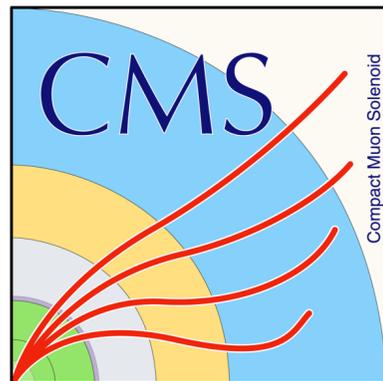


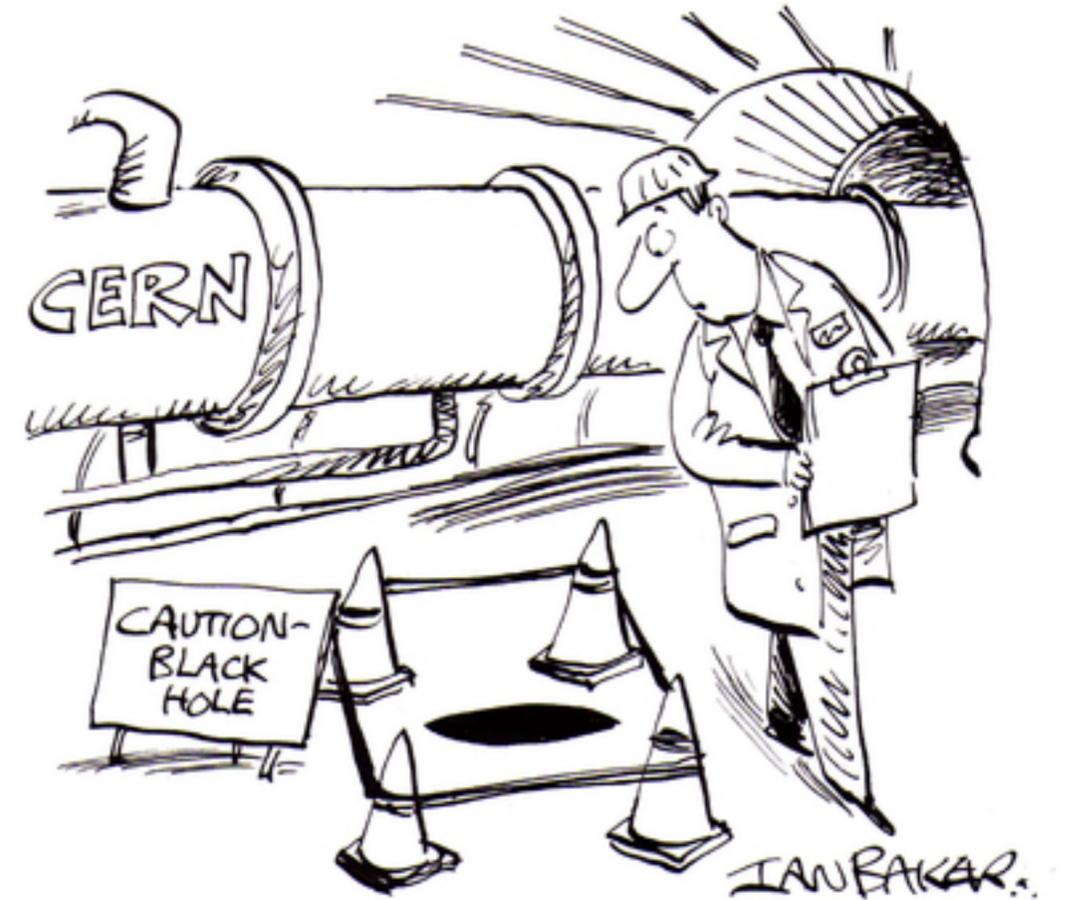
Ricerca delle particelle W , Z e H con il rivelatore CMS

Ksenia de Leo, Università di Trieste & INFN

Trieste, 13 febbraio 2023



1. Cosa avviene in una collisione a LHC?
2. Cosa possiamo misurare?
3. Come cerchiamo le particelle Z, W e H?



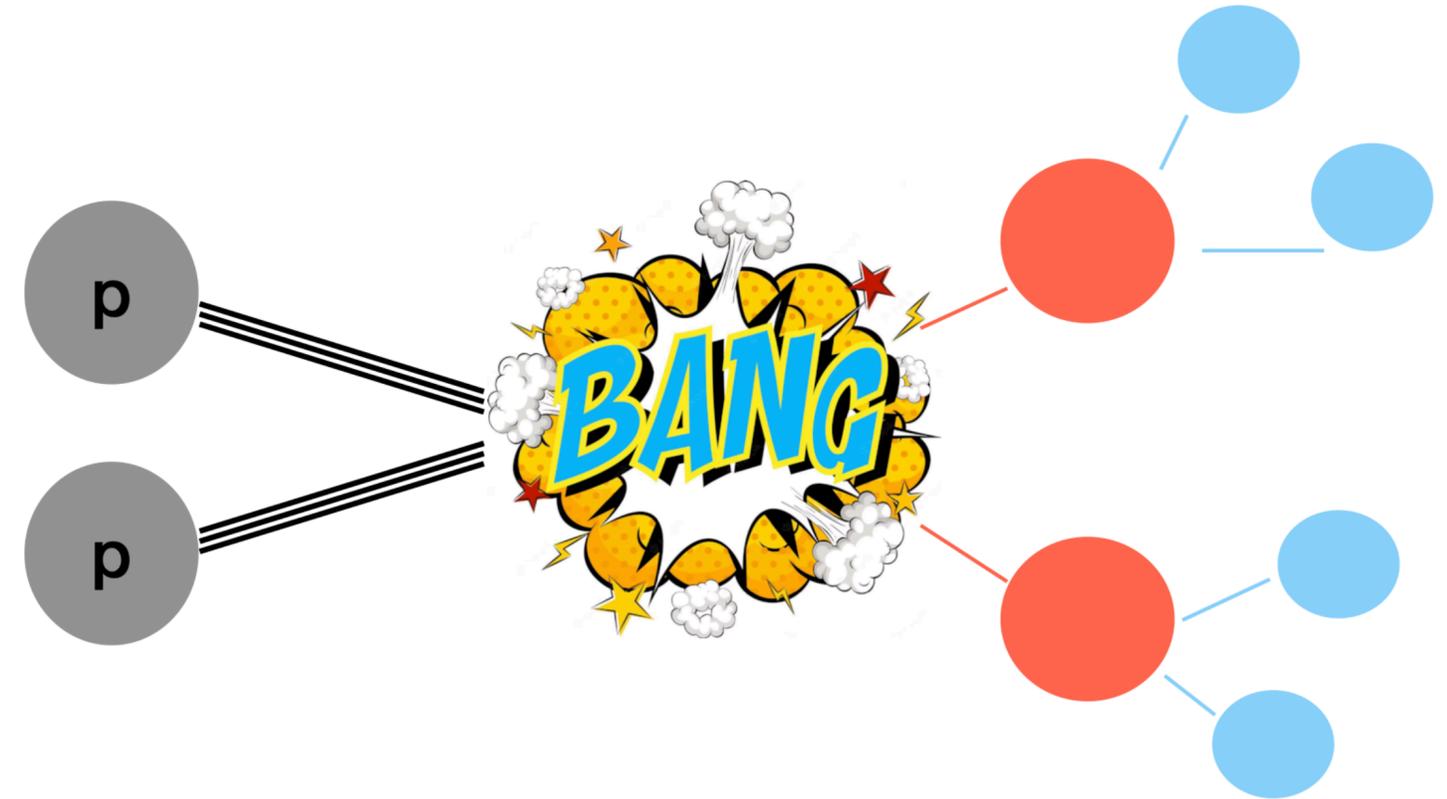
1. Cosa avviene in una collisione a LHC?

Le collisioni a LHC

- ▶ Quando i fasci di protoni si scontrano tra loro si creano altre particelle elementari
- ▶ Più è alta l'**energia** di collisione, maggiore è il numero di particelle prodotte e maggiore la loro massa

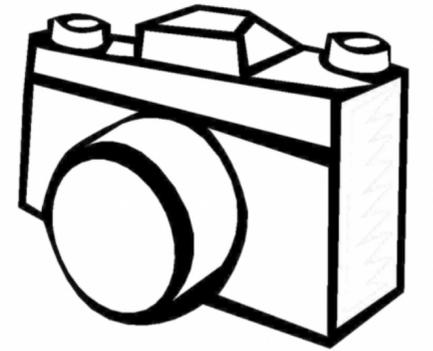
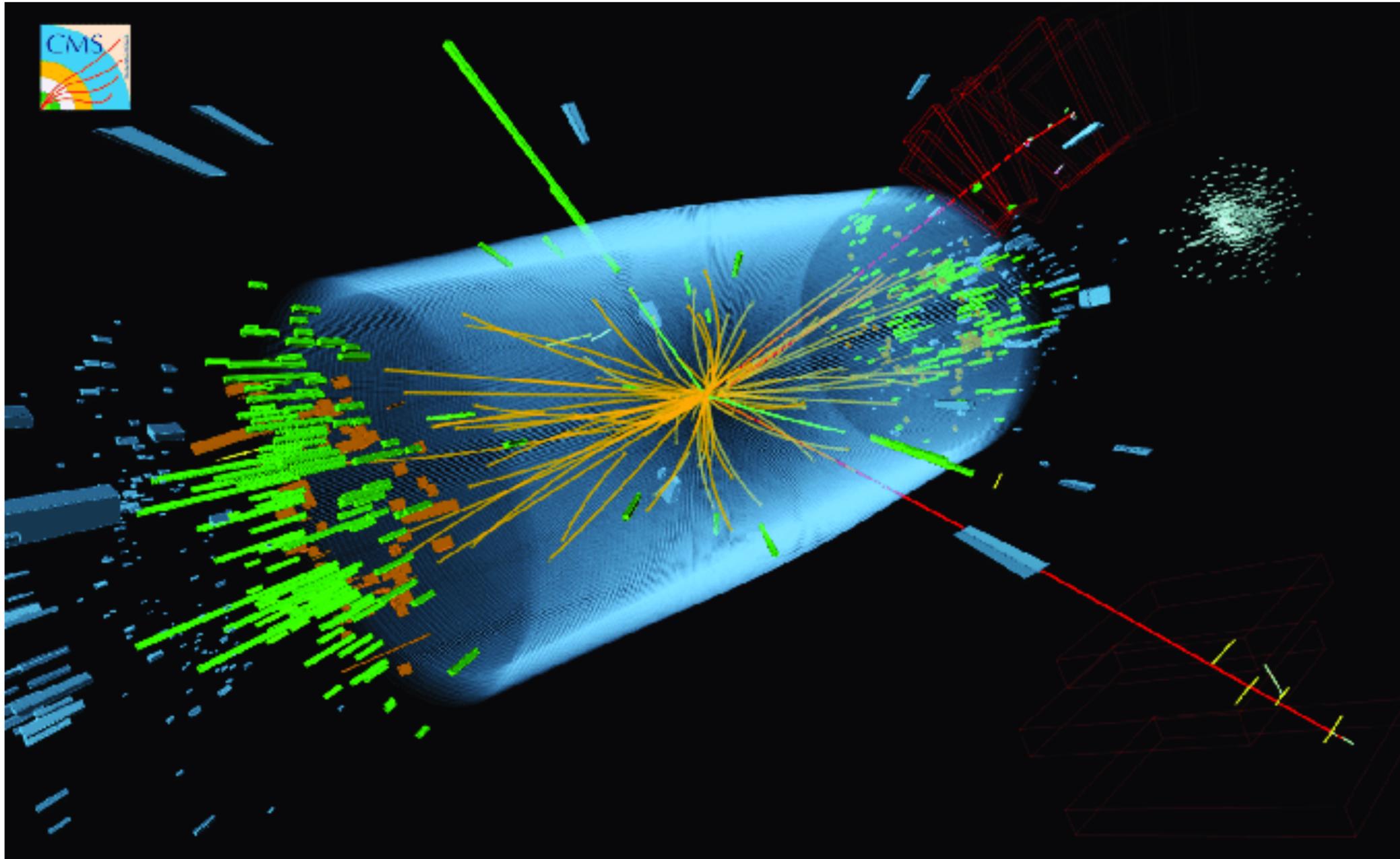
$$E = mc^2$$

