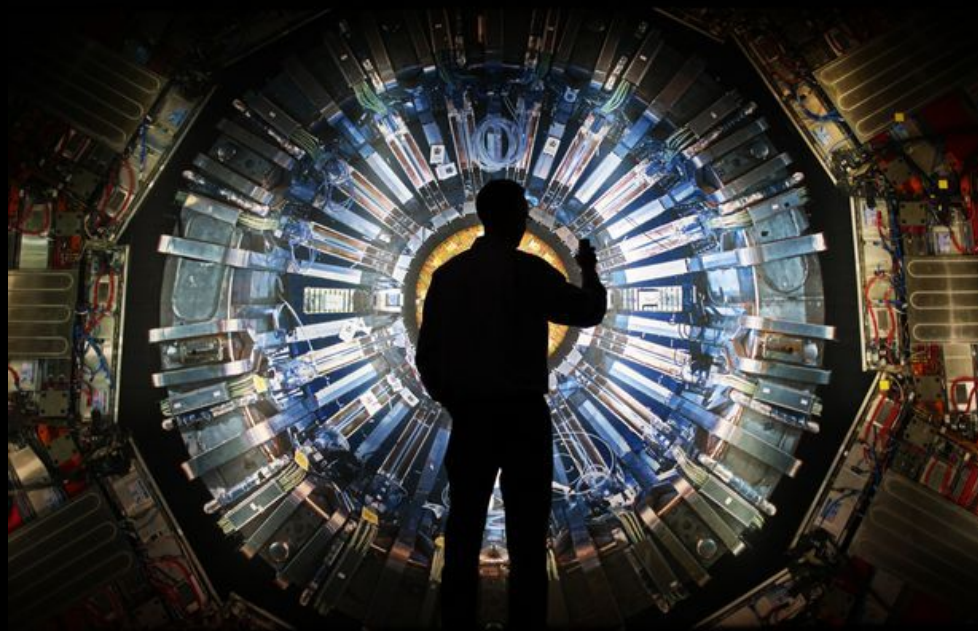


CMS @ CERN:

fotografi potentissimi

e come usarli



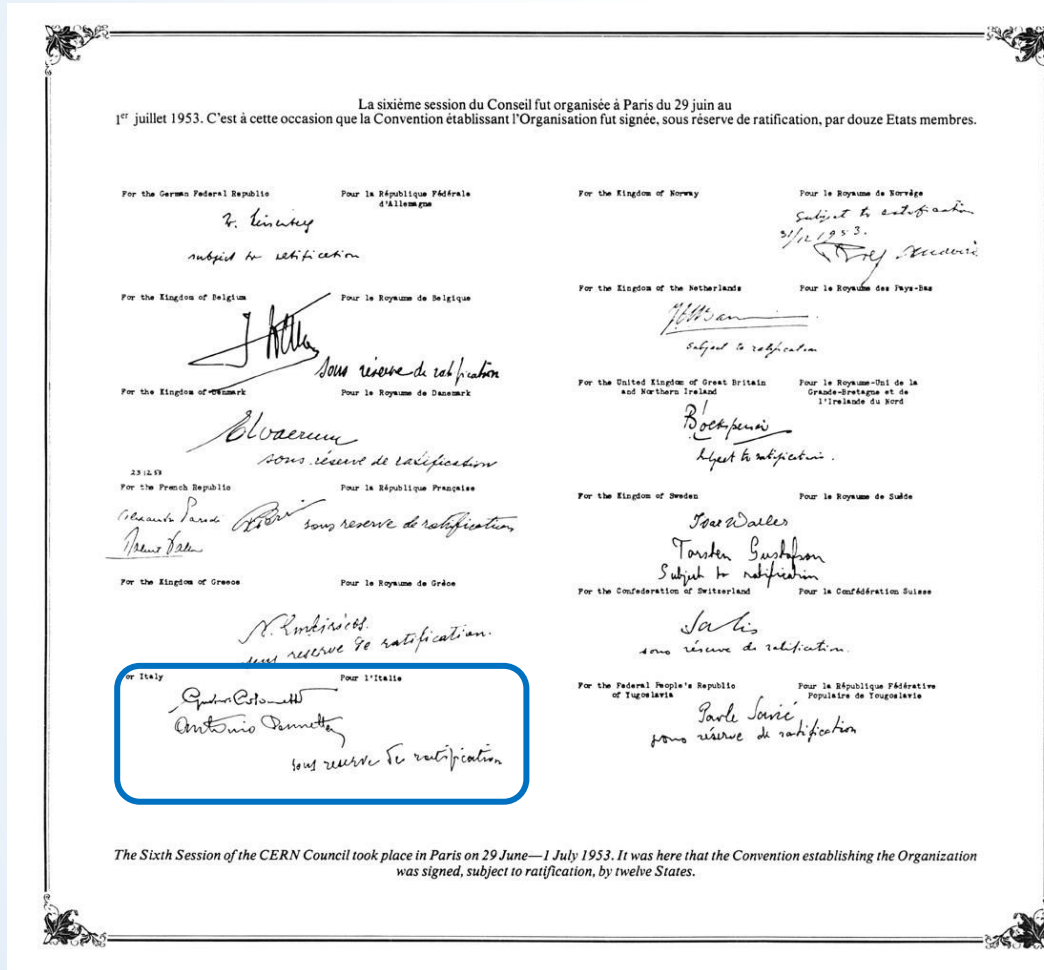
Raffaella Tramontano
International day of Women in Science
02-11-2021



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

II CERN:

Nel 1954 12 paesi europei, tra cui **l'Italia**, costituiscono il CERN
(organizzazione europea per la ricerca nucleare)



Il CERN:



L'Italia contribuisce per circa il 12% al budget del laboratorio.

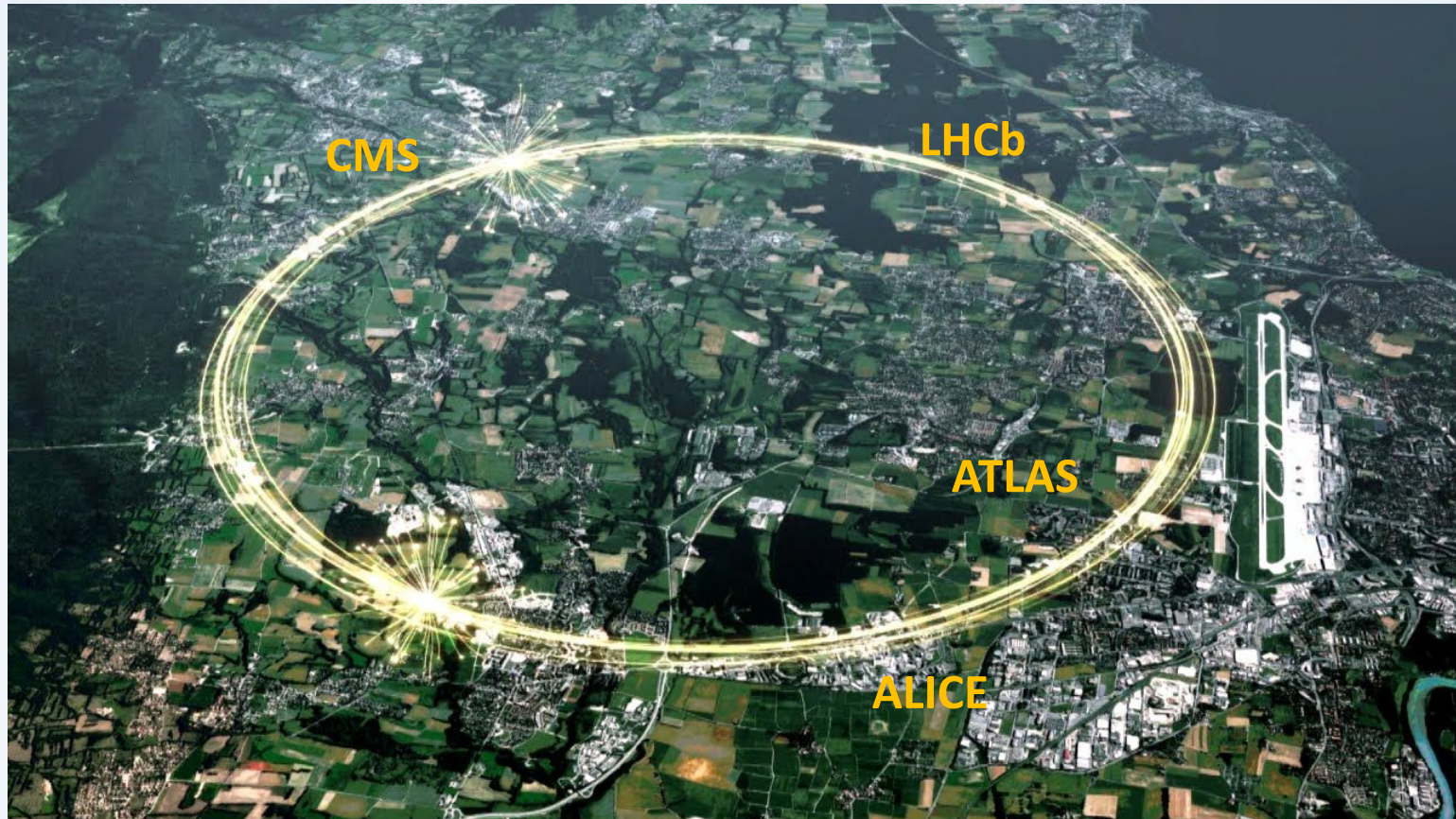
**Quattro sono stati i direttori Italiani del CERN:
Edoardo Amaldi, Carlo Rubbia, Luciano Maiani e
Fabiola Gianotti**

Oggi gli stati membri sono
23.

