

INTRODUZIONE ALLA FISICA DELLE PARTICELLE



**Università
di Genova**



DIFI
2018-2022

DIPARTIMENTO
DI ECCELLENZA
MIUR



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Domande fondamentali

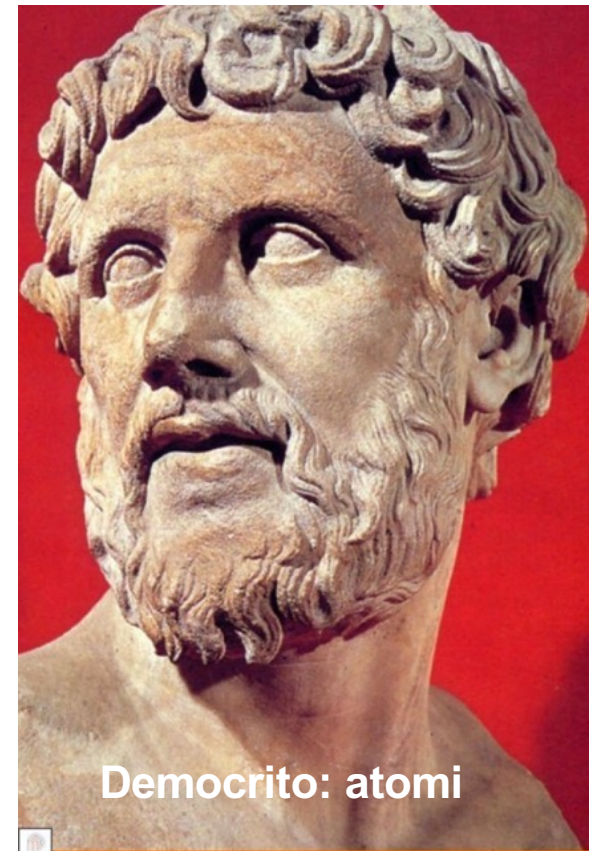
- Quali sono i costituenti elementari della materia?
- Quali sono le forze con cui interagiscono e che li legano a formare la materia come la osserviamo?
- Come ha avuto origine l'universo, come si è evoluto fino a quello che vediamo oggi?

Acqua

Aria

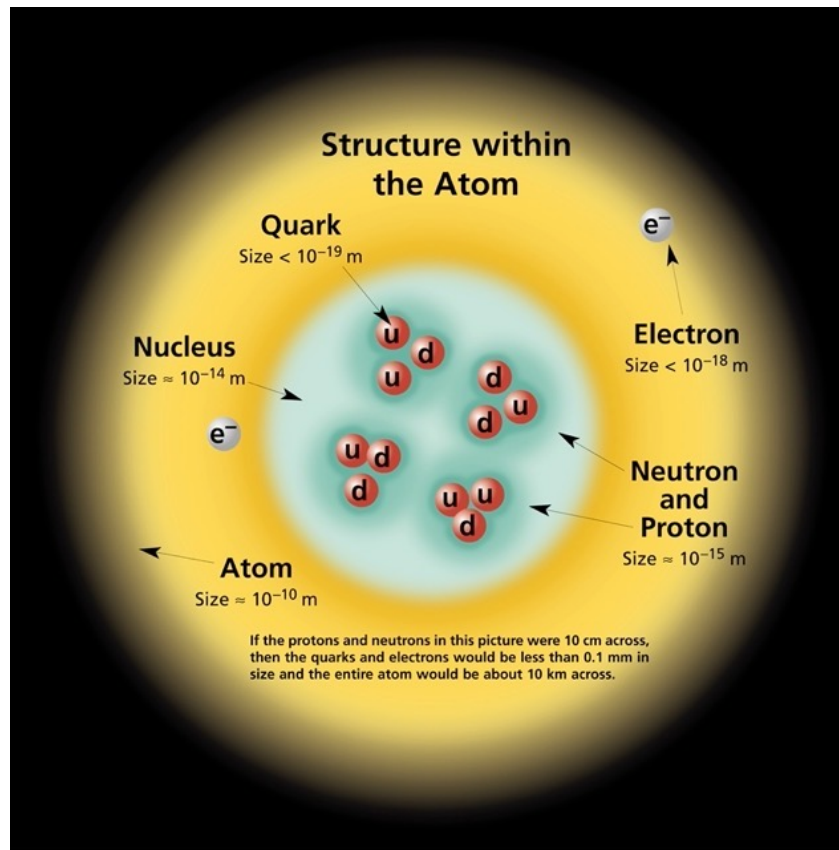
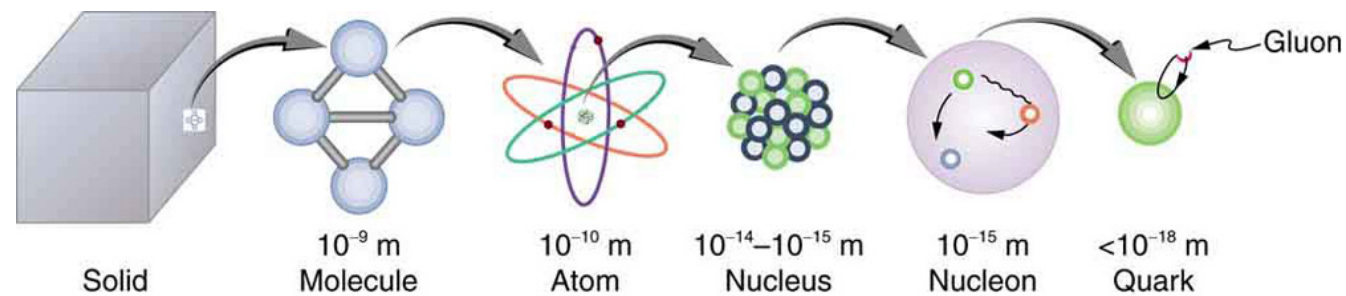
Fuoco

Terra



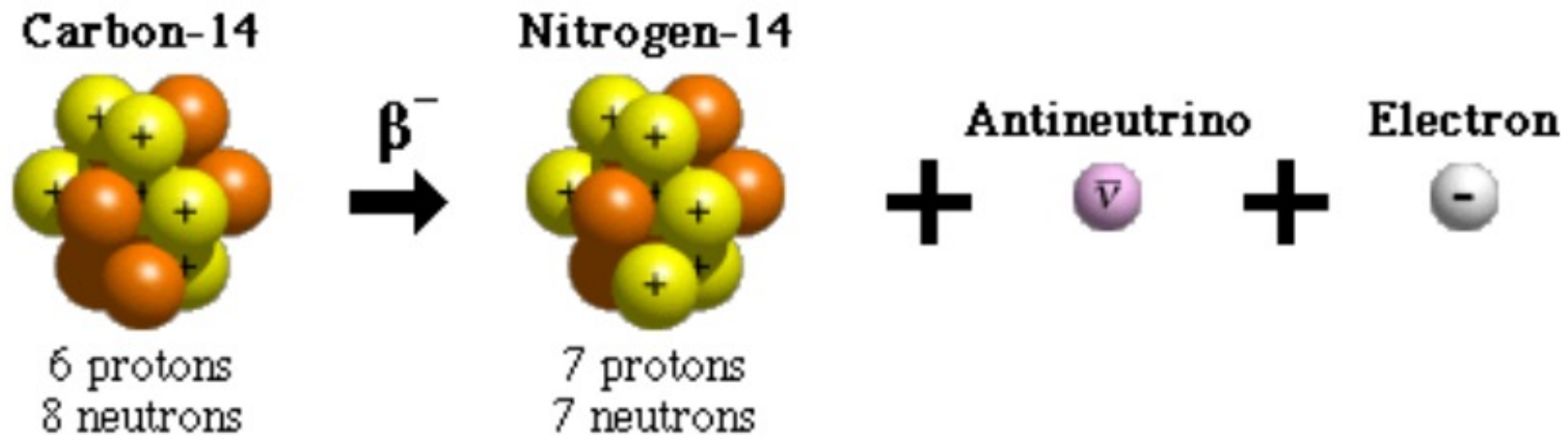
Democrito: atomi

I costituenti elementari della materia?



Se in questa figura protone e neutrone avessero dimensione di 10 cm, elettrone e quark avrebbero diametro inferiore a 0.1 mm e l'atomo sarebbe largo 10 km

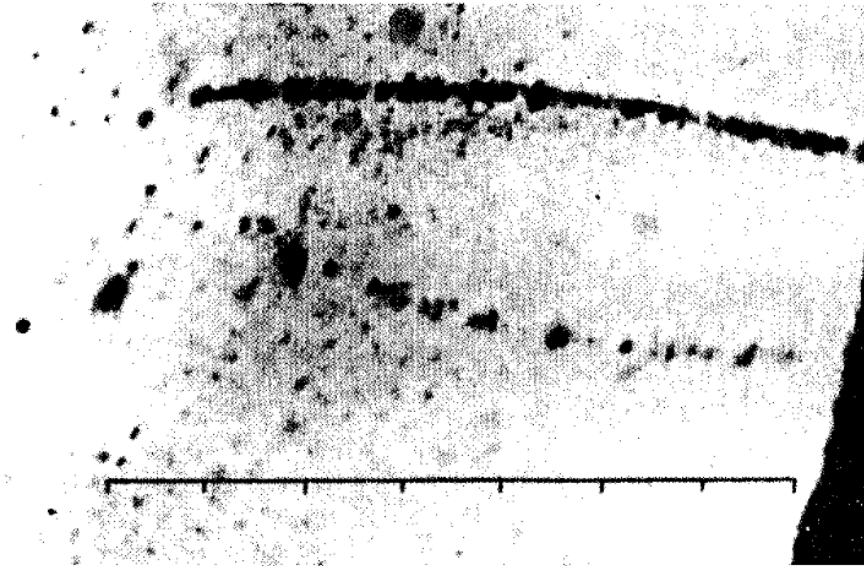
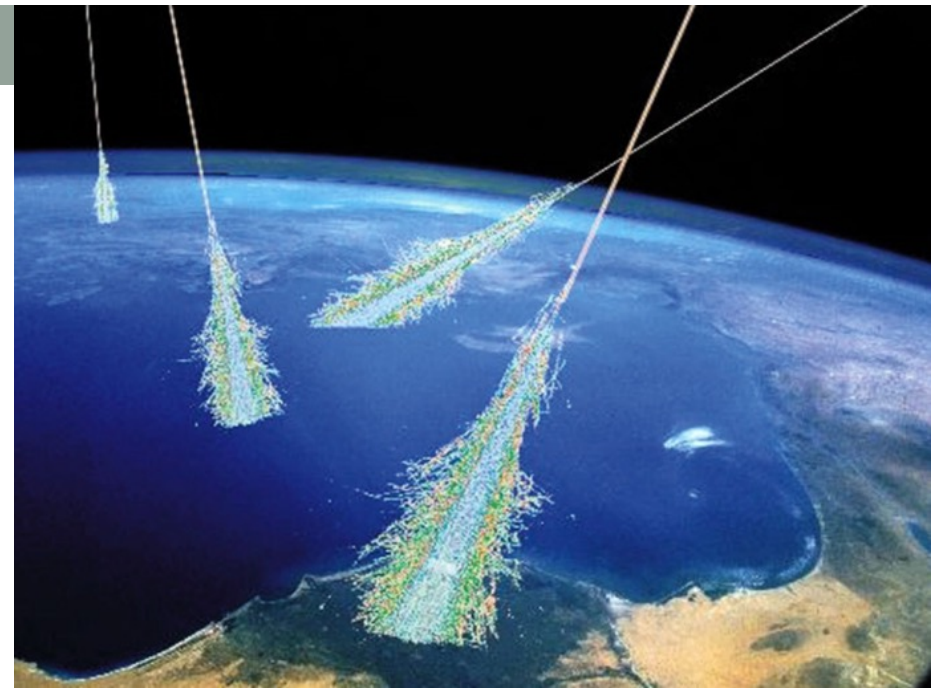
Altre particelle elementari



Si osservavano decadimenti di nuclei (detti beta): es. un neutrone si trasforma in un protone con emissione di un elettrone.

