

# La scoperta del bosone di Higgs e la ricerca di nuove particelle al Large Hadron Collider del CERN

*Alessandra Betti*

*Ricercatrice Universitaria*

*Dipartimento di Fisica della Sapienza Università di Roma e INFN Roma*



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA



# IL CERN



---

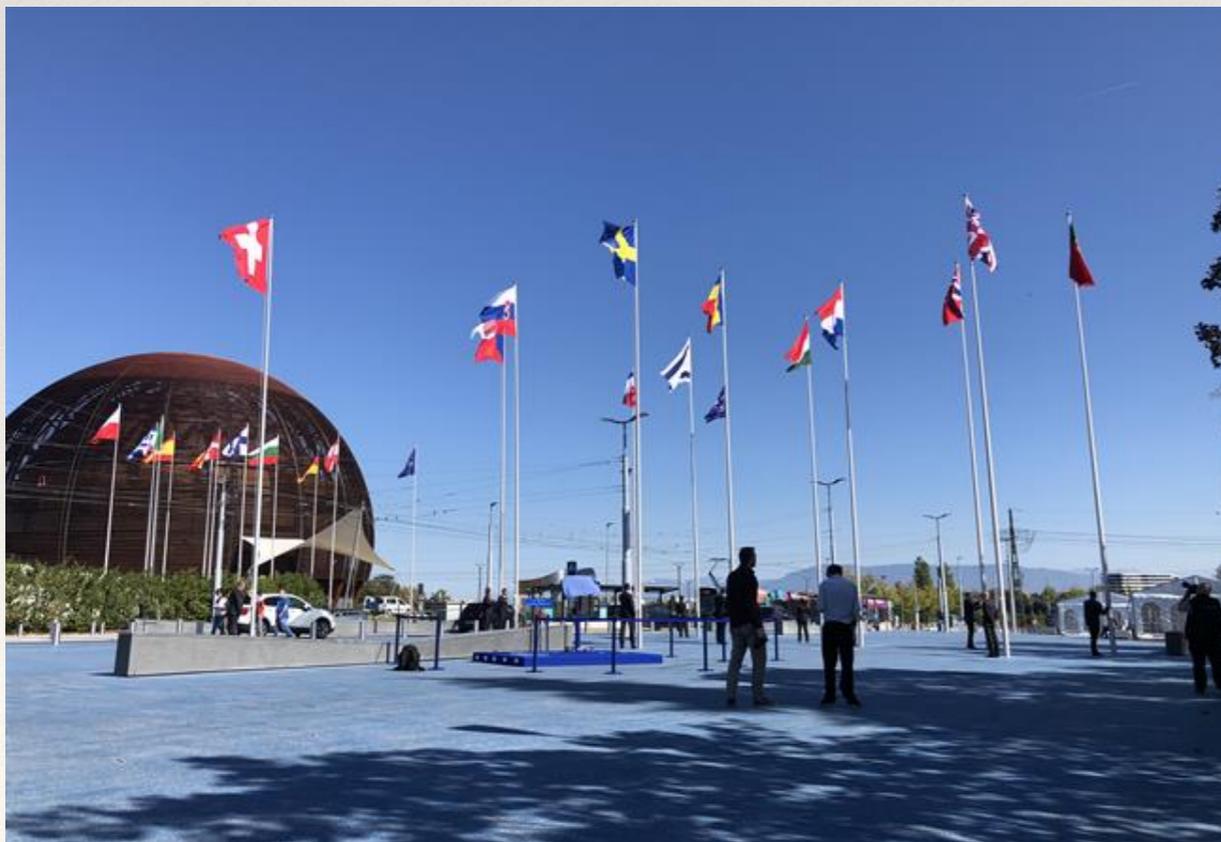
# Il CERN: European Council for Nuclear Research (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)

---

Laboratorio internazionale Europeo situato a Ginevra e fondato nel 1954 da 12 stati fondatori:  
Belgium, Denmark, France, the Federal Republic of Germany, Greece, Italy, the Netherlands, Norway, Sweden, Switzerland,  
the United Kingdom and Yugoslavia

Oggi è composto da 23 stati membri:

Austria, Belgium, Bulgaria, Czech Republic, Denmark, Finland, France,  
Germany, Greece, Hungary, Israel, Italy, Netherlands, Norway, Poland,  
Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland and  
United Kingdom



Più di 10 000 scienziati da tutto il mondo,  
con circa 110 nazionalità diverse,  
lavorano qui insieme!

---

# Le motivazioni

---

Un grande laboratorio internazionale Europeo dove studiare le **particelle elementari** e il loro comportamento per rispondere a domande che ancora non hanno una risposta:

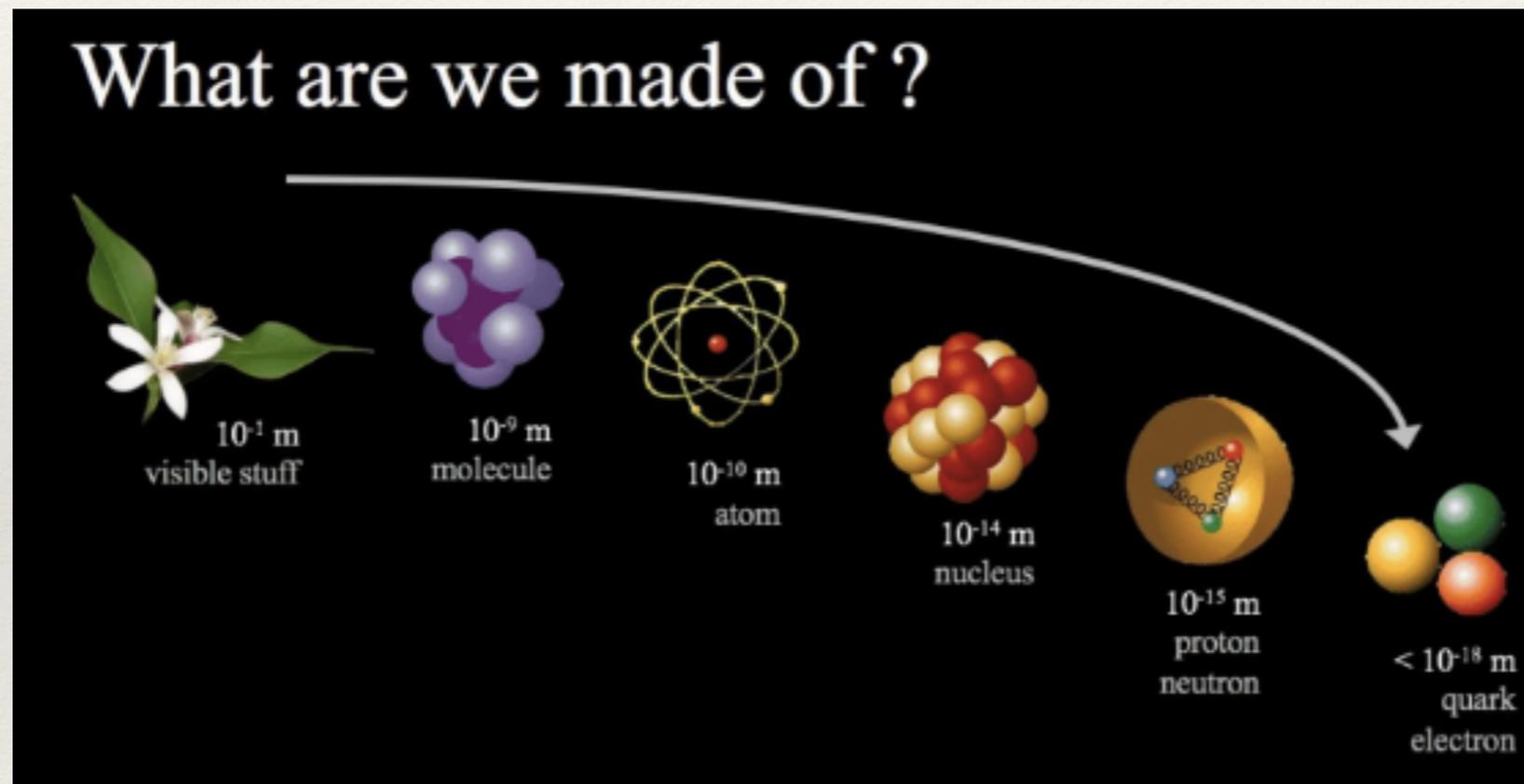
- I quark e i leptoni sono veramente particelle fondamentali? O sono composti da particelle ancora più piccole?
- E' possibile includere la gravità in una teoria unica che include tutte e quattro le interazioni fondamentali? (un altro bosone mediatore della forza di gravità?)
- Qual è l'origine della massa delle particelle? (Il bosone di Higgs?)
- Che cos'è la materia oscura?



