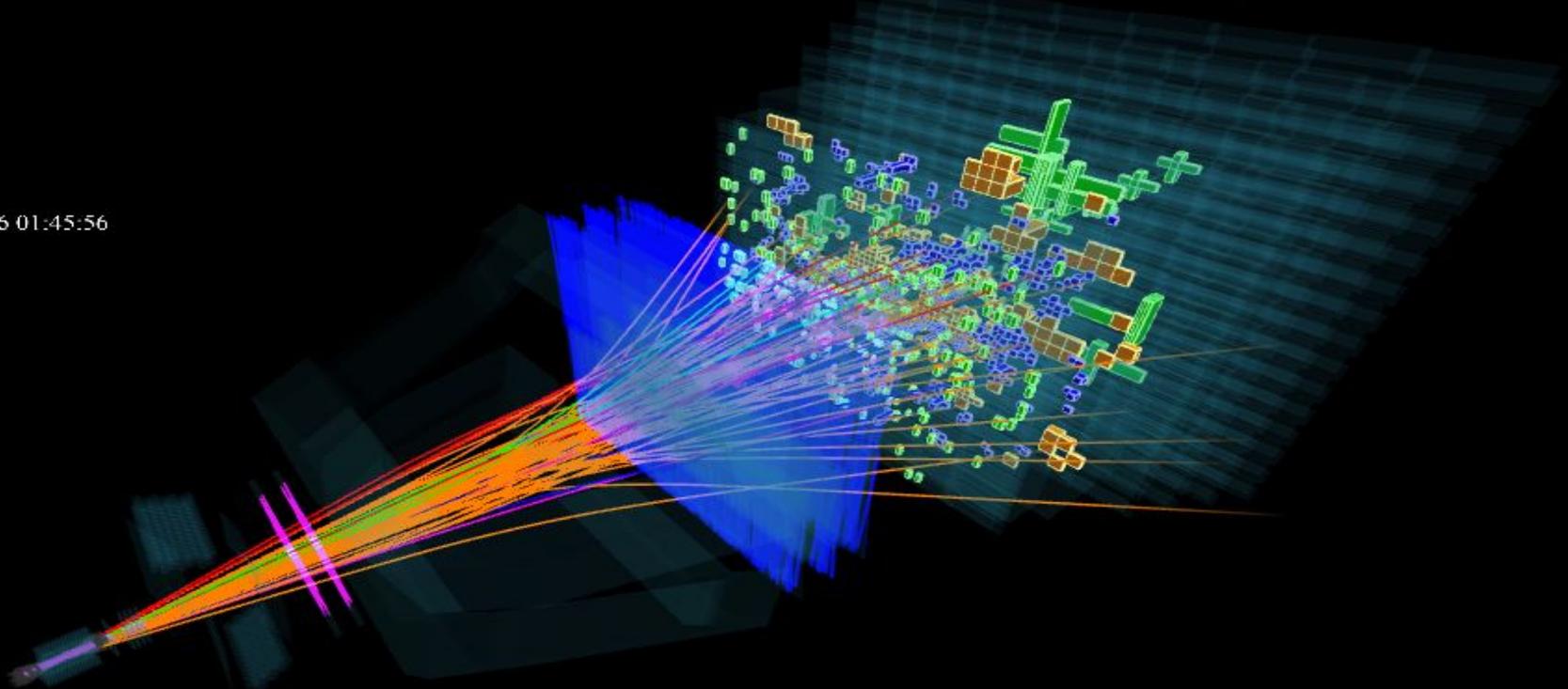


Acceleratori e Rivelatori di Particelle

Event 74374790
Run 173768
Mon, 09 May 2016 01:45:56



INFN Masterclass 2025

Cosa studiamo?

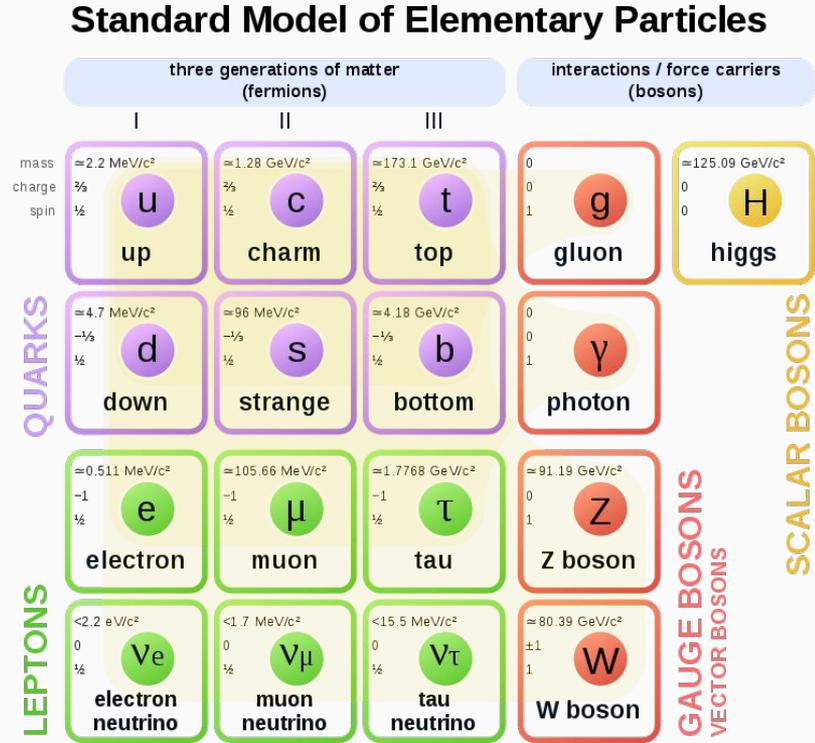
La materia che ci circonda è composta di **particelle elementari**

Le particelle elementari sono soggette a **4 interazioni fondamentali** che descrivono tutti i fenomeni esistenti in natura

Il **Modello Standard** è la teoria fisica che descrive queste interazioni (eccetto la gravità) e tutte le particelle elementari ad esse collegate

Restano ancora **molte domande**:

1. Cos'è successo negli istanti dopo il Big Bang?
2. Cosa sono la Materia Oscura e l'Energia Oscura?
3. E molte altre ...



Come studiamo le particelle elementari della materia e le interazioni fondamentali?

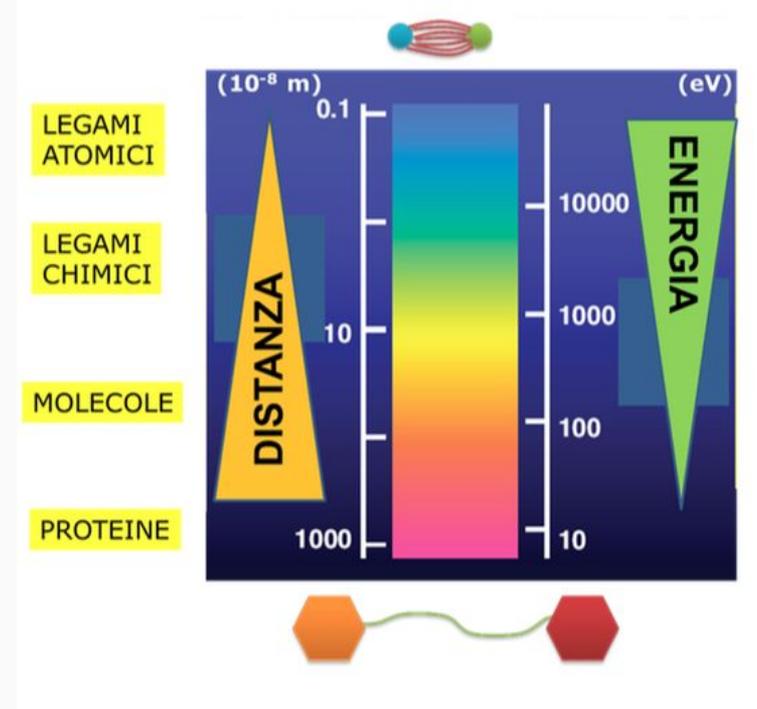
Come osserviamo oggetti piccoli?