Per spiegare leggi di conservazione nel decadimento, Pauli ipotizzò una nuova particella, neutra, debolmente interagente e di massa piccolissima: il **neutrino**!

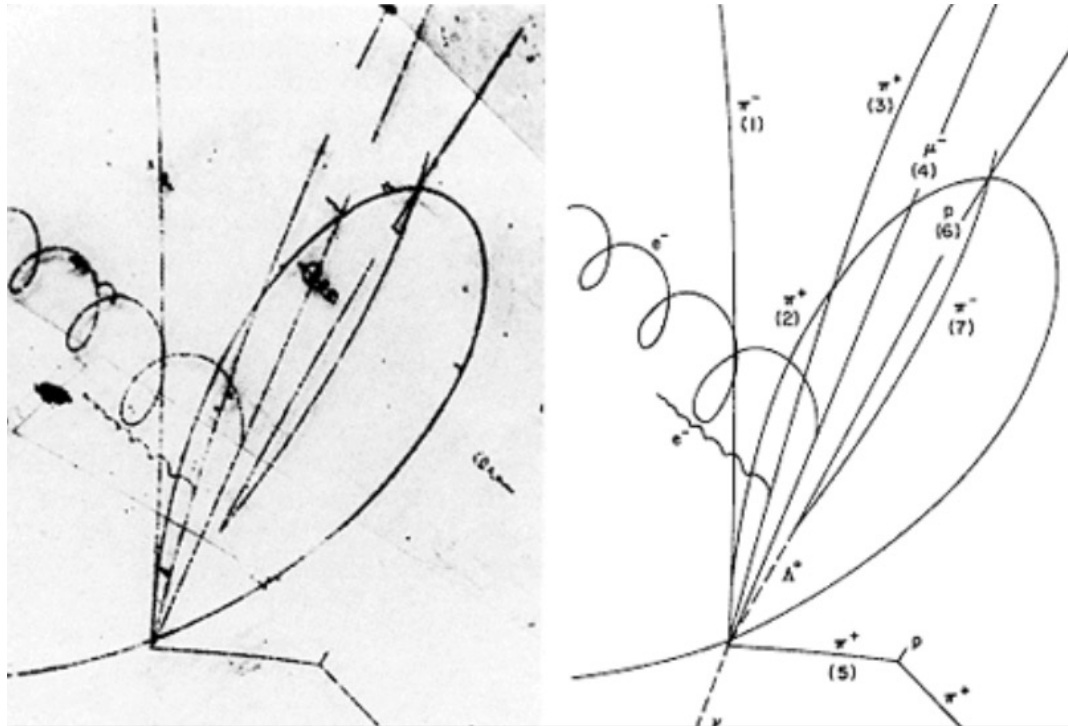
Raggi cosmici (principalmente protoni) impattano continuamente sull'atmosfera. Nelle collisioni con i nuclei dell'atmosfera, si originano varie particelle



"The other double trace of the same type (figure 5) shows closely together the thin trace of an electron of 37 MeV, and a much more strongly ionizing positive particle with a much larger bending radius. The nature of this particle is unknown; for a proton it does not ionize enough and for a positive electron the ionization is too strong. The present double trace is probably a segment from a "shower" of particles as they have been observed by Blackett and Occhialini, i.e. the result of a nuclear explosion".

Il muone! Una sorella dell'elettrone, ma più pesante

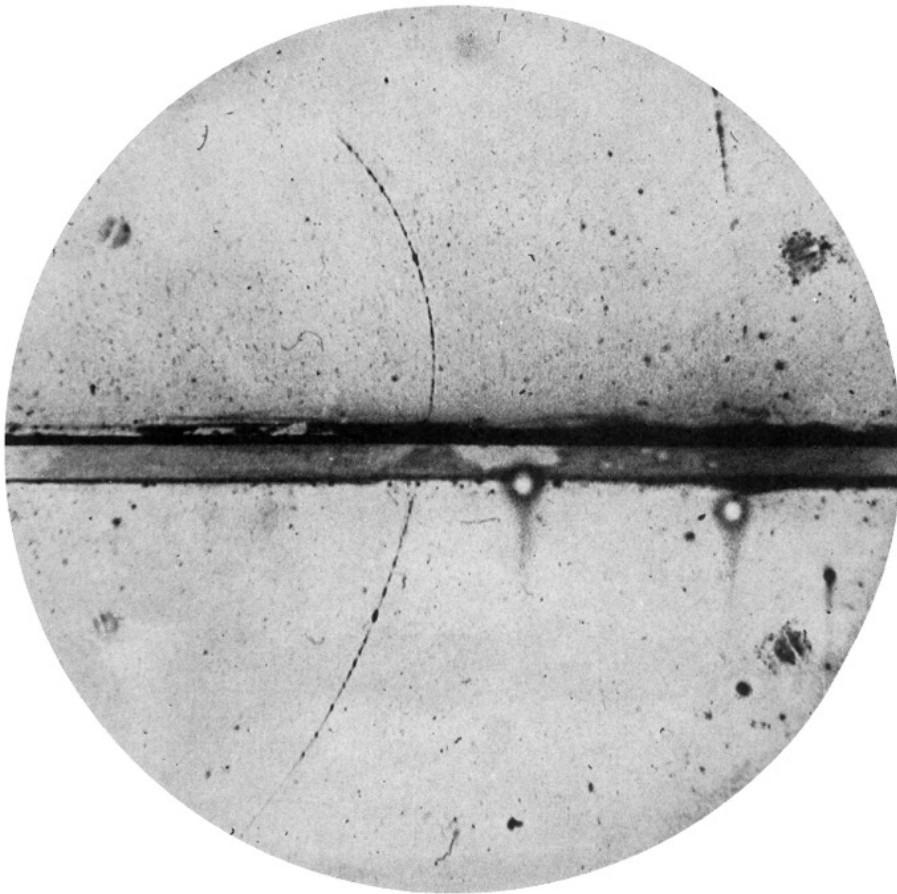
Nuove particelle vengono ricreate da collisioni riprodotte in laboratorio, usando acceleratori: si scopre che non ci sono solo due tipi di quark !



Il quark «strano»

- Adroni** = particelle formate da quark
 -> **barioni** : 3 quark (come il protone)
 -> **mesoni**: 1 quark e un antiquark

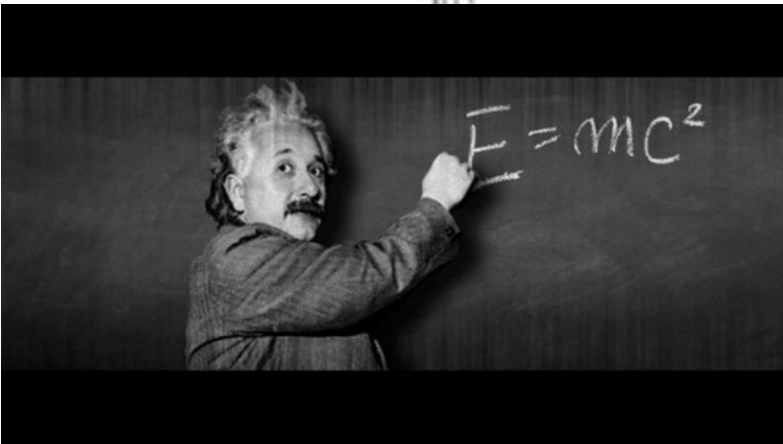
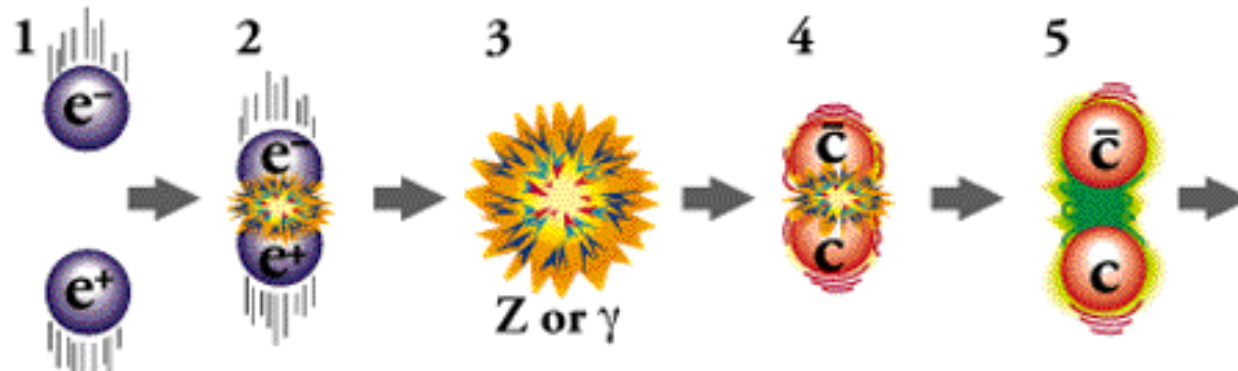
E le antiparticelle....



Osservazione in camera a bolle di una traccia simile a un elettrone, ma con carica elettrica opposta!

Un partner dell'elettrone, con uguale massa ma carica opposta era stato previsto da Dirac.
L'anti-elettrone!

Oltre alle particelle, esistono quindi le antiparticelle (anti-quark, anti-leptoni): stessa massa, ma carica elettrica opposta.
 Quando particelle e antiparticelle si scontrano, le loro masse vengono trasformate in radiazione. E viceversa.... si possono produrre nuove particelle-antiparticelle a partire da fotoni



Spesso misuriamo massa e energia nelle stesse quantità.

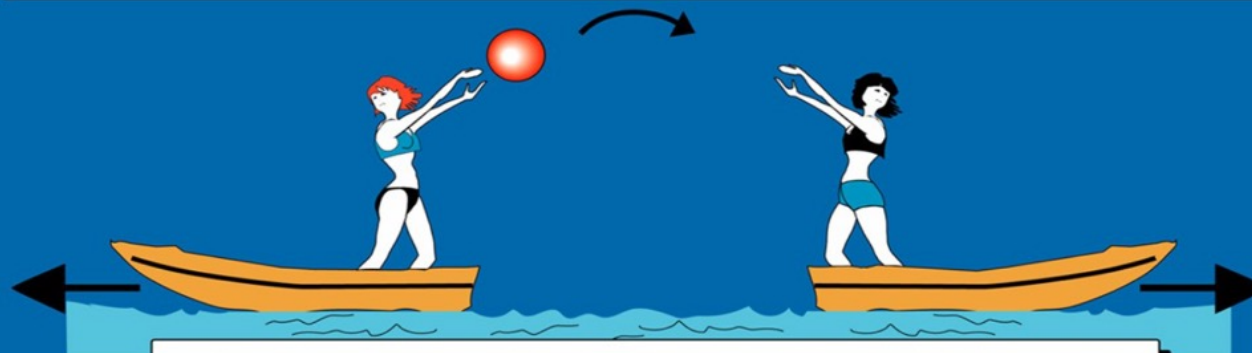
Sistema internazionale: Joule

Nel mondo microscopico: $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

Le interazioni fondamentali

The forces in Nature

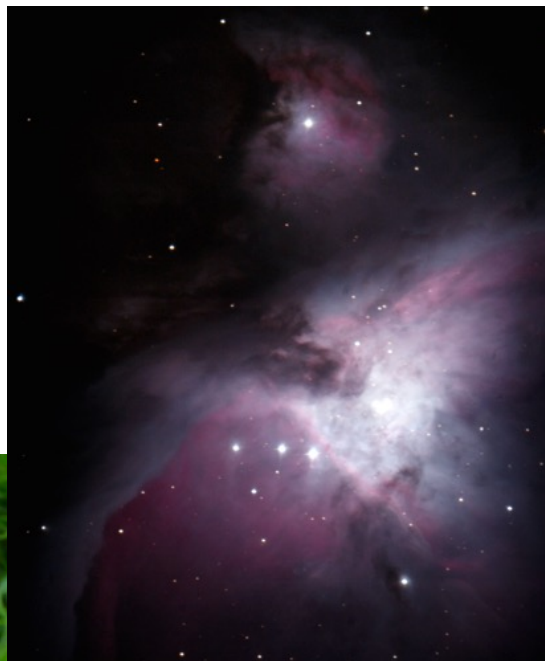
TYPE	INTENSITY OF FORCES (DECREASING ORDER)	BINDING PARTICLE (FIELD QUANTUM)	OCCURS IN :
STRONG NUCLEAR FORCE	~ 1	GLUONS (NO MASS)	ATOMIC NUCLEUS
ELECTRO -MAGNETIC FORCE	$\sim 10^{-3}$	PHOTONS (NO MASS)	ATOMIC SHELL ELECTROTECHNIQUE
WEAK NUCLEAR FORCE	$\sim 10^{-5}$	BOSONS Z^0, W^+, W^- (HEAVY)	RADIOACTIVE BETA DESINTEGRATION
GRAVITATION	$\sim 10^{-38}$	GRAVITONS (?)	HEAVENLY BODIES



