

ATLAS

Prima parte

Programma di oggi

Orario	Argomento
ore 10:00	Benvenuto
ore 10:15	Lezione sulla fisica delle Particelle - prima parte
ore 11:15	Pausa
ore 11:30	Lezione sulla fisica delle Particelle - seconda parte
ore 12:30	Pranzo
ore 13:30	Preparazione per gli esercizi
ore 14:00	Risoluzione degli esercizi in autonomia
ore 15:30	Discussione sul lavoro svolto
ore 16:00	Collegamento con il CERN/GSI
ore 17:30	Fine

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

S. Marcellini, INFN Bologna

$$\frac{df}{dt} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(t+h) - f(t)}{h}$$

Oltre a Bologna, ci saranno studenti da:

- Benasque (Spagna),
- Sharja (Emirati Arabi Uniti),
- Alessandria (Egitto)
- Oslo (Norvegia)

Tre generazioni
della materia (fermioni)

	I	II	III	
massa→	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
carica→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome→	u up	c charm	t top	γ fotone
Quark	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluone
Leptoni	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e neutrino elettronico	ν_μ neutrino muonico	ν_τ neutrino tauonico	Z^0 forza debole
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e elettrone	μ muone	τ tauone	W^\pm forza debole

Bosoni di gauge

Le particelle fondamentali della Natura, più le rispettive antiparticelle

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

Le Interazioni fondamentali

**TUTTI I FENOMENI CHE CONOSCIAMO SONO INTERPRETABILI
ATTRAVERSO UNA O PIÙ DI QUESTE 4 INTERAZIONI
FONDAMENTALI**

- 1) INT. GRAVITAZIONALE
- 2) INT. **ELETTROMAGNETICA**
- 3) INT. **DEBOLE**
- 4) INT. **FORTE (O NUCLEARE, O “DI COLORE”)**

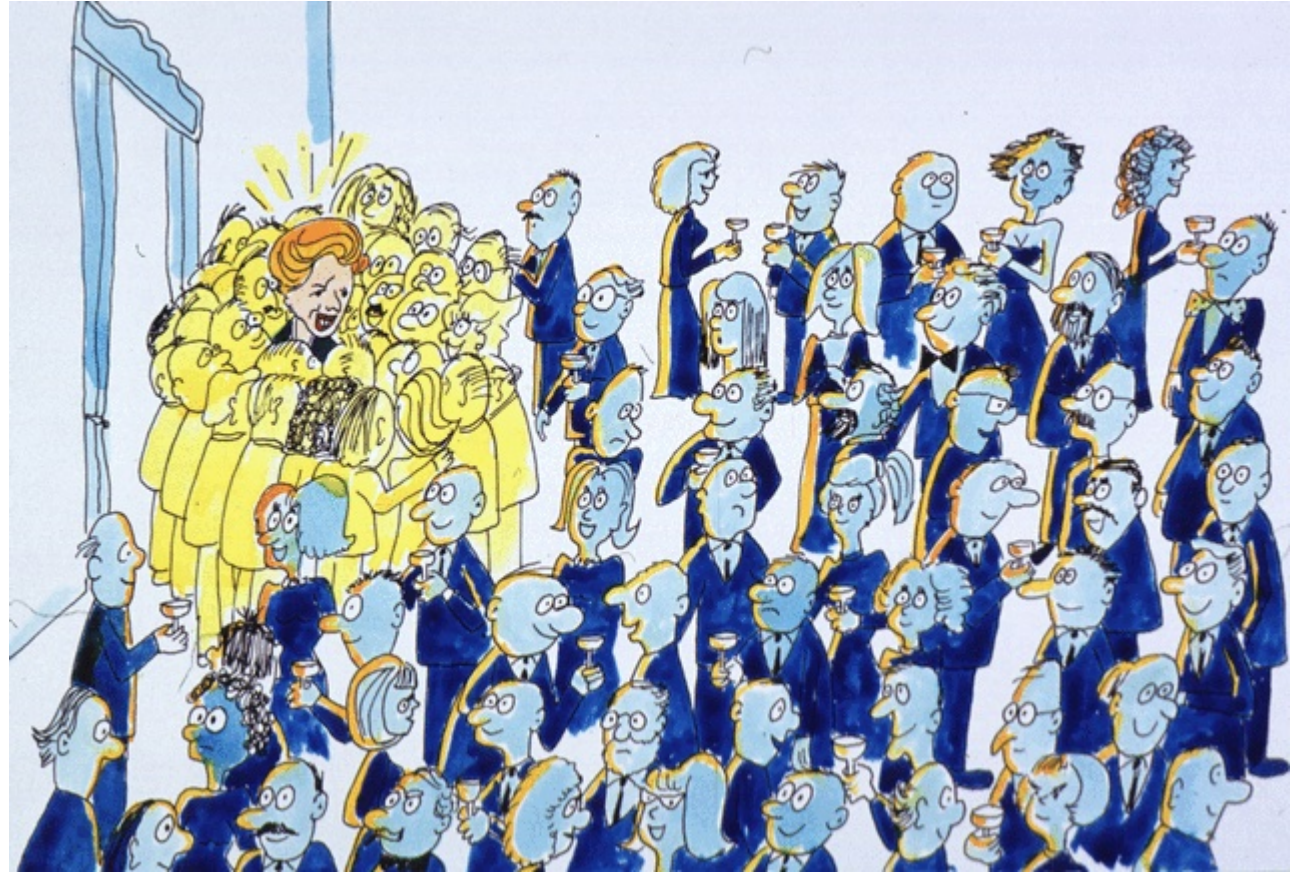
Il campo di Higgs

Lo spazio è permeato da un campo, detto «Campo di Higgs», di cui il Bosone di Higgs è il «quanto». Le particelle fondamentali, interagendo con il campo di Higgs, acquistano massa, in modo legato a quanto intensa è la loro interazione con il campo di Higgs stesso.



Il campo di Higgs

Lo spazio è permeato da un campo, detto «Campo di Higgs», di cui il Bosone di Higgs è il «quanto». Le particelle fondamentali, interagendo con il campo di Higgs, acquistano massa, in modo legato a quanto intensa è la loro interazione con il campo di Higgs stesso.



Il protone e il neutrone sono composti da quark



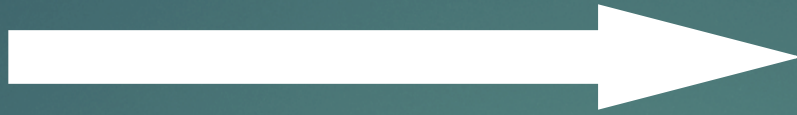
I quark hanno CARICA ELETTRICA FRAZIONARIA.

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

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

La forza nucleare che tiene assieme i nuclei è in realtà il residuo della forza nucleare fra i quark.