energy mass squared
speed of light
(constant)



- ▶ Noi non possiamo sapere (a priori) che processo è avvenuto ad ogni collisione
- ▶ Possiamo però sfruttare la **legge probabilistica**
- ▶ Sappiamo che alcuni processi sono molto probabili, mentre altri sono rari

Gli eventi

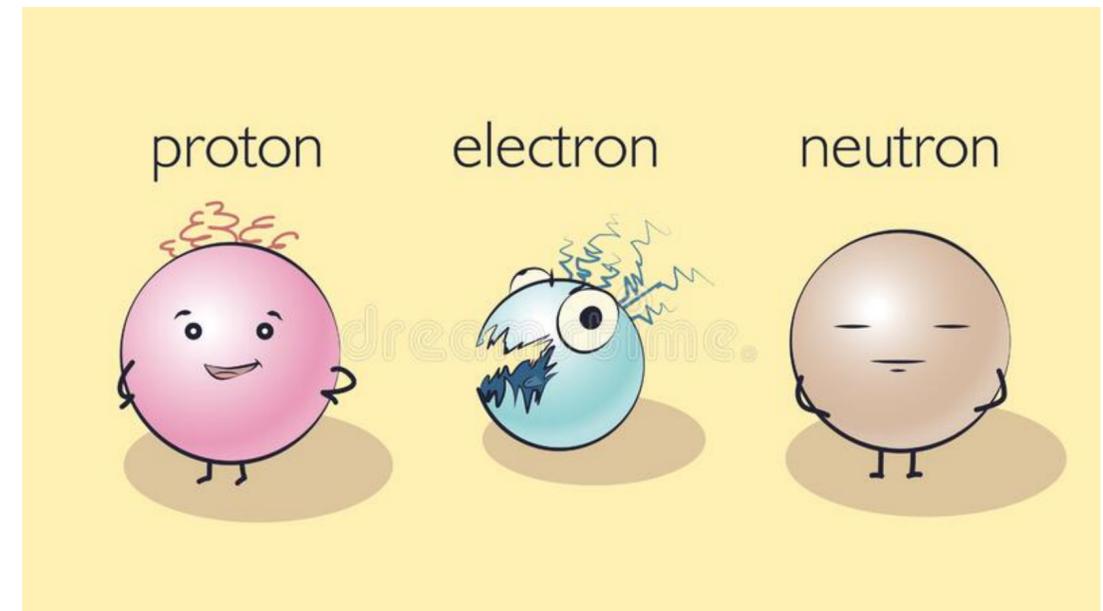


Un **evento** è ciò che vediamo con il rivelatore, una “foto” di ciò che è accaduto nella collisione. Il nostro obiettivo è di raccogliere più informazioni possibili per identificare quali particelle sono state create.

Le particelle prodotte a LHC

- ▶ Possiamo classificare le particelle prodotte in due categorie: quelle **stabili** e quelle **instabili**
- ▶ Le particelle **stabili** attraversano il rivelatore e possiamo quindi misurarne le proprietà.
- ▶ Sono per esempio:

- * elettroni (e)
- * muoni (μ)
- * adroni carichi o neutri, sono composti dai quark, ad es. i protoni o i neutroni
- * fotoni (γ)
- * neutrini (ν)



- ▶ Le particelle **instabili**, invece, dopo un periodo di tempo decadono in altre particelle più leggere
particella madre → **particella figlia1** + **particella figlia2** + **particella figlia3** + ...

I decadimenti

► Le particelle **instabili** decadono in altre particelle più leggere

particella madre → **particella figlia1** + **particella figlia2** + **particella figlia3** + ...

In questo caso misuriamo le proprietà delle particelle figlie, da cui risaliamo alla particella madre

► Ma non è così semplice... Una particella può decadere in modi diversi! Questi modi si chiamano *canali* e ogni canale ha una probabilità diversa

► Esempio: la particella X può decadere in due canali:

X → **f₁** + **f₂**

probabilità ~70%

oppure

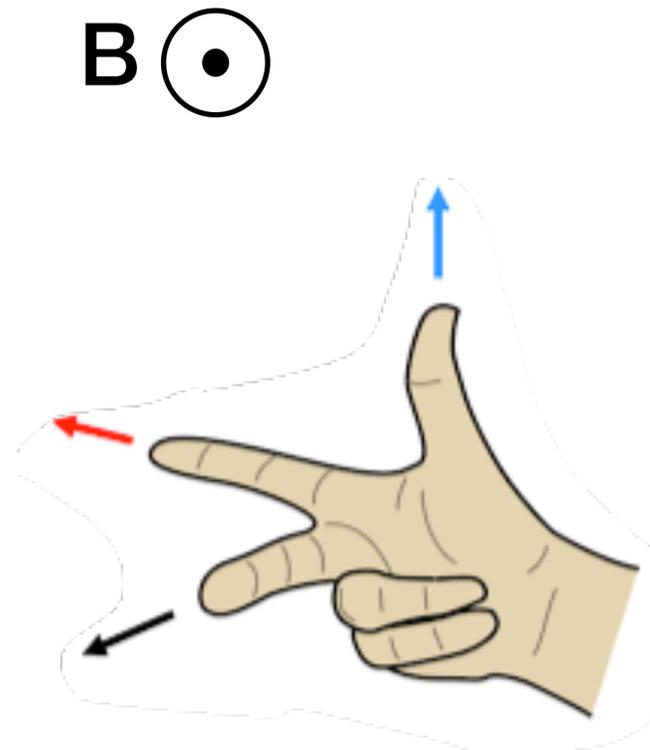
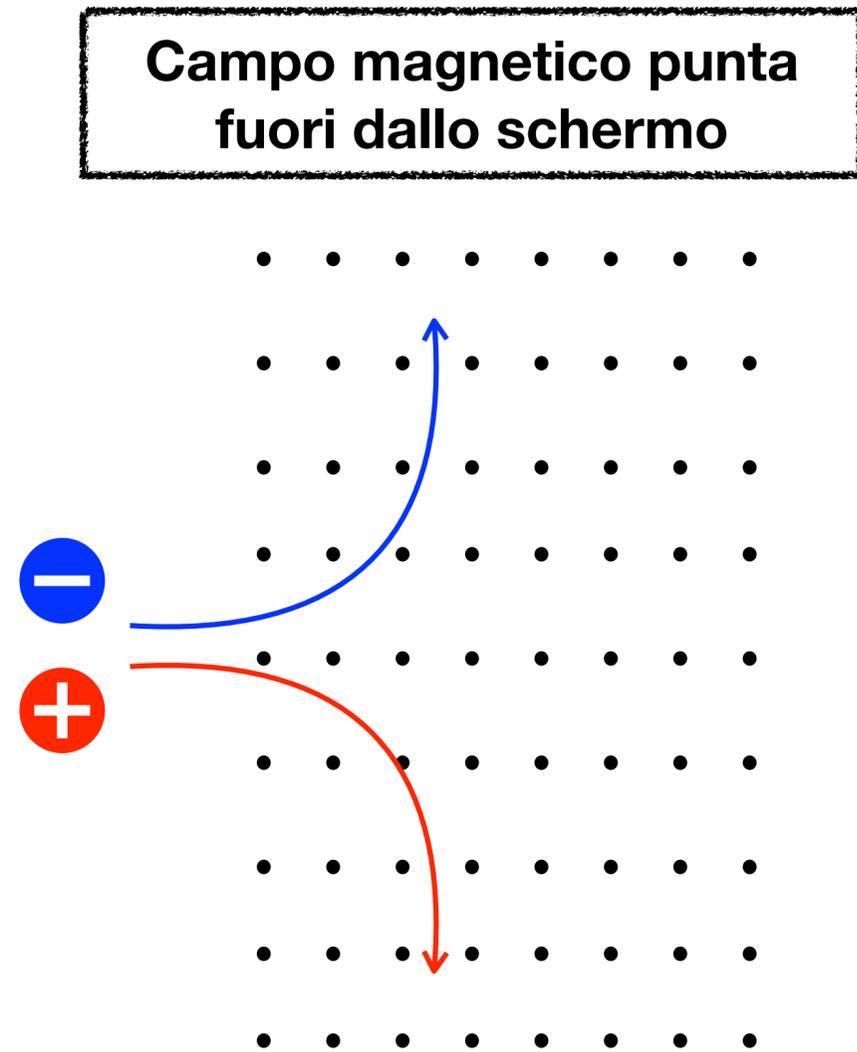
X → **f₃** + **f₄**

probabilità ~30%

2. Cosa possiamo
misurare?

Il momento e la carica elettrica

Quando una particella carica passa attraverso un campo magnetico, la sua traiettoria curva



