

# International Masterclasses 2019

Bologna, 25 e 26 febbraio 2019



<http://www.bo.infn.it/MasterClass/2019/index.html>

# Masterclass

- Siamo alla XV edizione (a Bologna alla IX)
- L'Iniziativa fa parte delle **Masterclass Internazionali** organizzate da **IPPOG** (International Particle Physics Outreach Group)



# Masterclass

- Circa 3000 studenti delle scuole superiori italiane si avvicinano alle ricerche dei fisici che lavorano al [CERN](#)
- Contemporaneamente in 52 nazioni
  - più di 200 enti di ricerca e università
  - più di 13.000 studenti delle scuole superiori
- Coordinamento in Italia
  - [Istituto Nazionale di Fisica Nucleare \(INFN\)](#)



# 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:

- Bologna (IT)
- Spalato (Croazia)
- Teheran (Iran)
- Zagabria (Croazia)
- M'Sila (Algeria)

## 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/infn\\_insights/](https://www.instagram.com/infn_insights/)

Se volete condividere sui vostri profili usate gli hashtag: **#MasterclassINFN** e **#LHCIMC19**

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

**S. Marcellini, INFN Bologna**

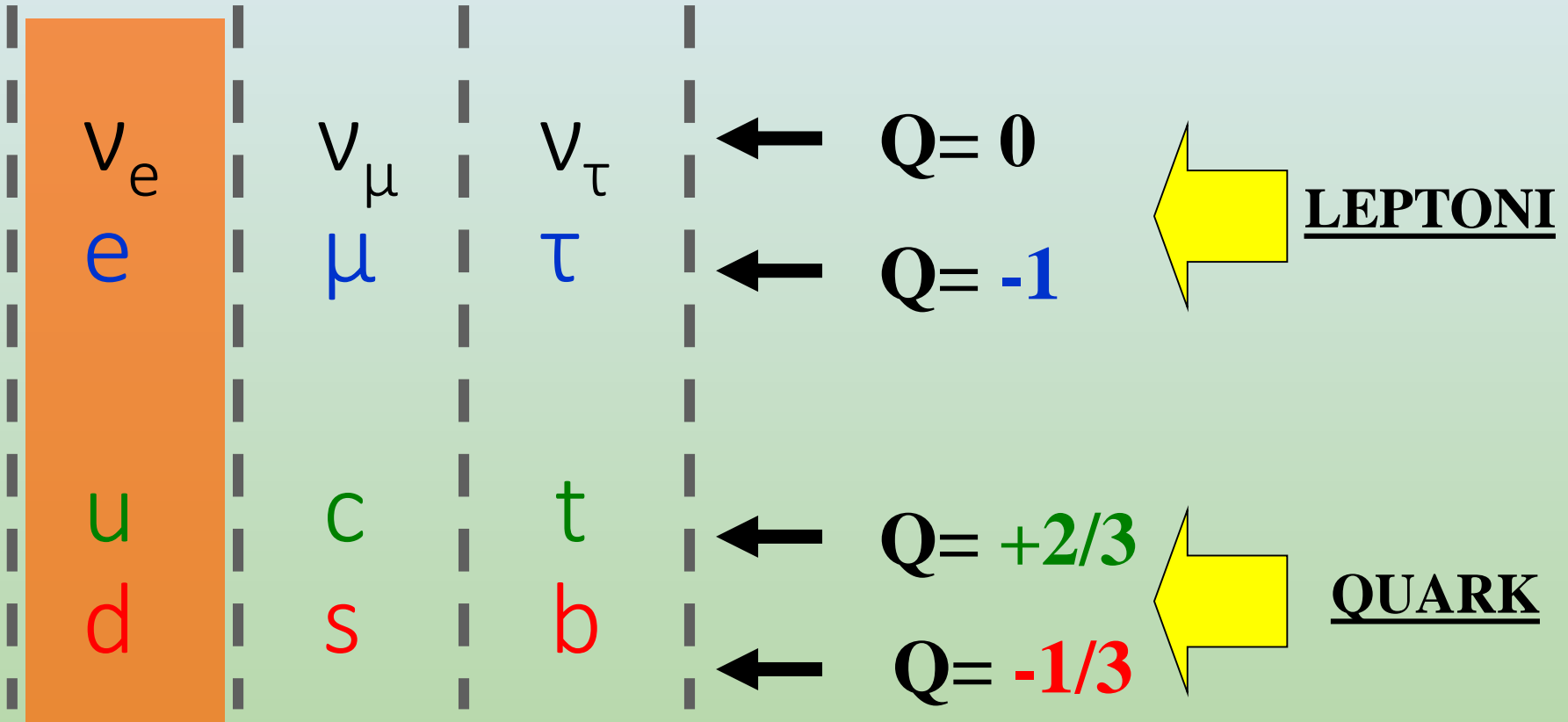
**Nonostante la materia ci appaia  
complicata**

(atomi, nuclei, protoni, neutroni, elettroni,  
altre particelle dai nomi strani)

**Tutto è costituito da pochi ingredienti di  
base**



**Le particelle fondamentali della natura hanno spin = 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**

$u$

$c$

$t$

$d$

$s$

$b$

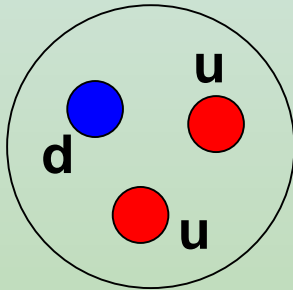


**Debole, Gravitazionale,  
Elettromagnetica, Forte**

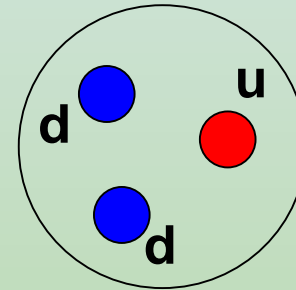
# Il protone e il neutrone sono composti da quark

## QUARK

protone



neutrone



I quark hanno CARICA ELETTRICA FRAZIONARIA.

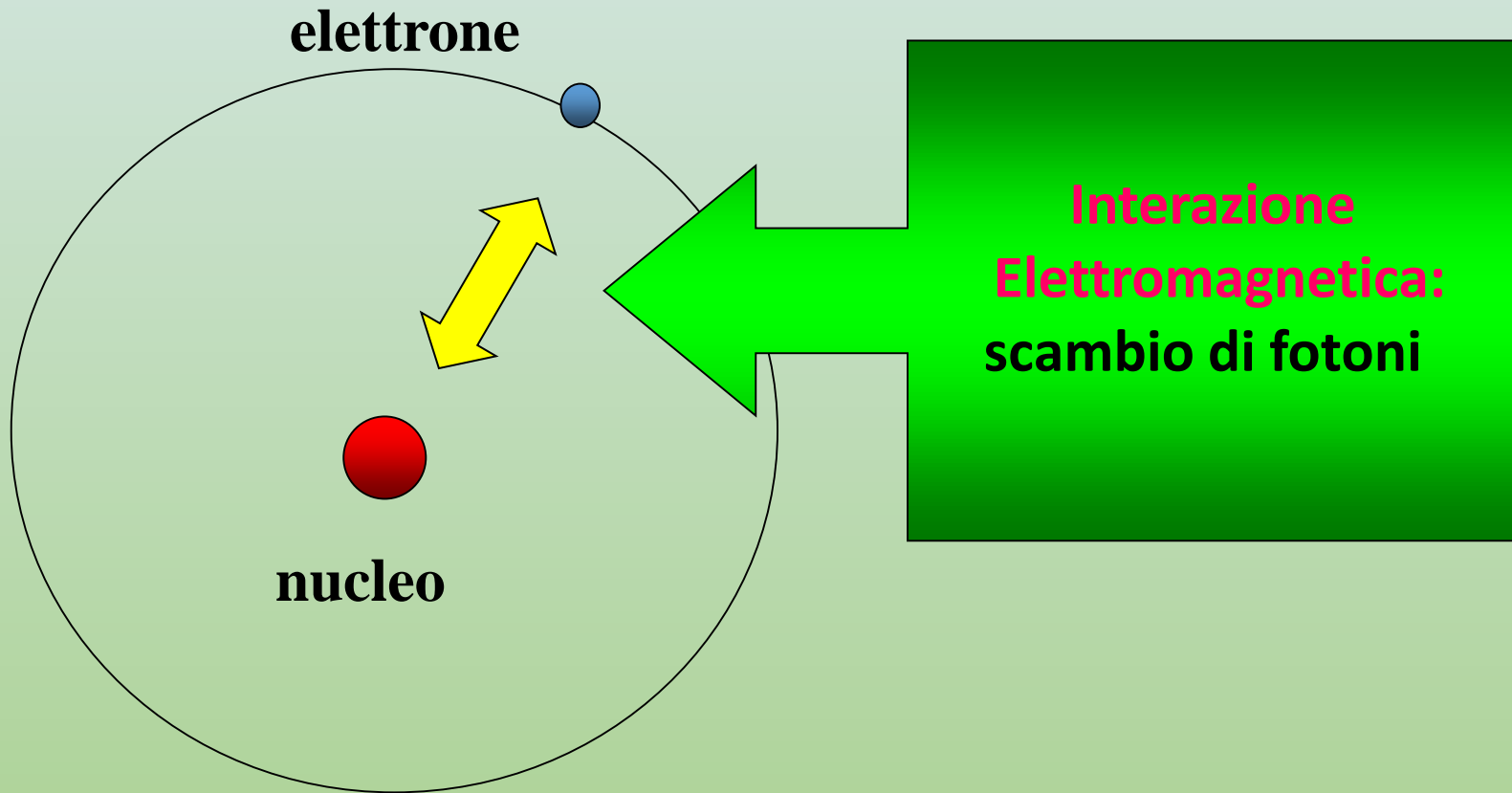
Carica up = + 2 / 3      Carica down = - 1 / 3

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

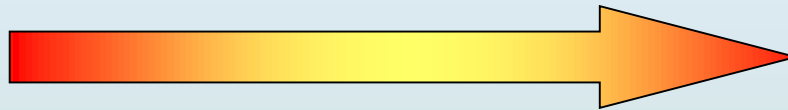
La forza nucleare fra nucleoni è in realtà la forza nucleare fra quark.