Particelle elementari:  
Cosa sono e come si studiano

# Particelle

Costituenti fondamentali della materia (particelle sub-atomiche)



- **elementari**: particelle che non possono essere scomposte
- **composte**: sono formate dall'unione di altre particelle che si legano tramite una forza

# Particelle elementari nel Modello Standard

## Standard Model of Elementary Particles

three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)				
	I	II	III				
QUARKS	mass $\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ <b>u</b> up	mass $\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ <b>c</b> charm	mass $\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$ charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ <b>t</b> top	mass 0 charge 0 spin 1 <b>g</b> gluon	SCALAR BOSONS	mass $\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$ charge 0 spin 0 <b>H</b> higgs	
	mass $\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ <b>d</b> down	mass $\approx 96 \text{ MeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ <b>s</b> strange	mass $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ charge $-\frac{1}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ <b>b</b> bottom	mass 0 charge 0 spin 1 <b><math>\gamma</math></b> photon		GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS	mass $\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$ charge 0 spin 1 <b>Z</b> Z boson
	mass $\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ <b>e</b> electron	mass $\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ <b><math>\mu</math></b> muon	mass $\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ charge -1 spin $\frac{1}{2}$ <b><math>\tau</math></b> tau	mass $\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$ charge $\pm 1$ spin 1 <b>W</b> W boson			
LEPTONS	mass $< 1.0 \text{ eV}/c^2$ charge 0 spin $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	mass $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ charge 0 spin $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	mass $< 18.2 \text{ MeV}/c^2$ charge 0 spin $\frac{1}{2}$ <b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino				

**Fermioni:**  
costituenti della materia

**Bosoni:**  
mediatori delle forze

I fermioni interagiscono tramite lo "scambio" di bosoni che mediano l'azione delle forze, ogni fermione ha diverse "cariche" che definiscono quali interazioni può fare

**Bosone di Higgs:**  
fornisce massa alle particelle

# Interazioni tra particelle elementari

## Elettromagnetica:

forza tra particelle con carica elettrica (quark e leptoni carichi)  
mediata dal fotone



## Forte:

forza tra particelle con carica di colore (quark)  
mediata dal gluone (tiene insieme i nuclei)

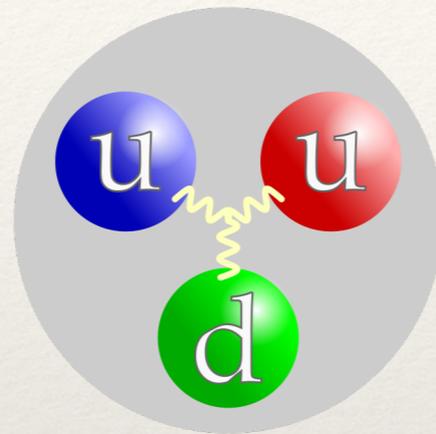
## Debole:

forza tra particelle con carica debole (quark e leptoni)  
mediata dai bosoni Z e W (responsabile dei decadimenti beta)

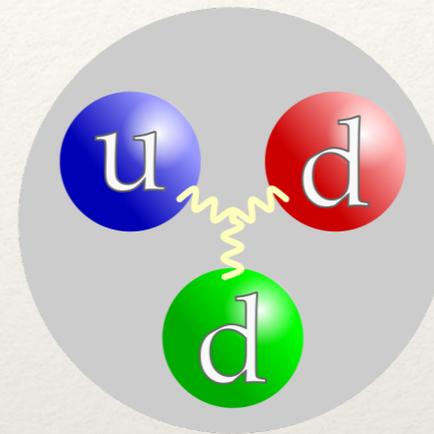


# Particelle composte

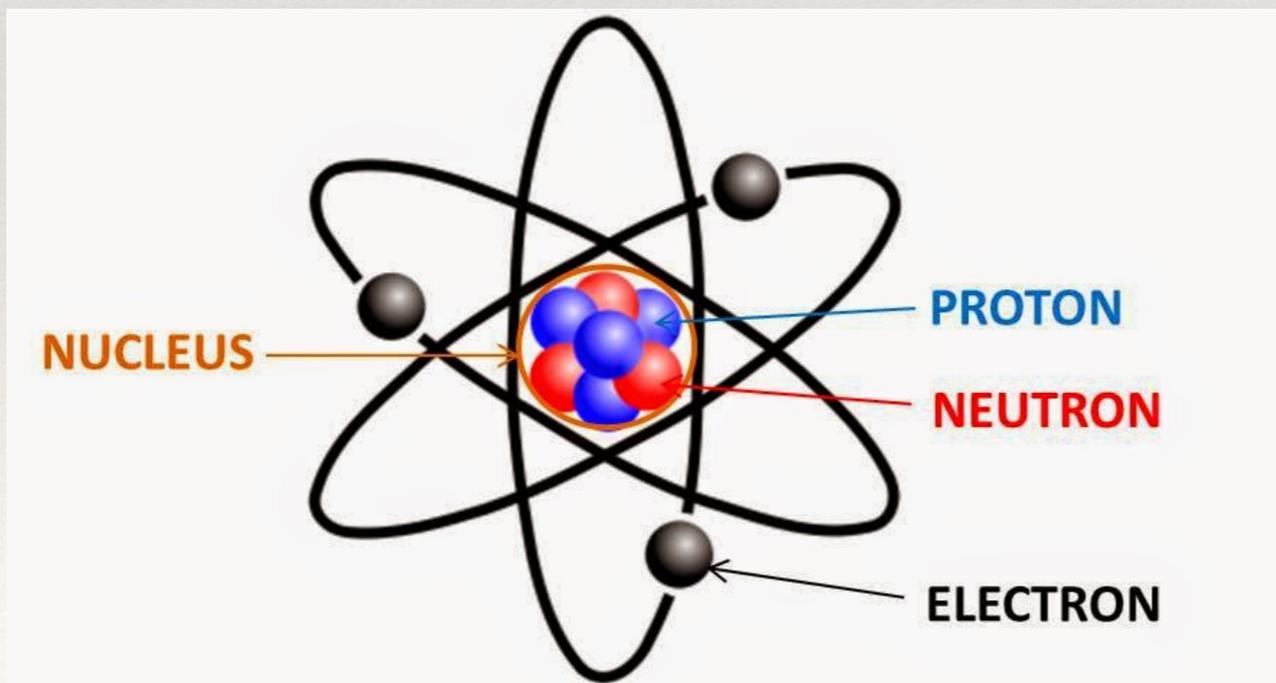
Protone



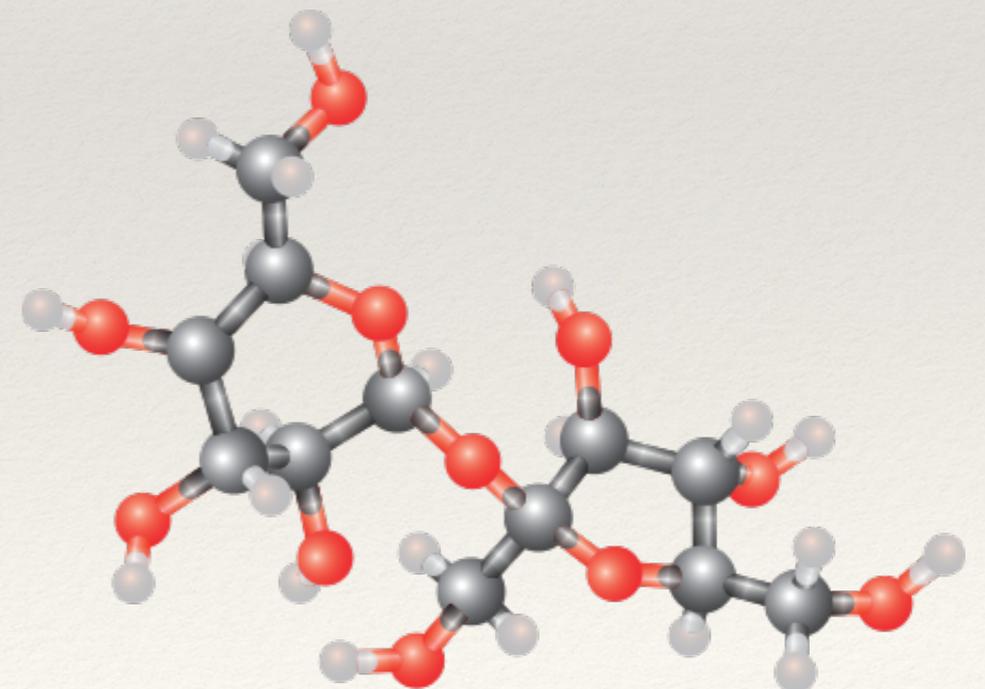
Neutrone



Atomo



Molecola

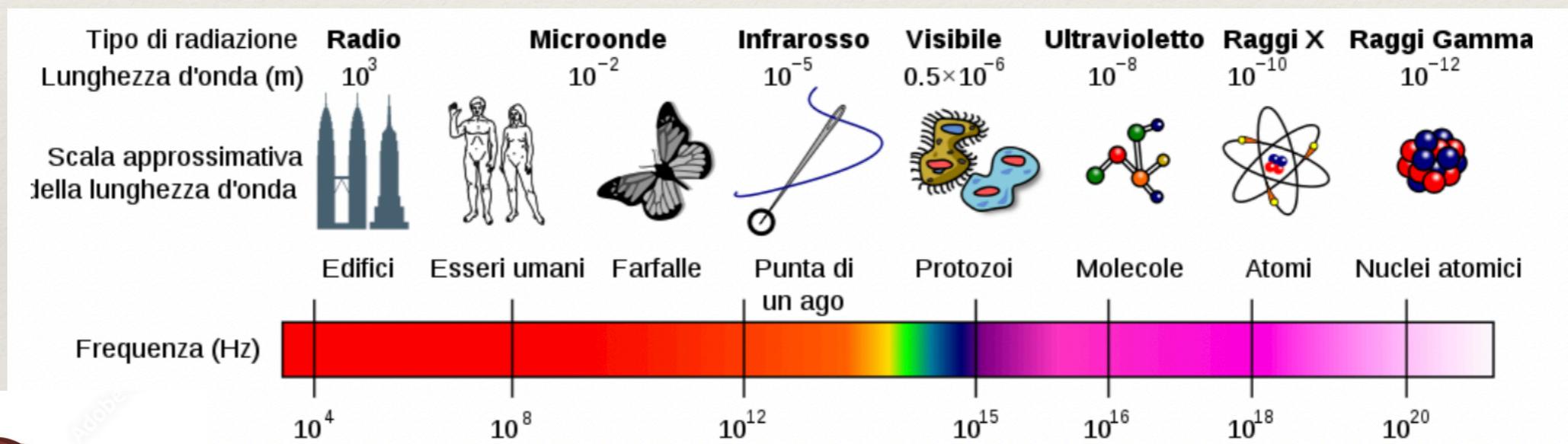


# Come si studiano le particelle elementari e le loro interazioni?

Per studiare particelle di dimensioni molto molto piccole servono  
“microscopi potentissimi”

La dimensione che riesco a studiare è proporzionale a  $1/E$  della sonda utilizzata  
( $E$ = energia della sonda)

→ Maggiore è l'energia della sonda minore è la dimensione che riesco a studiare!