- la **carica** è data dal verso di curvatura
- il **momento p** ottiene dalla misura della traiettoria della particella

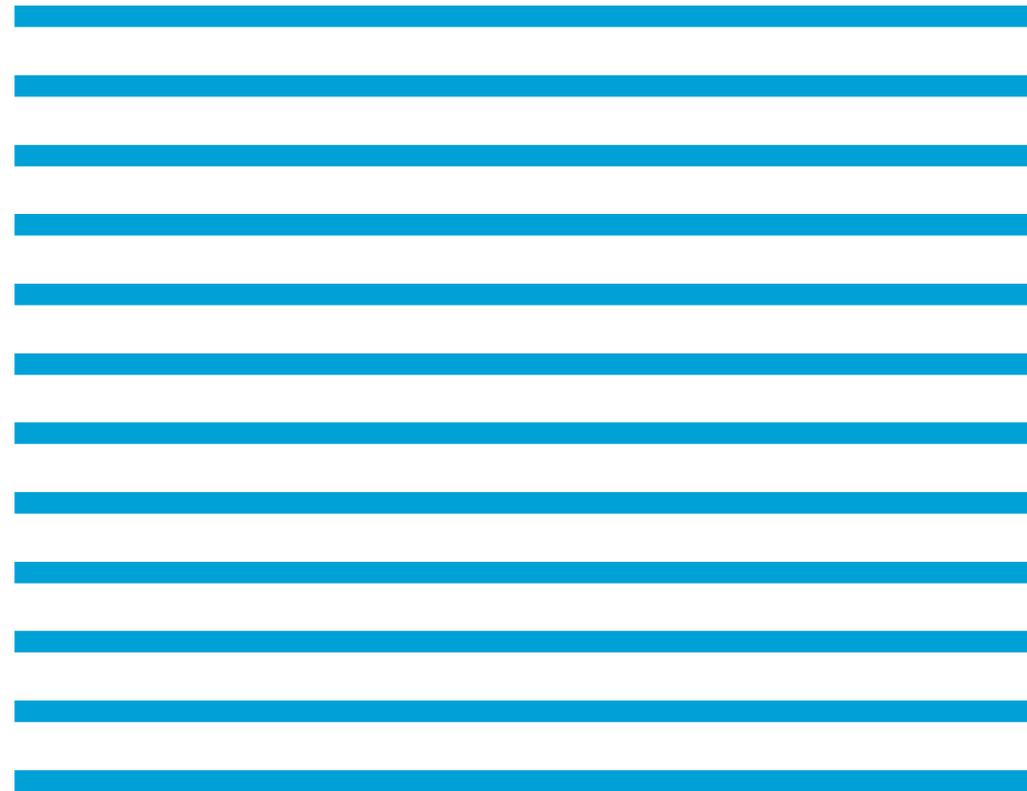
$$p = 0.3 B \cdot R$$

campo magnetico raggio di curvatura

I **tracciatori** sono i rivelatori che ci permettono di trovare la *traccia* (traiettoria) di una particella carica che viaggia attraverso un campo magnetico

Il tracciatore

Con il **tracciatore** possiamo misurare la traiettoria percorsa da una particella carica



Il tracciatore

Con il **tracciatore** possiamo misurare la traiettoria percorsa da una particella carica
Questi sono i **segmenti** che si illuminano al passaggio della particella

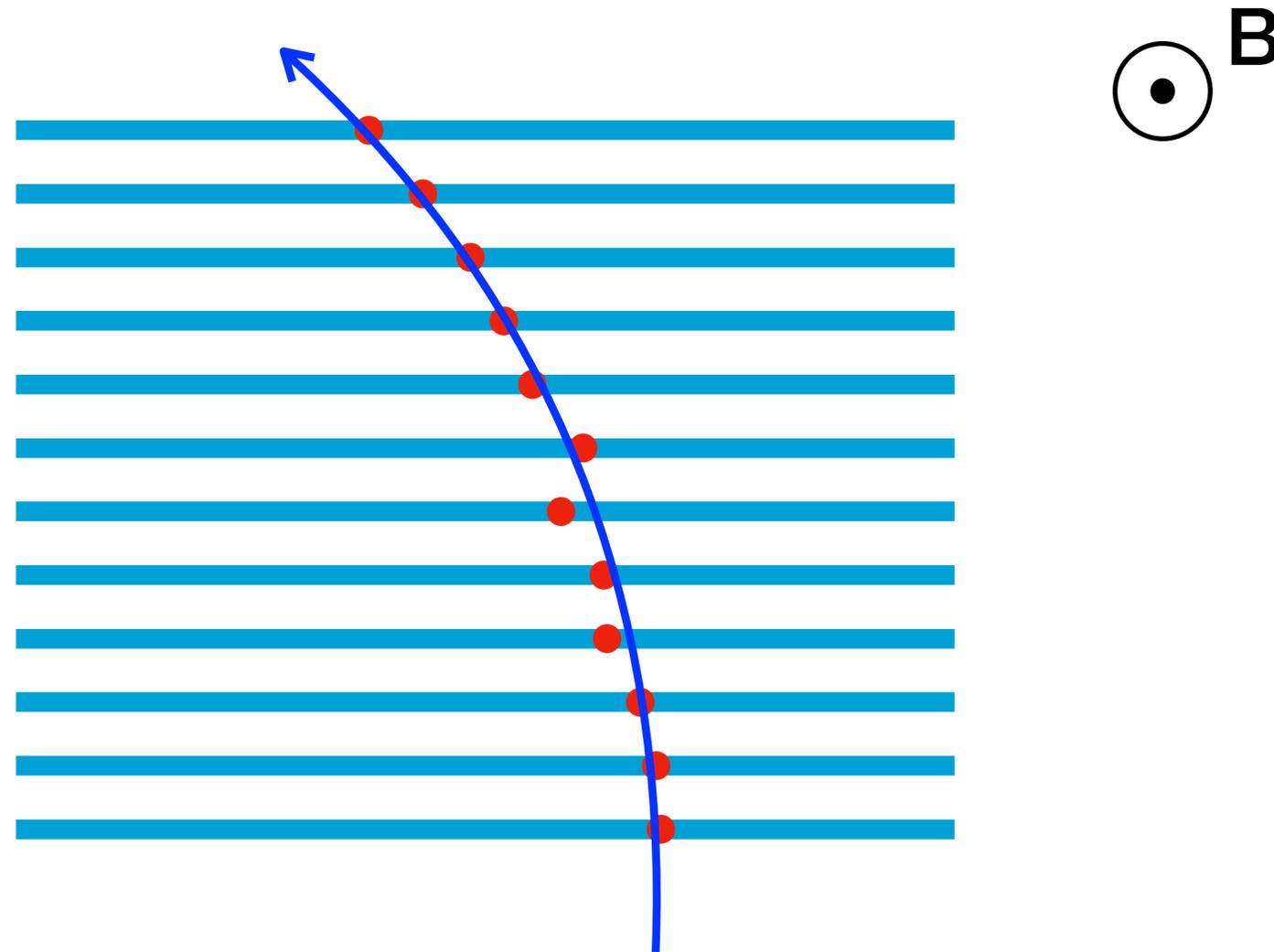


Il tracciatore

Con il **tracciatore** possiamo misurare la traiettoria percorsa da una particella carica

Questi sono i **segmenti** che si illuminano al passaggio della particella

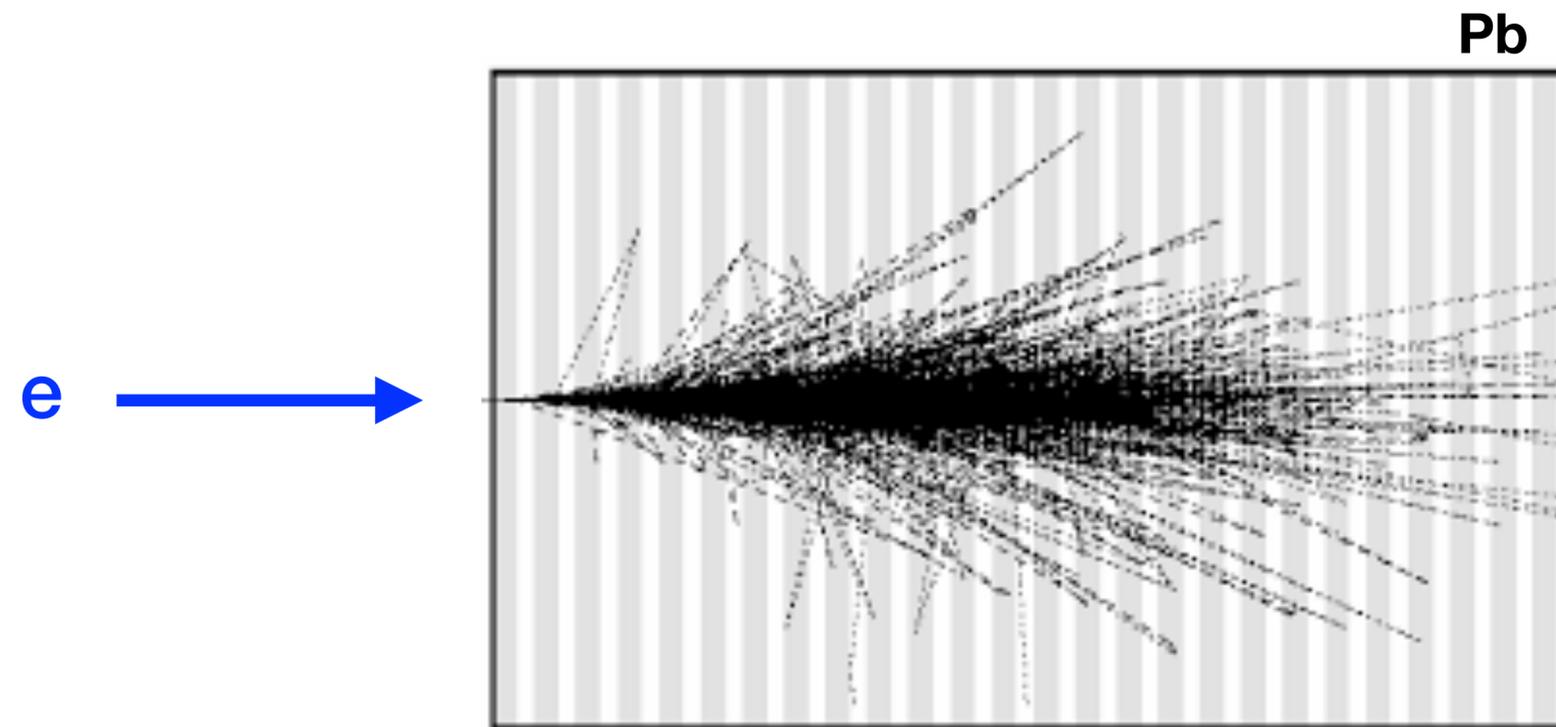
Ricostruiamo la **traiettoria** della particella



