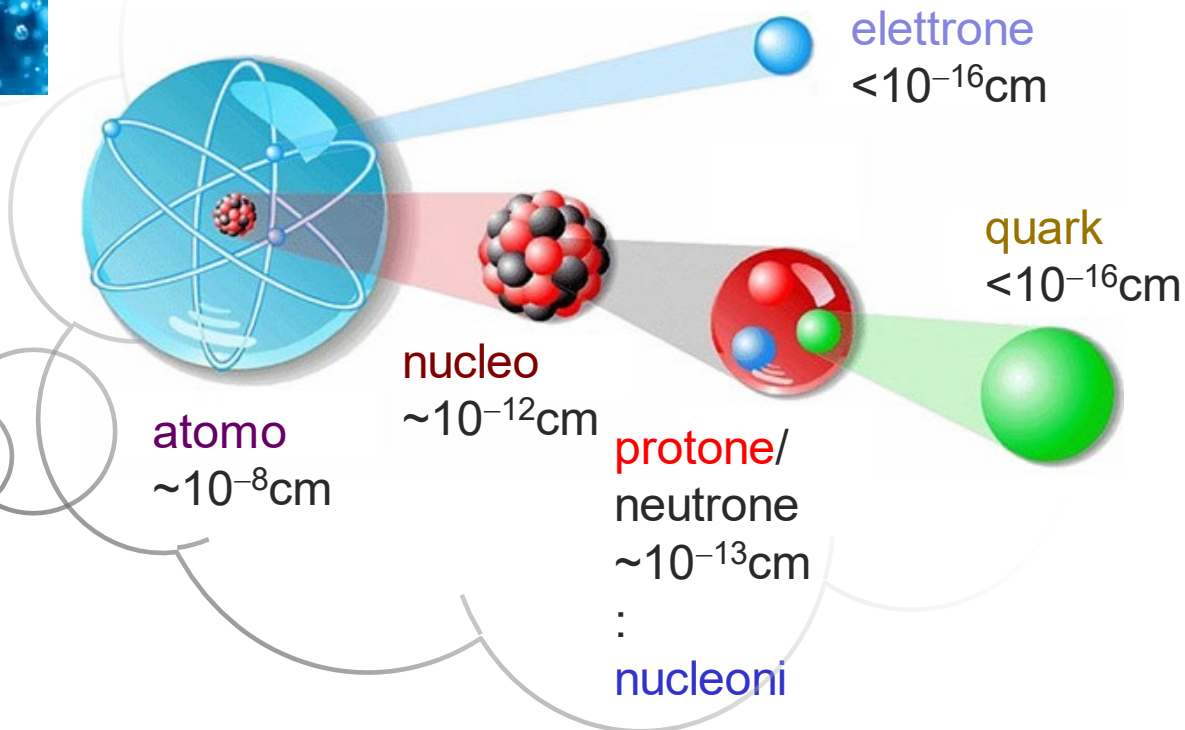
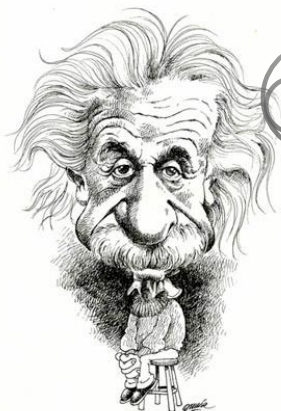
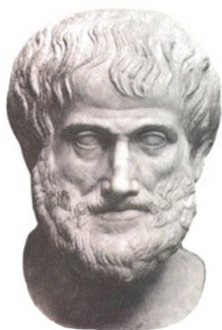
**A rispondere alle  
domande di poco fa.**

**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

## Periodic Table of the Elements

Normal melting points are in °C.  
TP = Triple Point.  
Pressure is listed if not 1 atm.  
Allotrope is listed if more than one allotrope.

Atomic Number		Melting Point		Symbol		Name		Atomic Mass									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IA 1A	IIA 2A	IIIB 3B	IVB 4B	VB 5B	VIB 6B	VII B 7B	VIII 8	VIII 8	VIII 8	IB 1B	IIB 2B	IIIA 3A	IVA 4A	VA 5A	VIA 6A	VIIA 7A	VIIIA 8A
H Hydrogen 1.008	He Helium 4.003	Li Lithium 6.941	Be Beryllium 9.012	B Boron 10.811	C Carbon 12.011	N Nitrogen 14.007	O Oxygen 15.999	F Fluorine 18.998	Ne Neon 20.180	Na Sodium 22.990	Mg Magnesium 24.305	Al Aluminum 26.982	Si Silicon 28.086	P Phosphorus 30.974	S Sulfur 32.066	Cl Chlorine 35.453	Ar Argon 39.948
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K Potassium 39.098	Ca Calcium 40.078	Sc Scandium 44.956	Ti Titanium 47.88	V Vanadium 50.942	Cr Chromium 51.996	Mn Manganese 54.938	Fe Iron 55.933	Co Cobalt 58.933	Ni Nickel 58.693	Cu Copper 63.546	Zn Zinc 65.39	Ga Gallium 69.723	Ge Germanium 72.61	As Arsenic 74.922	Se Selenium 78.972	Br Bromine 79.904	Kr Krypton 84.80
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb Rubidium 84.468	Sr Strontium 87.62	Y Yttrium 88.906	Zr Zirconium 91.224	Nb Niobium 92.906	Mo Molybdenum 95.95	Tc Technetium 98.907	Ru Ruthenium 101.07	Rh Rhodium 102.906	Pd Palladium 106.42	Ag Silver 107.868	Cd Cadmium 112.411	In Indium 114.818	Sn Tin 118.71	Sb Antimony 121.760	Te Tellurium 127.6	I Iodine 126.904	Xe Xenon 131.29
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs Cesium 132.905	Ba Barium 137.327	Lanthanide Series	Hf Hafnium 178.49	Ta Tantalum 180.948	W Tungsten 183.85	Re Rhenium 186.207	Os Osmium 190.23	Ir Iridium 192.22	Pt Platinum 195.08	Au Gold 196.967	Hg Mercury 200.59	Tl Thallium 204.383	Pb Lead 207.2	Bi Bismuth 208.980	Po Polonium [208.982]	At Astatine 209.987	Rn Radon 222.018
87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr Francium 223.020	Ra Radium 226.025	Actinide Series	Rf Rutherfordium [261]	Db Dubnium [262]	Sg Seaborgium [266]	Bh Bohrium [264]	Hs Hassium [269]	Mt Meitnerium [268]	Ds Darmstadtium [269]	Rg Roentgenium [272]	Cn Copernicium [277]	Uut Ununtrium unknown	Fl Flerovium [289]	Uup Ununpentium unknown	Lv Livermorium [298]	Uus Ununseptium unknown	Uuo Ununoctium unknown
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
La Lanthanum 138.906	Ce Cerium 140.115	Pr Praseodymium 140.908	Nd Neodymium 144.24	Pm Promethium 144.913	Sm Samarium 150.36	Eu Europium 151.966	Gd Gadolinium 157.25	Tb Terbium 158.925	Dy Dysprosium 162.50	Ho Holmium 164.930	Er Erbium 167.26	Tm Thulium 168.934	Yb Ytterbium 173.04	Lu Lutetium 174.967			
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			
Ac Actinium 227.028	Th Thorium 232.038	Pa Protactinium 231.036	U Uranium 238.029	Np Neptunium 237.048	Pu Plutonium 244.064	Am Americium 243.061	Cm Curium 247.070	Bk Berkelium 247.070	Cf Californium 251.080	Es Einsteinium [254]	Fm Fermium 257.095	Md Mendelevium 258.1	No Nobelium 259.101	Lr Lawrencium [262]			

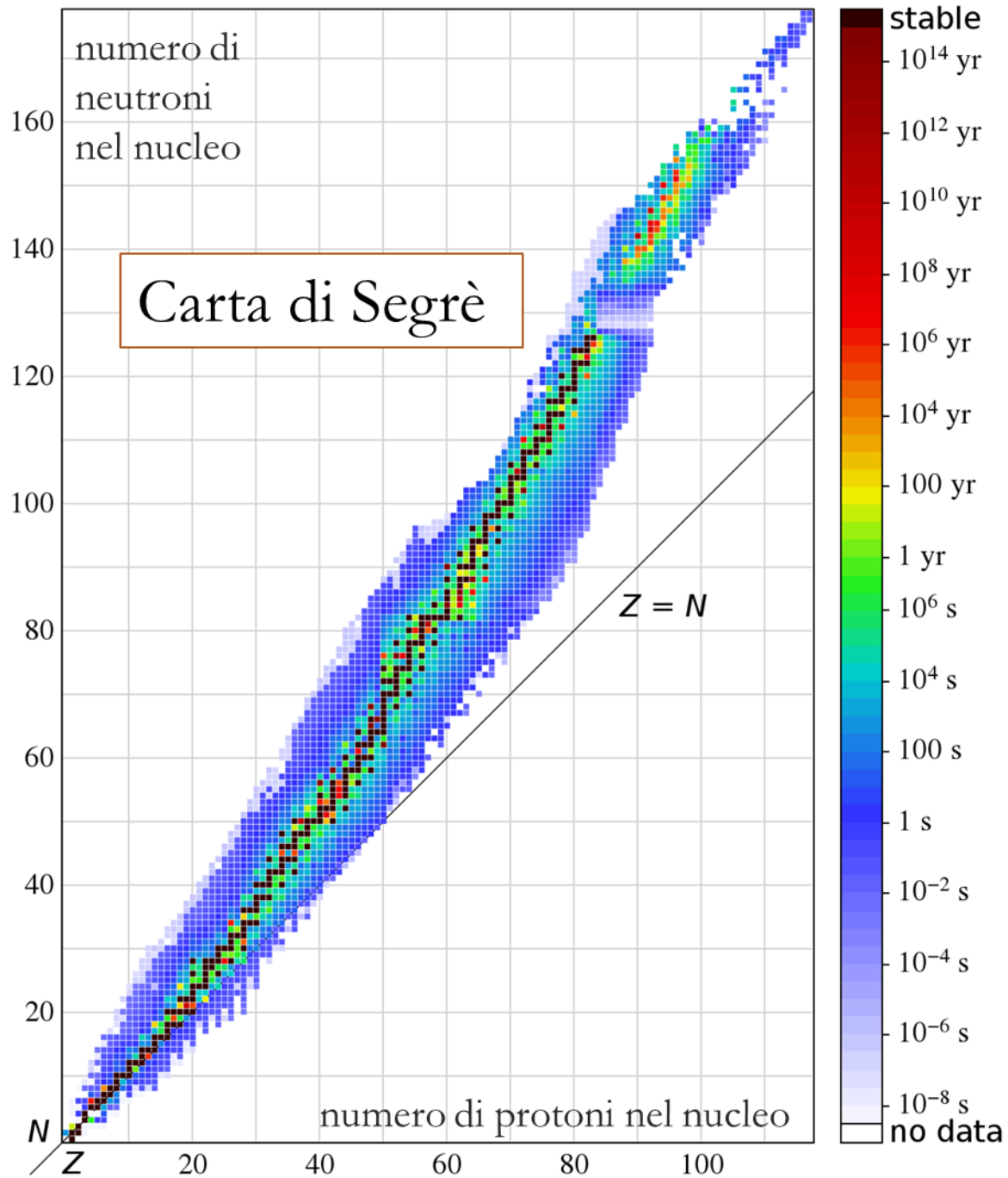
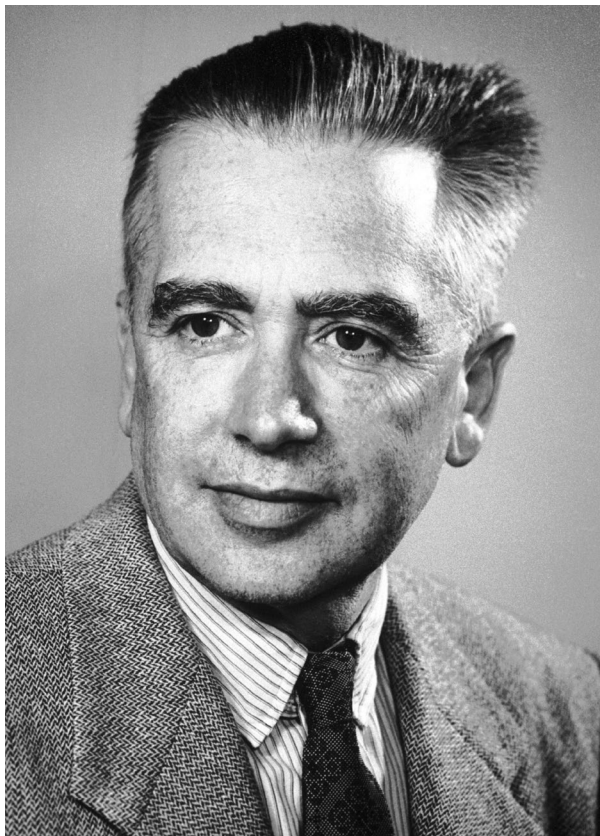




SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# I nuclei che conosciamo

Emilio Segrè, premio Nobel per la Fisica nel 1959

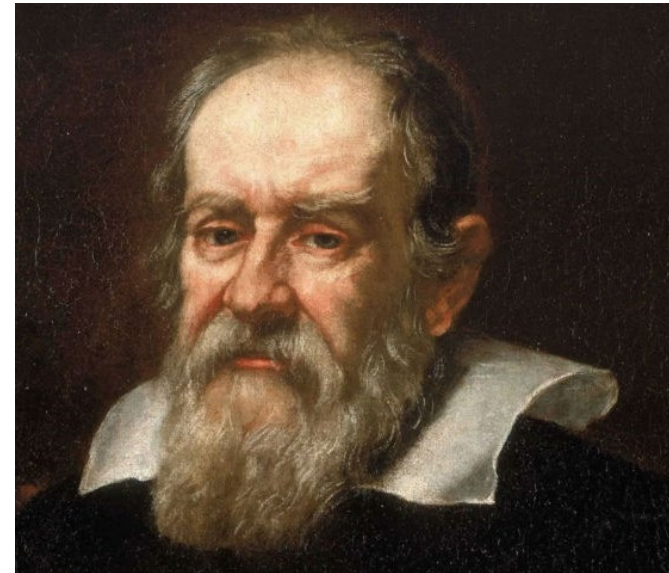


# Forze e interazioni

La fisica studia le interazioni che governano i fenomeni naturali.

**Metodo scientifico:** Galileo Galilei (1564-1642)

- Osservare **fenomeni** in natura con gli esperimenti.
- Fare **ipotesi** sulle leggi che descrivono il fenomeno usando la matematica come il linguaggio (modello).
- Fare **predizioni** quantitative.
- Verificare le predizioni con **esperimenti**.
- Se le predizioni sono corrette il modello diventa una **teoria**.
- Cercare di **falsificare** la teoria con nuovi esperimenti sfruttando l'avanzamento tecnologico degli strumenti.







# [Forze e interazioni

Le interazioni fondamentali sono quattro:

- interazione gravitazionale (400 anni fa... e di nuovo 100 anni fa)
- interazione elettromagnetica (nel XIX secolo)
- interazione nucleare debole (nel XX secolo)
- interazione nucleare forte (nel XX secolo)

Siamo alla costante ricerca di nuovi fenomeni e nuove interazioni.

La quinta forza...



Siamo nel 300 avanti a.c.

Siamo delle persone curiose.

Osserviamo il mondo, la natura e  
le cose che ci circondano.

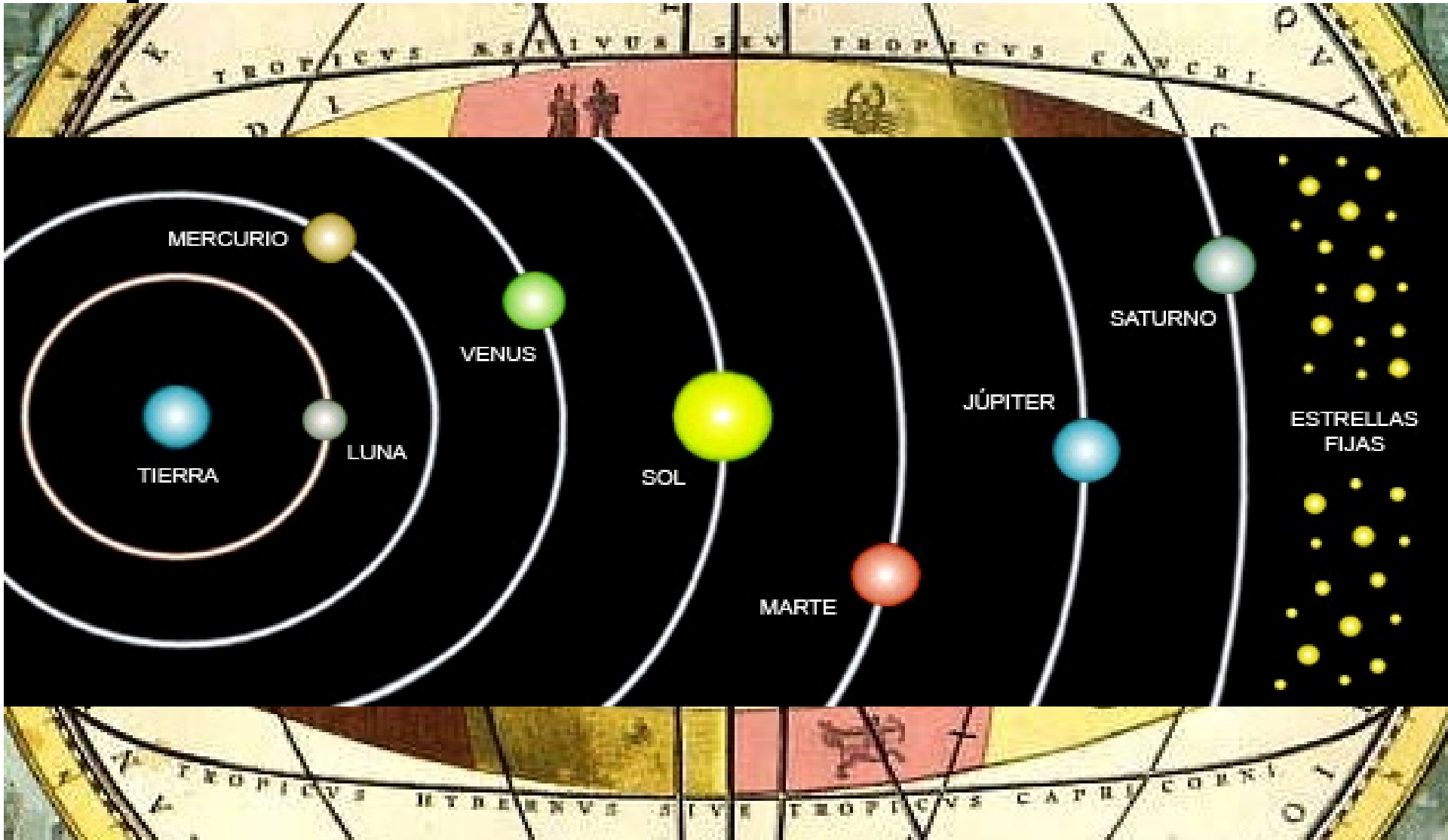




Osservando tutto ciò, che teoria avreste  
proposto nel 300 a.c.?



# Teoria Geocentrica: Aristotele (350 AC), Tolomeo (100 DC)







# Eliocentrismo: la rivoluzione copernicana

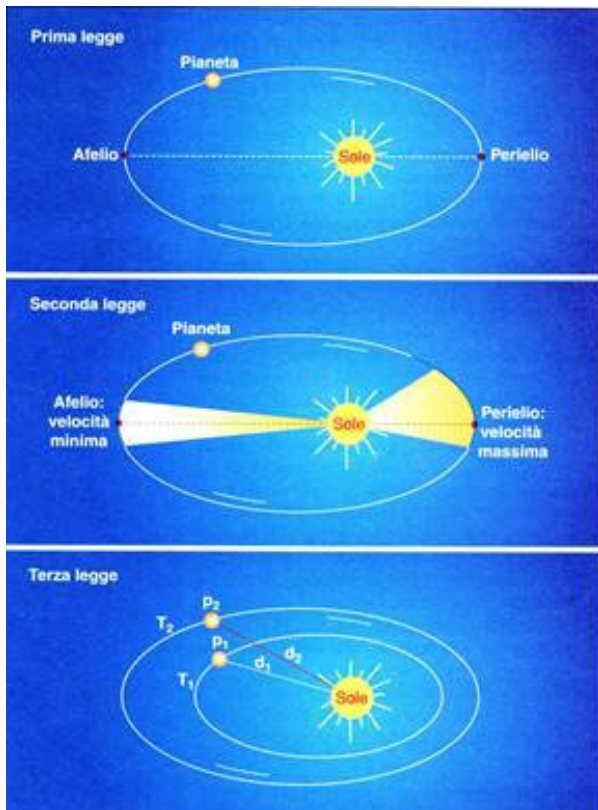
**Rivoluzione** significa  
cambiare il **punto di vista**,  
Introdurre un nuovo modo  
di pensare e capire le cose.

Ceres

tune

# L'interazione gravitazionale

- 1543: Copernico e l'eliocentrismo.