$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\text{Cellule: } d \simeq 10^{-7} \text{ m} \rightarrow E \simeq 10^{-19} \text{ J} = 1 \text{ eV}$$

$$\text{Quark: } d \simeq 10^{-18} \text{ m} \rightarrow E \simeq 10^{-6} \text{ J} \simeq 10^{12} \text{ eV} = \text{TeV}$$

# Come si studiano le particelle elementari e le loro interazioni?

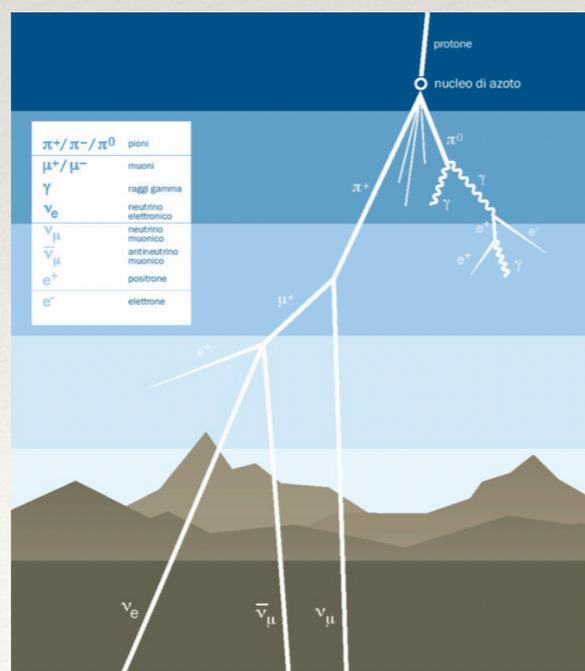
Per studiare particelle subatomiche servono sonde con energie dell'ordine del TeV

→ Una fonte di questo tipo di sonde così energetiche sono i raggi cosmici!

Raggi cosmici: particelle di alta energia che bombardano la terra provenendo dallo spazio galattico ed extra-galattico;

includono i nuclei di tutti gli elementi, protoni, anti-protoni, elettroni e positroni, che interagendo con l'atmosfera terrestre producono una varietà di altre particelle

→ Soprattutto in passato molti esperimenti di fisica delle particelle elementari si basavano sull'uso delle particelle provenienti dai raggi cosmici come sonde di alta energia



# Come si studiano le particelle elementari e le loro interazioni?

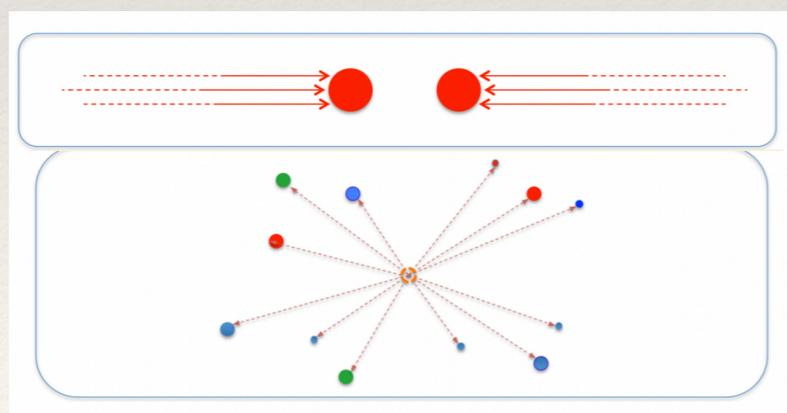
Per studiare particelle subatomiche servono sonde con energie dell'ordine del TeV

→ Una fonte di questo tipo di sonde così energetiche sono gli acceleratori di particelle!

Rispetto all'uso di particelle provenienti dai raggi cosmici,

l'uso di acceleratori di particelle ha il vantaggio di poter "scegliere e controllare" il tipo e l'energia della particella usata come sonda e di poter ottenere un grandissimo numero di misure in minor tempo

→ Oggi molti esperimenti di fisica delle particelle elementari sono esperimenti agli acceleratori



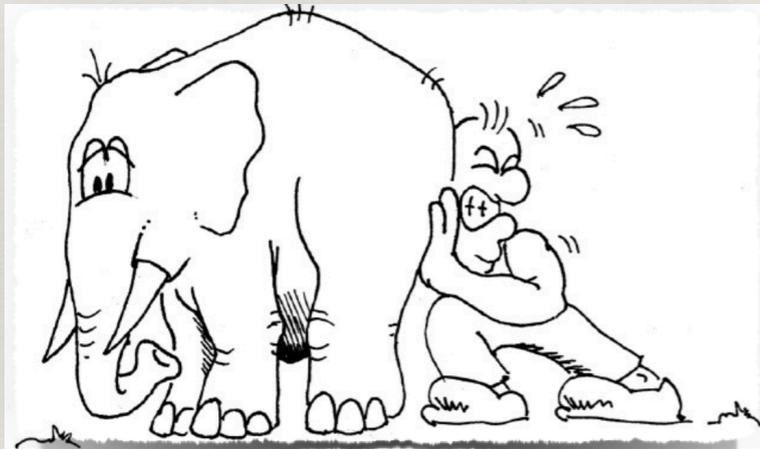
# Acceleratori di particelle

# Acceleratori di particelle

Macchine che producono fasci di particelle elettricamente cariche,  
principalmente: elettroni, protoni o ioni carichi

**campi elettrici:** forniscono energia alle particelle cariche accelerandole

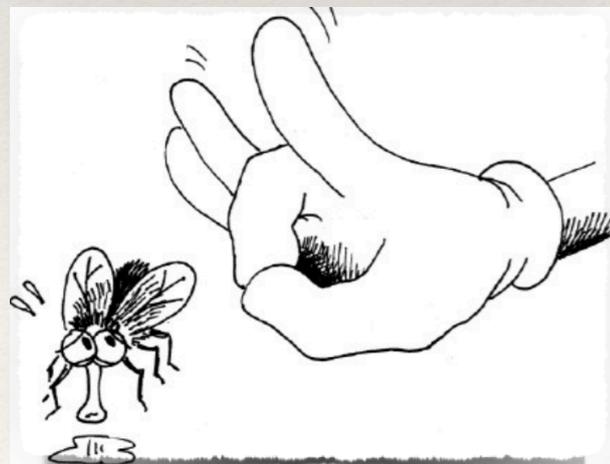
**campi magnetici:** curvano la traiettoria delle particelle cariche negli acceleratori circolari sfruttando la forza di Lorentz



$$\vec{F}_e = q\vec{E}$$

$$\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}$$

più le particelle sono leggere più è facile accelerarle

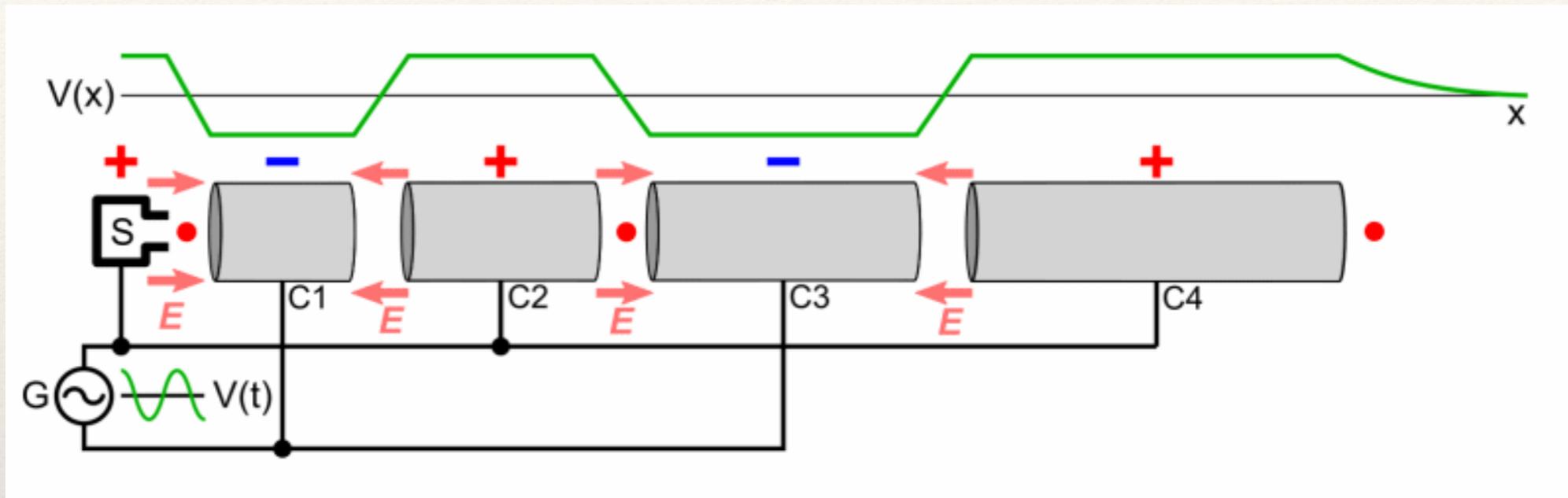


$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

più le particelle sono leggere e lente più è facile curvarle

# Acceleratori lineari



Serie di **elettrodi cilindrici disposti in linea retta** a cui viene applicata una **differenza di potenziale pulsata** tale che nello spazio tra due cilindri ci sia sempre un **campo elettrico in fase con il passaggio della particella**