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

# Esempio: l'atomo

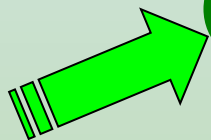


**PRIMA**



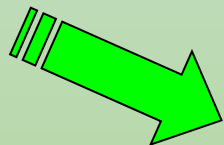
**DOPO**

particella A

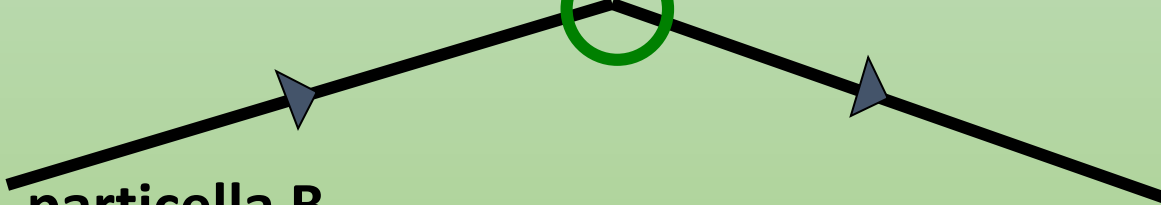


**Interazione  
carica-mediatore**

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

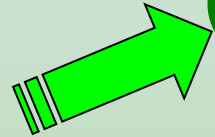


particella B

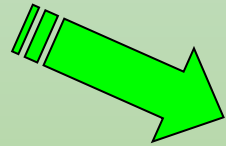


# Int. debole: $W^+$ , $W^-$ , $Z^0$

particella A

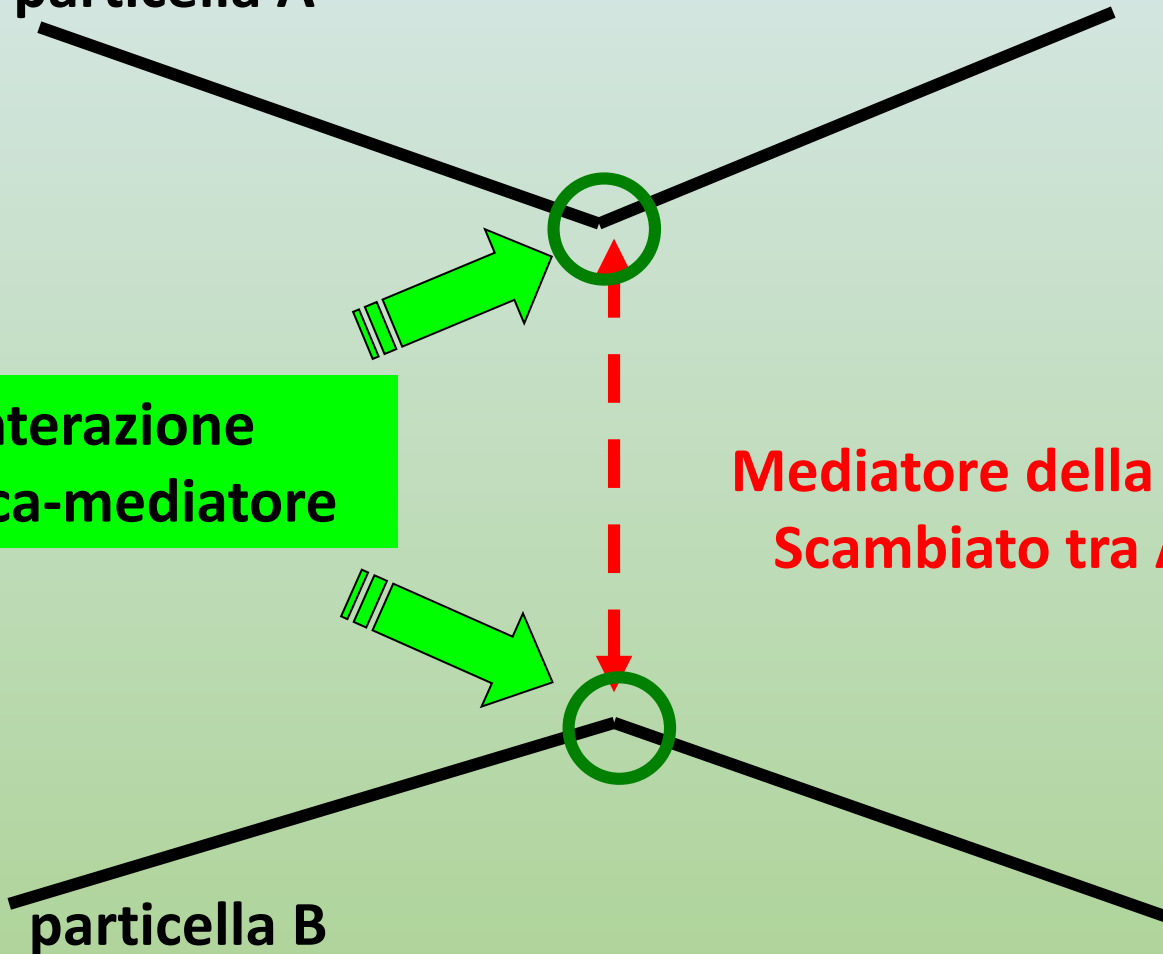


Interazione  
carica-mediatore



Mediatore della forza,  
Scambiato tra A e B

particella B

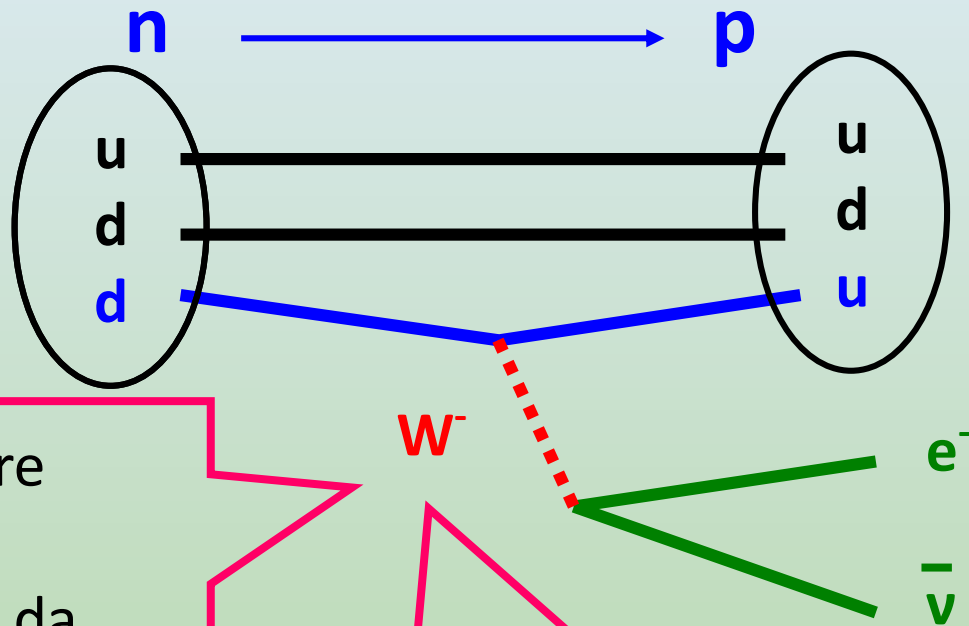




# decadimento $\beta$



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



“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:  $\Delta t \cdot \Delta m > \hbar$

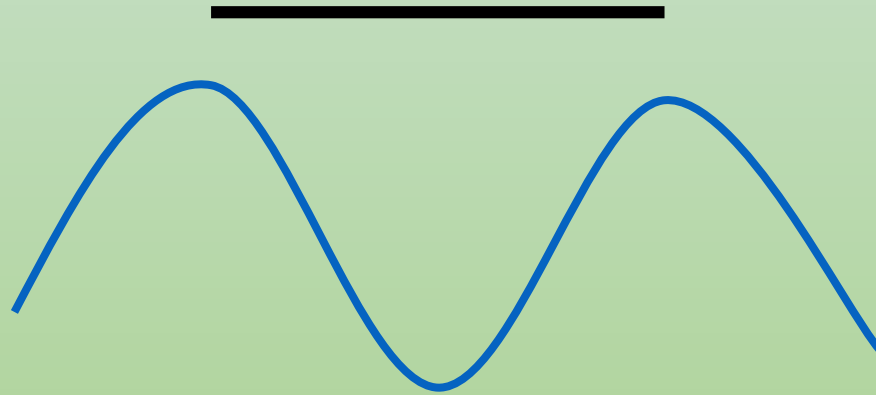
L'interazione delle particelle fondamentali con il campo di Higgs permette alle particelle di «acquisire massa»: **cosa significa?**