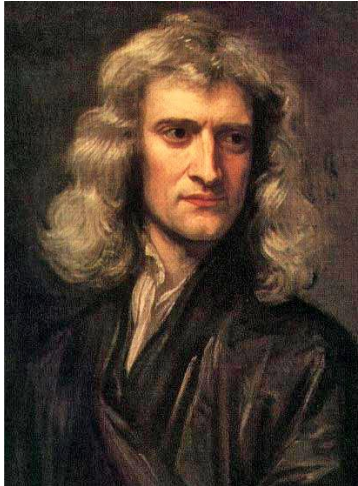


- Le tre leggi di Keplero (1609-1619)



# L'interazione gravitazionale

- 1590: Galileo e la caduta dei gravi



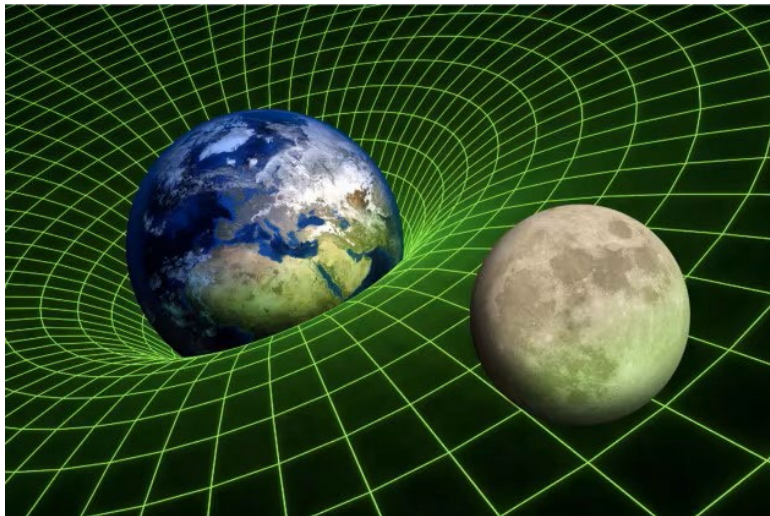
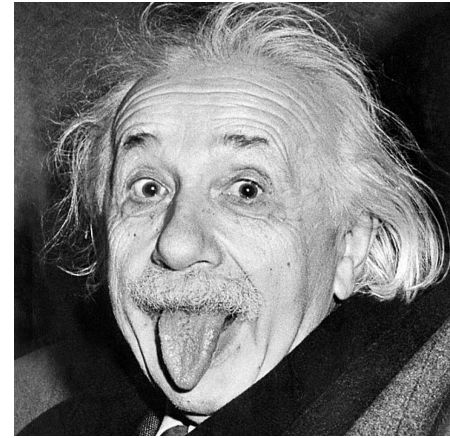
1687: Newton e la legge di gravitazione universale.

Trionfo della teoria di Newton:  
la scoperta di Nettuno «con la punta della penna» (1846)

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

# L'interazione gravitazionale

- Albert Einstein: teoria della relatività generale (1915).
- La presenza della massa curva la struttura dello spazio-tempo.



Curvature of  
space

Distribution of  
mass/energy

$$G_{\alpha\beta} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\alpha\beta}$$

Some constants





756  
M.E.  
McCluer  
Nº 3/47 II

# L'interazione gravitazionale

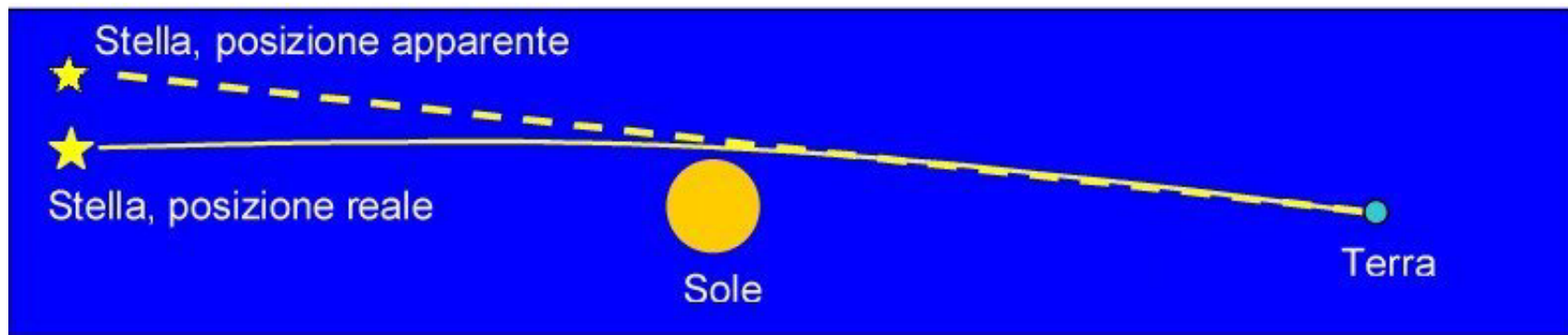
La relatività generale ha spiegato le **discrepanze nell'orbita di Mercurio**, note fin dalla fine dell'800 e ha previsto la deflessione della luce da parte del Sole, osservata nel 1919 da Arthur Eddington.

## REVOLUTION IN SCIENCE

### NEW THEORY OF THE UNIVERSE.

#### NEWTONIAN IDEAS OVERTHROWN.

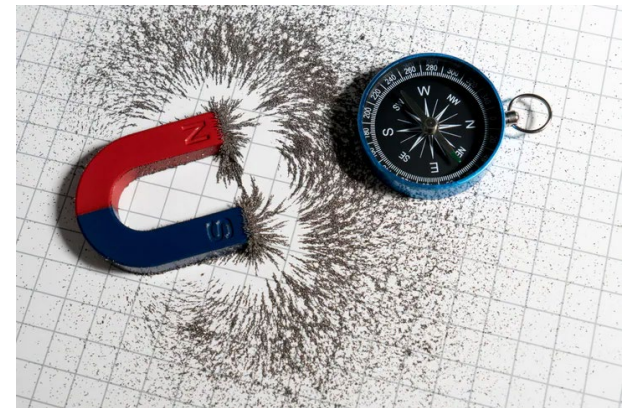
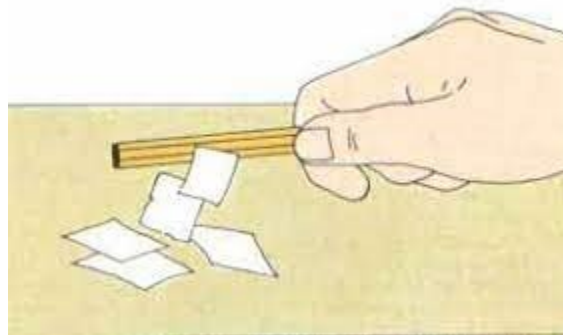
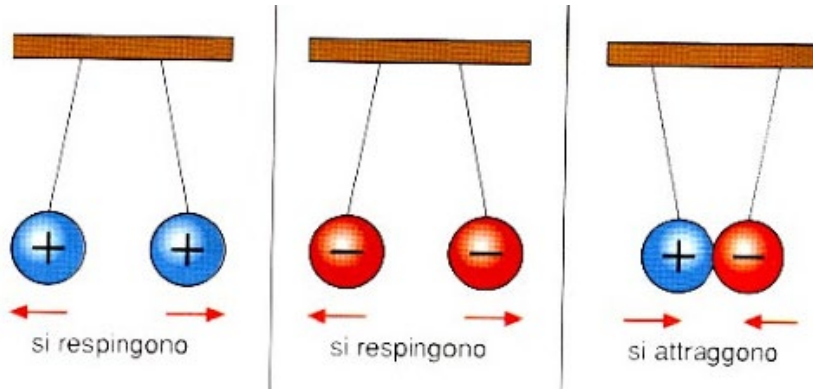
Yesterday afternoon in the rooms of the Royal Society, at a joint session of the Royal and Astronomical Societies, the results obtained by British observers of the total solar eclipse of May 29 were discussed.





# L'interazione elettromagnetica

Originariamente la luce, i fenomeni elettrici e quelli magnetici erano considerati indipendenti. In seguito si osservò che cariche in movimento generano campi magnetici, che campi magnetici variabili inducono correnti elettriche.



# L'interazione elettromagnetica

1865-1884: unificazione di elettricità e magnetismo.

Tutti i fenomeni legati all'elettricità, al magnetismo e alla luce vengono spiegati in poche eleganti equazioni.

Equazioni di Maxwell (nel vuoto):

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \rho$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{B} = \vec{J} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

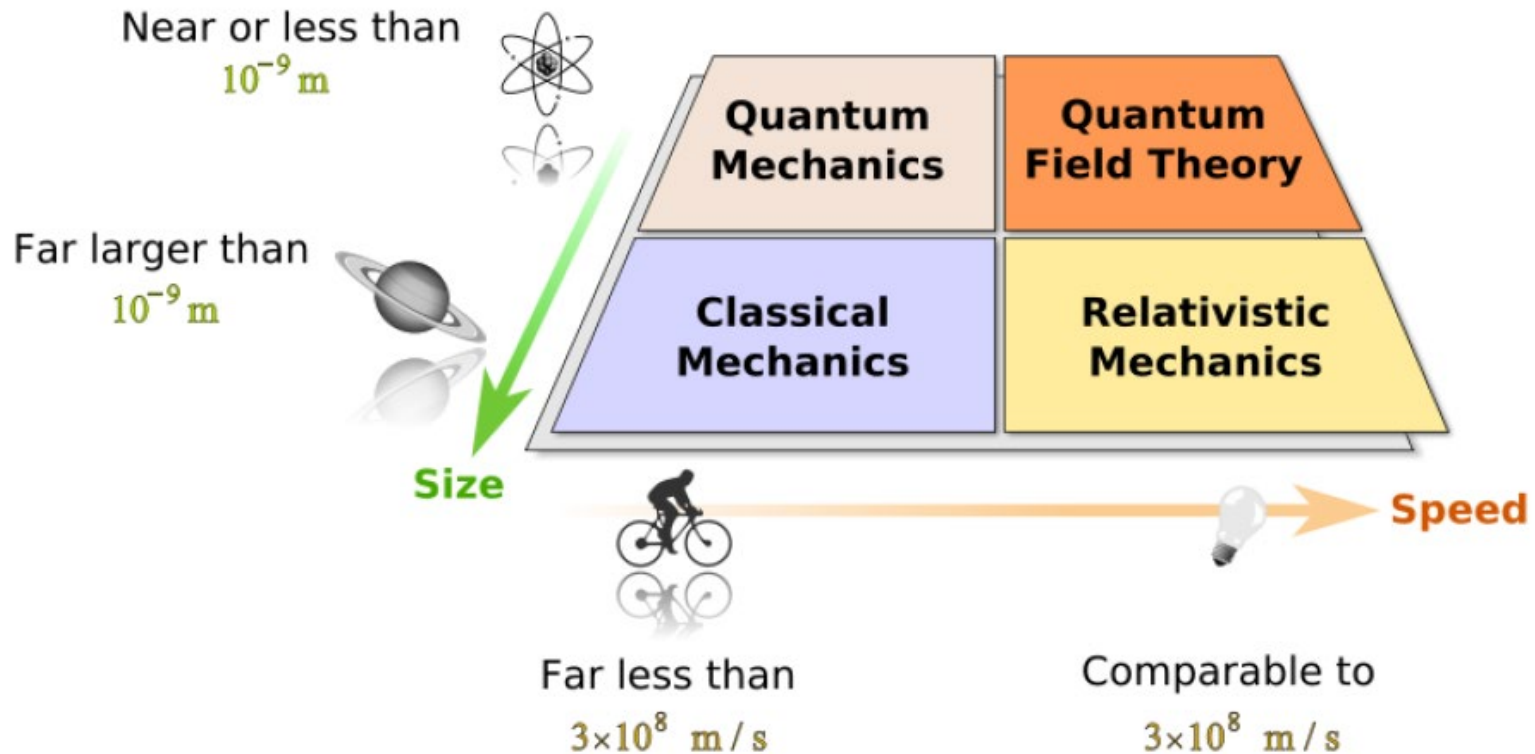


**James Clerk Maxwell**



# La fisica del novecento in una slide...

- Meccanica quantistica e teoria della relatività → teoria dei campi



# [ 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.





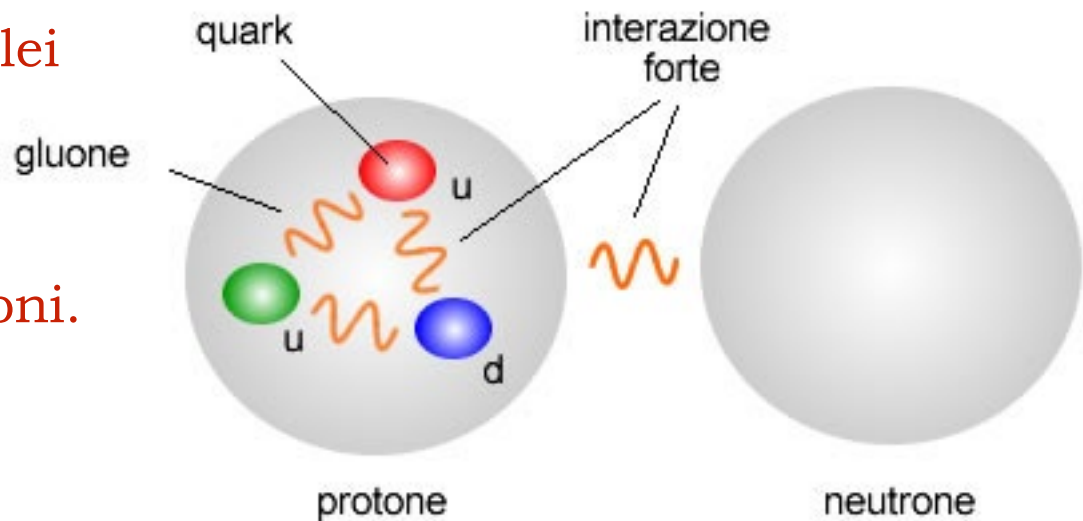
# [Forze e interazioni

- 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)



# [Forze nucleare forte

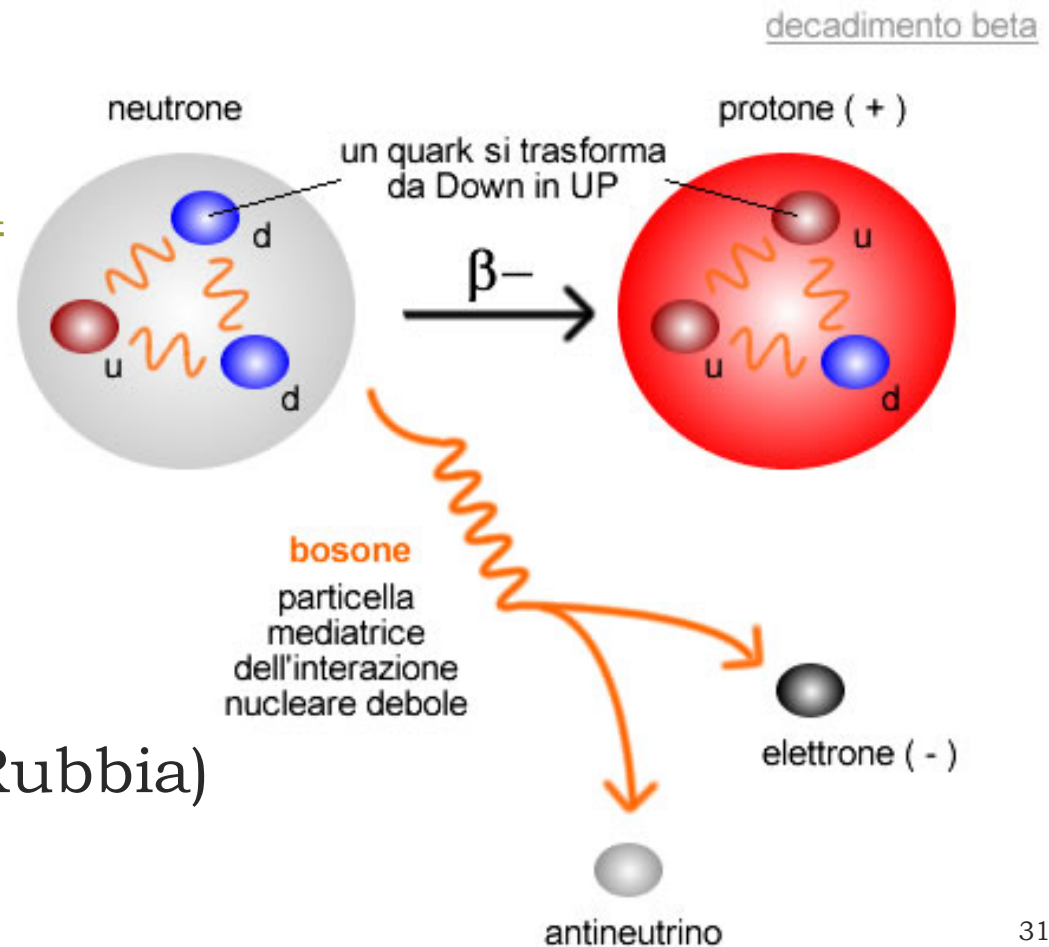
- La teoria dei campi che spiega questa forza, detta anche forza di colore, si chiama **Cromodinamica Quantistica**.
- I mediatori sono i gluoni (colla che tiene insieme il nucleo).
- Interazione a corto raggio:
  - **I quark non esistono isolati**
  - **La stabilità dei nuclei grandi richiede un numero di neutroni maggiore del numero di protoni.**





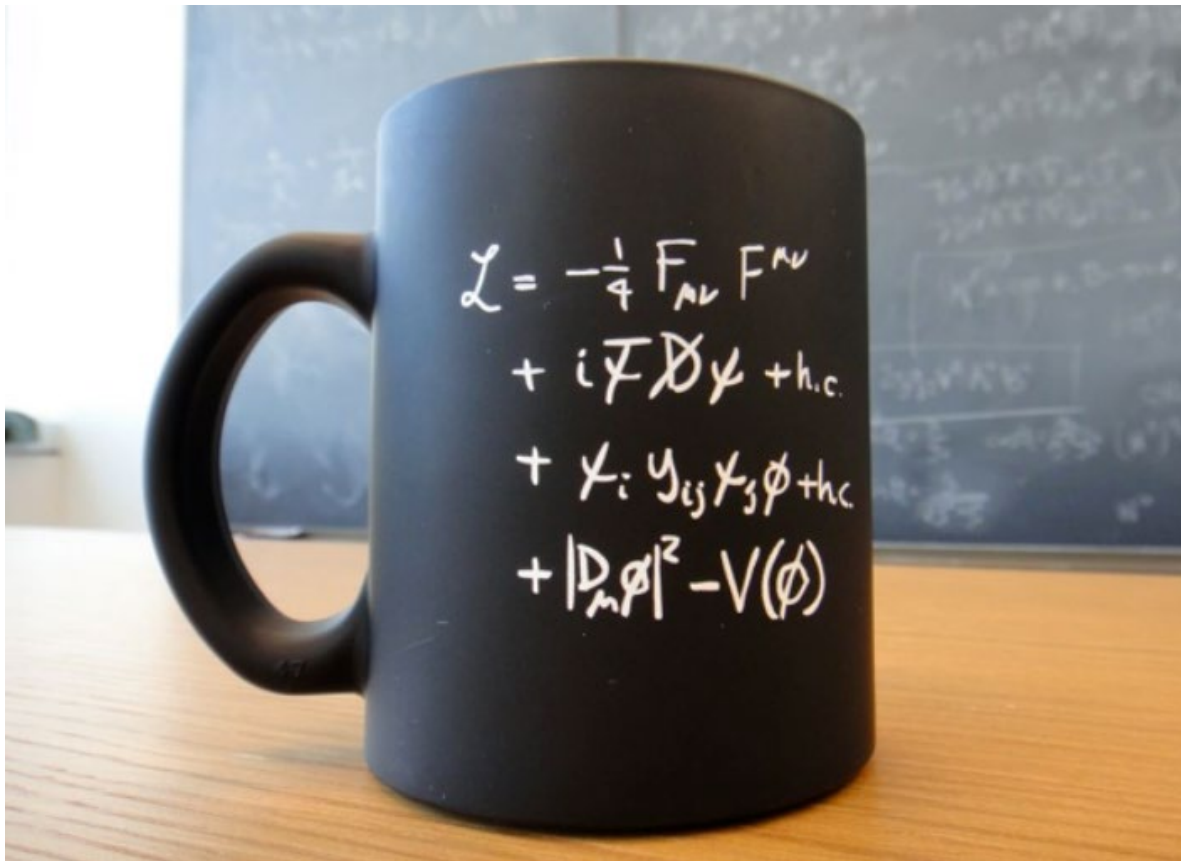
# [Forze nucleare debole

- Debole perché molto meno intensa di quella forte.
- È il meccanismo principale dei decadimenti radioattivi degli atomi.
- Teoria di Fermi (anni 30)
- I mediatori sono i bosoni W e Z (scoperti al Cern nel 1983, premio Nobel a Carlo Rubbia)



# Il Modello Standard

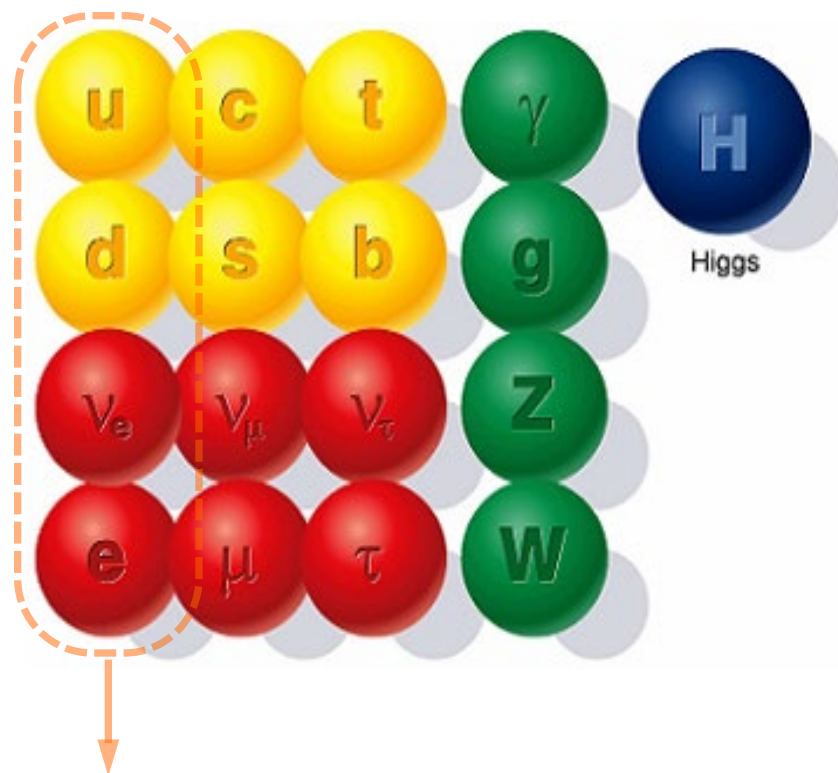
- Descrive le interazioni elettromagnetiche, deboli e forti che governano tutti i fenomeni osservati.