Ogni paese contribuisce in
base al PIL



Il Large Hadron Collider:

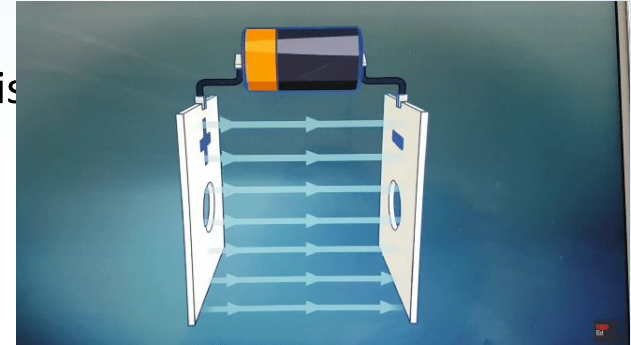


- Anello di 27 Km in circonferenza
- A 100 m di profondità;
- Due fasci di protoni a velocità prossime a quella della luce si scontrano in 4 punti

LHC: come accelerare

- Come accelerare una particella carica:
 - Una particella di carica q in un campo elettrico E subisce

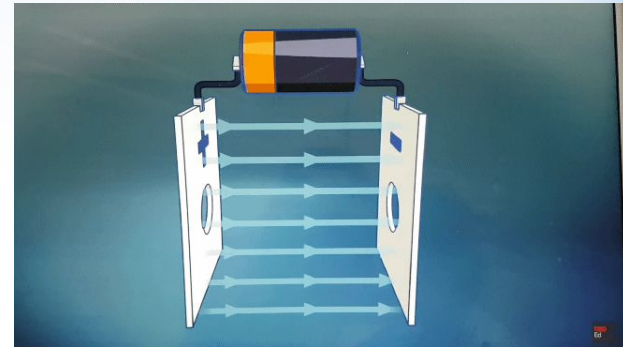
$$F = m \cdot a \rightarrow m \cdot a = E \cdot q \rightarrow a = \frac{E \cdot q}{m}$$



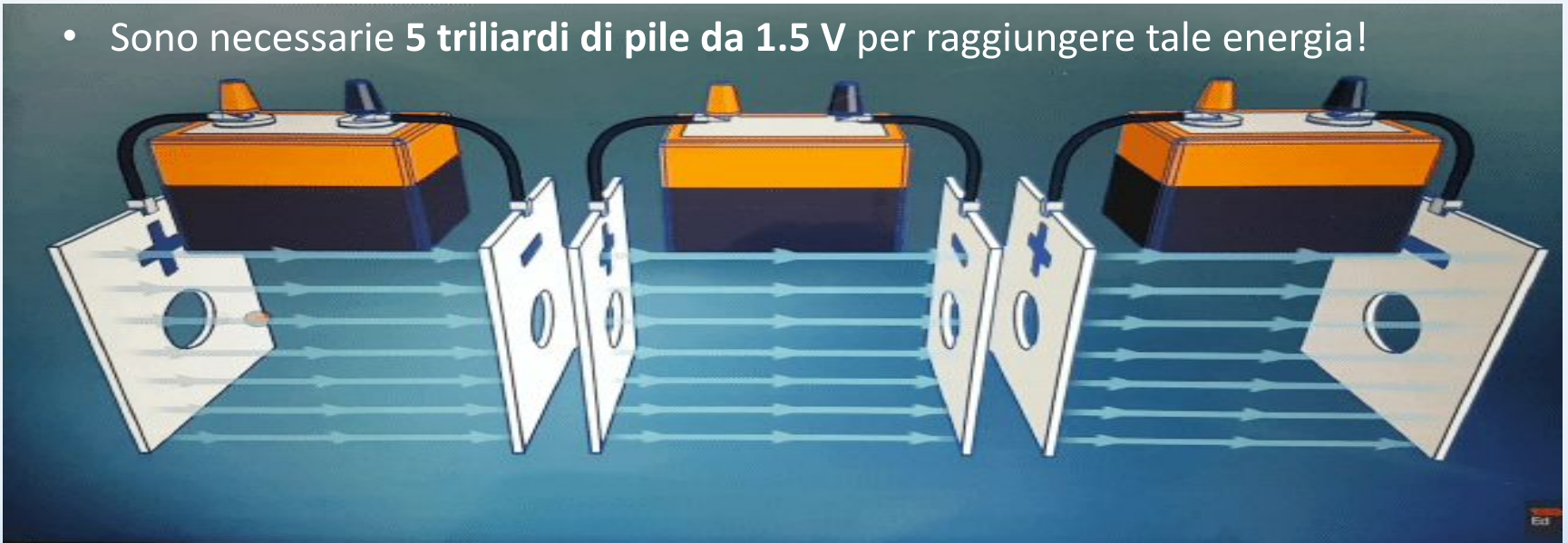
- I protoni ad LHC sono accelerati fino ad un'energia di $7 \text{ TeV} = 7 \cdot 10^9 \text{ eV}$
- Sono necessarie 5 triliardi di pile da 1.5 V per raggiungere tale energia!

LHC: come accelerare

- Come accelerare una particella carica:
 - Una particella di carica q in un campo elettrico E subisce una forza $F = Eq$
- $F = m \cdot a \rightarrow m \cdot a = E \cdot q \rightarrow a = \frac{E \cdot q}{m}$
- I protoni ad LHC sono accelerati fino ad un'energia di $7 \text{ TeV} = 7 \cdot 10^9 \text{ eV}$

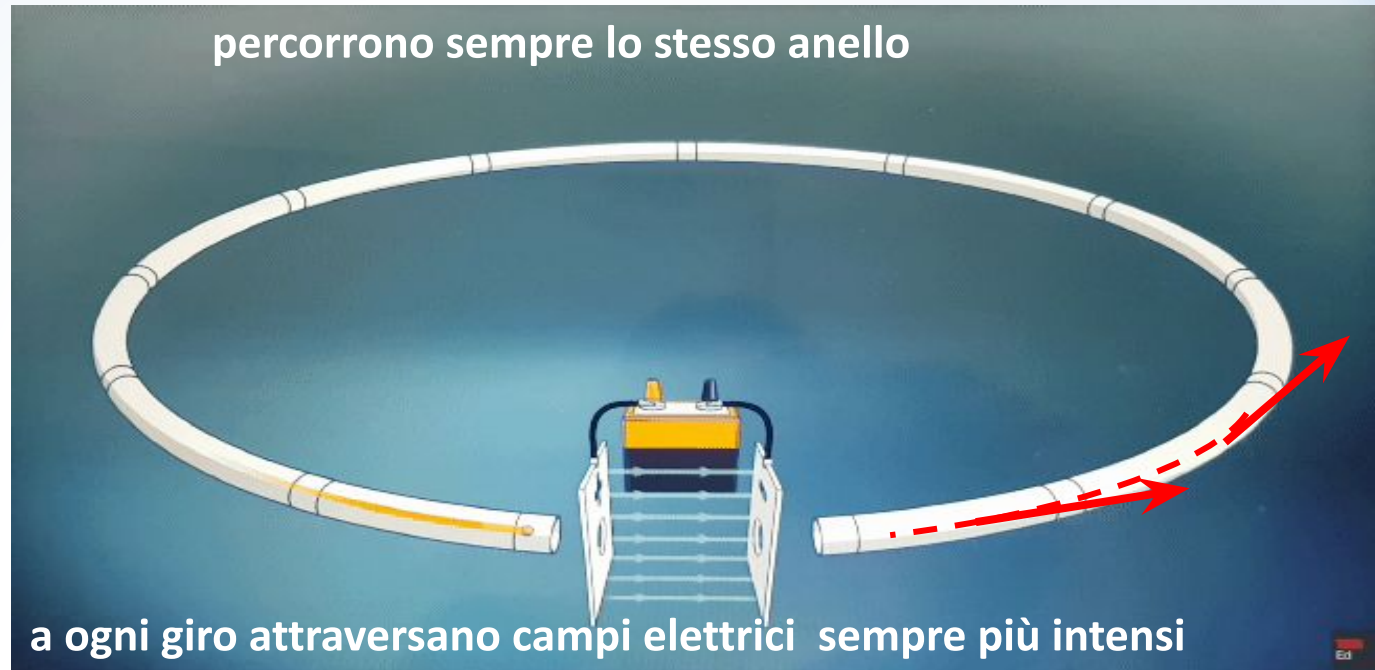


- Sono necessarie **5 triliardi di pile da 1.5 V** per raggiungere tale energia!