L'energia

L'energia delle particelle si misura con i **calorimetri**

Alcune particelle, come **elettroni**, **fotoni** o **adroni**, quando passano attraverso materiali molto densi, vi dissipano la loro energia, fino a fermarsi



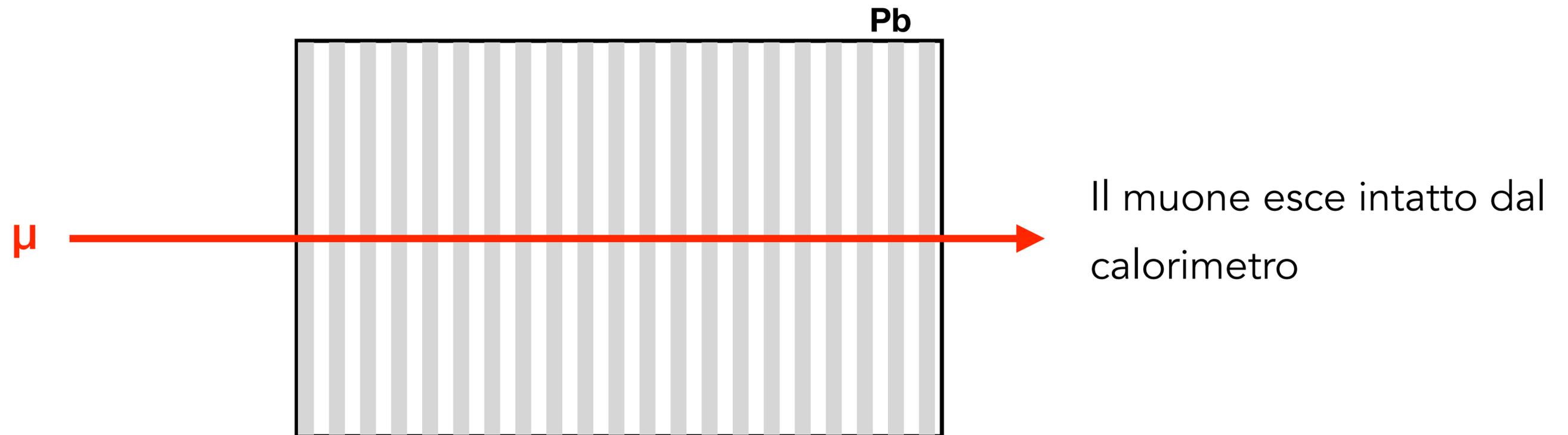
Questa è una misura
distruttiva della particella

È possibile misurare l'energia dissipata nel materiale, da cui deriviamo l'energia iniziale della particella

Caso particolare: i muoni

Come abbiamo visto **elettroni**, **fotoni** o **adroni** dissipano energia attraverso materiali molto densi come il piombo

Per i **muoni** invece *non* è così. Perdono pochissima energia passando per i calorimetri



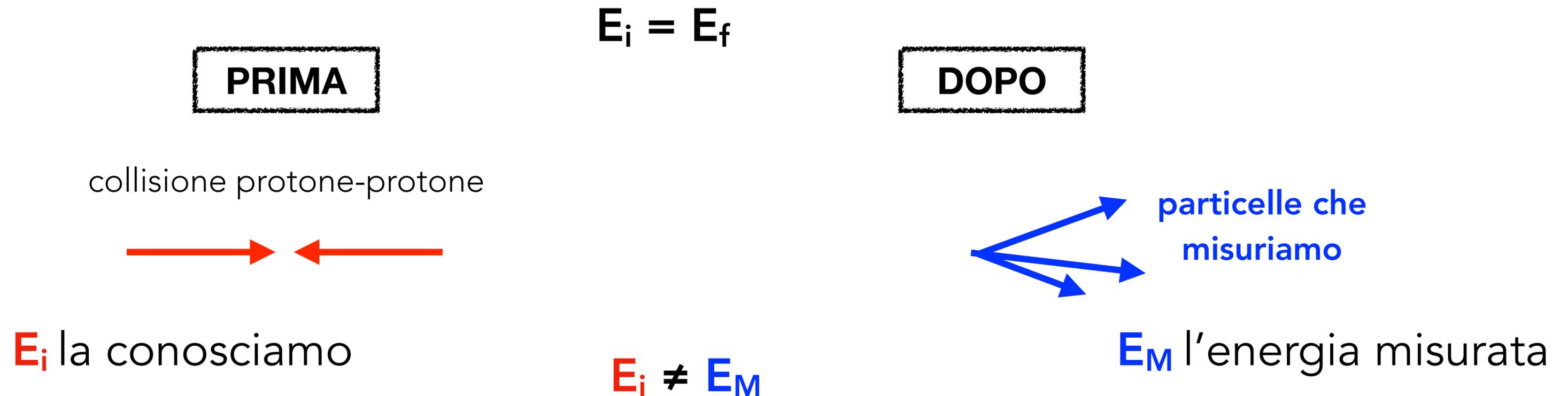
Però i muoni hanno carica elettrica, perciò possiamo vederli nel tracciatore

Caso particolare 2: i neutrini

I neutrini interagiscono pochissimo con la materia

- non lasciano energia nei calorimetri
- sono neutri (non hanno carica) perciò non lasciano traccia nei tracciatori
- allora come li riveliamo?

Usiamo la legge di conservazione dell'energia: l'energia iniziale è uguale all'energia finale

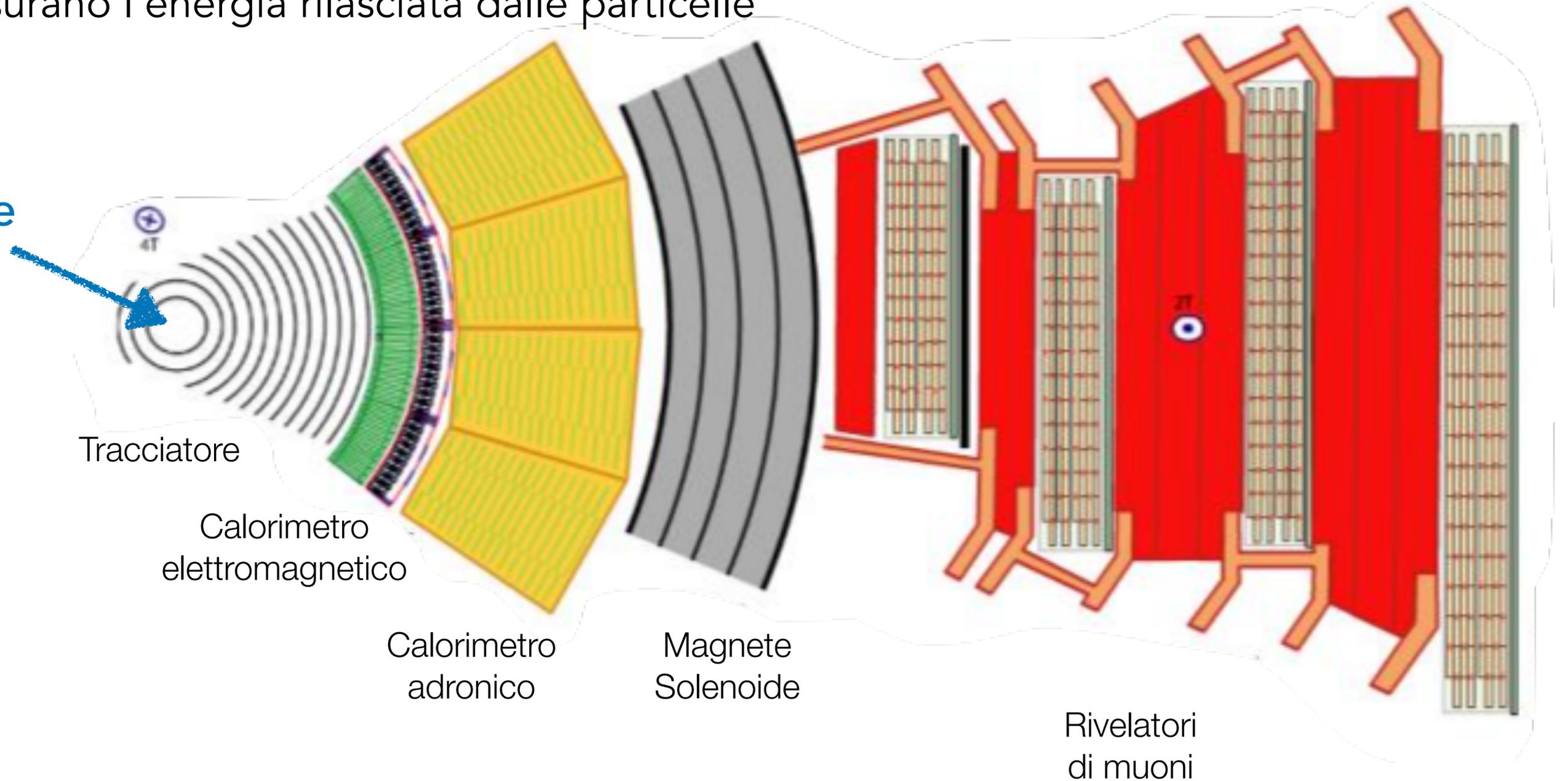
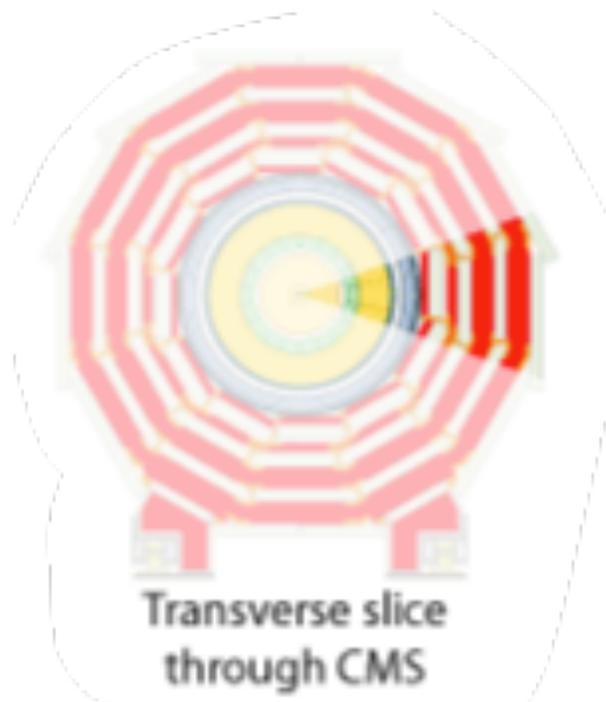