# Il Modello Standard

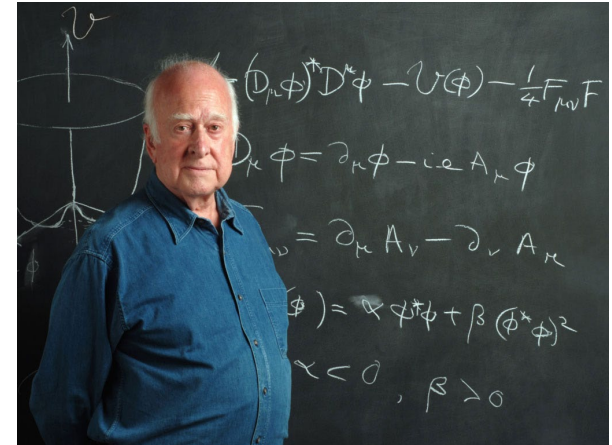
- Tutte le particelle elementari conosciute e le loro forze (interazioni) sono riunite in un unico modello teorico.
- Le particelle che formano la materia ordinaria esistono in **tre repliche**.
- Per ogni particella di materia esiste una antiparticella.
- Il Modello Standard non è completo:
  - È il 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 fisici teorici trovarono 60 anni fa un meccanismo che permette di spiegare **perché le particelle elementari hanno massa**.
- La massa delle particelle viene generata da un campo che è presente ovunque, che 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](http://www.sciencedirect.com)  
SciVerse ScienceDirect

$H \rightarrow \tau\tau$   
 $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}, L = 5.1 \text{ fb}^{-1}$   
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}, L = 5.3 \text{ fb}^{-1}$

Legend: Data, S+B Fit, Signal Fit Component,  $\pm 1\sigma$ ,  $\pm 2\sigma$

ATLAS 2011-12  $\sqrt{s} = 7-8 \text{ TeV}$

Legend: Observed, Expected Signal: 1.0

Local  $p_0$

$m_H$  [GeV]

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

The Economist

JULY 7TH - 13TH 2012 Economist.com

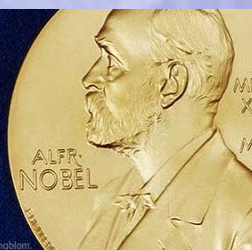
In praise of charter schools  
 Britain's banking scandal spreads  
 Volkswagen overtakes the rest  
 A power struggle at the Vatican  
 When Lonesome George met Nora

# A giant leap for science

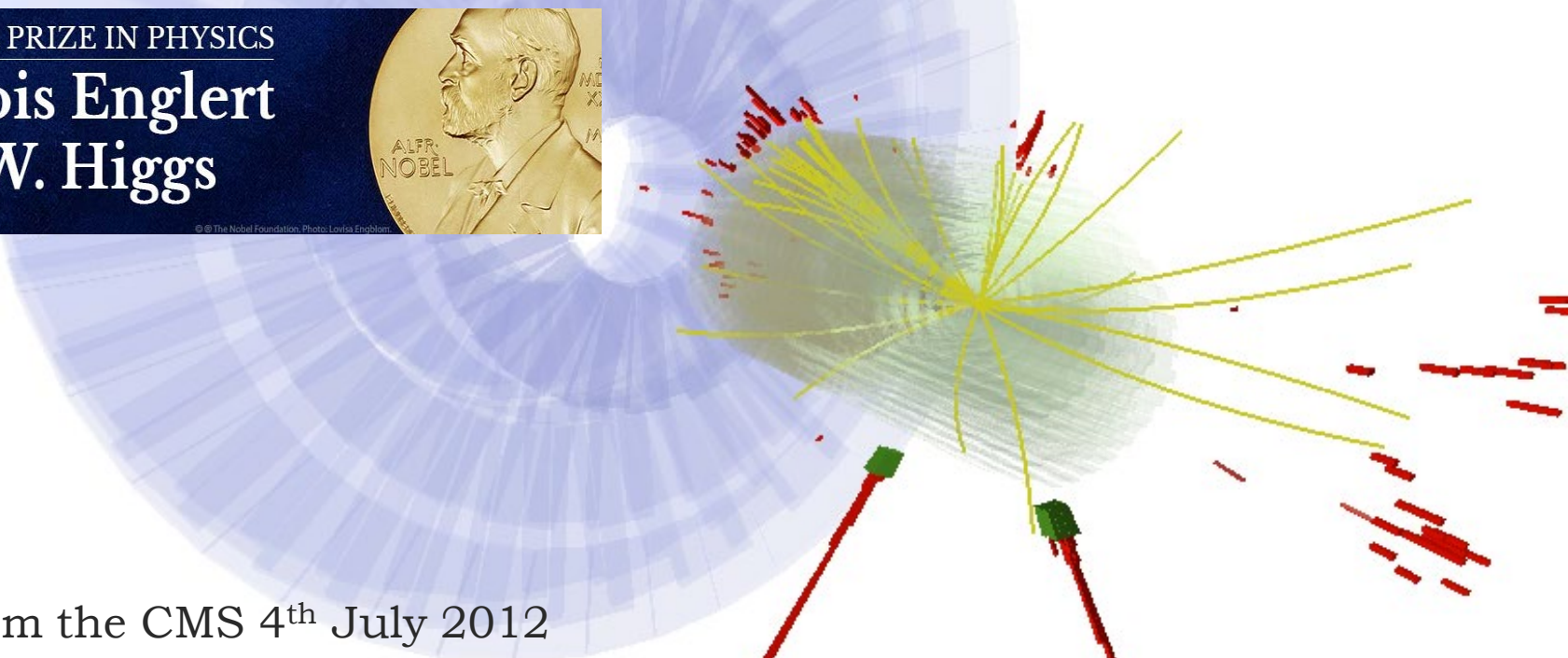
Finding the Higgs boson



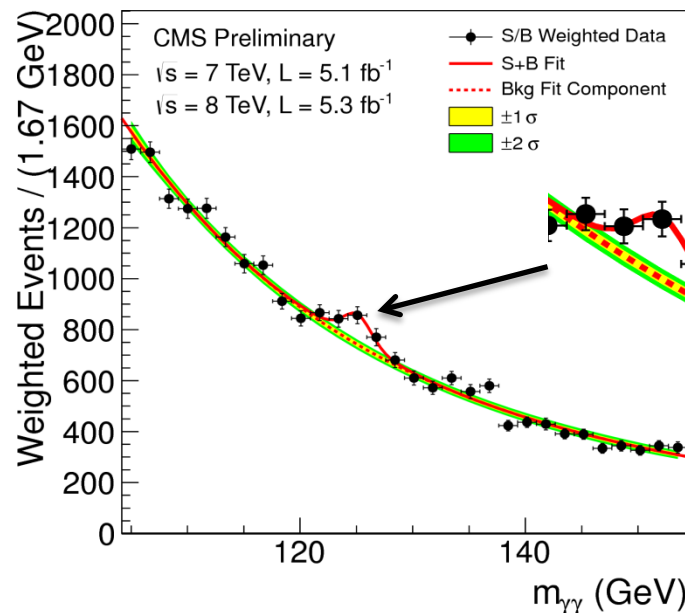
# François Englert Peter W. Higgs



© The Nobel Foundation. Photo: Lovisa Engblom



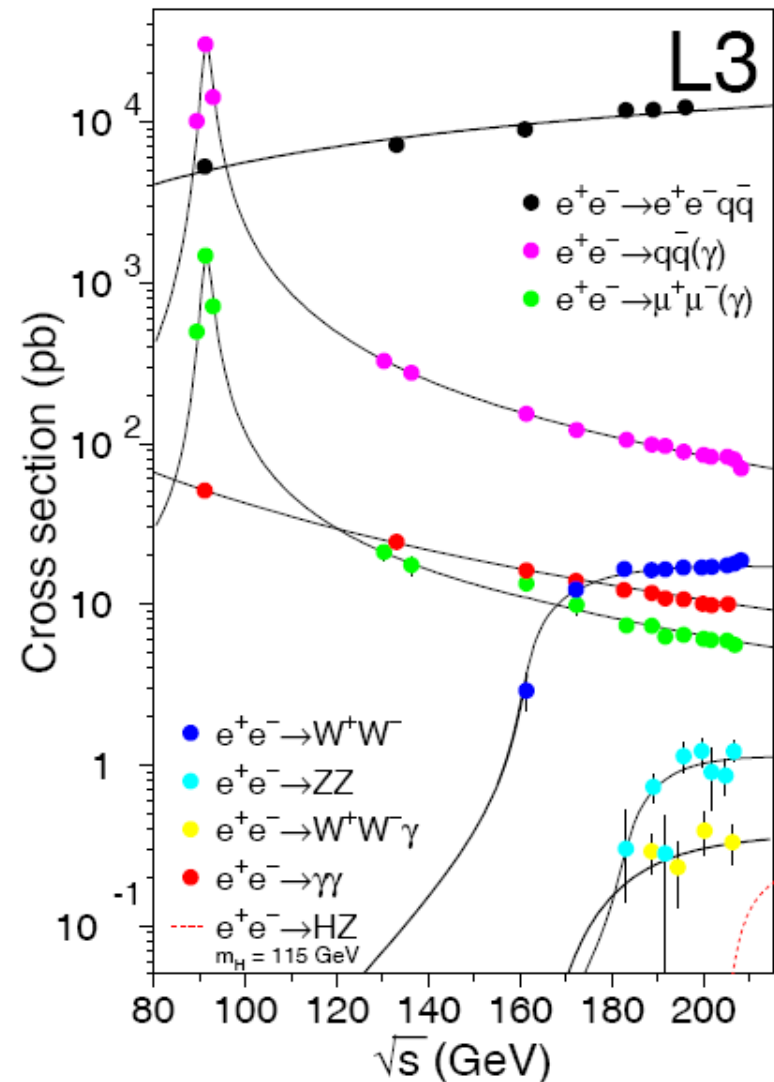
Plot from the CMS 4<sup>th</sup> July 2012  
Higgs search presentation



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.
- Ma ora dobbiamo cercare oltre il MS.

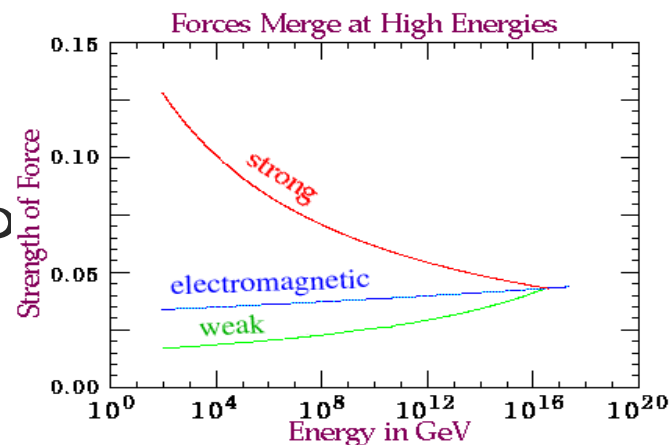






# Domande fondamentali (ancora) senza risposta

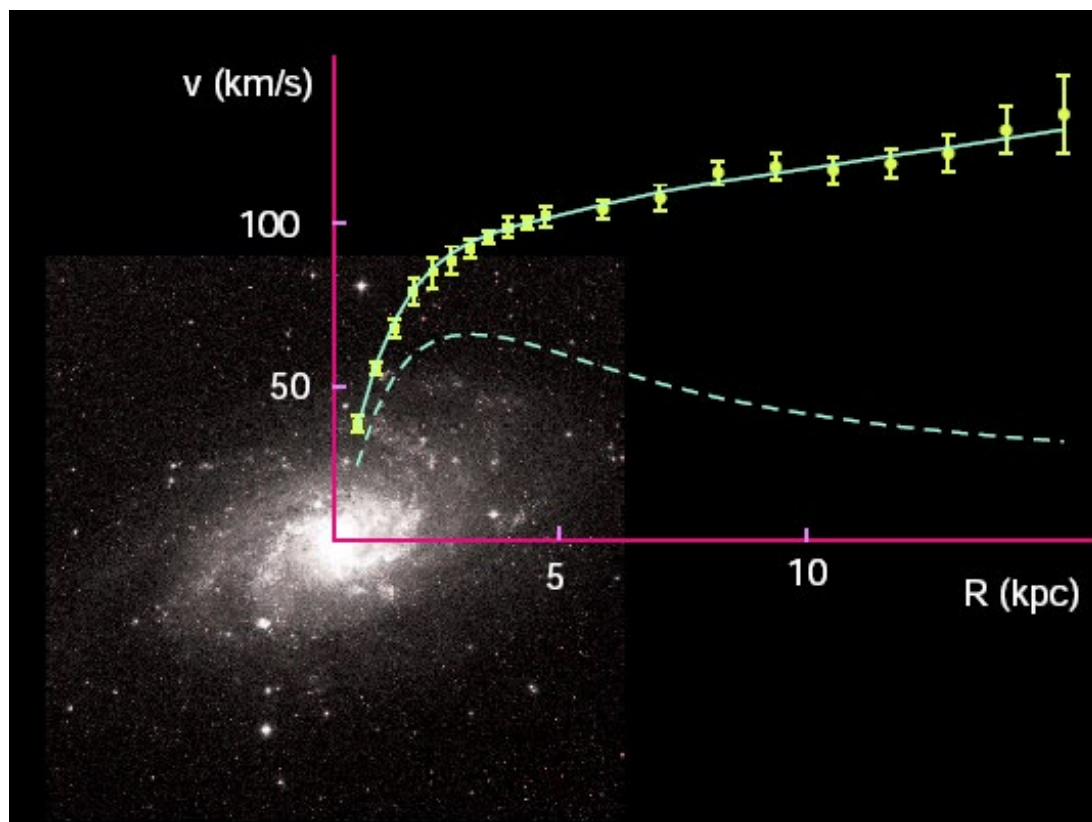
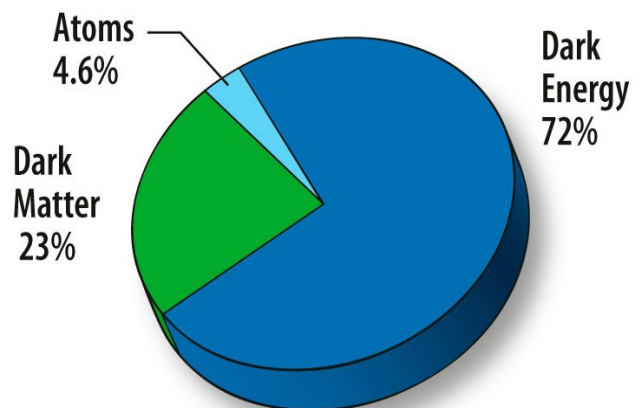
- Perché proprio tre repliche di quark e leptoni ?  
E perché di masse così diverse ?
- Perché nell'universo esiste questa forte  
asimmetria tra materia e antimateria ?
- Come è connessa la gravità alle altre tre forze ?  
Le forze sono unificate ad  
altissime energie ?
- Che massa hanno i neutrini?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





# L'inaspettato: la ricerca di materia oscura

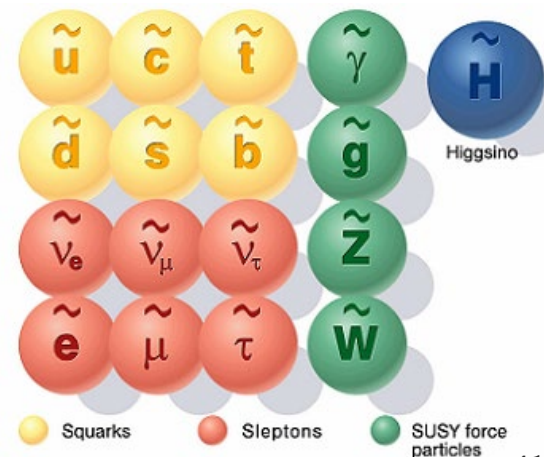
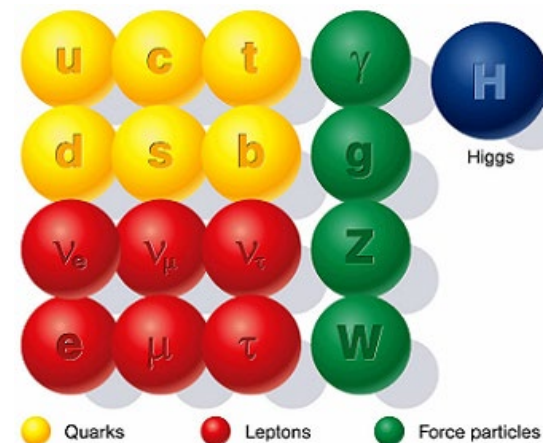
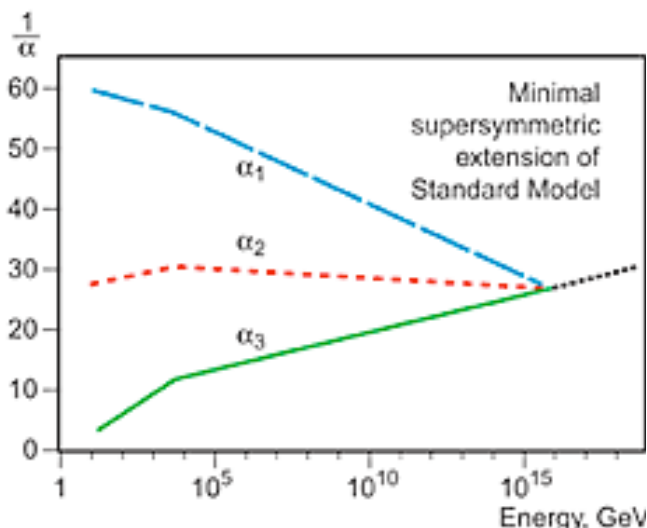
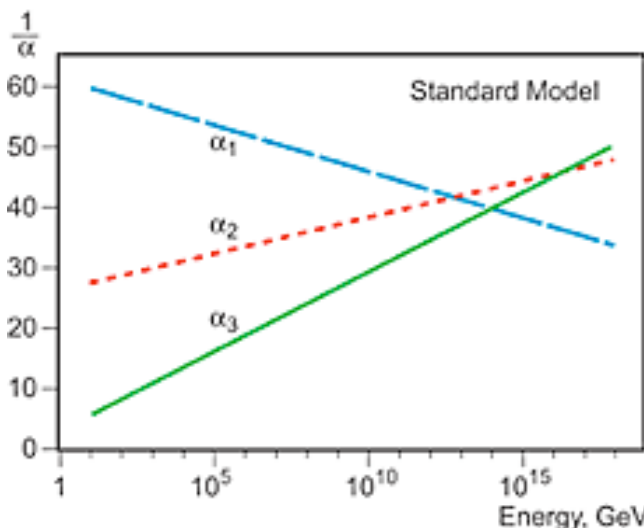
- Stelle e pianeti costituiscono **solo il 5%** circa del contenuto dell'universo
- Gran parte della massa **non è visibile** direttamente, ma solo attraverso i suoi **effetti gravitazionali**



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

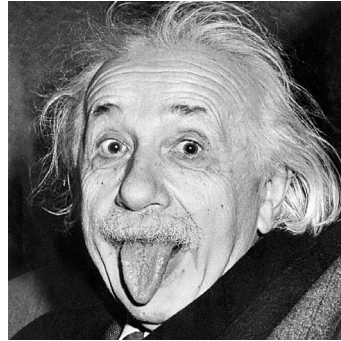
**E cosa ci serve?**

**Gli acceleratori di  
particelle.**

**I rivelatori di particelle.**

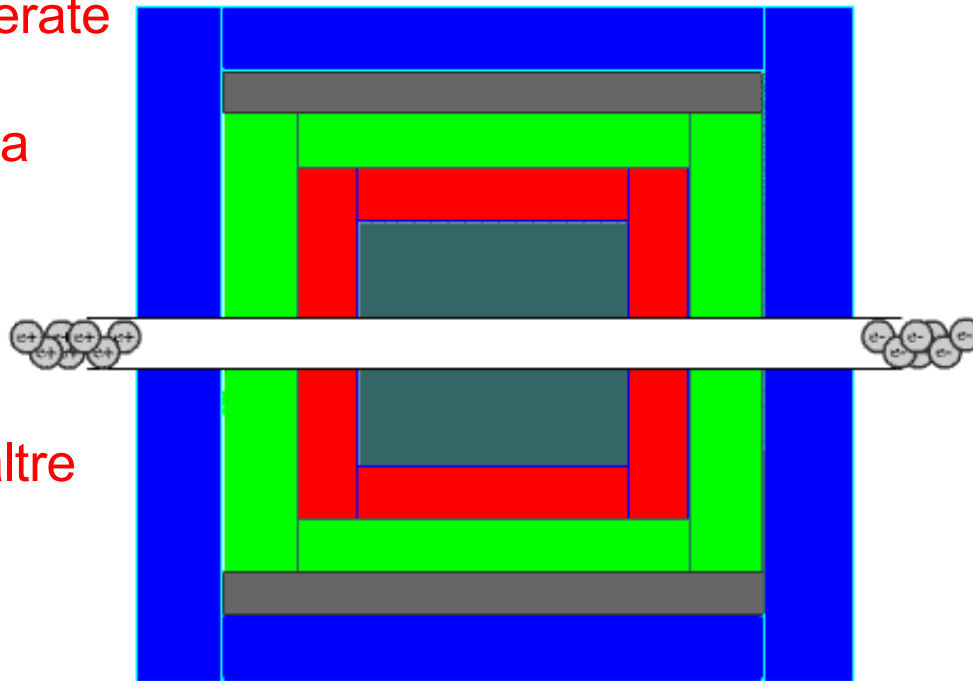
**Tanto altro...**

# acceleratori di particelle, perchè ?



$$E = mc^2$$

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



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

E quando urtano 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

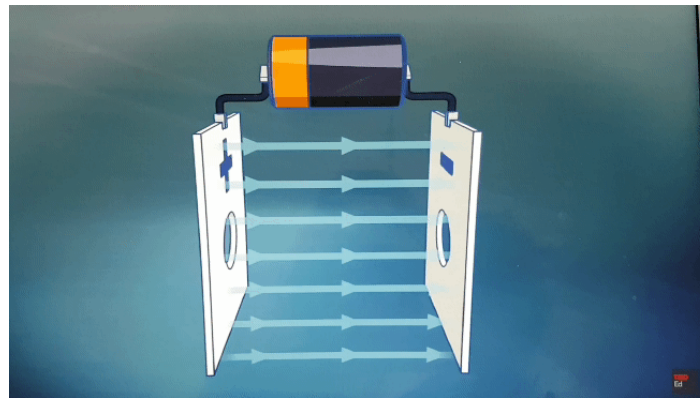


# Unità di misura dell'energia per particelle

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

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

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

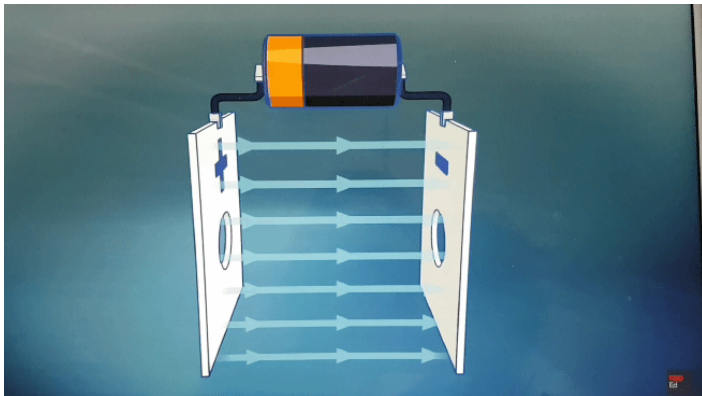


poi naturalmente ci sono: ...meV, eV, KeV, MeV, GeV, TeV...

