

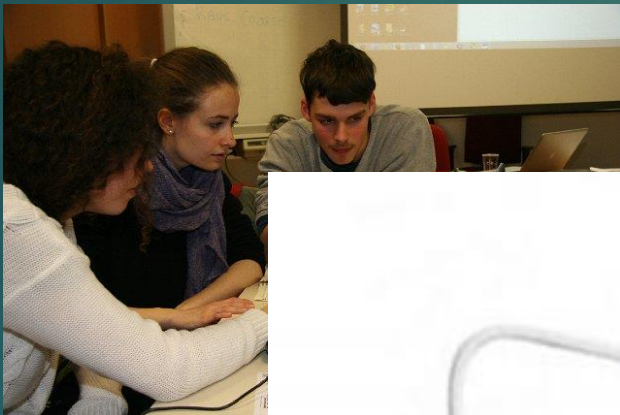
# International Masterclasses 2021

Bologna, 19 marzo 2021



# International Masterclasses 2021

Bologna, 19 marzo 2021





## Classi di studenti che parteciperanno oggi in simultanea:

- Praga
- Bologna
- Orsay
- Krakow
- Copenhagen



## Mattina

- Introduzione alla fisica delle particelle (S. Marcellini)
- Introduzione alla rivelazione delle particelle (S. Biondi)


## Pomeriggio (inizio 13 e 30)

- Preparazione all'esercizio (30 min)
- Svolgimento dell'esercizio (1 h e 30)
- Discussione sull'esercizio (30 min)
- Collegamento con il Cern (ore 16)



Nessuno vi giudica, nessuno vi mette il voto

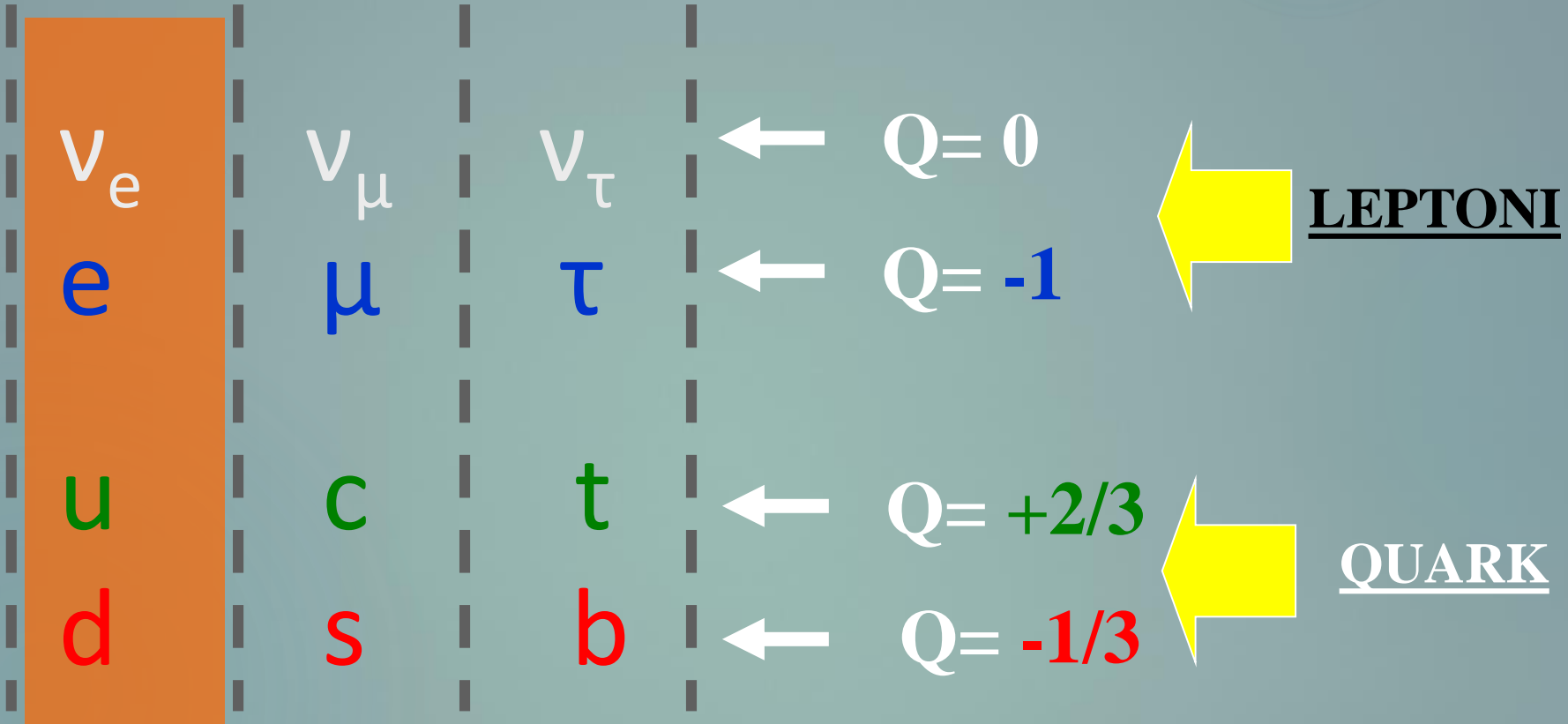
**Sbagliare** nelle decisioni che prenderete durante  
l'esercizio **fa parte dell'esercizio stesso.**



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

**S. Marcellini, INFN Bologna**

**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.

Int. **GRAVITAZIONALE**

Int. **DEBOLE**

Int. **ELETTROMAGNETICA**

Int. **FORTE** (o nucleare, o “di colore”)



$\nu_e$

$\nu_\mu$

$\nu_\tau$

← **Debole, Gravitazionale**

$e$

$\mu$

$\tau$

← **Debole, Gravitazionale,  
Elettromagnetica**

$u$

$c$

$t$

← **Debole, Gravitazionale,  
Elettromagnetica, Forte**

$d$

$s$

$b$

# Il protone e il neutrone sono composti da quark

## QUARK




I quark hanno CARICA ELETTRICA FRAZIONARIA.