→ la **particella riceve una “spinta” da parte del campo elettrico**  
ogni volta che attraversa lo spazio tra due cilindri

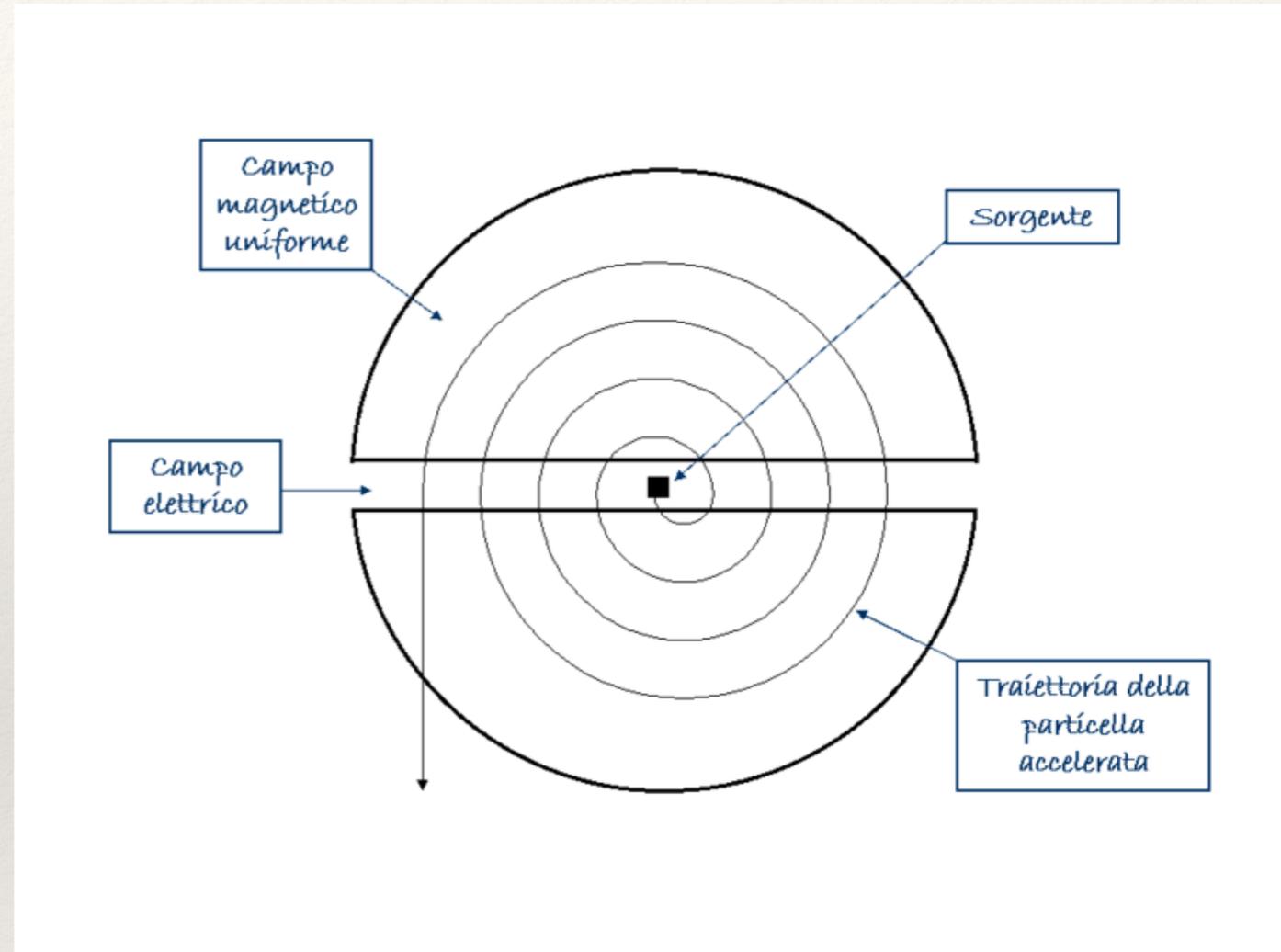
- **Limitazioni:** le particelle passano una sola volta attraverso ogni cavità accelerante quindi necessitano di grandi lunghezze per raggiungere alte energie

# Ciclotroni

Due elettrodi semicircolari tra cui c'è una differenza di potenziale alternata e sono immersi in un campo magnetico uniforme perpendicolare al piano degli elettrodi

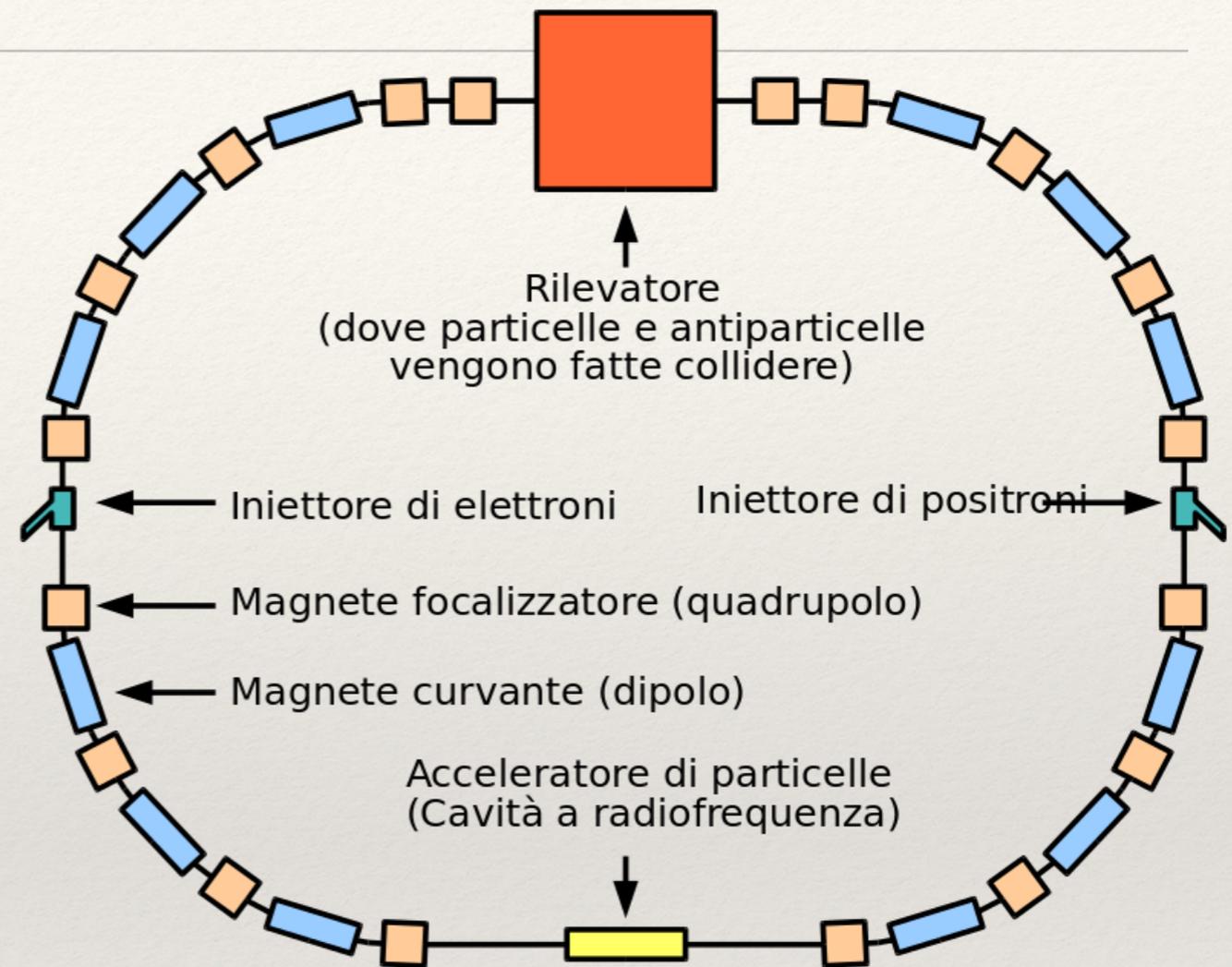
→ la particella subisce un'accelerazione ogni volta che passa nello spazio tra gli elettrodi e viene curvata dal campo magnetico, il diametro dell'orbita aumenta all'aumentare della velocità e le particelle percorrono un'orbita a spirale fino a quando il fascio non fuoriesce dal bordo del dispositivo

- Limitazioni: l'energia che si può raggiungere è limitata dalla frequenza costante del campo elettrico in quanto particelle a velocità relativistiche non si trovano più in fase con il campo elettrico



# Sincrotroni

Derivano dai ciclotroni, ma **il campo elettrico ha una frequenza variabile e il campo magnetico ha un'intensità variabile** in funzione dell'aumentare dell'energia dalle particelle **in modo da mantenere l'orbita del fascio di particelle a raggio costante**



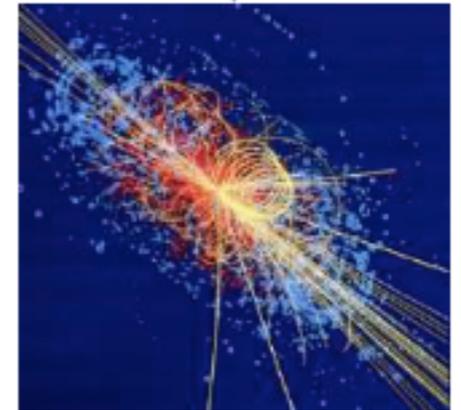
- Limitazioni: Particelle cariche in moto circolare a velocità relativistiche perdono energia per emissione di fotoni. Quando l'energia persa equivale a quella fornita ad ogni ciclo, il fascio non può essere ulteriormente accelerato.
- Questo limite viene superato costruendo acceleratori di raggio sempre maggiore per raggiungere energie sempre maggiori.