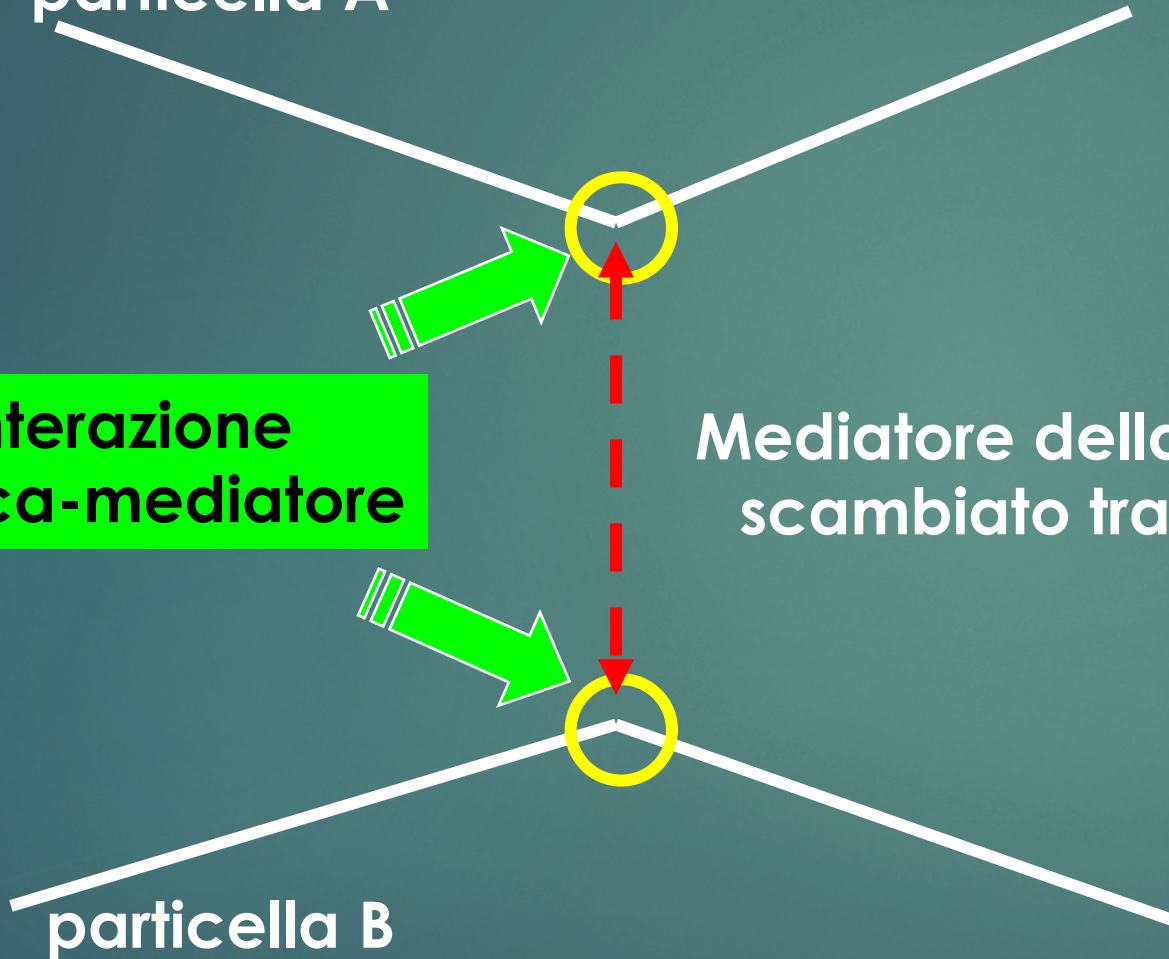
PRIMA



DOPO

10

particella A



Interazione carica-mediatore

Mediatore della forza, scambiato tra A e B

Tre generazioni della materia (fermioni)

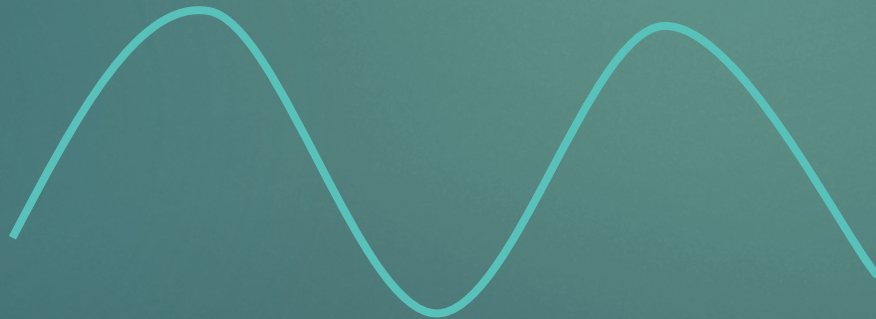
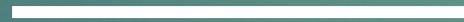
	I	II	III	
massa→	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
carica→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome→	u up	c charm	t top	γ fotone
	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quark	d down	s strange	b bottom	g gluone
	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptoni	ν_e neutrino elettronico	ν_μ neutrino muonico	ν_τ neutrino tauonico	Z⁰ forza debole
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e elettrone	μ muone	τ tauone	W[±] forza debole