De Broglie (1924): possiamo considerare le particelle come “onde di materia” (**dualismo onda-particella**)

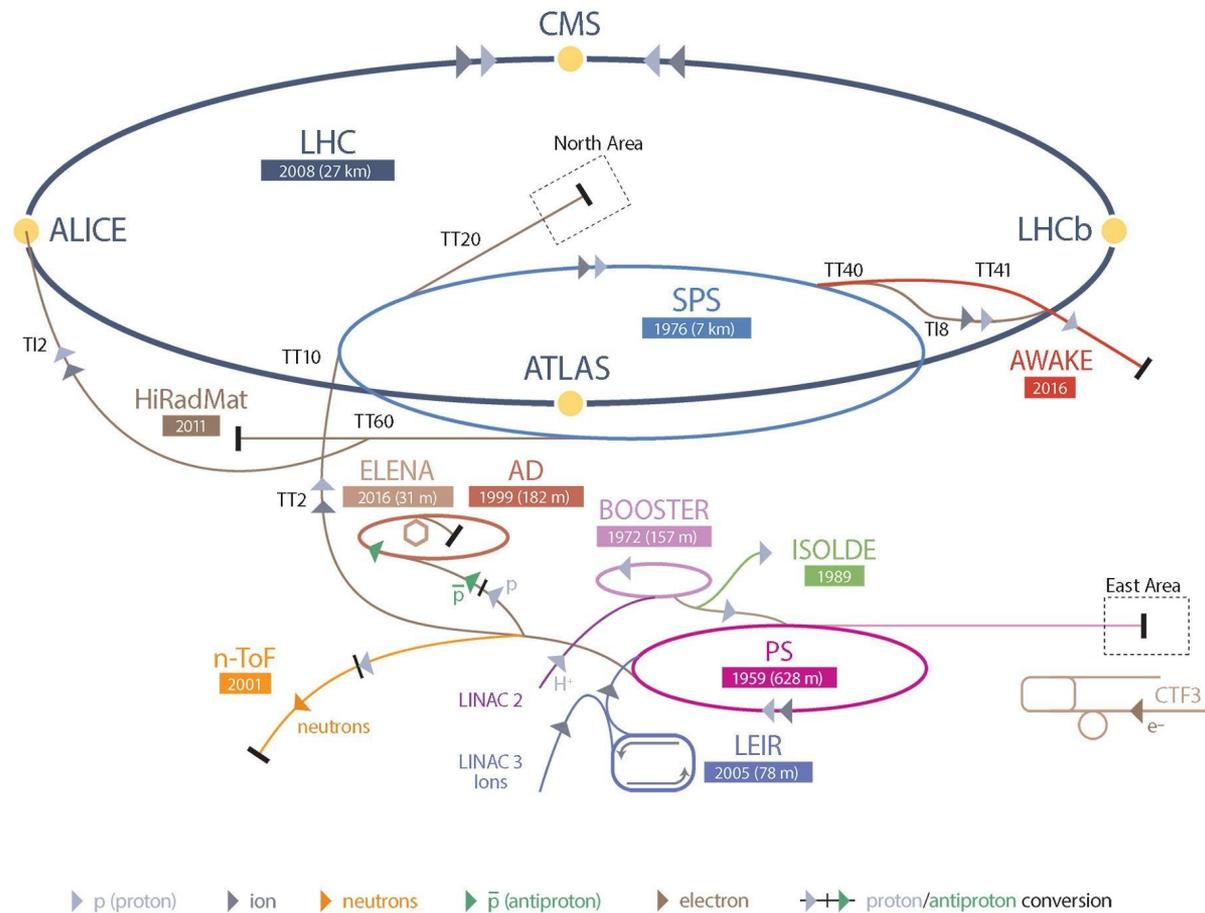
Lunghezza d'onda $\lambda = h/p$ (h costante di Planck, p quantità di moto)

Possiamo utilizzare le particelle come **sonde**

Acceleratori di particelle (variando p varia anche λ)



CERN's Accelerator Complex



Acceleratori di particelle

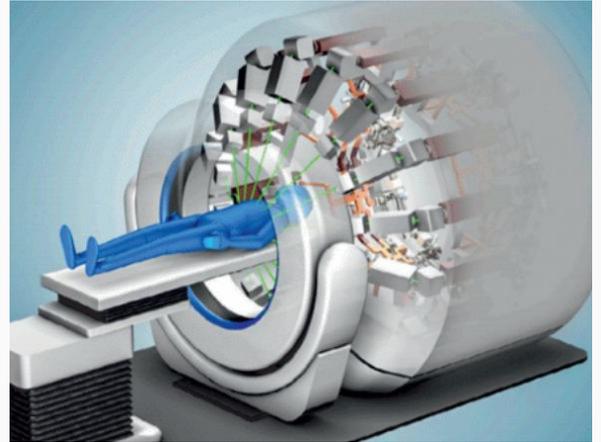
Un acceleratore di particelle è una macchina in grado di **accelerare fasci di ioni o particelle subatomiche ad "elevata" energia cinetica.**

Molteplici utilizzi:

- **60% industriali:** impiantazione ioni, sterilizzazione
- **35% medici:** adroterapia, produzione isotopi
- **5% ricerca:** materiali, particelle

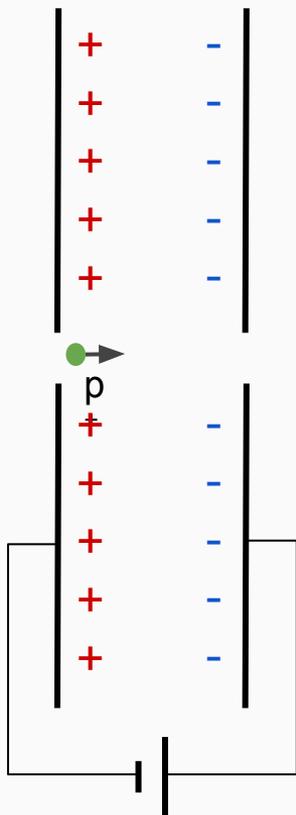
Possiamo capirne il funzionamento grazie ad un'unica formula:

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



Acceleratori elettrostatici

La sorgente di protoni è una bombola di idrogeno!



Sorgente di **particelle cariche**

Le particelle vengono iniettate tra le armature di un **condensatore**

Il **campo elettrostatico** genera una forza su una particella carica pari:

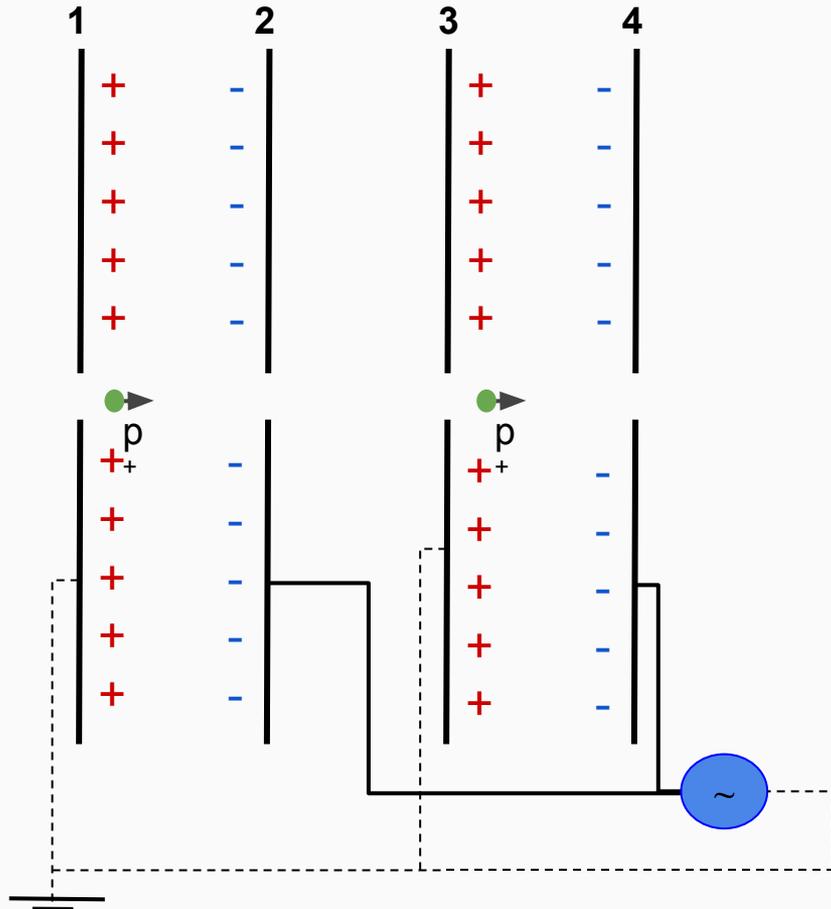
$$\mathbf{F} = e\mathbf{E}$$

L'**energia** guadagnata da un elettrone è:

$$\int_0^l \mathbf{F} d\mathbf{x} = e \int_0^l \mathbf{E} d\mathbf{x} = e\Delta V$$