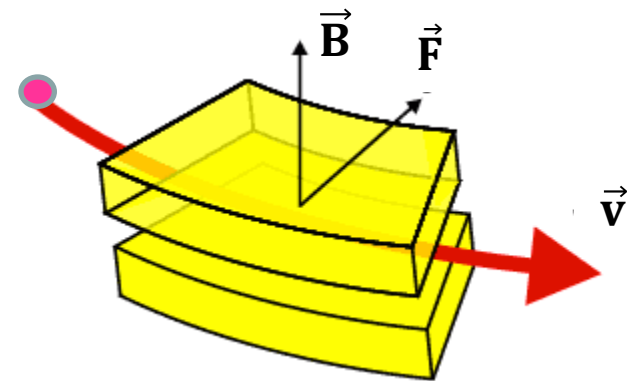
# Forza di Lorentz

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

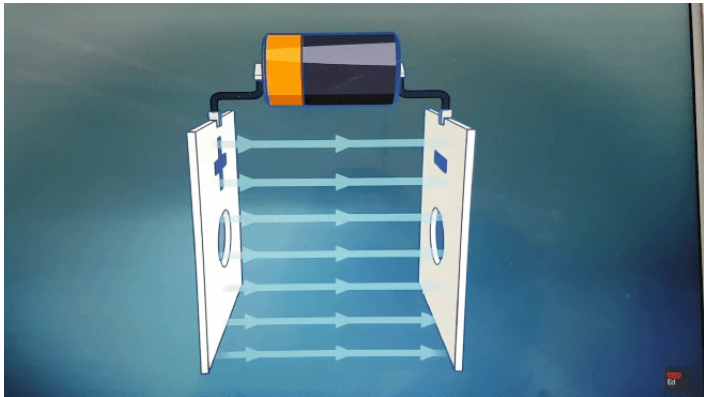
Effetto di un campo elettrico su una particella carica → la particella accelera



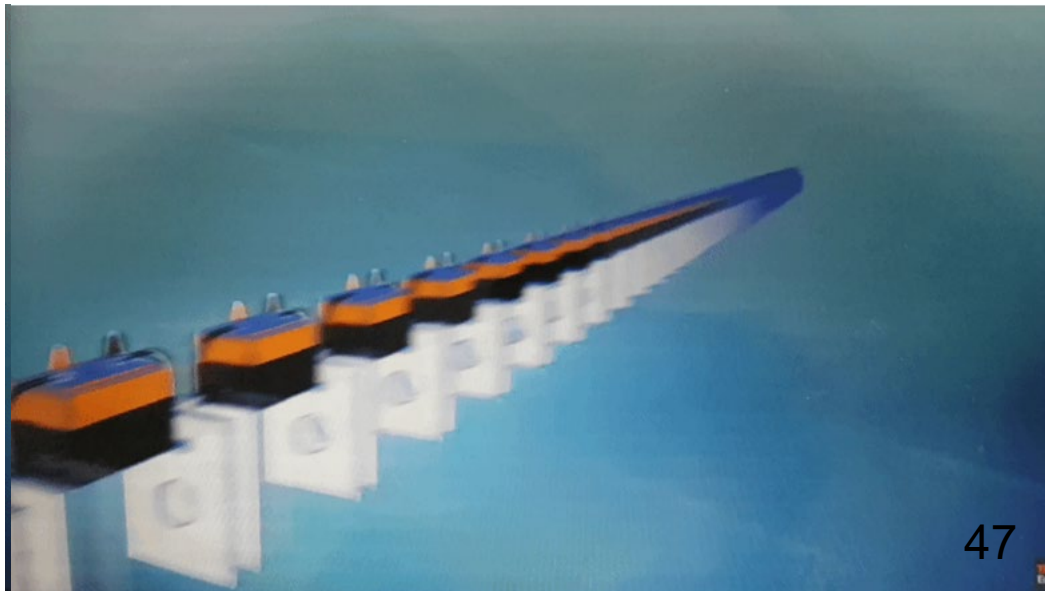
Effetto di un campo magnetico su una particella carica → la particella curva



# Il limite di un acceleratore lineare

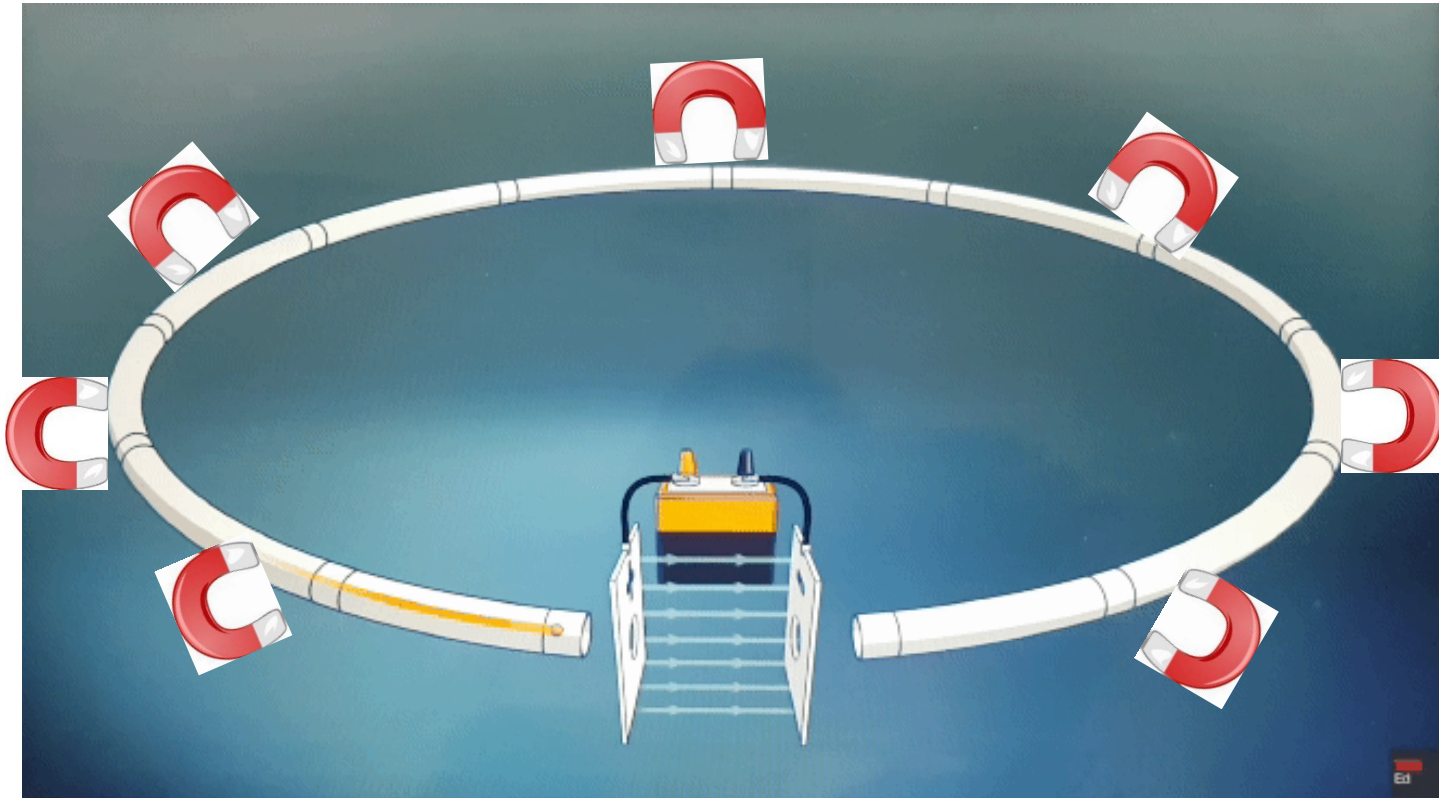


Energia protoni LHC= 7 TeV →  
servono 5 milioni di milioni di pile da  
1.5V

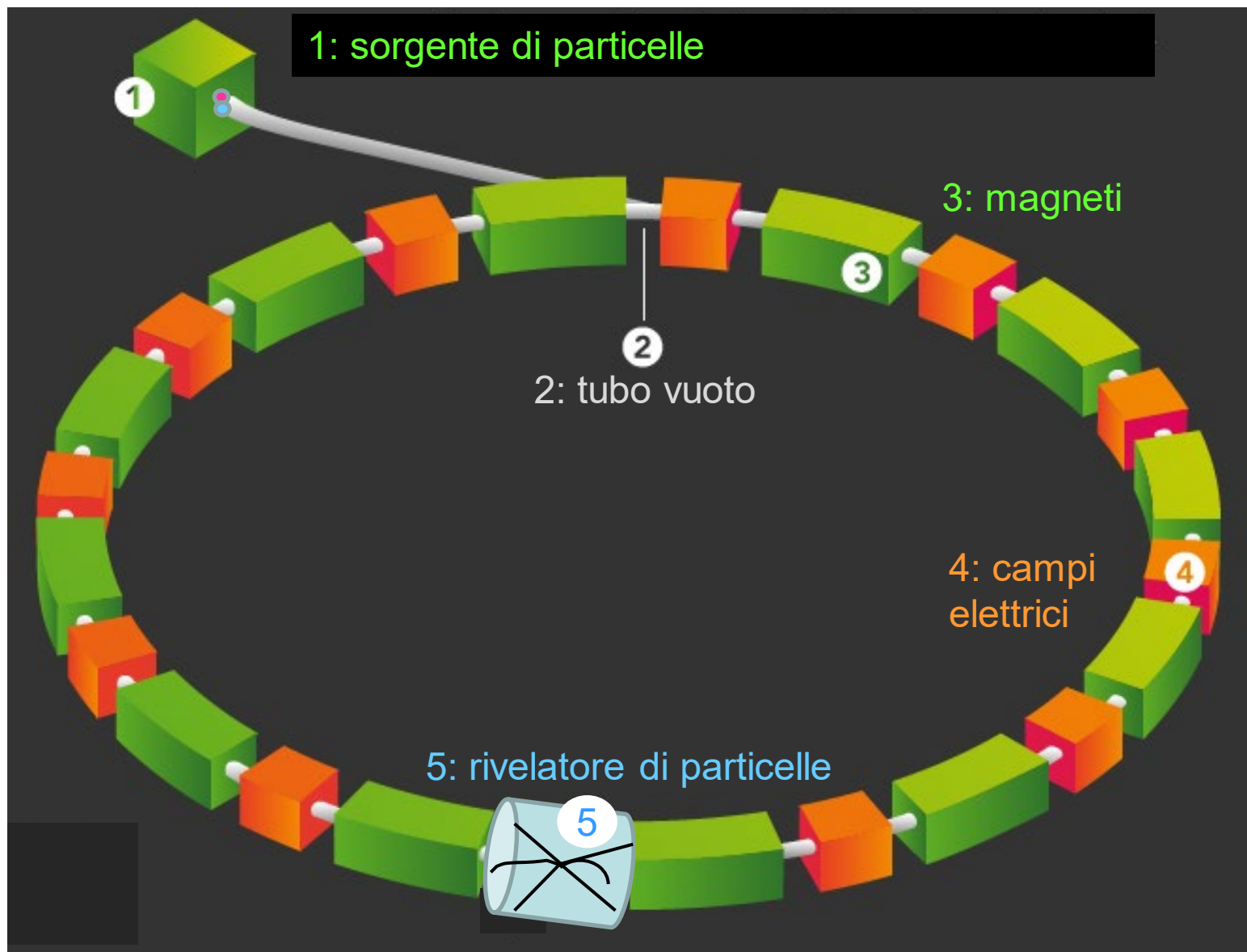




# Acceleratore circolare

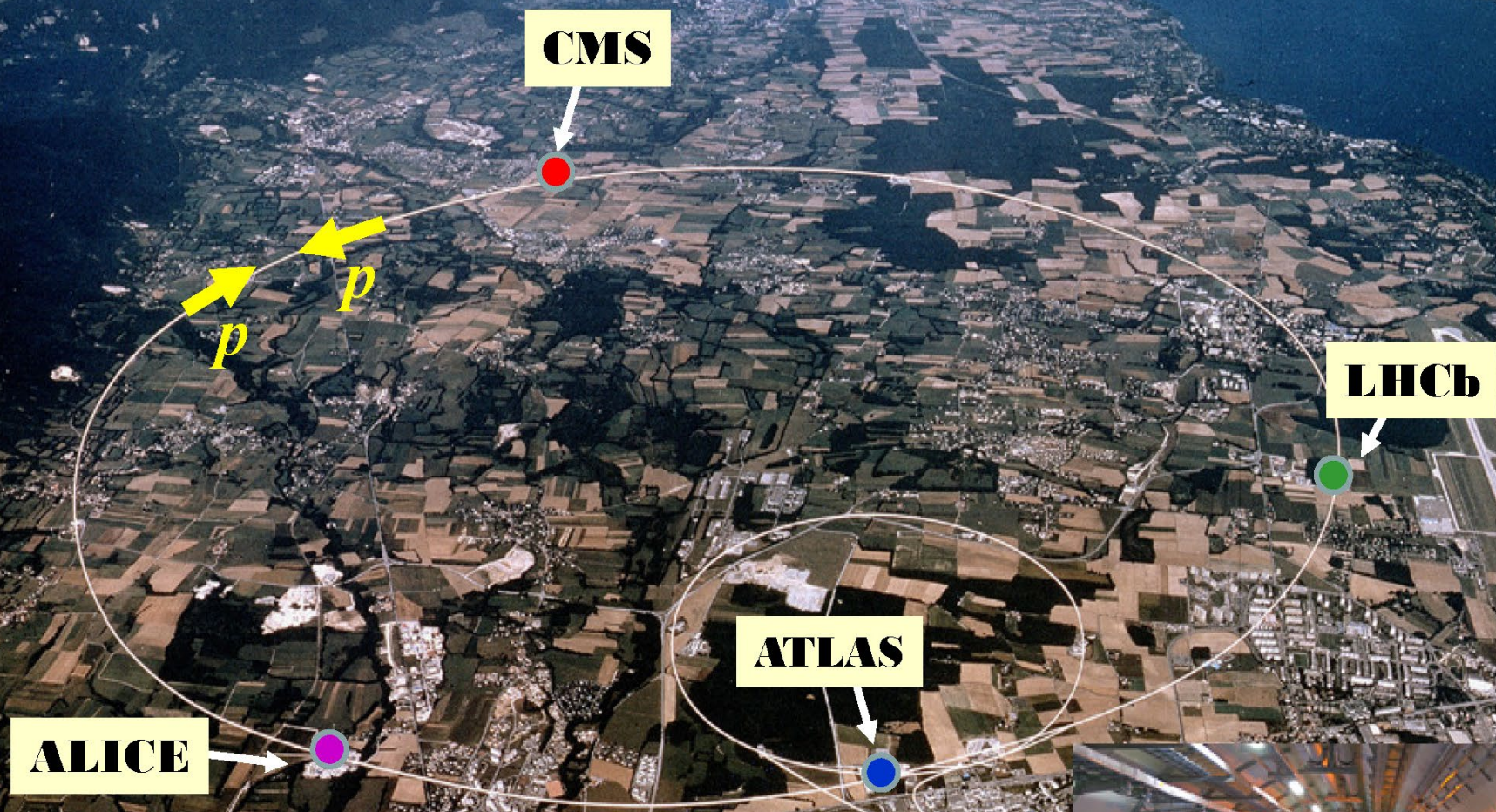


# Un acceleratore circolare



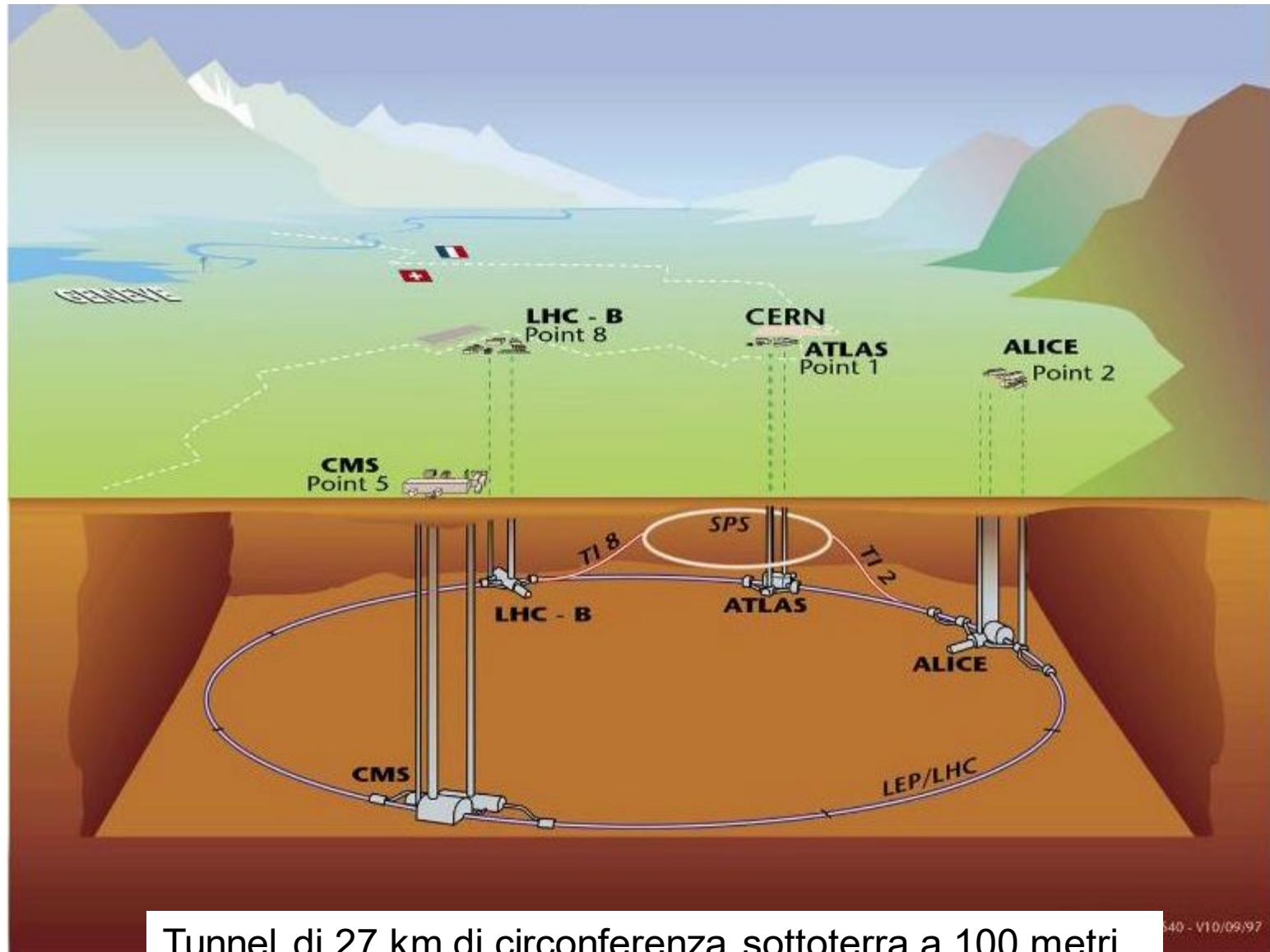


# Large Hadron Collider





# LHC al CERN



Tunnel di 27 km di circonferenza sottoterra a 100 metri.

