

# International Masterclasses 2018

Bologna, 21 febbraio 2018





## Programma

Il programma generale è valido per entrambe le giornate:

Orario	Argomento
<b>Ore 10.00</b>	Benvenuto del Direttore della Sezione di Bologna
<b>Ore 10.15</b>	Fisica delle particelle - prima parte
<b>Ore 11.15</b>	Pausa
<b>Ore 11.30</b>	Fisica delle Particelle - seconda parte
<b>Ore 12.30</b>	Pranzo a buffet presso i locali INFN
<b>Ore 13.30</b>	Preparazione per gli esercizi
<b>Ore 14.00</b>	Risoluzione degli esercizi da parte degli studenti (lavoro in coppie)
<b>Ore 15.30</b>	Discussione sul lavoro svolto
<b>Ore 16.00</b>	Collegamento con il CERN
<b>Ore 17.30</b>	Fine

## Classi di studenti che parteciperanno oggi:

- London Queen Mary Collage (U.K.)
- Univ. di Bologna (IT)
- Vila Real (Portogallo)
- Atene (GR)
- Marsiglia(FR)

## FACEBOOK:

- INFN: <https://www.facebook.com/IstitutoFisicaNucleare>
- Asimmetrie: <https://www.facebook.com/asimmetrieInfn>
- International Masterclass:  
<https://www.facebook.com/InternationalParticlePhysicsMasterclasses/>

## TWITTER:

INFN: <https://twitter.com/UffComINFN>

International Masterclass: <https://twitter.com/physicsIMC>

## INSTAGRAM:

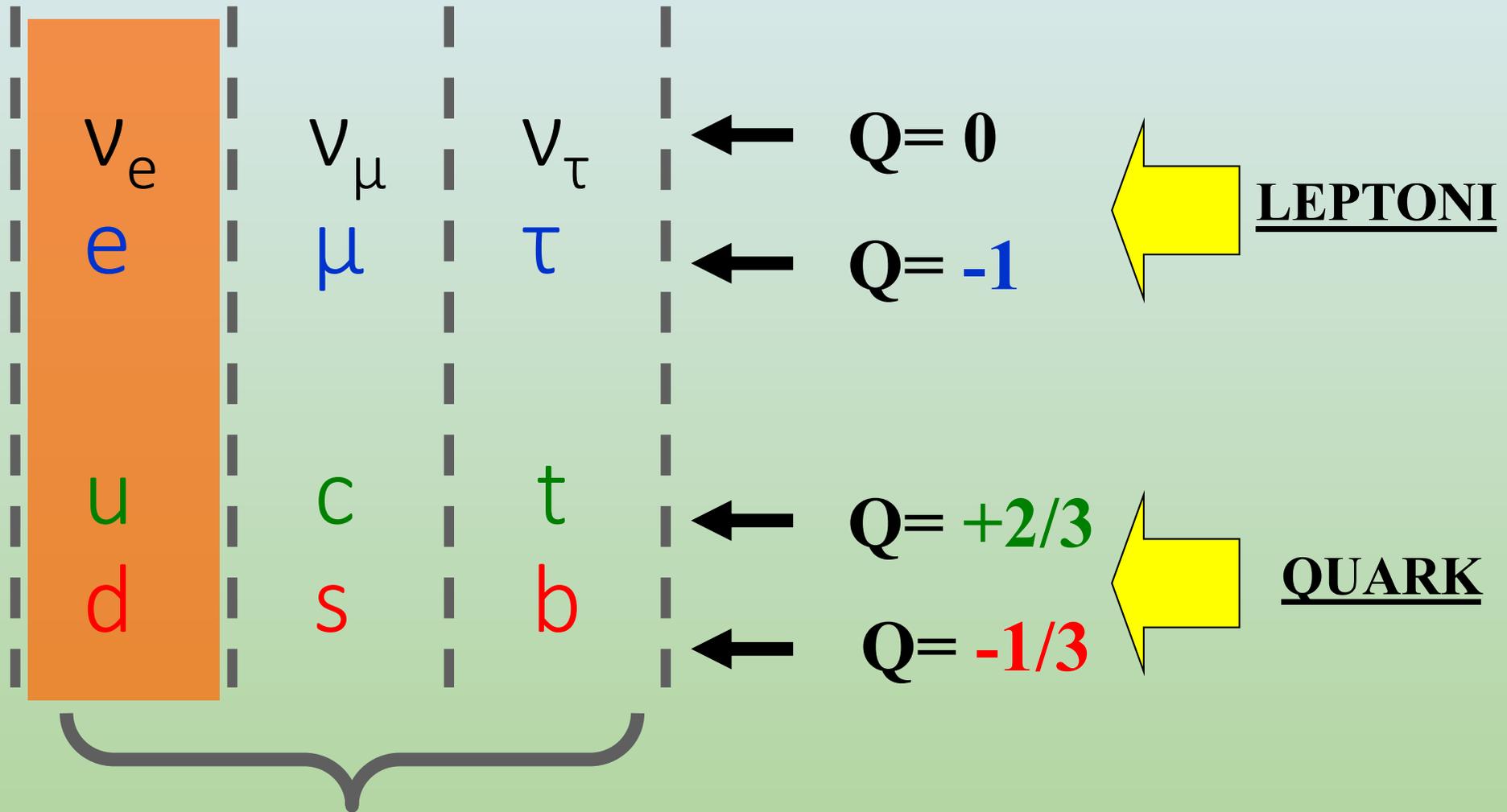
[https://www.instagram.com/inf\\_n\\_insights/](https://www.instagram.com/inf_n_insights/)

Se volete condividere sui vostri profili usate gli hashtag: **#MasterclassINFN** e **#LHCIMC18**

# **(Quasi) tutto quello che c'è da sapere sulla fisica delle particelle**

**S. Marcellini, INFN Bologna**

Le particelle fondamentali della natura hanno  $\text{spin} = \frac{1}{2}$



3 famiglie

...piu' le corrispondenti  
antiparticelle

# Le Interazioni fondamentali

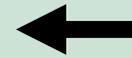
- Tutti i fenomeni che conosciamo sono interpretabili mediante 4 forze, o “interazioni” fondamentali.
  - 1) Int. **GRAVITAZIONALE**
  - 2) Int. **ELETTROMAGNETICA**
  - 3) Int. **DEBOLE**
  - 4) Int. **FORTE** (o nucleare, o “di colore”)

## Le interazioni fondamentali

$\nu_e$

$\nu_\mu$

$\nu_\tau$

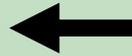


**Debole, Gravitazionale**

$e$

$\mu$

$\tau$



**Debole, Gravitazionale,  
Elettromagnetica**

$u$

$c$

$t$

$d$

$s$

$b$



**Debole, Gravitazionale,  
Elettromagnetica, Forte**

# Il protone e il neutrone sono composti da quark

## QUARK



I quark hanno CARICA ELETTRICA FRAZIONARIA.

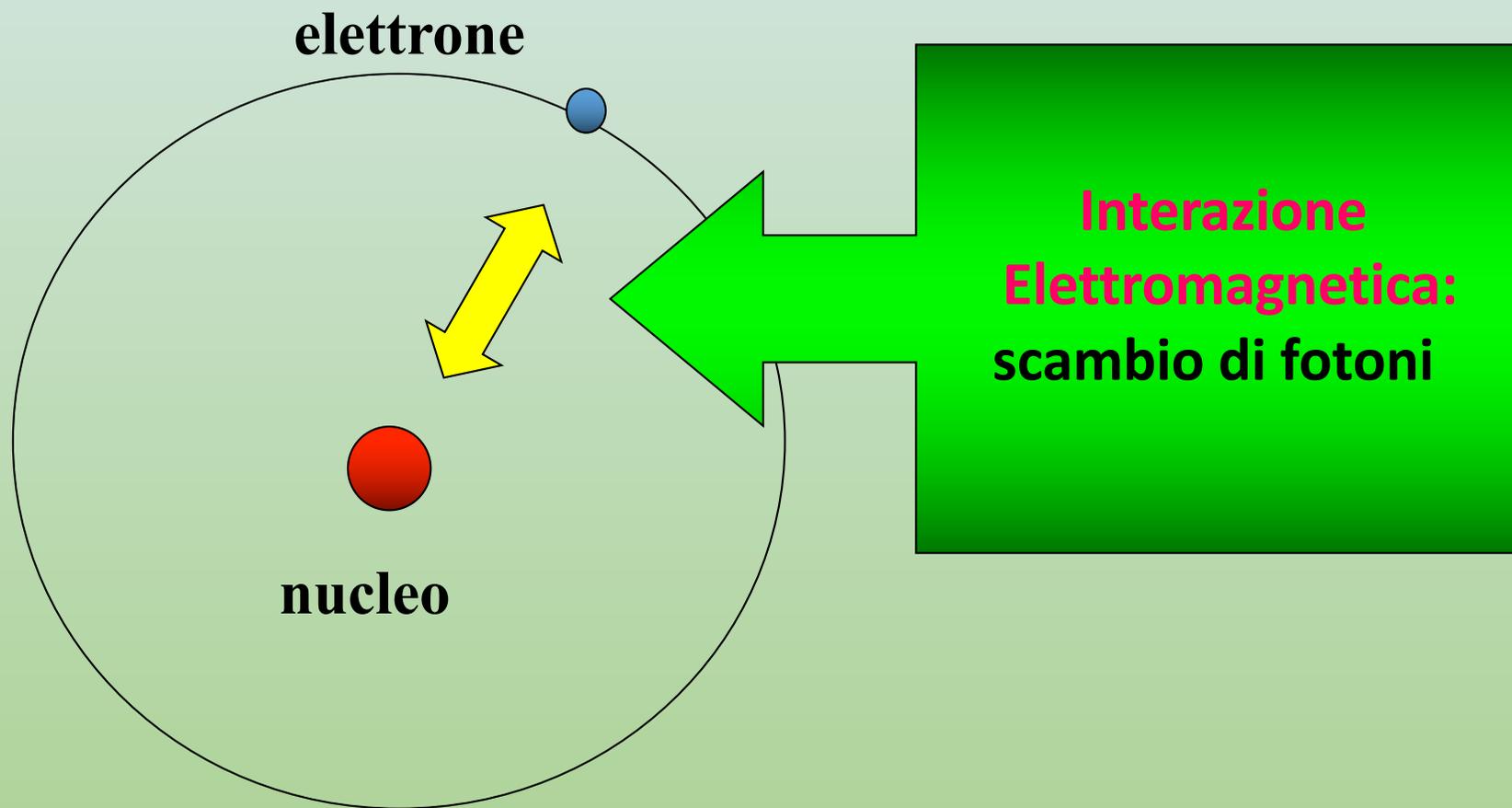
Carica up = + 2 / 3      Carica down = - 1 / 3

Le proprietà del nucleone sono date dalle proprietà dei quark, **e dalle loro interazioni.**

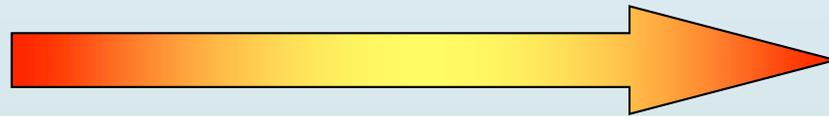
La forza nucleare fra nucleoni è in realtà la forza nucleare fra quark.