Se misuriamo la carica in 'elettroni' l'energia ha le dimensioni di: elettroni * Volt = [eV]

Acceleratori elettrostatici



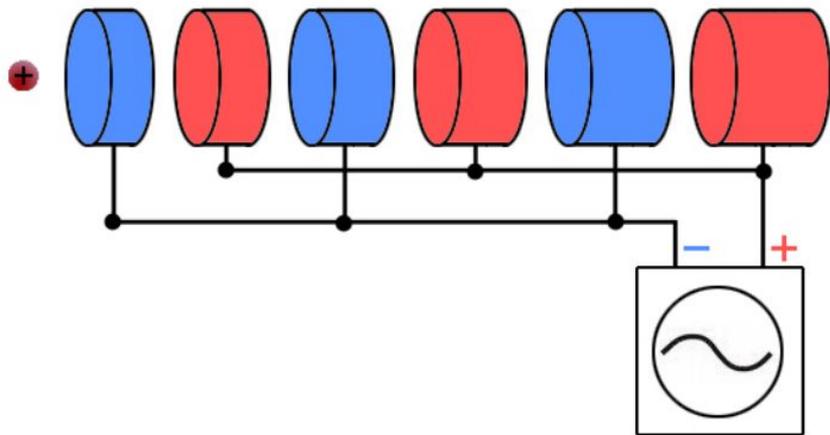
Il conduttore viene caricato con **tensione alternata**, generando un campo elettrico

Il tempo impiegato da un protone per muoversi tra due piastre **dipende dalla sua velocità**

Maggiore è la velocità delle particelle, più le piastre saranno lontane, più sarà **grande** l'acceleratore

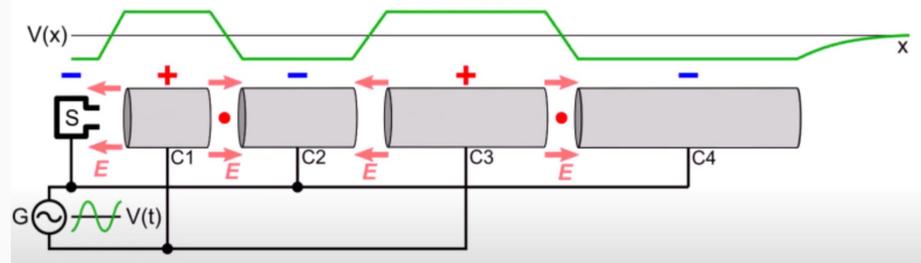
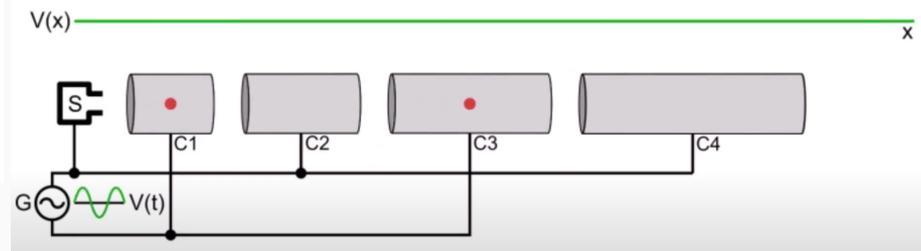
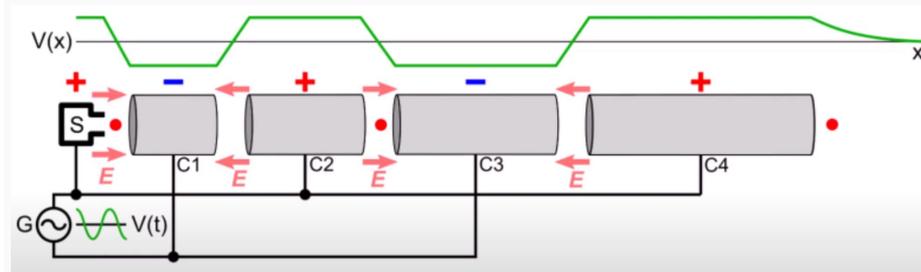
LINAC2: 50 MeV

Acceleratori elettromagnetici



I protoni vengono accelerati in **pacchetti** (“bunch”)

Ogni pacchetto contiene 10^{11} p^+



Dipoli magnetici

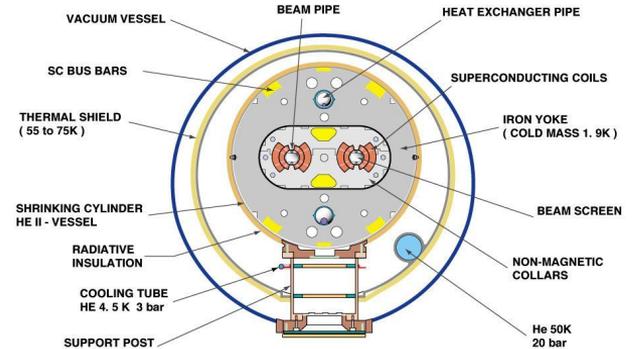
1.600 magneti superconduttori in lega di niobio e titanio

Raffreddati alla temperatura di **1,9 °K** (-271,25 °C) da elio liquido superfluido

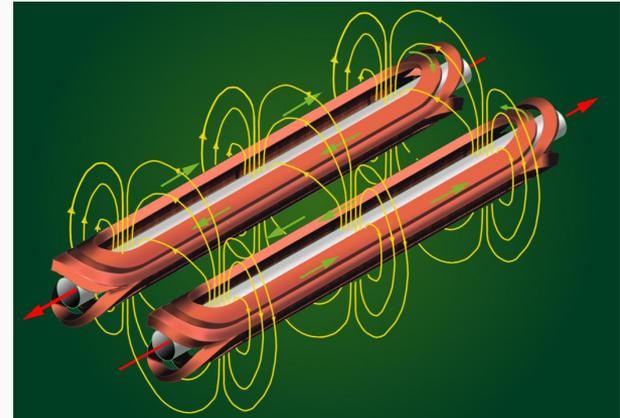
Campo magnetico di **8.38 T** è il limite della tecnologia esistente fissa le dimensioni/energia dell'acceleratore