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

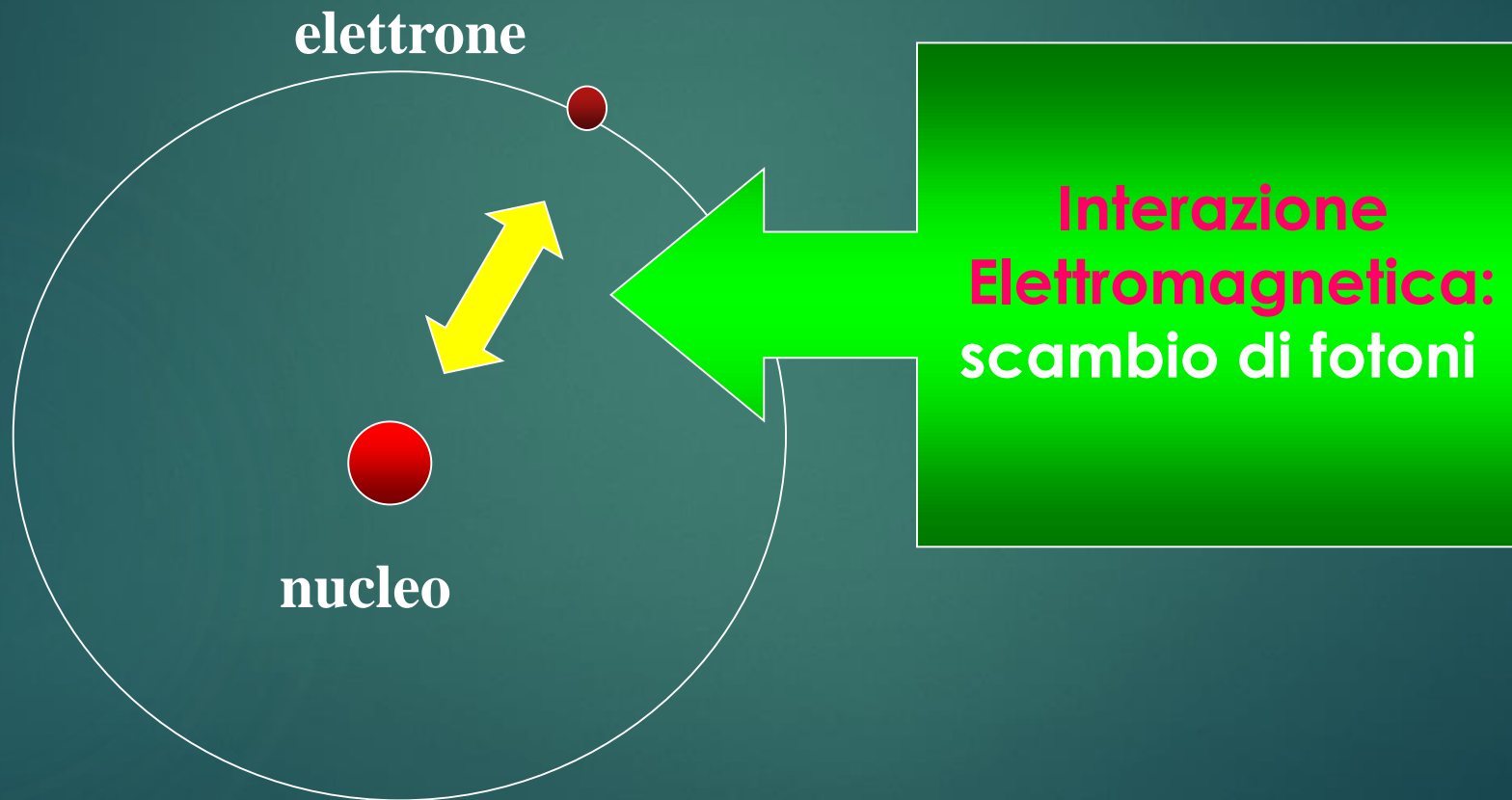
Le proprietà del protone e neutrone (nucleoni) sono date dalle proprietà dei quark, **e dalle loro interazioni.**

La forza nucleare fra nucleoni è in realtà il residuo della forza nucleare fra quark (analogia con le forze di Van Der Walls fra molecole)



Le interazioni avvengono mediante  
scambio di particelle di spin intero  
che si chiamano  
**portatori della forza**

# Esempio: l'atomo

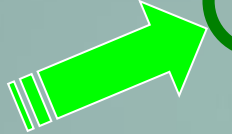


**PRIMA**



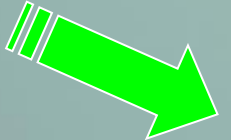
**DOPO**

particella A

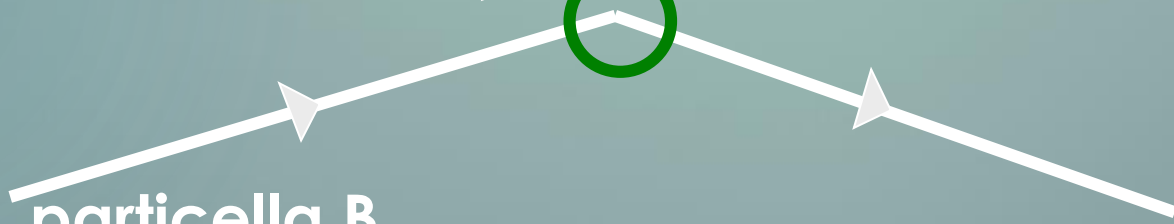


**Interazione  
carica-mediatore**

Mediatore della forza,  
scambiato tra A e B



particella B





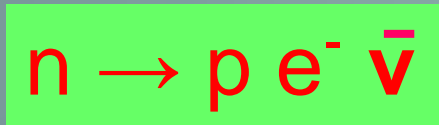
# Mediatori delle interazioni

Int. Elettromagnetica  $\rightarrow$  fotoni

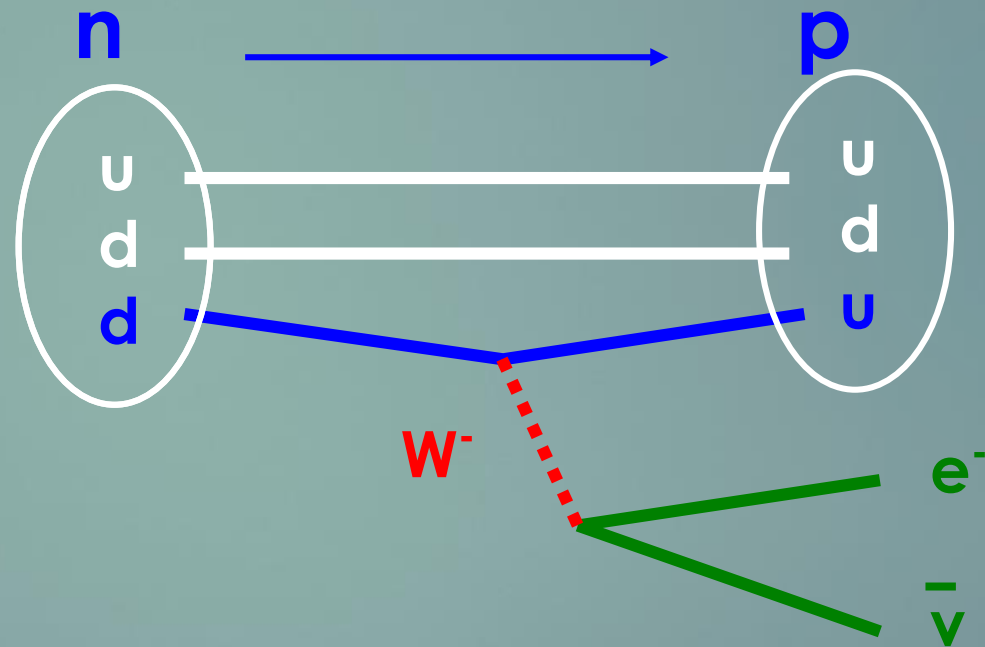
Int. Debole  $\rightarrow W^+, W^-, Z^0$

Int. Nucleare forte  $\rightarrow$  gluoni

# decadimento $\beta$




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



# Il campo di Higgs

Come fa il campo di Higgs a rendere massive le particelle fondamentali?