# I magneti dell'LHC

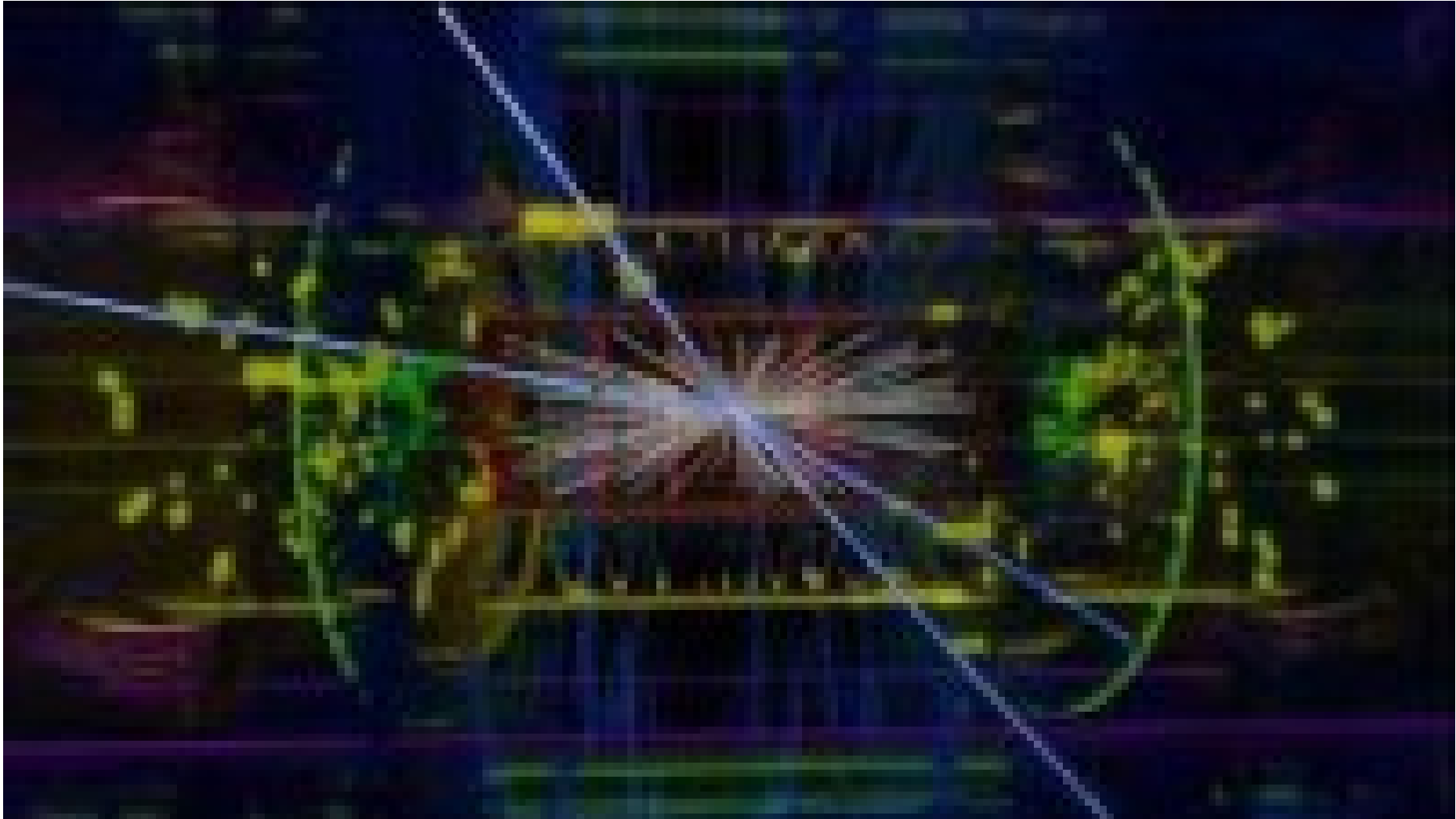


**1232 magneti super-conduttori (1.9 K, -271°C) mantengono i protoni di 7 TeV sull'orbita circolare di 27 km.**

**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!



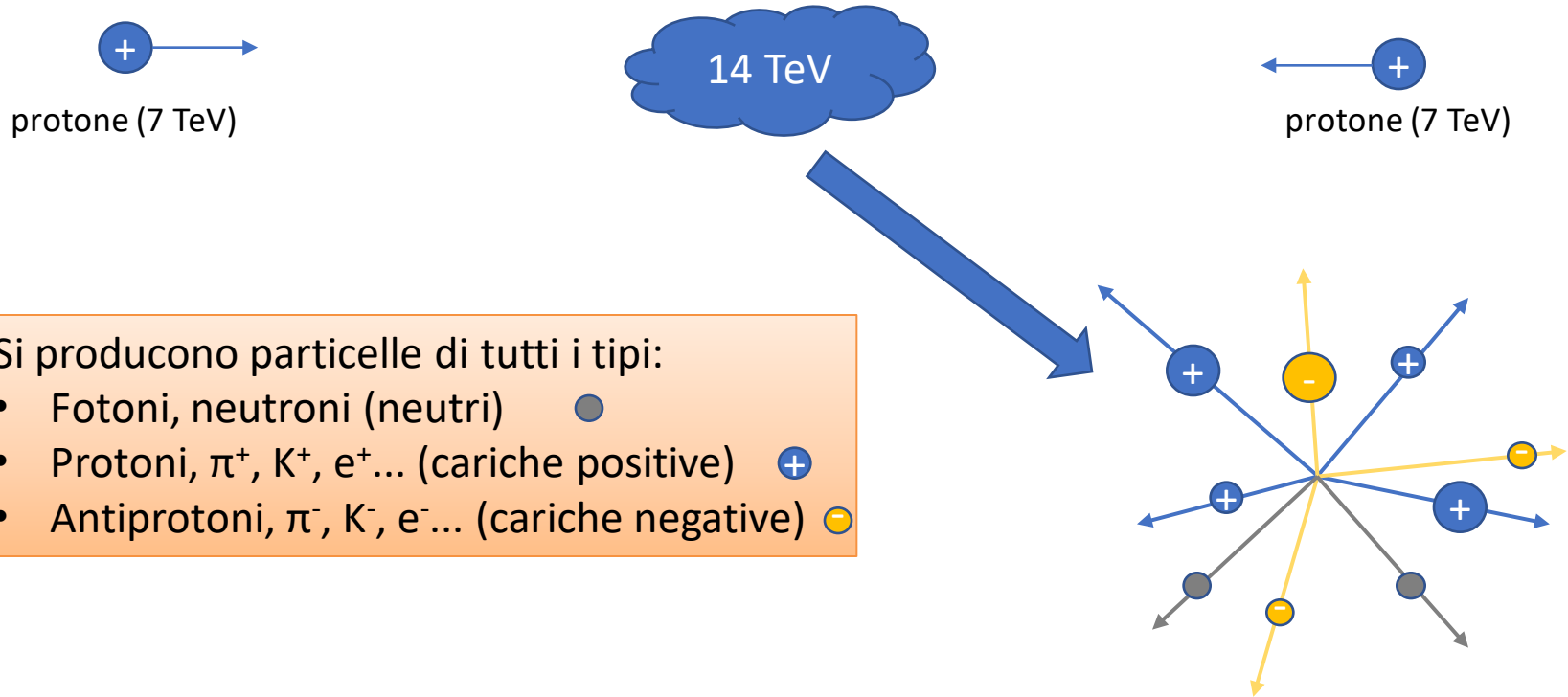
# Rivelare le particelle prodotte nelle collisioni



40 milioni di foto al secondo

# 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,  $\pi^+$ ,  $K^+$ ,  $e^+$ ... (cariche positive) ⊕
- Antiprotoni,  $\pi^-$ ,  $K^-$ ,  $e^-$ ... (cariche negative) ⊖

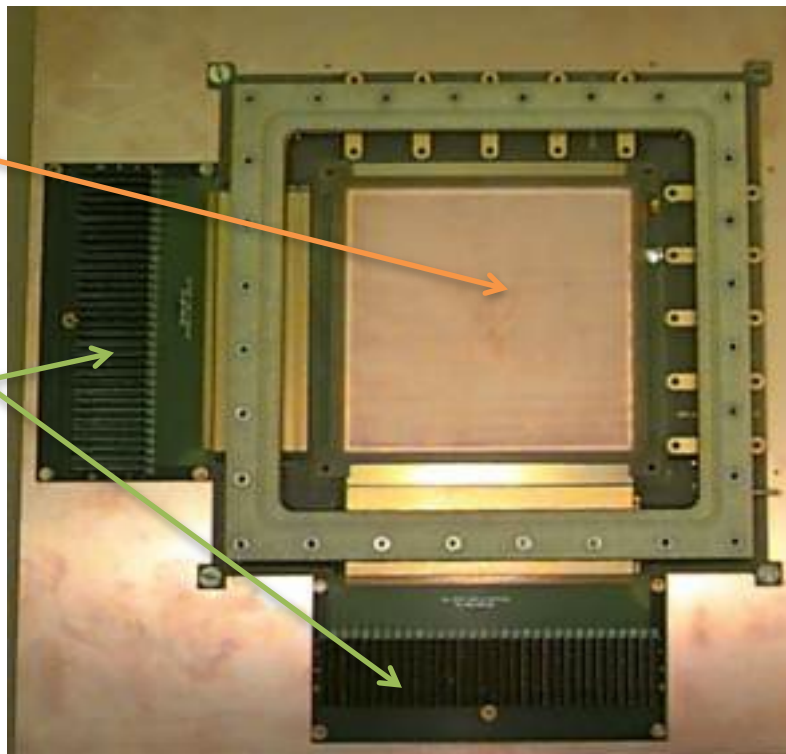
Il *rivelatore di particelle* si colloca nel punto di interazione per *identificare* le particelle e *misurarne la carica, l'energia, la posizione...*



# 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

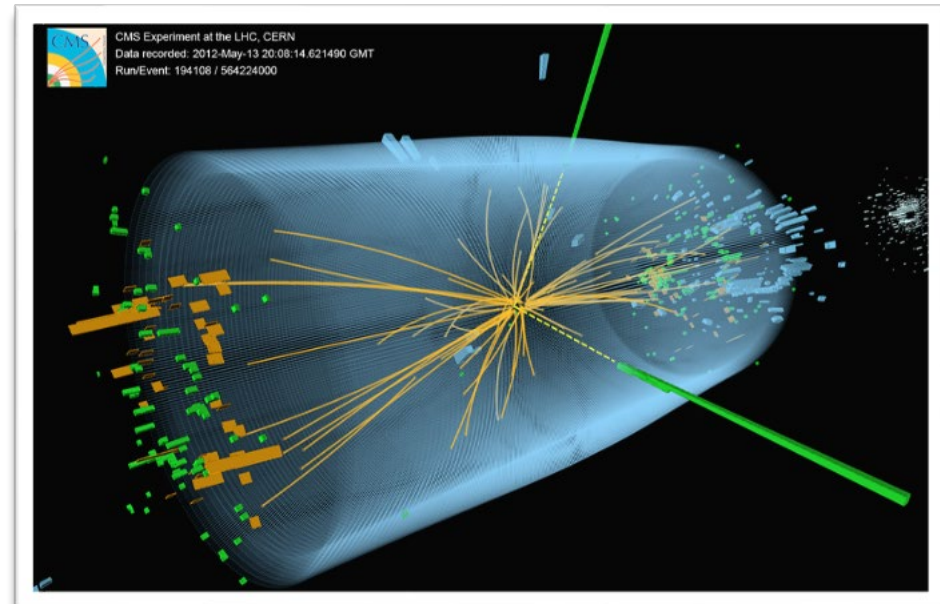
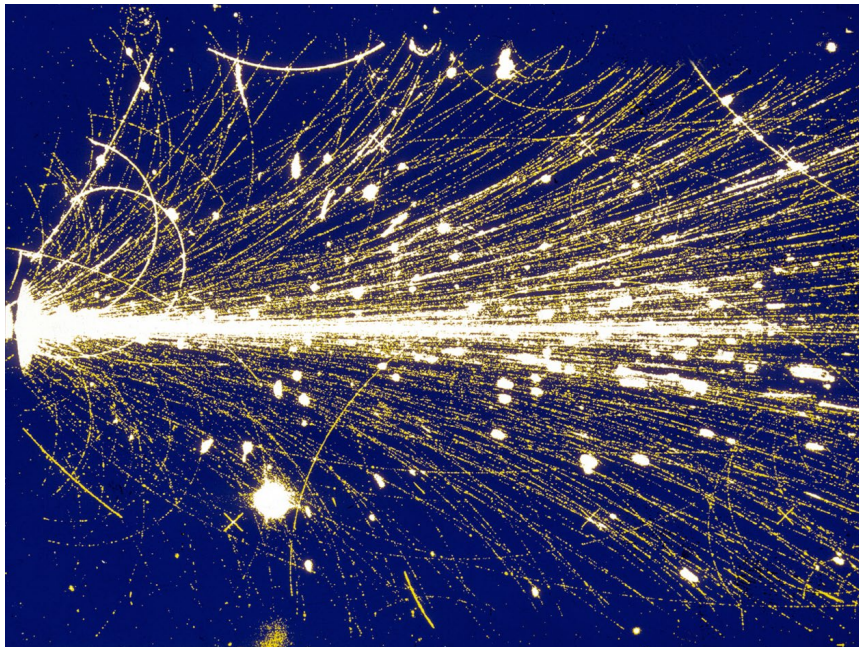


I **rivelatori di particelle** sono strumenti che producono un *segnale osservabile* quando vengono colpiti da una particella. Sono solitamente costituiti da un **elemento attivo** (con cui interagisce la radiazione) e da un **sistema di lettura** (che forma il segnale e lo invia all'acquisizione dati)

# I rivelatori di particelle

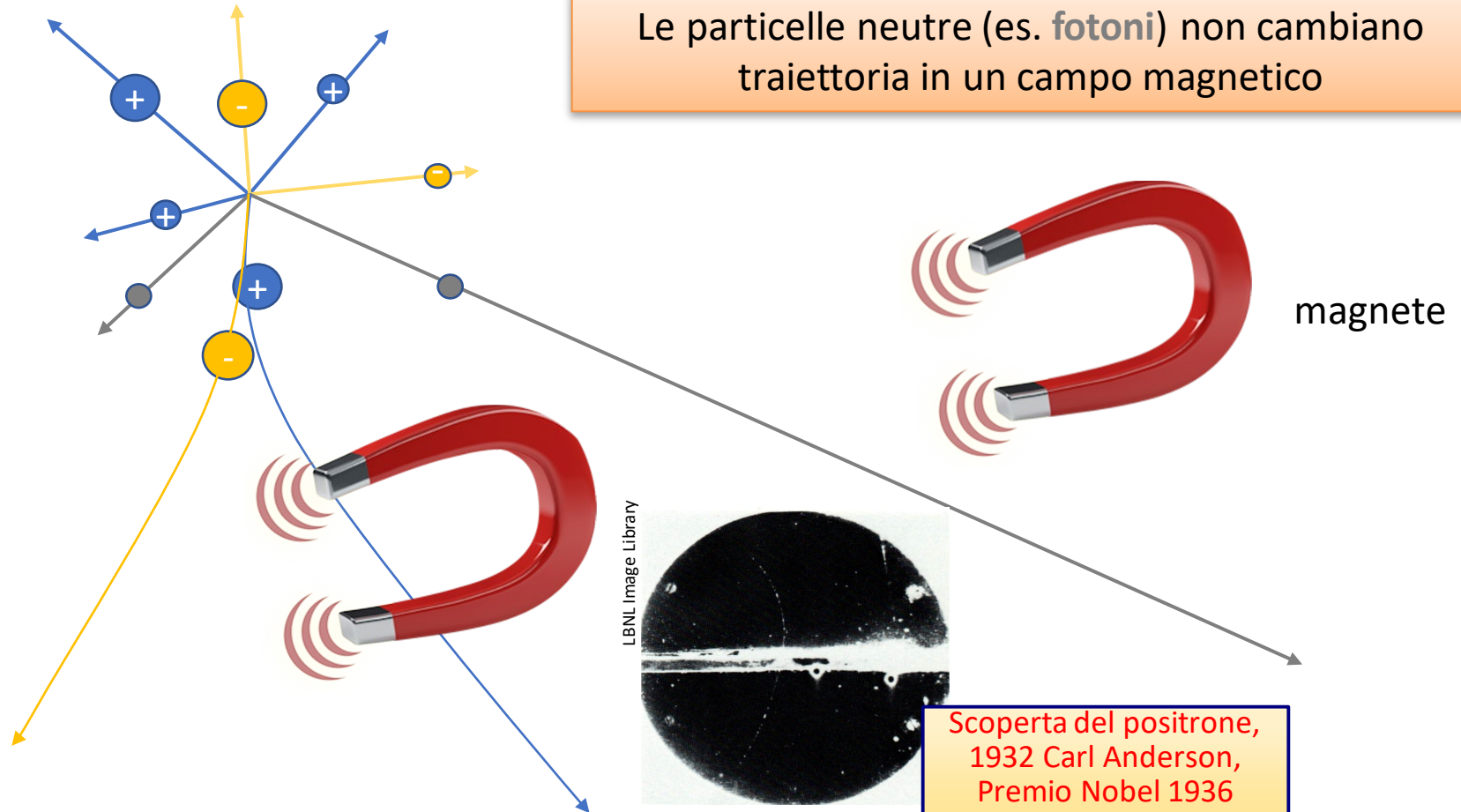
Le particelle non possono essere viste direttamente  
Solo la loro *interazione con la materia* può essere misurata  
Questa è convertita in:

- 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

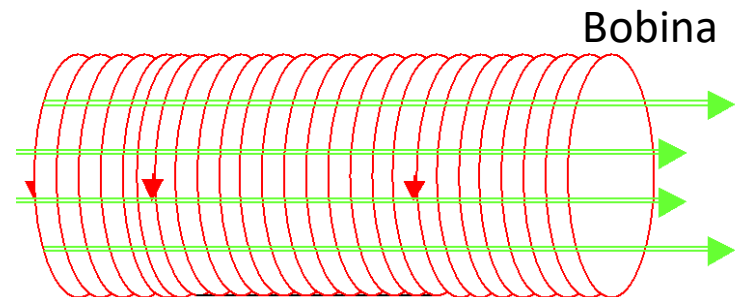


# Grandi magneti



## *Magnete dell'esperimento CMS:*

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



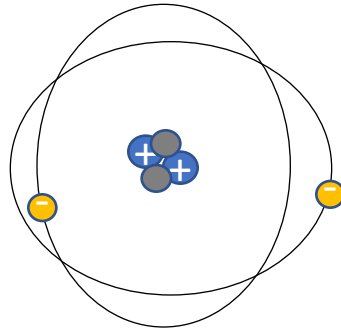
frecce verdi: *campo magnetico*

frecce rosse: *corrente elettrica*

# Rivelazione di particelle cariche



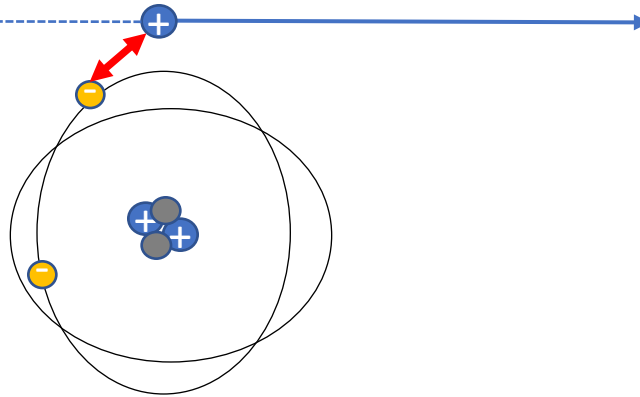
Una particella carica di alta energia prodotta in un evento



Atomo del materiale di cui è composto il rivelatore

# Rivelazione di particelle cariche

Interazione coulombiana,  
che può espellere elettroni  
dall'atomo

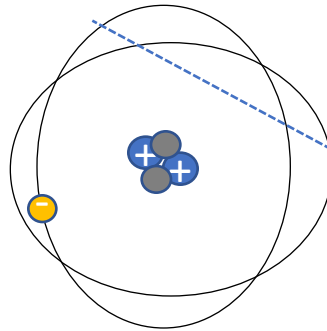


Atomo del materiale di cui  
è composto il rivelatore



# Rivelazione di particelle cariche

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



L'atomo viene ionizzato

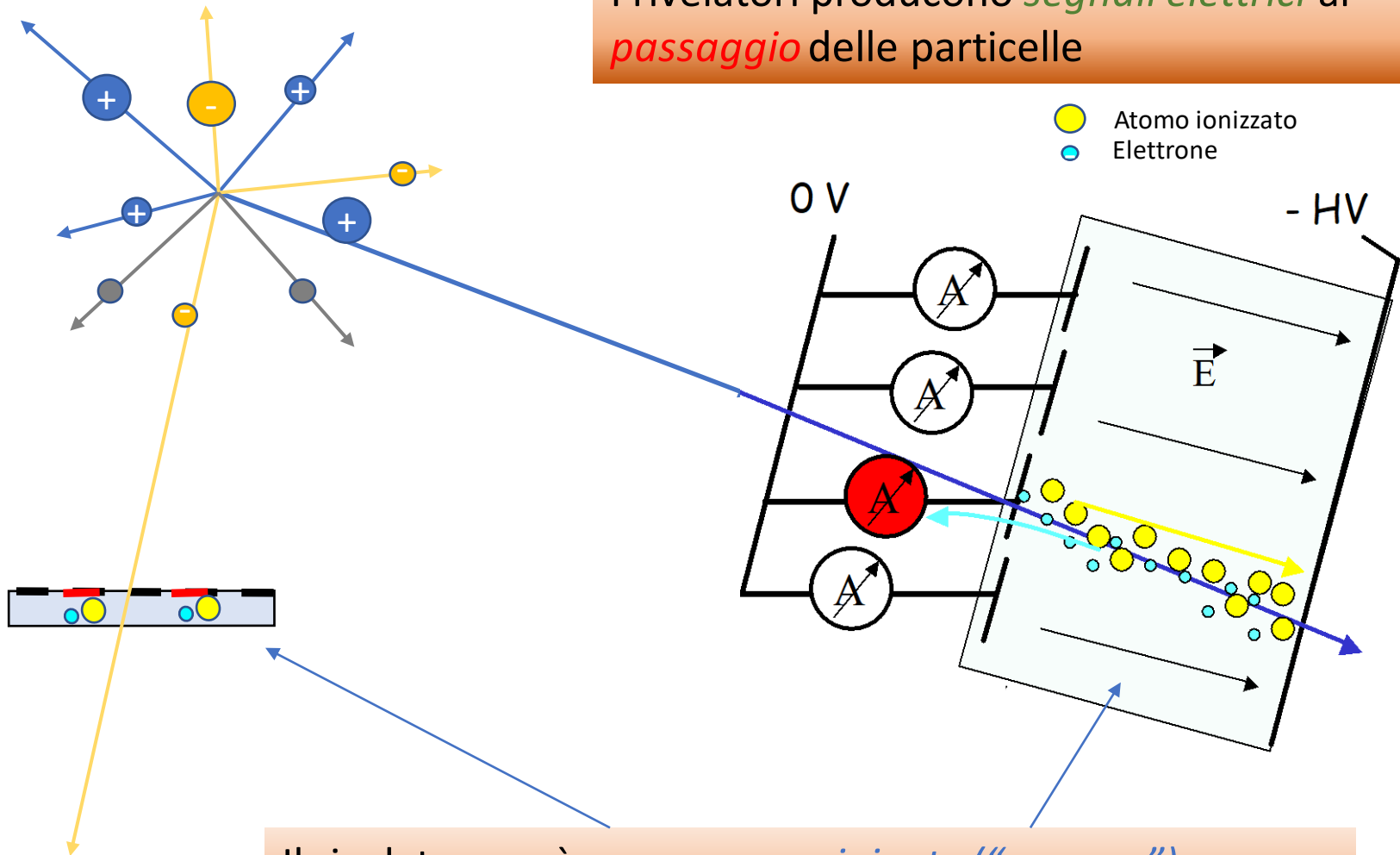
Elettrone espulso

+

-

# Rivelatore di particelle cariche

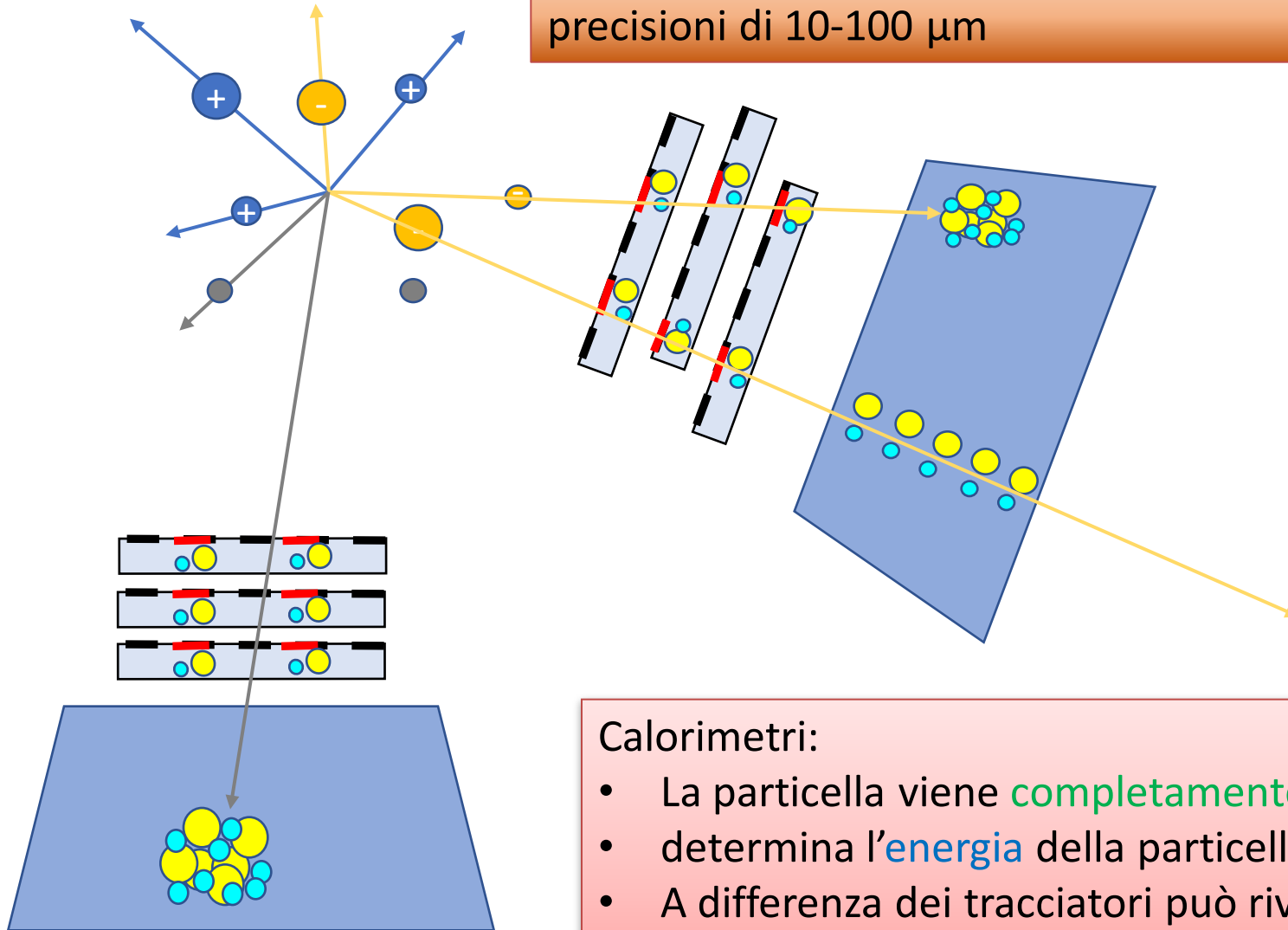
I rivelatori producono *segnali elettrici* al *passaggio* delle particelle