Consumo di LHC annuo **~600 GWh**

CROSS SECTION OF LHC DIPOLE



CERN AC_HE107A_V02/02/98



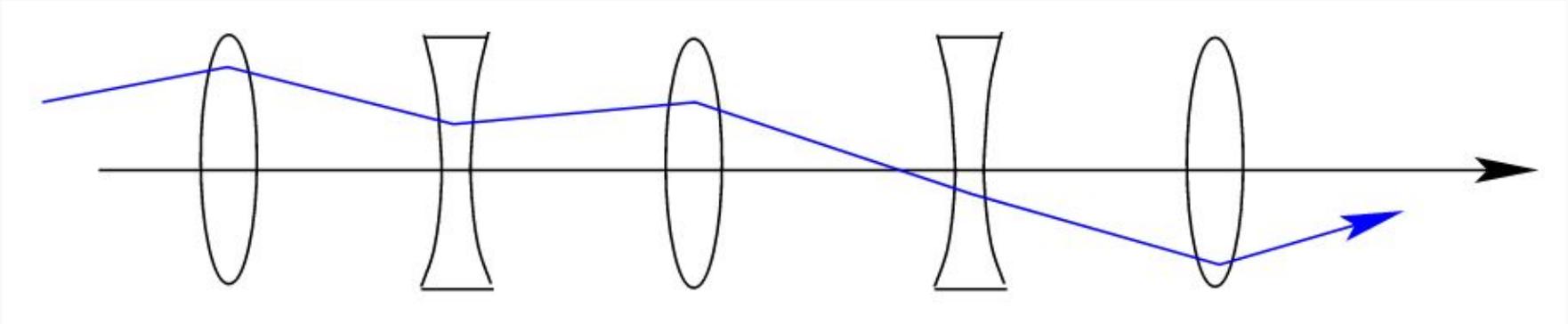
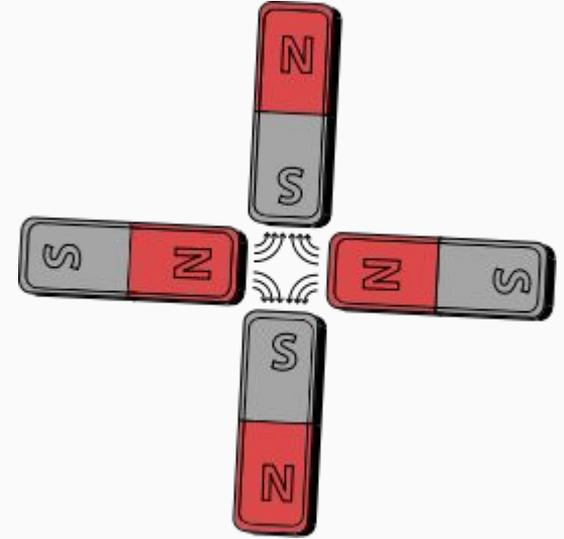
Quadrupoli magnetici

I bunch di protoni tendono ad aprirsi per via della **repulsione elettromagnetica** tra i protoni stessi

Dobbiamo **focalizzare** i fasci!

Uso dei quadrupoli magnetici:

- “**schiacciano**” il bunch in una direzione
- “**allargano**” il bunch nella direzione opposta



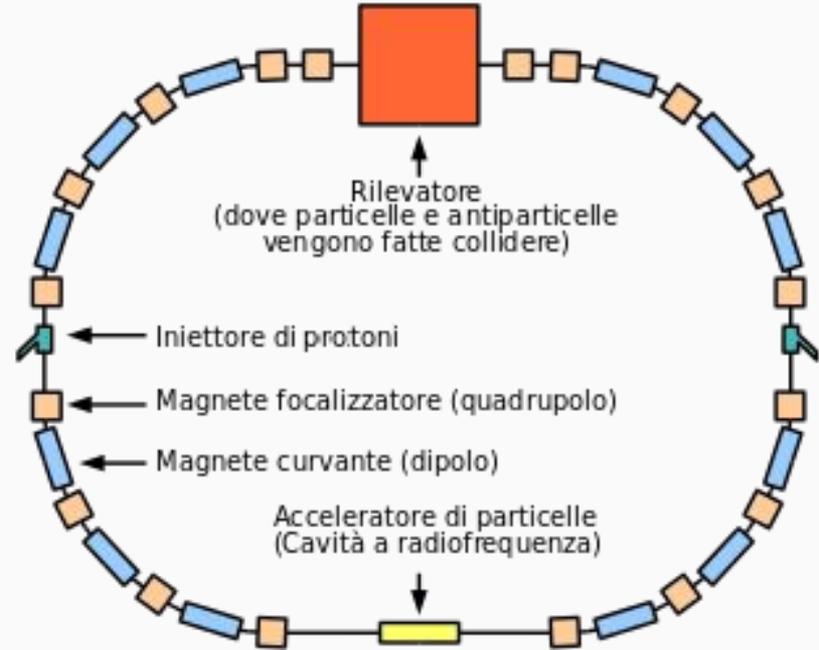
Sincrotroni

I **sincrotroni** sono acceleratori di particelle circolari e ciclici

Il **campo magnetico** e il **campo elettrico** sono sincronizzati con il fascio delle particelle

Possono accelerare **elettroni** o **protoni**

LHC : 7 TeV



Cavità a radiofrequenza

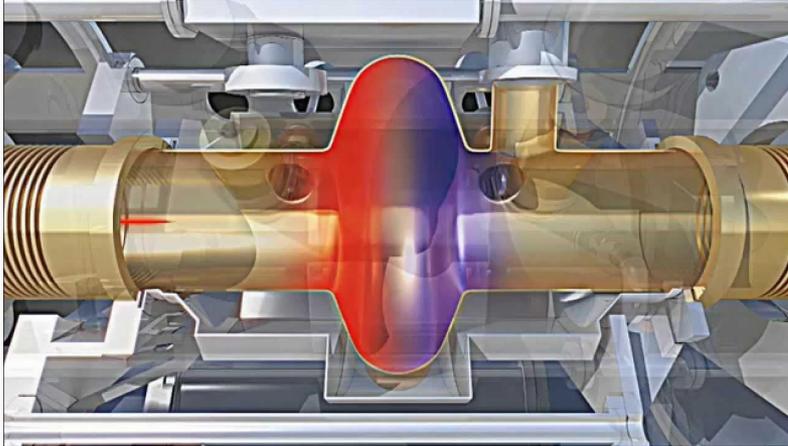


Cavità risonanti a radio frequenza (**400 MHz**)

Genero potenziali elettrici di **2 MV** per cavità

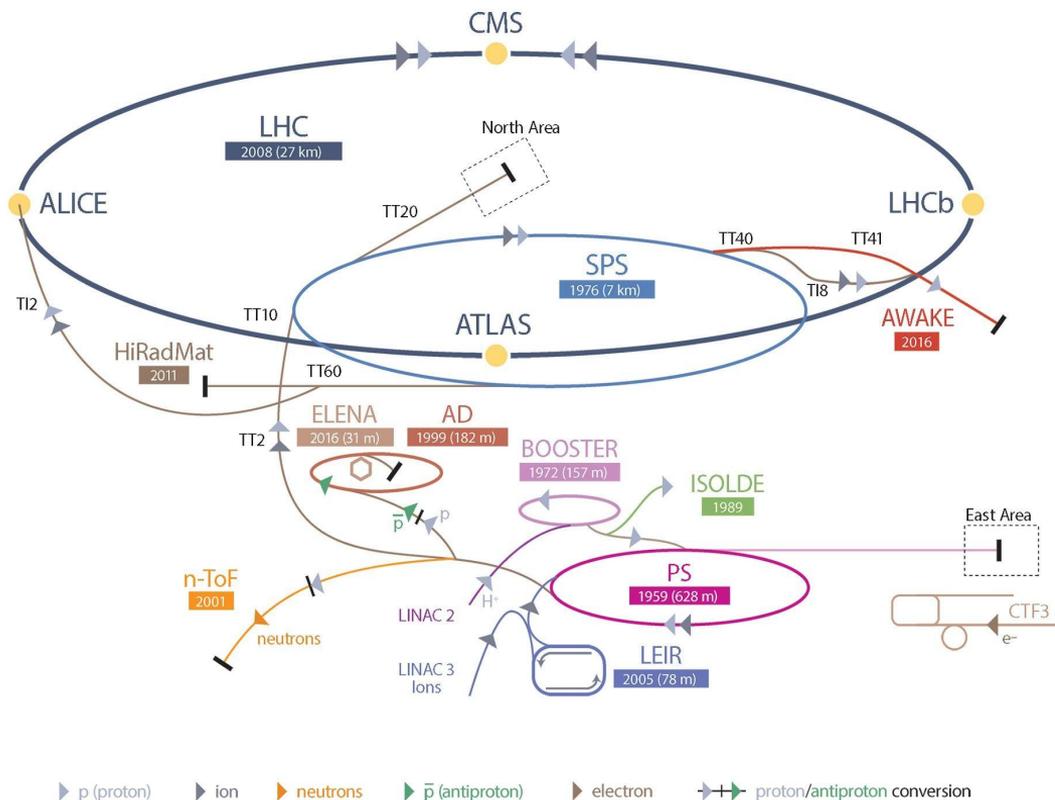
LHC ha 8 cavità per fascio

16 MV orbita



Quali sono le energie in gioco?