Bosoni di gauge

Un acceleratore è un microscopio

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

λ



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

12

$$E = mc^2$$

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

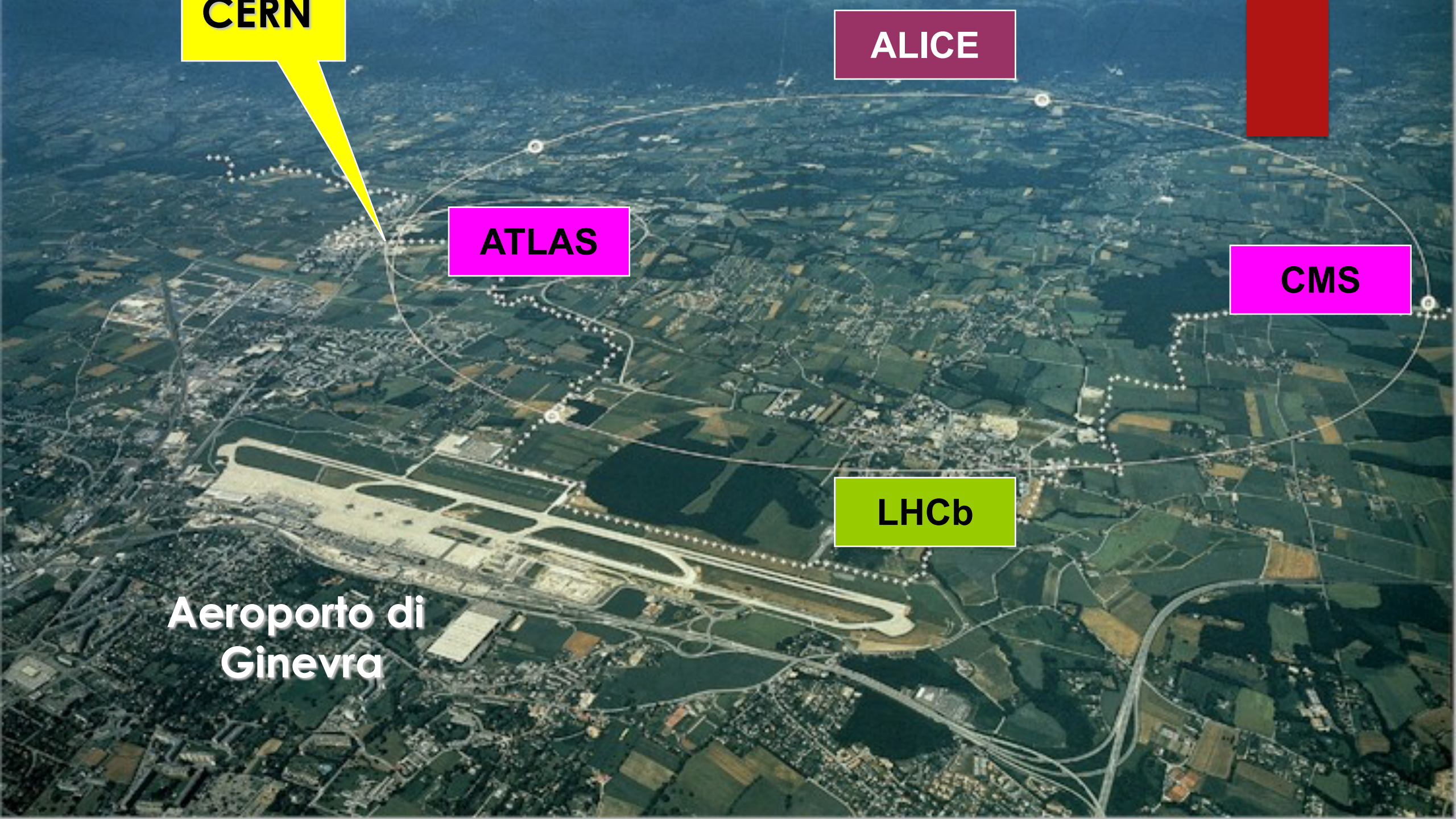
ALICE

ATLAS

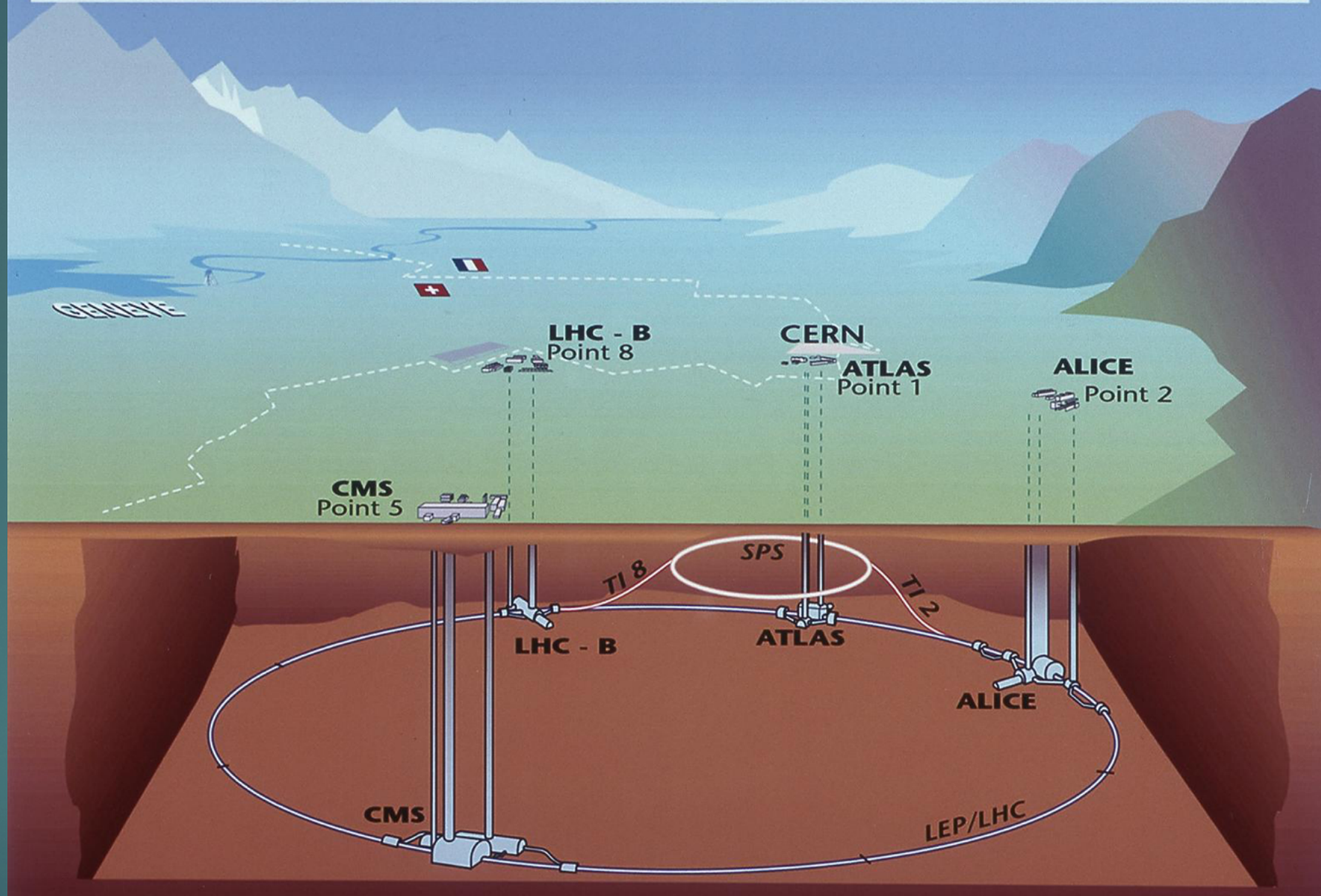
CMS

LHCb

**Aeroporto di
Ginevra**

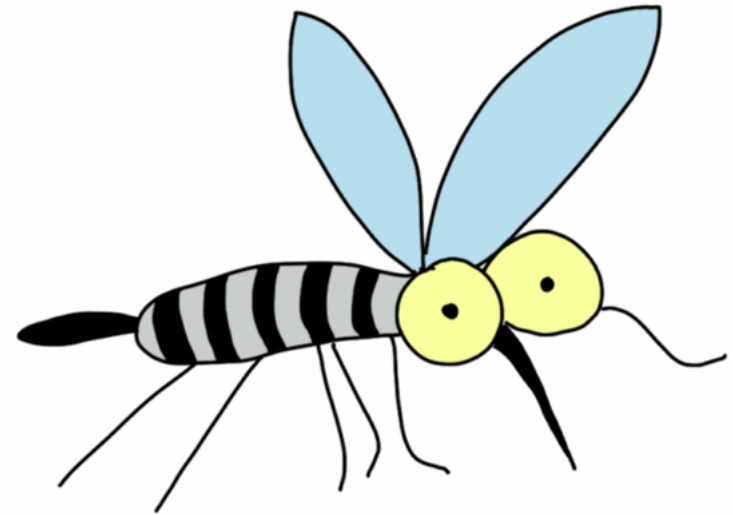



Overall view of the LHC experiments.





- ▶ L'energia di un protone accelerato dentro LHC è quella di una zanzara in volo.
- ▶ Poco in generale, ma moltissimo se la concentriamo in un singolo protone

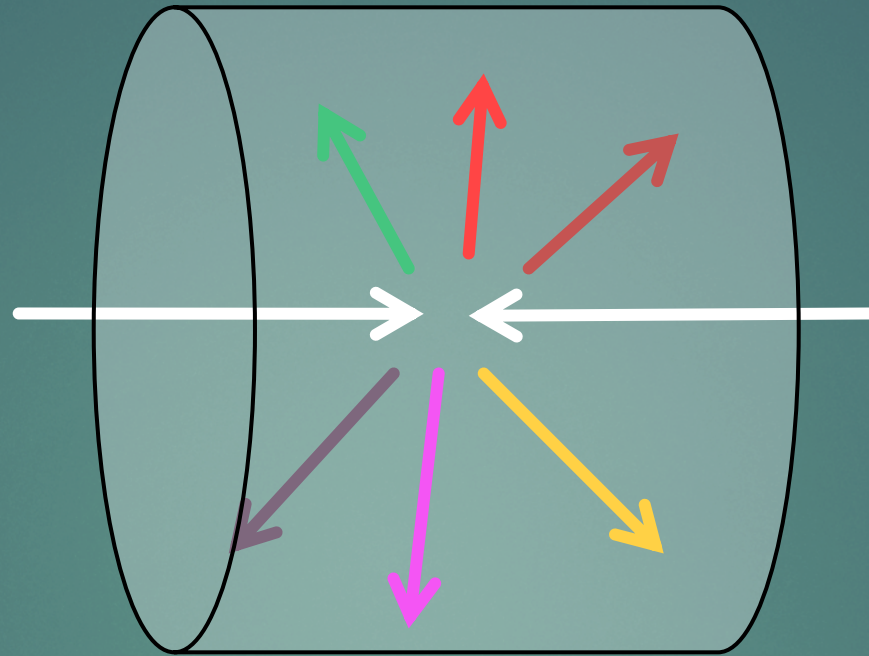




Un **rivelatore di particelle** è un insieme di strumenti che ci permette di studiare cosa avviene negli urti fra particelle.