Le interazioni avvengono mediante scambio di particelle di spin intero (1 o 2), che si chiamano “portatori della forza”

# Esempio: l'atomo

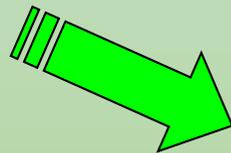
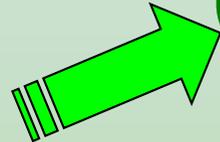


**PRIMA**



**DOPO**

particella A



particella B

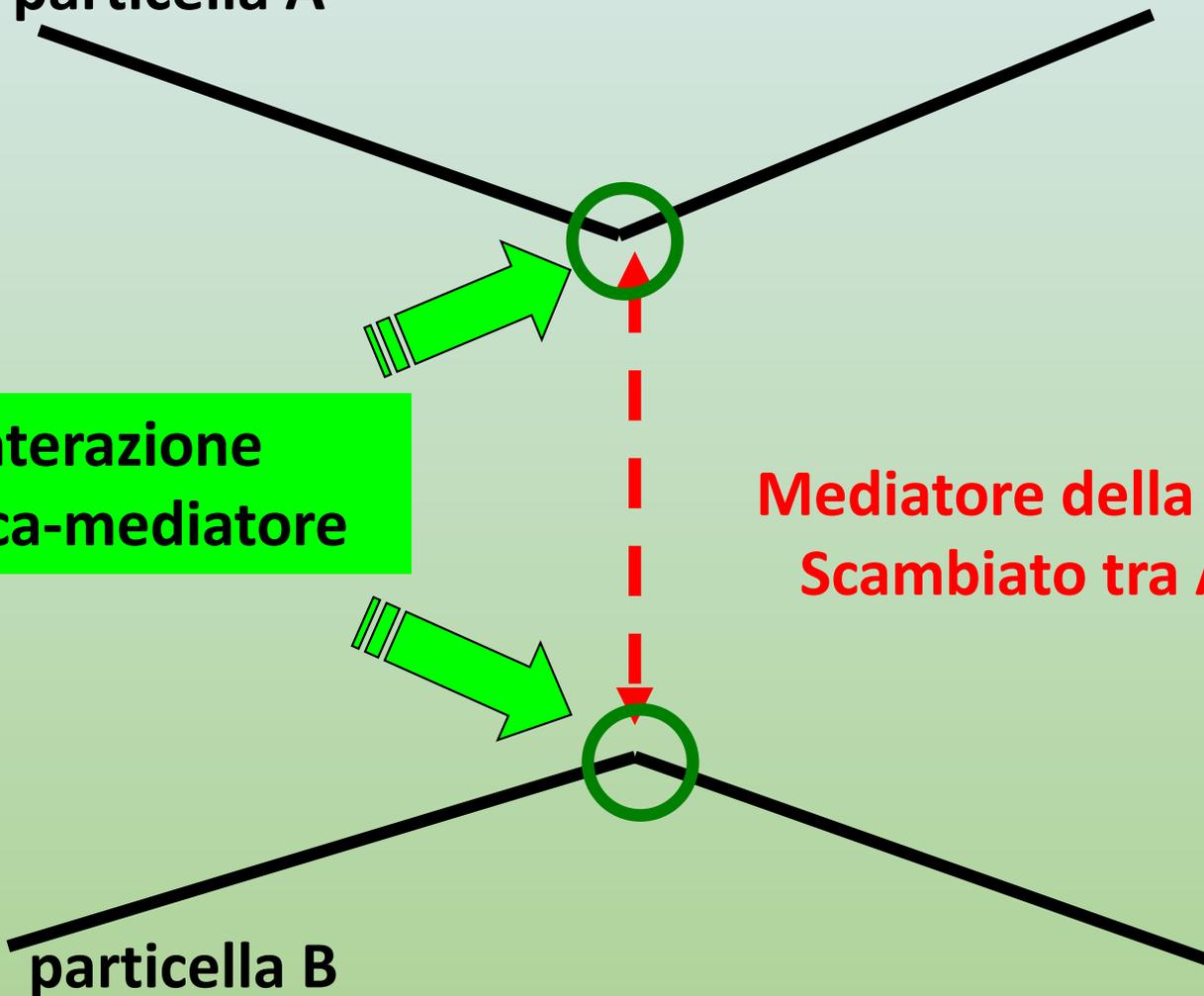


**Interazione  
carica-mediatore**

**Mediatore della forza,  
scambiato tra A e B**

# Int. debole: $W^+$ , $W^-$ , $Z^0$

particella A



Interazione  
carica-mediatore

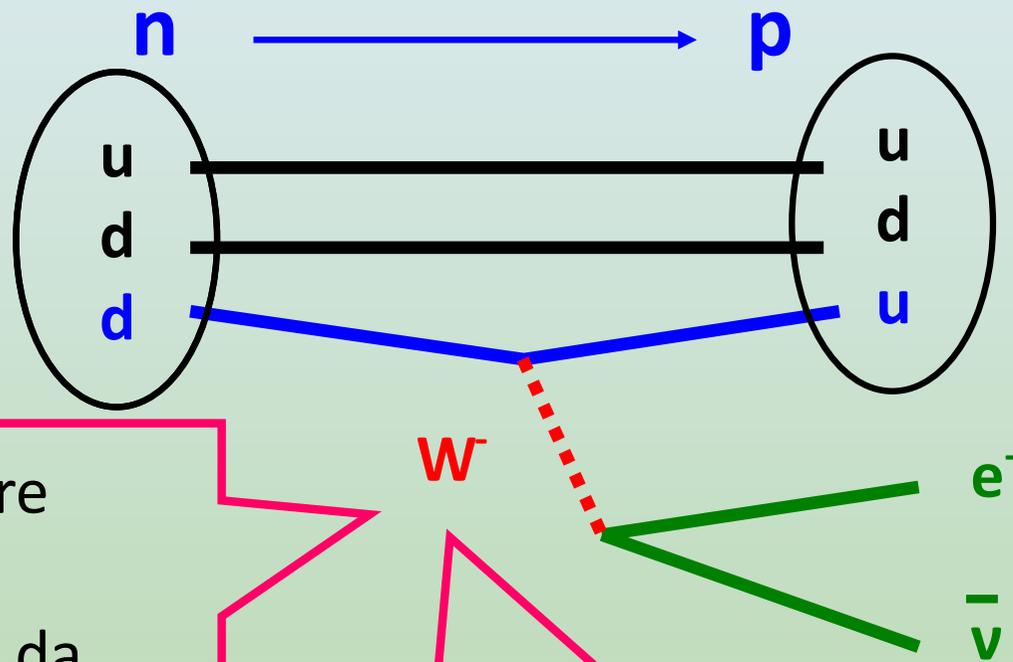
Mediatore della forza,  
Scambiato tra A e B

particella B

## decadimento $\beta$



$$M_n - M_p \sim 1 \text{ MeV}$$



“Ostacolato” : deve essere prodotto un oggetto di massa  $\sim 80 \text{ GeV}$  a partire da  $0.001 \text{ GeV}$  disponibili.

**Vita media “lunga”**

Ha un **raggio di azione molto piccolo** perche' la W puo' esistere solo per un tempo molto breve, compatibile con il **principio di indeterminazione:  $\Delta t \cdot \Delta m > \hbar$**

Perché le particelle fondamentali hanno massa?



Perché le particelle fondamentali hanno massa?



Perché le particelle fondamentali hanno massa?



Perché le particelle fondamentali hanno massa?



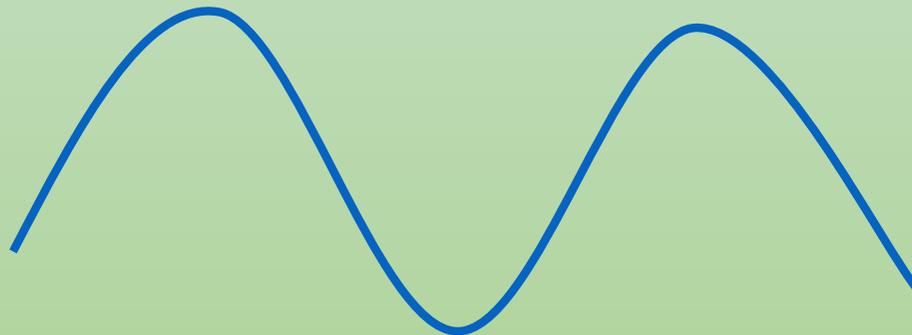
Perché le particelle fondamentali hanno massa?



Un acceleratore è un microscopio

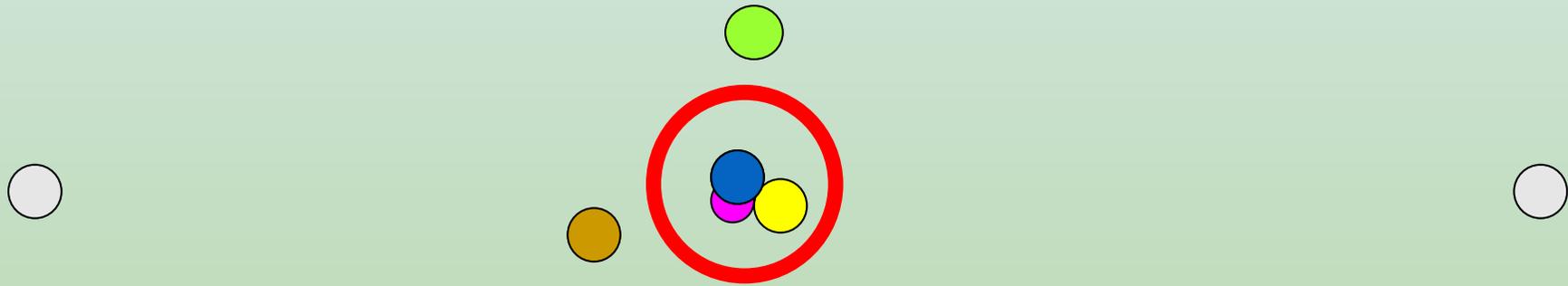
$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$\lambda$



Due protoni vengono fatti urtare fra loro ad altissima  
energia (accelerati da un acceleratore)

# Cosa avviene concettualmente in un urto tra particelle ?



Quello che succede nell'urto, avviene su scale spaziali  
piccolissime, tanto più piccole è la collisione e l'energia  
le informazioni per capire cosa è avvenuto nell'urto

Negli urti ad alte energie fra particelle viene “creata” nuova materia, grazie alla relazione relativistica:

$$E = mc^2$$

L'energia **E** e la massa **m** sono **equivalenti** e, sotto opportune condizioni, **intercambiabili**.