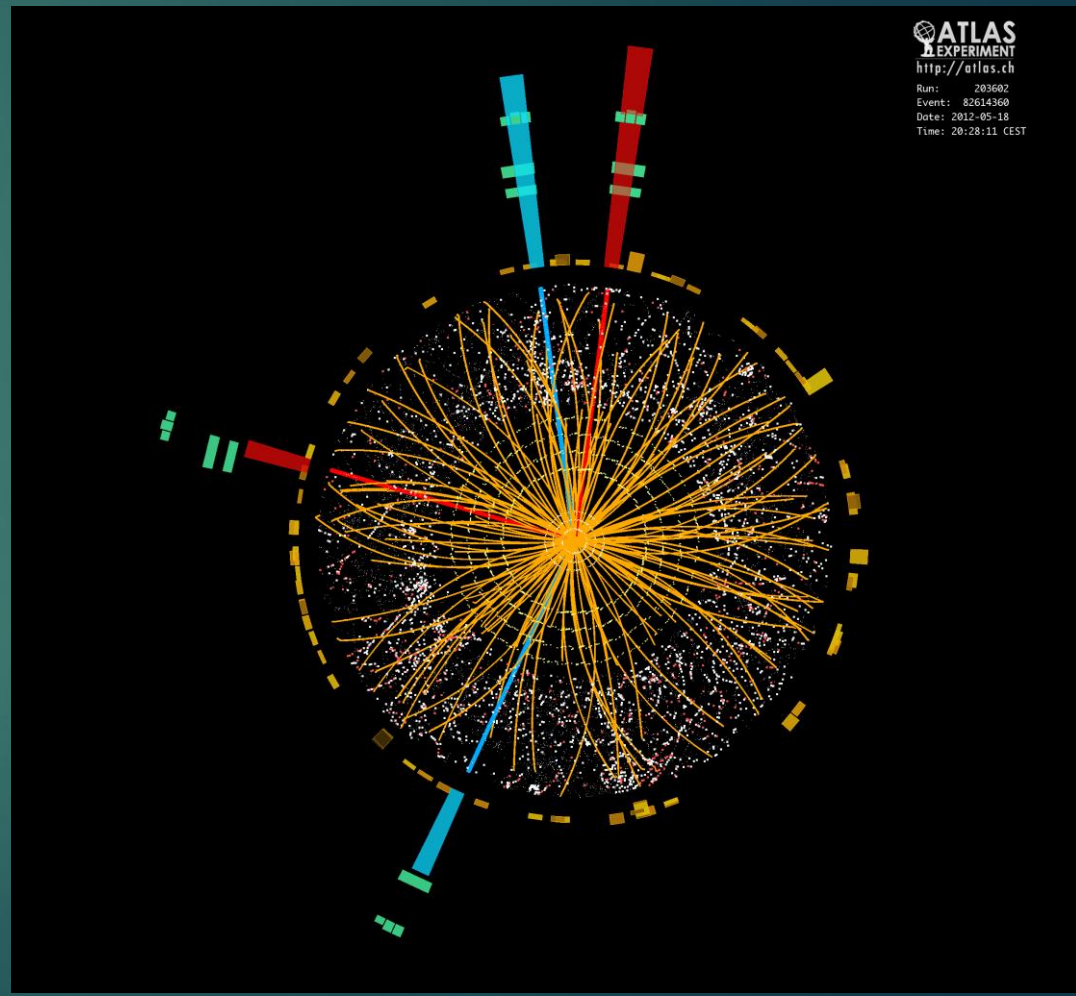
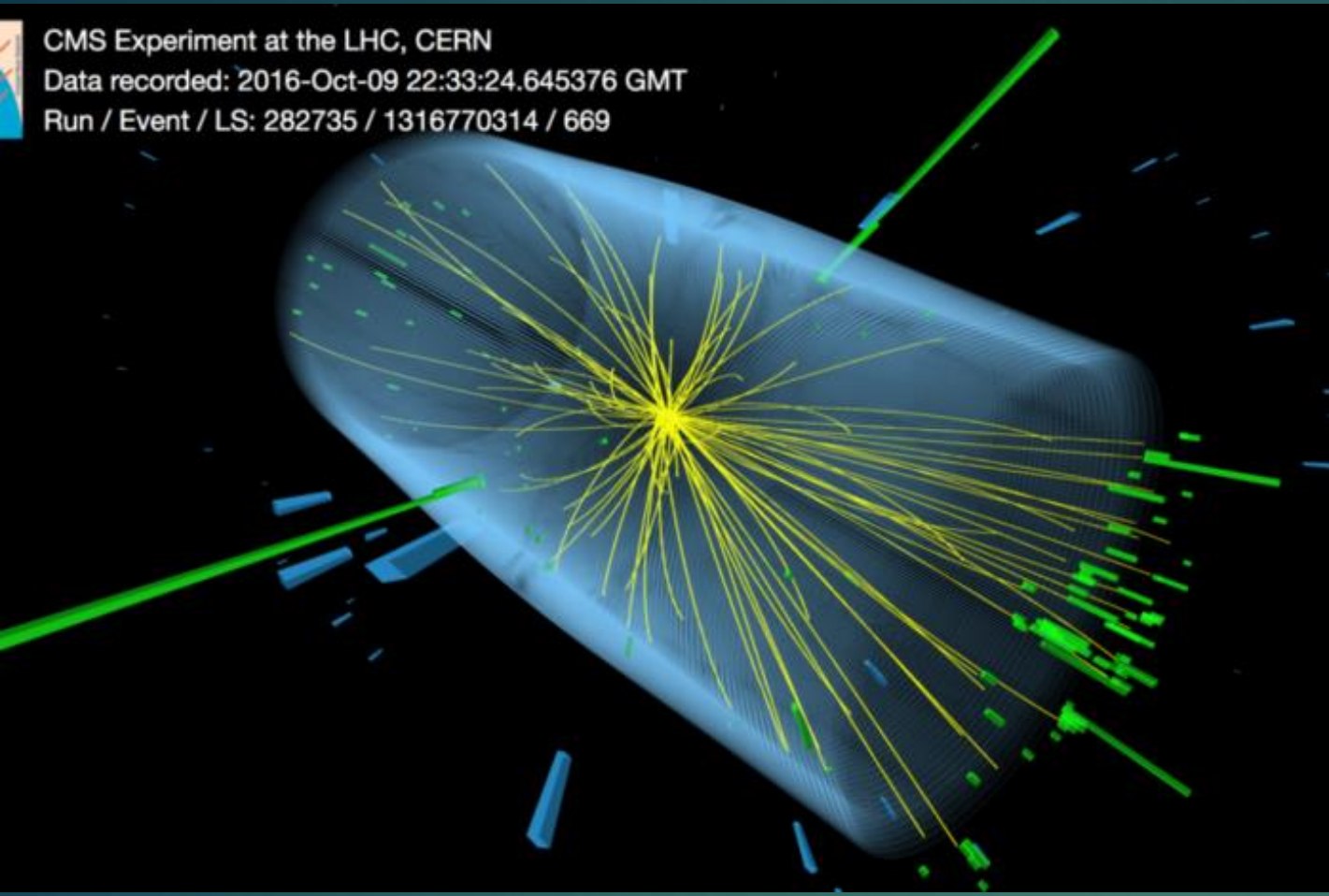




La particella di Higgs (il «Bosone» di Higgs, perché ha spin 0) è una eccitazione del campo di Higgs



CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2016-Oct-09 22:33:24.645376 GMT  
Run / Event / LS: 282735 / 1316770314 / 669



ATLAS  
EXPERIMENT  
<http://atlas.ch>  
Run: 203602  
Event: 82614360  
Date: 2012-05-18  
Time: 20:28:11 CEST

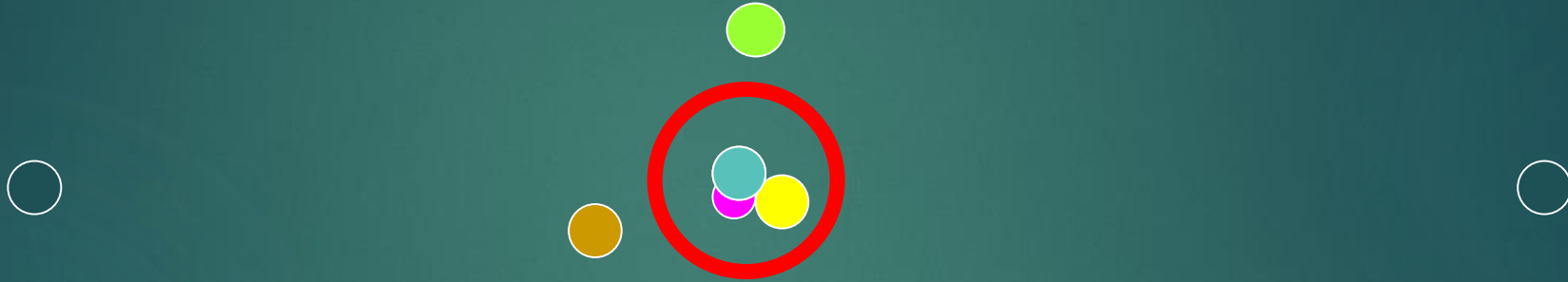
Auditorio del CERN, 4 luglio 2012





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  
a cui avviene l'urto. Le informazioni per capire cosa è avvenuto nell'urto  
si ottengono dalla collisione e l'energia a cui avviene l'urto.