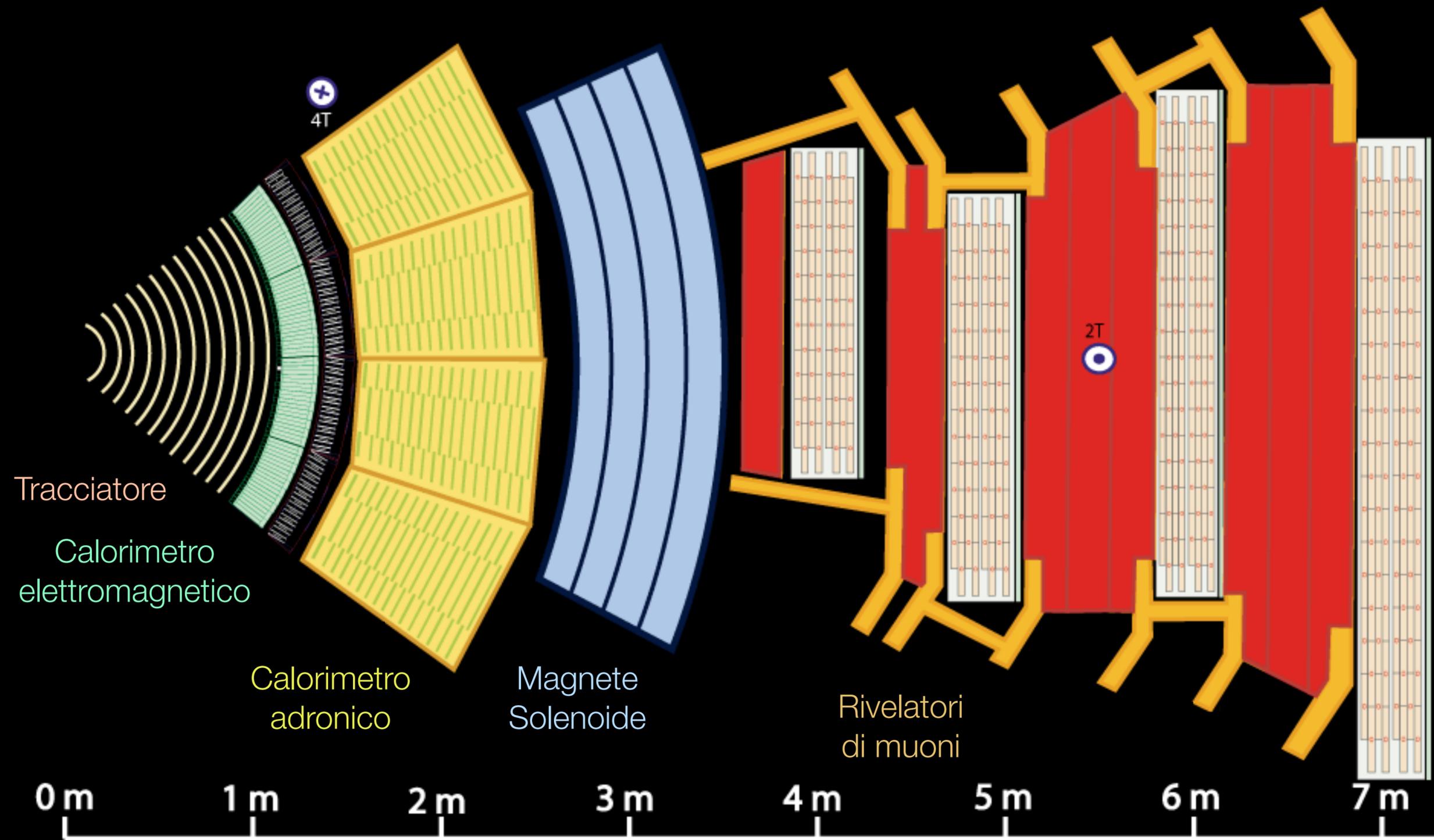
L'esperimento CMS

Mettiamo insieme i pezzi:

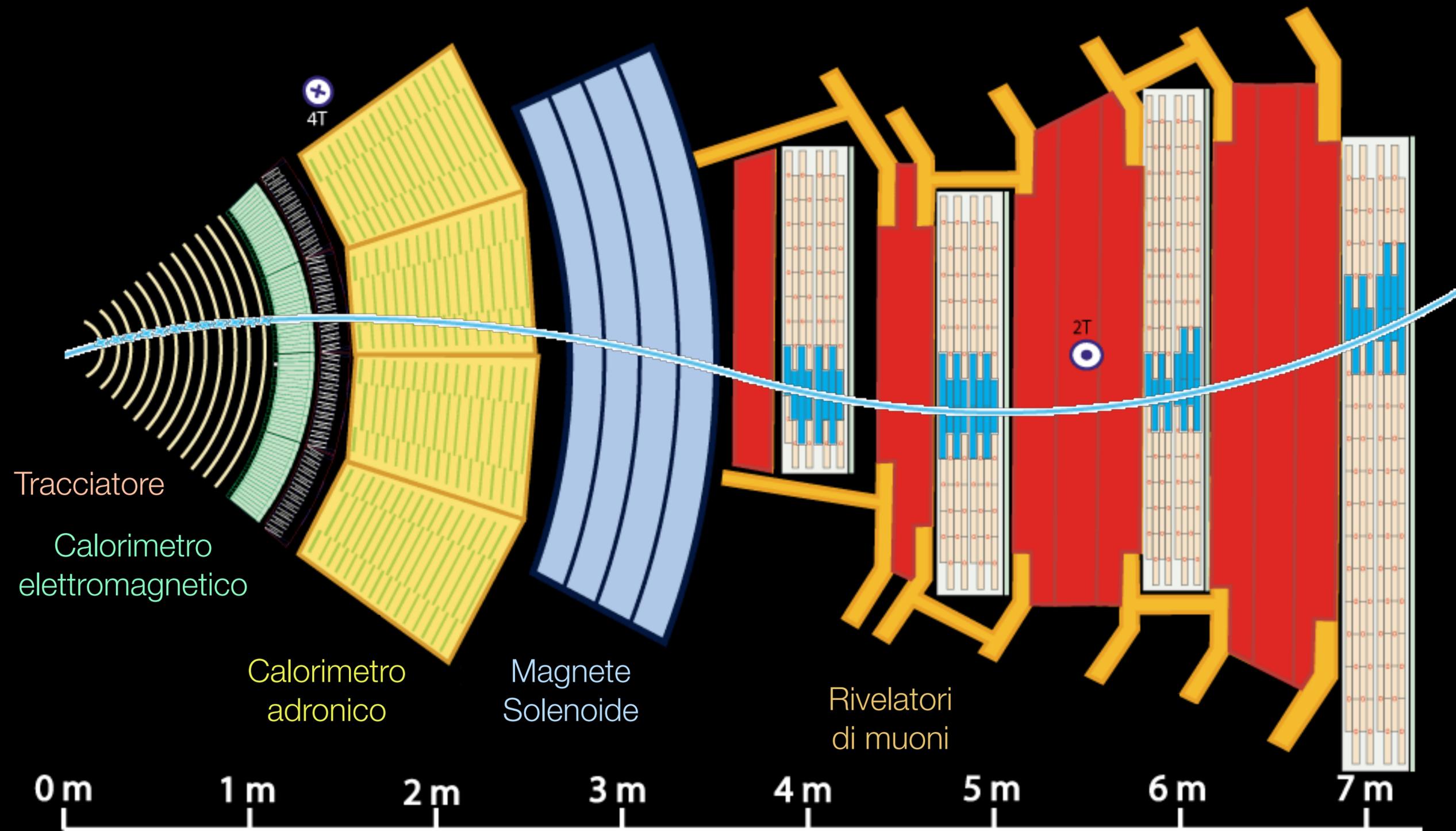
- **tracciatore**: misura la traiettoria di una particella carica
- **calorimetri**: misurano l'energia rilasciata dalle particelle