**Una parte dell'energia cinetica iniziale dei proiettili si trasforma in materia dopo l'urto. Si assiste quindi alla “creazione” di nuove particelle, che non erano presenti prima dell'urto.**

**CERN**

**Anello sotterraneo di LHC  
(27 Km di circonferenza)**

**ALICE**

**ATLAS**

**CMS**

**LHCb**

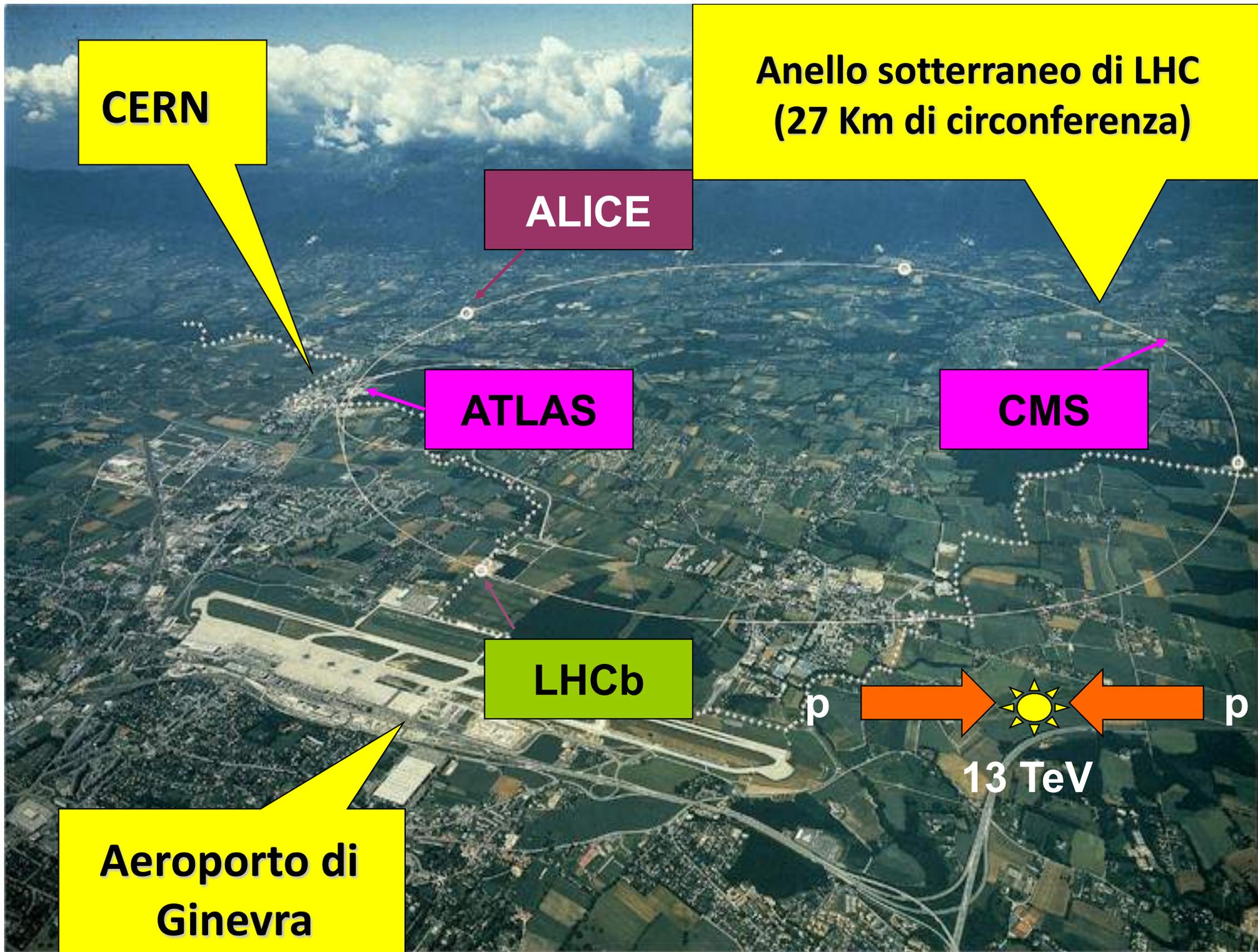
**Aeroporto di  
Ginevra**

p

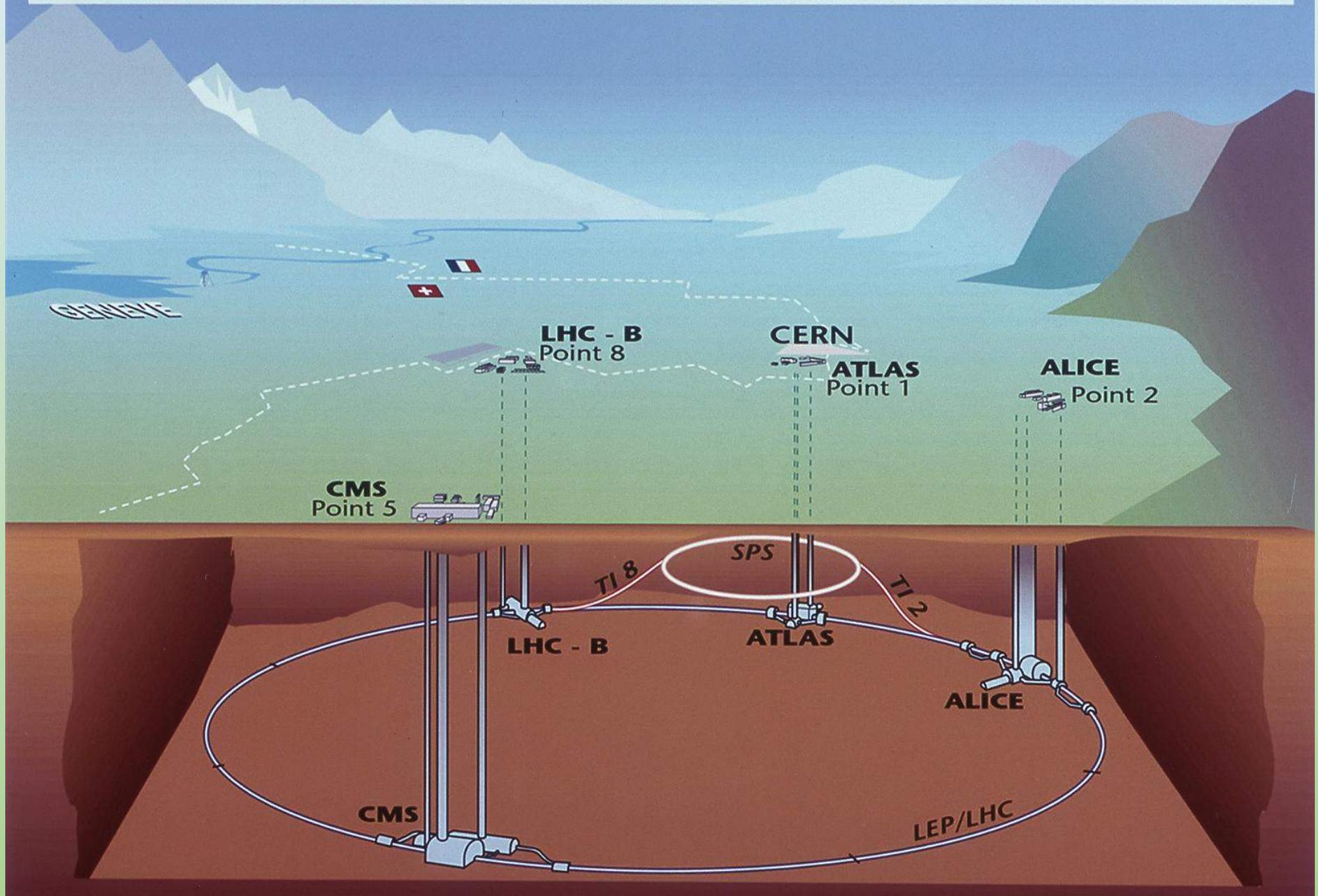


p

**13 TeV**



# Overall view of the LHC experiments.



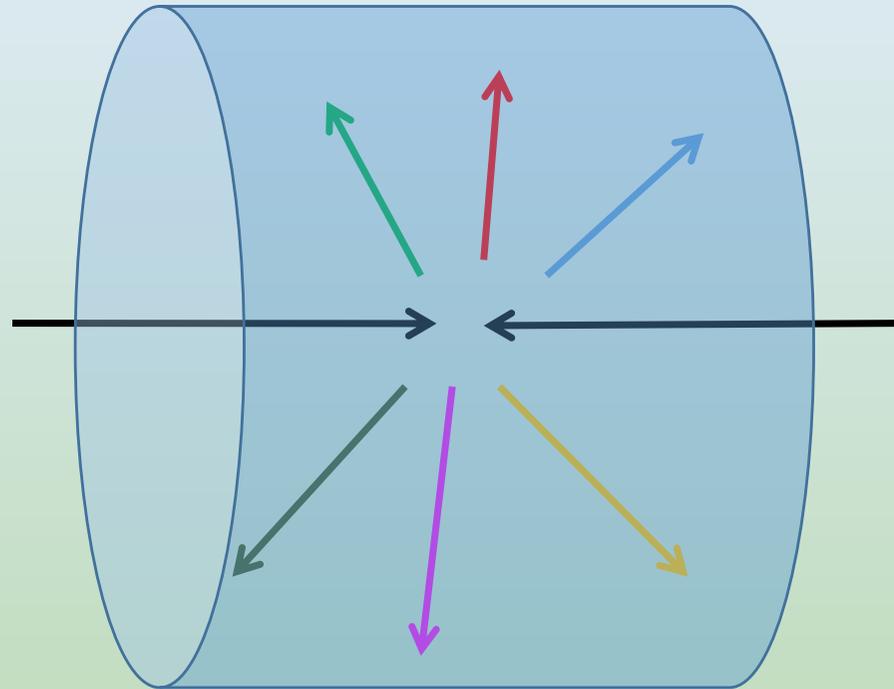
## Una sezione del tunnel e dell'acceleratore



**Un rivelatore di particelle** è un insieme di strumenti che ci permette di studiare cosa avviene negli urti fra particelle.

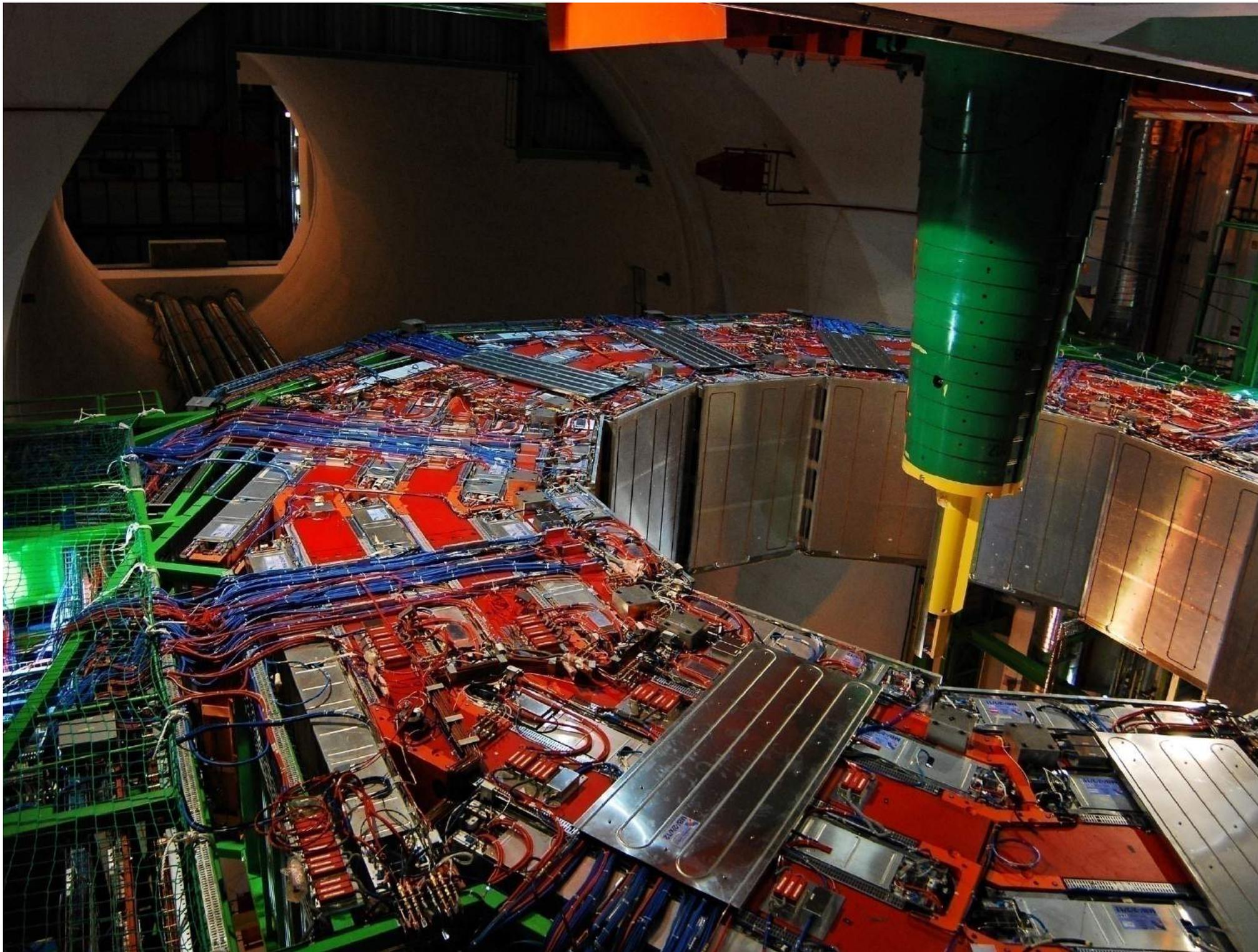
Ci permette di misurare **quante** particelle sono emesse, il **tipo** di particelle, la loro **direzione**, **energia**, etc.