**CERN**

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

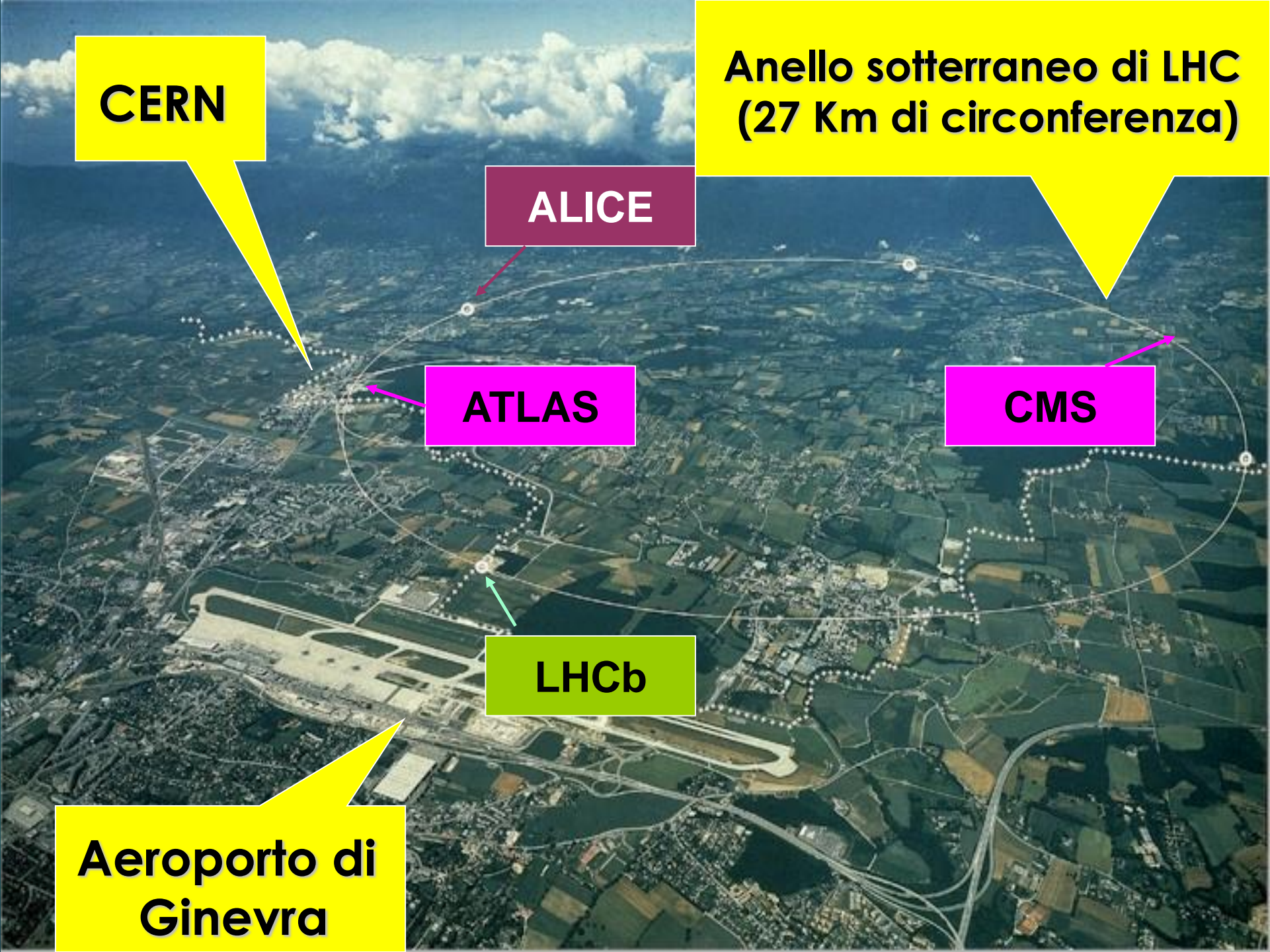
**ALICE**

**ATLAS**

**CMS**

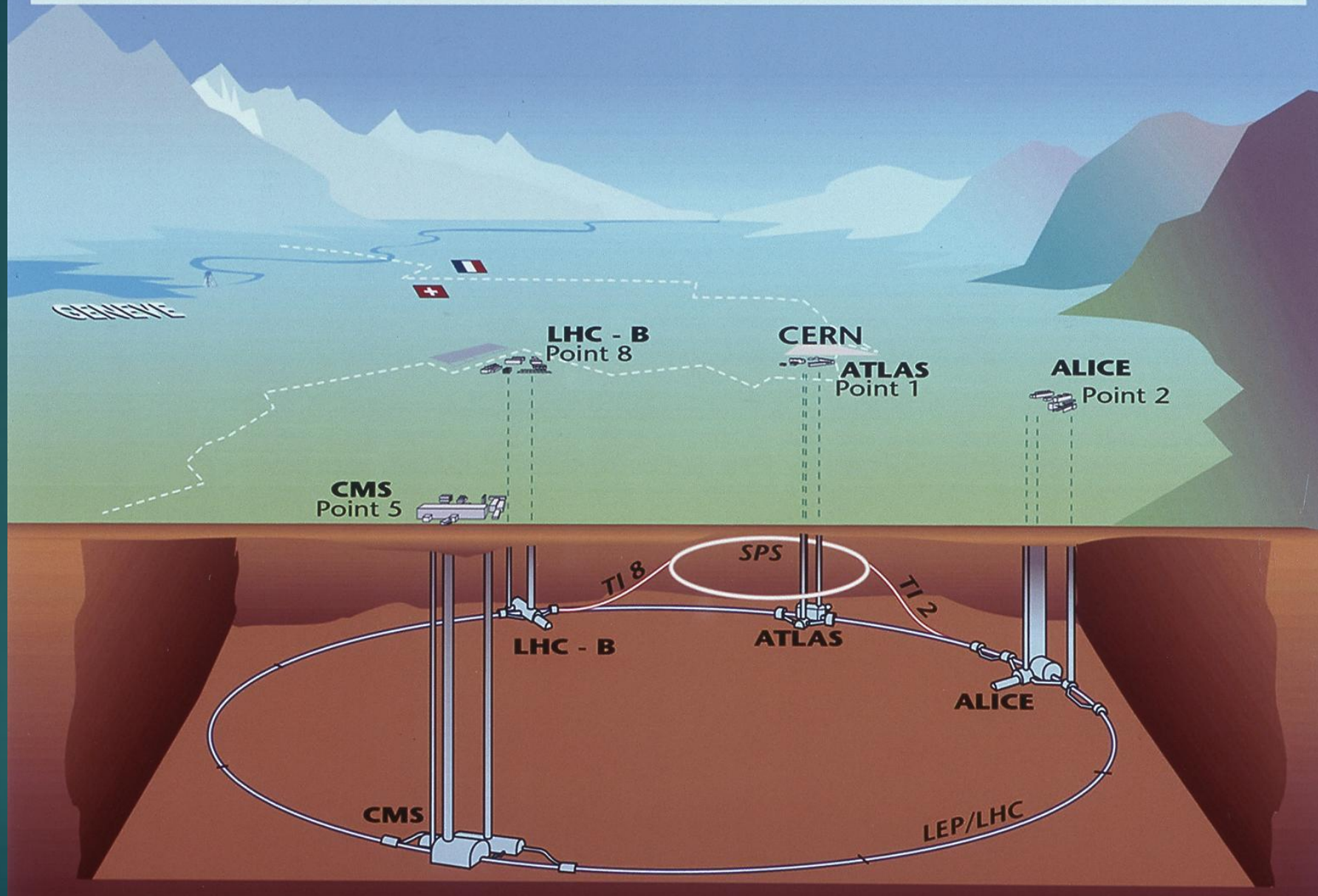
**LHCb**

**Aeroporto di  
Ginevra**





# Overall view of the LHC experiments.



19/03/2021



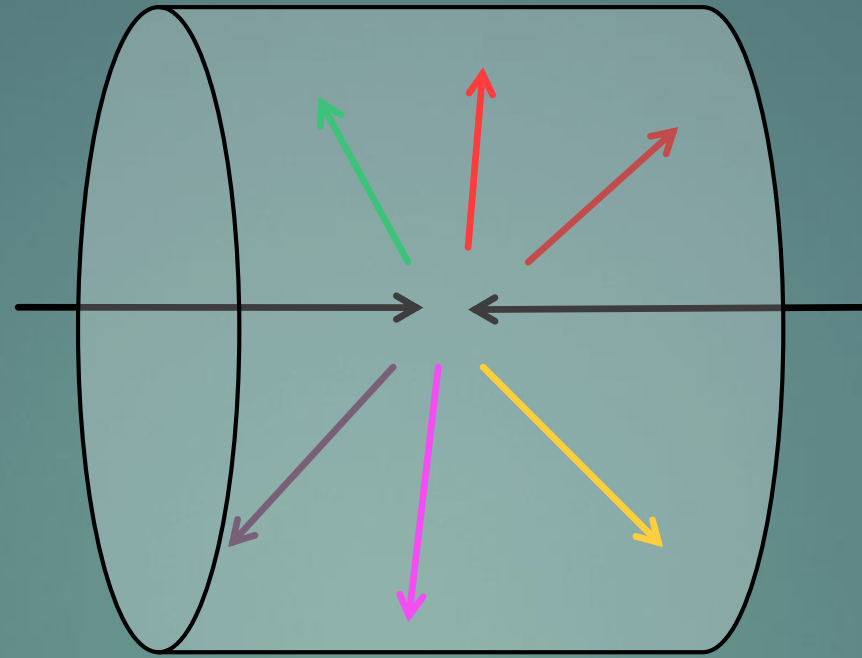