LHC: come accelerare in curva

- Accelerare lungo una circonferenza:



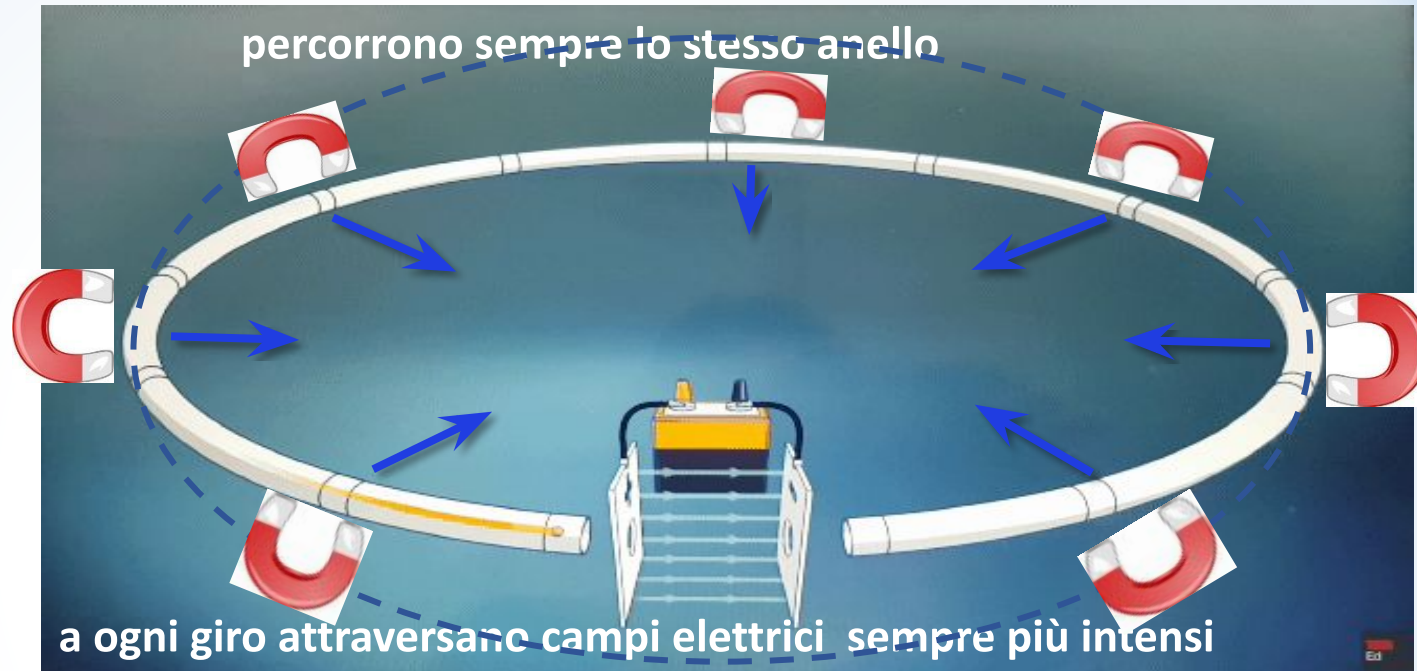
- Le particelle

- Tra una pila e l'altra, la particella non è soggetta ad alcuna forza:
per il **primo principio della dinamica** dovrebbe proseguire in **moto rettilineo!**

LHC: come accelerare in curva

- Accelerare lungo una circonferenza:

- Le particelle



- Tra una pila e l'altra, la particella non è soggetta ad alcuna forza:
per il **primo principio della dinamica** dovrebbe proseguire in **moto rettilineo!**

un **campo magnetico** agisce su una particella carica in moto con la

forza di Lorentz $\vec{F} = q \cdot \vec{B} \times \vec{v}$, modificandone la direzione
può essere usato per mantenere le particelle in traiettoria circolare!

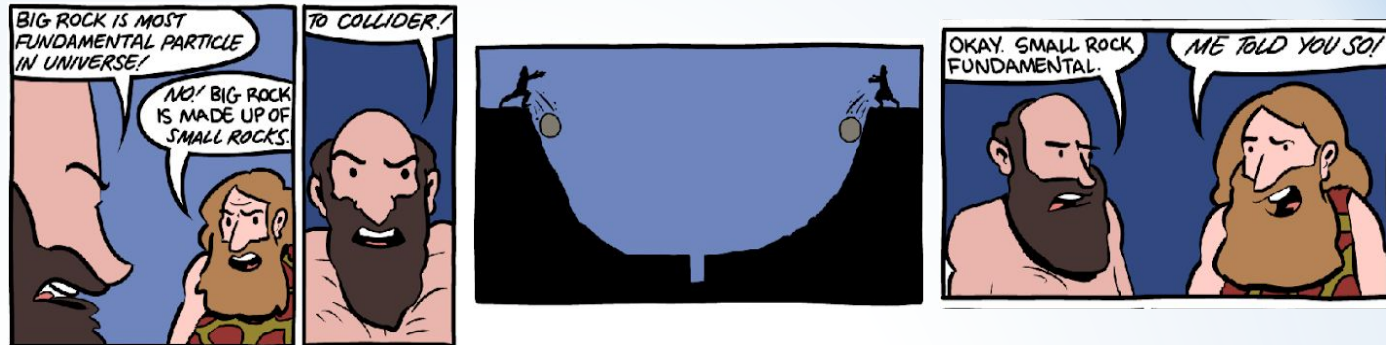
LHC: due fasci in collisione

- Da un'idea tutta italiana:



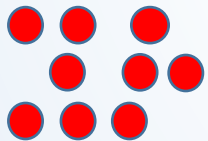
Le collisioni a LHC:

- Cosa si impara da una collisione:



- Ad LHC i protoni ad alta energia si “scompongono” nei loro componenti fondamentali, i quark
- I quark interagiscono nelle collisioni formando particelle diverse dai protoni di origine!