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  $\mu\text{m}$



Calorimetri:

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



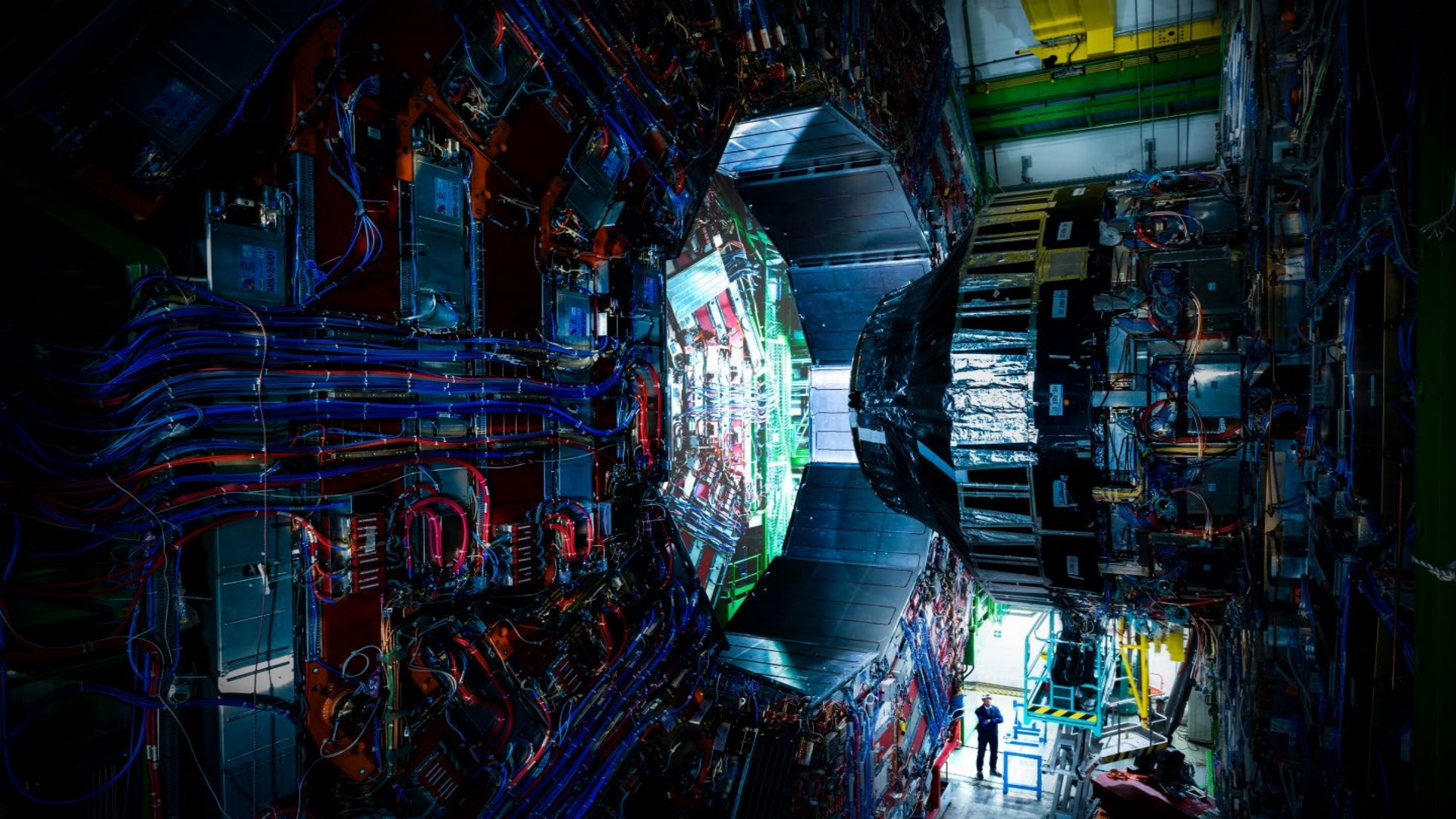


SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

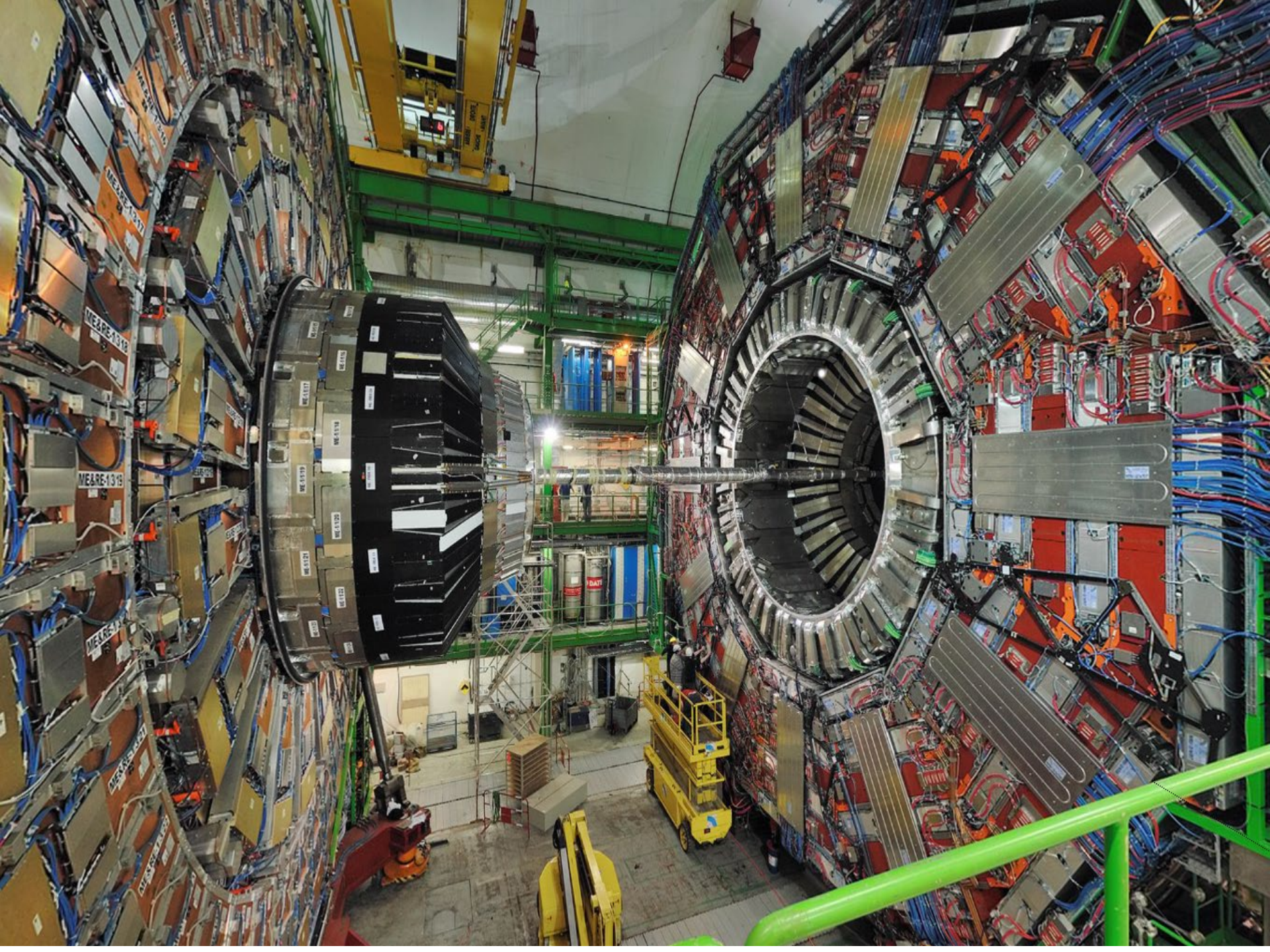


Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

# [ The CMS detector







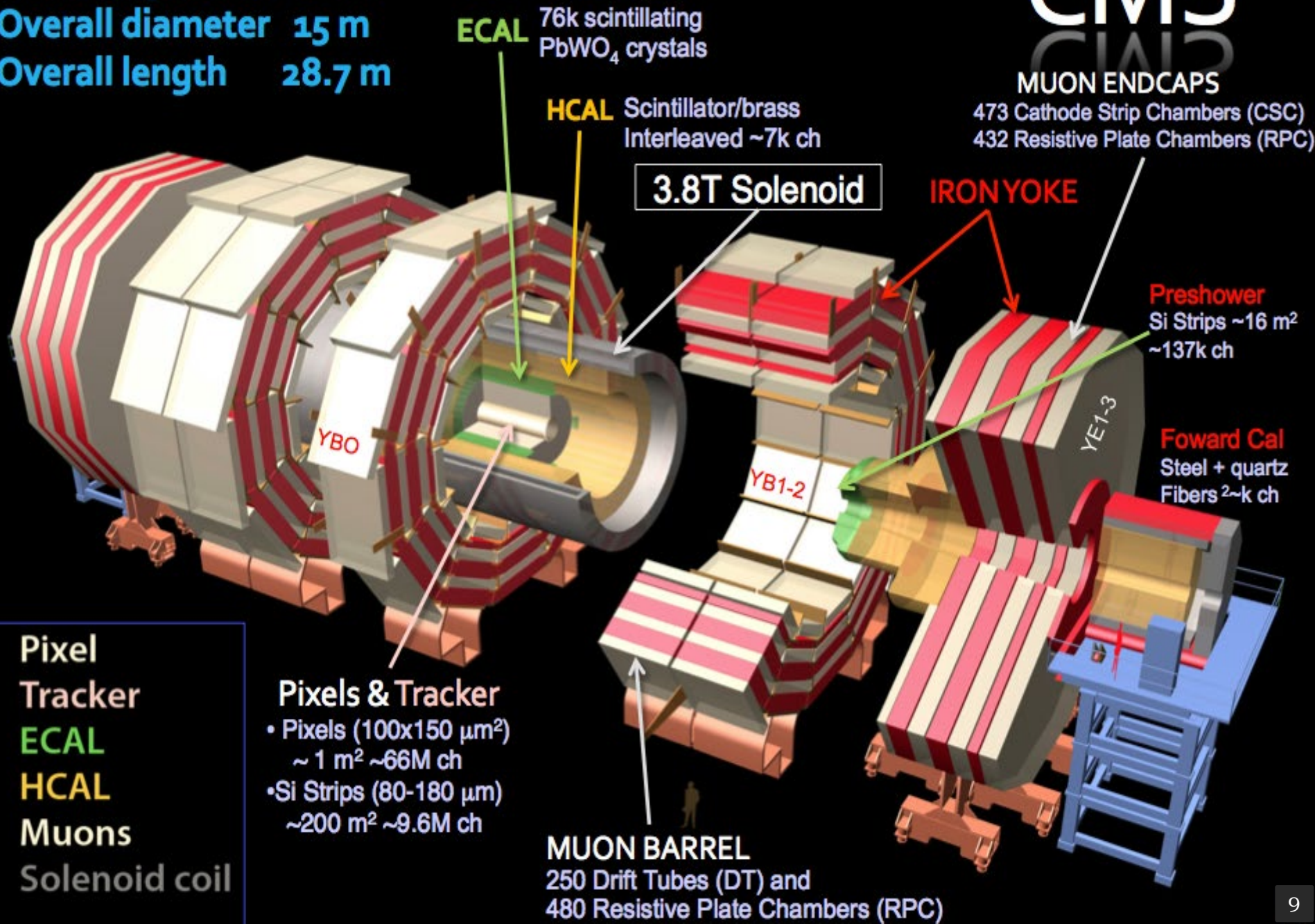


# CMS

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

## MUON ENDCAPS

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



**3.8T Solenoid**

**IRON YOKE**

**Preshower**  
Si Strips  $\sim 16 \text{ m}^2$   
 $\sim 137\text{k ch}$

**Forward Cal**  
Steel + quartz  
Fibers  $2\sim\text{k ch}$

**Pixel Tracker**  
**ECAL**  
**HCAL**  
**Muons**  
**Solenoid coil**

**Pixels & Tracker**  
• Pixels ( $100 \times 150 \mu\text{m}^2$ )  
 $\sim 1 \text{ m}^2 \sim 66\text{M ch}$   
• Si Strips ( $80\text{-}180 \mu\text{m}$ )  
 $\sim 200 \text{ m}^2 \sim 9.6\text{M ch}$

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





# The CMS Collaboration

3394

PHYSICISTS  
(1228 STUDENTS)