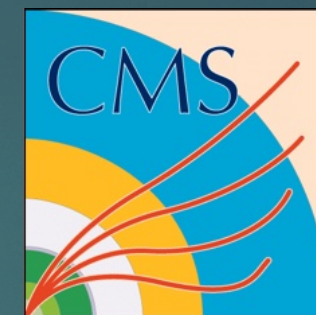
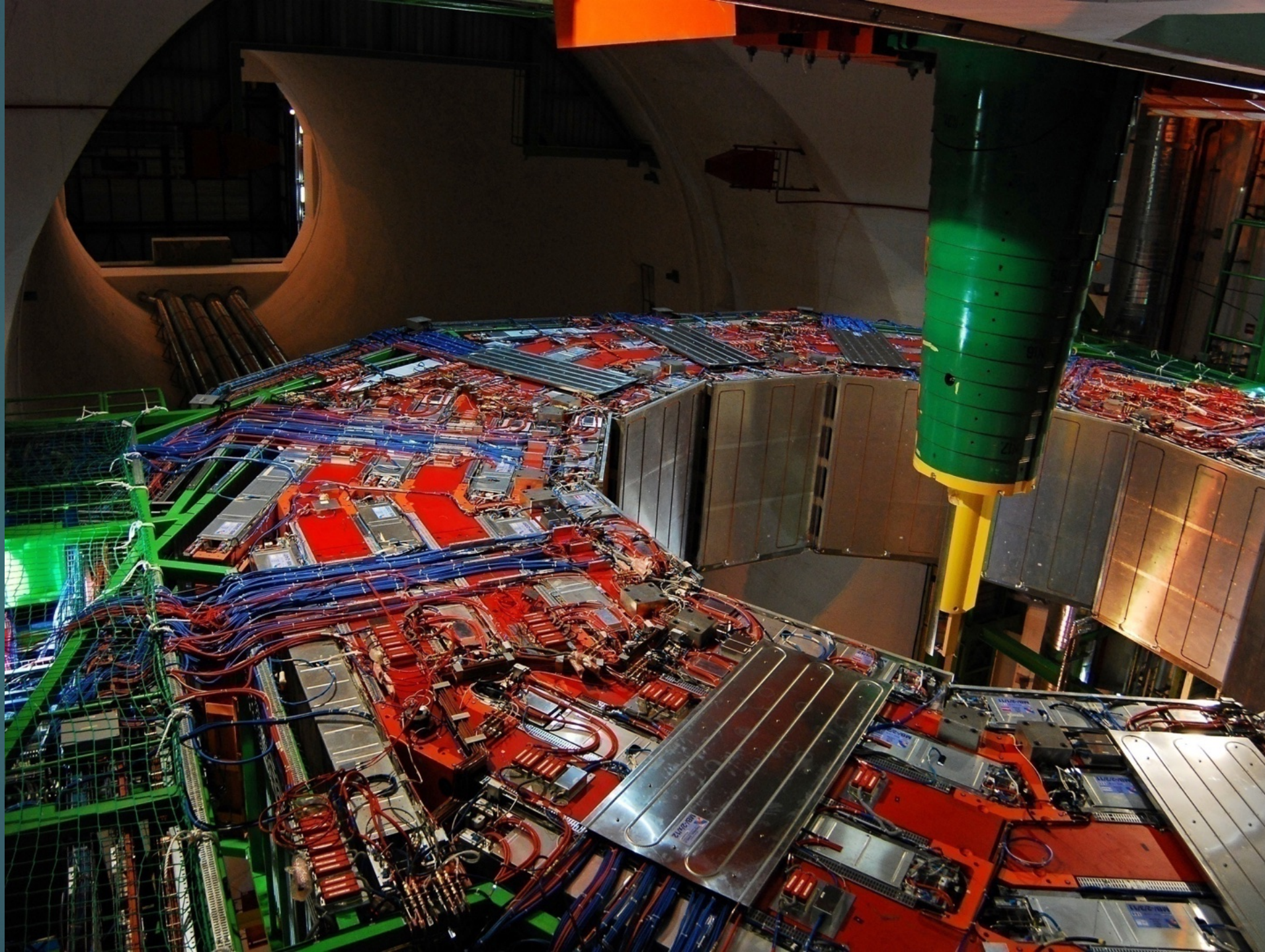
Ci permette di misurare quante particelle sono emesse, il tipo di particelle, la loro direzione, energia, etc.

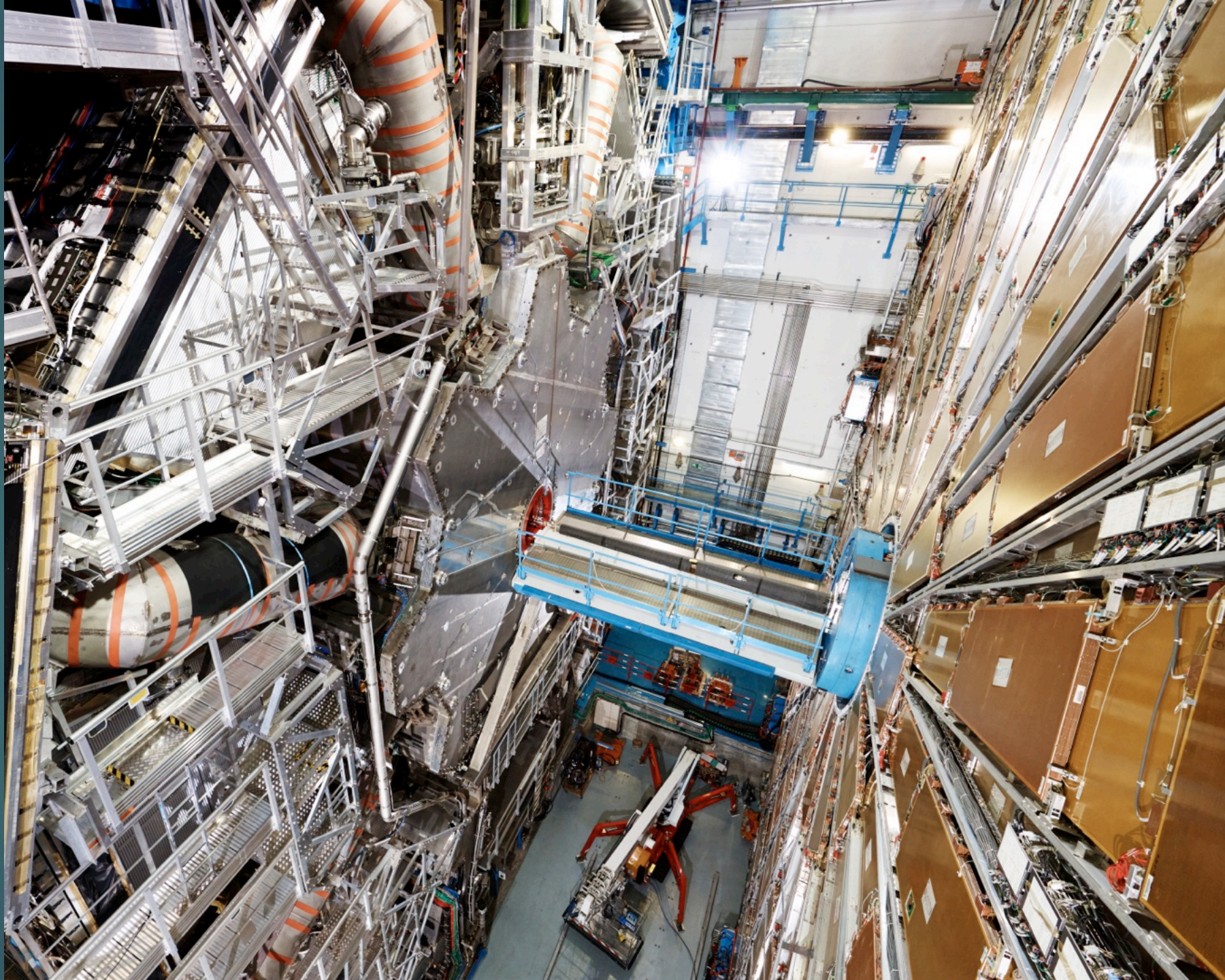
Deve essere capace di registrare migliaia o addirittura milioni di eventi al secondo