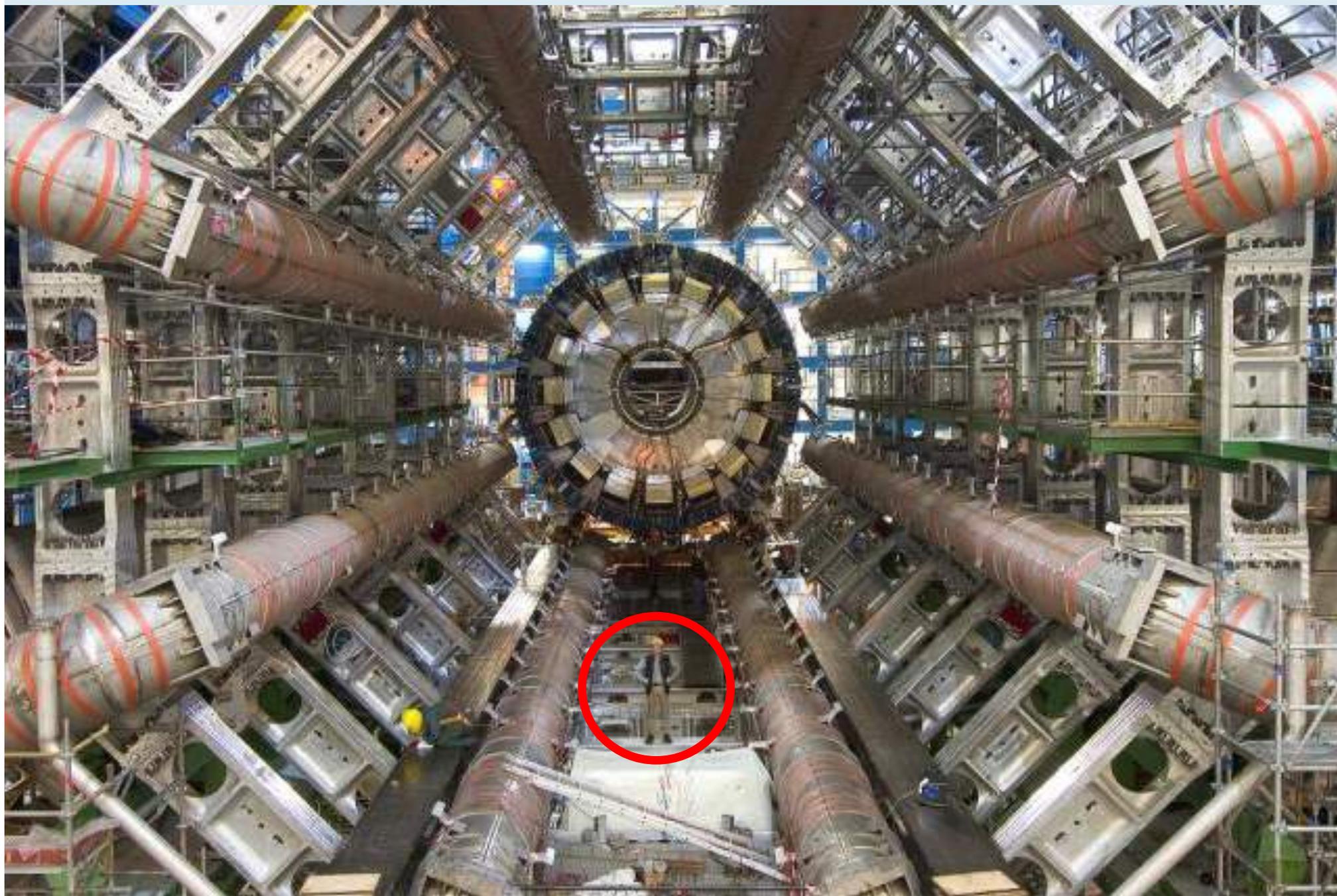
**Deve essere capace di registrare migliaia o addirittura milioni di eventi al secondo**



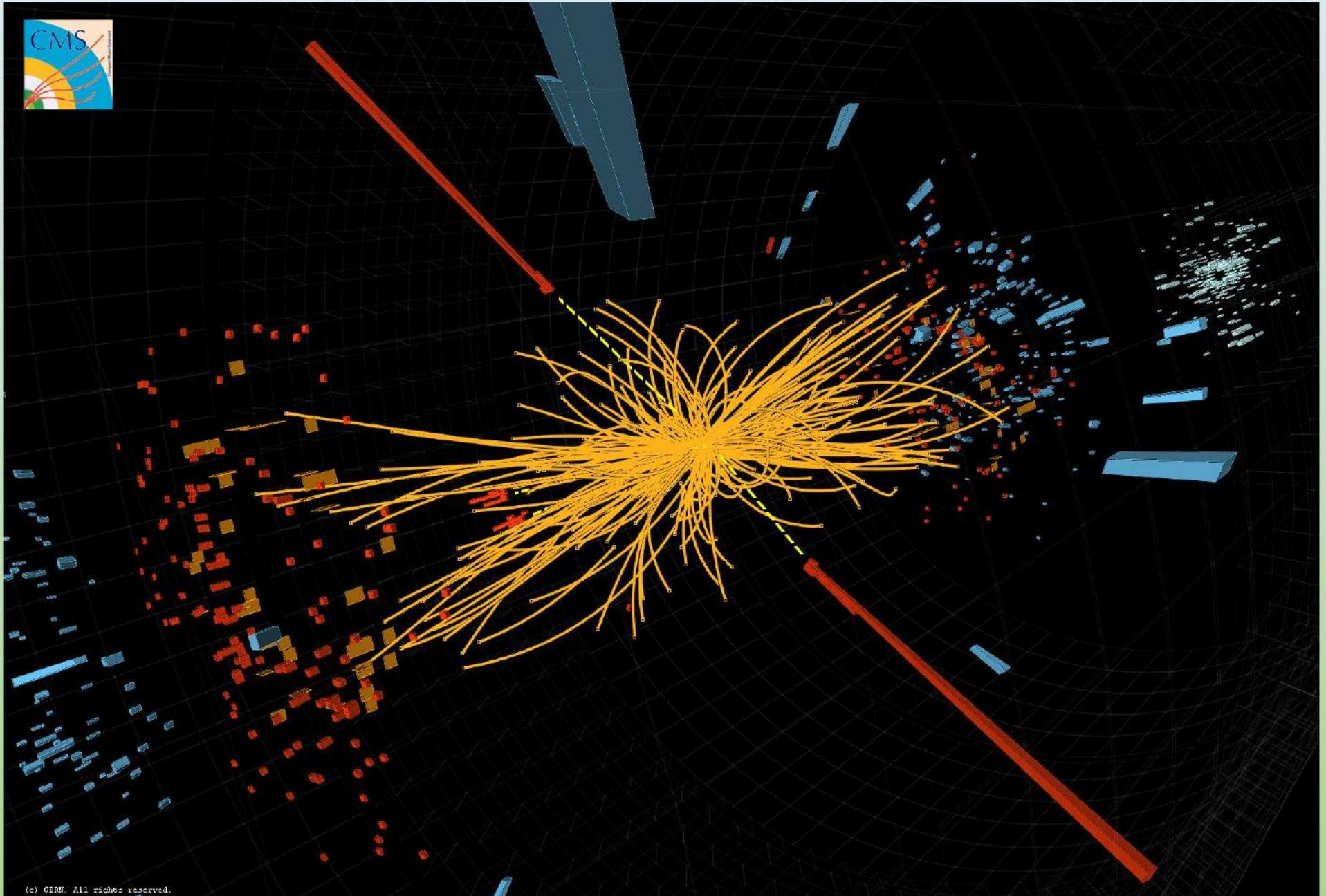
L'idea è quella di **circondare la zona di interazione** con opportuni strumenti in grado di “vedere” quello che e' stato prodotto nelle interazioni.

Lo studio dei prodotti delle interazioni ci da le informazioni per capire che cosa è avvenuto nelle interazioni stesse

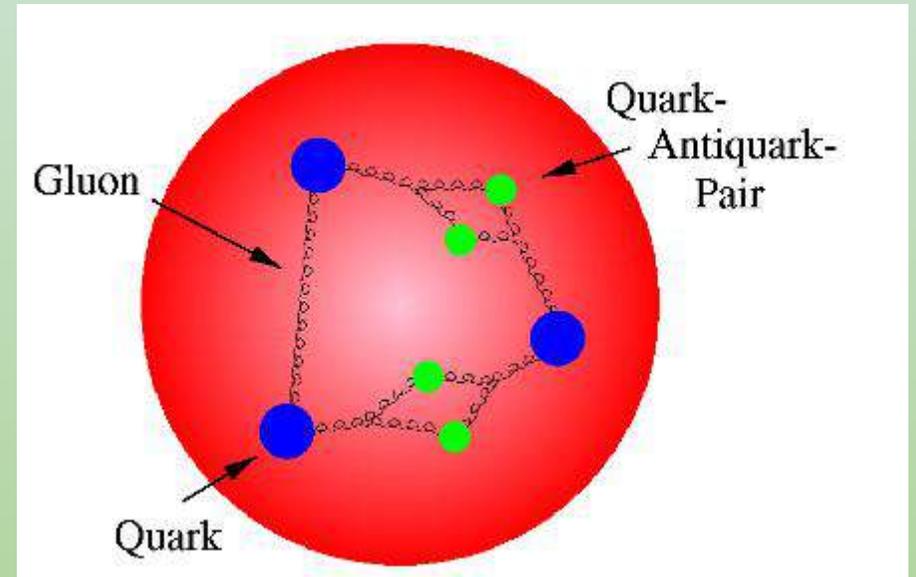
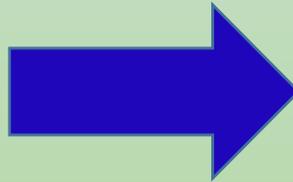
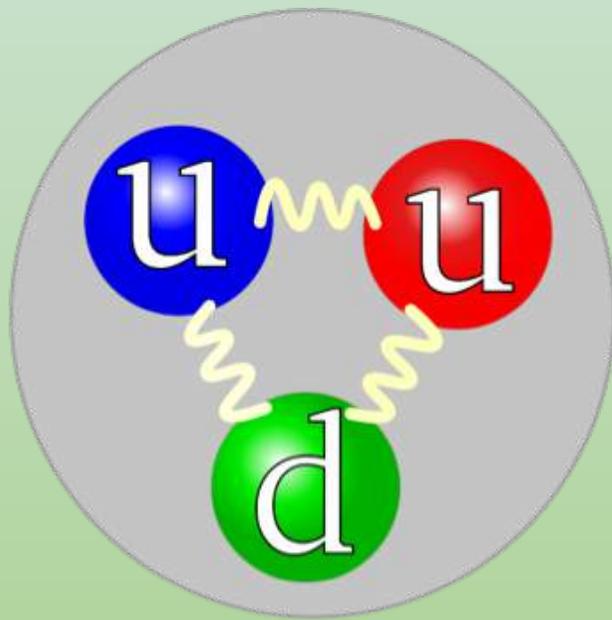