# Un acceleratore è un microscopio

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

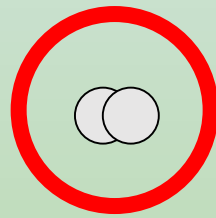
$\lambda$

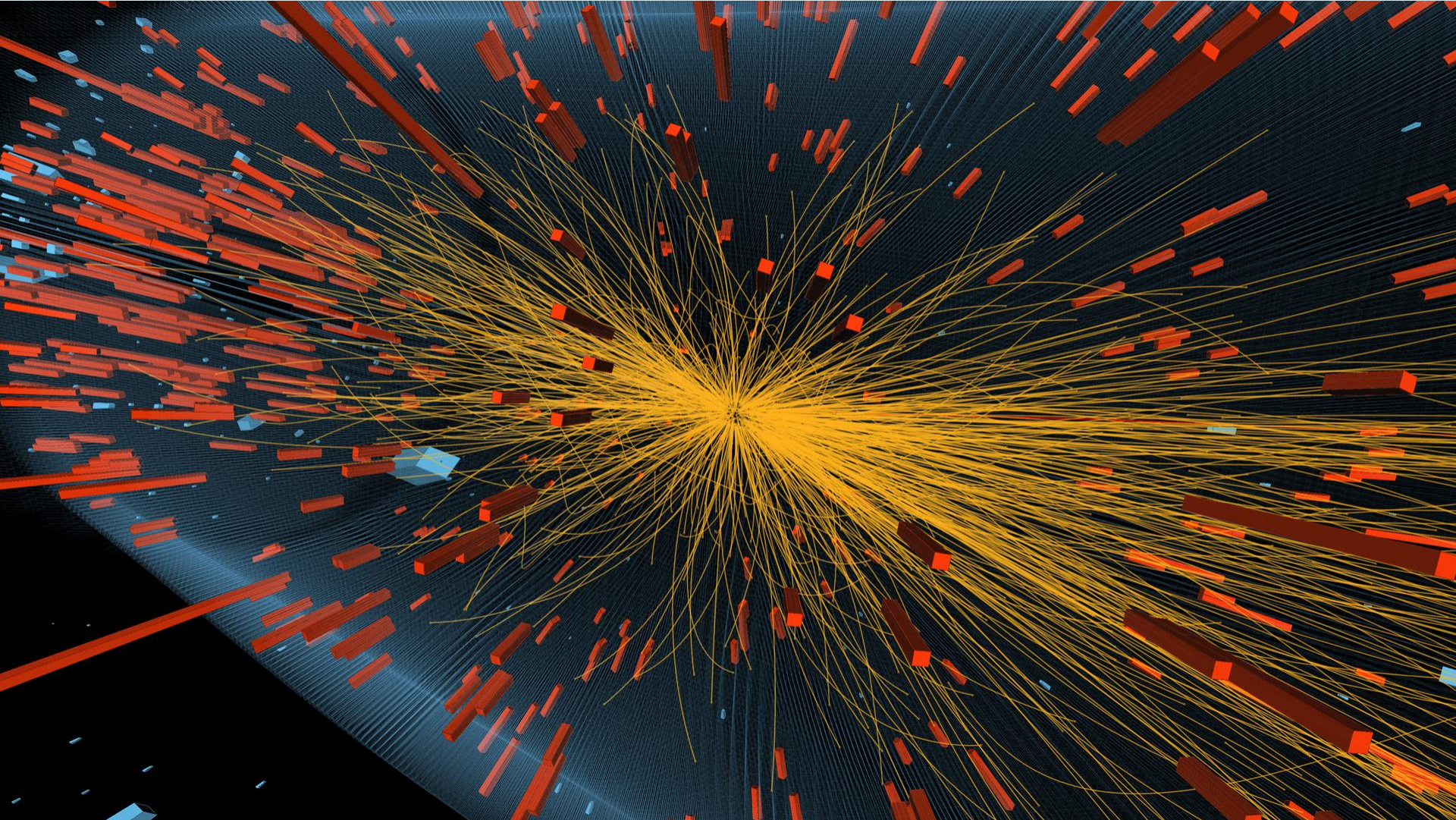


**Due protoni vengono fatti urtare fra loro ad altissima energia (accelerati da un acceleratore)**



**Lo studio dei prodotti risultanti della collisioni ci fornisce 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**

p



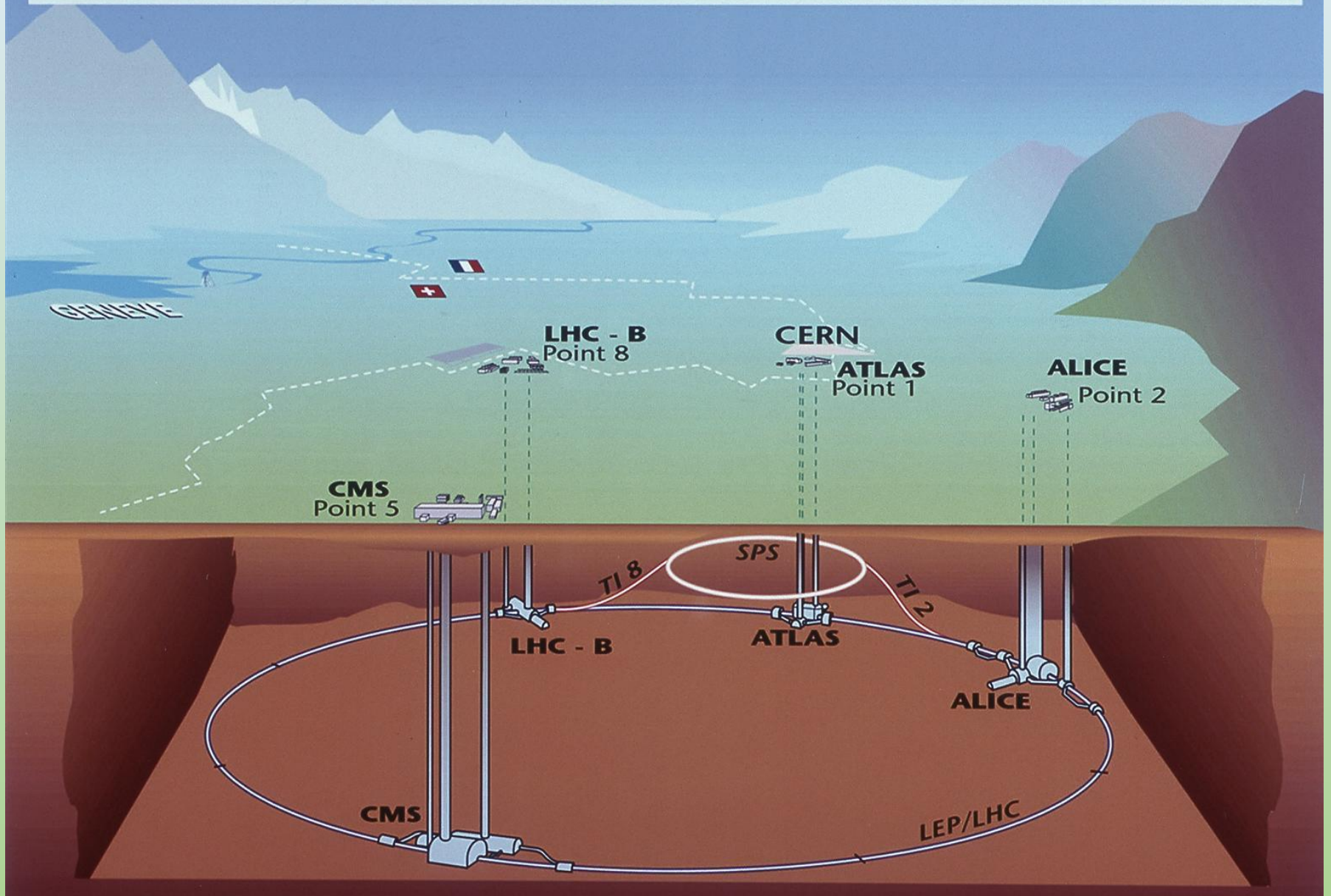
p

**13 TeV**

**Aeroporto di  
Ginevra**



# Overall view of the LHC experiments.



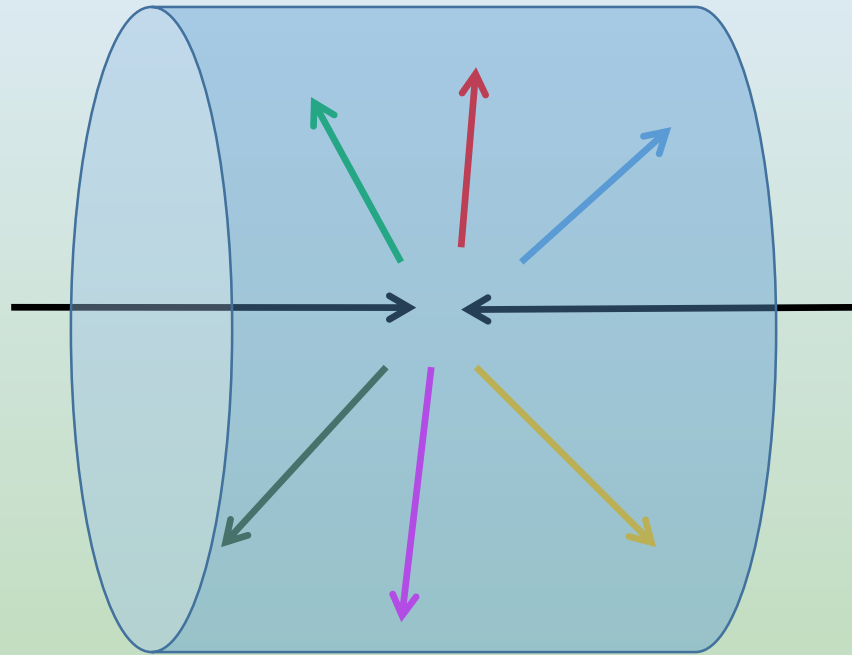
## Una sezione del tunnel e dell'acceleratore



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

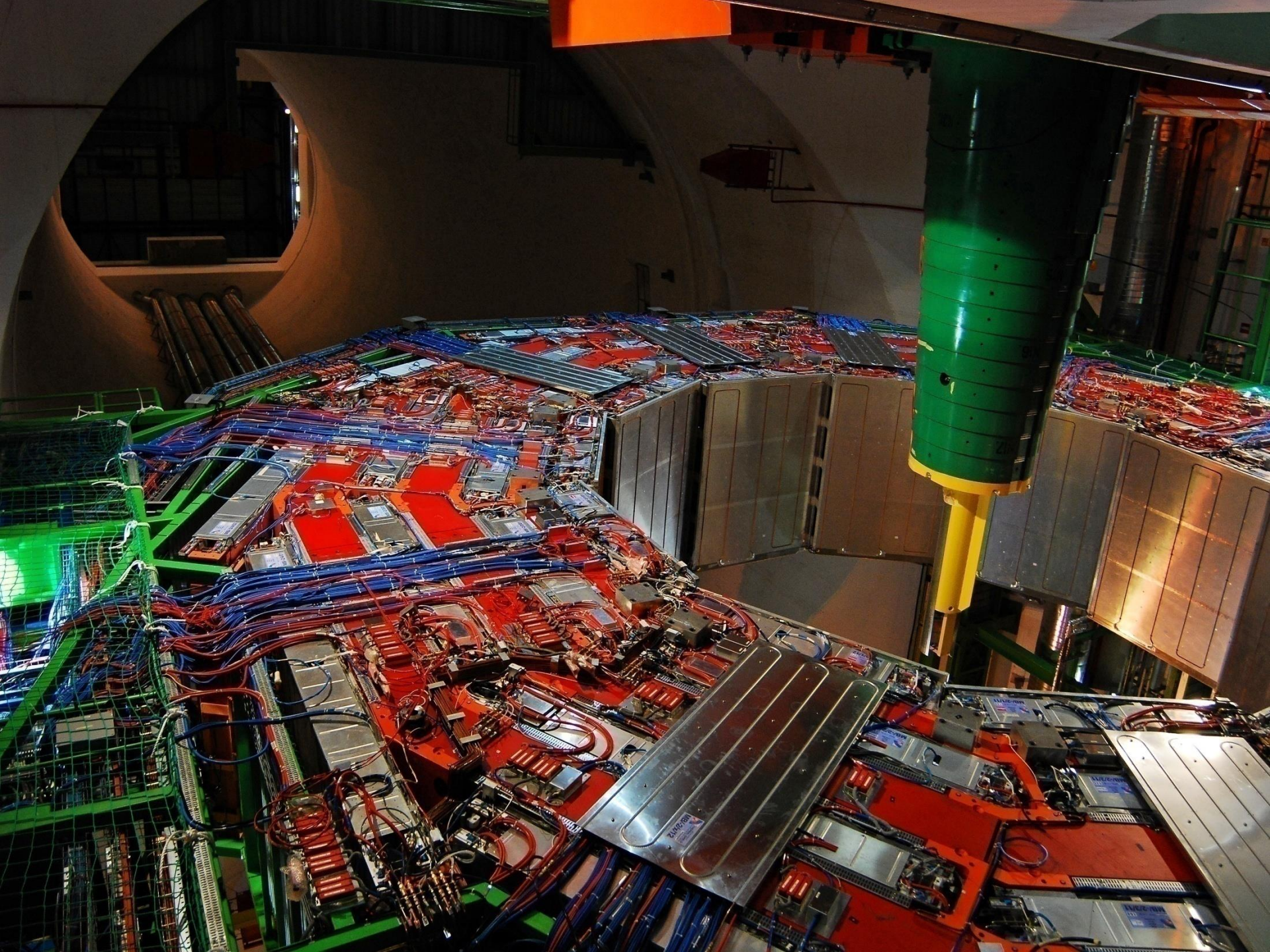
Ci permette di misurare **quante** particelle sono emesse, il **tipo** di particelle, la loro **direzione**, **energia**, etc.

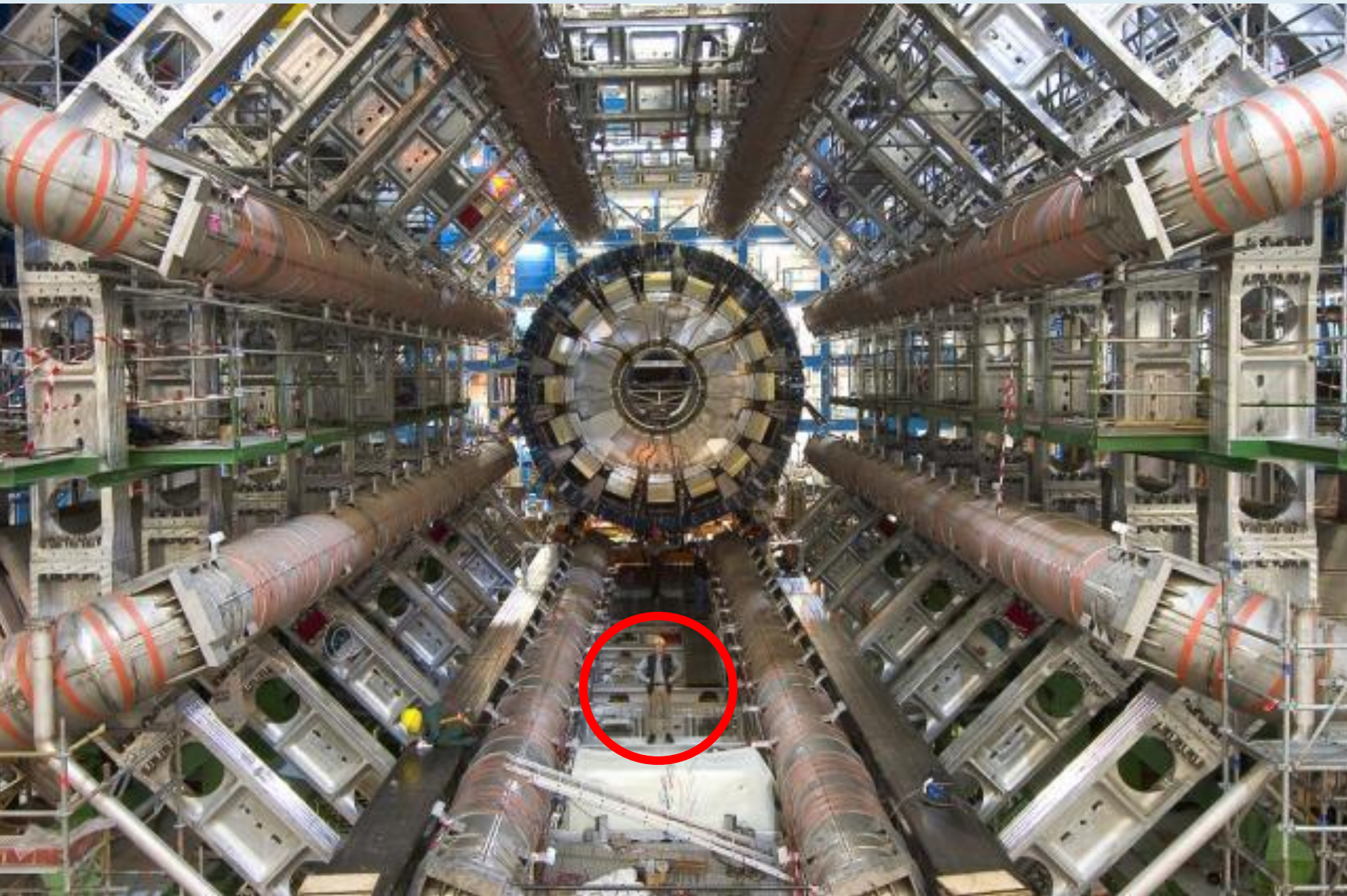
**Deve essere capace di registrare migliaia o addirittura milioni di eventi al secondo**