protoni con $v \sim c$



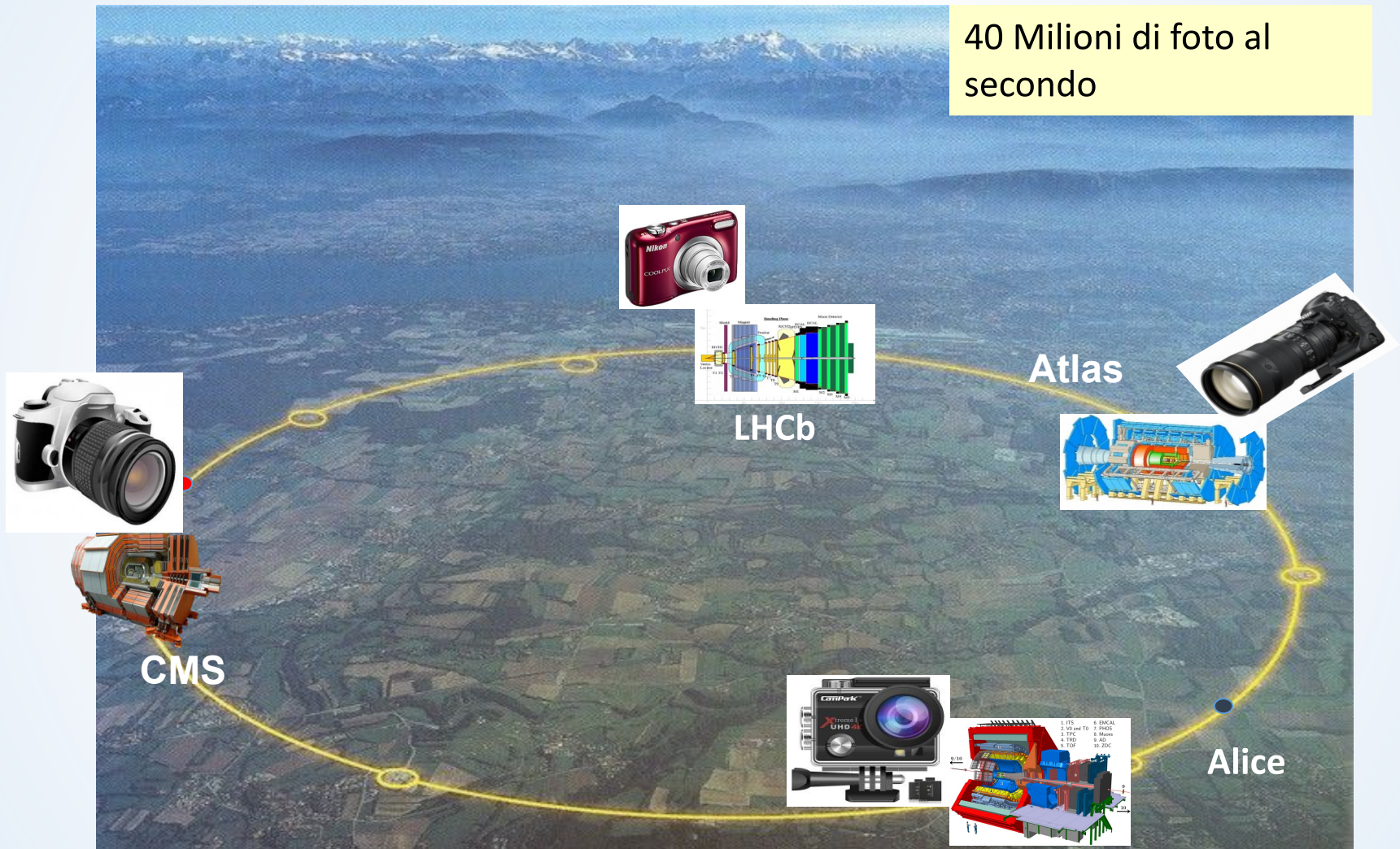
protoni con $v \sim c$



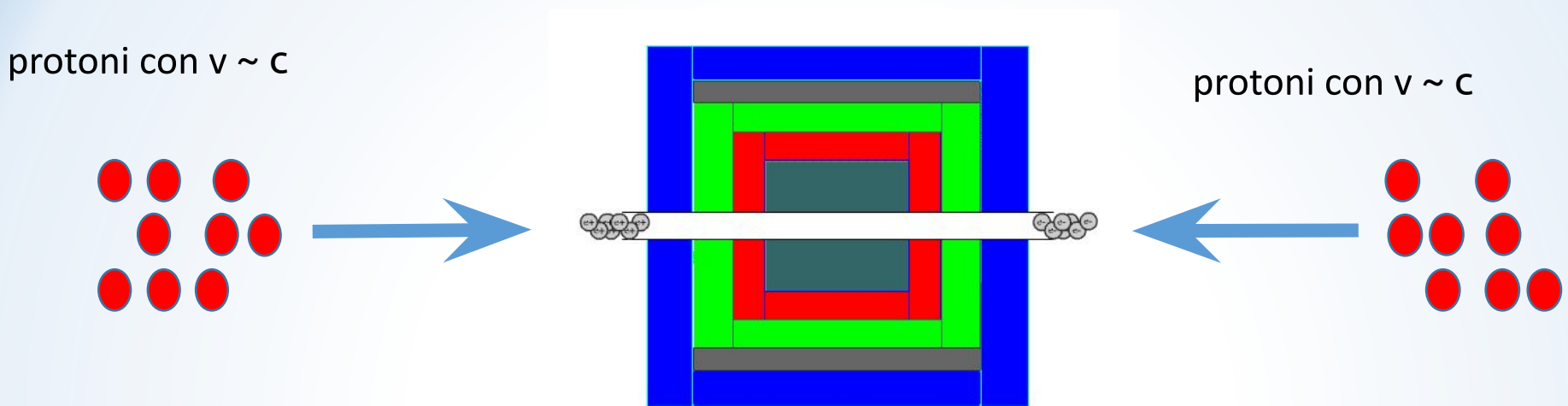
Cosa succede nel punto di collisione?

I rivelatori: fotografi per collisioni

- Sui quattro punti di collisione ad LHC sono posizionati 4 detector



Fotografare una collisione:

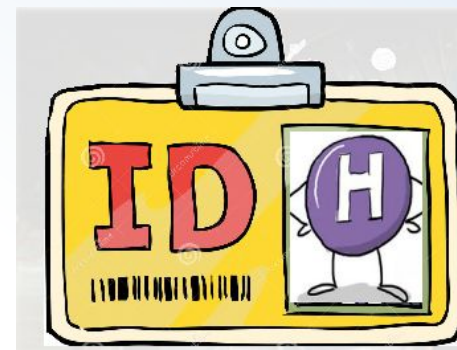


- I detector su LHC sono costituiti da diversi sotto rivelatori
- Ciascun sottorivelatore è sensibile al passaggio di una categoria di particelle (particelle cariche, fotoni, adroni, leptoni...)
- Quando una particella passa attraverso un sottorivelatore sensibile lascia una traccia!

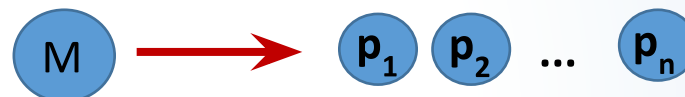
Identikit di una particella:

Le particelle possono essere discriminate in base a proprietà intrinseche come:

- Massa
- Carica



Le collisioni ad LHC producono molte particelle instabili, che **decadono** dentro il rivelatore in **altre particelle**



Fotografiamo i prodotti!

Per ricostruire le proprietà della particella madre dobbiamo conoscere

- **Energia**
- **Impulso**
- **Posizione del vertice di decadimento**
- **Massa e carica**

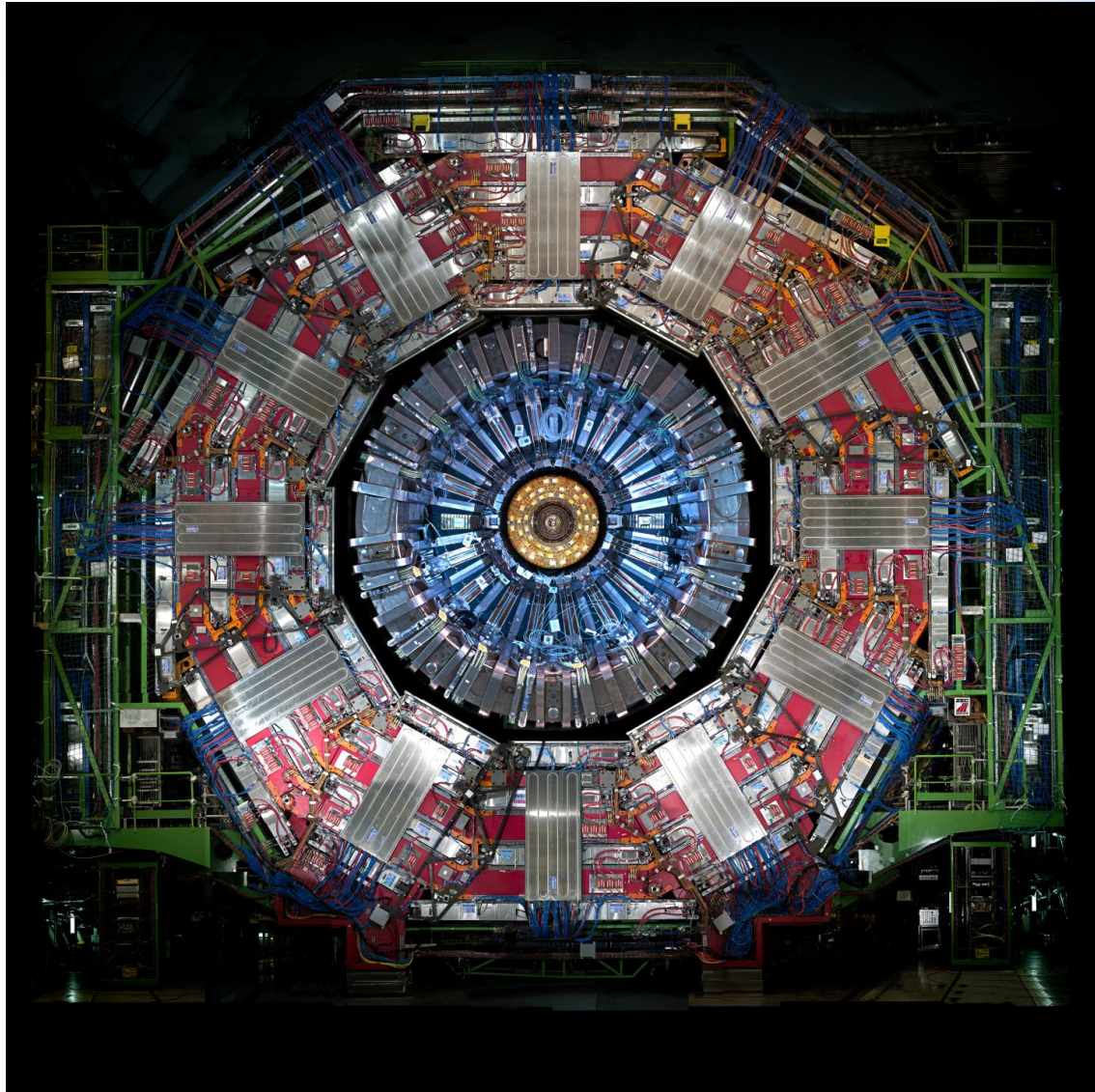
delle particelle prodotto

Dobbiamo essere in grado di misurare queste quantità per:

- Riconoscere le particelle
- Ricostruire i processi che subiscono

Compact Muon Solenoid:

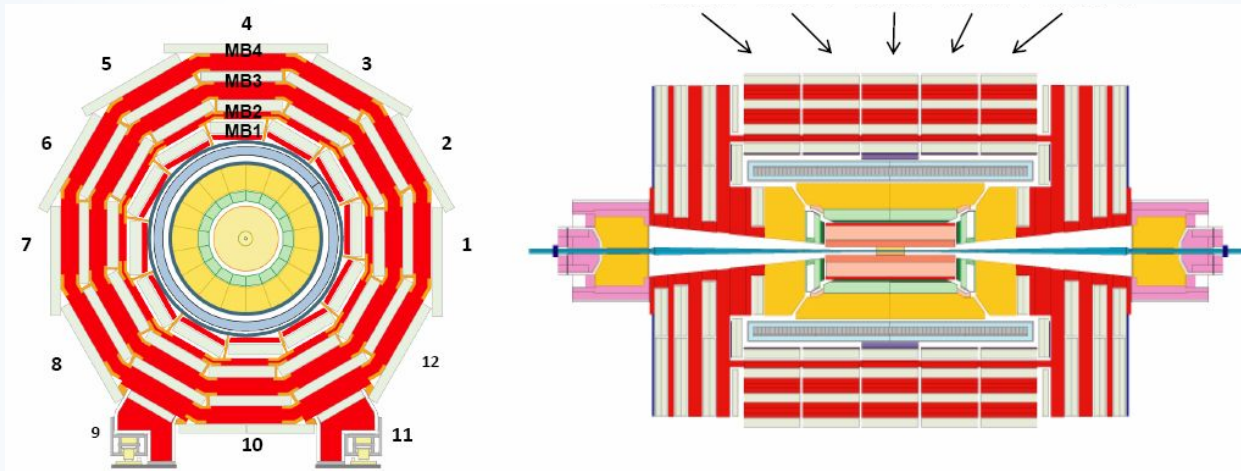
- La nostra macchina fotografica per oggi!
- Dimensioni:
 - 15.6 m diametro
 - 21,6 m in lunghezza
 - 125000 tonnellate
- **Compact:** è un rivelatore “compatto” paragonato ai suoi simili (vedi ATLAS)
- **Muon:** la ricostruzione dei muoni è una punta di diamante per CMS
- **Solenoid:** Il grande magnete solenoide che abbraccia la parte interna del detector



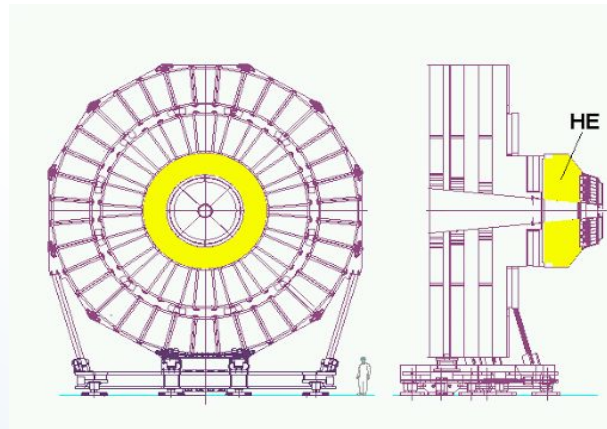
CMS:

CMS si trova, sull'anello di LHC, presso il Punto 5, diametralmente opposto ad ATLAS e al sito del CERN

- CMS e i suoi sotto rivelatori si sviluppano attorno al punto di collisione
 - Nel **Barrel** con struttura concentrica cilindrica attorno al tubo che ospita i fasci

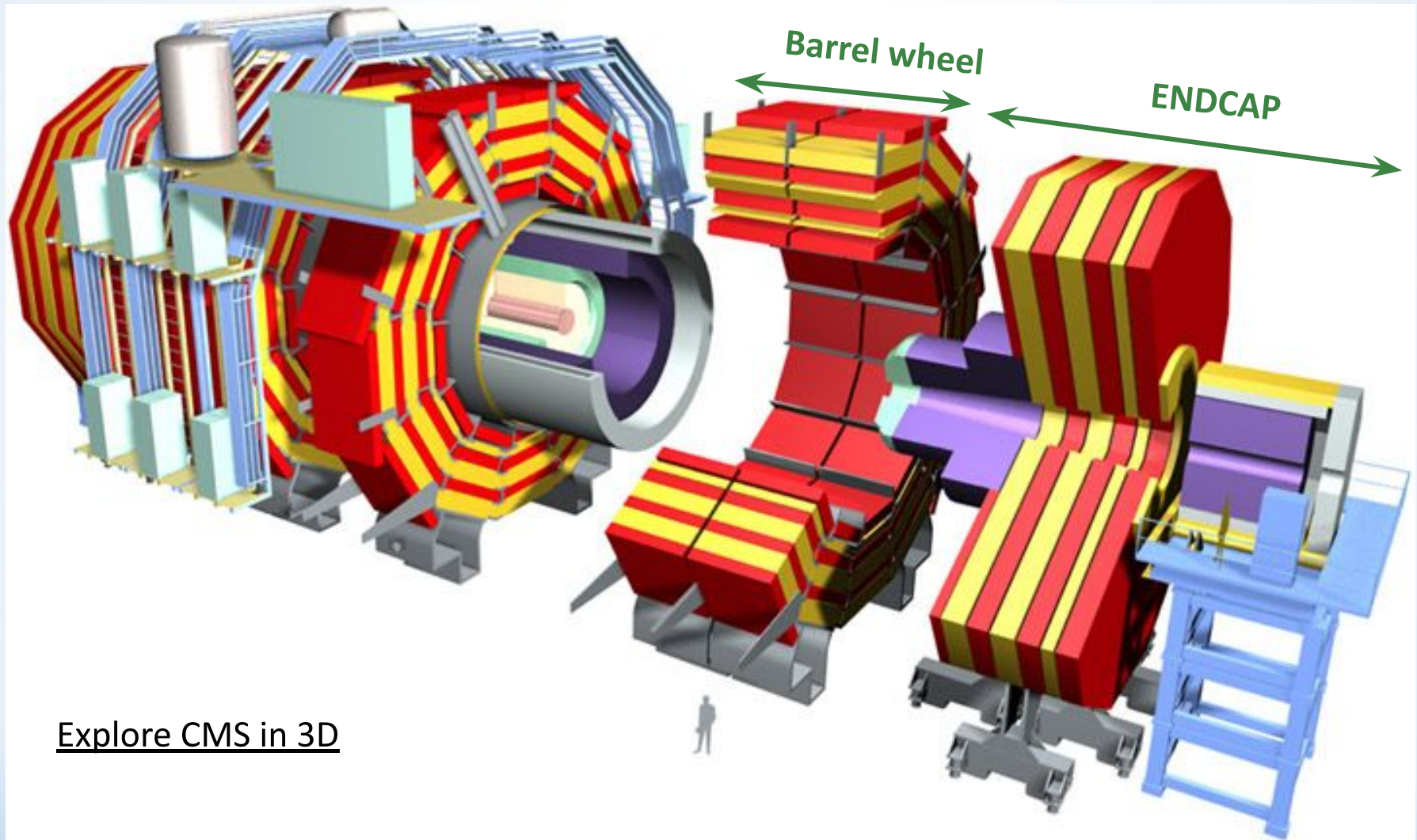


- Negli endcap che costituiscono le basi superiori e inferiori dei cilindri del barrel



CMS:

CMS si trova, sull'anello di LHC, presso il Punto 5, diametralmente opposto ad ATLAS e al sito del CERN