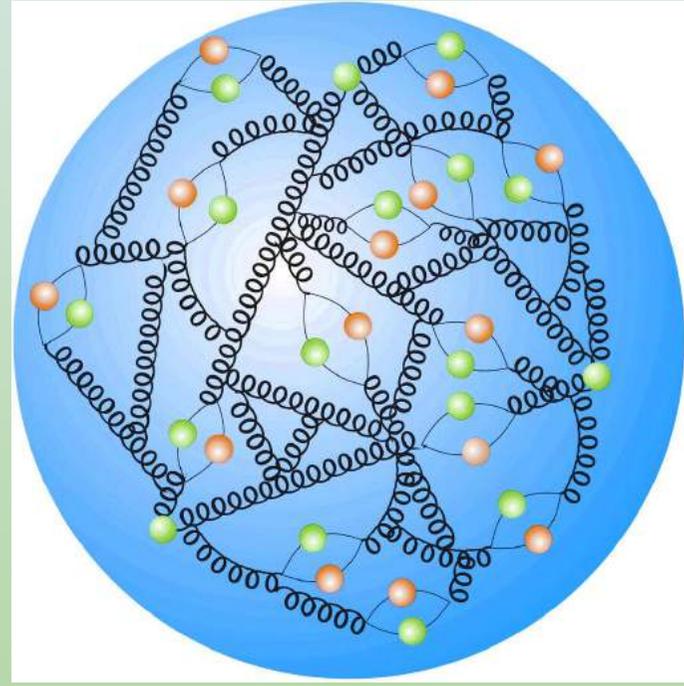
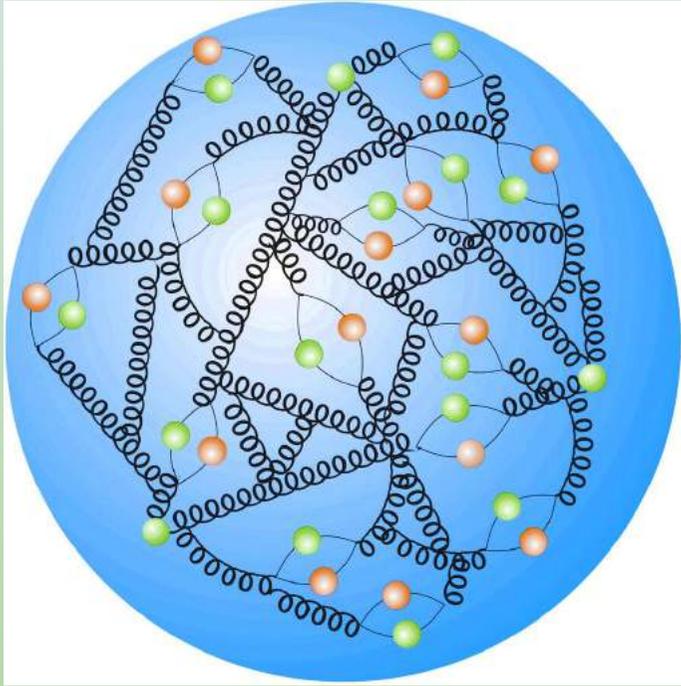


## Un evento tipico a LHC: **molte tracce**

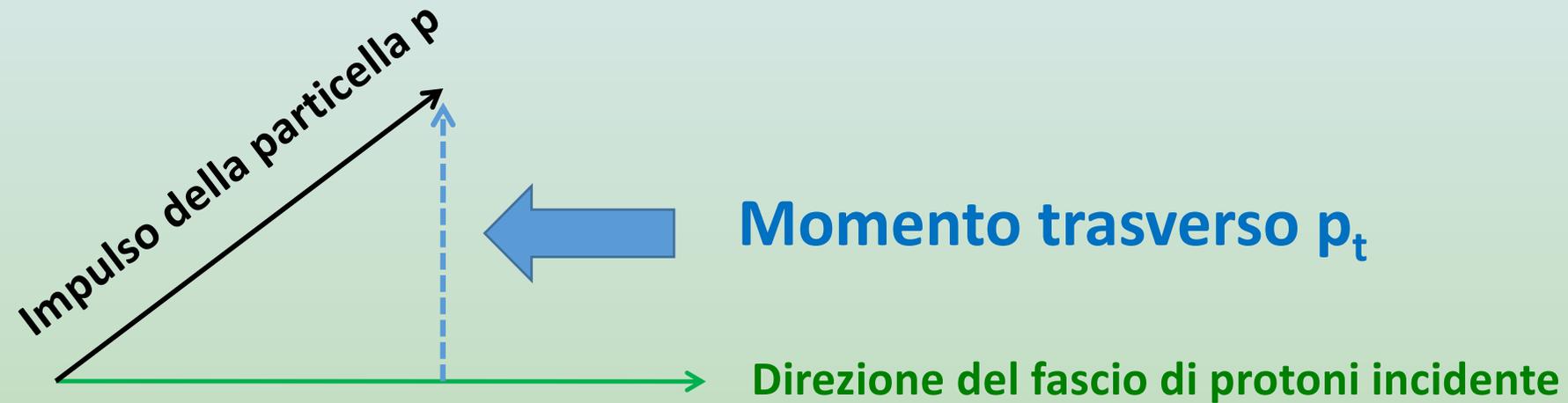


Alle energie di LHC il protone diventa molto più complicato

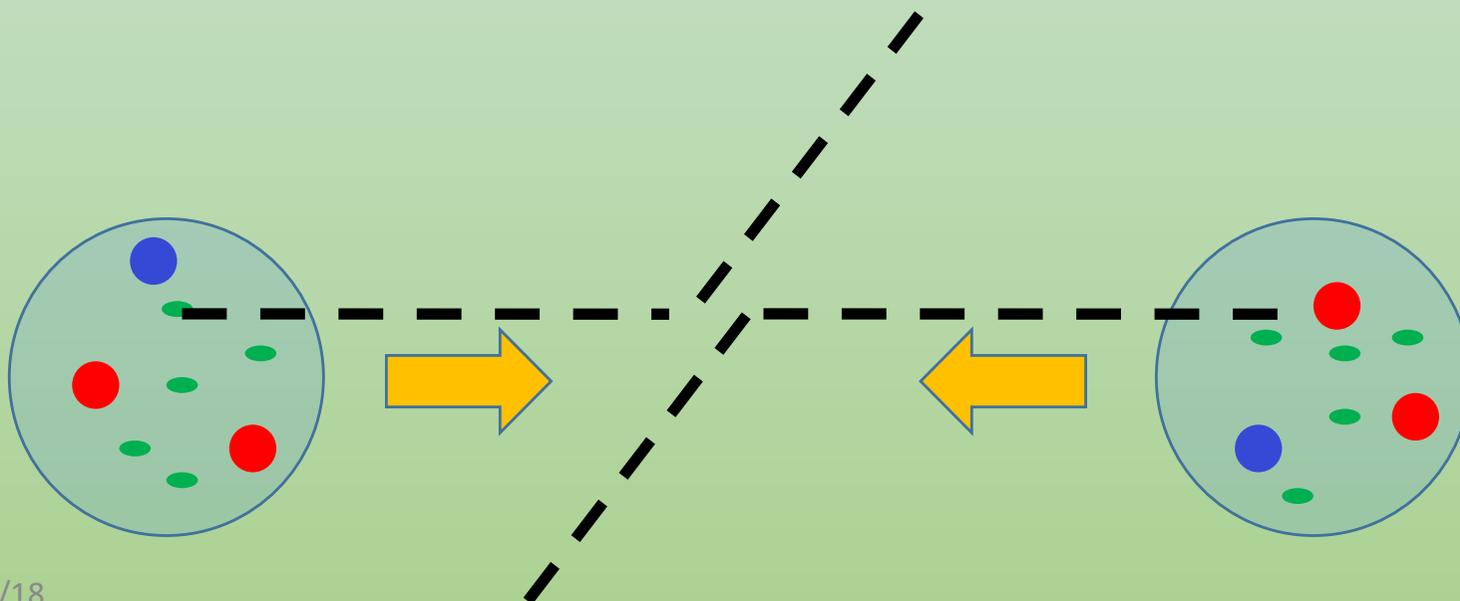




# Particelle ad alto momento trasverso $p_t$

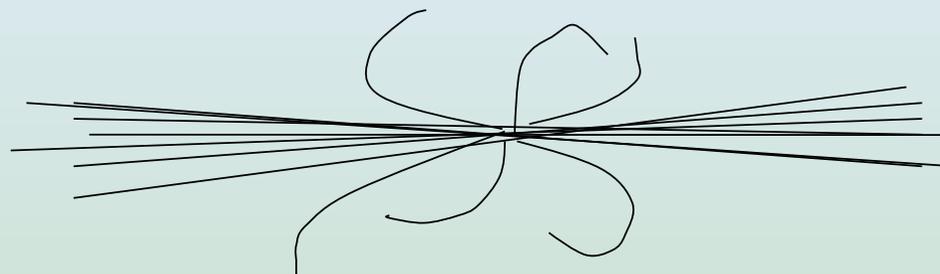


# Particelle ad alto momento trasverso $p_t$



### Stato finale tipico di LHC:

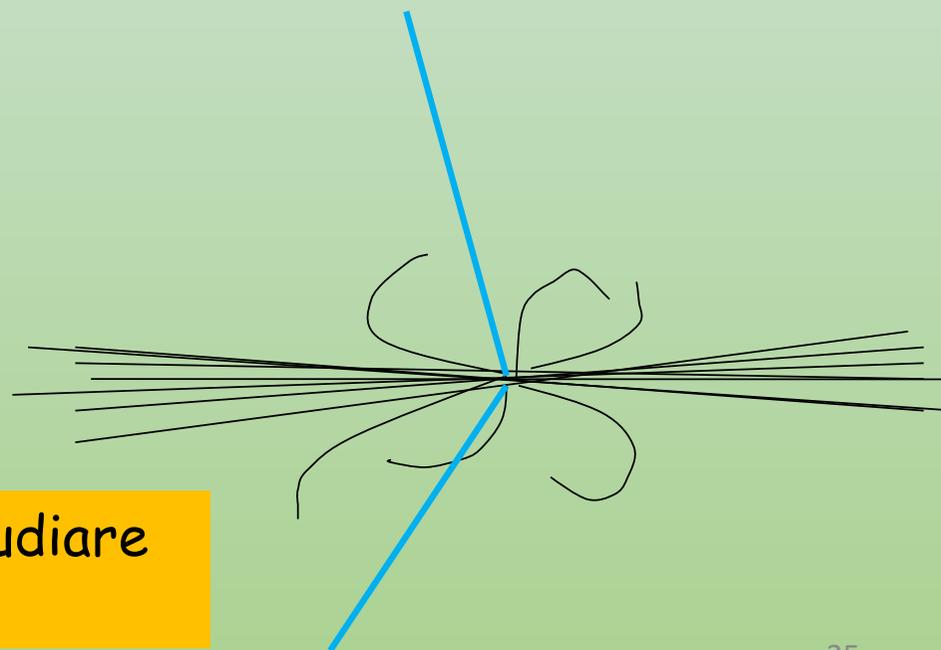
molte particelle di basso  $p_t$ .