Un rivelatore di particelle è un insieme di strumenti che ci permette di studiare cosa avviene negli urti fra particelle.

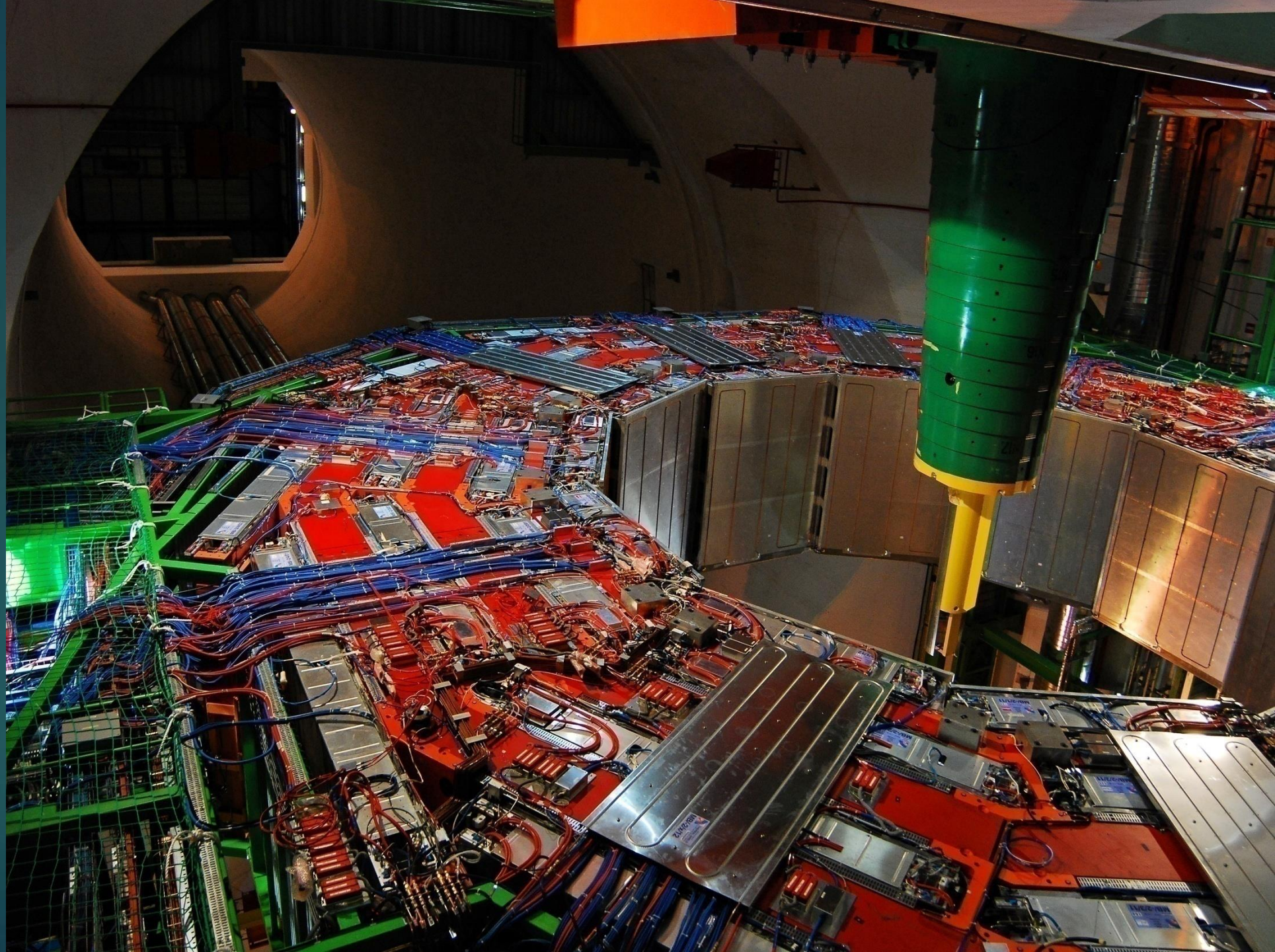
Ci permette di misurare **quante** particelle sono emesse, il **tipo** di particelle, la loro **direzione**, **energia**, carica elettrica etc.