collisione



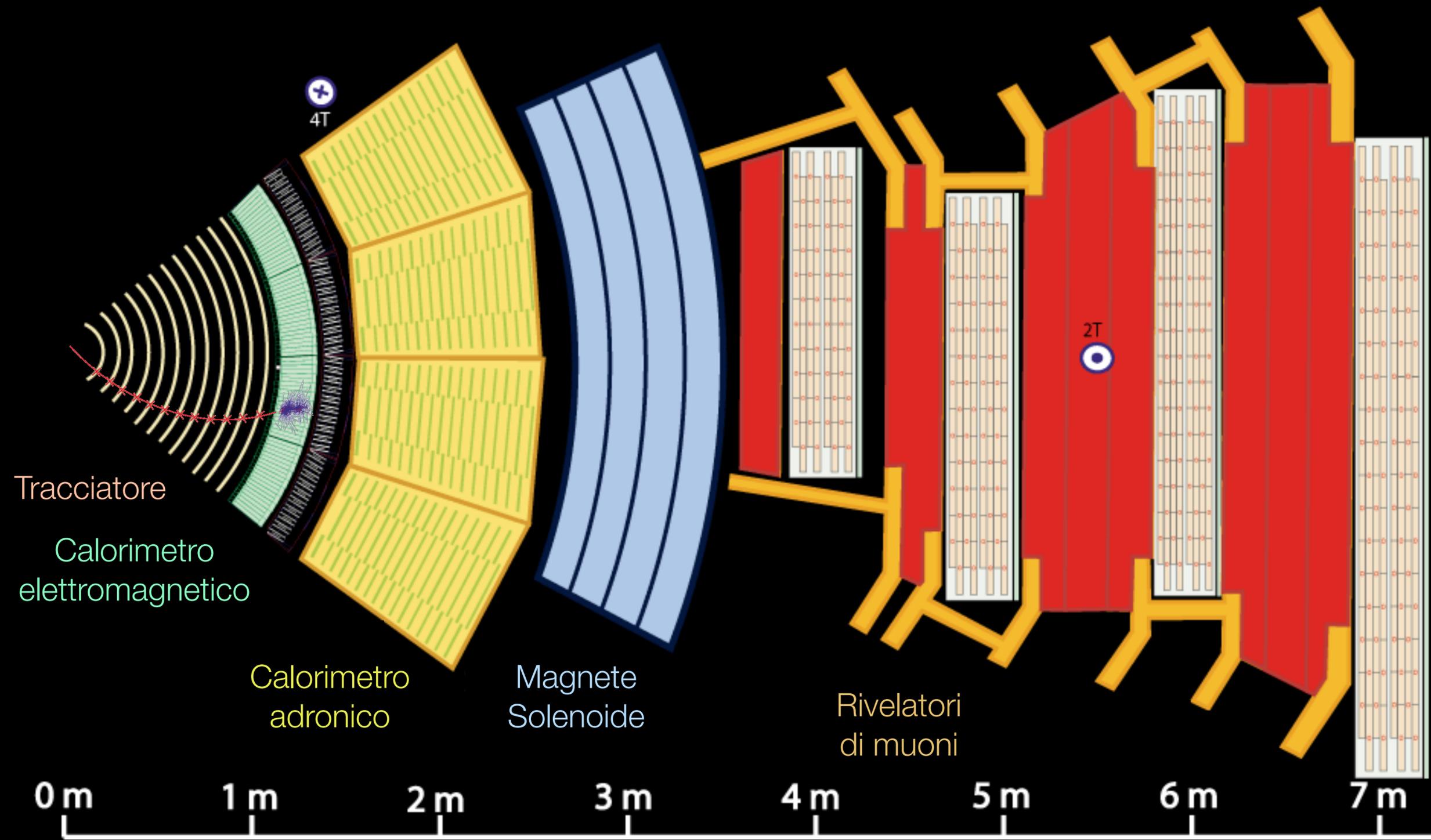


- Key:
- muone
 - elettrone
 - adrone carico (es. pione)
 - - - adrone neutro (es. neutrone)
 - - - fotone

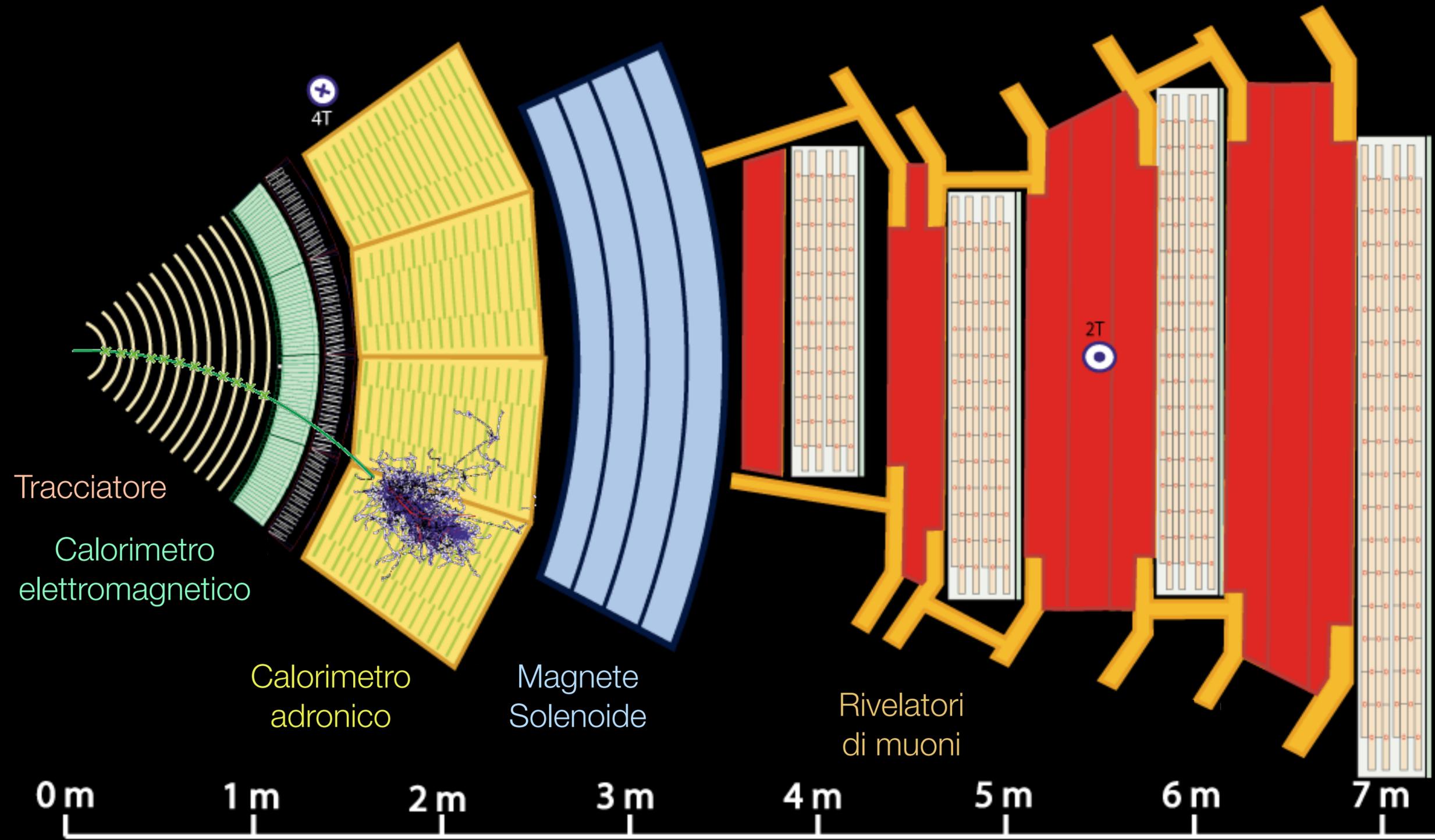


Key:

 muone	 elettrone	 adrone carico (es. pione)
 adrone neutro (es. neutrone)	 fotone	



- Key:
- muone
 - **elettrone**
 - adrone carico (es. pione)
 - - - adrone neutro (es. neutrone)
 - - - fotone



Tracciatore

Calorimetro
elettromagnetico

Calorimetro
adronico

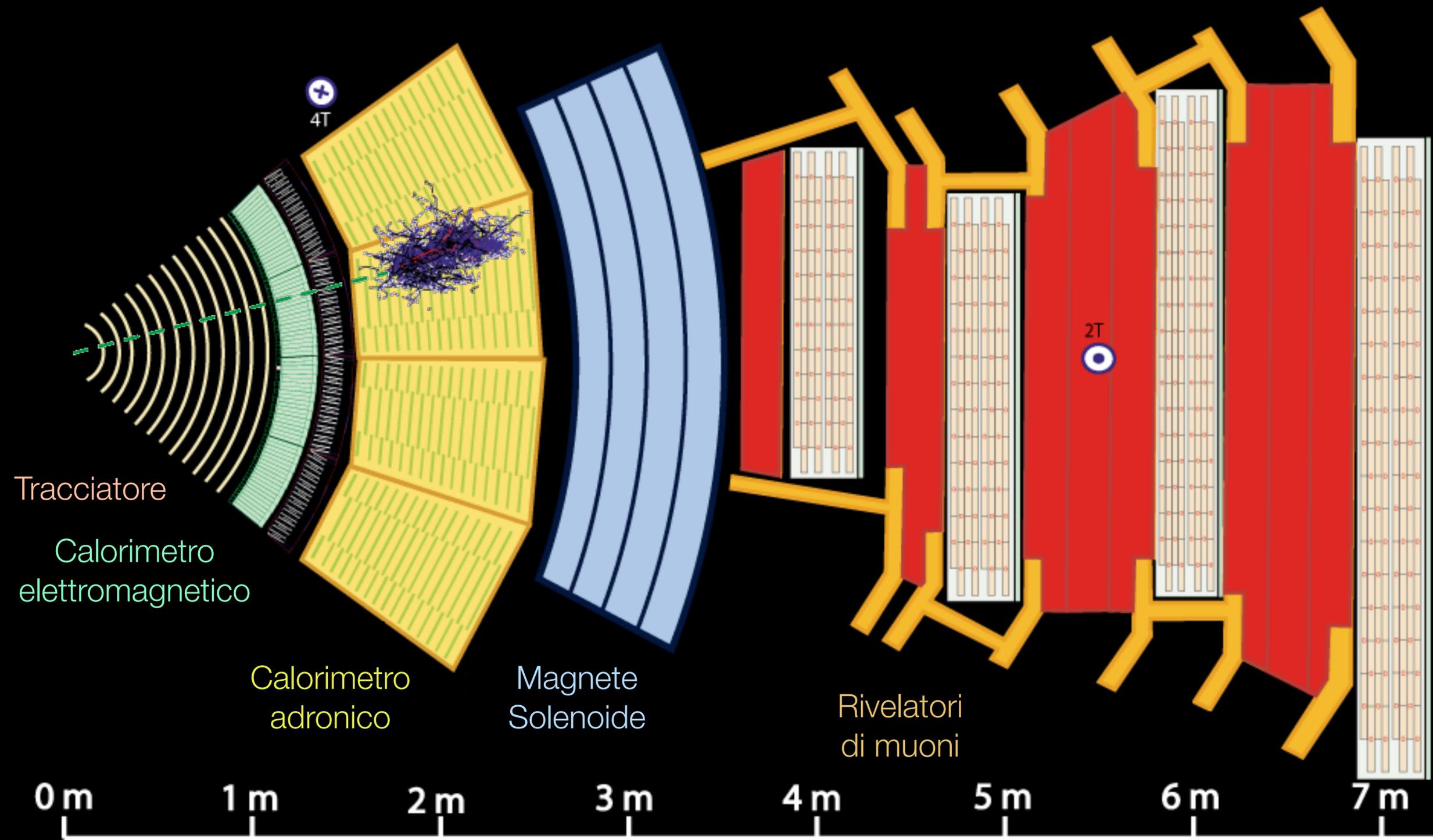
Magnete
Solenoide

Rivelatori
di muoni



Key:

- muone
- elettrone
- **adrone carico (es. pione)**
- - - adrone neutro (es. neutrone)
- - - fotone



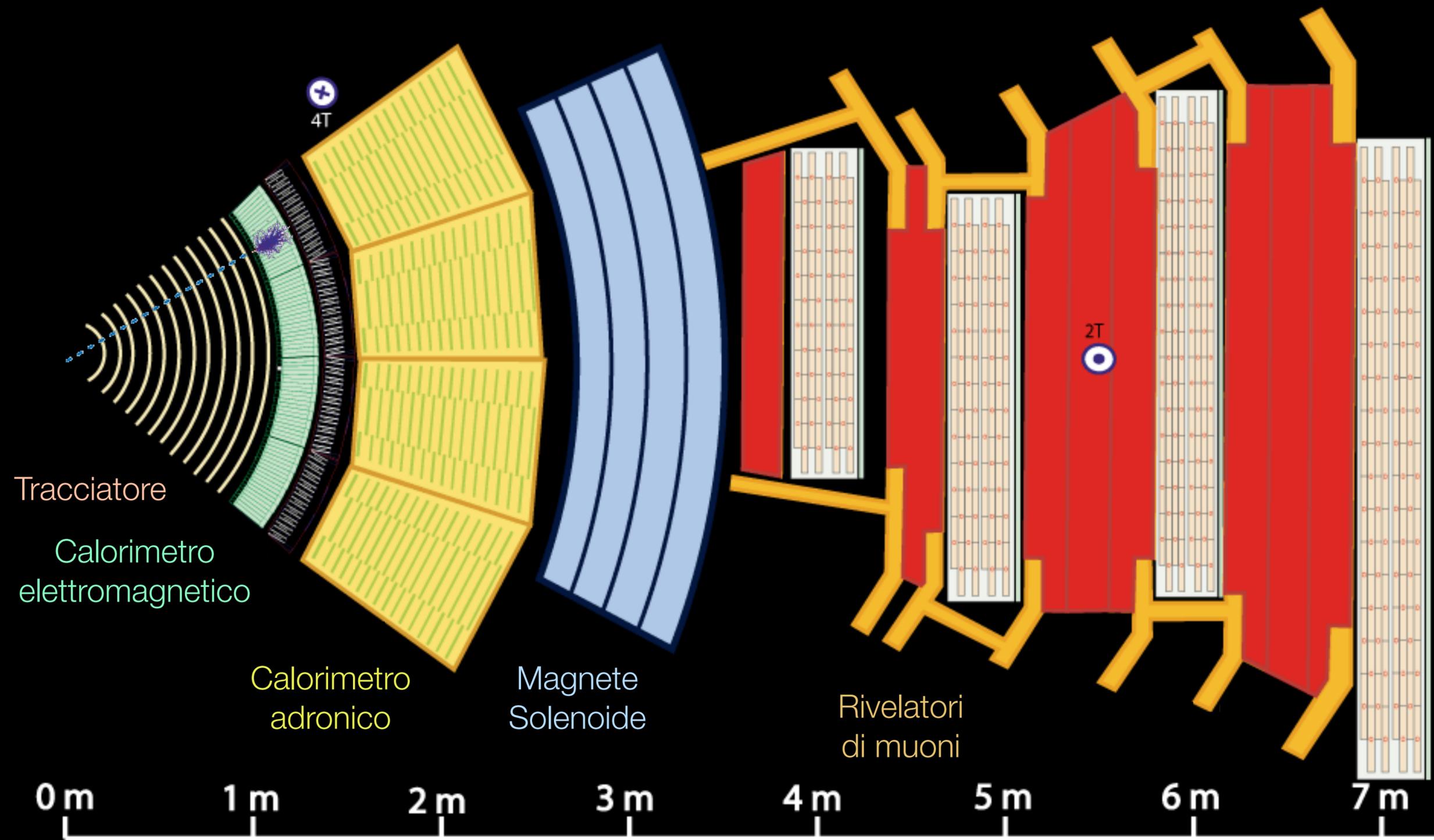
Key:

— muone

— elettrone

— adrone carico (es. pione)

--- **adrone neutro (es. neutrone)** --- fotone



Key:

— muone

— elettrone

— adrone carico (es. pione)

- - - adrone neutro (es. neutrone)

- - - **fotone**

3. Come cerchiamo le
particelle Z, W e H?

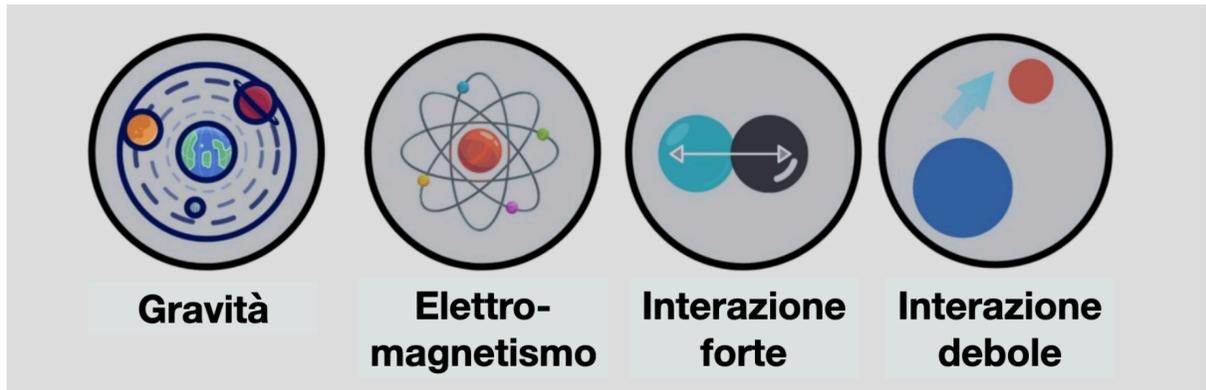
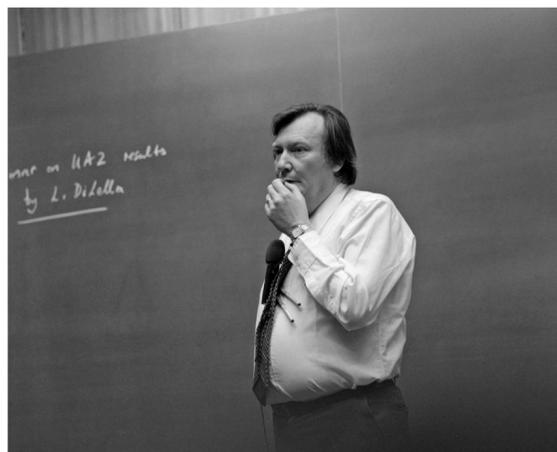
I bosoni

► I **bosoni** sono i *mediatori* delle interazioni fondamentali

► Oggi ci occuperemo di:

Bosoni deboli Z^0 , W^+ , W^-

- Sono i mediatori dell'interazione debole
- Sono stati predetti negli anni '60 da Glashow, Weinberg e Salam
- Scoperti al CERN negli anni '80 da Rubbia



Bosone di Higgs

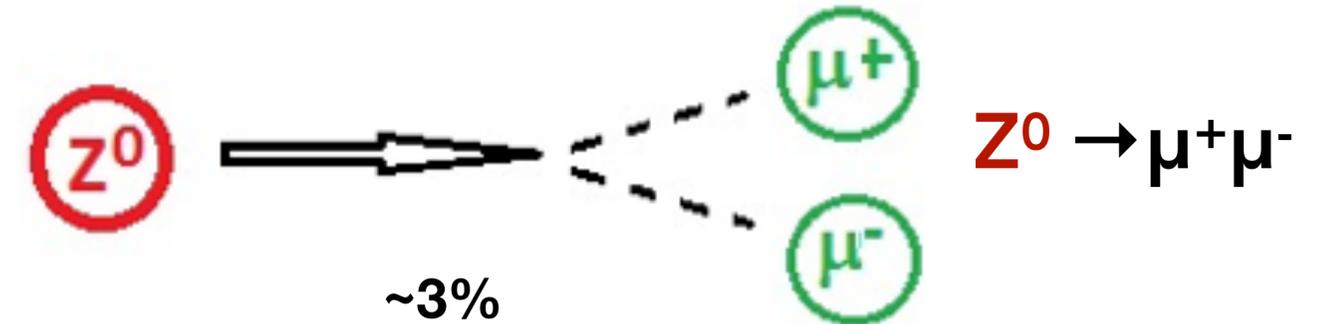
- È la particella che dà massa a tutte le altre particelle!
- È stato predetto negli anni '60 da Brout, Englert e Higgs
- È stato scoperto da CMS e ATLAS nel 2012
-  ha appena compiuto 10 anni 🎂!