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 fornisce informazioni per capire che cosa è avvenuto nelle interazioni stesse





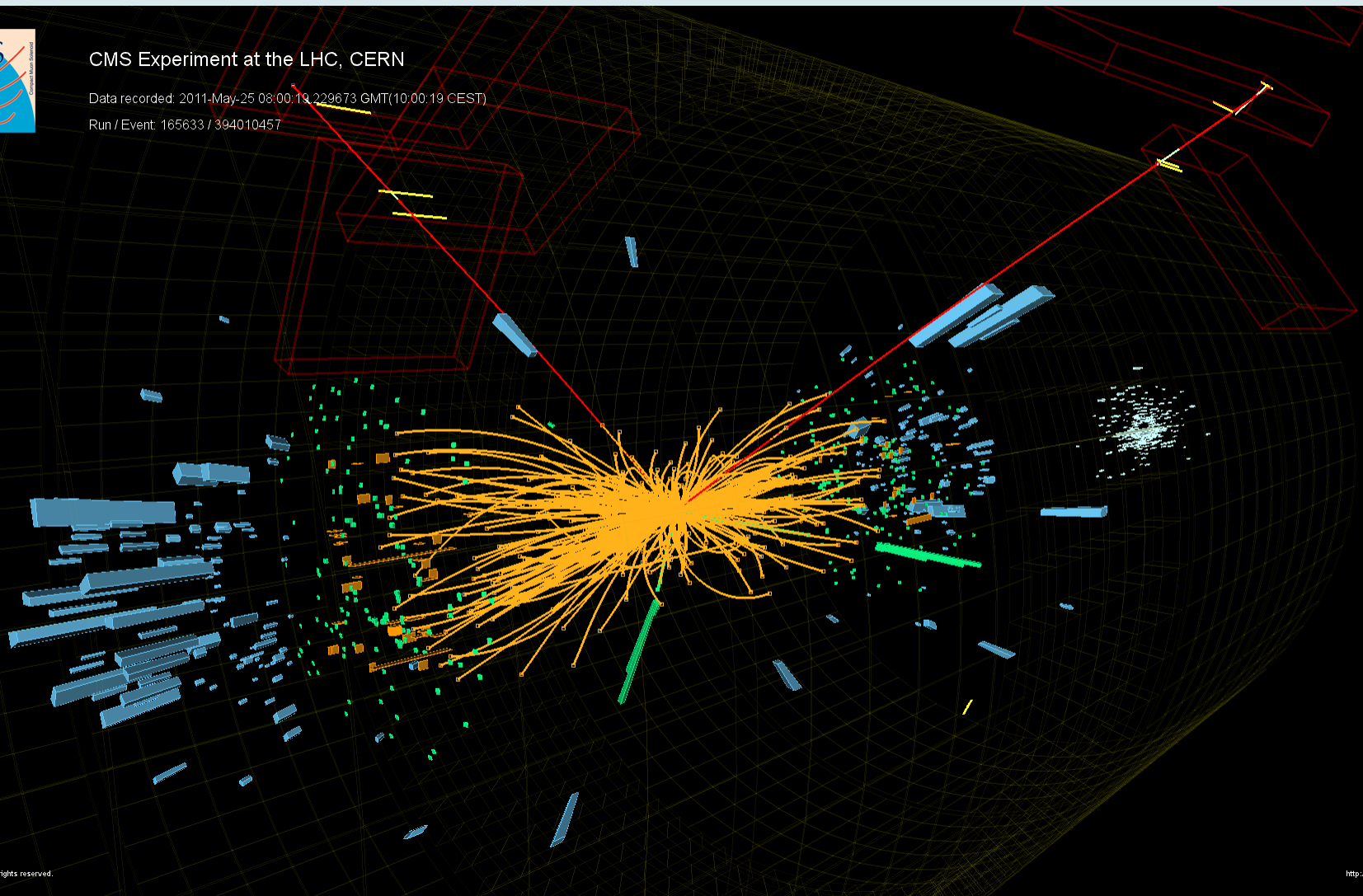
# Un evento tipico a LHC: **molte tracce**



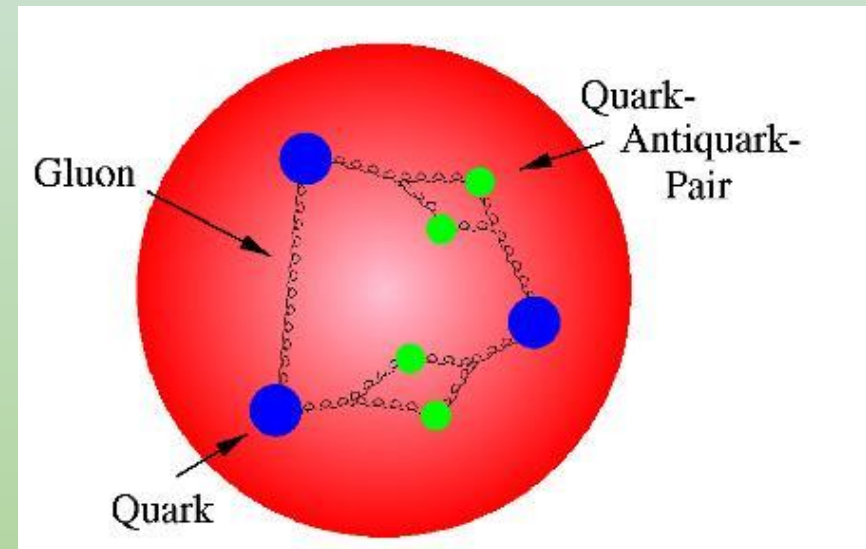
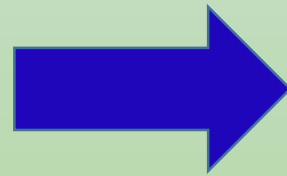
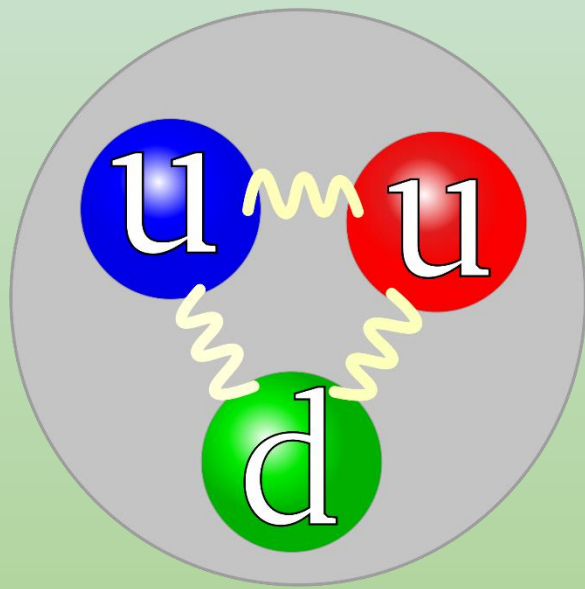
CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2011-May-25 08:00:19.229673 GMT(10:00:19 CEST)

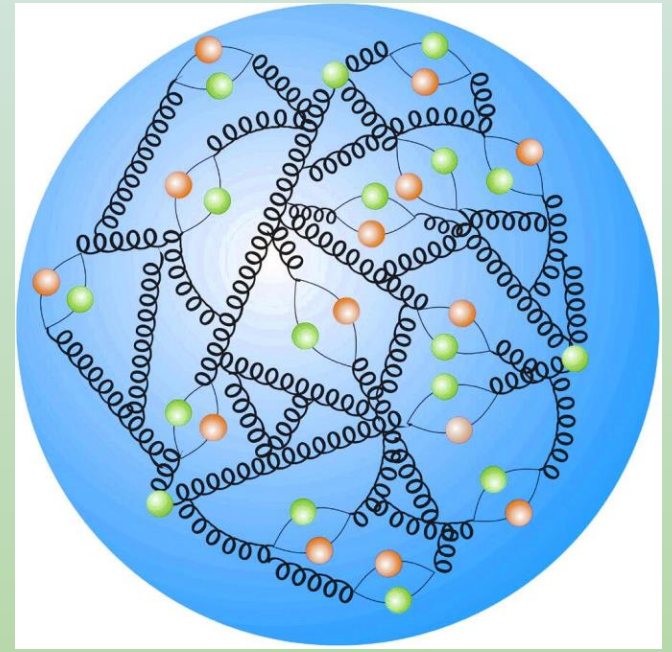
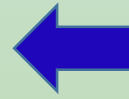
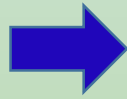
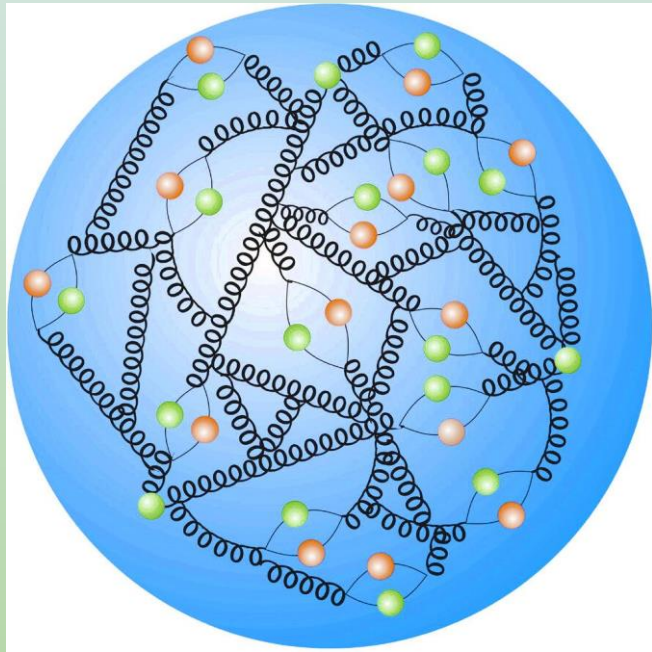
Run / Event: 185633 / 394010457