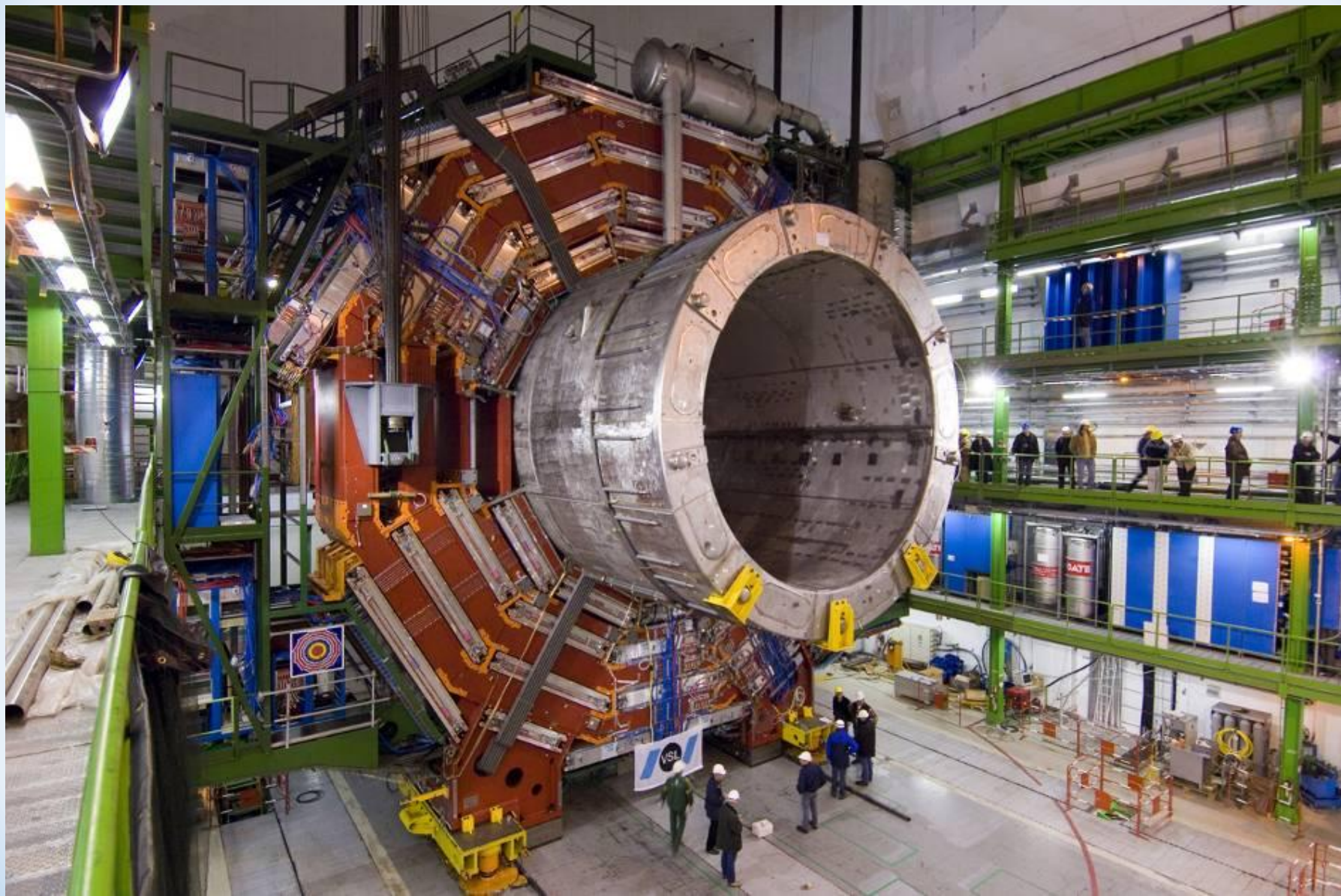


[Explore CMS in 3D](#)

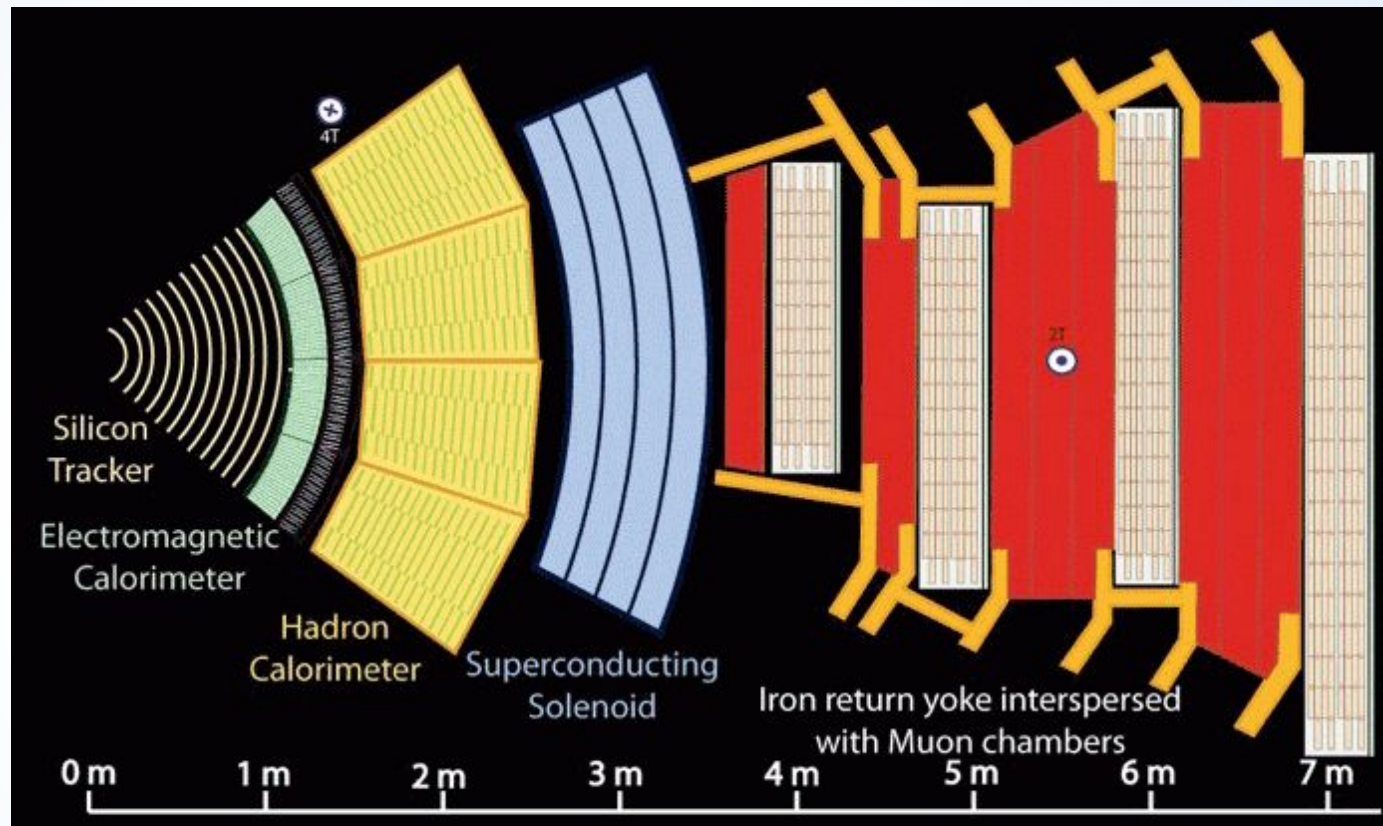
CMS: dalla superficie



...alla caverna:

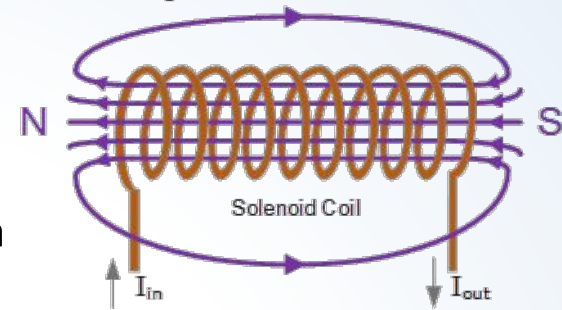


I sottorivelatori di CMS:



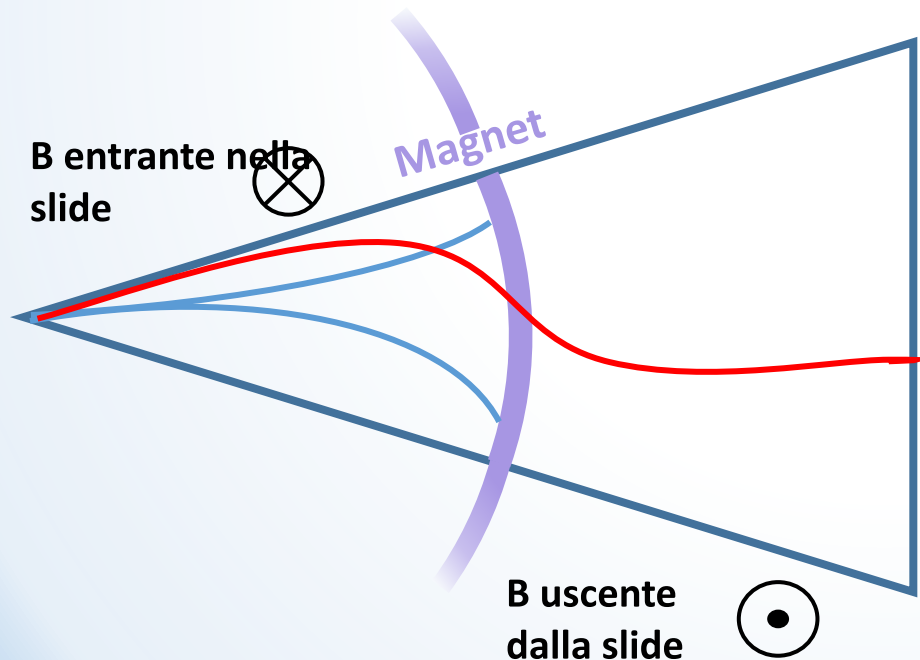
Il solenoide:

- **NON è un rivelatore!**
- Ma svolge un compito fondamentale per CMS
- Un elettromagnete solenoidale è una molla percorsa da corrente



Genera un campo magnetico B diretto lungo l'asse della molla (in CMS asse del fascio):

Le particelle cariche in moto provenienti dal punto d'interazione subiscono una forza di Lorentz $\vec{F} = q \cdot \vec{B} \times \vec{v}$ nel piano xy:

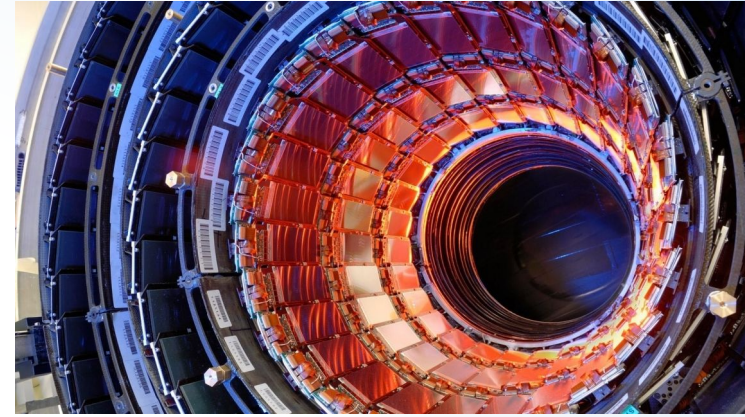
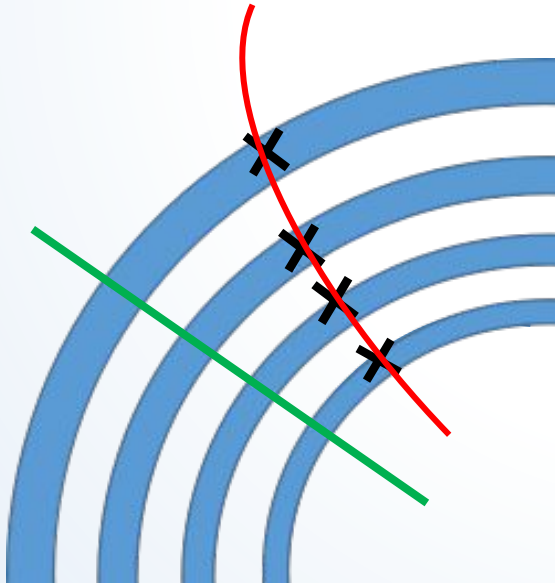


Il raggio di curvatura ρ della particella è proporzionale al suo impulso: **$p \propto \rho$**

- **Misura di ρ $\rightarrow$ misura d'impulso**
- **Misura di carica:** la forza di Lorentz curva cariche opposte in direzioni opposte

Il tracciatore:

- Formato da strati concentrici di rivelatori al silicio;
- Le **particelle cariche** perdono una piccola porzione di energia nell'interazione con il silicio, generando **segnale** in uno strato
- Le **particelle neutre** NON danno segnale nel tracciatore
- Raccogliendo i segnali in più strati, è possibile ricostruire la traiettoria della particella



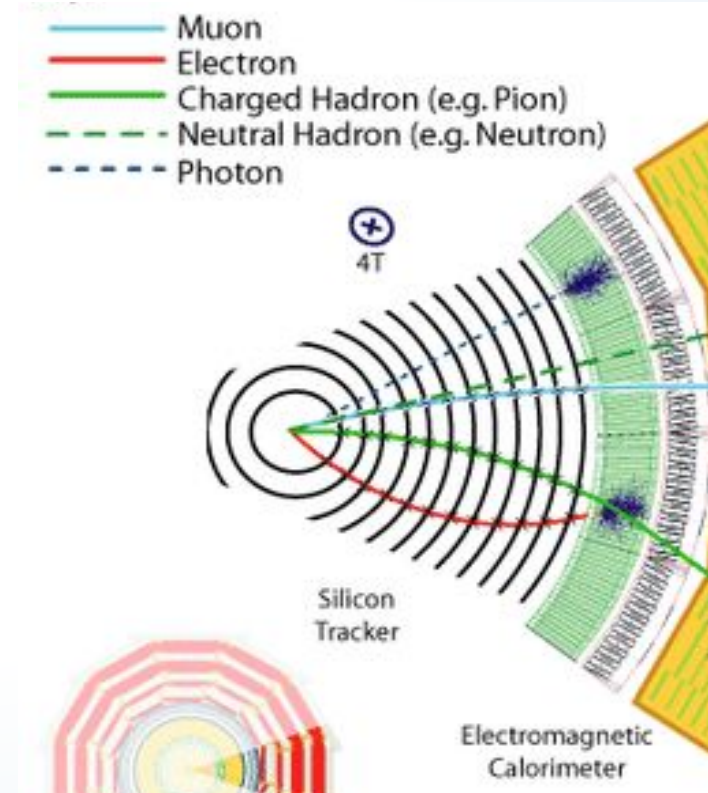
Raccogliendo i segnali in più strati, è possibile ricostruire la traiettoria della particella



misurarne
raggio di curvatura, impulso e carica!

Il calorimetro elettromagnetico:

- E' formato da cristalli di tungstato di piombo accoppiati a rivelatori di luce
- Una particella soggetta ad interazione elettromagnetica (part. carica, fotone) genera nel cristallo una **cascata elettromagnetica**
- **Fotoni ed elettroni** perdono tutta la loro energia nel calorimetro elettromagnetico: **misura di energia**
- Gli **adroni carichi** perdono solo una piccola parte della loro energia, gli **adroni neutri** non interagiscono
- I **muoni** producono un segnale nel calorimetro EM ma non perdono tutta la loro energia



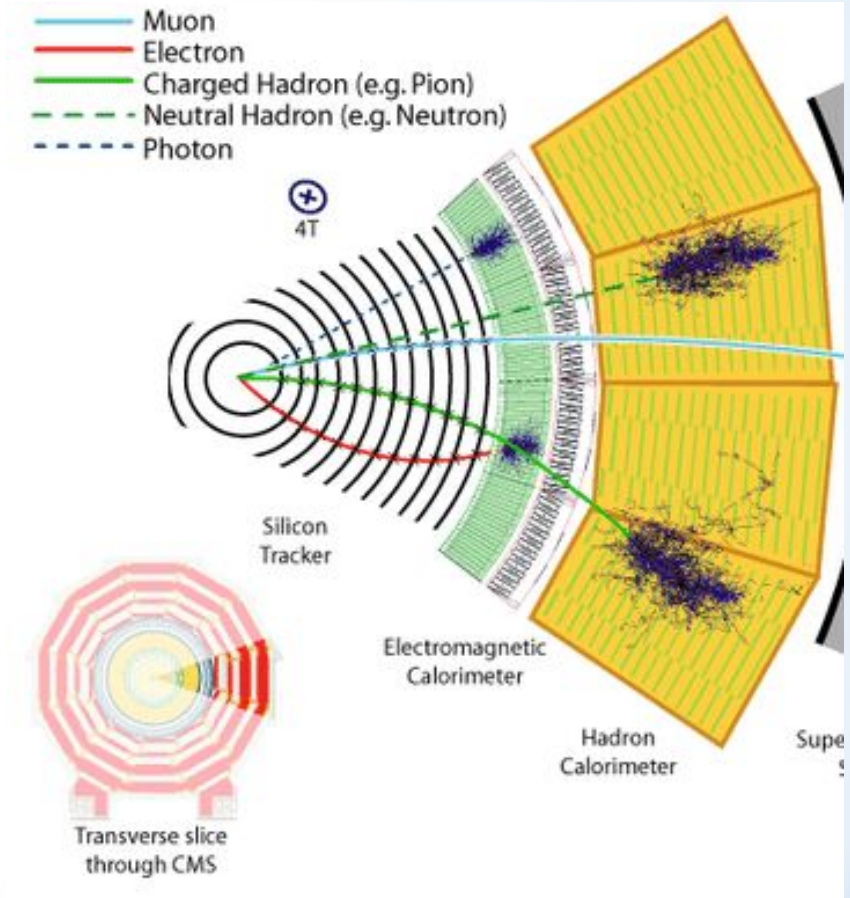
Il calorimetro adronico:

- E' composto di moduli in cui si intervallano strati di ottone o acciaio e materiale plastico sensibile

- Gli adroni (carichi E neutri) producono delle cascate adroniche all'interno dei moduli rilasciando **tutta la loro energia** nel materiale sensibile



Misura di energia per gli adroni!



Il sistema dei muoni:

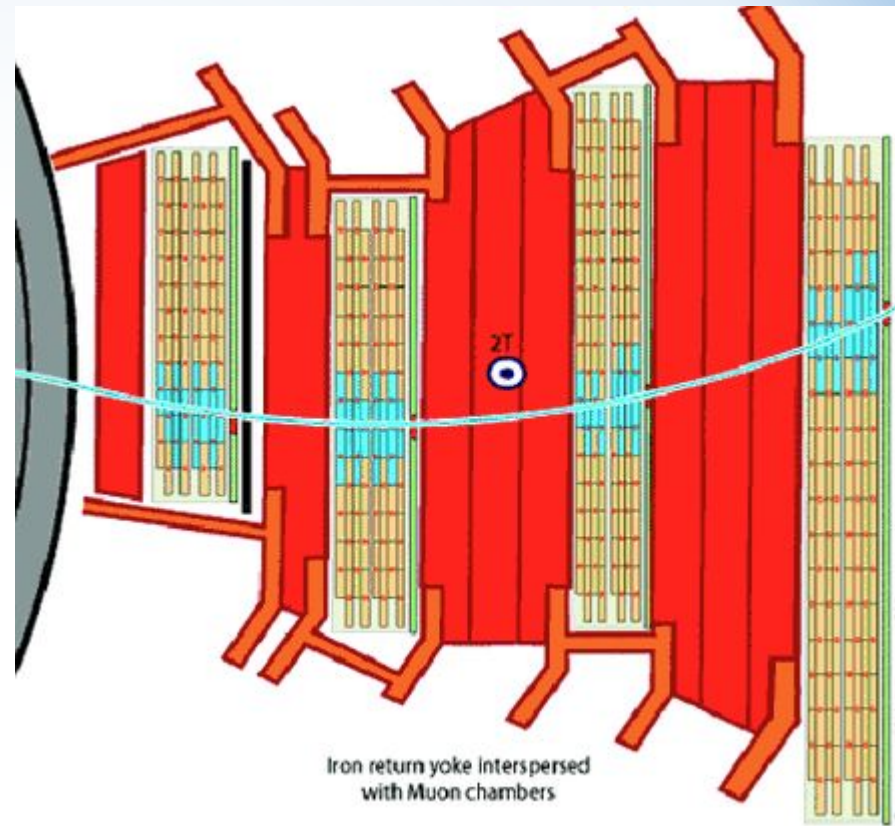
- I muoni hanno uno strato dedicato di sottorivelatori in CMS;
- **Non** vengono assorbiti nel calorimetro elettromagnetico, questo li distingue dagli elettroni!
- Le camere a muoni sono condensatori riempiti di gas:
- quando un muone passa nella camera, perde energia nel gas; l'energia rilasciata nel gas viene interpretata come **segnale**
- Attraverso il passaggio in più camere ricostruiamo la traccia