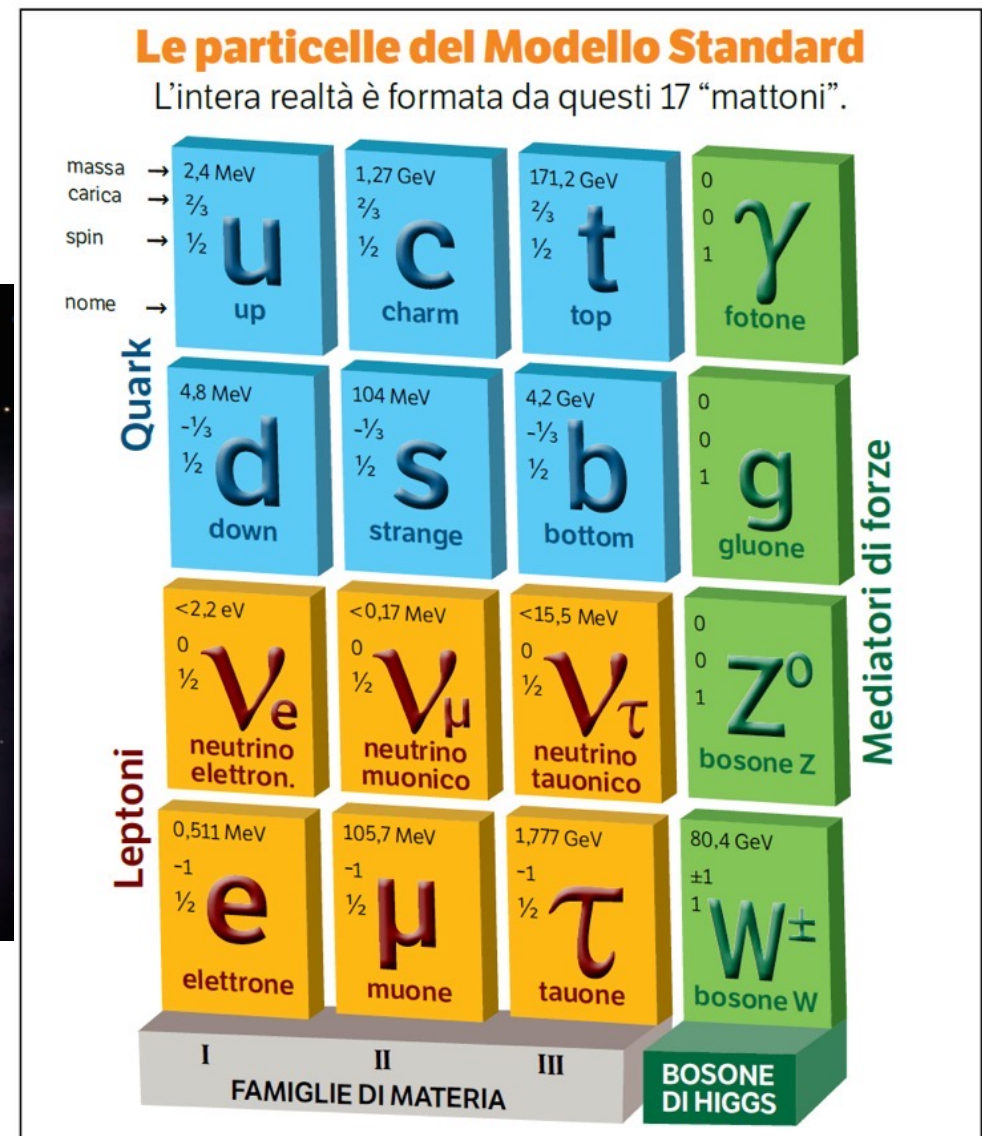
THE EXCHANGE OF PARTICLES IS RESPONSIBLE FOR THE FORCE.

Il Modello Standard

Questi mattoni elementari compongono tutto quello che ci circonda, dall'infinitamente piccolo, all'infinitamente grande

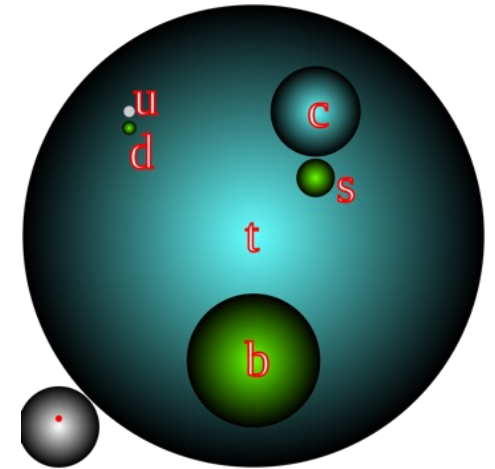


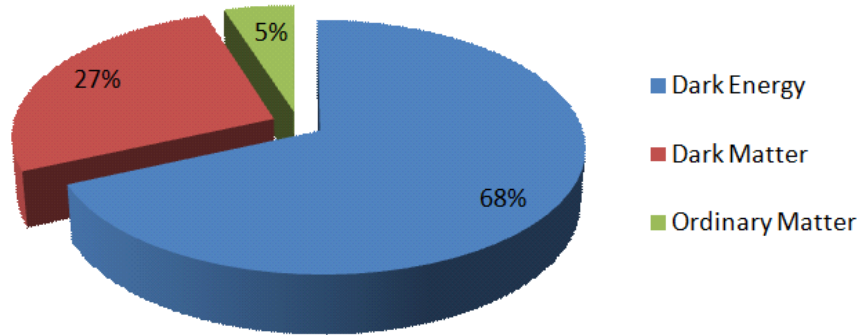
Più le rispettive antiparticelle



Problemi aperti

- Il Modello Standard è una teoria eccellente
 - Previsioni verificate con grandissima precisione
- ma sappiamo che ha dei problemi
 - Intanto.... troppi parametri !
 - Enorme differenza in massa tra le particelle elementari
 - Non include la gravità
 - Non prevede la **materia oscura**
 - Non prevede l'**energia oscura**
 - Non rende conto di **perché è scomparsa l'antimateria**....
- Molte teorie proposte in alternativa
 - SUSY: Supersimmetria (che aggiunge altre particelle....)
 - Teorie con addizionali dimensioni dello spazio-tempo
 -

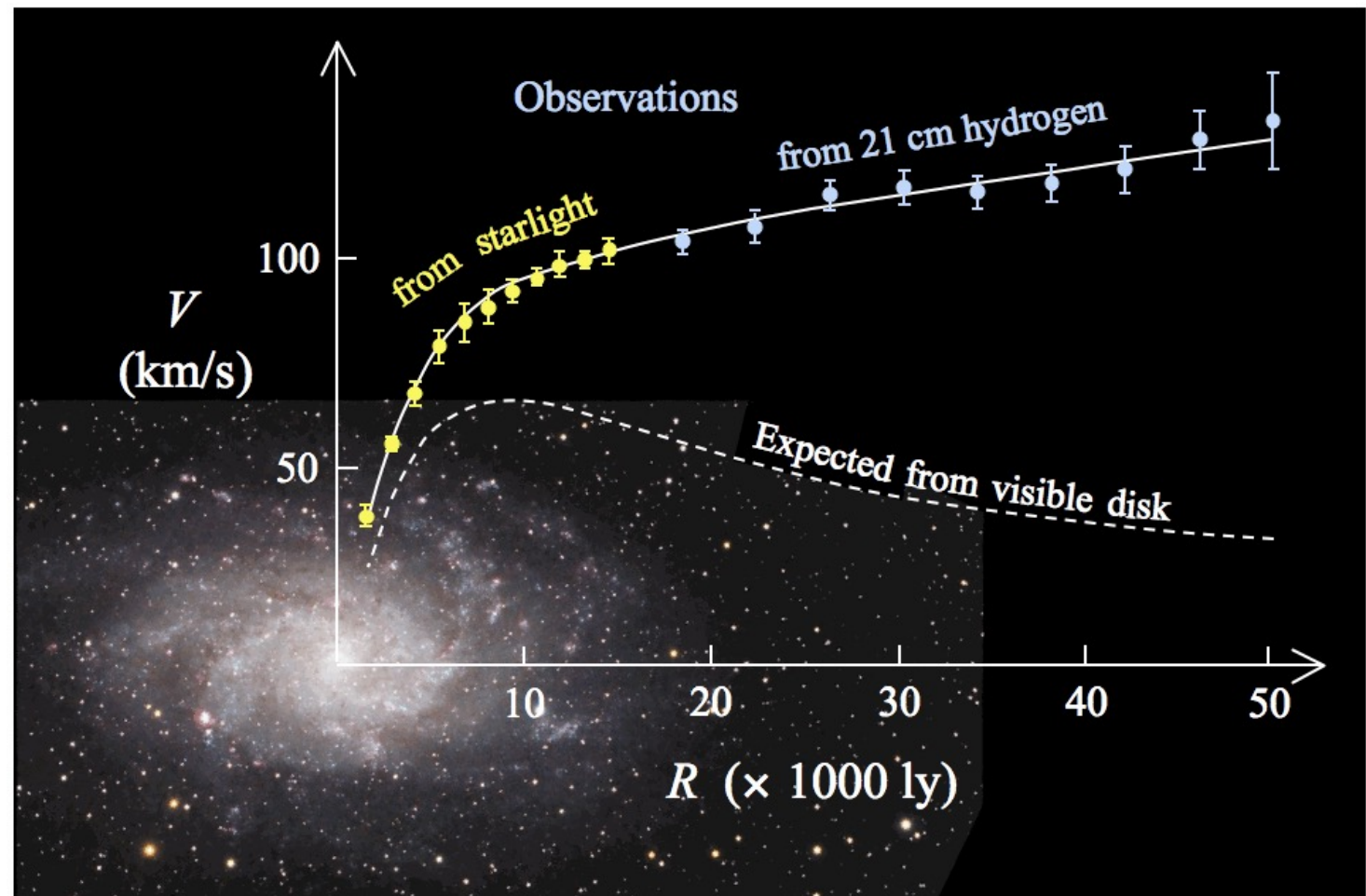




La materia ordinaria, mettendo assieme tutti i pianeti, le stelle, le galassie, il gas interstellare.... Arriva solo a <5% dell'universo!! E il resto??