1102

ENGINEERS

282

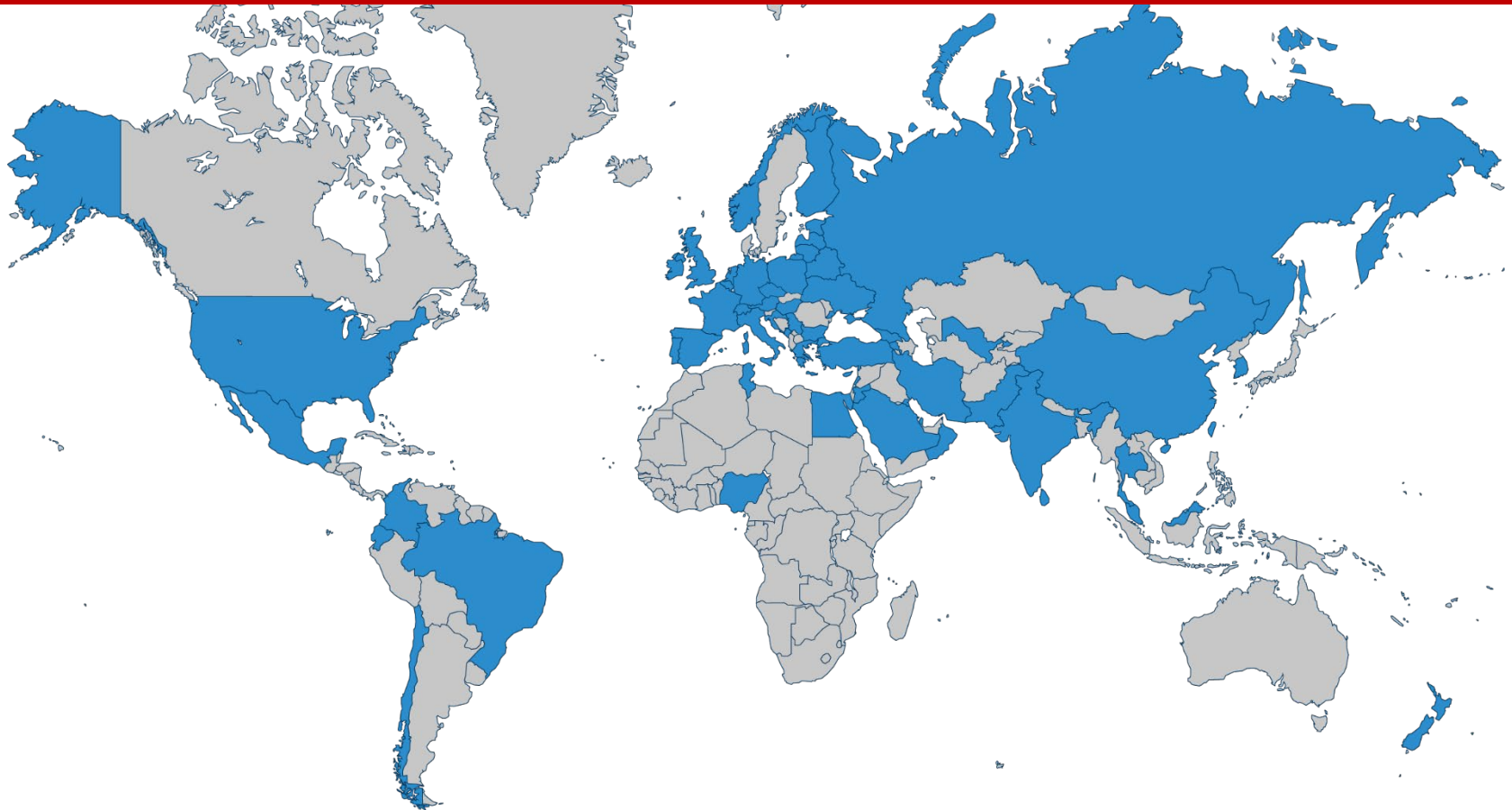
TECHNICIANS

247

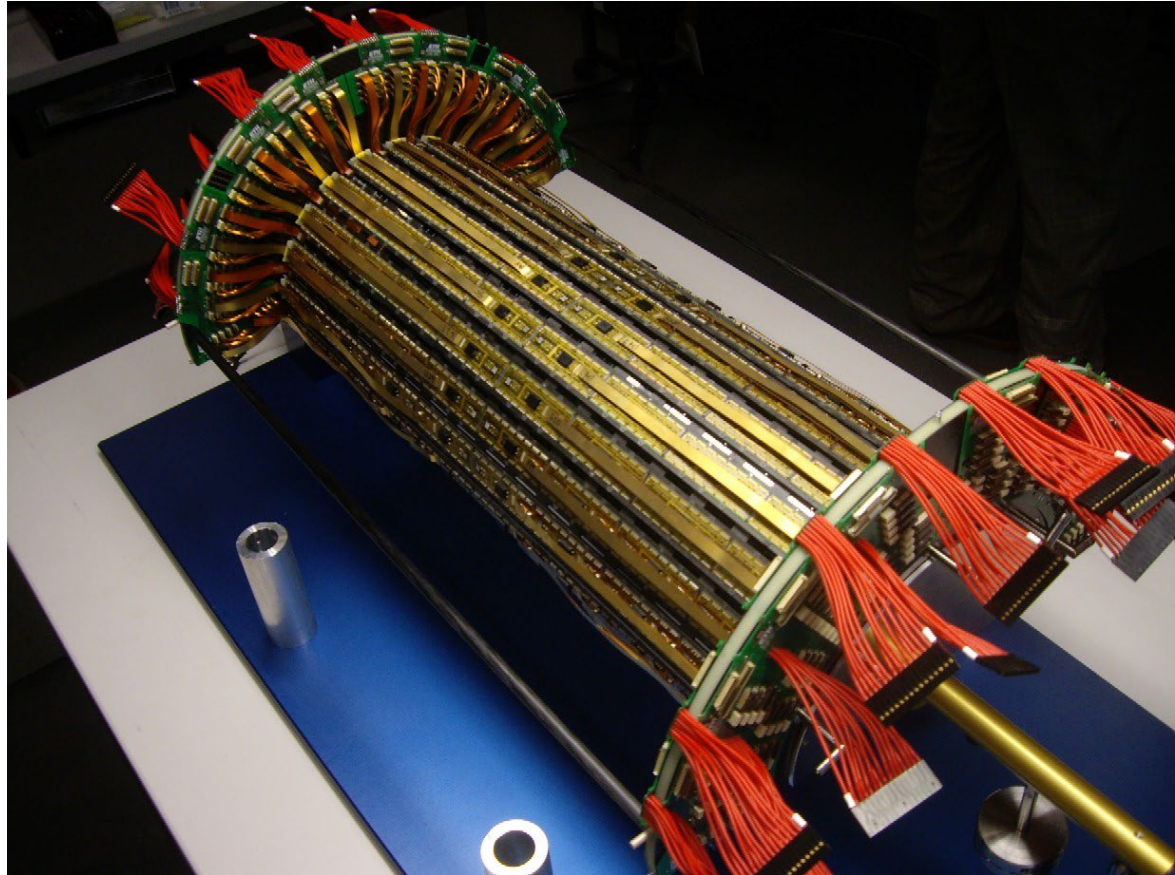
INSTITUTES

57

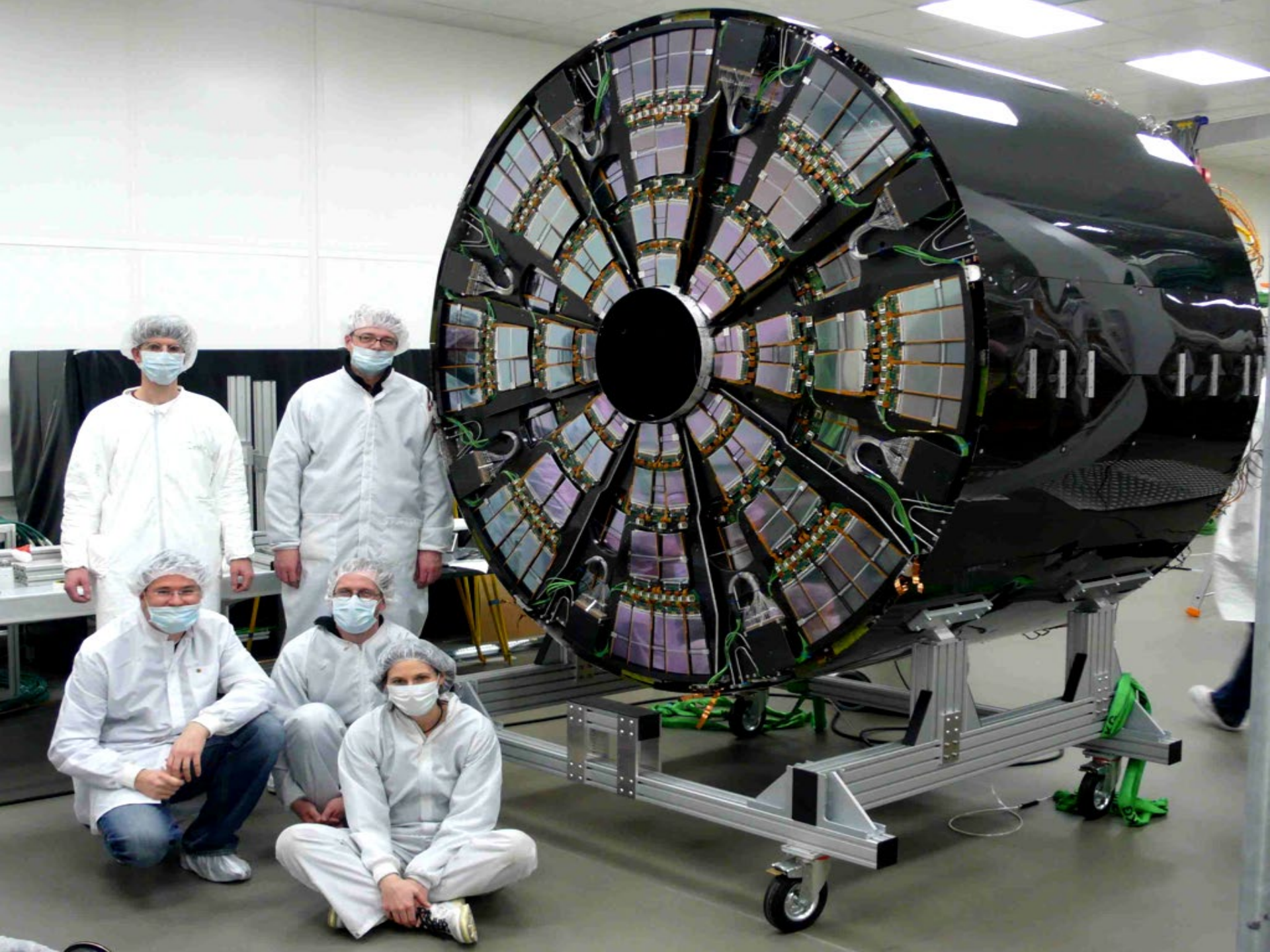
COUNTRIES &  
REGIONS



# CMS – Pixels

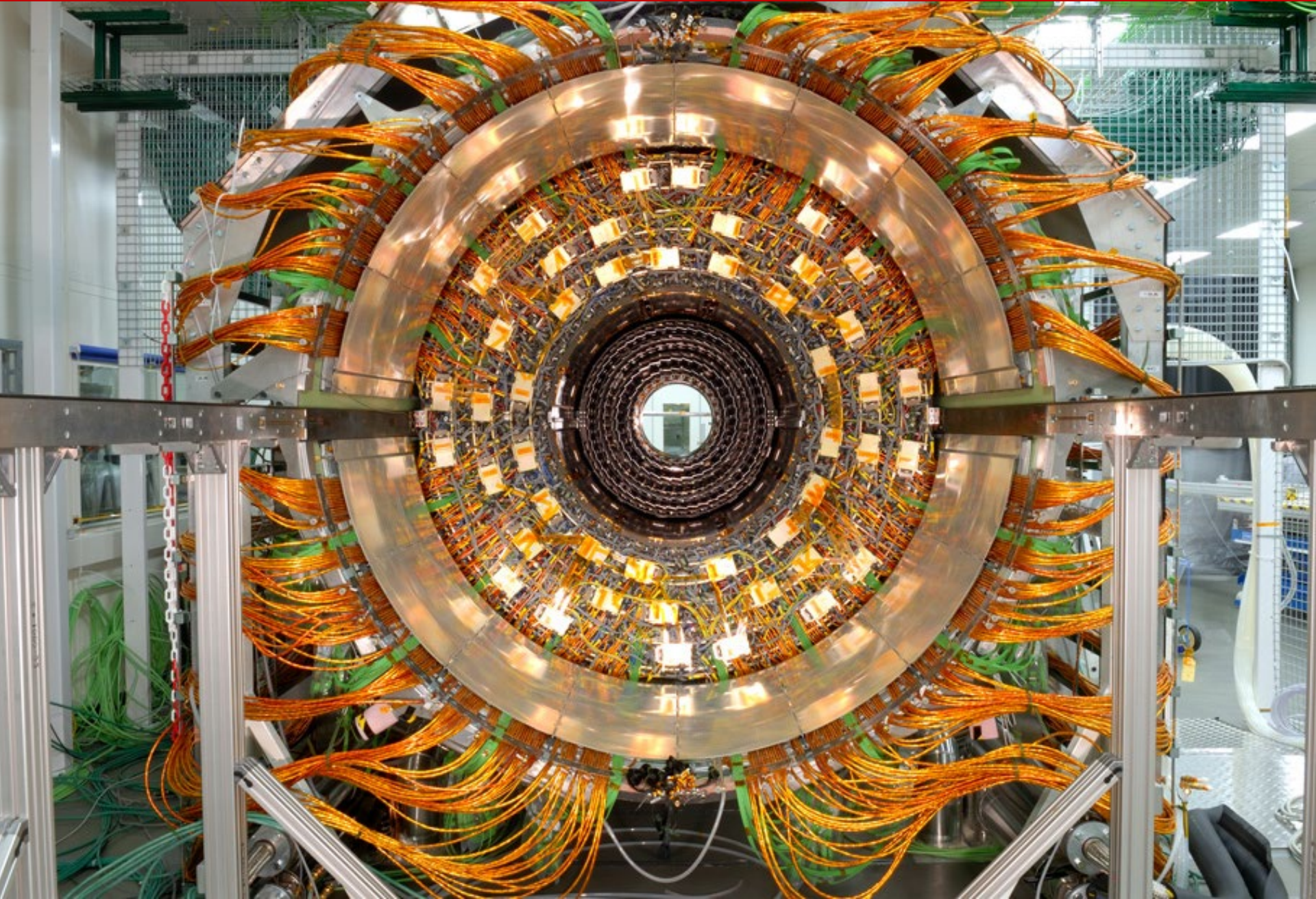




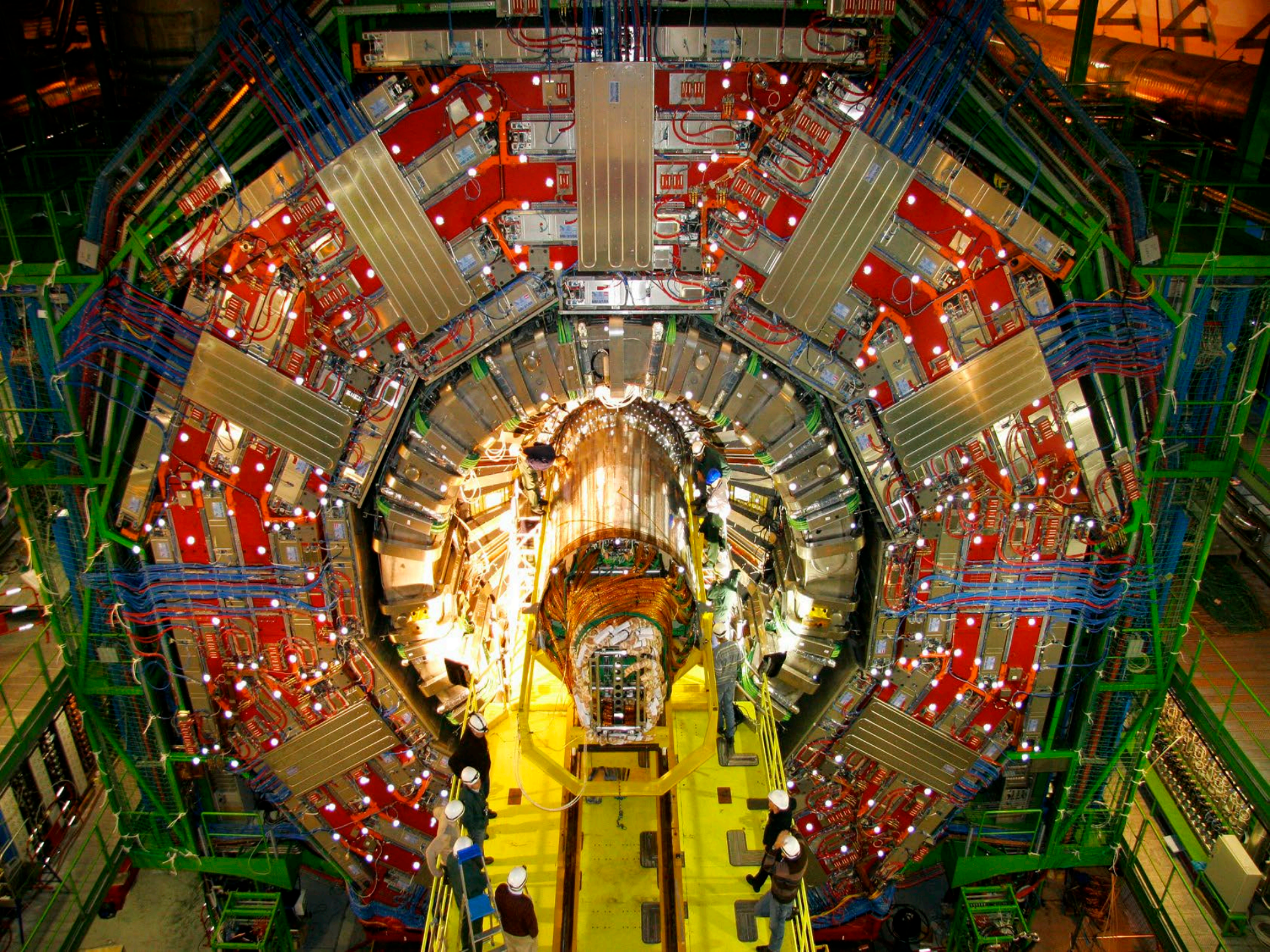




# CMS – Tracker



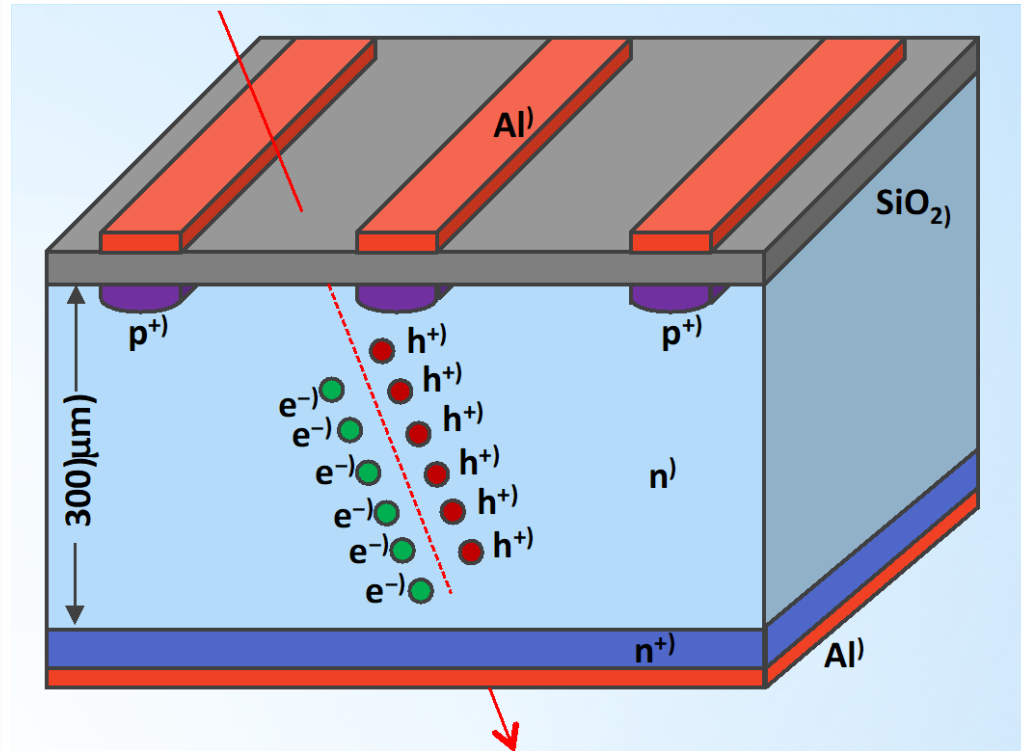






# Rivelatori al Silicio

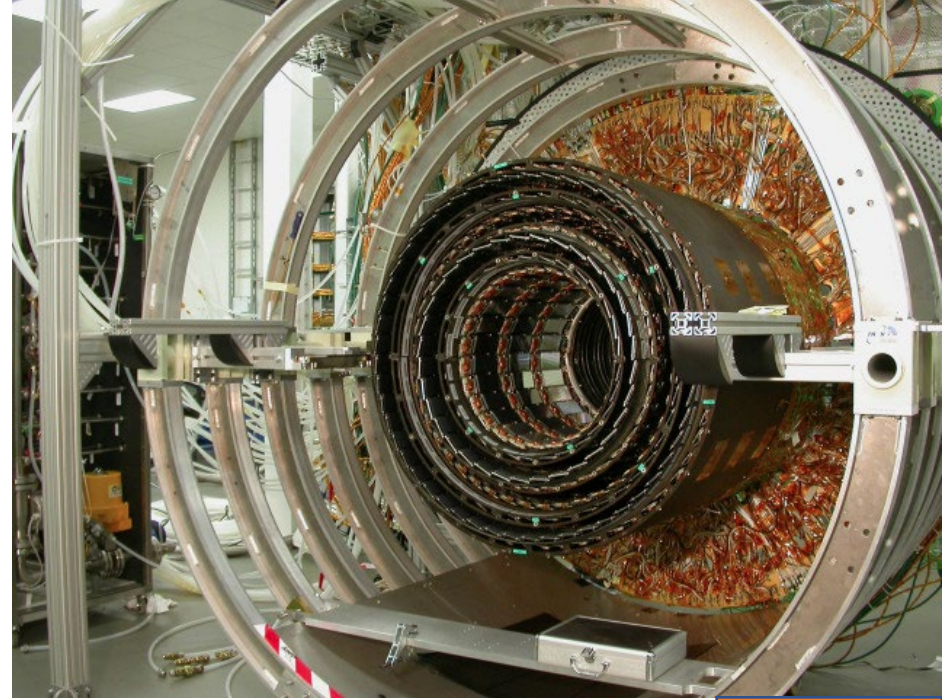
- Questi rivelatori usano un sottile strato di **Silicio** come **elemento attivo**.
- Il Silicio viene **ionizzato** dalle **particelle cariche**, che creano coppie **elettrone (e)** **lacuna (h)** (**ionizzazione primaria**).
- In presenza di campo elettrico gli elettroni viaggiano verso **l'anodo** 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**.





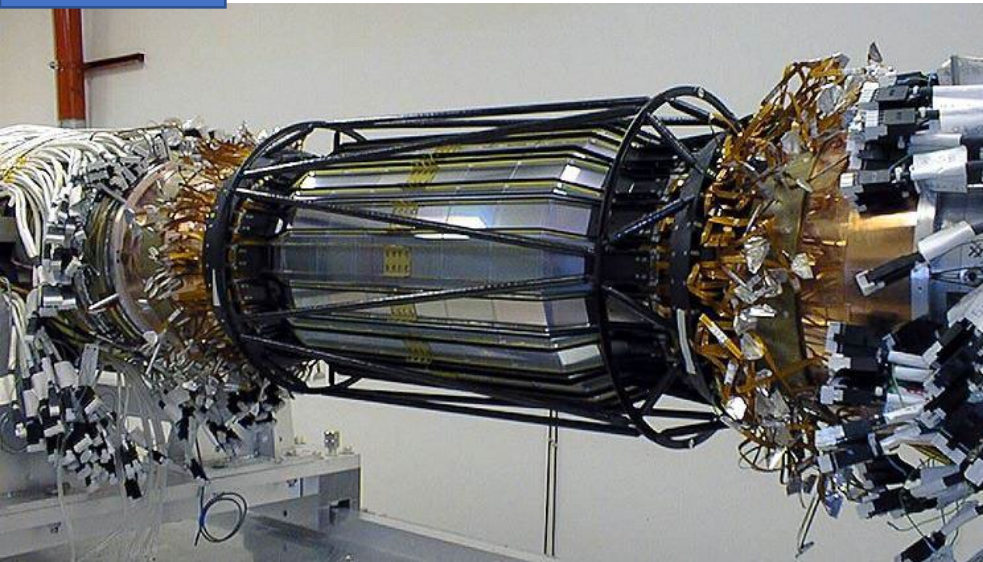
# Rivelatori al Silicio

Sono rivelatori ad **altissima** **risoluzione spaziale** (**50 $\mu$ 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  $\mu$ m)

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

**75 milioni** di canali di lettura

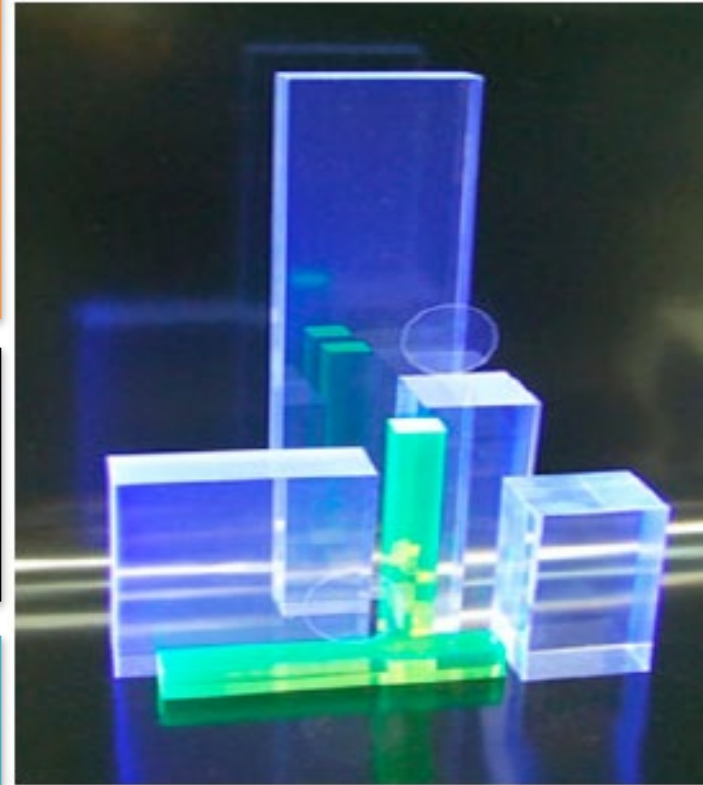
# Rivelatori a Scintillazione

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*

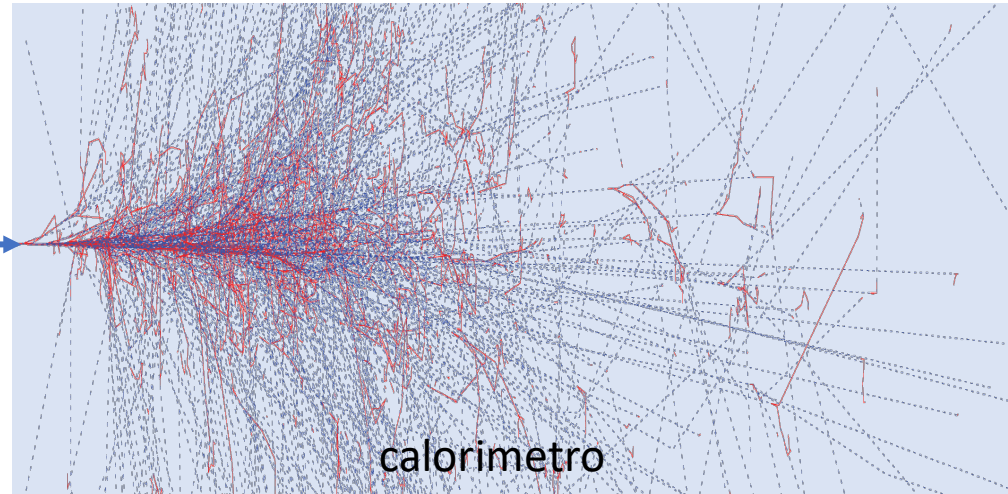


La scintillazione e' utilizzata principalmente nei calorimetri



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

particella incidente



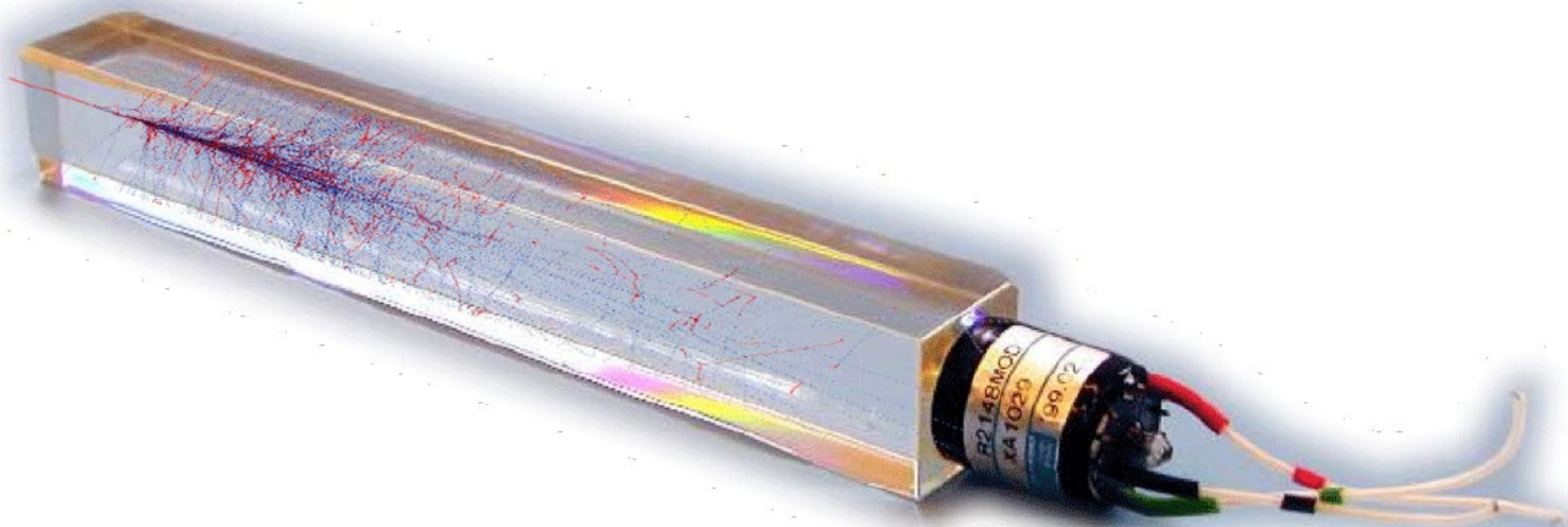
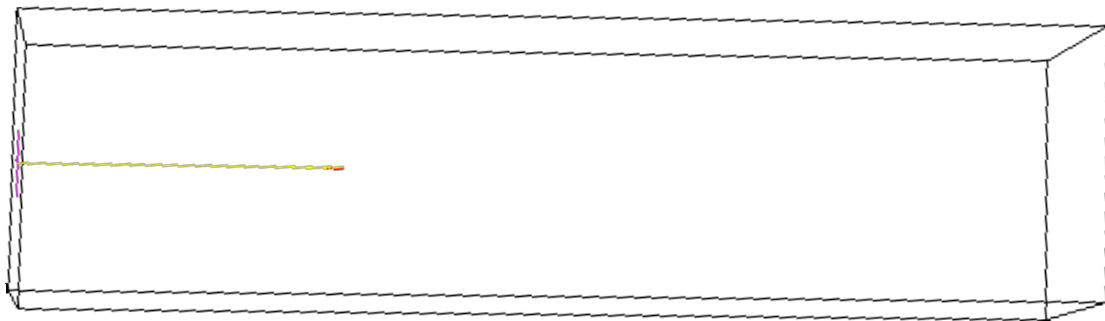
- La particella interagendo con il calorimetro crea uno **sciame** e viene *completamente assorbita*