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

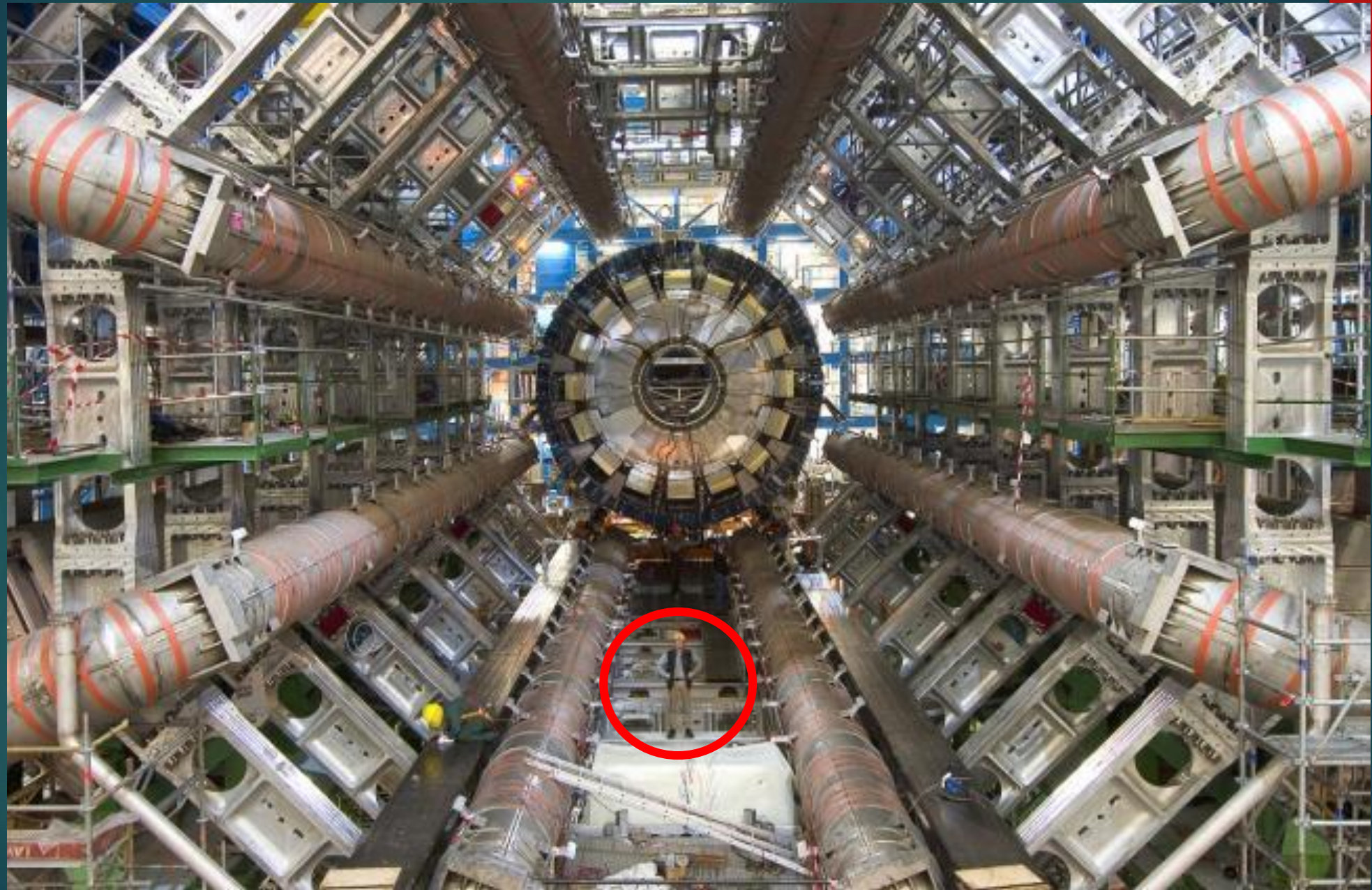


L'idea è quella di circondare la zona di interazione con opportuni strumenti in grado di “vedere” quello che è stato prodotto nelle interazioni.



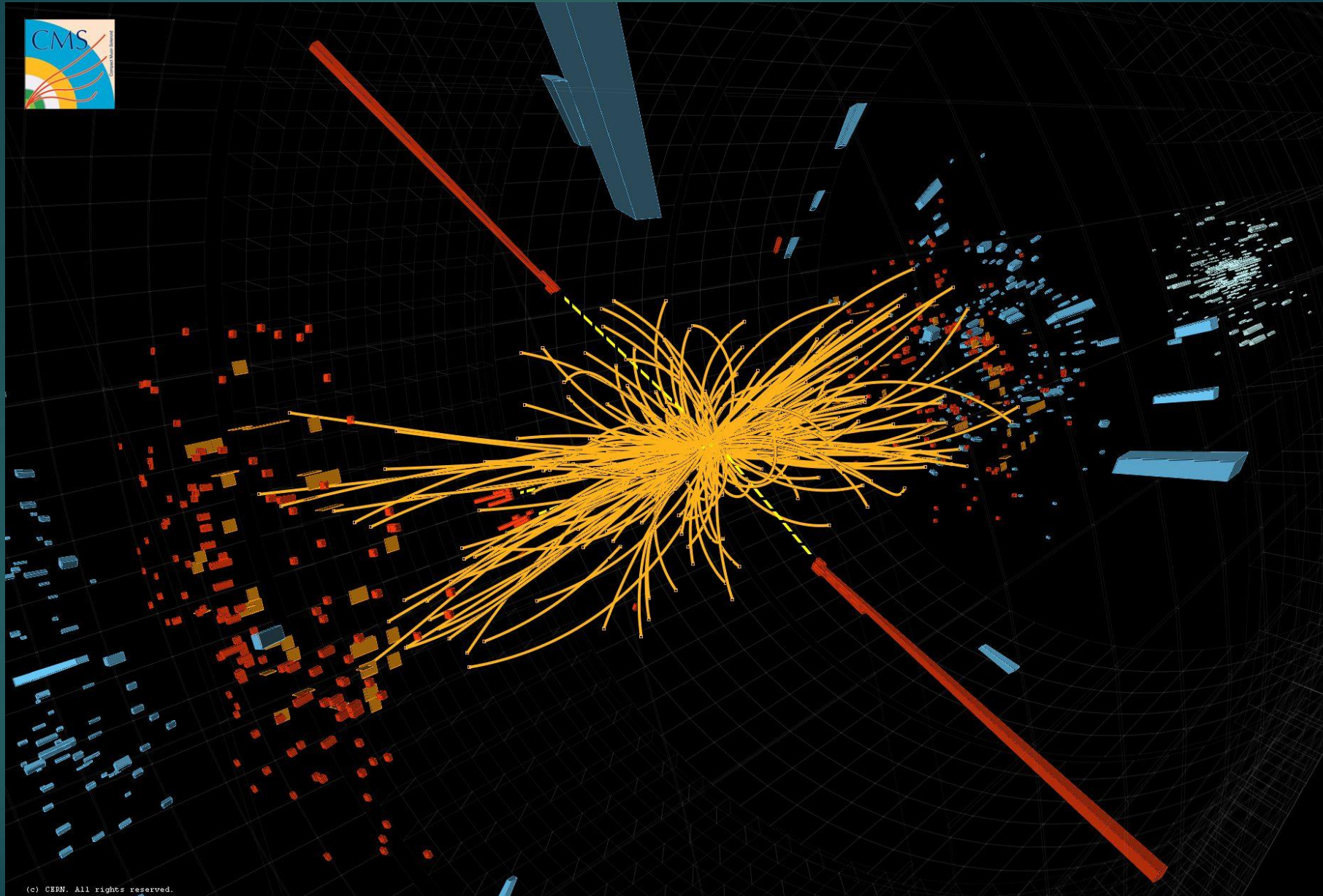




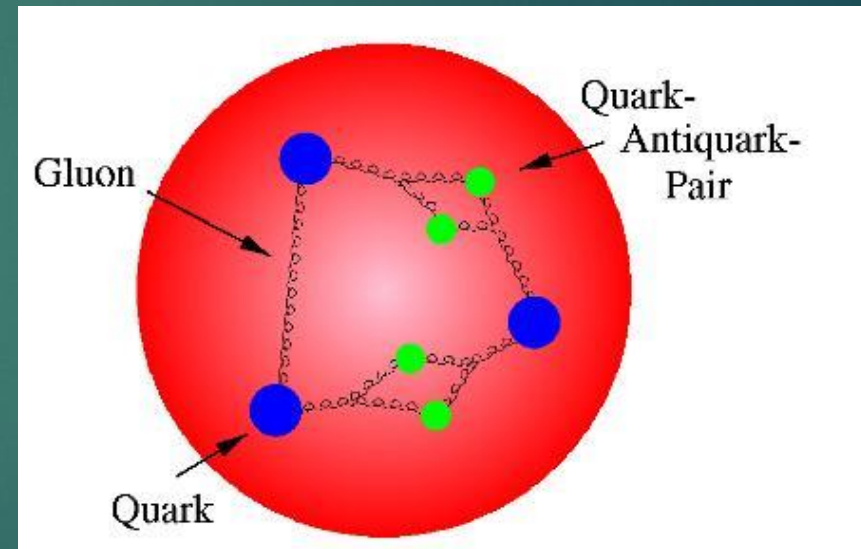
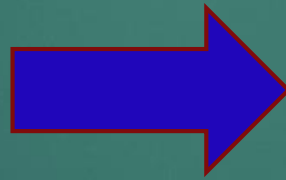
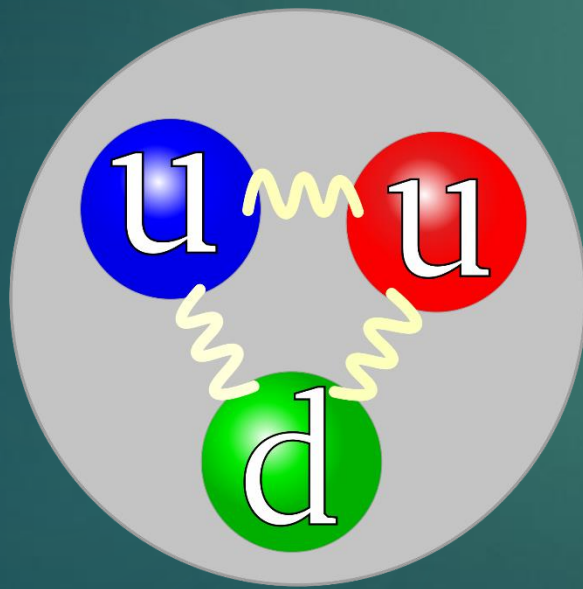