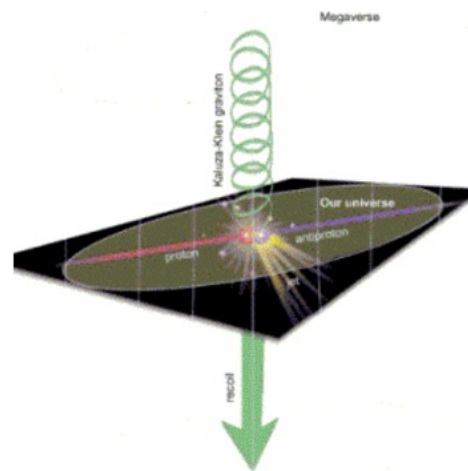
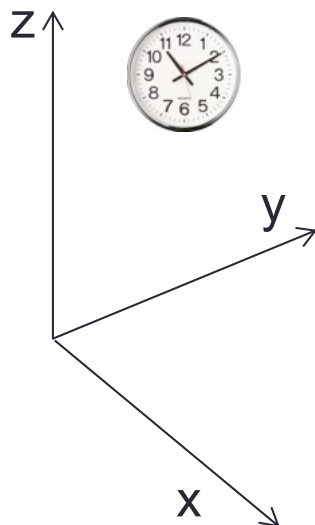
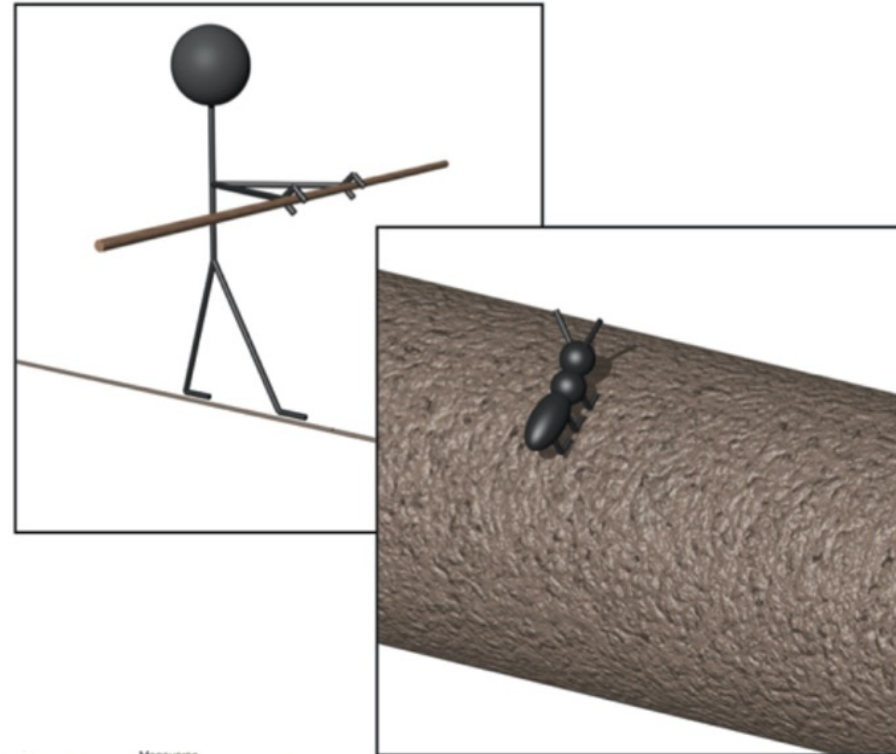
Materia oscura per spiegare rotazione galassie

L'energia oscura è necessaria per spiegare per esempio l'accelerazione dell'espansione dell'universo e la curvatura nulla dell'universo



Extra-dimensions

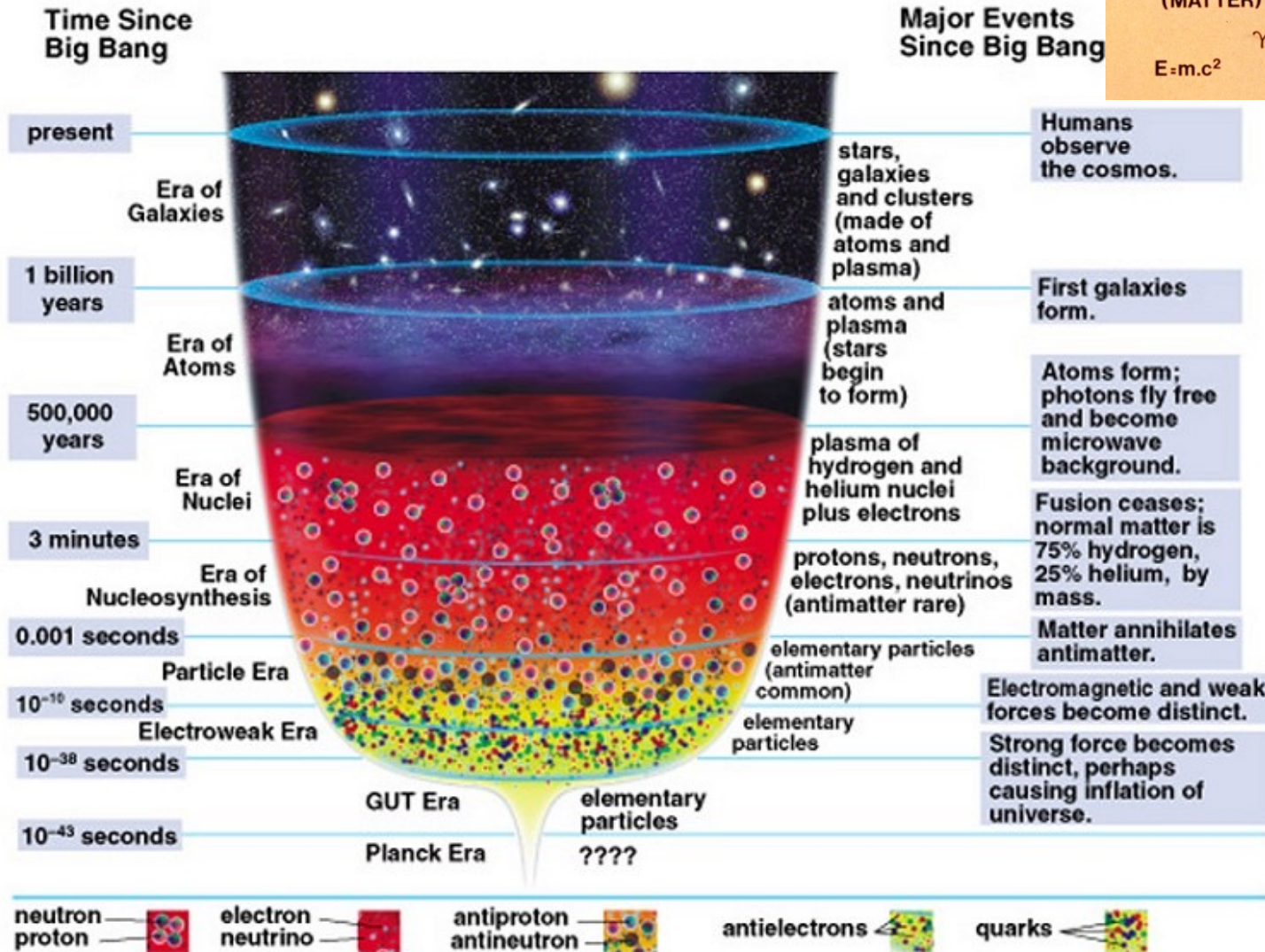
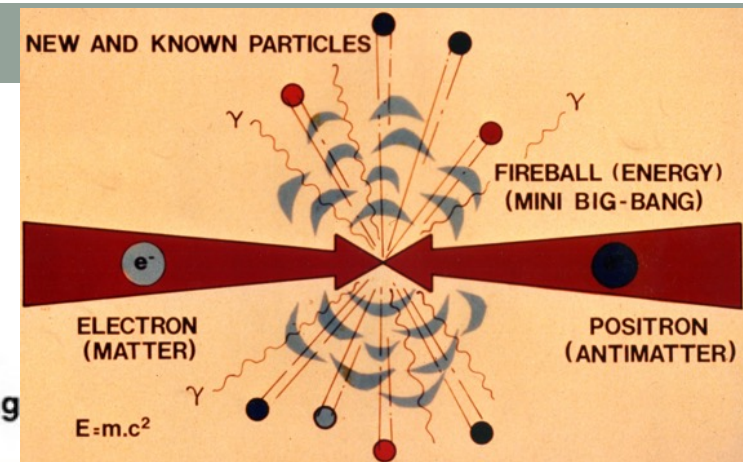
- Lo spazio-tempo ordinario ha 4 dimensioni
 - 3 spaziali
 - 1 temporale
 - Estese all'infinito
- Alcune teorie oltre il Modello Standard aggiungono extra dimensioni dello spazio tempo
 - Dimensioni «compatte»
 - Importanti per la gravità



Come vederle?

Es: un gravitone esce dal nostro universo 3D in extra-dimensions (megaverso): apparente «non conservazione» dell'energia

Come si studiano le particelle

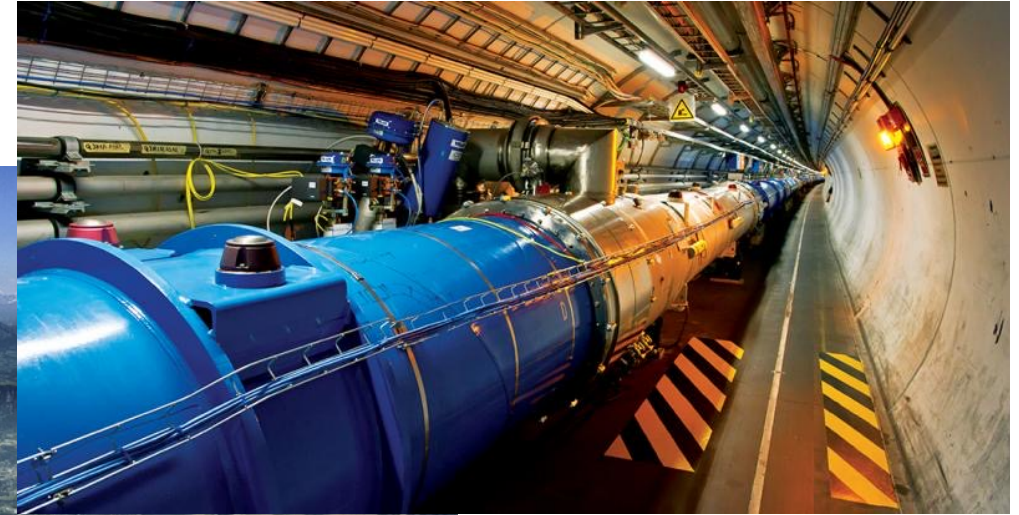
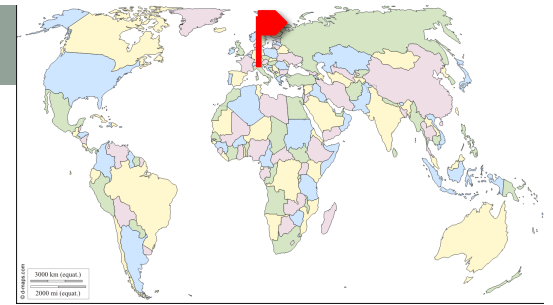