# A cosa servono gli acceleratori di particelle?

Nati nell'ambito della ricerca fondamentale in fisica delle particelle per studiare come si comportano le particelle nelle loro interazioni

oggi usati anche (in realtà principalmente) per molti altri scopi:

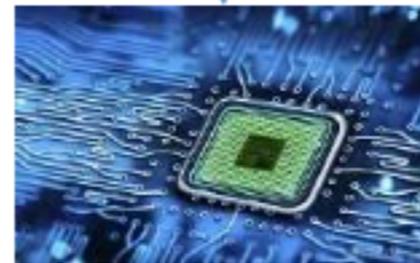
- scopi medici (radioterapia, adroterapia e produzione di isotopi radioattivi)
- studio della struttura dei materiali
- scopi industriali (impiantazione di ioni, sterilizzazione)



Fisica delle alte energie



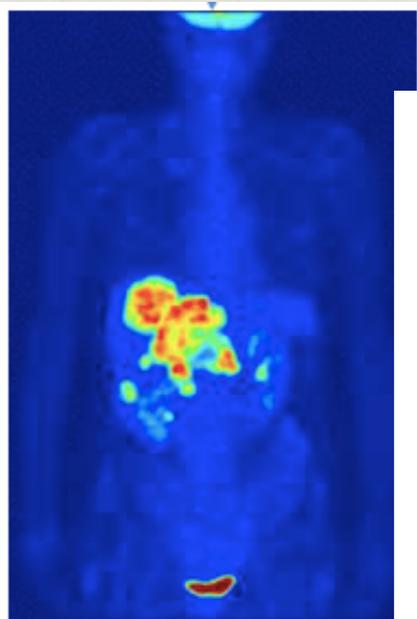
Produzione di raggi X e  $\gamma$  per fisica della materia