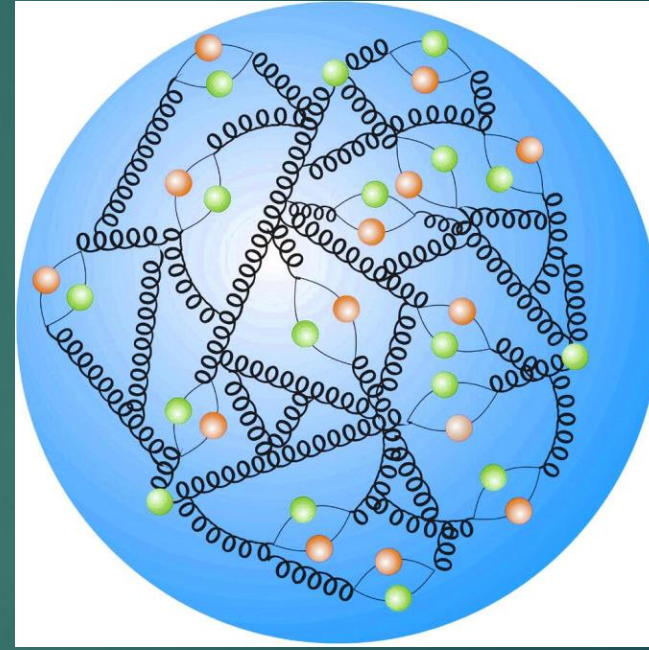
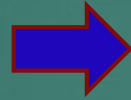
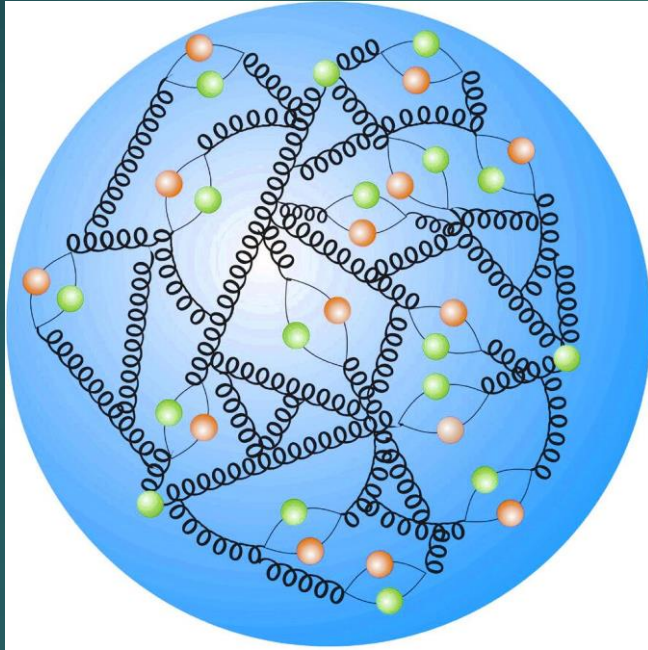


# Un evento tipico a LHC: **molte tracce**



Alle energie di LHC il protone diventa molto più complicato



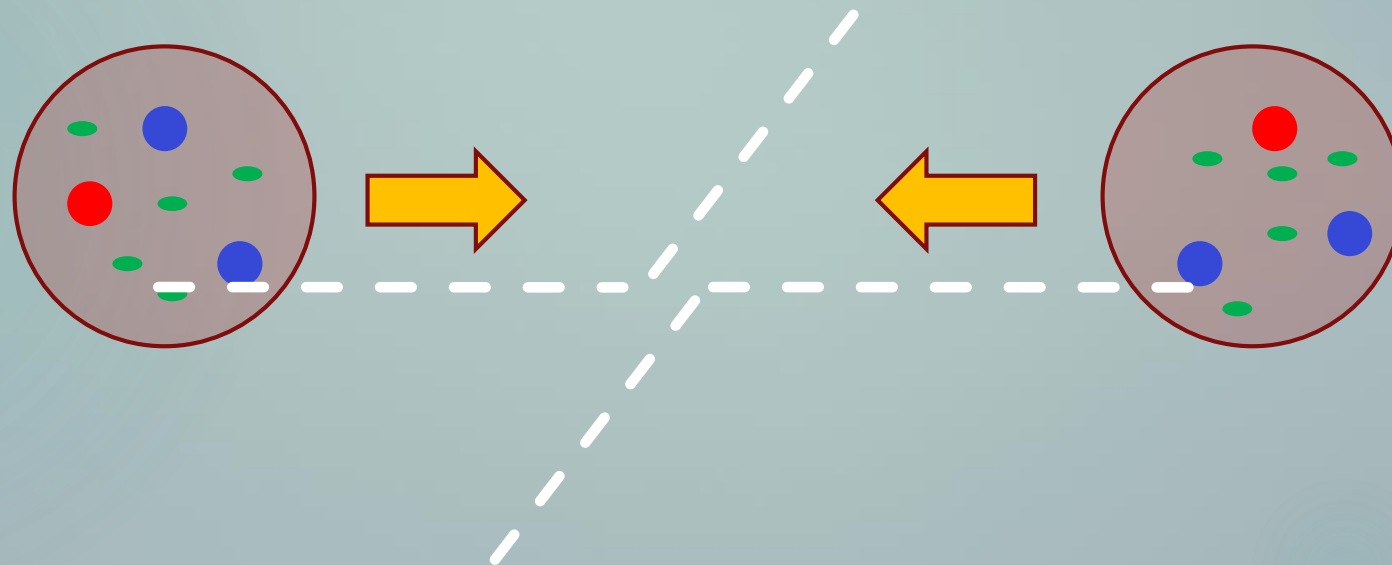




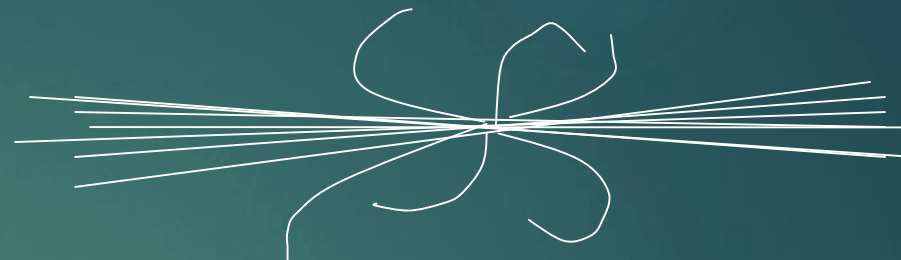
# Particelle ad alto momento trasverso $p_t$