CERN's Accelerator Complex



BOOSTER

50 MeV - 1.45 GeV

Proton Synchrotron (PS)

1.45 GeV - 5.9 GeV Super Proton

Super Proton Synchrotron (SPS)

5.9 GeV - 450 GeV

Large Hadron Collider (LHC)

450 GeV - 13 TeV

Come studiamo le collisioni ad alta energia?

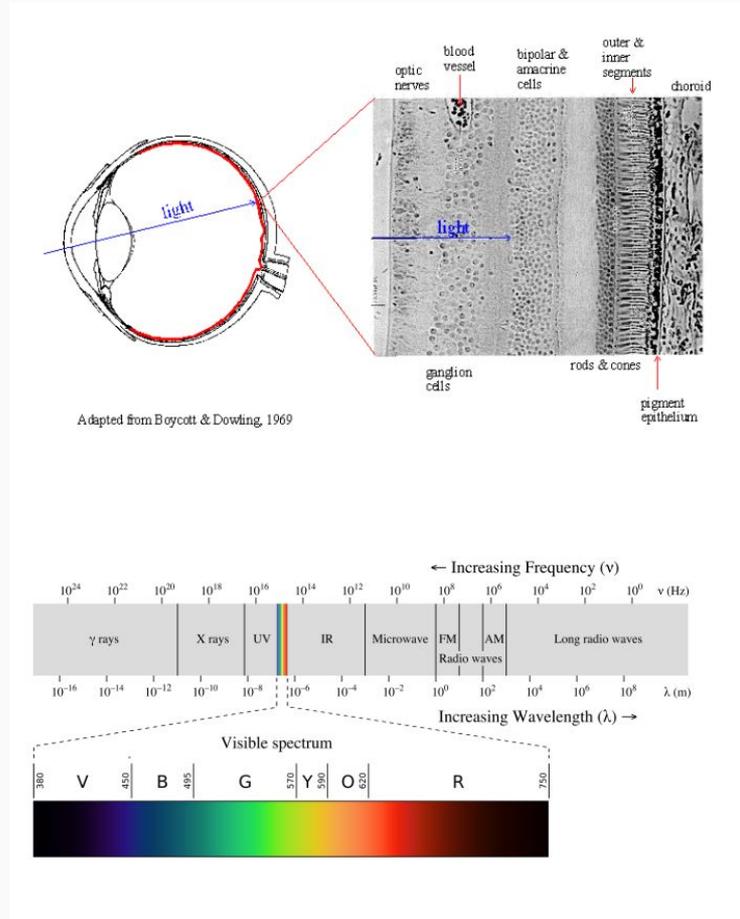
Rilevatori di particelle

Un **rivelatore di particelle** è uno strumento usato per rivelare, tracciare e identificare particelle

Ogni particella ha un suo modo caratteristico di **interagire con la materia** che attraversa

I rivelatori di particelle sono strumenti che producono un **segnale osservabile** quando il loro elemento attivo viene colpito dalla particella

Il segnale può essere direttamente osservabile oppure può necessitare di un'ulteriore elaborazione da parte di un sistema di lettura

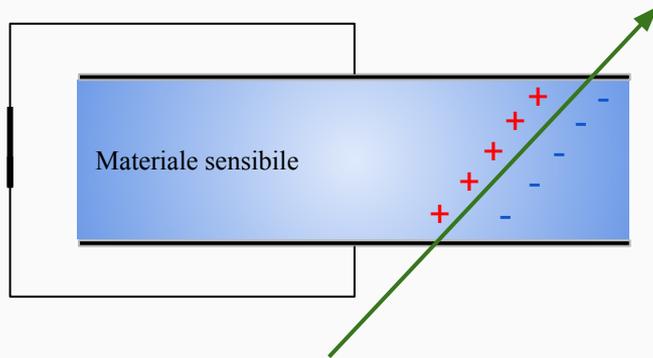


Principi di funzionamento di un rivelatore

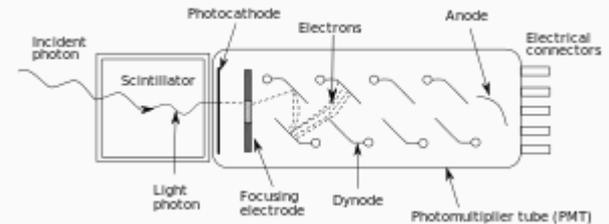
Misuriamo:

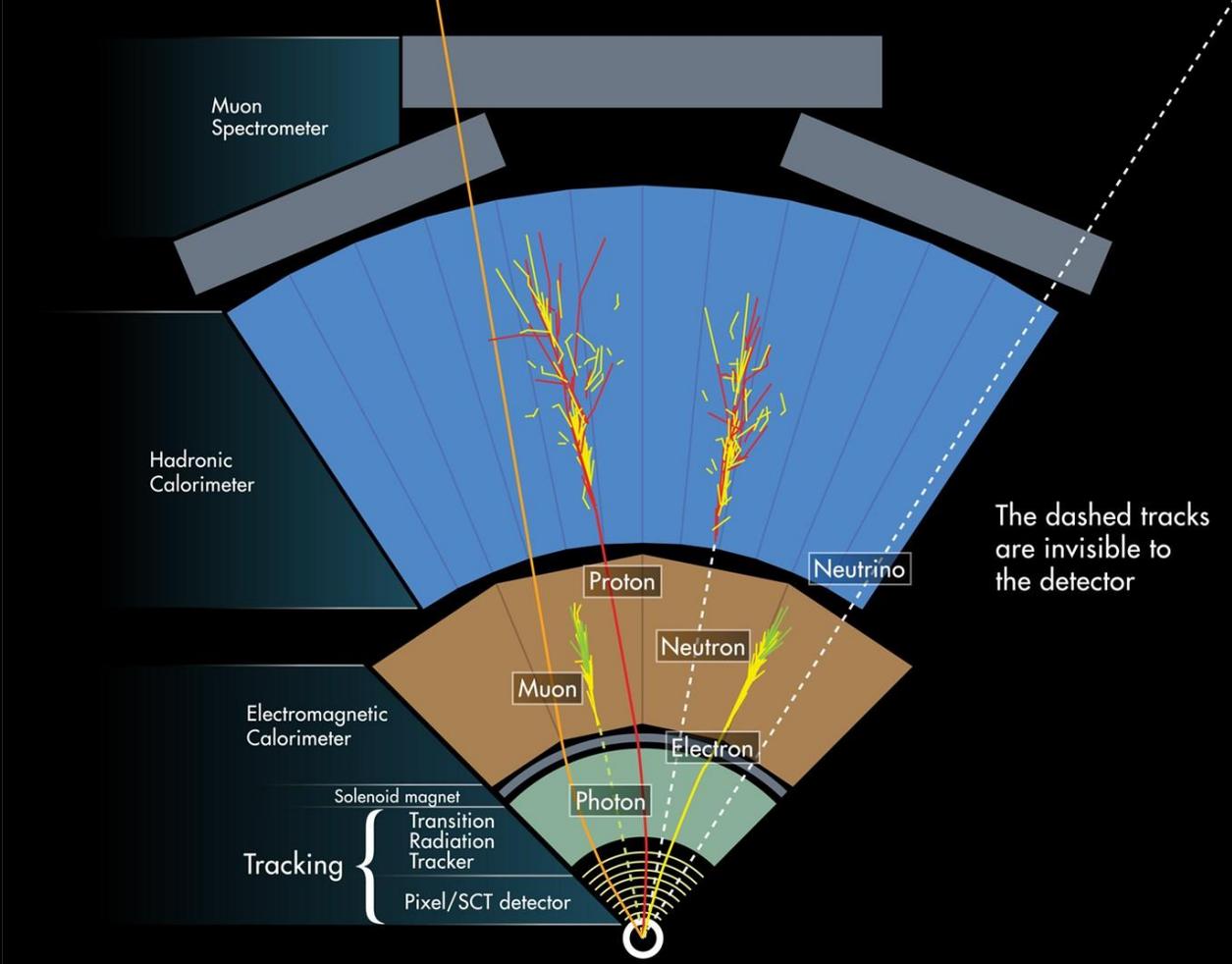
- La **posizione** di una particella
 - Tracciatori
- L'**energia** della particella
 - Calorimetri