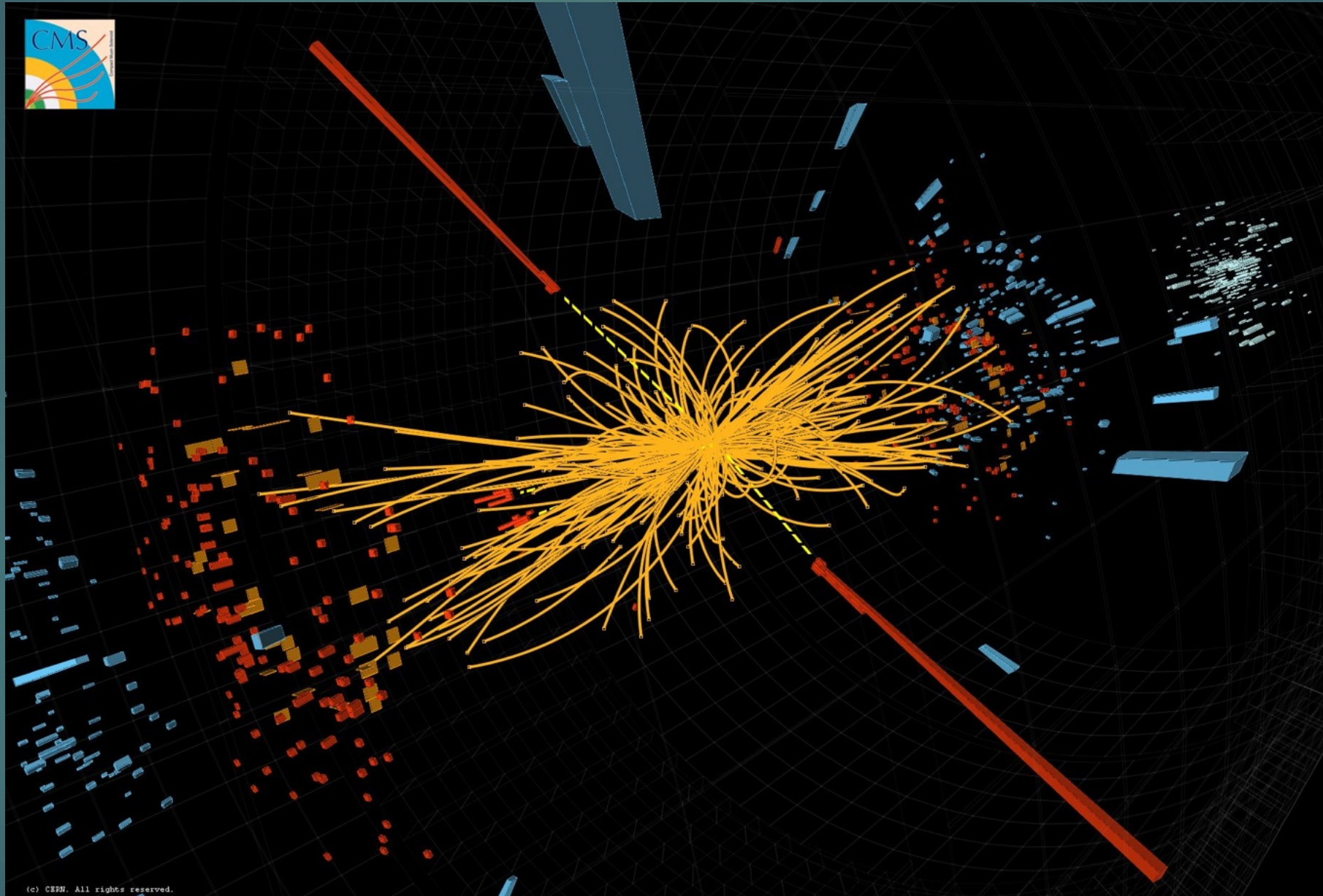
L'idea è quella di **circondare la zona di interazione** con opportuni strumenti in grado di “vedere” quello che e' stato prodotto nelle interazioni.

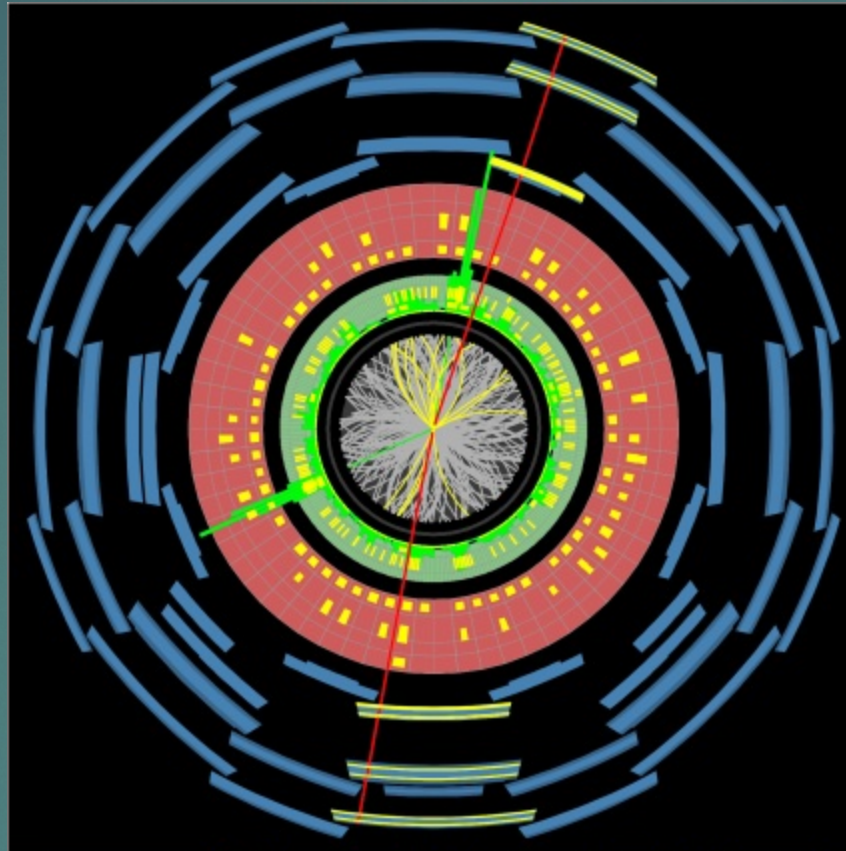
Lo studio dei prodotti delle interazioni ci da le informazioni per capire che cosa è avvenuto nelle interazioni stesse





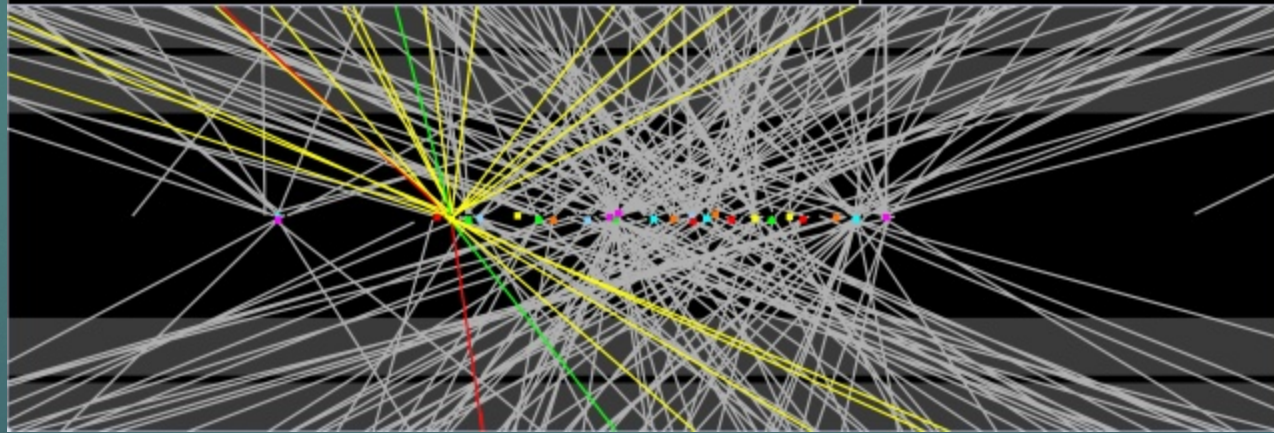
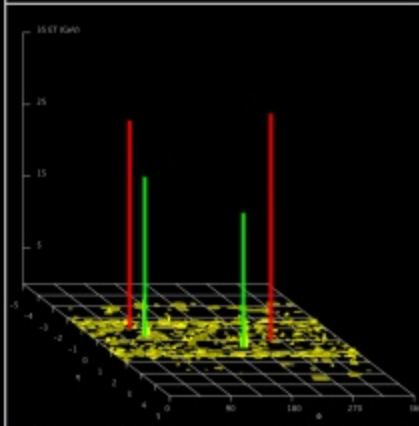
Un evento tipico a LHC: molte tracce