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

$$S = kE$$

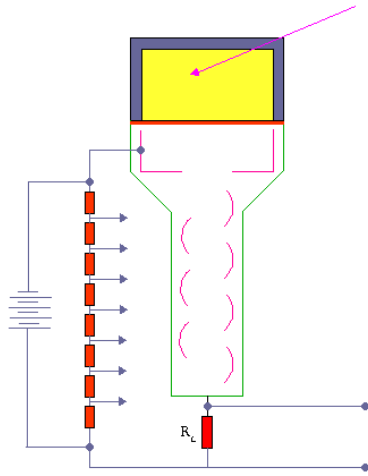
Esistono 2 *tipi* di calorimetri:

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



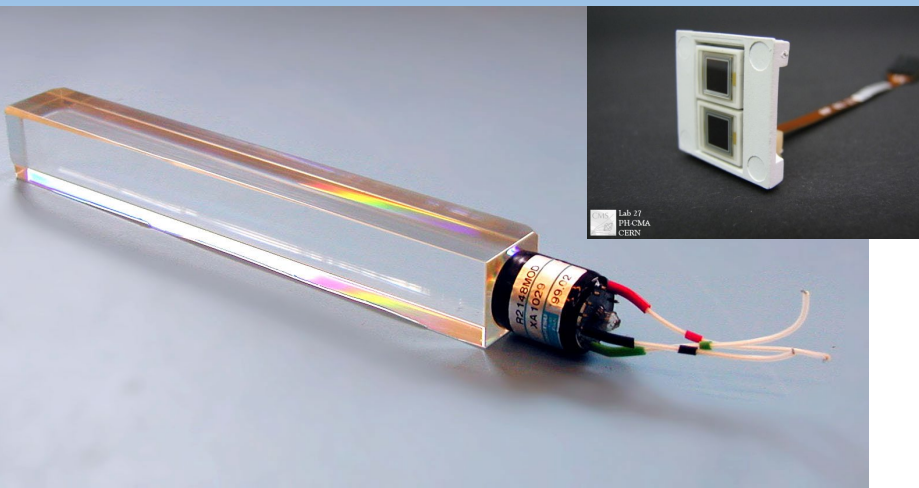


# Calorimetri elettromagnetici: raccolta della luce di Scintillazione

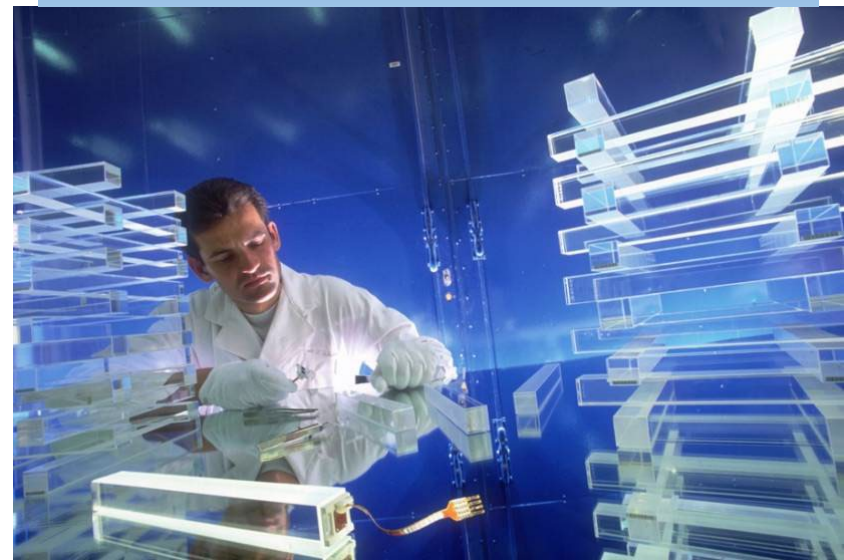


La *luce di scintillazione* prodotta dalla particella si propaga all'interno dello scintillatore e viene raccolta da appositi sensori (**Fotomoltiplicatori, fotodiodi...**)

Cristallo di CMS ( $\text{PbWO}_4$  = tungstato di piombo) con rivelatore di luce



Circa 78000 cristalli scintillanti in CMS



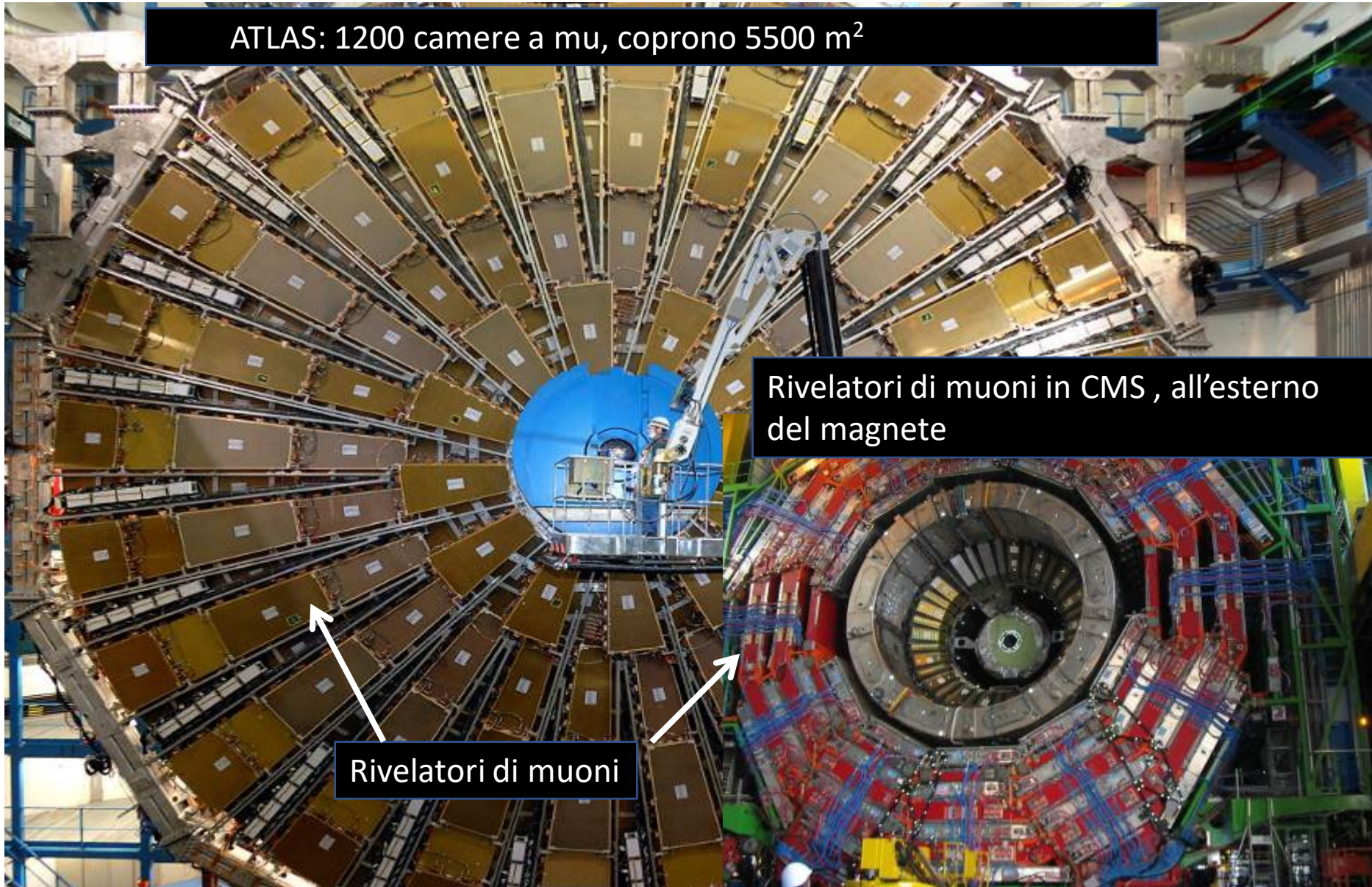


# Grandi rivelatori di muoni a LHC

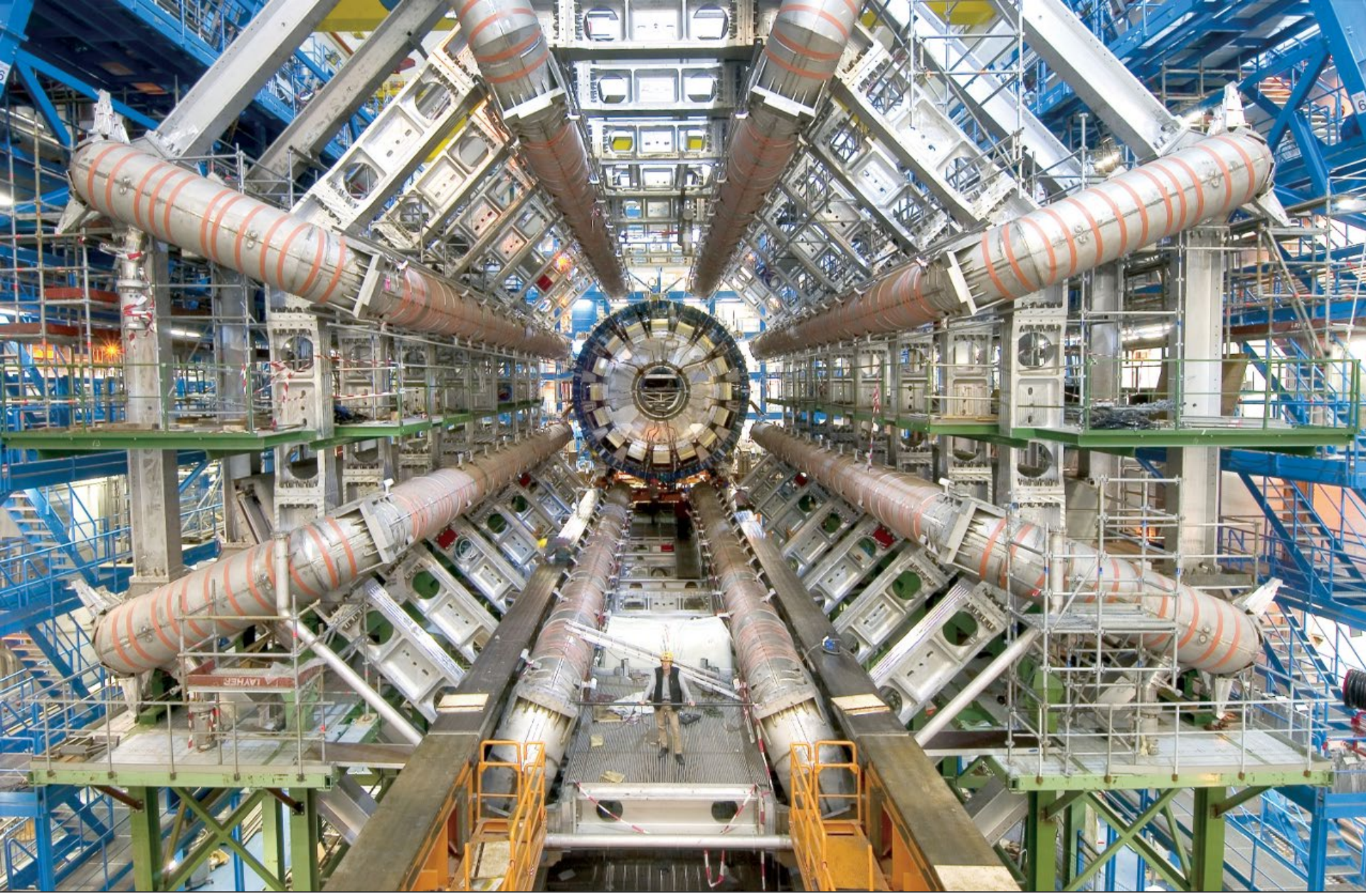
ATLAS: 1200 camere a mu, coprono 5500 m<sup>2</sup>

Rivelatori di muoni in CMS , all'esterno del magnete

Rivelatori di muoni



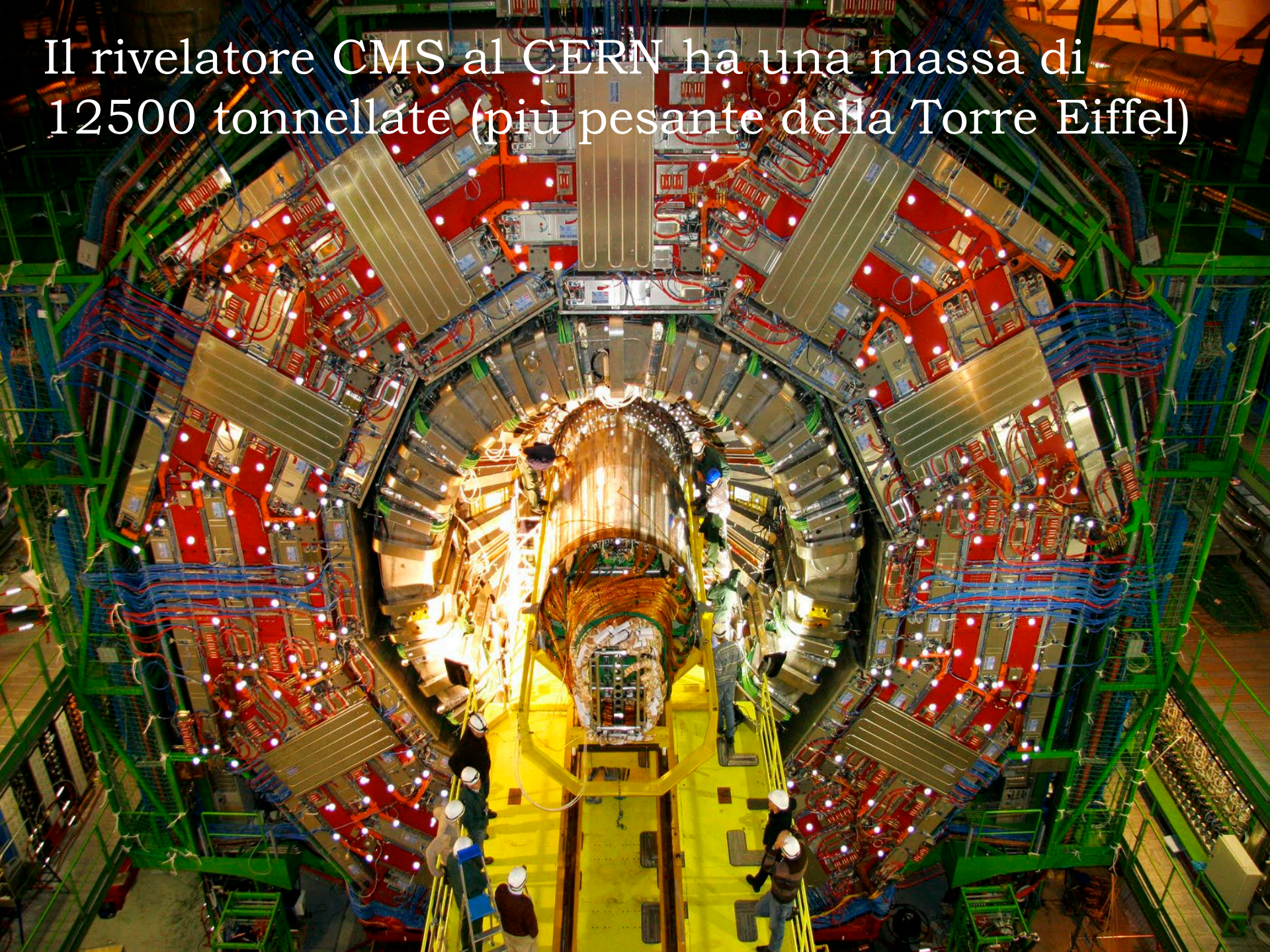




Il rivelatore ATLAS al CERN è lungo 46 metri e ha un diametro di 25 metri (un palazzo di otto piani).<sup>81</sup>

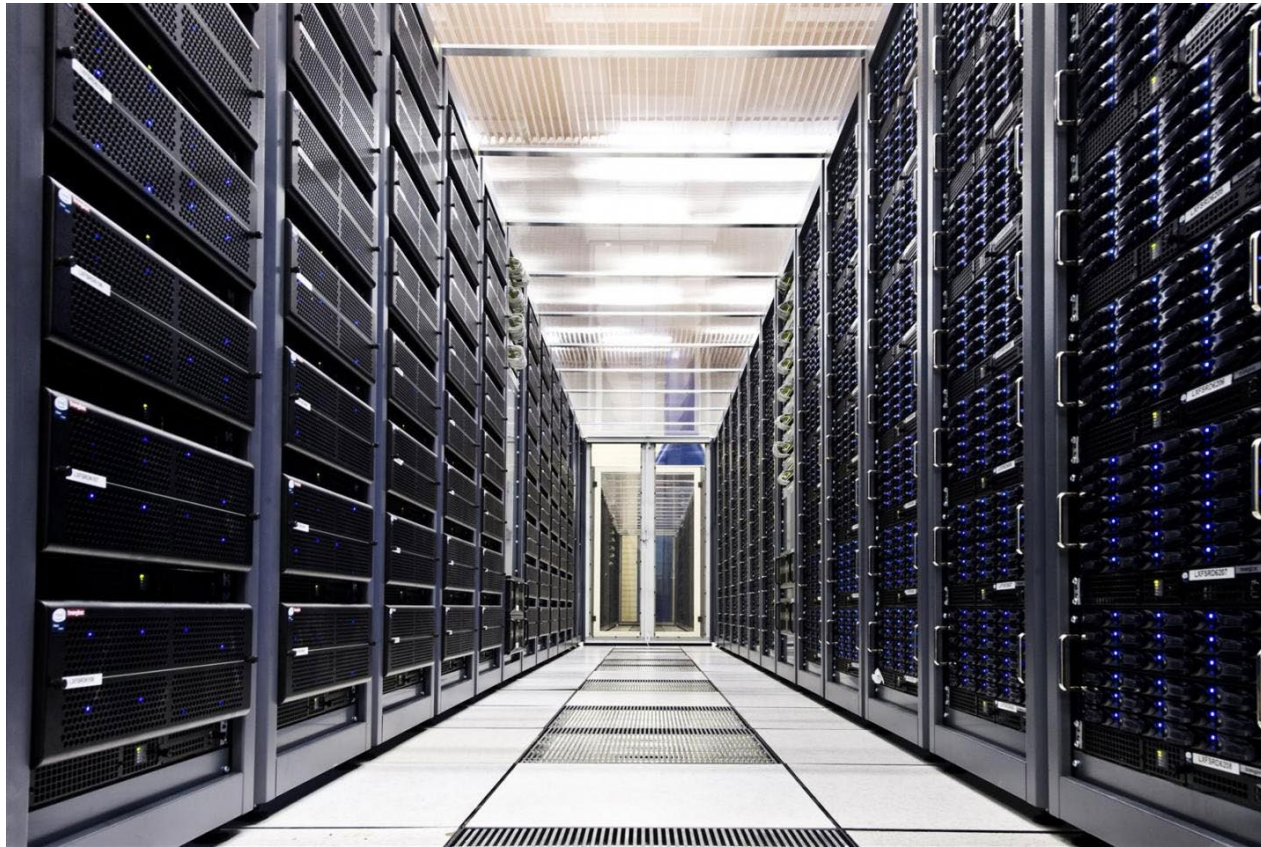


Il rivelatore CMS al CERN ha una massa di 12500 tonnellate (più pesante della Torre Eiffel)





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 oncologia: 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](#).





<https://artandscience.infn.it/>