Ionizzazione
(genero/raccolgo cariche elettriche)



Scintillazione
(genero luce che converto in una carica elettrica)





Tracciatori

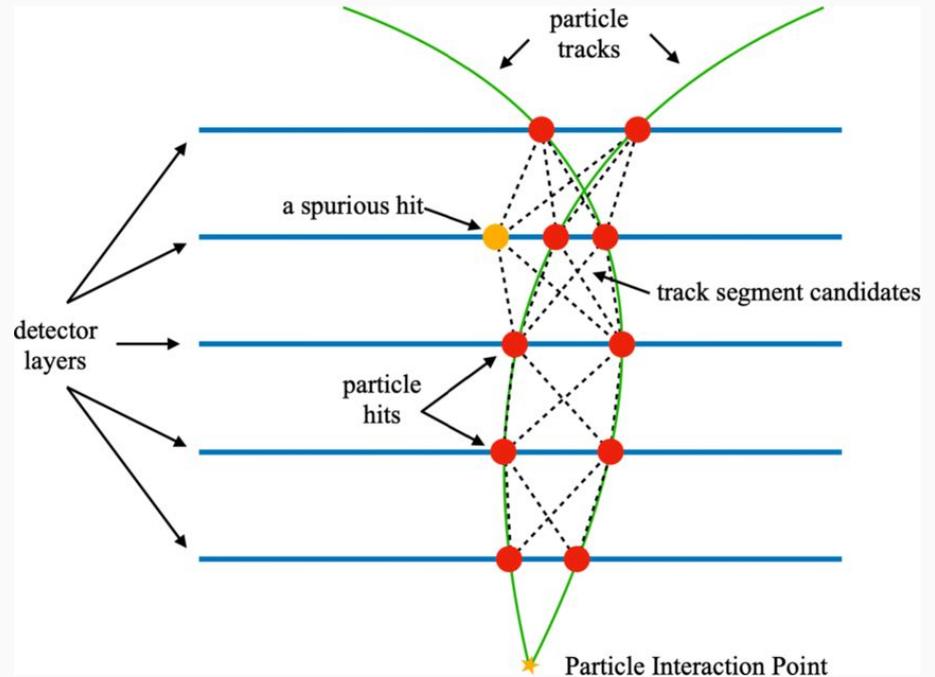
I tracciatori hanno il compito di **ricostruire il percorso** (traiettoria) compiuto dalle particelle cariche

Se i tracciatori sono posizionati in un campo magnetico, si possono misurare anche la **carica e l'impulso** (o quantità di moto) delle particelle:

$$R = \frac{m_p v}{q B}$$

Il tracciatore ideale ricostruisce il percorso di migliaia di particelle con:

- alta **precisione spaziale** (~ μm)
- alta **precisione temporale** (~ 30 – 40 ps)



Calorimetro

Le **interazioni tra le particelle ed il rivelatore diventano** dominanti

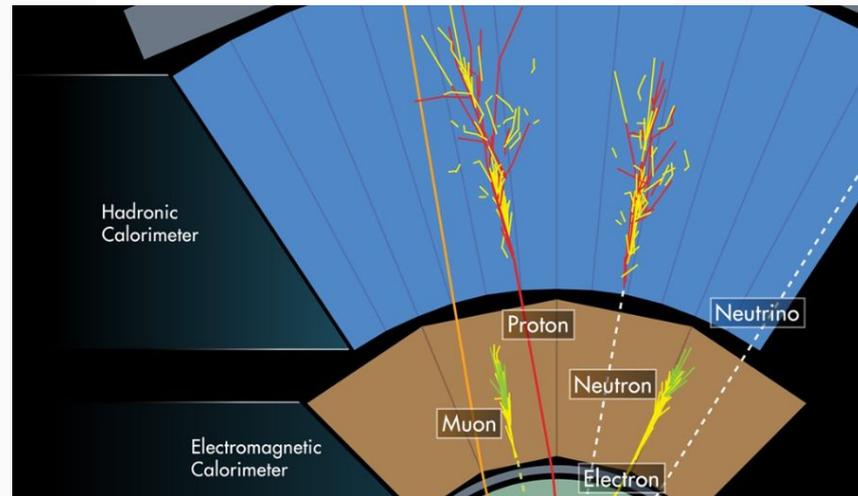
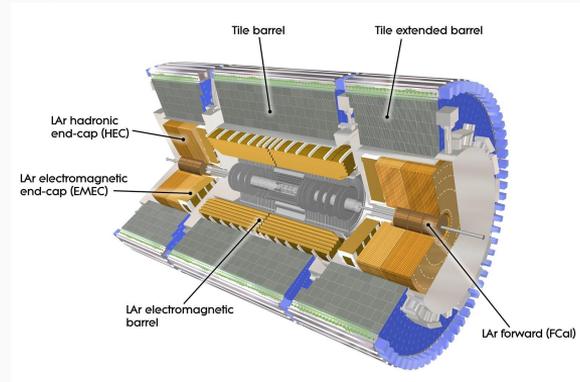
- producono delle particelle secondarie
- queste a loro volta producono secondari

Ho uno sciame:

- **sciame elettromagnetico** (elettroni, fotoni)
- **sciame adronici** (protoni, neutroni, ...)

Larghezza, lunghezza e forma della sciame dipendono dalla particella che le ha originate

Misuriamo l'energia dello sciame con un **calorimetro**



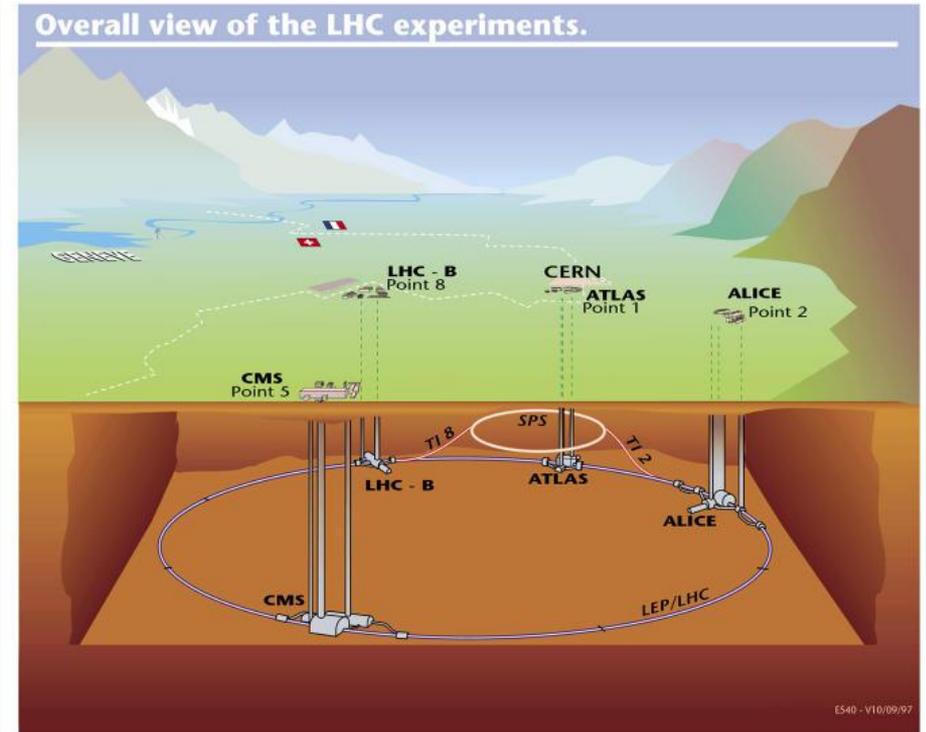
Rivelatori di particelle ad LHC

Ci sono **4 principali rivelatori di particelle** che operano lungo l'anello di LHC:

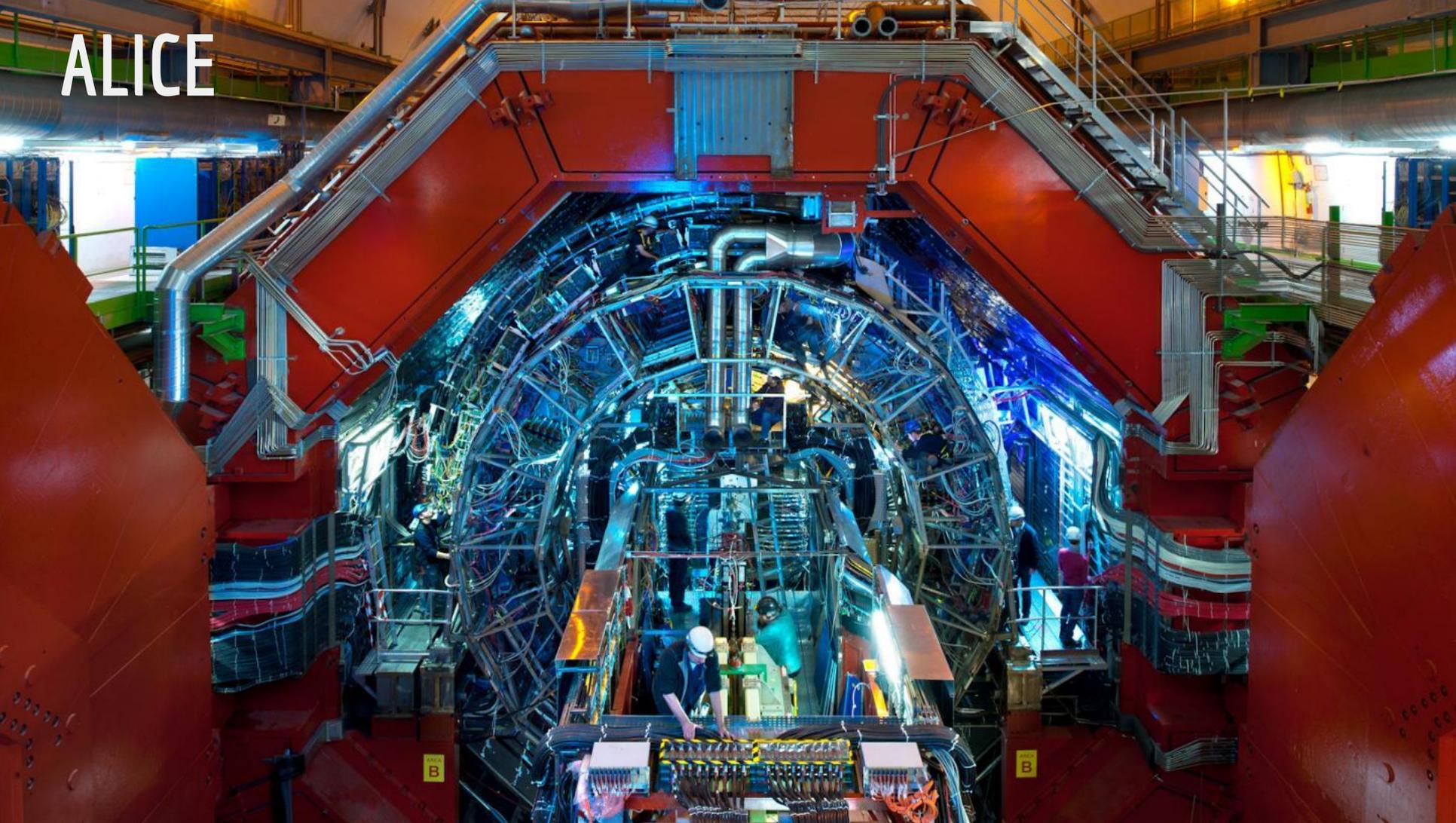
- **ALICE** (A Large Ion Collider Experiment)
- **ATLAS** (A Toroidal LHC Apparatus)
- **CMS** (Compact Muon Solenoid)
- **LHCb** (LHC beauty)

Si trovano nei 4 punti di interazione

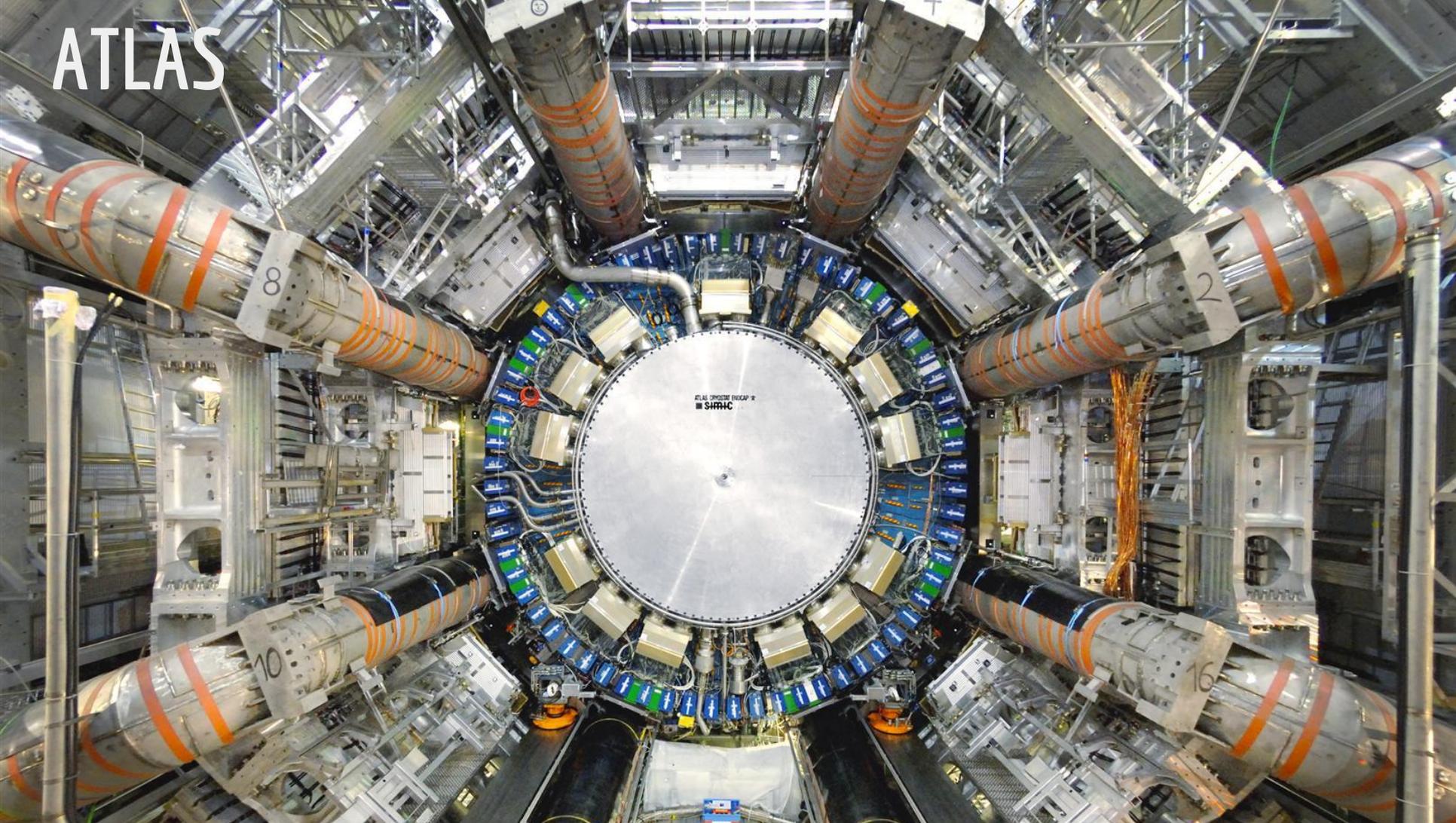
I rivelatori sono molto diversi tra loro e sono ottimizzati per studiare specifici processi