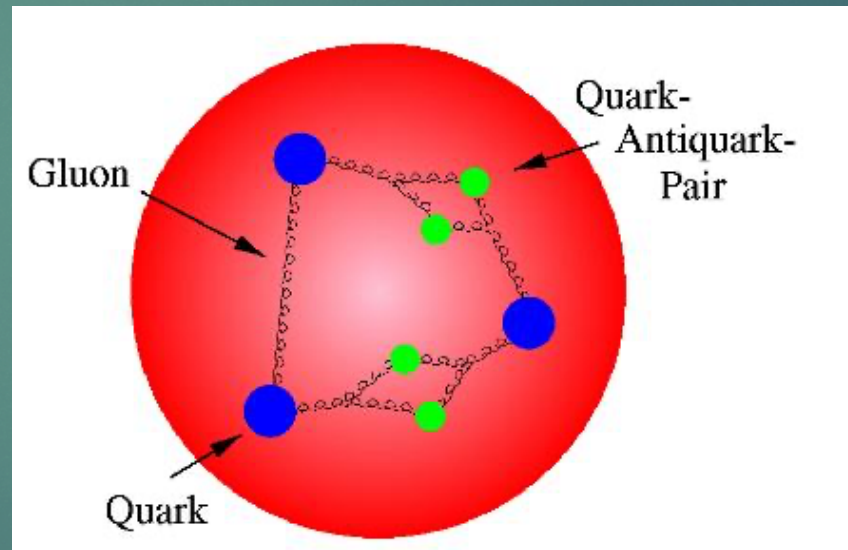
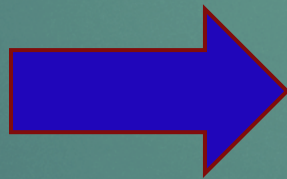
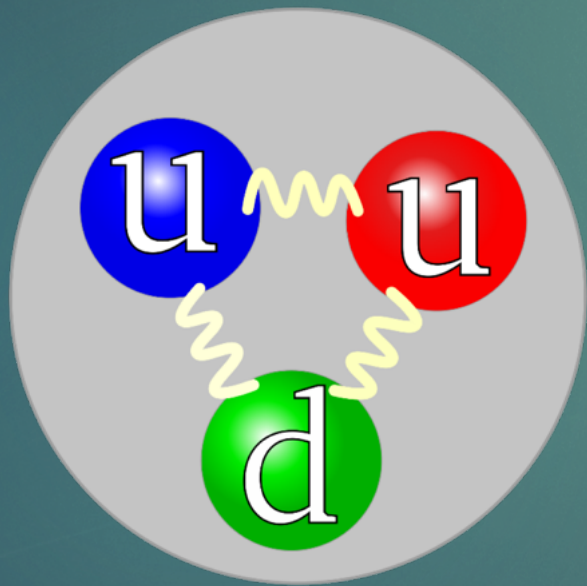


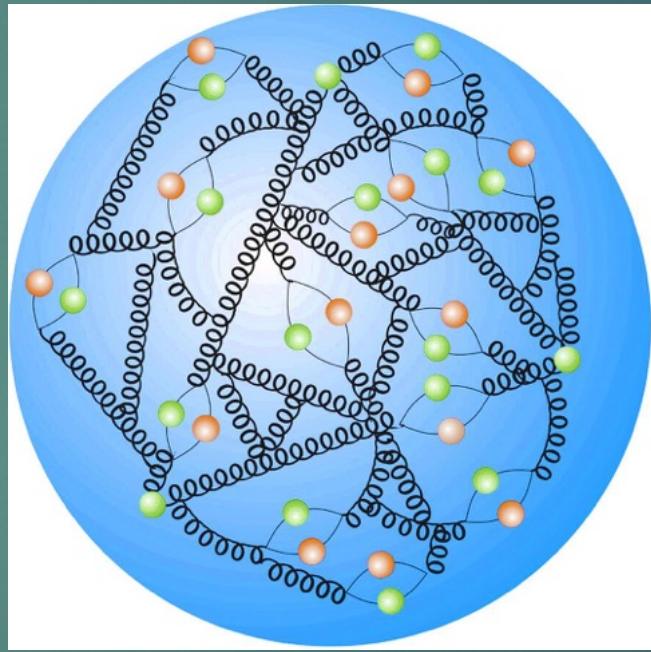
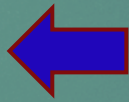
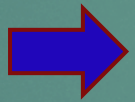
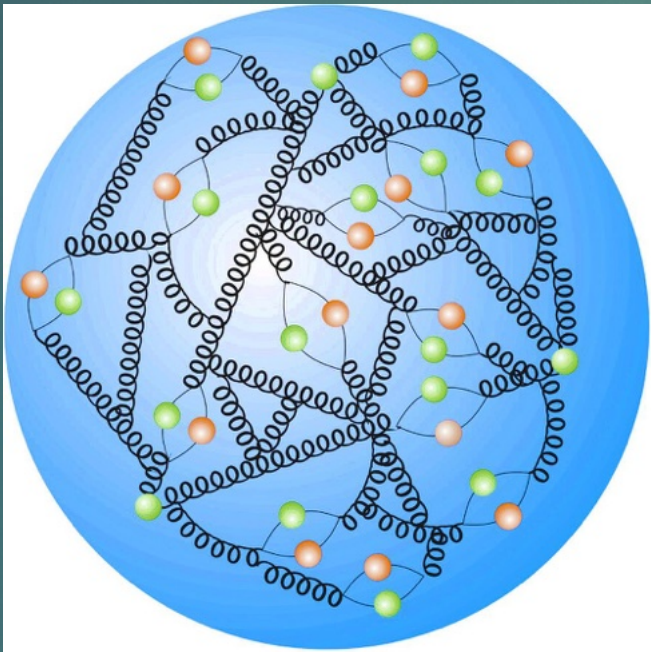
Run Number: 304431, Event Number: 2206548301

Date: 2016-07-25 05:01:07 UTC



Alle energie di LHC il protone diventa molto più complicato

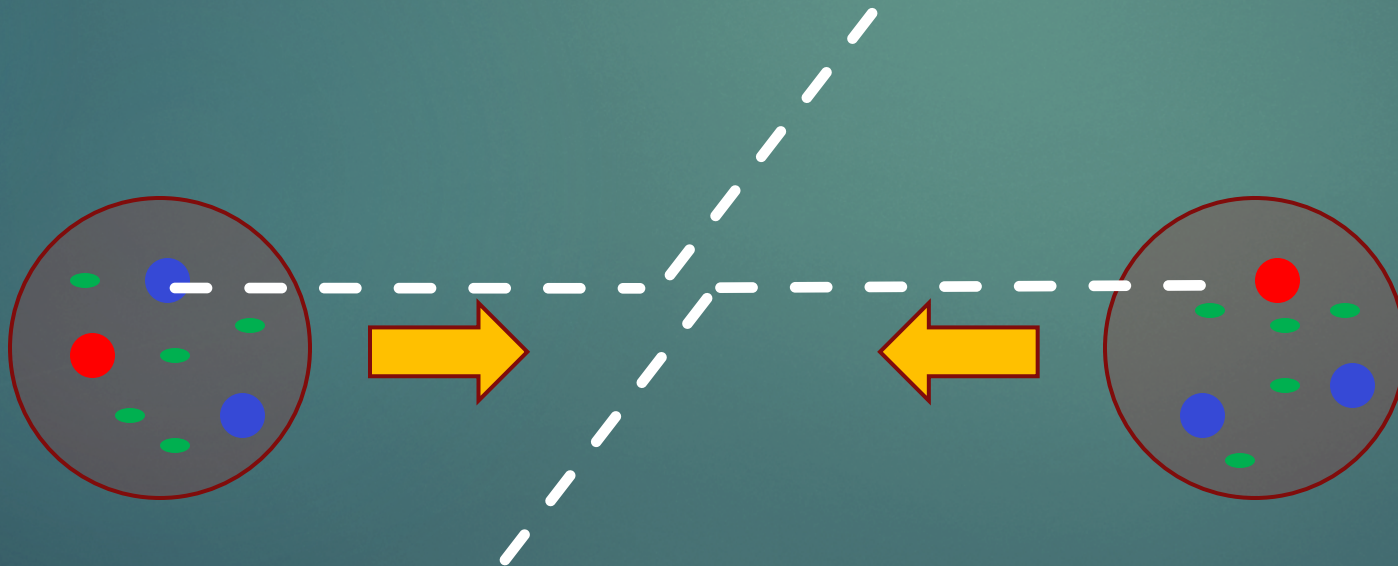




Particelle ad alto impulso trasverso p_t

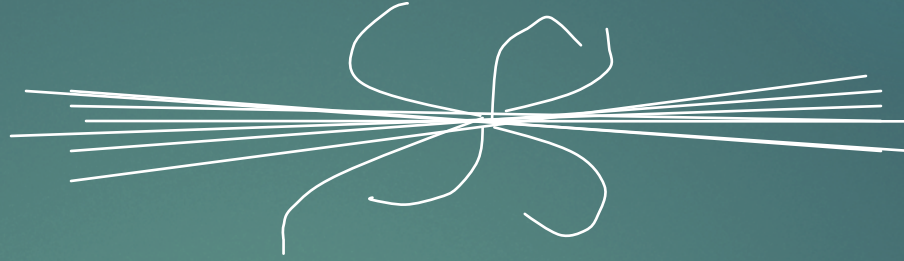


Particelle ad alto impulso trasverso p_t



Stato finale tipico di LHC:

molte particelle di basso p_t .