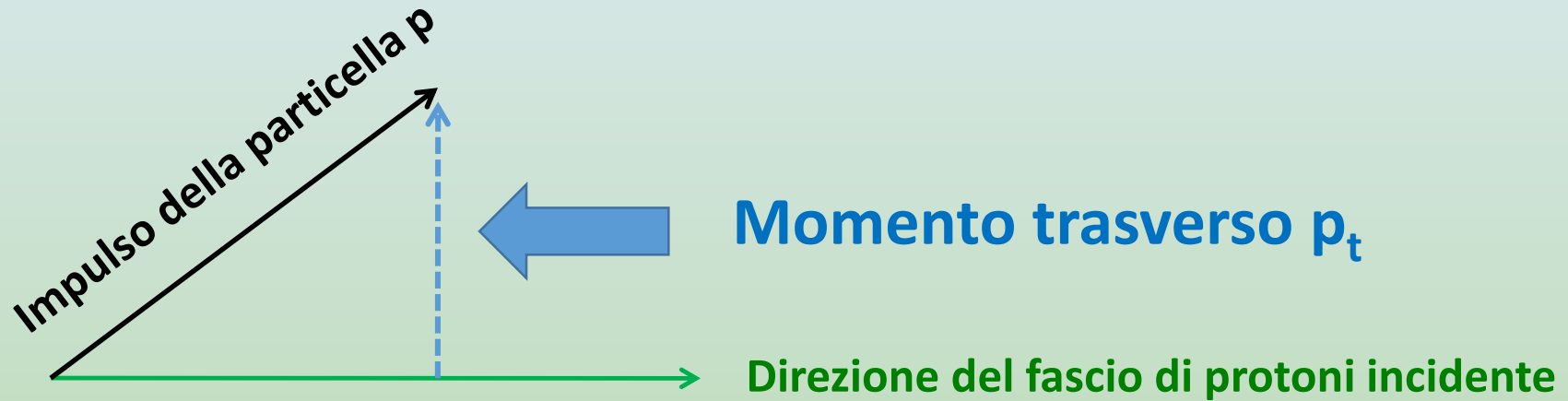
Alle energie di LHC il protone appare molto più complicato, perché aumenta la «risoluzione» con cui lo osserviamo



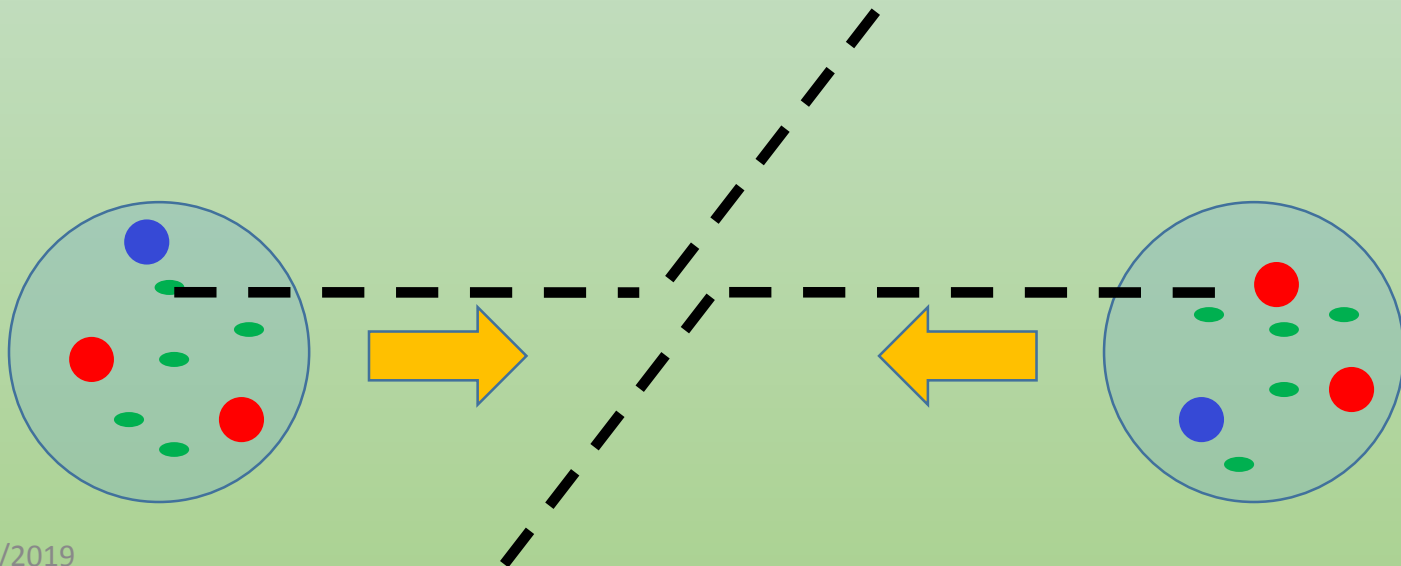
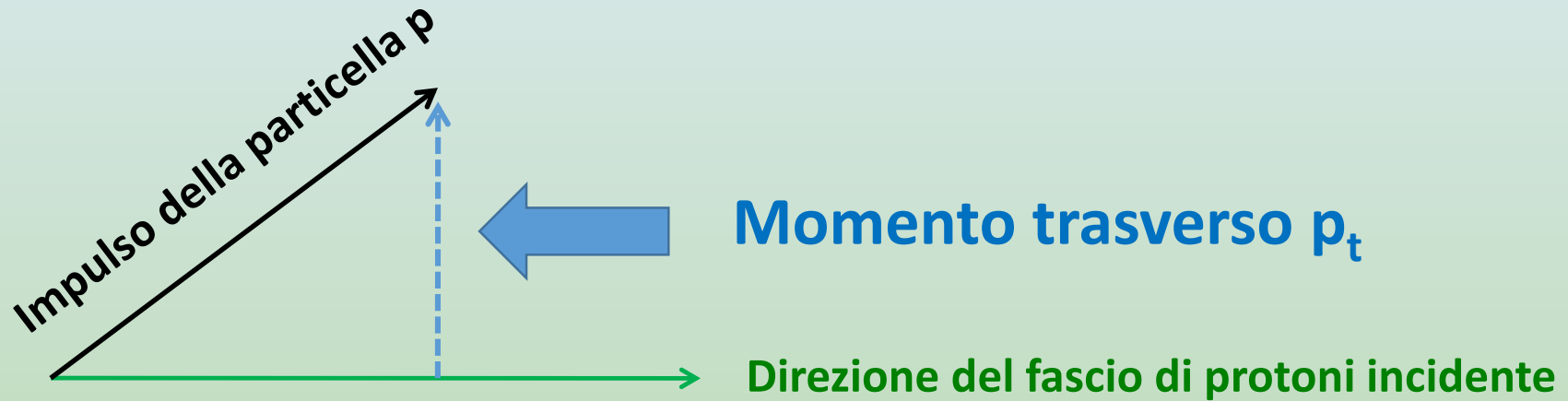




# Particelle ad alto momento trasverso $p_t$

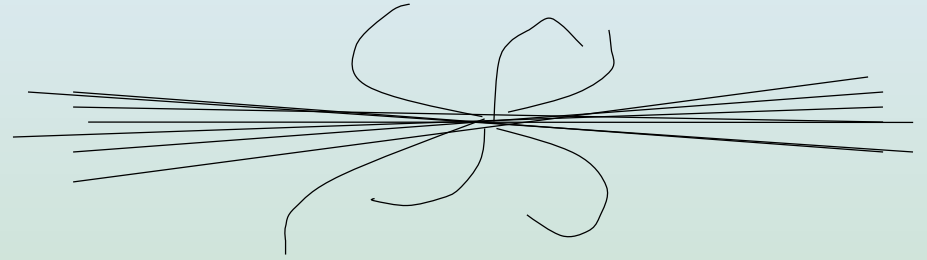


# Particelle ad alto momento trasverso $p_t$



## Stato finale tipico di LHC:

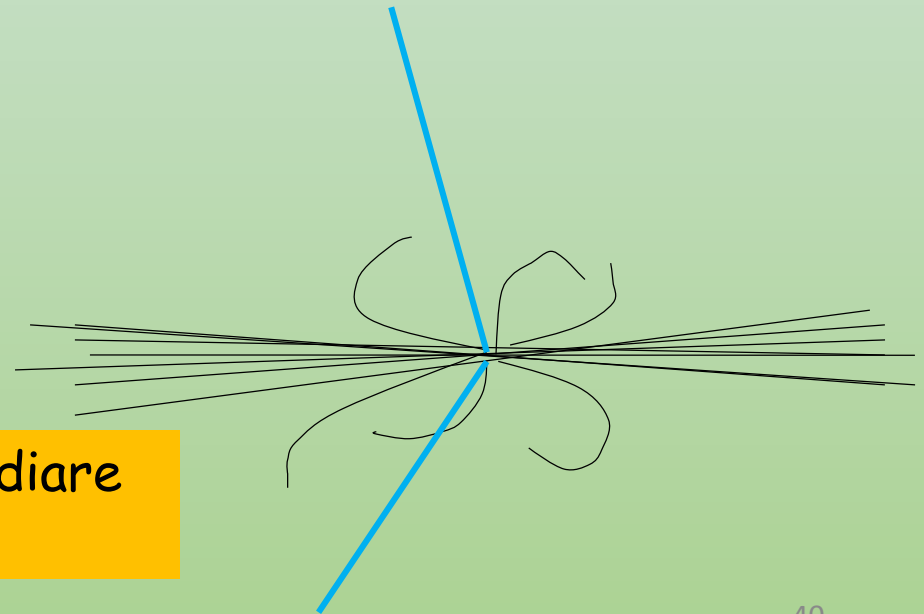
molte particelle di basso  $p_t$ .



## 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

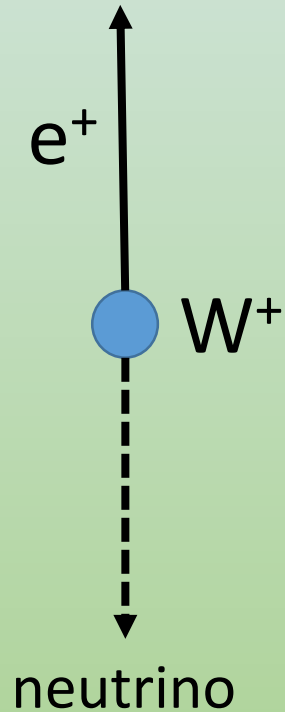


CMS e ATLAS sono pensati per studiare soprattutto questo tipo di eventi

# Energia trasversa mancante

Può indicare l'emissione di particelle che non rilasciano informazioni nel rivelatore: **ad esempio i neutrini**