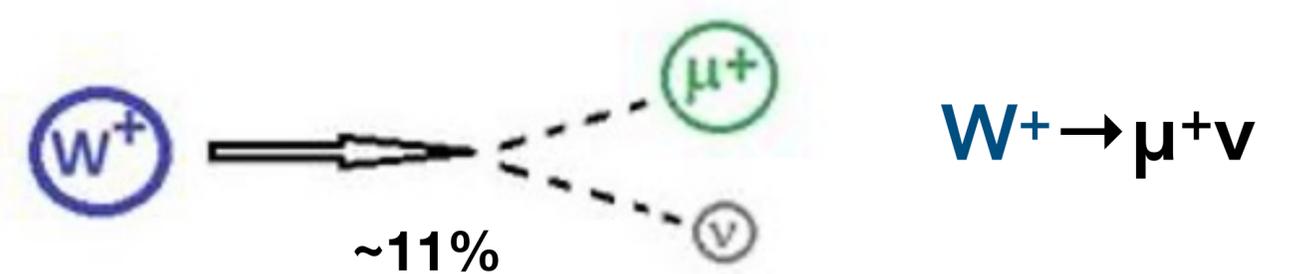
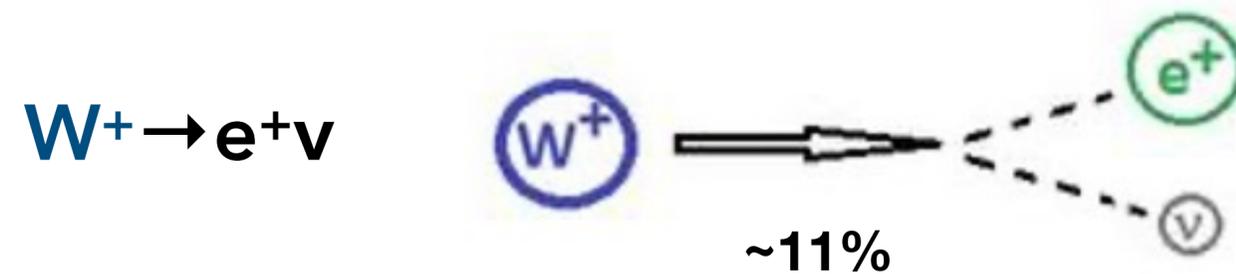
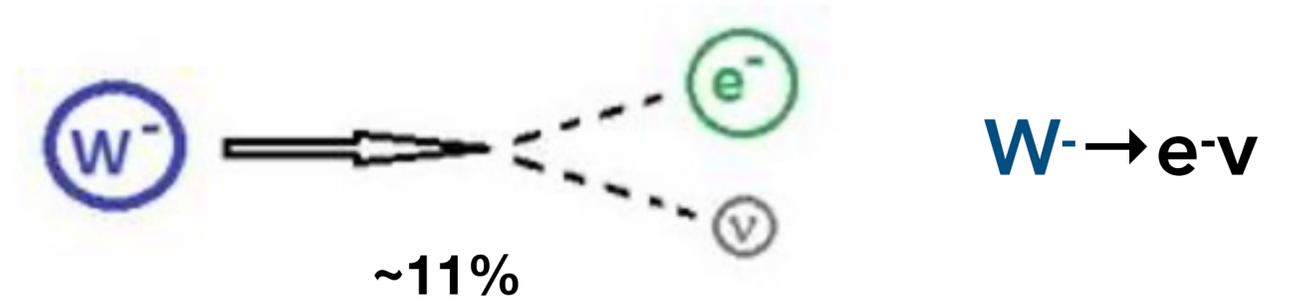
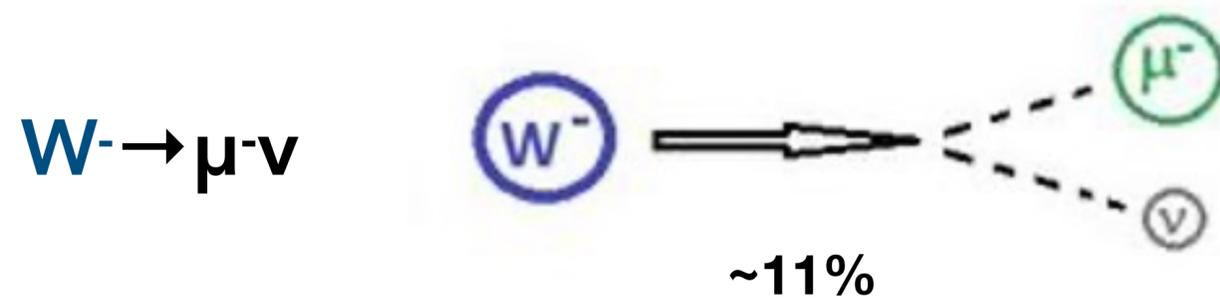
Gli eventi interessanti 1

Gli eventi che analizzeremo oggi

► Il bosone Z^0



► Il bosone W^+ e W^-



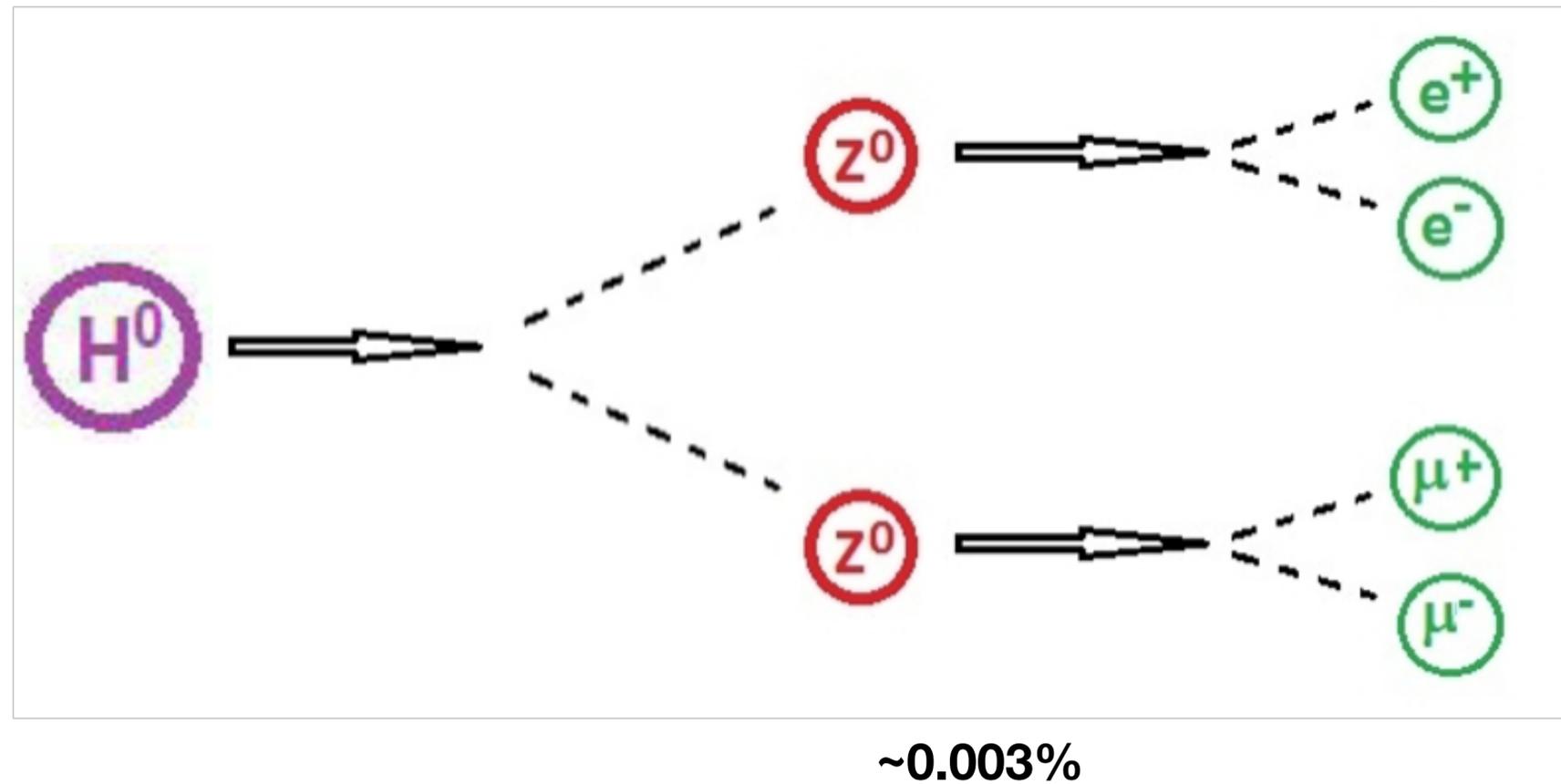
Gli eventi interessanti 2

Gli eventi che analizzeremo oggi

► Il bosone 

$$H \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- e^+ e^-$$

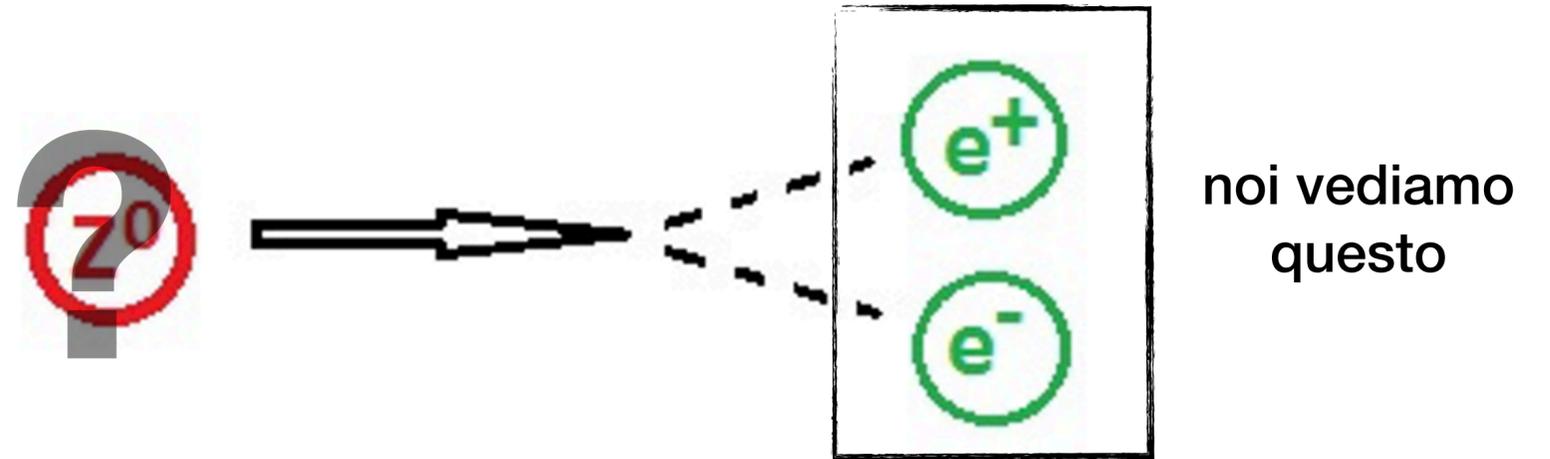
Decadimento a catena



 può decadere anche in altri modi?

Cosa misuriamo?

Usiamo la legge di conservazione



carica iniziale = carica finale

carica **Z** = somma cariche delle figlie

$$Q_Z = q_1 + q_2 = +1 - 1 = 0$$

momento iniziale = momento finale

momento di **Z** = somma momenti delle figlie

$$P_Z = p_1 + p_2$$

energia (o massa) iniziale = energia finale

massa di ~~**Z**~~ = somme delle masse ... **NO** ma usiamo la formula dell'energia $E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2$

$$\Rightarrow M_Z^2 c^2 = m_1^2 c^2 + m_2^2 c^2 + 2(E_1 E_2 / c^2 - p_1 \cdot p_2)$$

la massa
invariante

Fine