Misure di impulso e carica



Misure di impulso e carica nel tracciatore

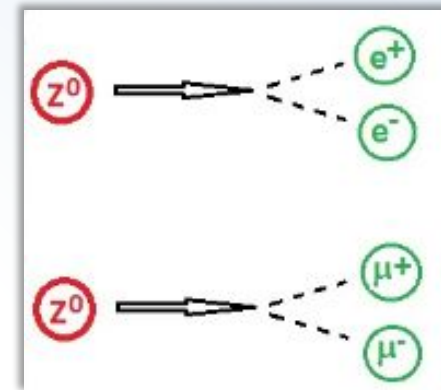
Raffaella Tramontano



Misura di energia del muone

Ricostruire particelle decadute:

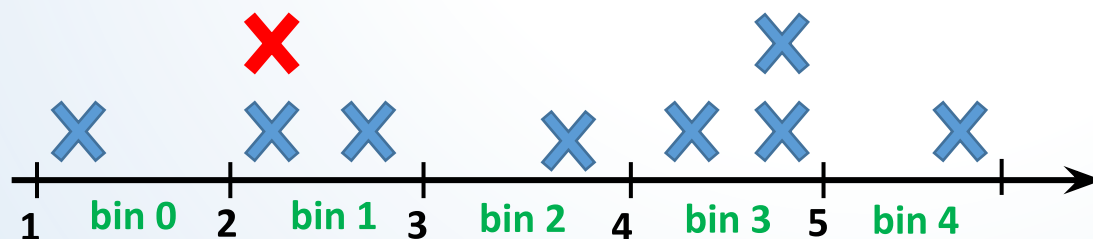
- Oggi misureremo la massa del **bosone Z** a partire dai suoi prodotti di decadimento:
 - Conoscendo le energie dei due **elettroni/muoni**;
 - Conoscendo l'angolo tra le loro direzioni;



Possiamo calcolare la massa del bosone come:

$$m_Z = \sqrt{2E_1E_2(1 - \cos\theta)}$$

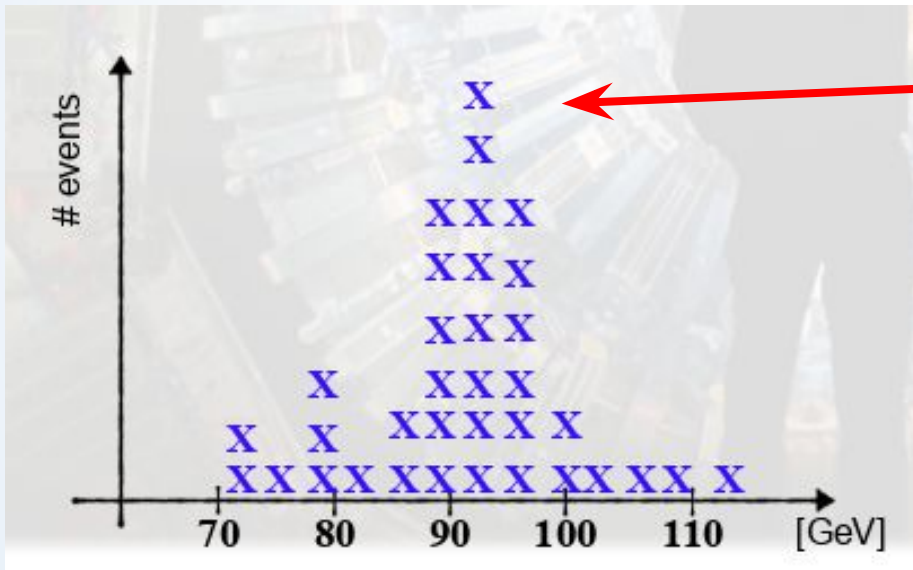
Per ogni coppia di elettroni/muoni trovata possiamo calcolare m_Z e riempire un istogramma:



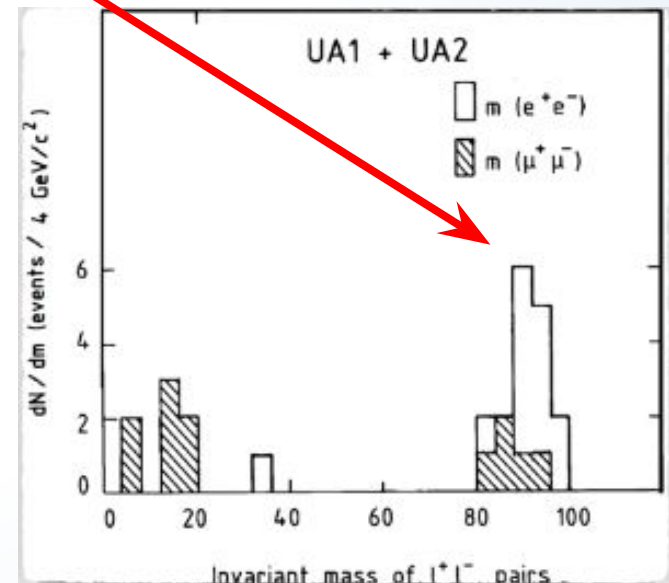
Se la misura **x** è compresa tra 2 e 3, la posizioniamo nel secondo intervallo

La misura della massa del bosone Z:

- Riempiendo l'istogramma, noteremo che molte misure cadono attorno ad uno stesso valore, quello della massa del bosone Z!
- Se l'eccesso è “significativo”, possiamo dire di **aver “scoperto” il bosone Z!**



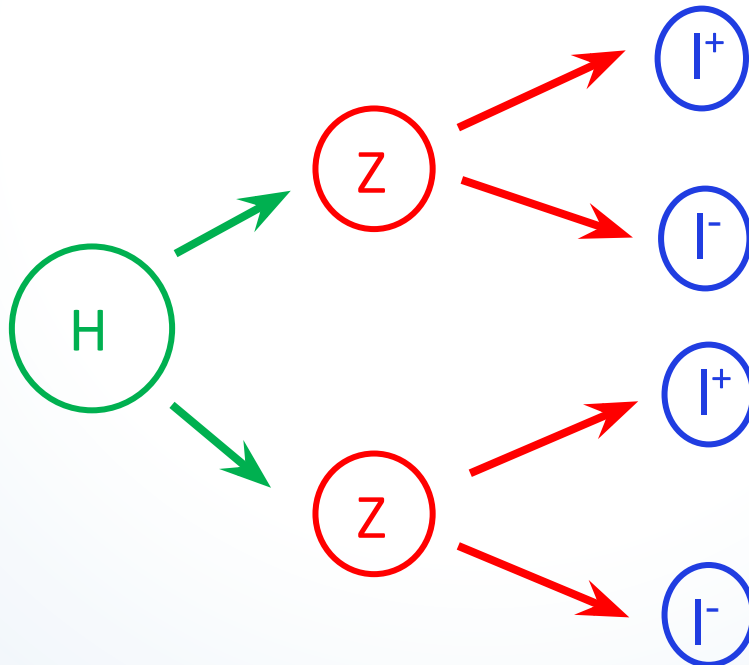
- Nel 1983 gli esperimenti UA1 e UA2 al cern scoprirono così i bosoni W e Z



Il bosone Z nella scoperta dell'Higgs:

- Il **bosone Higgs** è stato osservato ad LHC
 - nel 2012
 - da ATLAS e CMS
 - attraverso la ricostruzione dei suoi decadimenti in fotoni o leptoni

Il decadimento leptonic passa attraverso la produzione di due bosoni Z



Ora tocca a voi!

- Oggi utilizzeremo i dati raccolti a CMS e cercheremo di “scoprire” il bosone Z
- Scopriremo come si lavora all'analisi dati e impareremo come presentare i nostri risultati, come in una vera e propria conferenza!
- Qualcosa su slides masterclass