$$W^+ \rightarrow e^+ + \text{neutrino}$$

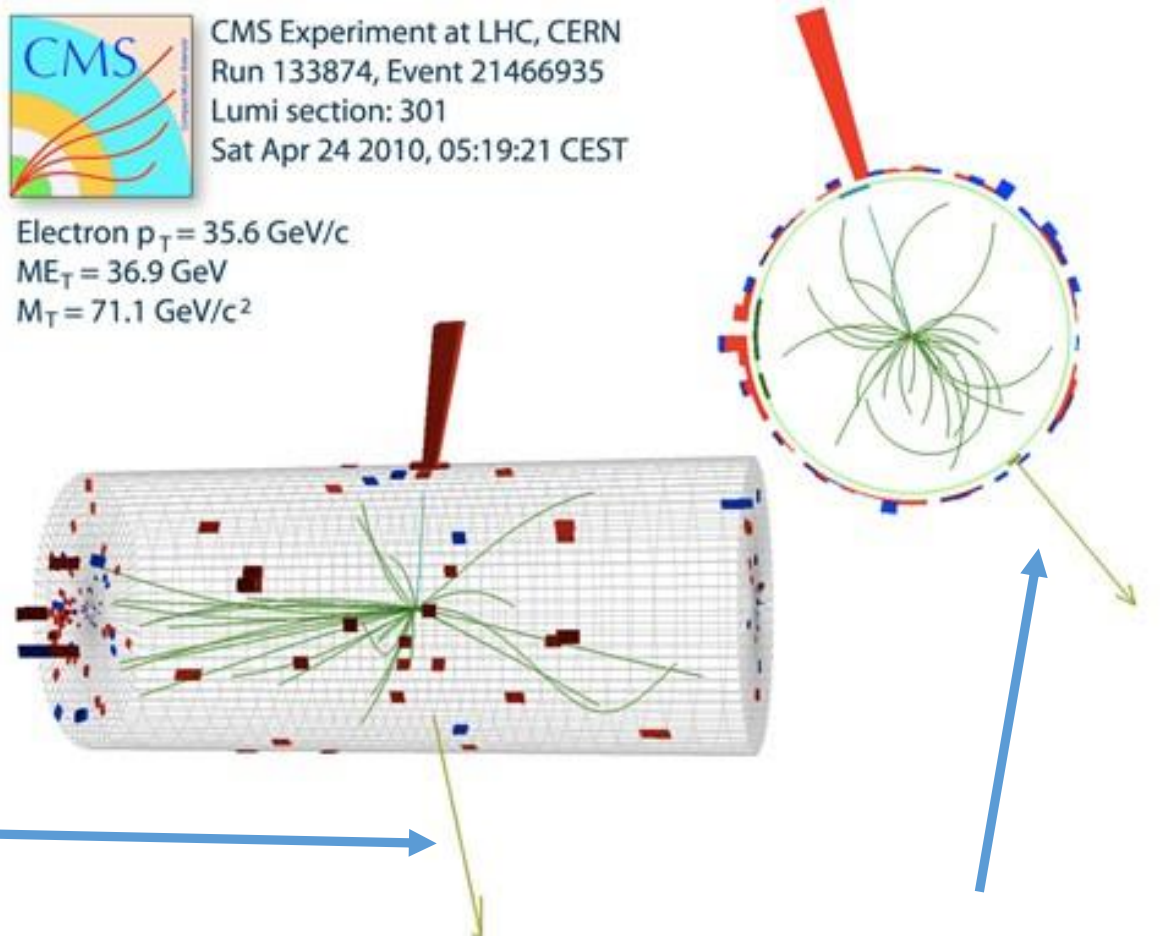


Missing energy



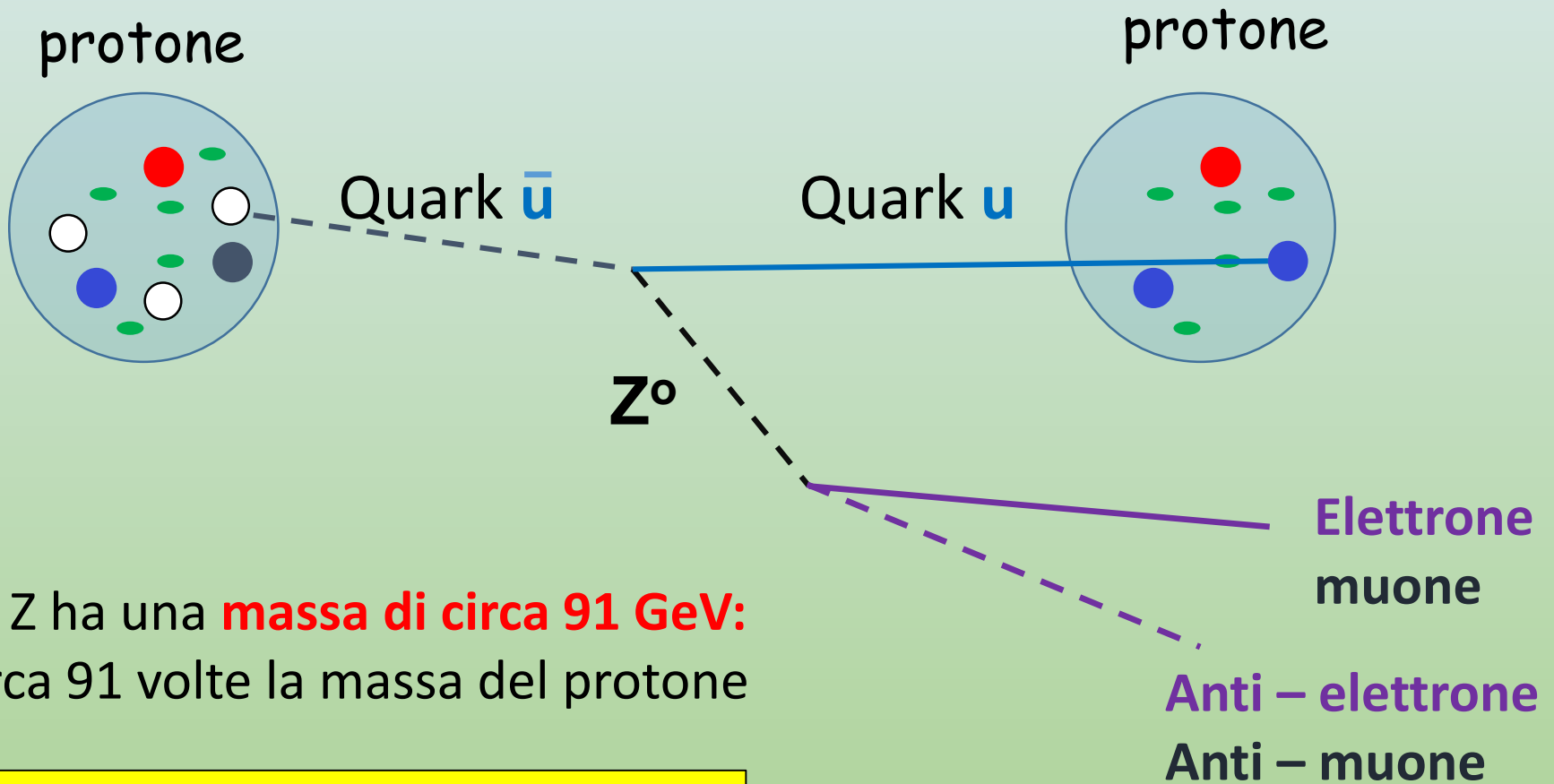
CMS Experiment at LHC, CERN  
Run 133874, Event 21466935  
Lumi section: 301  
Sat Apr 24 2010, 05:19:21 CEST

Electron  $p_T = 35.6 \text{ GeV}/c$   
 $ME_T = 36.9 \text{ GeV}$   
 $M_T = 71.1 \text{ GeV}/c^2$



## la particella $Z^0$

E' responsabile delle interazioni deboli "neutre"



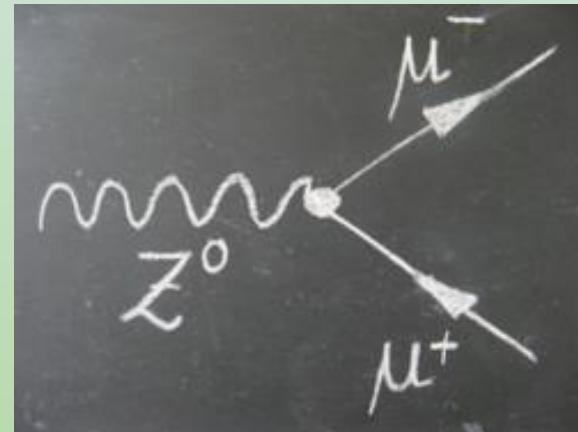
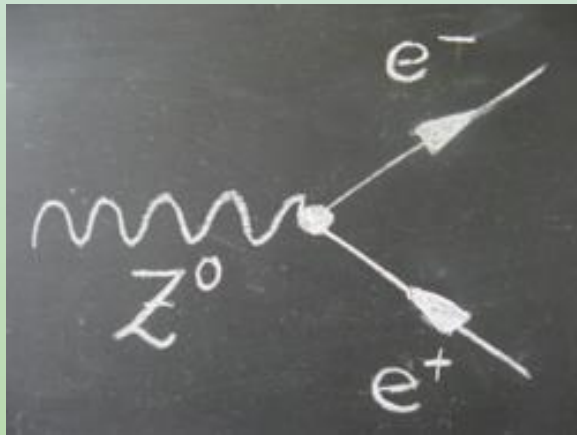
La  $Z$  ha una **massa di circa 91 GeV**:  
circa 91 volte la massa del protone

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: **elettro-ne-antielettro-ne** oppure **muone-antimuone**)



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

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

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

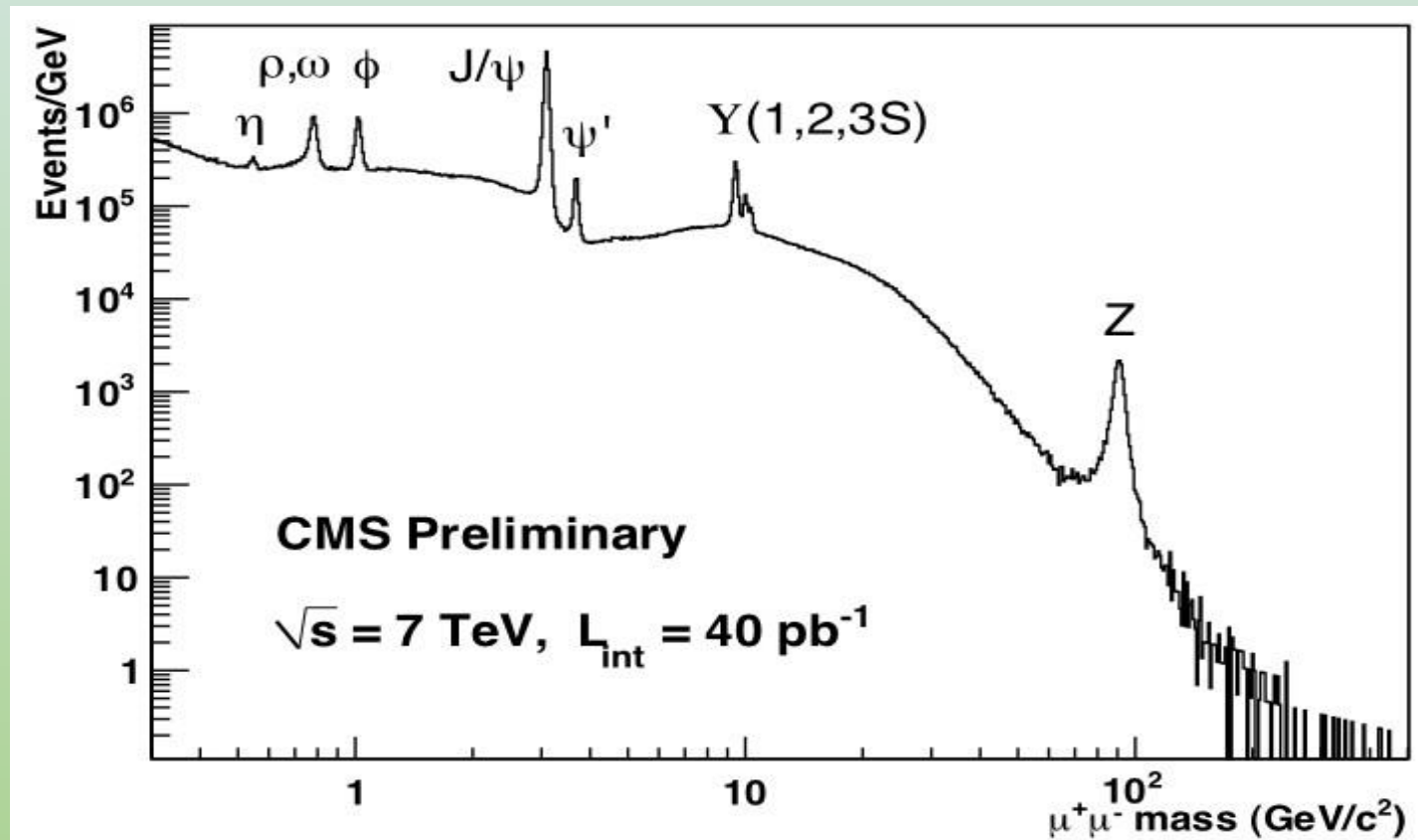
$$(m_0^{(Z)})^2 = \left( \frac{E_1}{c^2} + \frac{E_2}{c^2} \right)^2 - \left( \frac{\vec{p}_1}{c} + \frac{\vec{p}_2}{c} \right)^2$$