Possiamo sfruttare particelle di origine cosmica che raggiungono la Terra

Oppure riprodurre le particelle sulla Terra tramite acceleratori

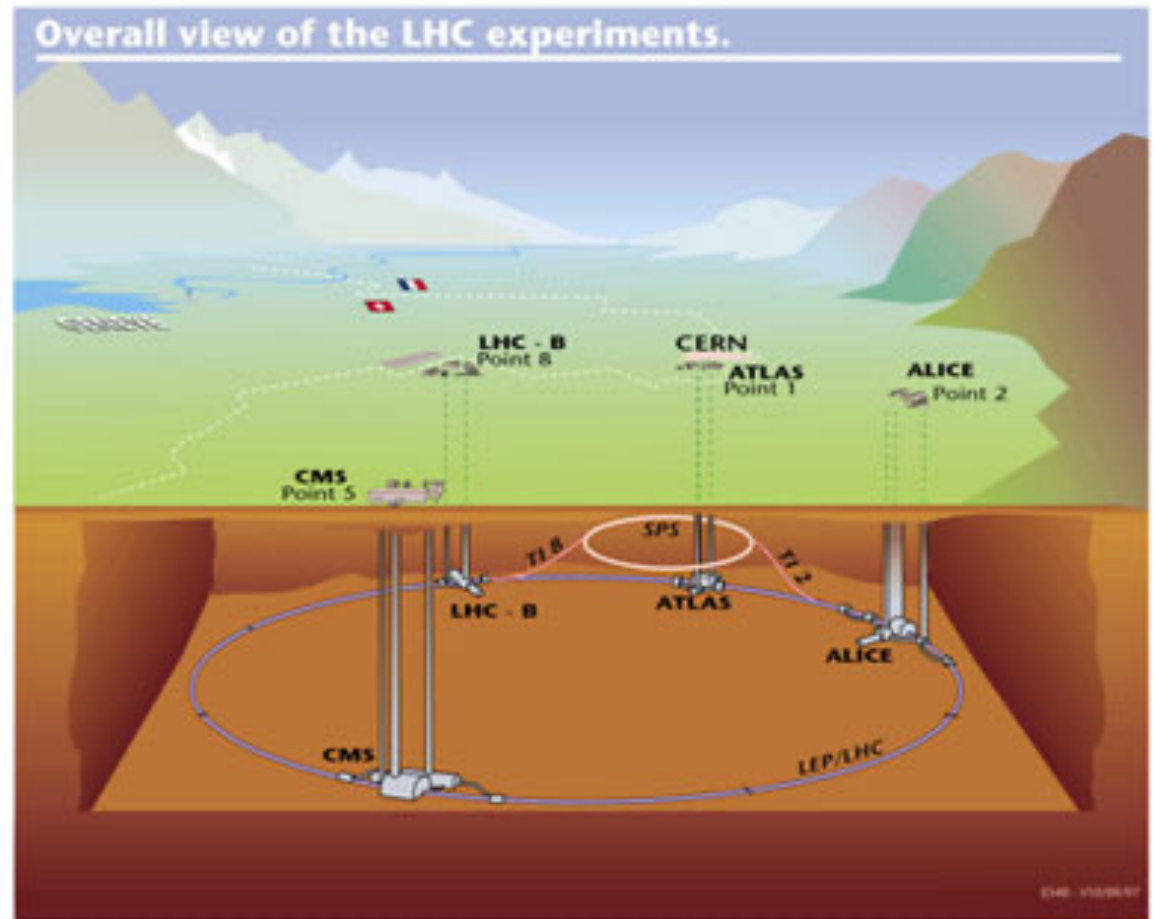
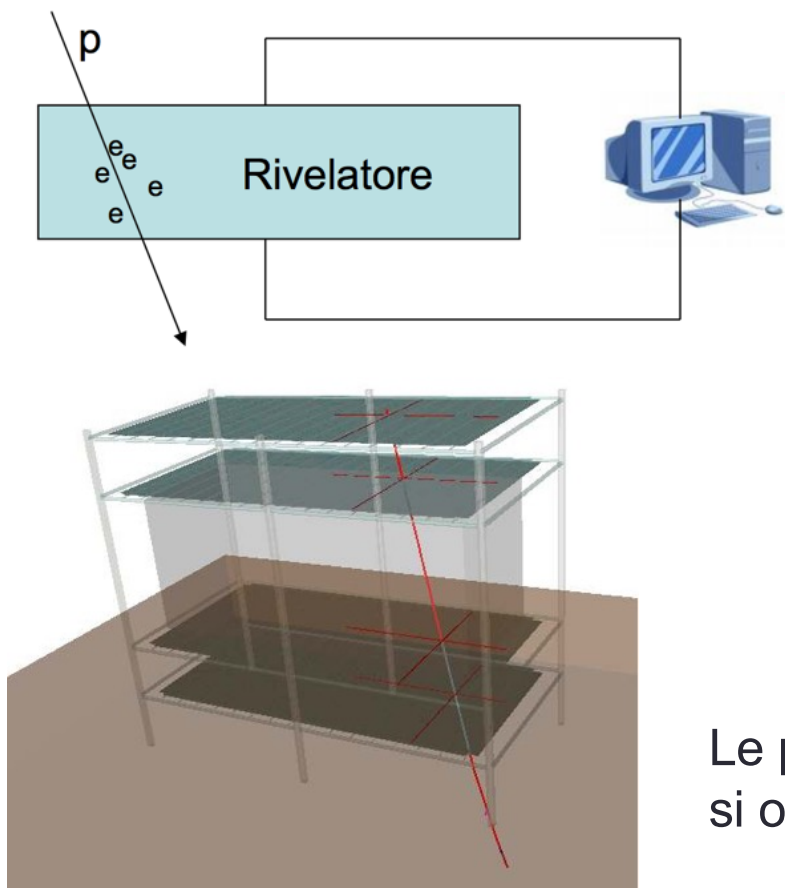
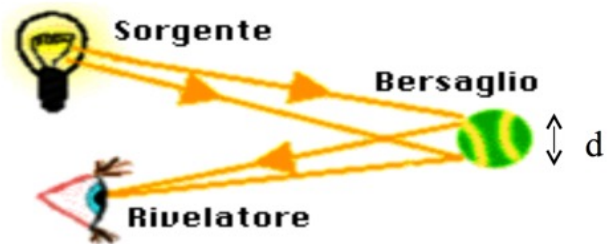
Alte energie: possiamo riprodurre particelle massive, possiamo esplorare dimensioni più piccole ($E \sim 1/L$)

L'acceleratore LHC del CERN



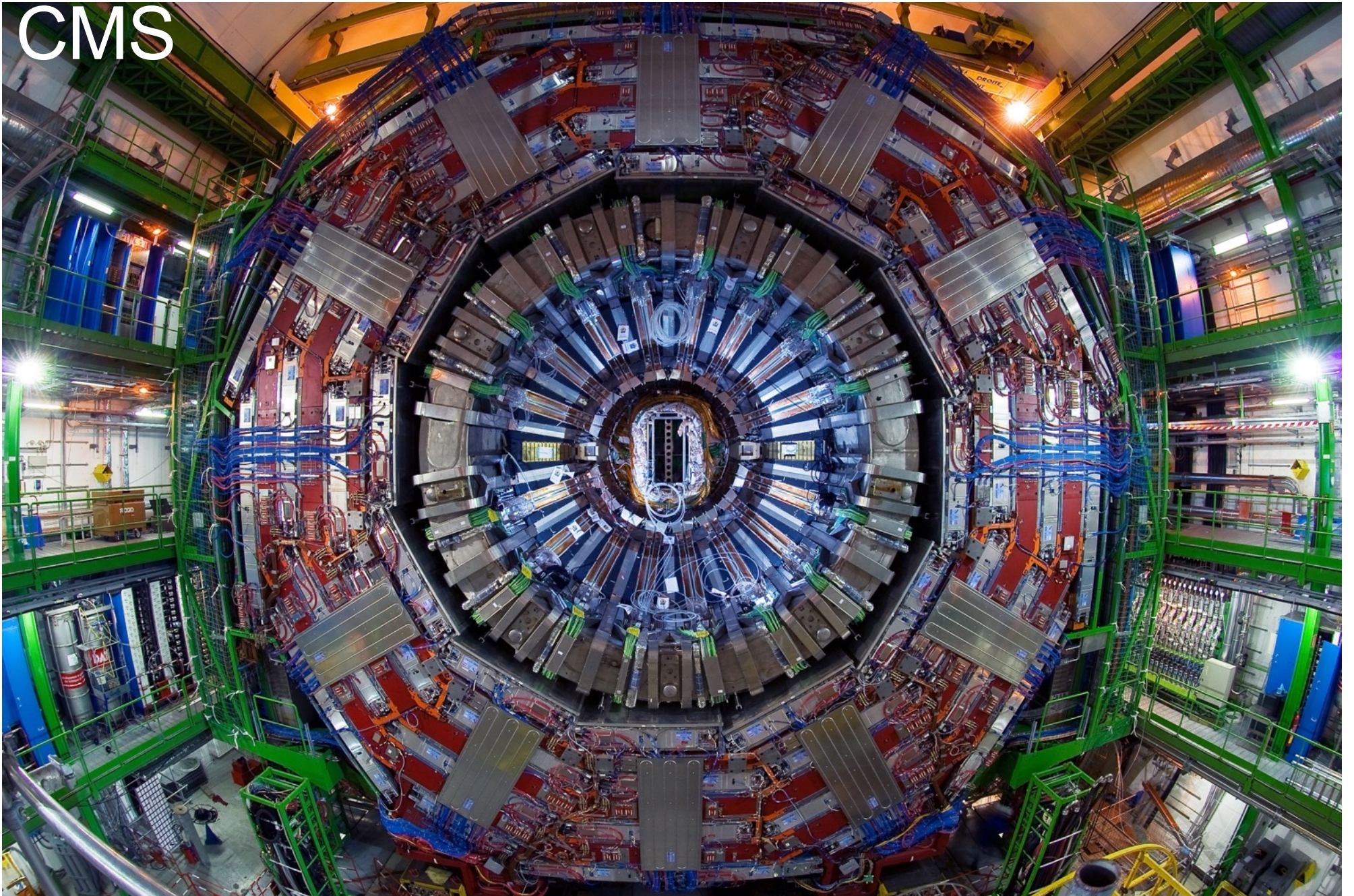
- Collisione di protoni ad altissima energia (13.5 TeV)
- Campi magnetici molto intensi:
magneti superconduttori (raffreddati a -271 C)
- 4 zone di collisione