# 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



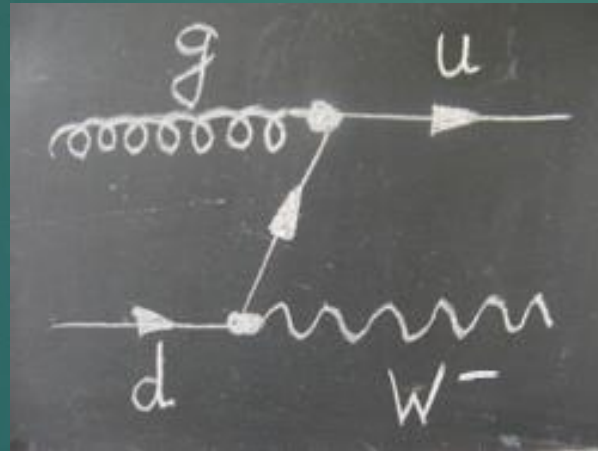
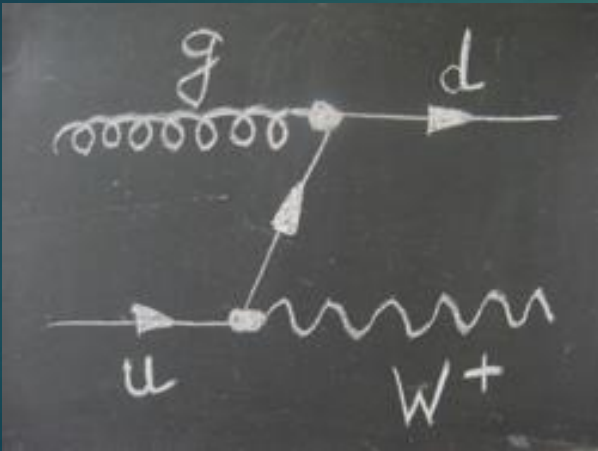
CMS e ATLAS sono pensati per studiare soprattutto questo tipo di eventi



# Produzione di $W^+$ a LHC

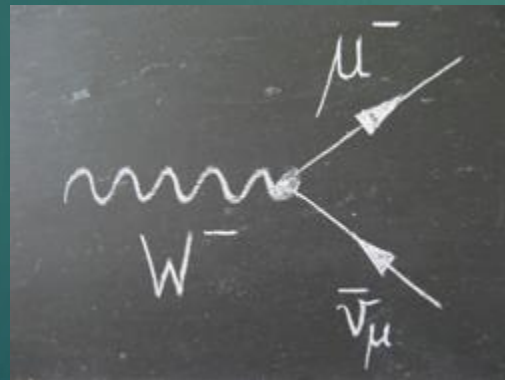
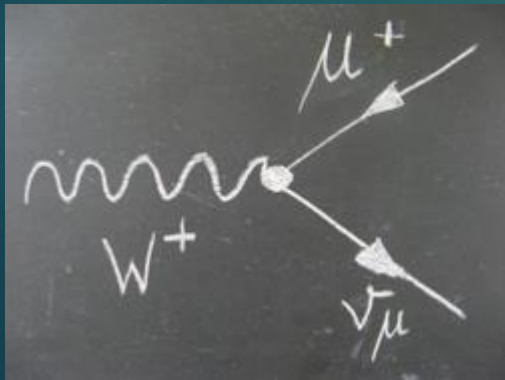
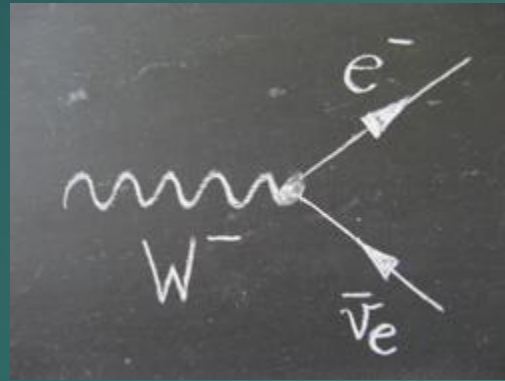
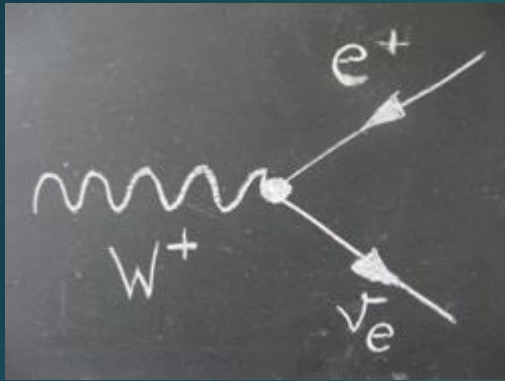
protone + protone  $\rightarrow$  W + altro

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



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

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



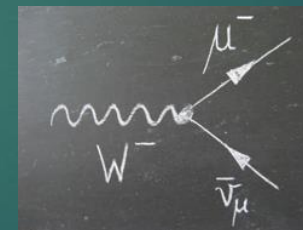
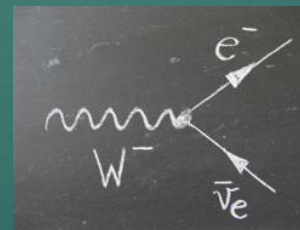
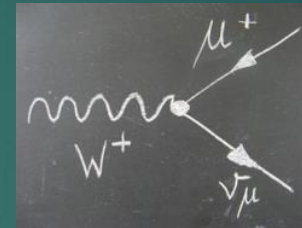
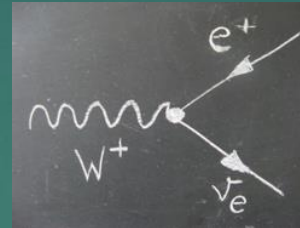
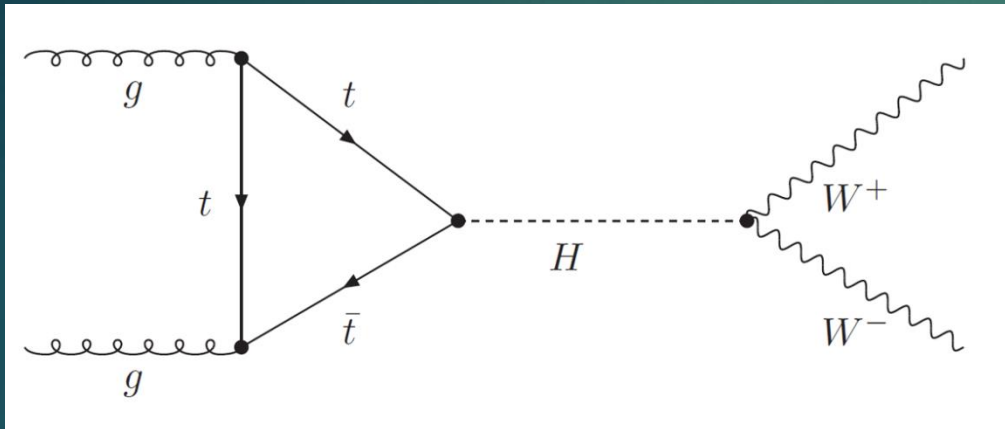
La **carica** del leptone indica la carica della W

Il neutrino non rilascia segnale nel rivelatore

(**energia mancante** nell'evento, dal punto di vista sperimentale è energia trasversa mancante)

# Ricerca degli eventi con bosone di Higgs contenuti nei dati che analizzerete

Interazione fra i due protoni



2 leptoni di carica opposta (2elettroni, 2muoni, 1elettrone+1muone ben separati)  
+ energia mancante

# Sommario:

Ricerca di eventi contenenti  $W \rightarrow e + \text{neutrino}$   
oppure  $W \rightarrow \mu + \text{neutrino}$

Li conto, separando le  
cariche + e - dei leptoni

Ricerca di eventi contenenti un candidato  
Higgs che decade in  $WW \rightarrow 2 \text{ leptoni} + \text{neutrini}$

Li conto, misurando  
l'angolo fra i due leptoni  
carichi

Troverete anche eventi che non saprete  
catalogare: costituiranno il «fondo»

# Sommario:

Ricerca di eventi contenenti  $W \rightarrow e + \text{neutrino}$   
oppure  $W \rightarrow \mu + \text{neutrino}$

Li conto, separando le  
cariche + e - dei leptoni

Ricerca di eventi contenenti un candidato  
Higgs che decade in  $WW \rightarrow 2 \text{ leptoni} + \text{neutrini}$

Li conto, misurando  
l'angolo fra i due leptoni  
carichi

Troverete anche eventi che non saprete  
catalogare: costituiranno il «fondo»

**NON VI PREOCCUPATE DI SBAGLIARE! FA PARTE DELL'ESERCIZIO**