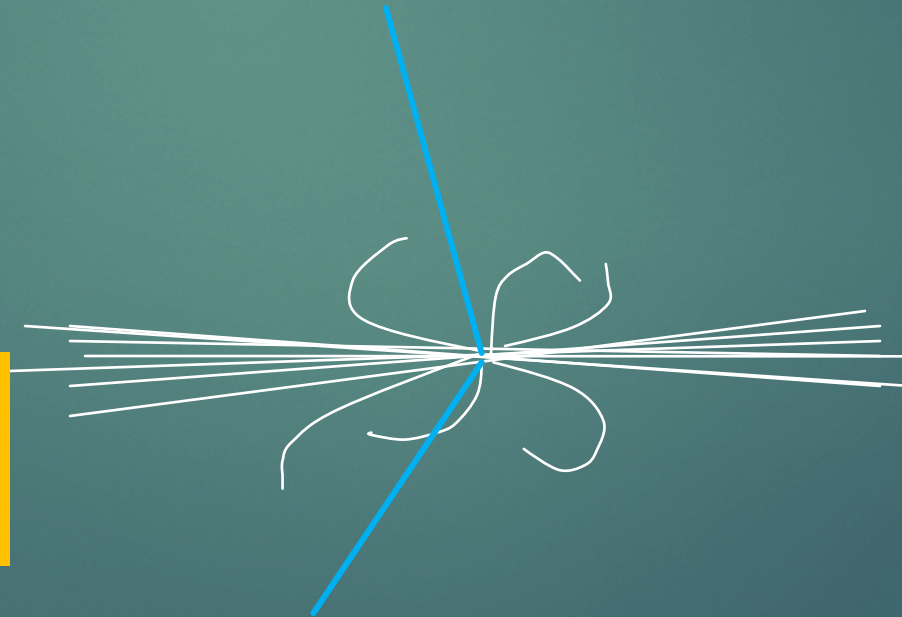


Stato finale molto piu' raro a LHC:

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

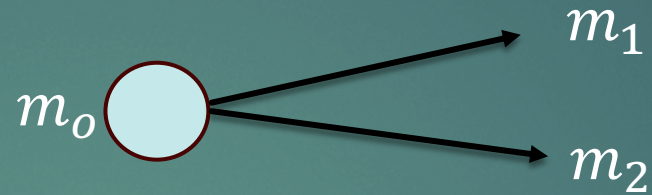
Sono una frazione di molti ordini di grandezza inferiore

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



Decadimento di una particella

$$m_0 \longrightarrow m_1 + m_2$$



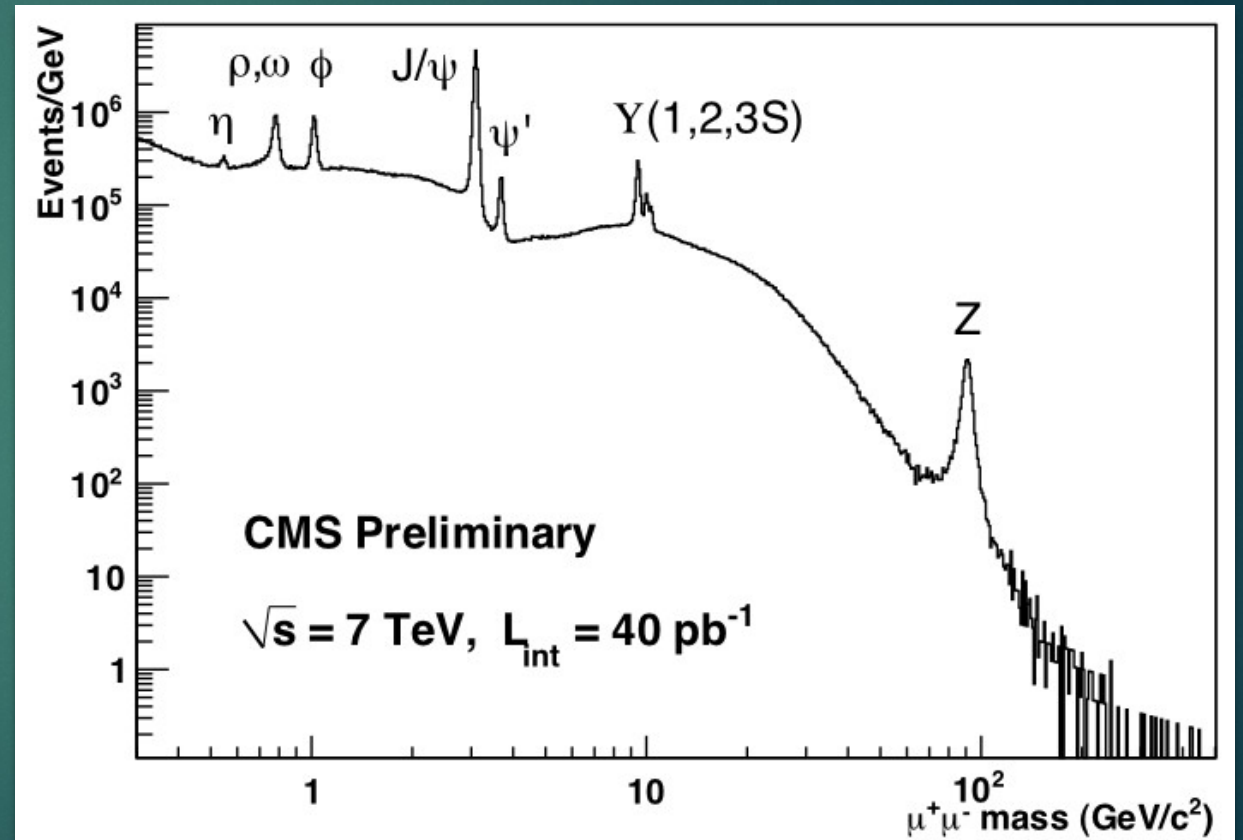
Massa invariante di due (o piu') particelle con Energia E e impulso \vec{p}

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

Fornisce la massa a riposo della particella madre

Nell'esercizio troverete coppie di elettroni e muoni

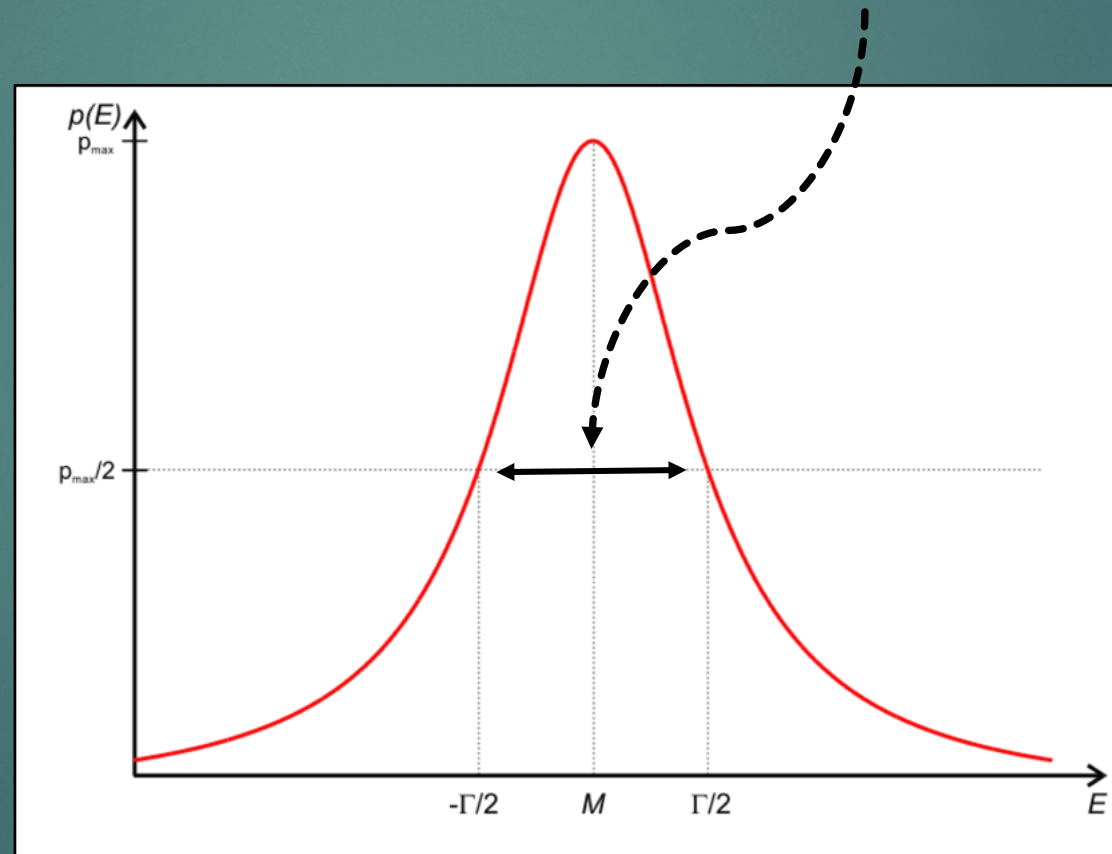
- La misura della massa invariante di queste coppie contiene
- il “ricordo” del fatto che esse sono state prodotte dal decadimento
- della Z o di altre particelle.