Come si “vedono” le particelle



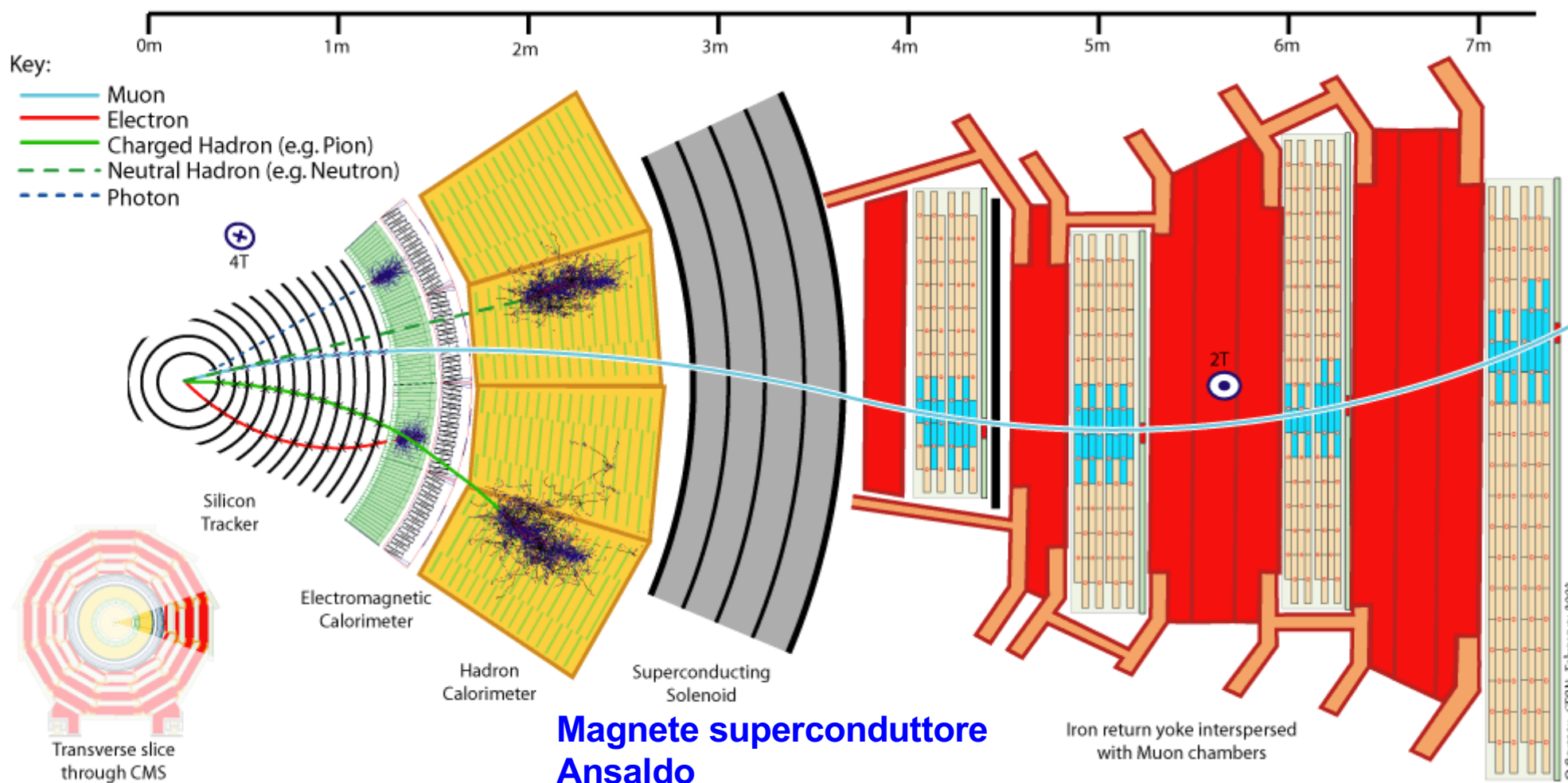
Le particelle vengono fatte interagire con dei materiali e si osservano gli effetti delle loro interazioni

CMS

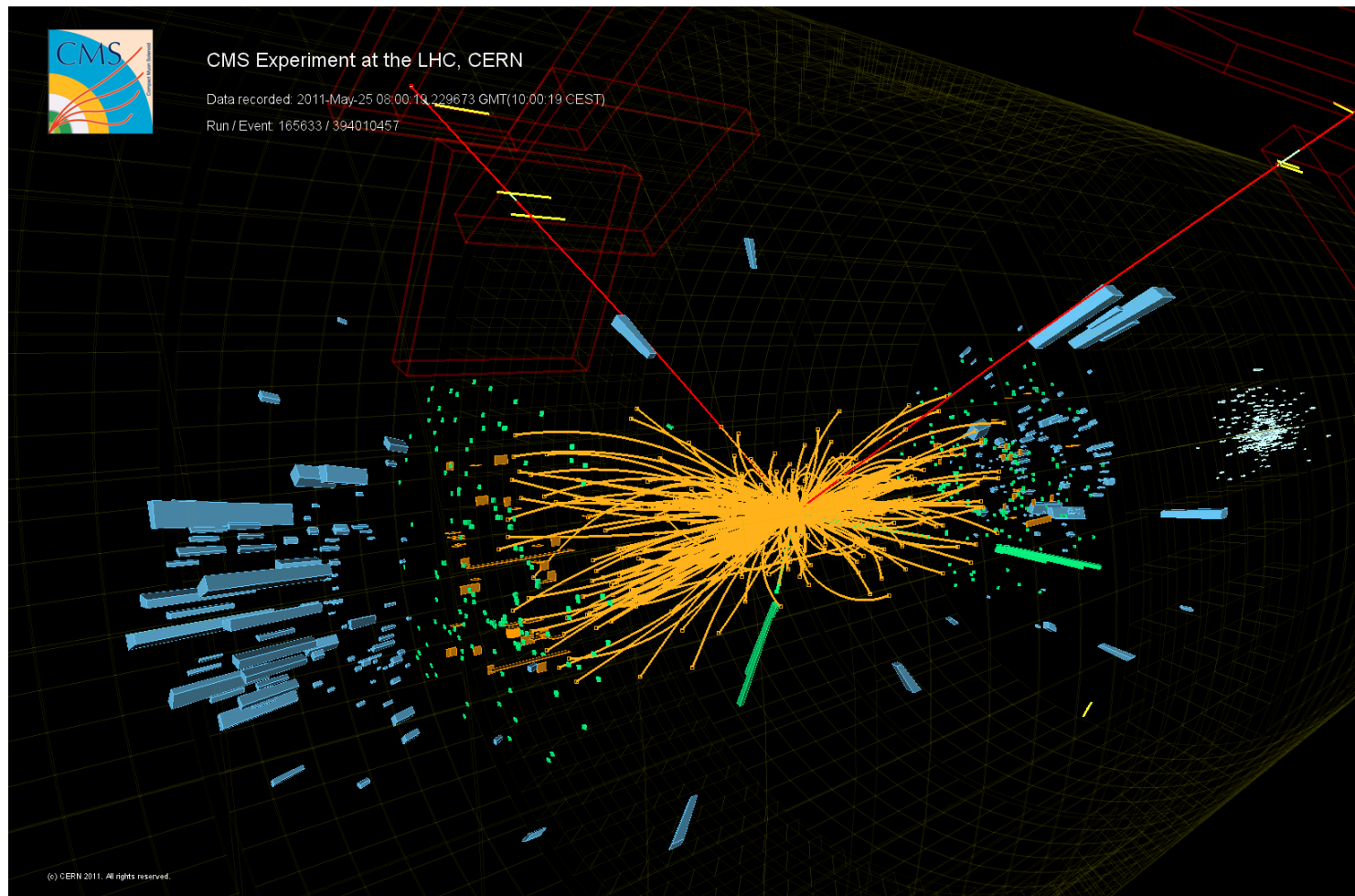


Tanti rivelatori

Molte particelle hanno vita brevissima. Decadono in altre particelle (note) prima di lasciare traccia. Si rivelano i prodotti di decadimento e si ricostruiscono le proprietà della particella madre