Impiantazione ionica



Radioterapia e Adroterapia

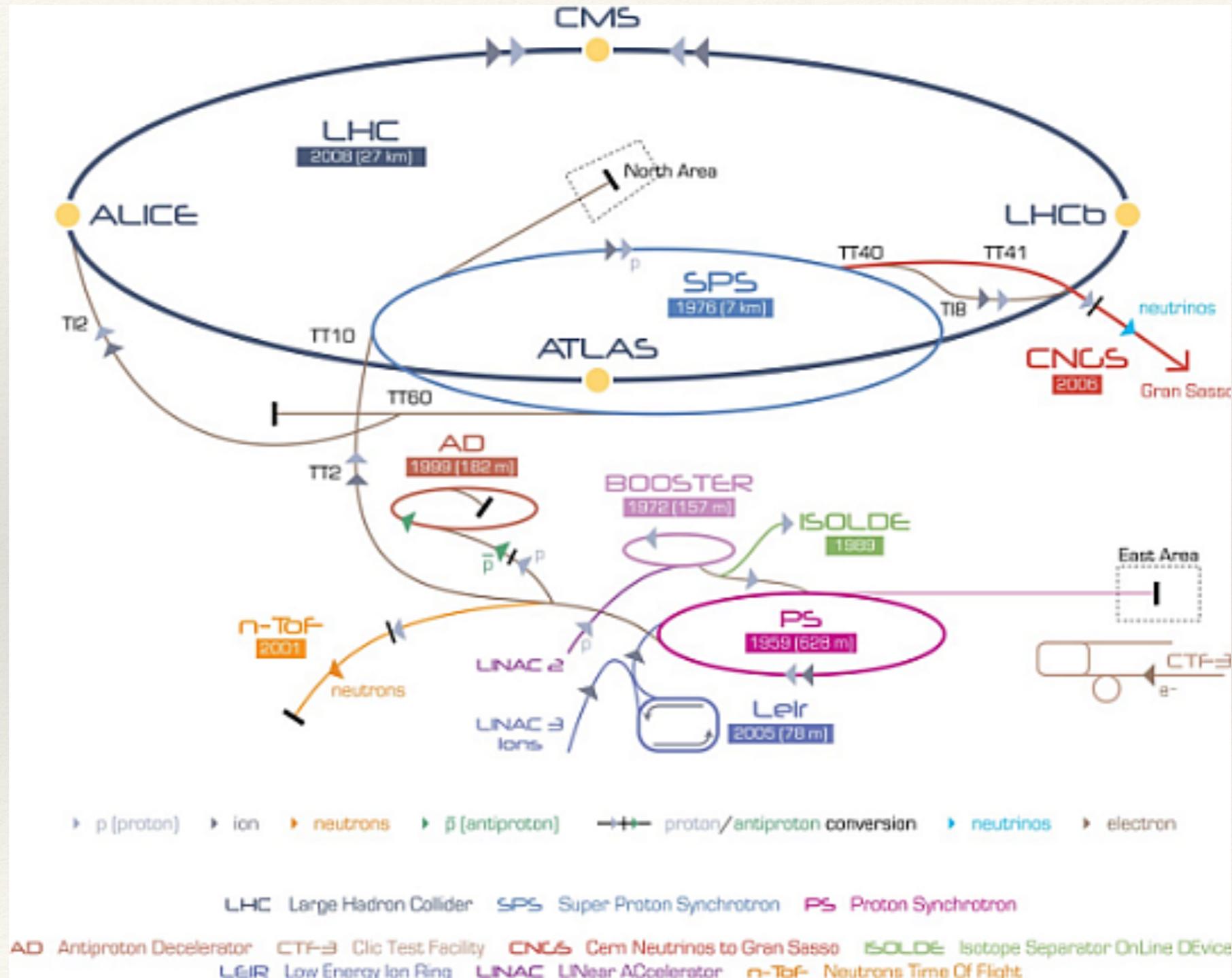


Produzione di radioisotopi

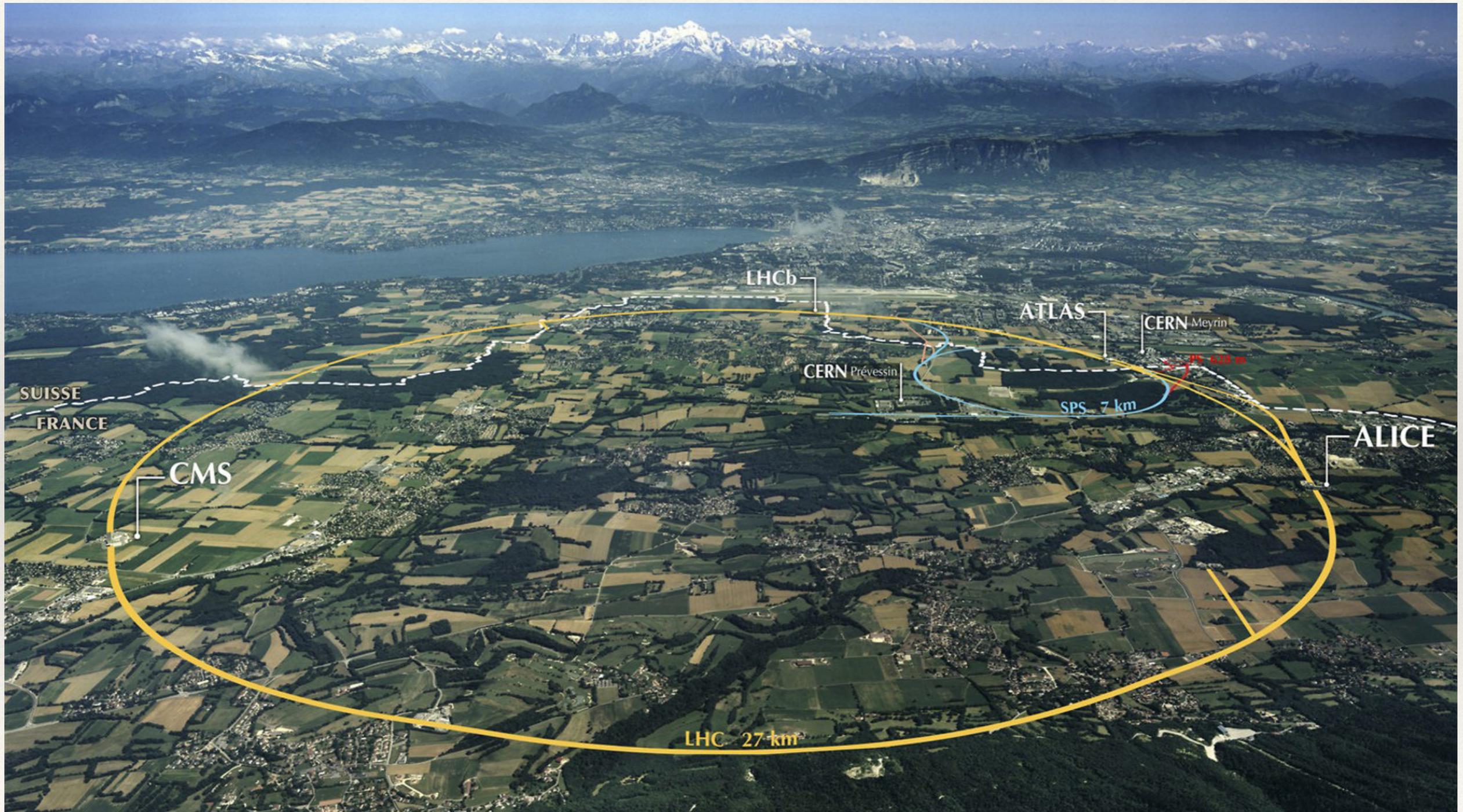


Esperimenti al  
Large Hadron Collider del CERN

# Il complesso di acceleratori del CERN



# LHC: Large Hadron Collider



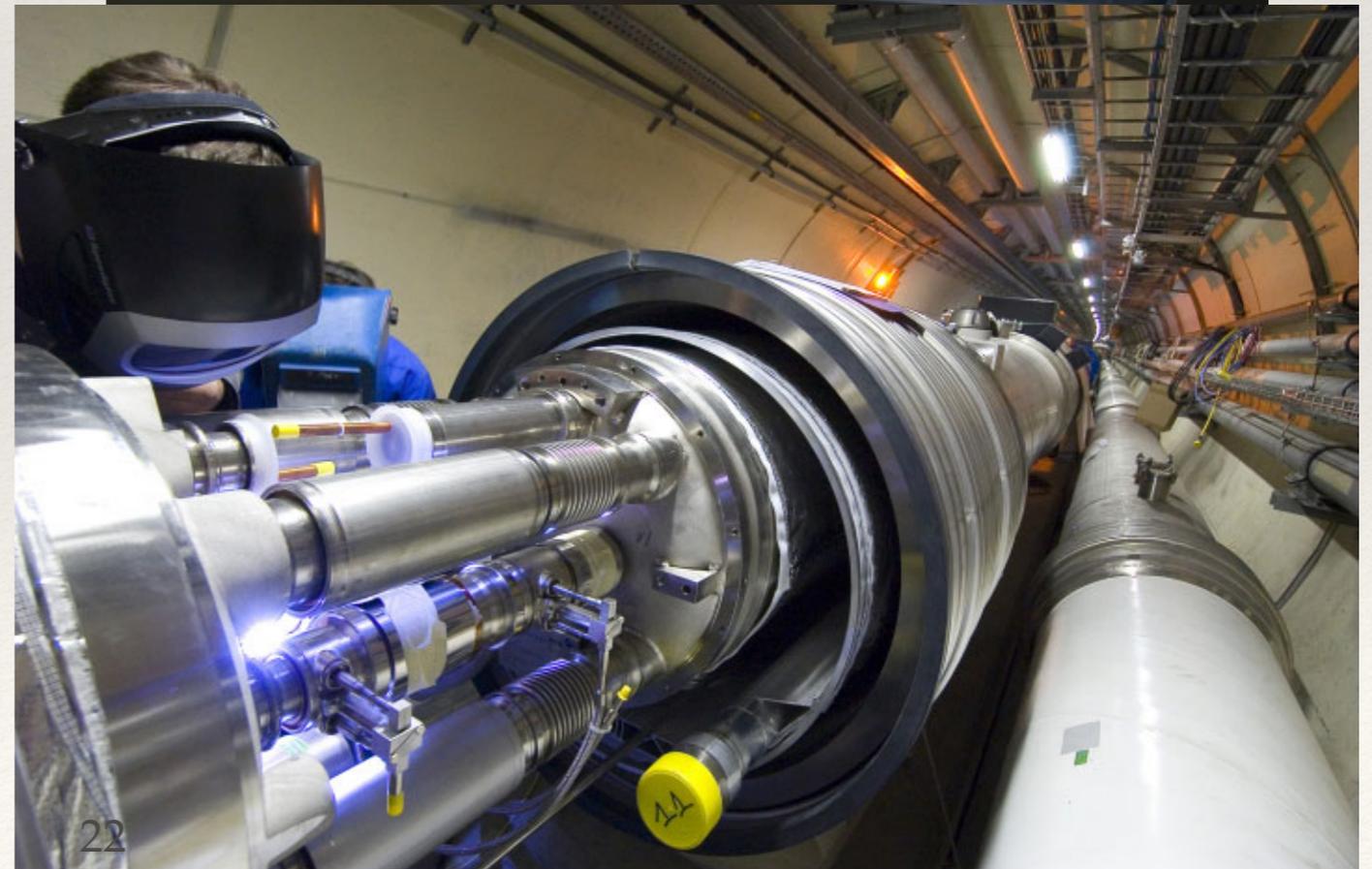
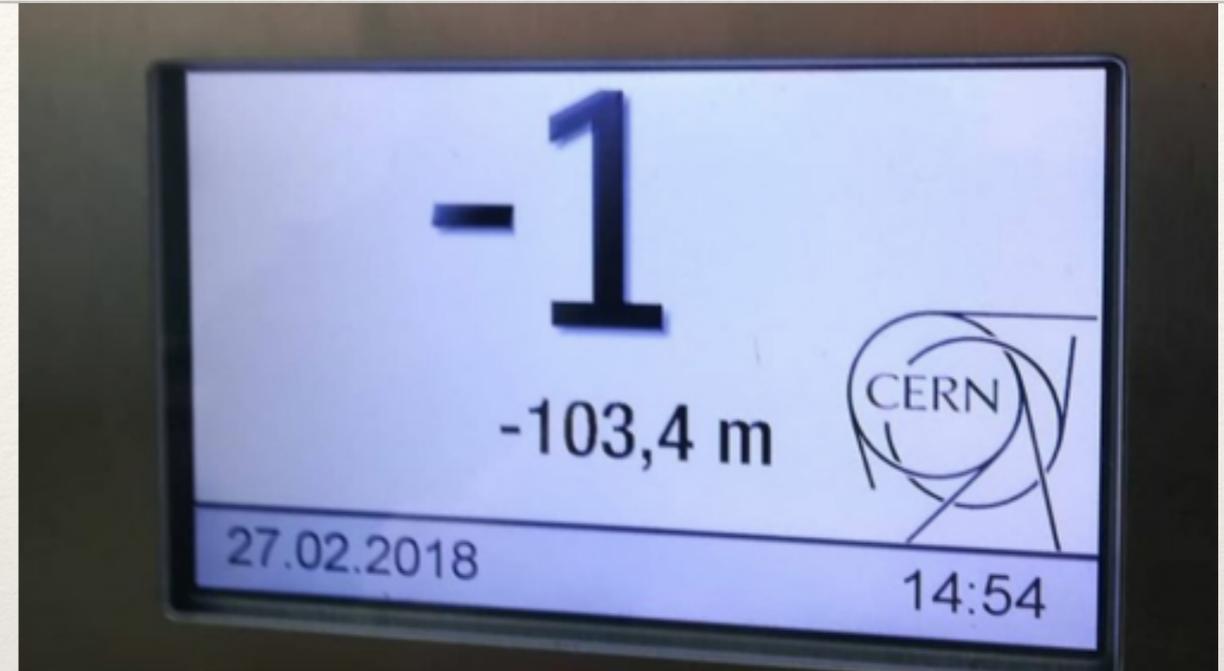
# LHC: Large Hadron Collider

- Si trova 100 m sotto terra
- E' un acceleratore circolare con una circonferenza di 27 km
- Accelera protoni fino a 7 TeV e fa collidere due fasci di protoni ad un'energia di 14 TeV
- I protoni raggiungono una velocità  $v = 99.9999991\% c$

## Curiosità:

- In ogni run di LHC i protoni circolano per circa 10 ore, percorrendo una distanza pari alla distanza andata e ritorno dal CERN a Nettuno (2 x 4500 milioni di km)
- Per funzionare consuma la stessa energia consumata da tutte le case degli abitanti del cantone di Ginevra (500000 abitanti)
- I magneti di LHC lavorano ad una temperatura di  $-270^{\circ}\text{C}$