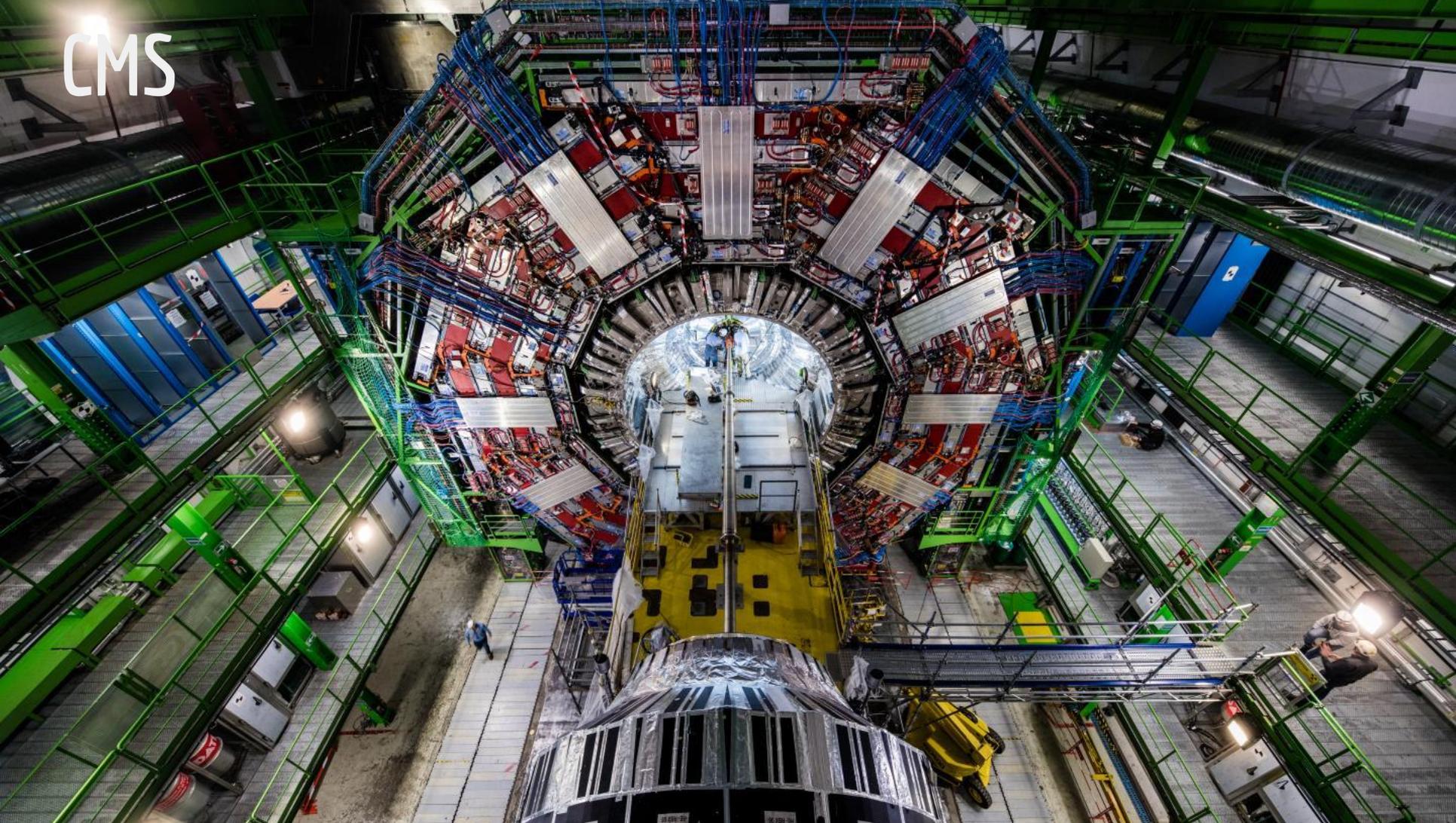
ALICE



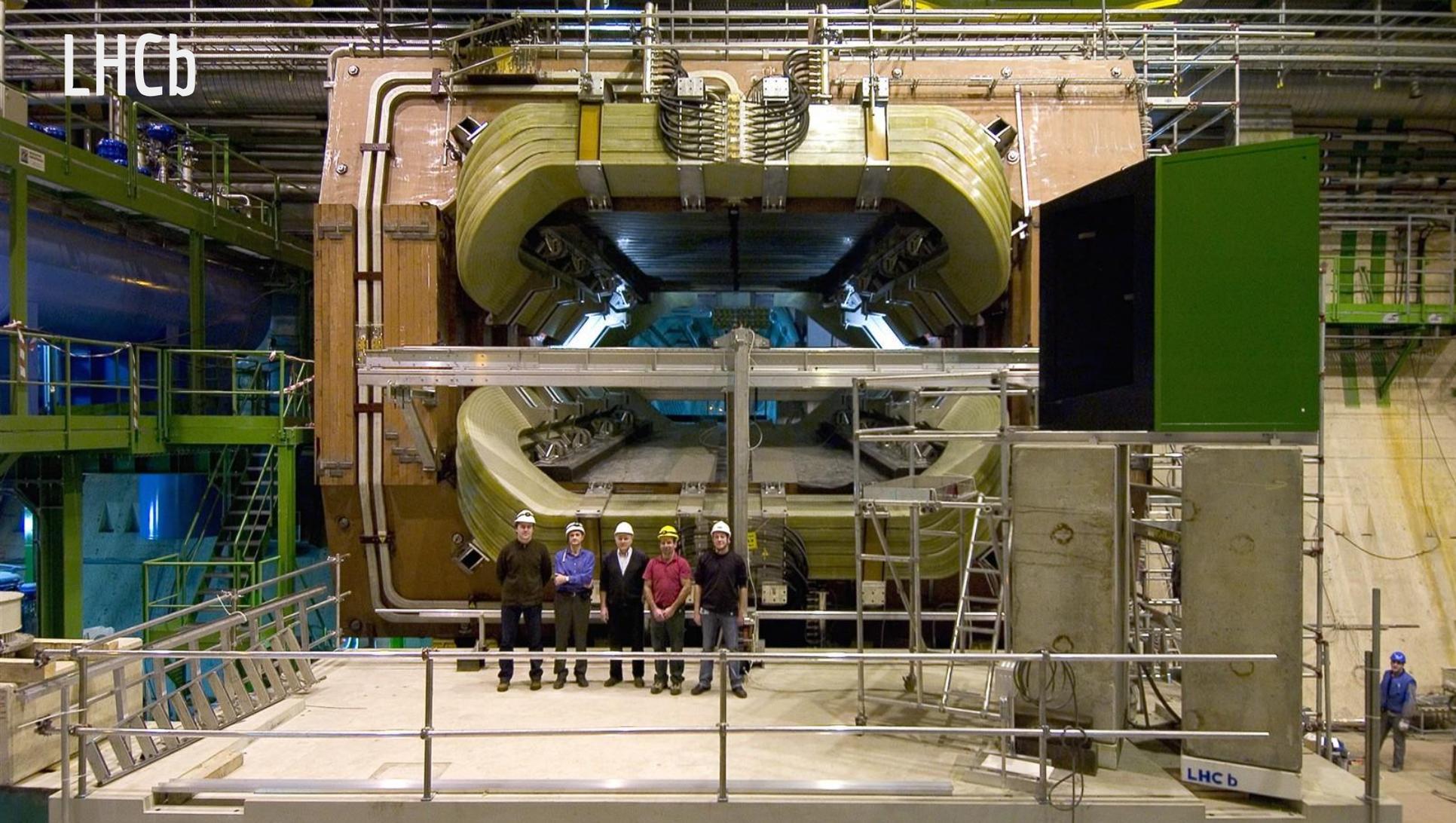
ATLAS



CMS



LHCb



LHCb

Grazie per l'attenzione

Event 74374790

Run 173768

Mon, 09 May 2016 01:45:56