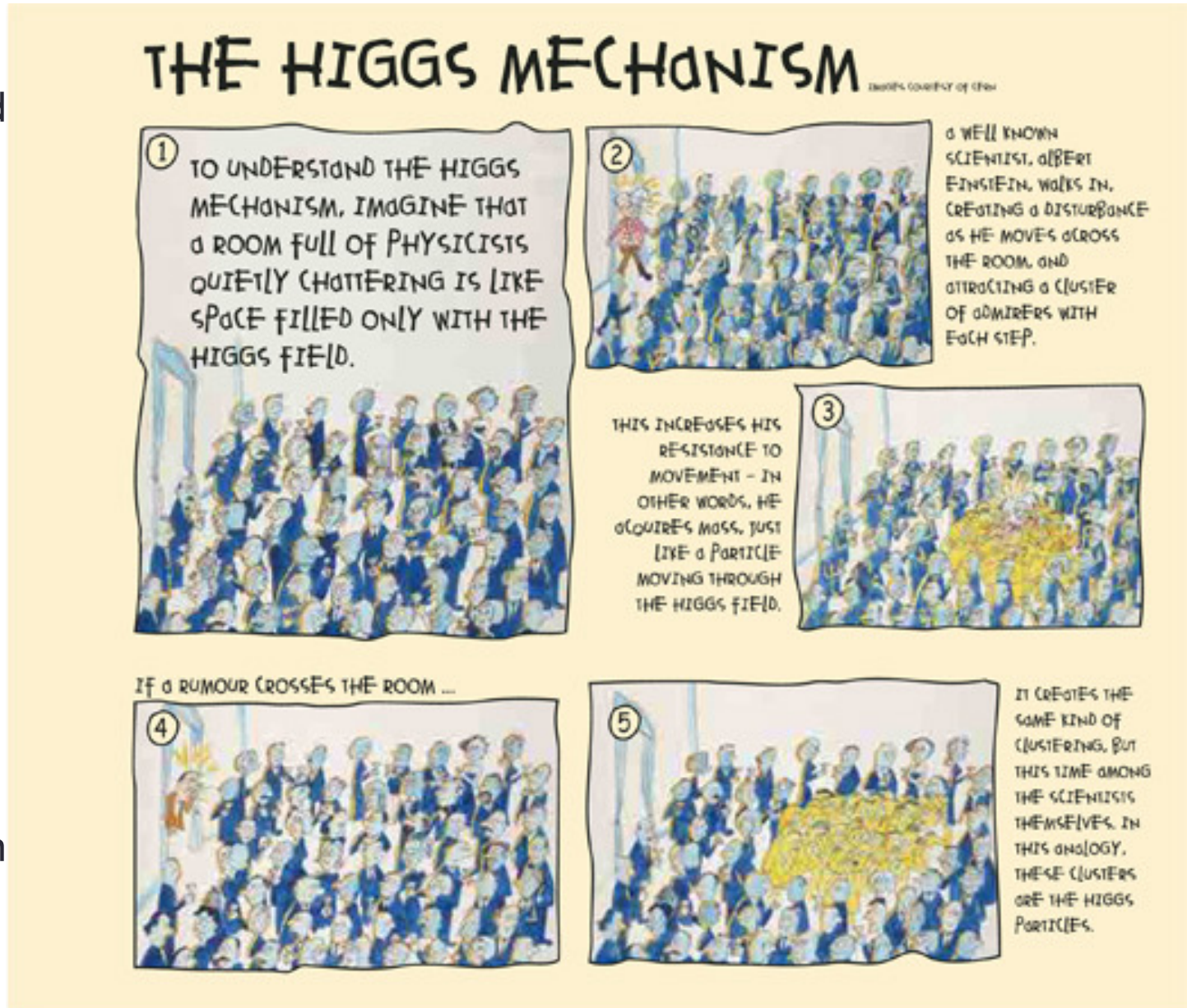
Ricostruzione delle particelle



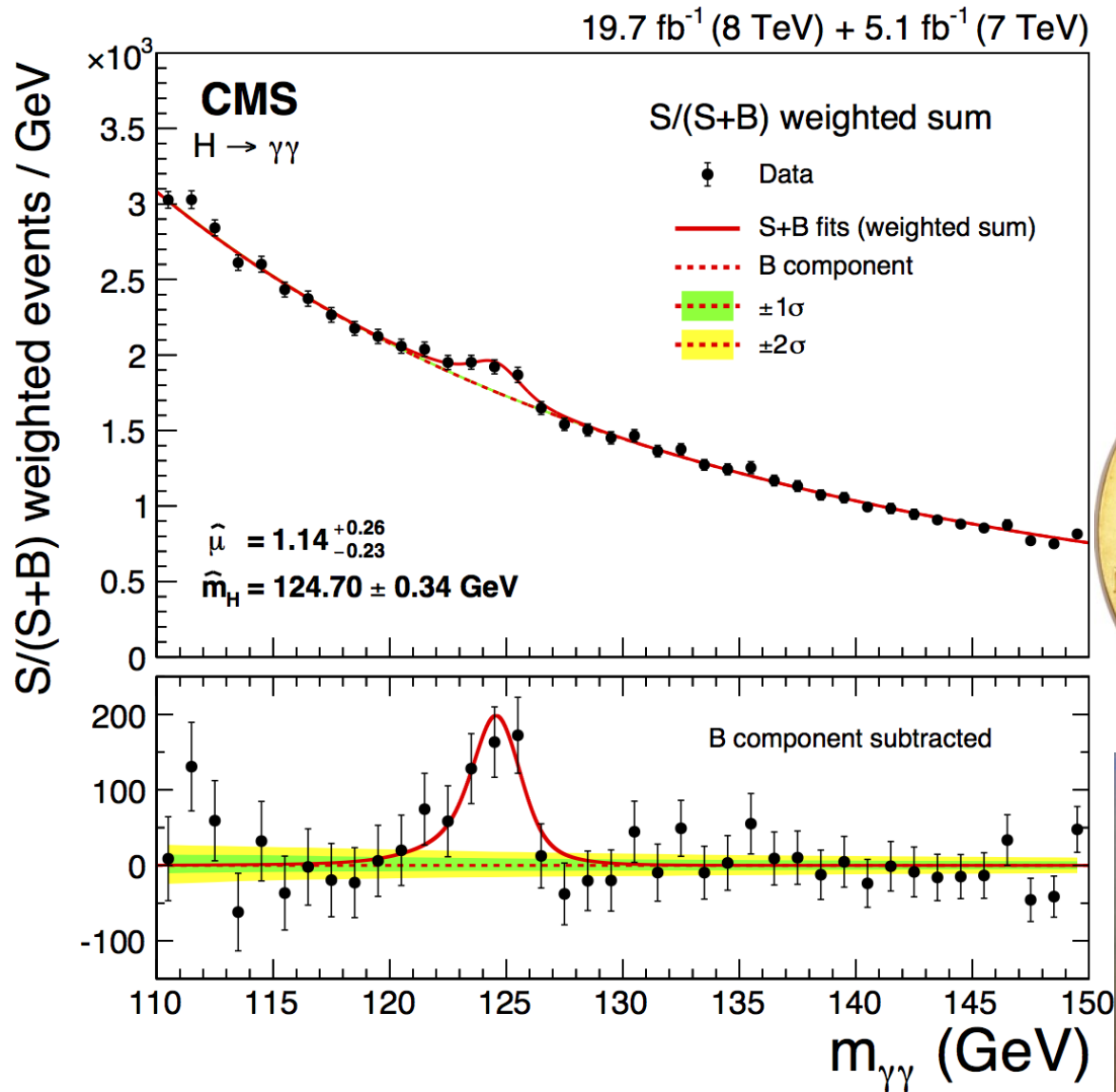
Ricostruzione software delle tracce e dei depositi di energia delle particelle: ipotesi sulle particelle prodotte nell'evento

Che cosa abbiamo imparato

- Abbiamo verificato il Modello Standard ad una precisione eccellente
- Anche l'ultimo tassello mancante (bosone di Higgs) è stato trovato!
- Dal punto di vista matematico, il Modello Standard è consistente se le particelle hanno massa nulla.... In contrasto con la realtà
- Problema curato con il meccanismo di Higgs



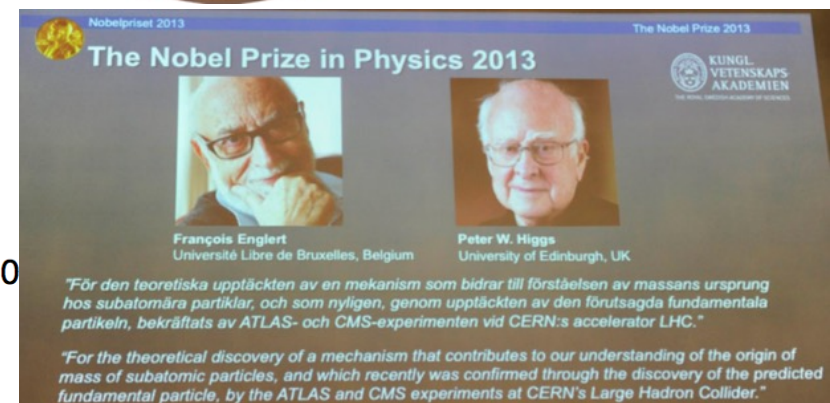
Il bosone di Higgs



Consistente con le proprietà attese per il bosone di Higgs previsto dal Modello Standard....



Premio Nobel
Fisica 2013
Higgs e Englert



Qualche applicazione immediata

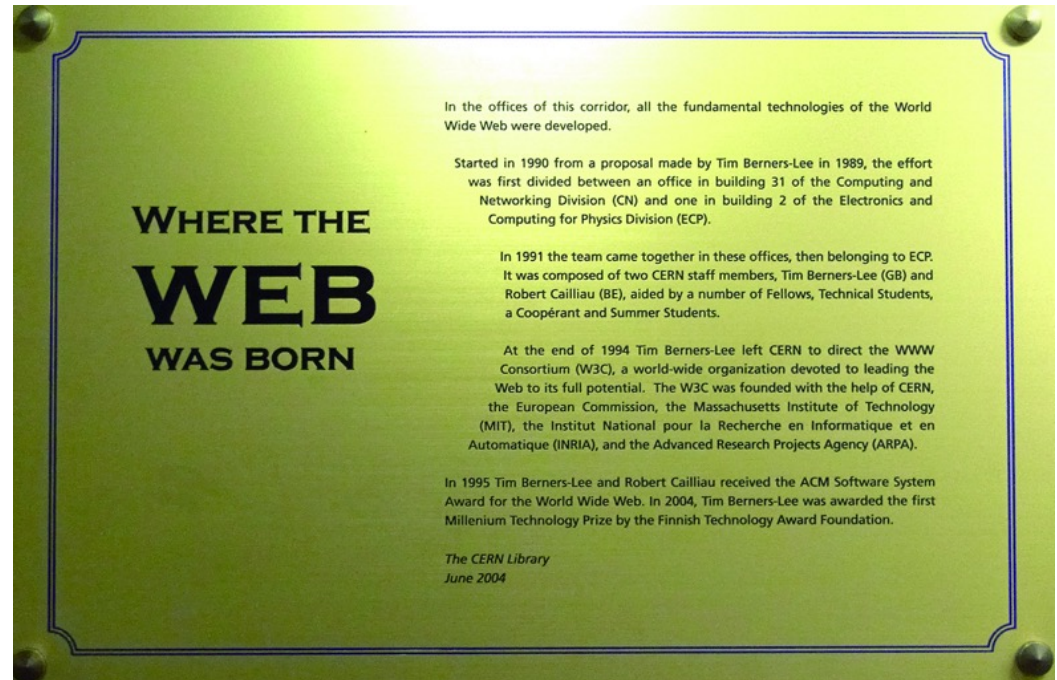
- Nella ricerca di base è difficile prevedere quali saranno le applicazioni di una nuova scoperta
 - Spesso un'applicazione si scopre molti anni dopo !
- Sviluppo di elettronica innovativa, nuovi materiali, software avanzato



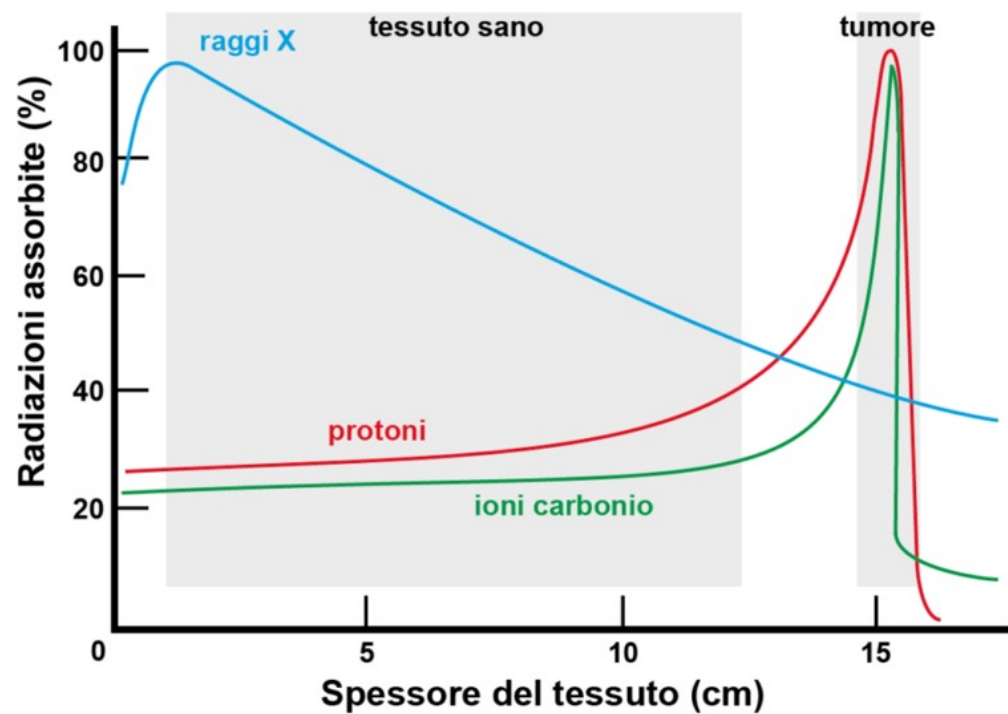
Invenzione del **touch screen** al CERN



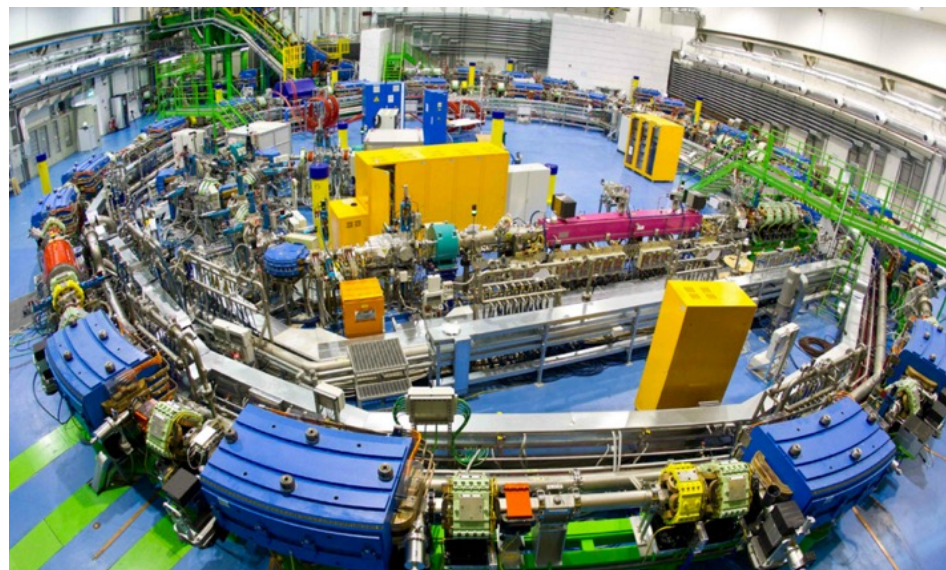
Invenzione del **WWW** al CERN



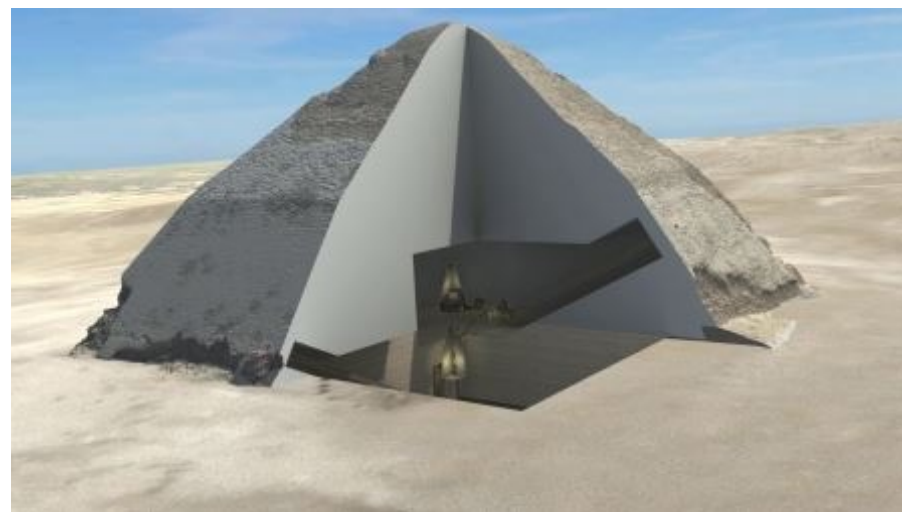
Energia rilasciata in funzione dello spessore attraversato