### Stato finale molto piu' raro a LHC:

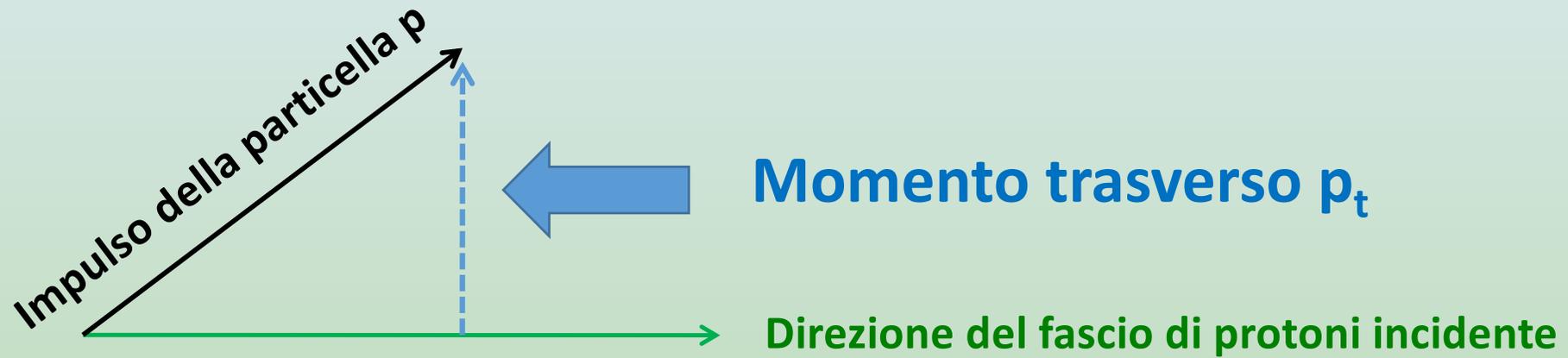
molte particelle di basso  $p_t$ , ma anche alcune ad alto  $p_t$ . Sono gli eventi "interessanti" che bisogna selezionare.

Sono una frazione di molti ordini di grandezza inferiore



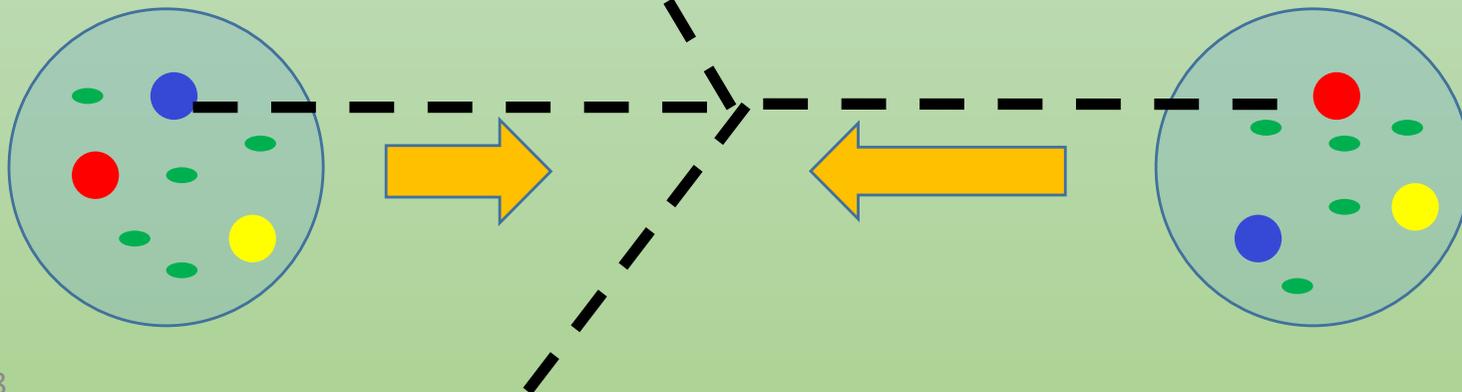
CMS e ATLAS sono pensati per studiare soprattutto questo tipo di eventi

# Energia "trasversa"



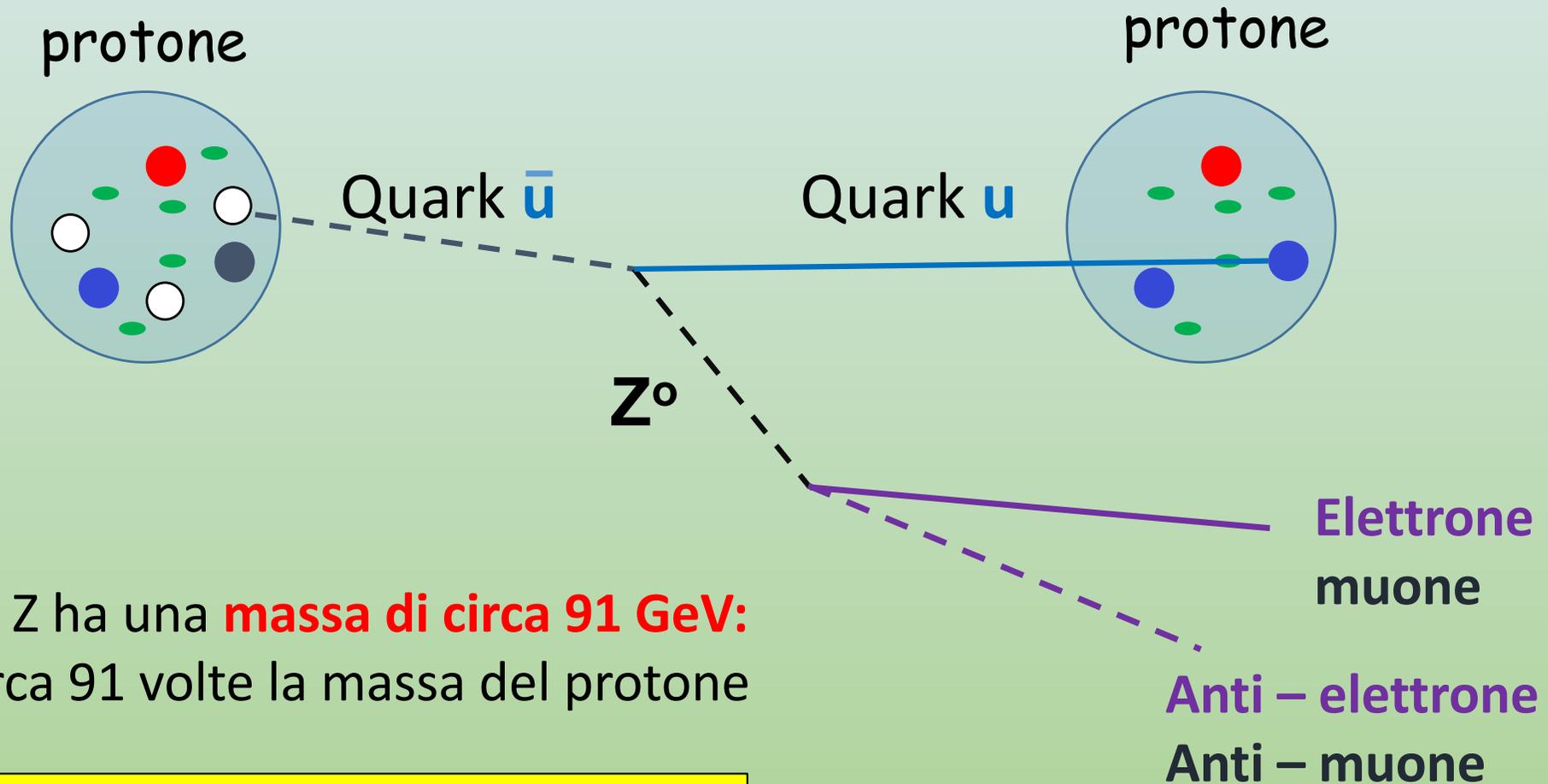
Gli impulsi dei due protoni iniziali non sono uguali !!!

Invece nel piano trasverso  $P_t = 0$  prima, e  $P_t = 0$  dopo !!!



## la particella $Z^0$

E' responsabile delle interazioni deboli "neutre"



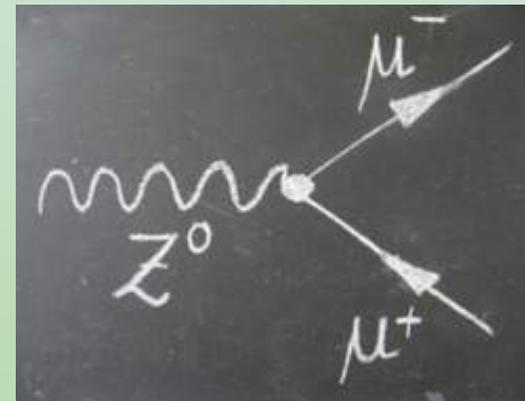
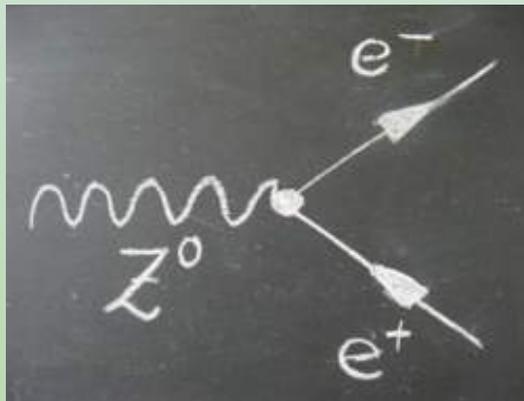
La Z ha una **massa di circa 91 GeV**:  
circa 91 volte la massa del protone

La particella Z vive per  
un tempo brevissimo:  **$10^{-25}$  s**  
E' quindi assolutamente invisibile, ma...

## Decadimento della Z

La  $Z^0$  vive pochissimo e poi decade trasformandosi in coppie di **particella-antiparticella**.