E' Il più grande e più potente acceleratore di particelle mai costruito

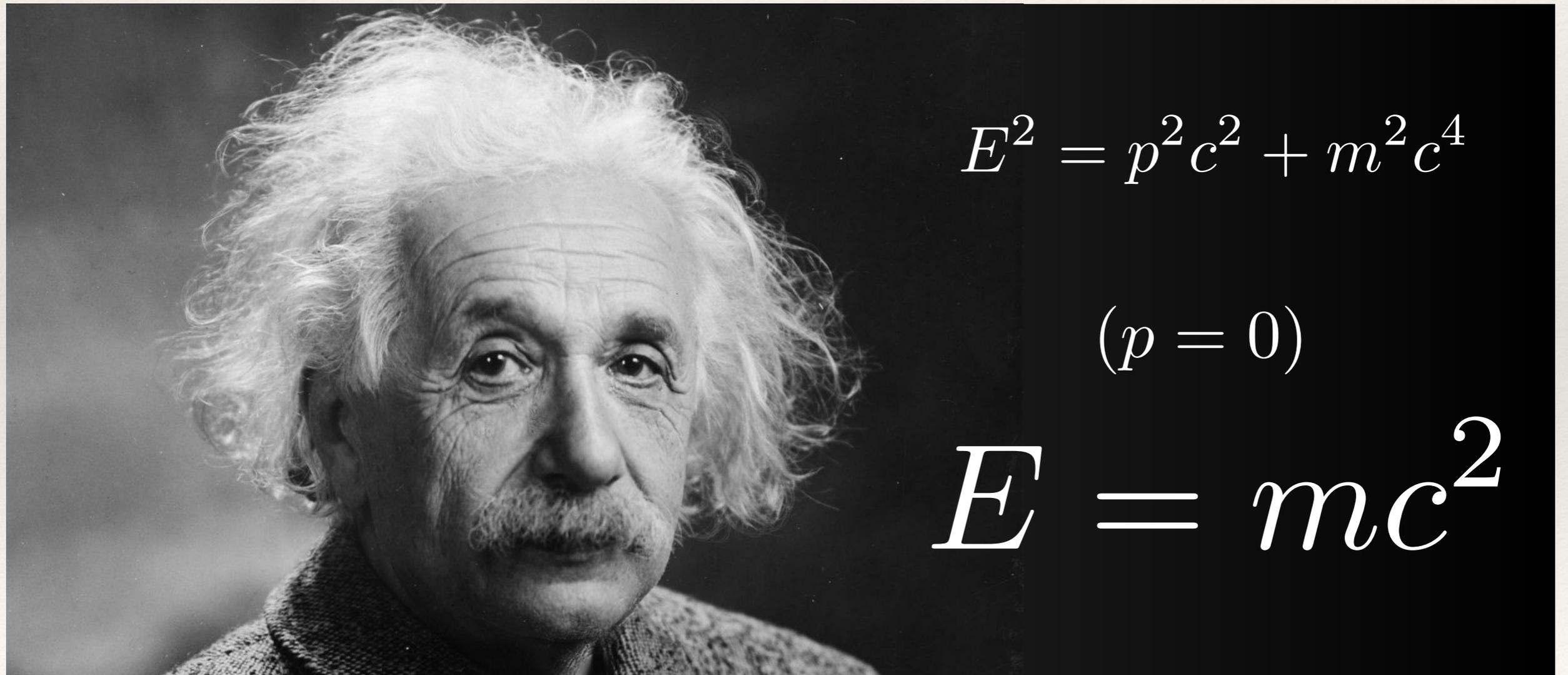


# LHC: Large Hadron Collider



# Produzione di particelle

Energia e massa sono equivalenti

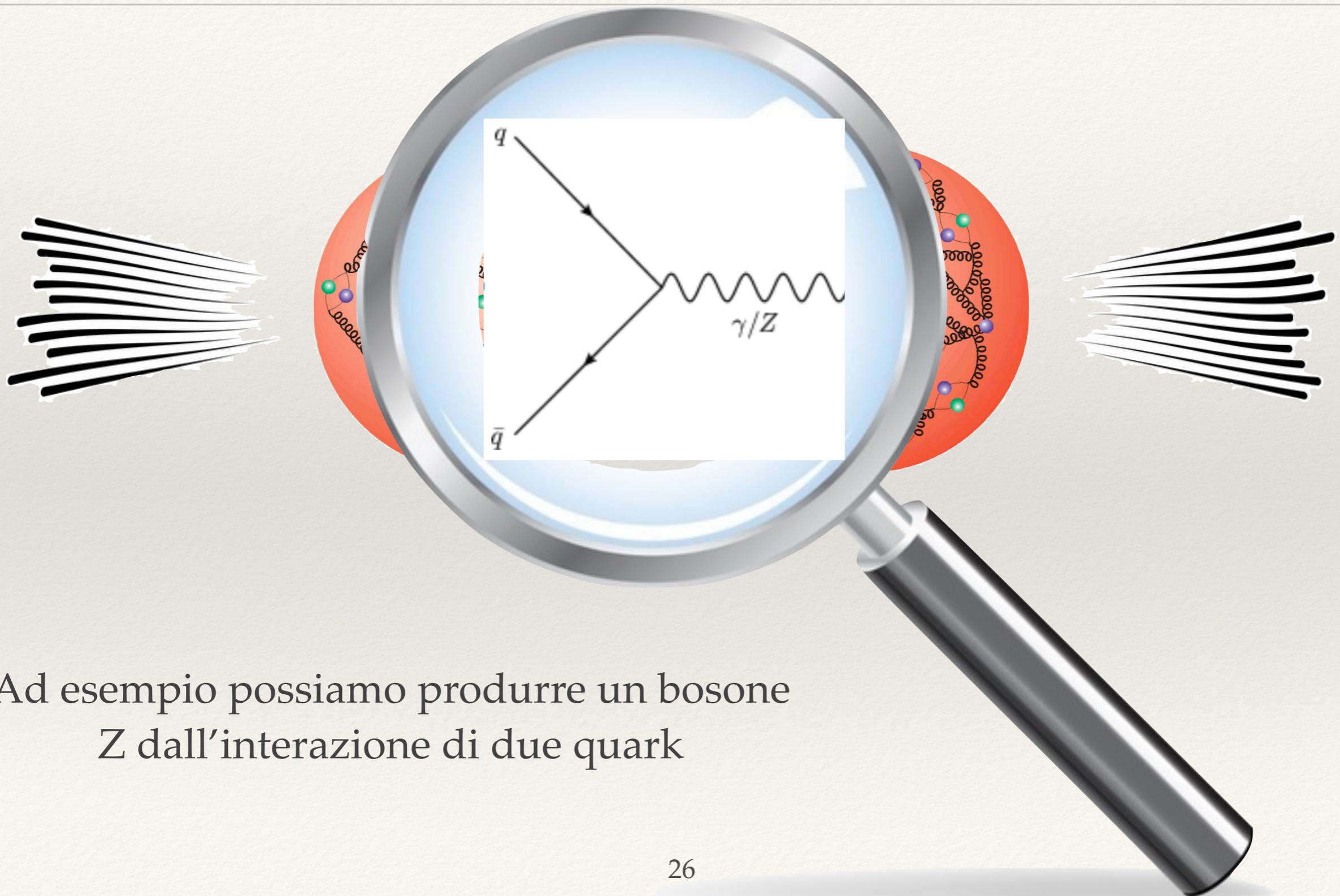


# Produzione di particelle



Quando i protoni collidono i quark (o gluoni) contenuti al loro interno interagiscono e la loro energia si trasforma in massa e energia di altre particelle che vengono prodotte nella collisione

# Produzione di particelle



Ad esempio possiamo produrre un bosone  
Z dall'interazione di due quark

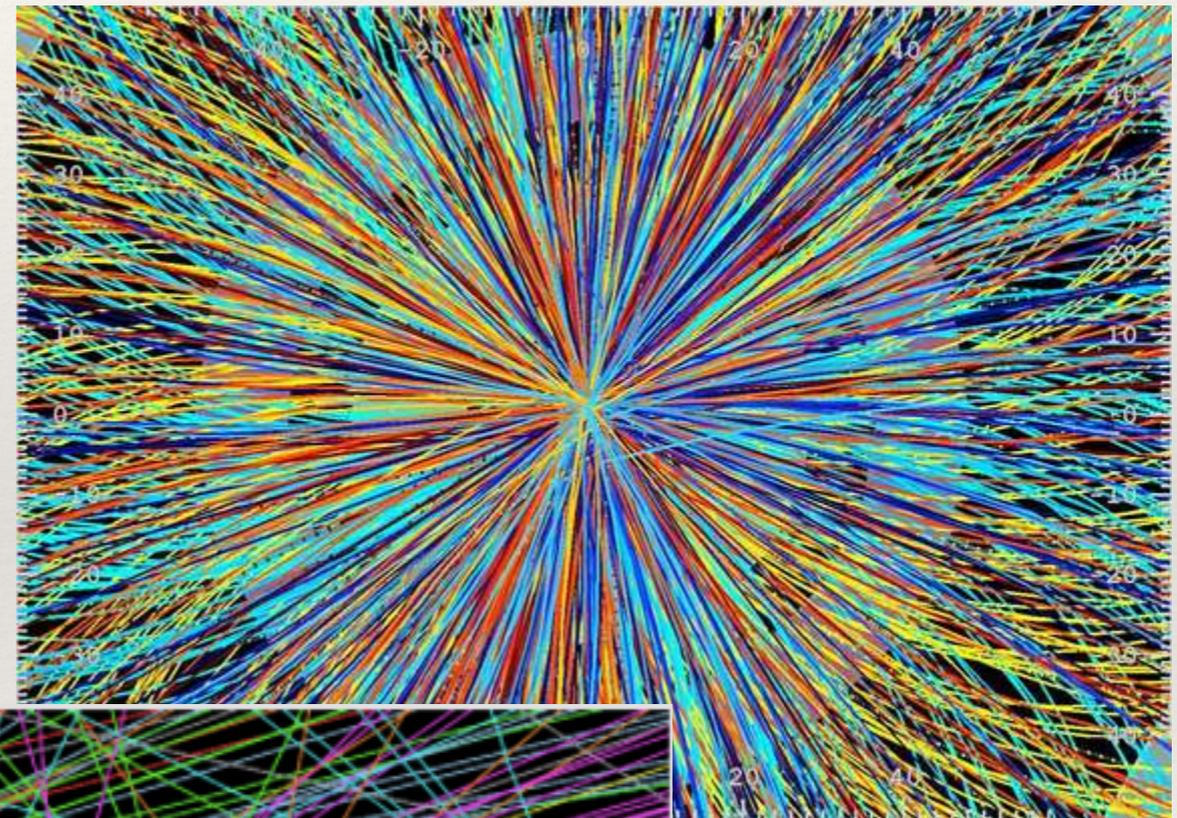
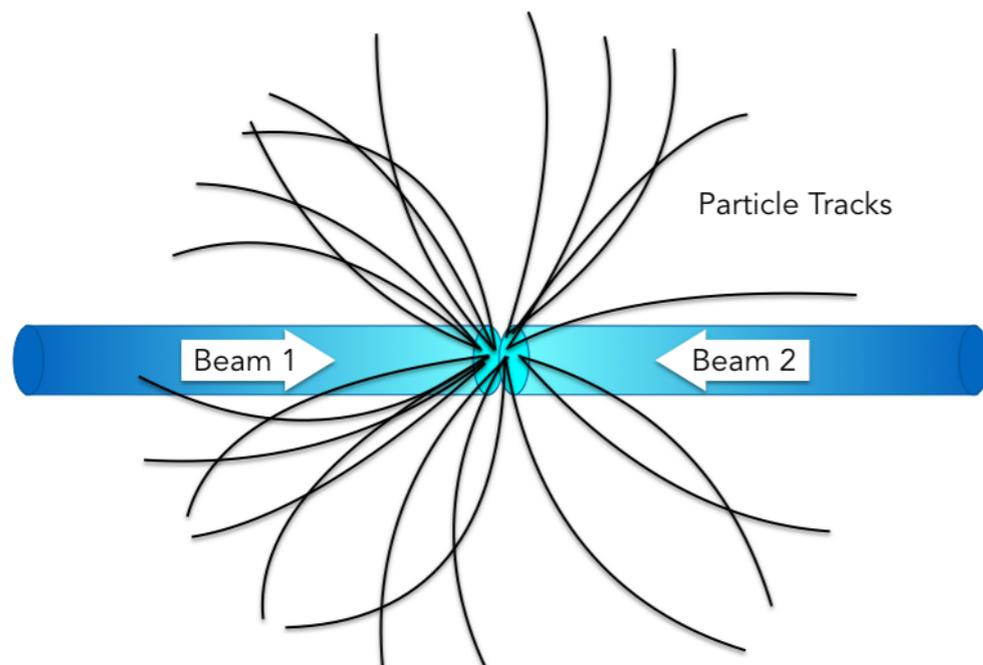
# Produzione di particelle