Fornisce la massa a riposo della particella madre



# Nell'esercizio troverete coppie di elettroni e muoni

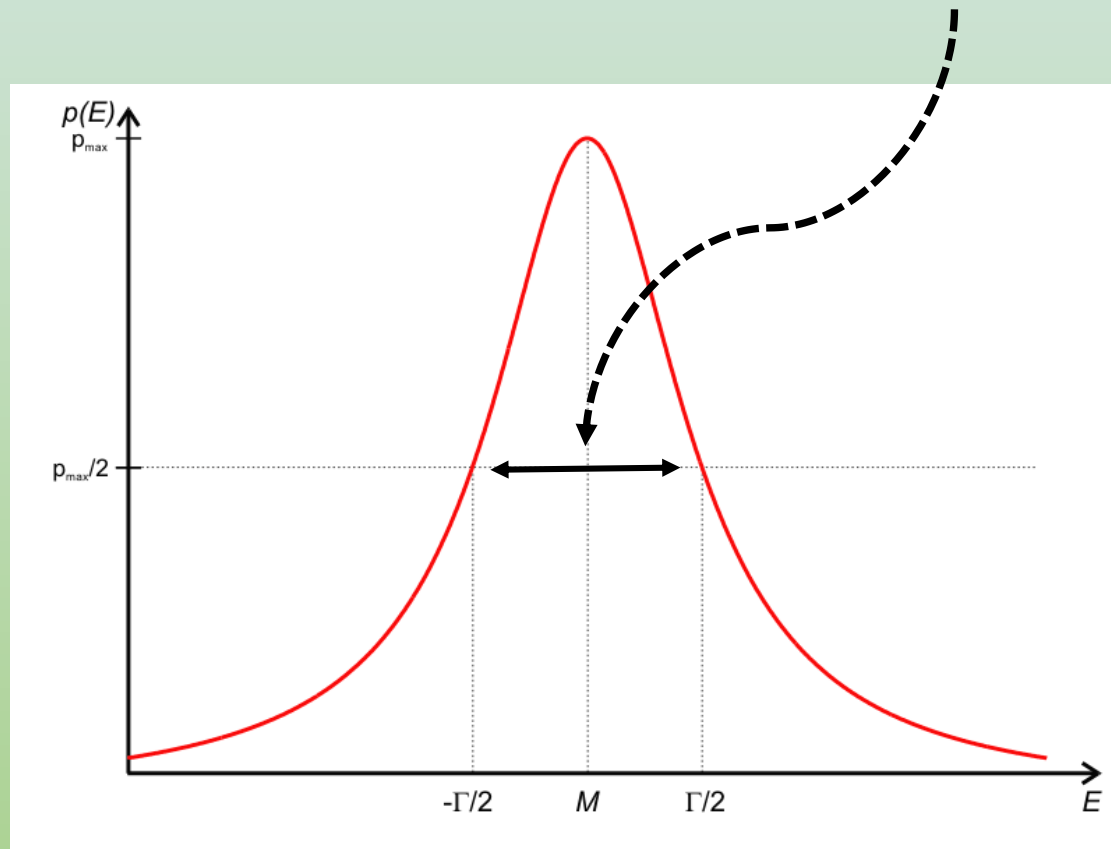
La misura della **massa invariante** di queste coppie contiene il "ricordo" del fatto che esse sono state prodotte dal decadimento della Z o di **altre particelle**.



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

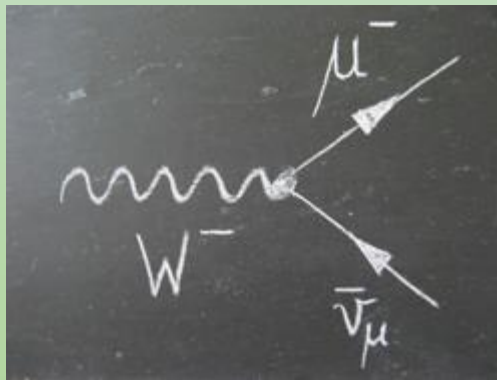
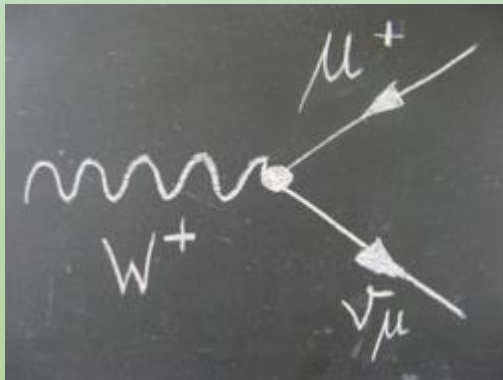
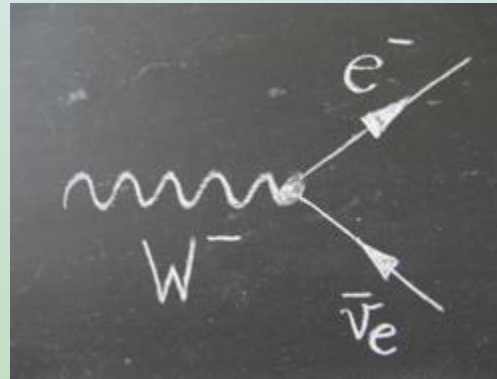
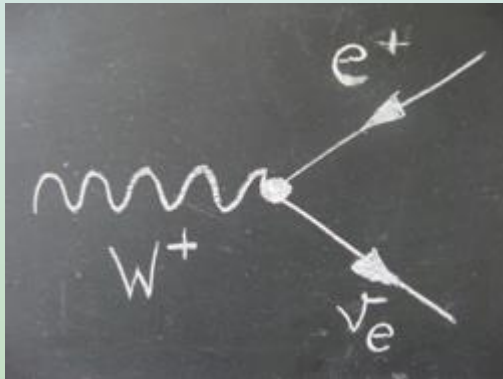
Particella che “nasce e muore” in un tempo brevissimo:  
la sua massa (energia) è quindi indeterminata:

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



## Decadimento della W:

elettrone o muone + neutrino (leptone + neutrino)

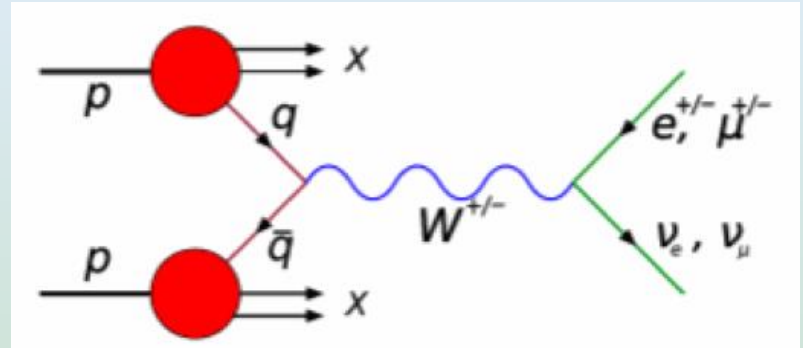
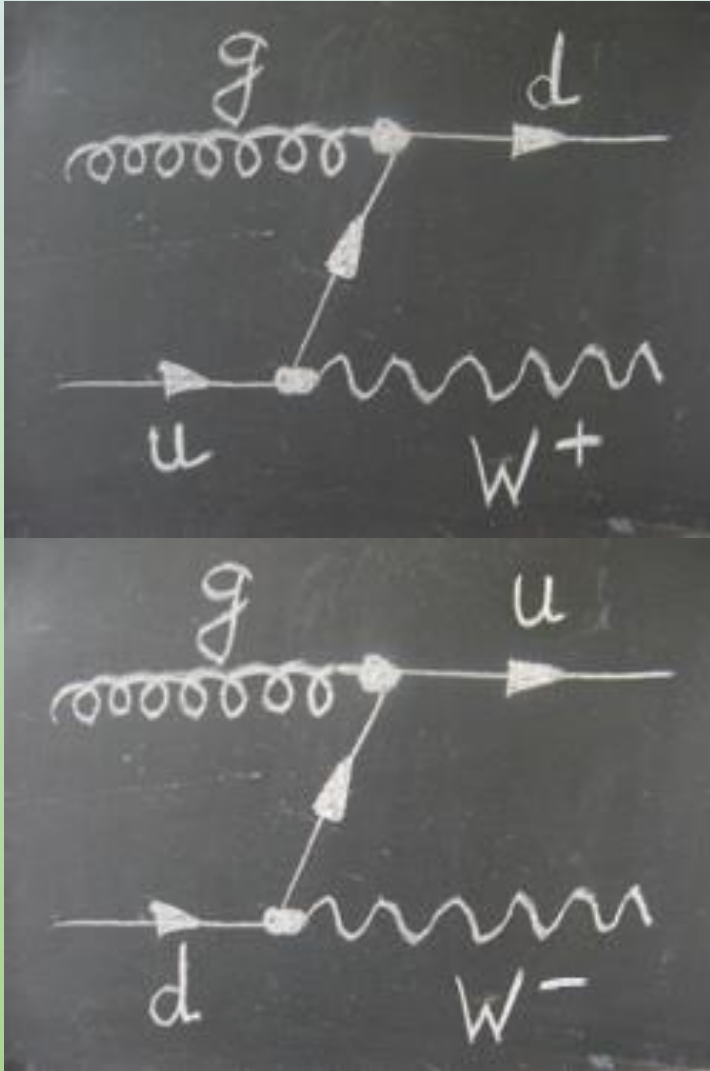


La **carica** del leptone indica la carica della W

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

# Produzione di $W^{+-}$ a LHC

protone + protone  $\rightarrow$  W + altro

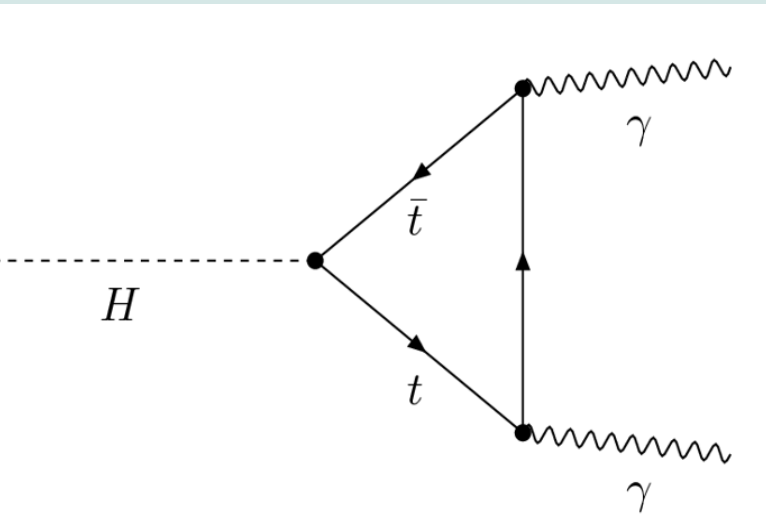


L'urto avviene fra i **costituenti** del protone

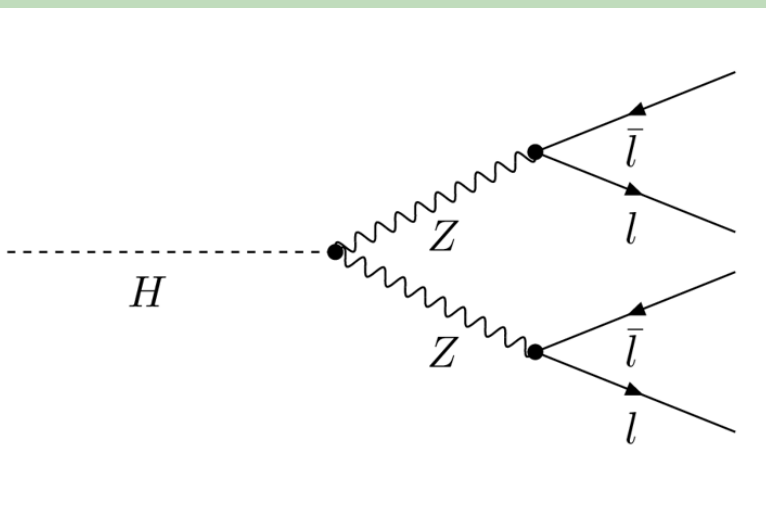
All'interno del protone  
ci sono più cariche  
positive che negative