(es: **elettone-antielettone** oppure **muone-antimuone**)



**Due elettroni o due muoni di carica opposta**

**MAI un elettone e un muone**, anche se di carica opposta

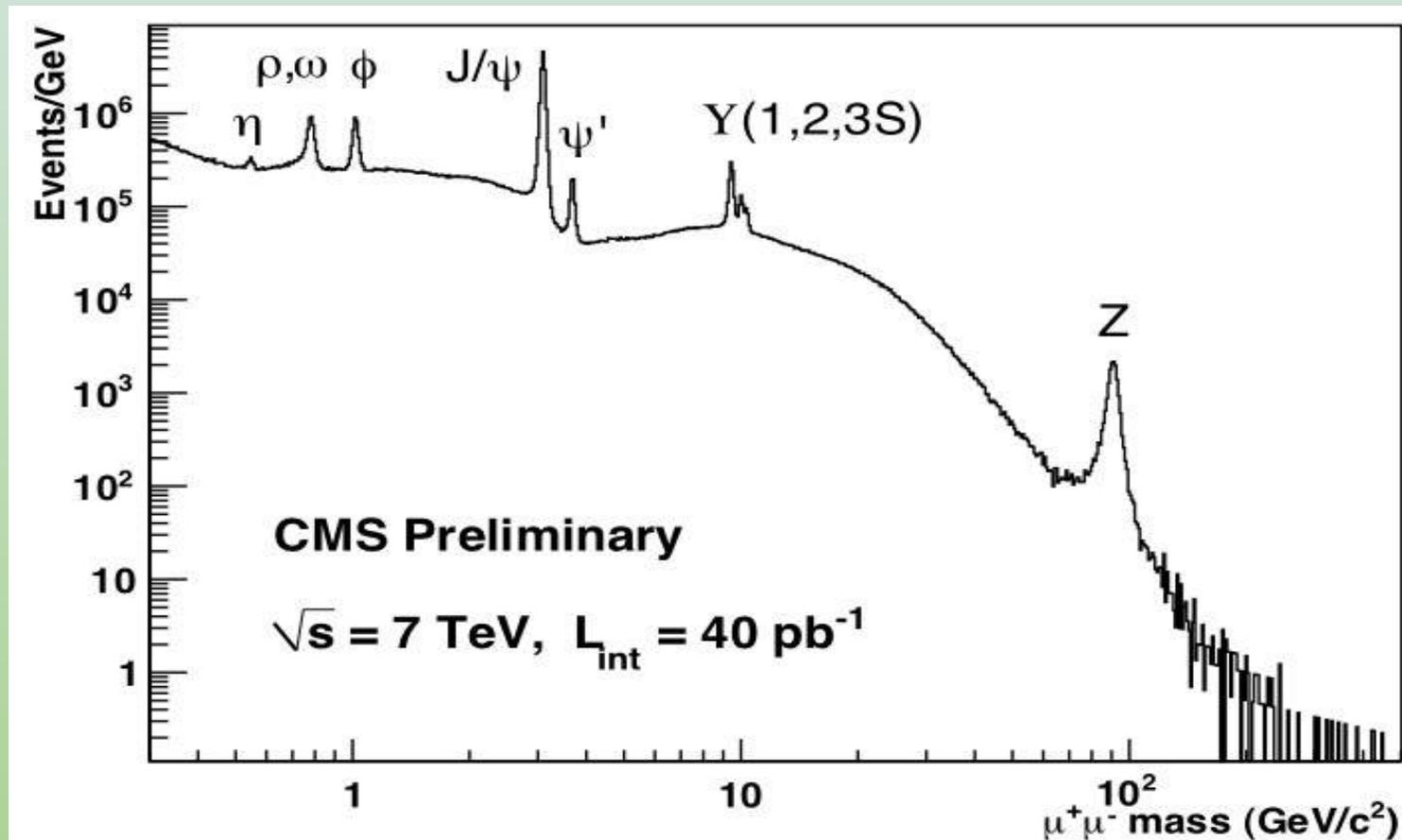
**Massa invariante** di due (o piu') particelle con Energia  $\mathbf{E}$  e impulso  $\vec{\mathbf{p}}$

$$\left(m_0^{(Z)}\right)^2 = \left(\frac{E_1}{c^2} + \frac{E_2}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}_1}{c} + \frac{\vec{p}_2}{c}\right)^2$$

Fornisce la massa a riposo della particella madre

## Nell'esercizio troverete coppie di elettroni e muoni

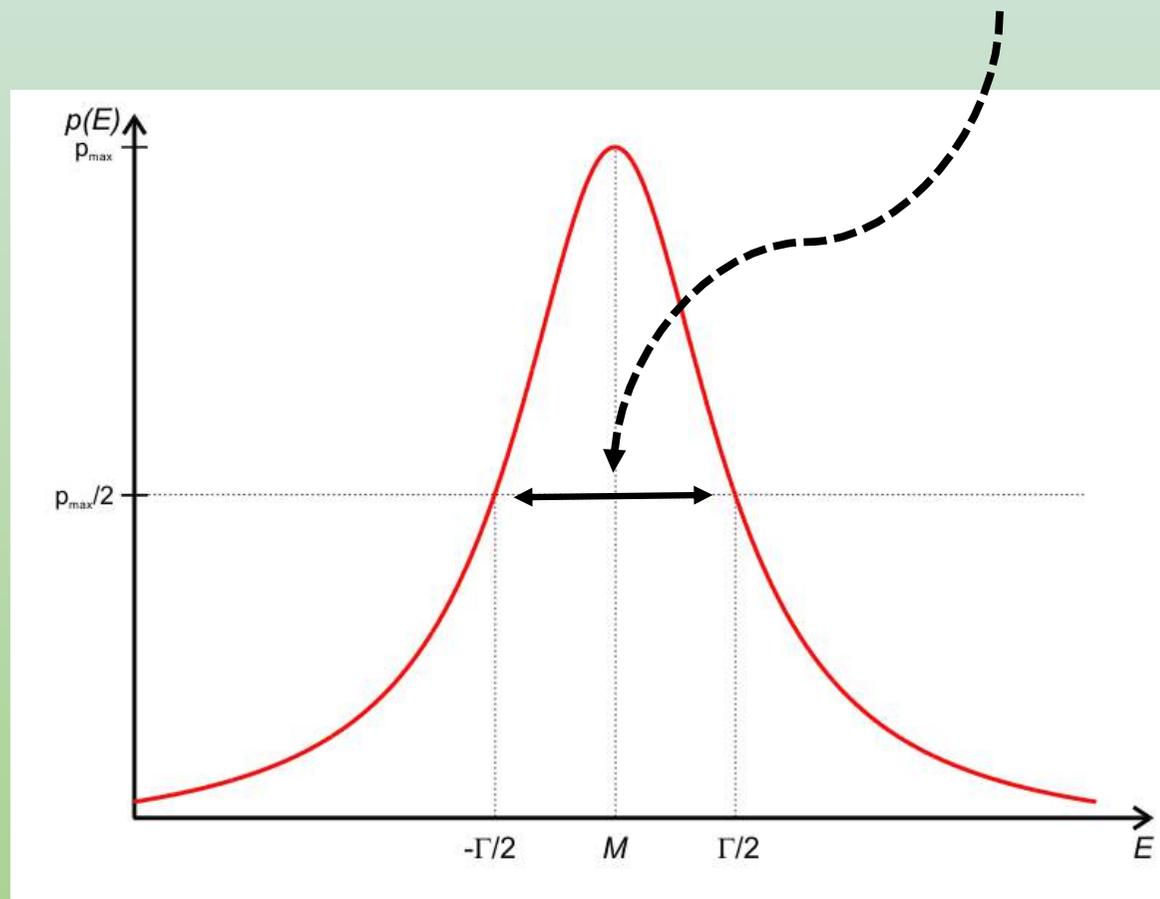
La misura della **massa invariante** di queste coppie contiene il “ricordo” del fatto che esse sono state prodotte dal decadimento della Z o di **altre particelle**.



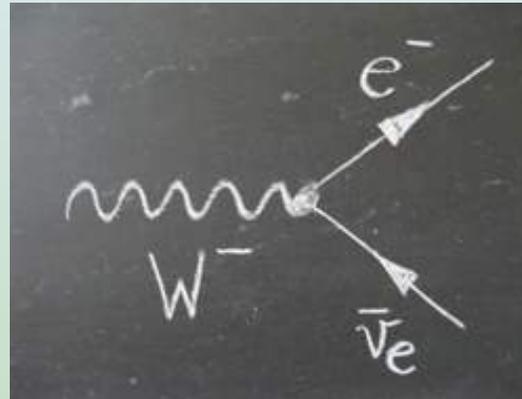
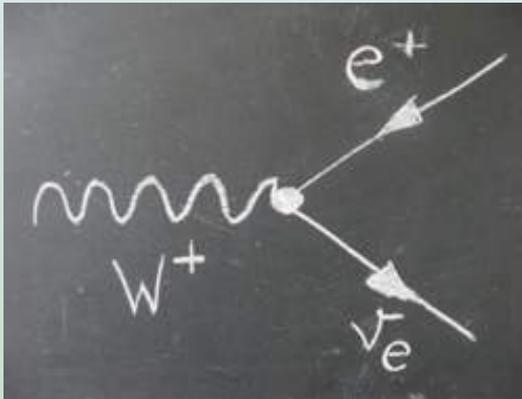
## Perche' non si osserva una massa ben precisa ?

Particella che “nasce e muore” in un tempo brevissimo:  
la sua massa (energia) è quindi indeterminata:

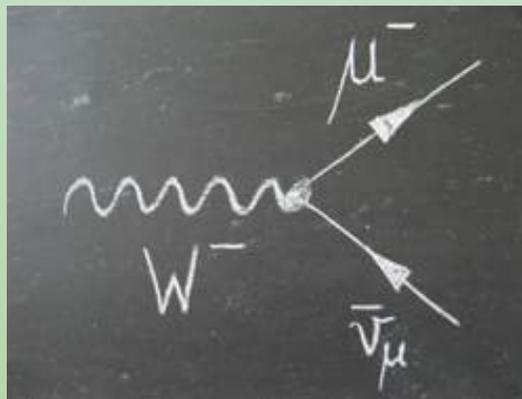
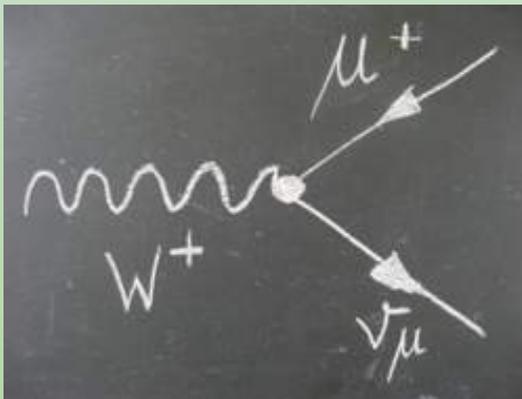
**Principio di indeterminazione di Heisenberg:  $\Delta m \cdot \Delta t > h$**