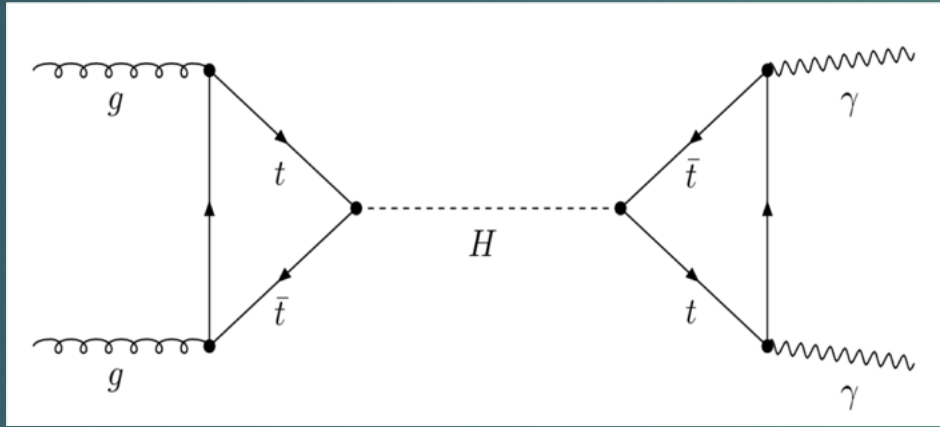
Perche' non si osserva una massa ben precisa ?

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

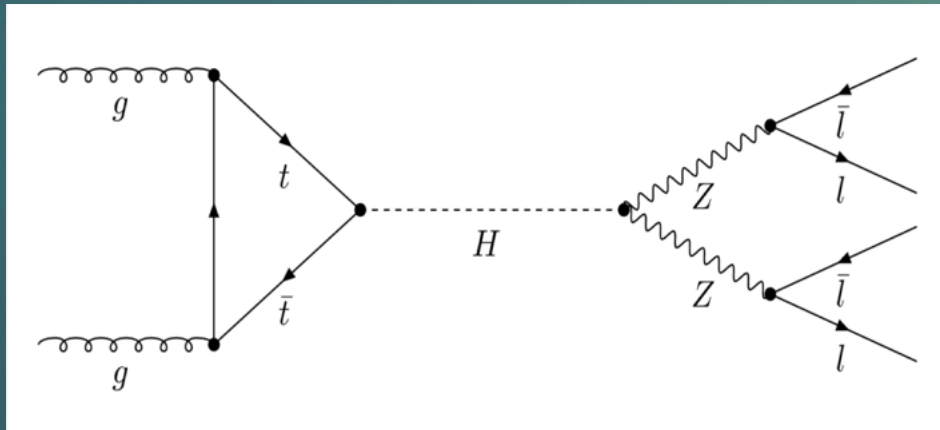
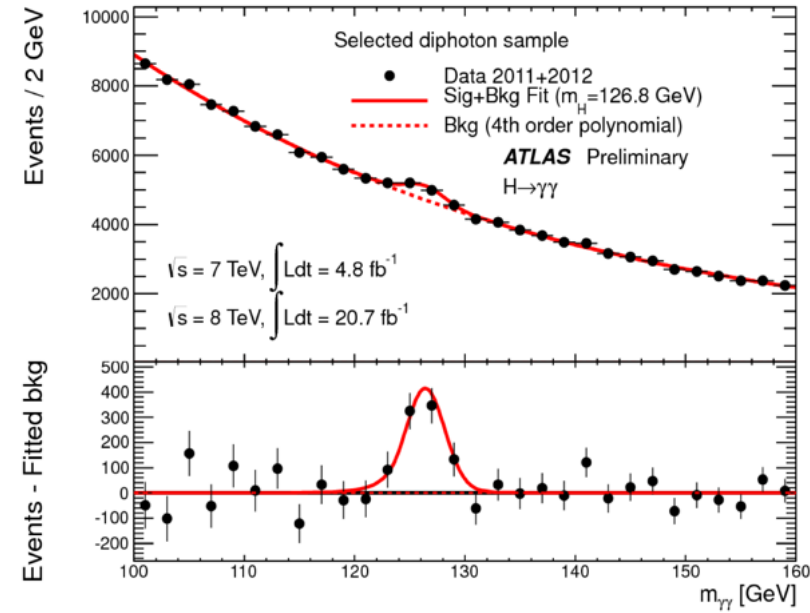
Principio di indeterminazione di Heisenberg: $\Delta m \cdot \Delta t > h$



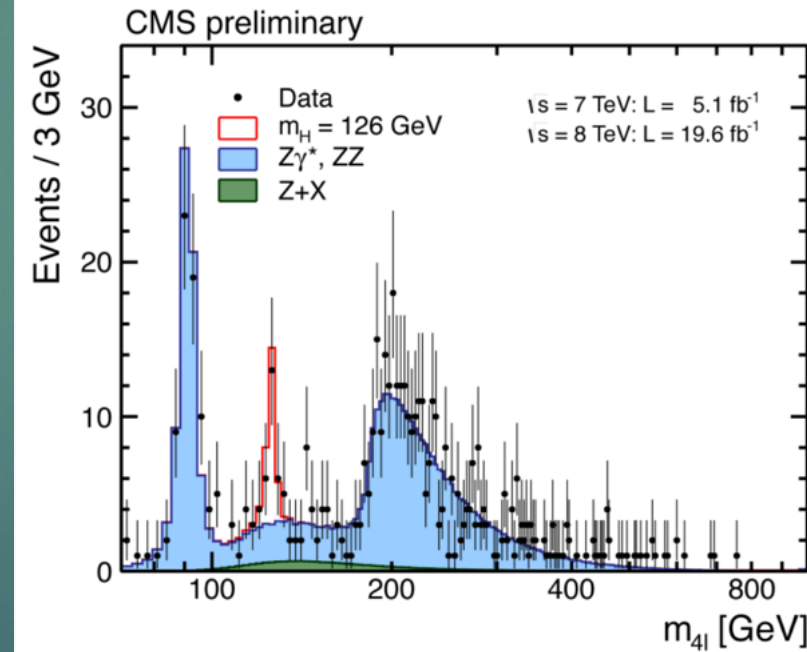
Bosone di Higgs: Massa = 125 GeV



2 fotoni



4 leptoni
 ee ee
 mumu-mumu
 ee mumu



In che cosa consisterà l'esercizio?

- Visualizzare eventi reali raccolti dall'esperimento ATLAS
- Identificare fra le tracce presenti i possibili candidati muoni, elettroni o fotoni.
- Determinare la loro massa invariante
- Produrre un istogramma che mostri la massa invariante delle coppie di particelle che avete identificato