Acceleratore per **adroterapia** al CNAO di Pavia



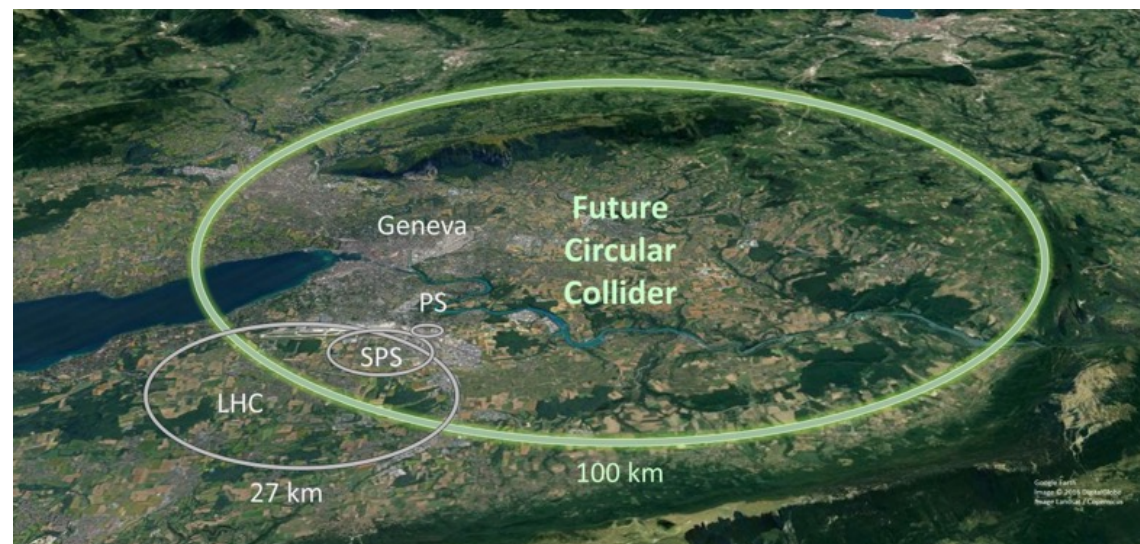
PET



Muografie

E nel futuro ?

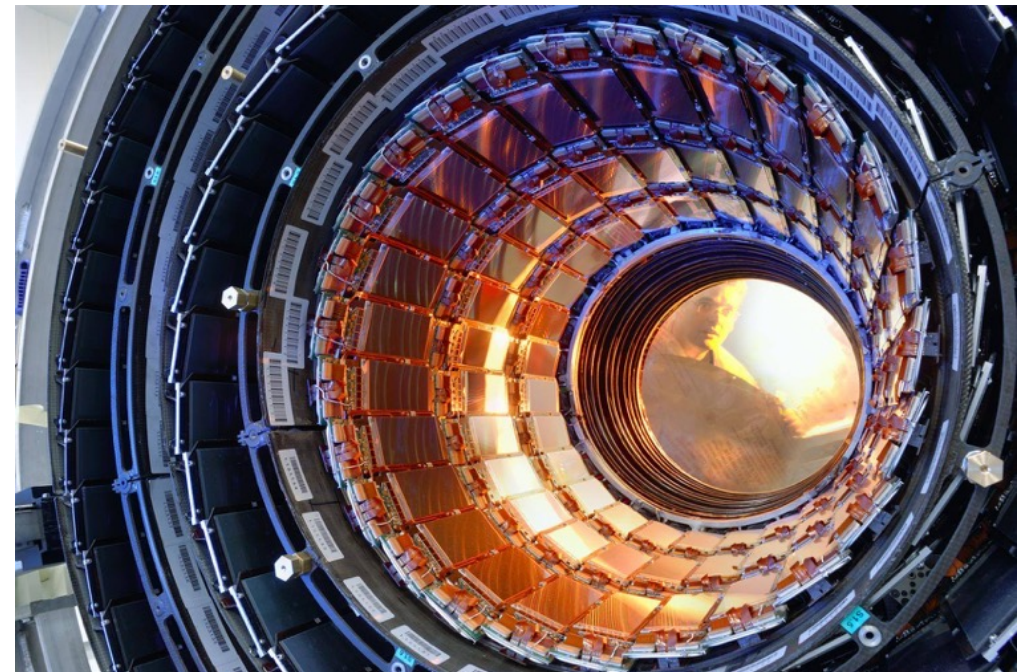
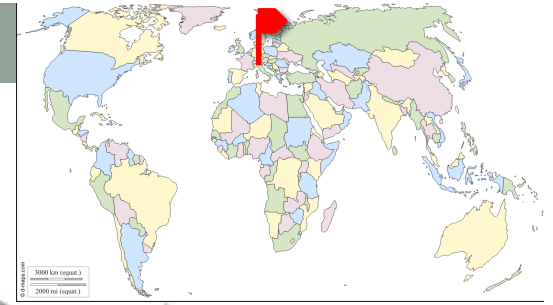
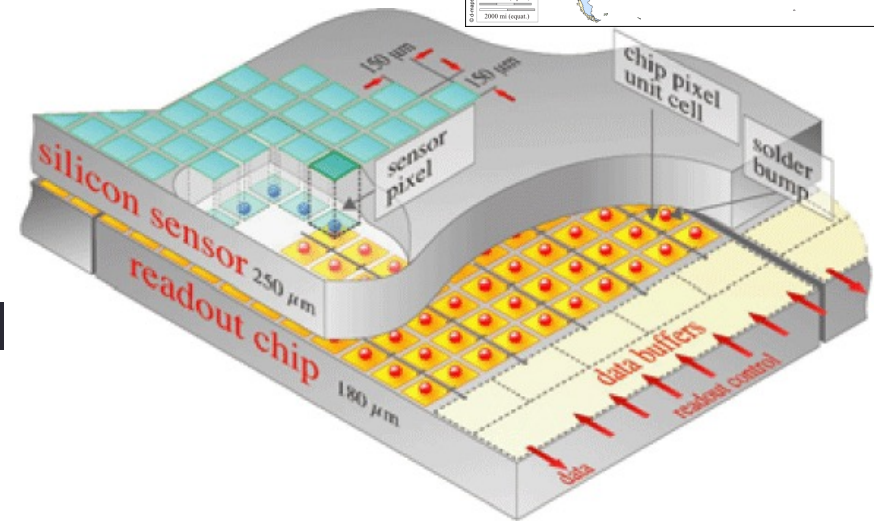
- Al momento non si rivela nessun chiaro segnale di Nuova Fisica oltre al Modello Standard....
- Gli sforzi proseguono in varie direzioni
 - Esperimenti agli acceleratori
 - Esperimenti con raggi cosmici, a Terra e su satellite
- LHC è ha ripreso a prendere dati a un'energia mai raggiunta... chissà che presto non ci siano novità!!
- Ma si pensa già agli acceleratori e rivelatori del futuro



BACKUP

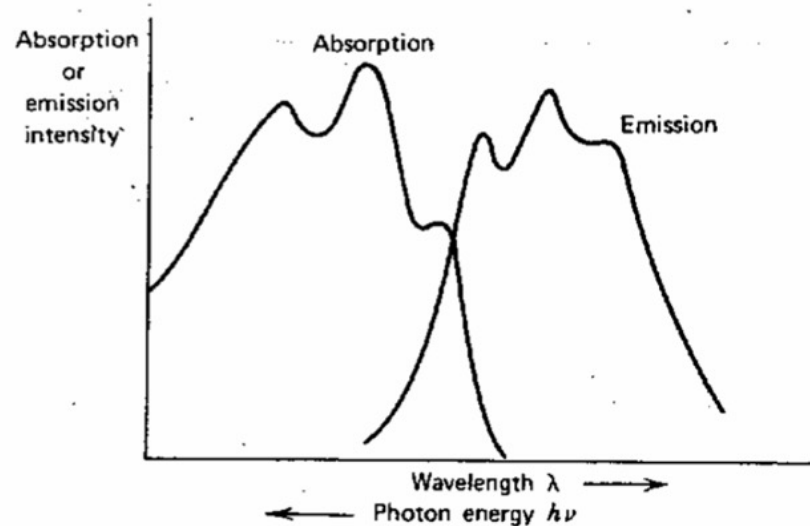
Rivelatori al Silicio

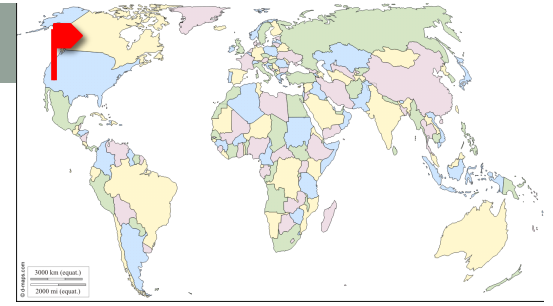
- Una particella carica incidente crea coppie elettrone-lacuna nel cristallo di Silicio
 - Raccolta degli elettroni e amplificazione del segnale
 - Ricostruzione della traccia della particella
 - Misura dell'impulso dalla curvatura della traccia



Scintillatori organici

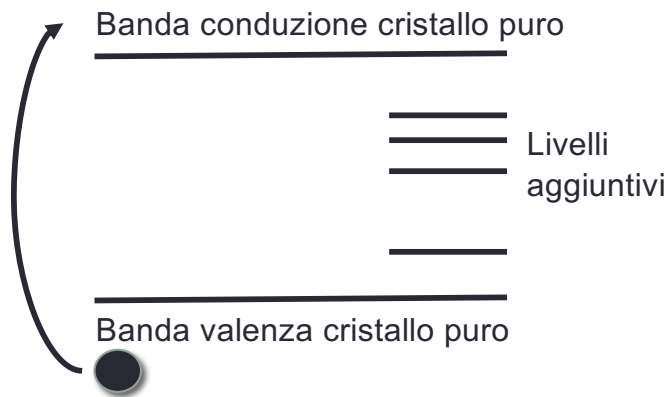
- Alcuni materiali organici (per es. plastici), quando vengono attraversati da una particella, emettono luce
 - Eccitazione ad un livello energetico superiore
 - Ri-emissione con frequenza inferiore
 - I materiali risultano trasparenti alla luce emessa
 - Meccanismo di fluorescenza o fosforescenza a seconda dei livelli energetici interessati

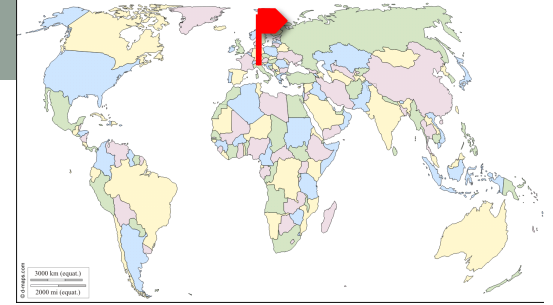




Scintillatori inorganici

- Anche alcuni materiali inorganici si possono usare in maniera simile
 - Meccanismo molto diverso
 - Eccitazione di un elettrone da banda di valenza a banda di conduzione
 - Diseccitazione dell'elettrone ed emissione di fotoni con frequenza inferiore grazie a impurezze (drogaggio)
- Es. NaI(Tl)





Ricerche di “Nuova Fisica”

- Ricerca di deviazioni dal Modello Standard ad ampio spettro !
- Sia effetti diretti, sia effetti indiretti
- Esempio: ricerca di particelle che decadono in coppie top-antitop
 - non esistono nel Modello Standard
 - Previste in altre teorie, per es con extra dimensioni dello spazio-tempo