## Decadimento della W: elettrone o muone + neutrino (leptone + neutrino)



La **carica** del leptone indica la carica della W

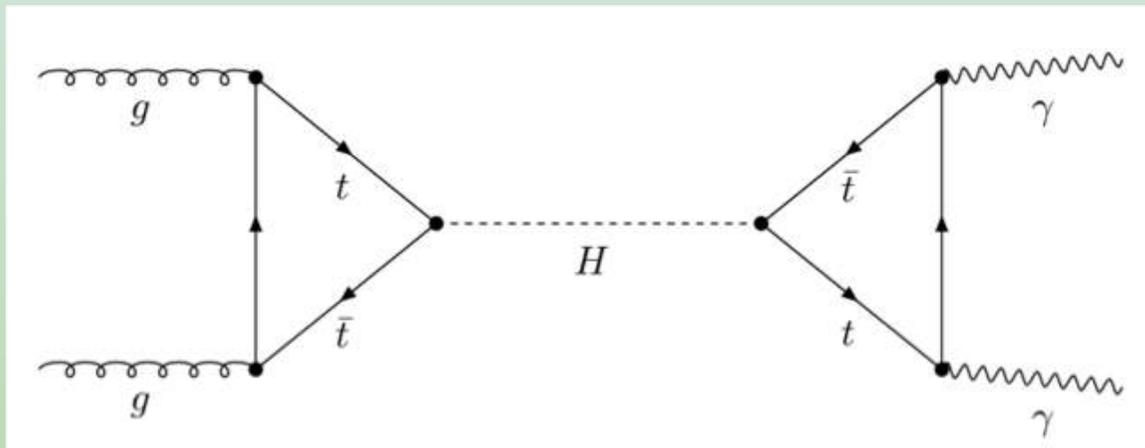


Il neutrino non rilascia segnale nel rivelatore  
(**energia mancante** nell'evento)

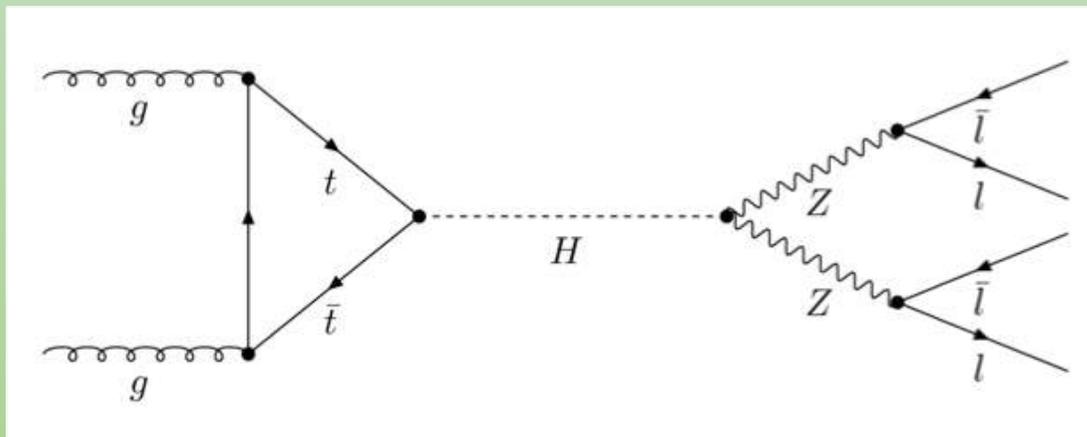
# Bosone di Higgs

Particella di spin zero (bosone) .

L'interazione delle particelle fondamentali con il campo di Higgs fa loro acquisire la massa

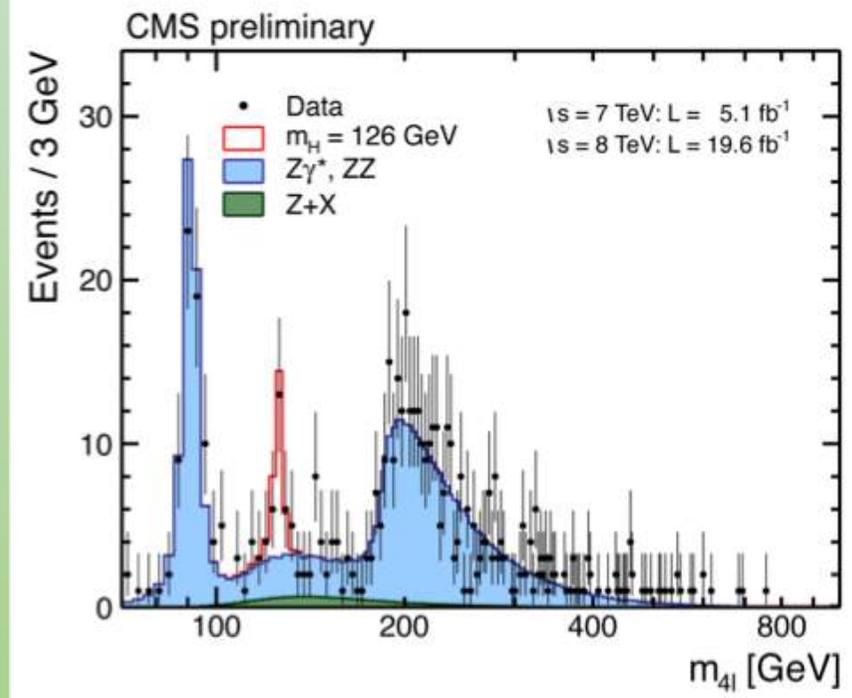
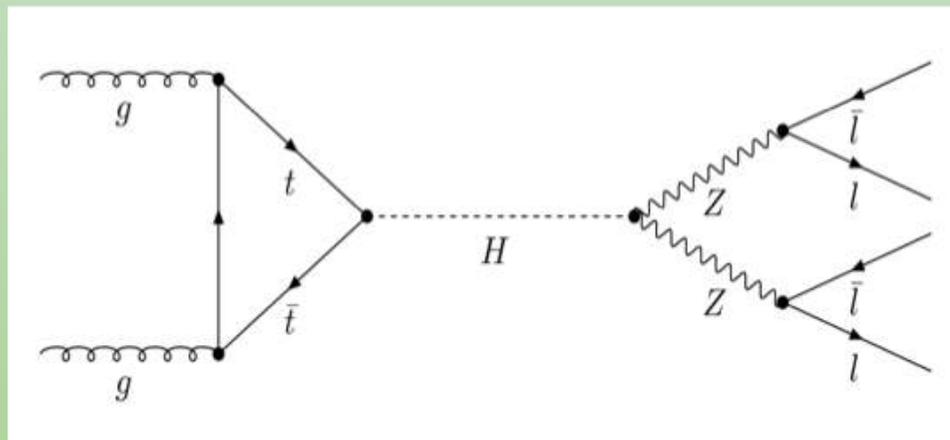
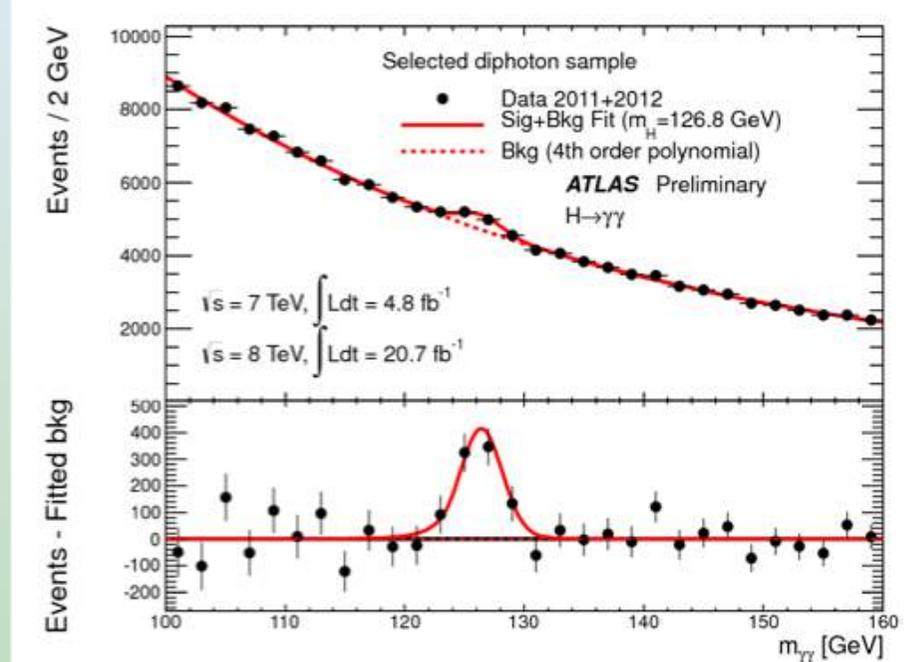
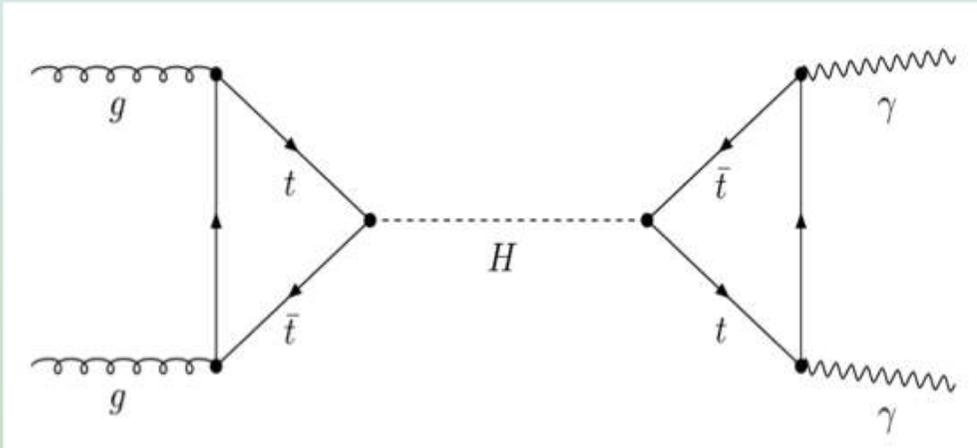


**2 fotoni nello stato finale:**

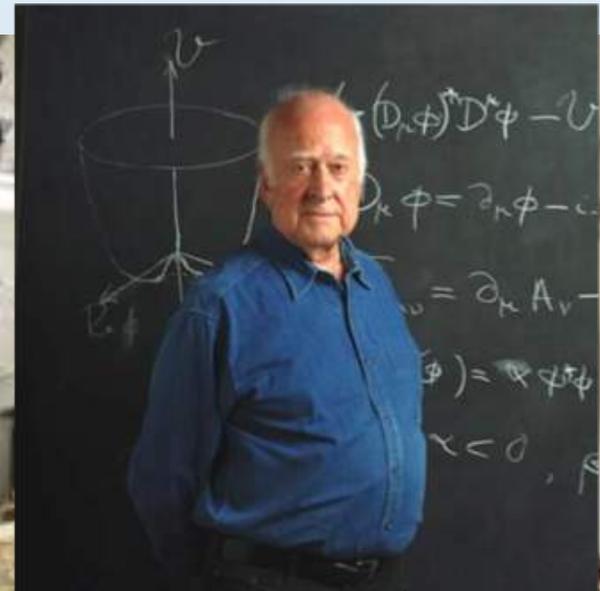


**4 leptoni nello stato finale:**  
**2e 2mu, 4e oppure 4mu**

# Bosone di Higgs: Massa = 125 GeV



Auditorio del CERN, 4 luglio 2012



## Sommario degli eventi che cercherete

Ricerca di eventi  $Z \rightarrow 2\mu$ , o  $Z \rightarrow 2e$

Ricerca di eventi Higgs  $\rightarrow 2$  fotoni

Higgs  $\rightarrow 4$  leptoni ( $2e+2\mu$ ,  $4e$ ,  $4\mu$ )

- Siate critici su quello che state facendo
- Ponetevi domande
- E soprattutto divertitevi