La **frazione  $W^+ / W^-$**   
riflette la struttura  
interna del protone

# Decadimento del Bosone di Higgs

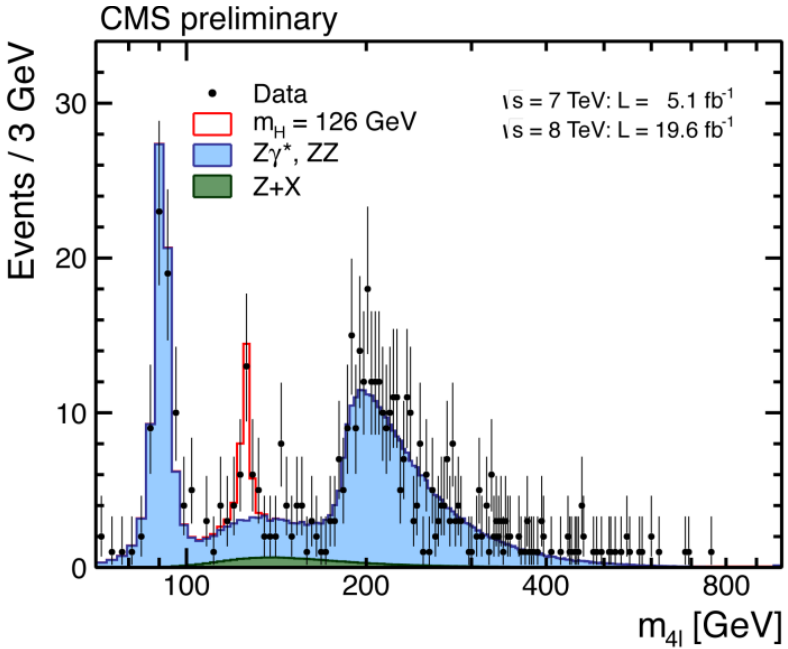
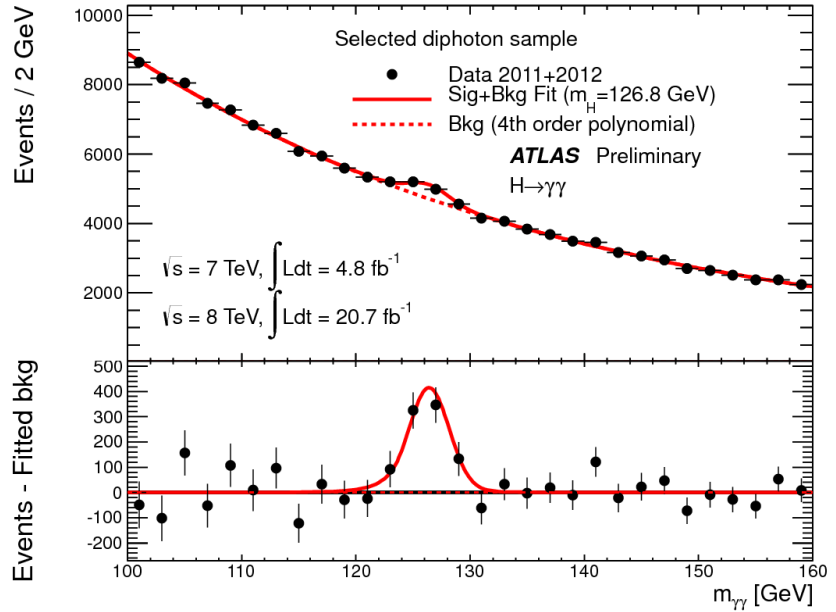
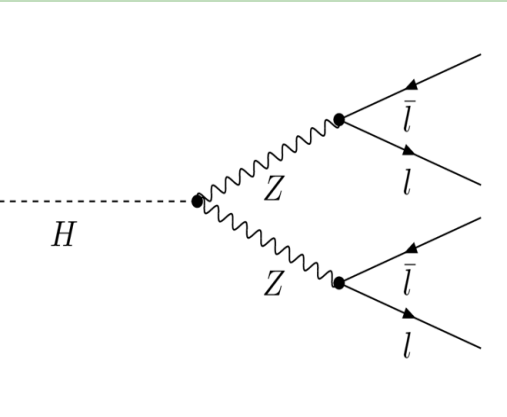
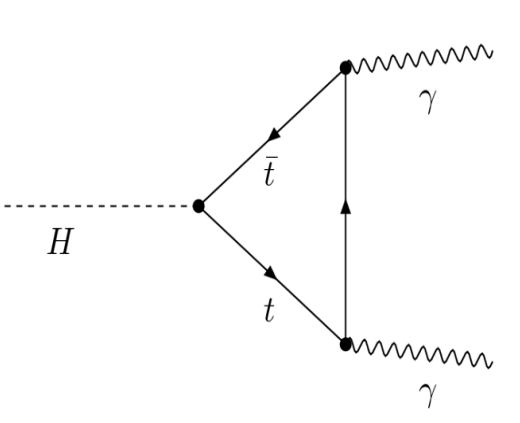


**2 fotoni nello stato finale:**

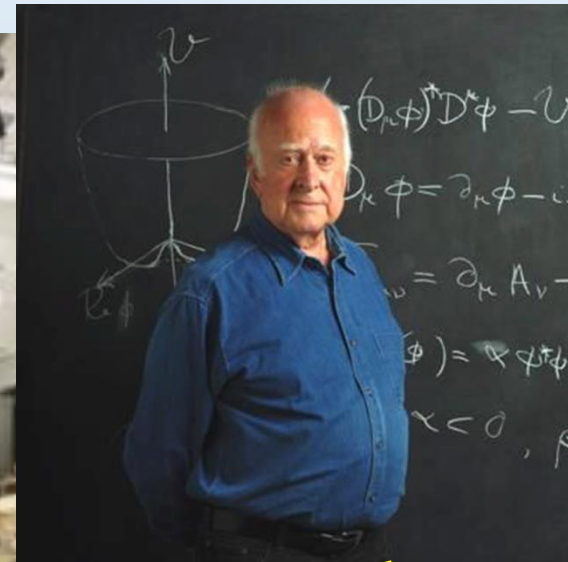


**4 leptoni nello stato finale:  
2 e + 2 mu,  
4 e,  
4 mu**

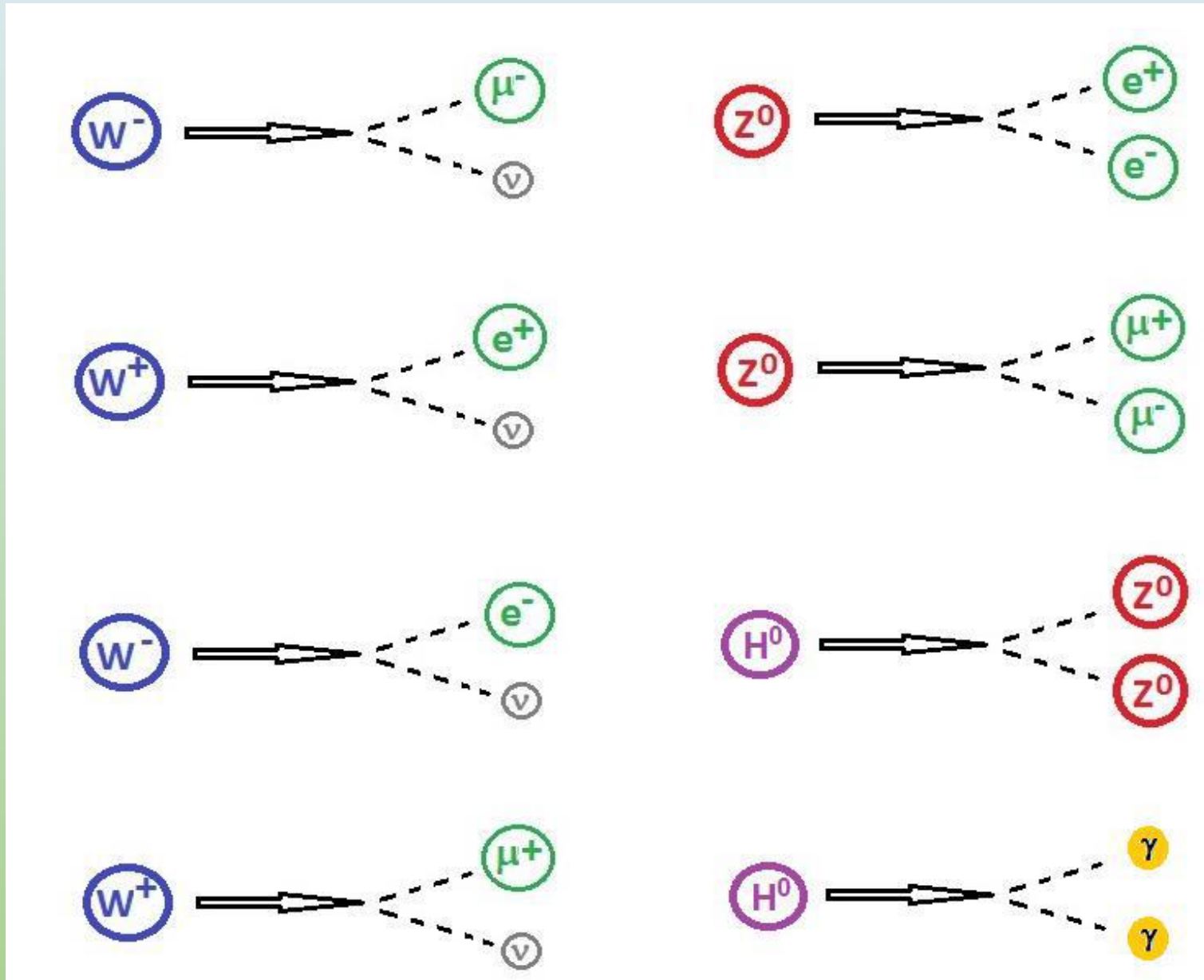
# Bosone di Higgs: Massa = 125 GeV



Auditorio del CERN, 4 luglio 2012



# Tipo di eventi da individuare nell'esercizio del pomeriggio





# 100 eventi da esaminare per ogni coppia

- Cerca negli eventi la **presenza di elettroni e/o muoni**
- L'evento è un W, uno Z o un'altra particella dello "zoo» (non catalogabile)?
- Se è un W, qual è la sua carica: è un  $W^+$  o un  $W^-$ ?
- Se è un candidato Z, trova le due tracce dei leptoni ed usale per determinare la massa invariante della particella decaduta
- E' un decadimento in 4 leptoni o 2 fotoni? In tal caso può essere un candidato Higgs
- Potrete registrare tutte le vostre conclusioni negli appositi spazi del foglio elettronico.

- Non preoccupatevi di finire l'esercizio, non è questo lo scopo
- Non preoccupatevi di sbagliare!
- Ponetevi domande e siate critici, e poi ne discuteremo