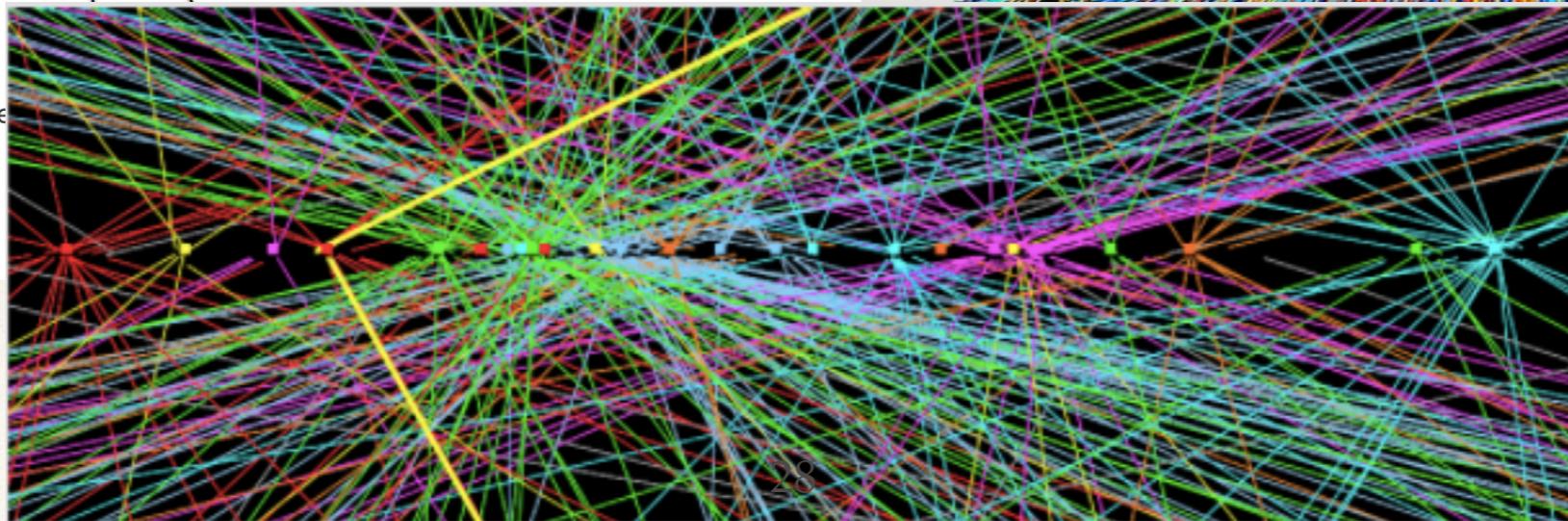
Oppure possiamo produrre un bosone di Higgs dall'interazione di due gluoni  
... o tante altre cose!

# Produzione di particelle

In ogni collisione dei fasci di protoni avvengono tantissime interazioni  
(circa 60 per collisione)  
e tantissime particelle vengono prodotte



b). When the two beams over



---

# Rivelatori di particelle

---

Le particelle prodotte nella collisione dei protoni attraversano i rivelatori posti attorno al punto di collisione

Ogni tipo di particella interagisce in modo particolare con il materiale del rivelatore, lasciando una segnatura che la distingue e questo ci permette di riconoscerle

Guardando i segnali lasciati dalle particelle nel rivelatore è come se guardassimo una foto dell'evento e di tutte le particelle che sono state prodotte nella collisione

I rivelatori sono come delle gigantesche fotocamere



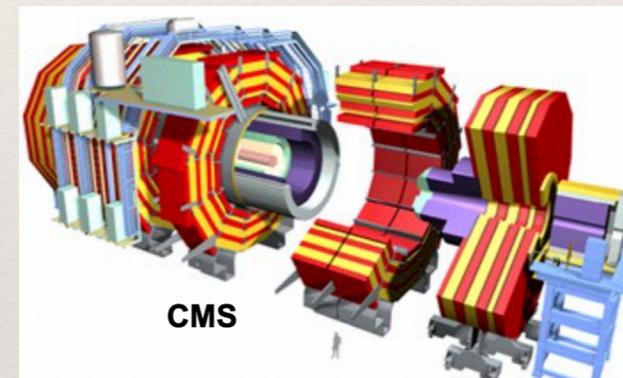
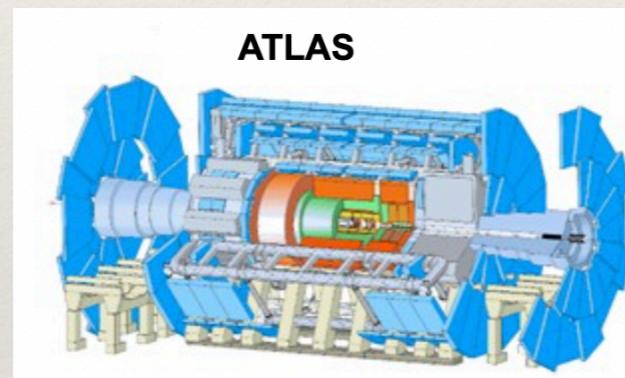
# I rivelatori ATLAS e CMS

Ad LHC ci sono 4 principali esperimenti collocati in 4 punti di interazione dei fasci di protoni:

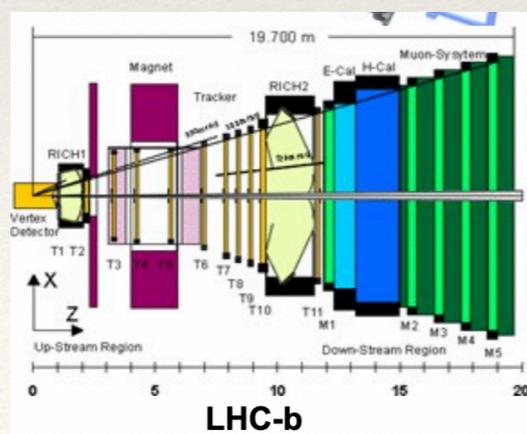
**ATLAS e CMS: studiano le proprietà del bosone di Higgs e cercano nuove particelle**

Rivelatori molto simili basati sugli stessi principi di funzionamento,

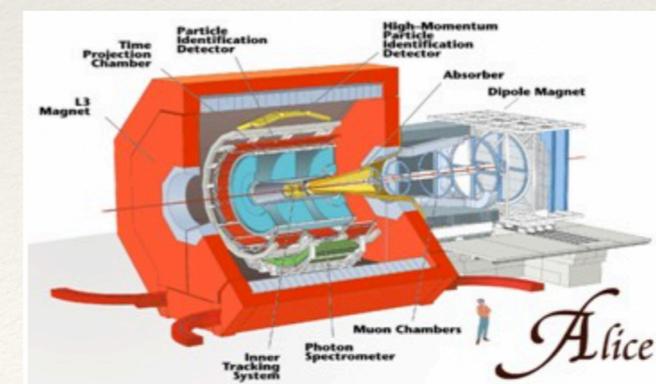
Lavorano in parallelo per poter confermare le osservazioni fatte da ciascun esperimento e per poter combinare i risultati delle loro ricerche ed ottenere risultati con maggiore precisione



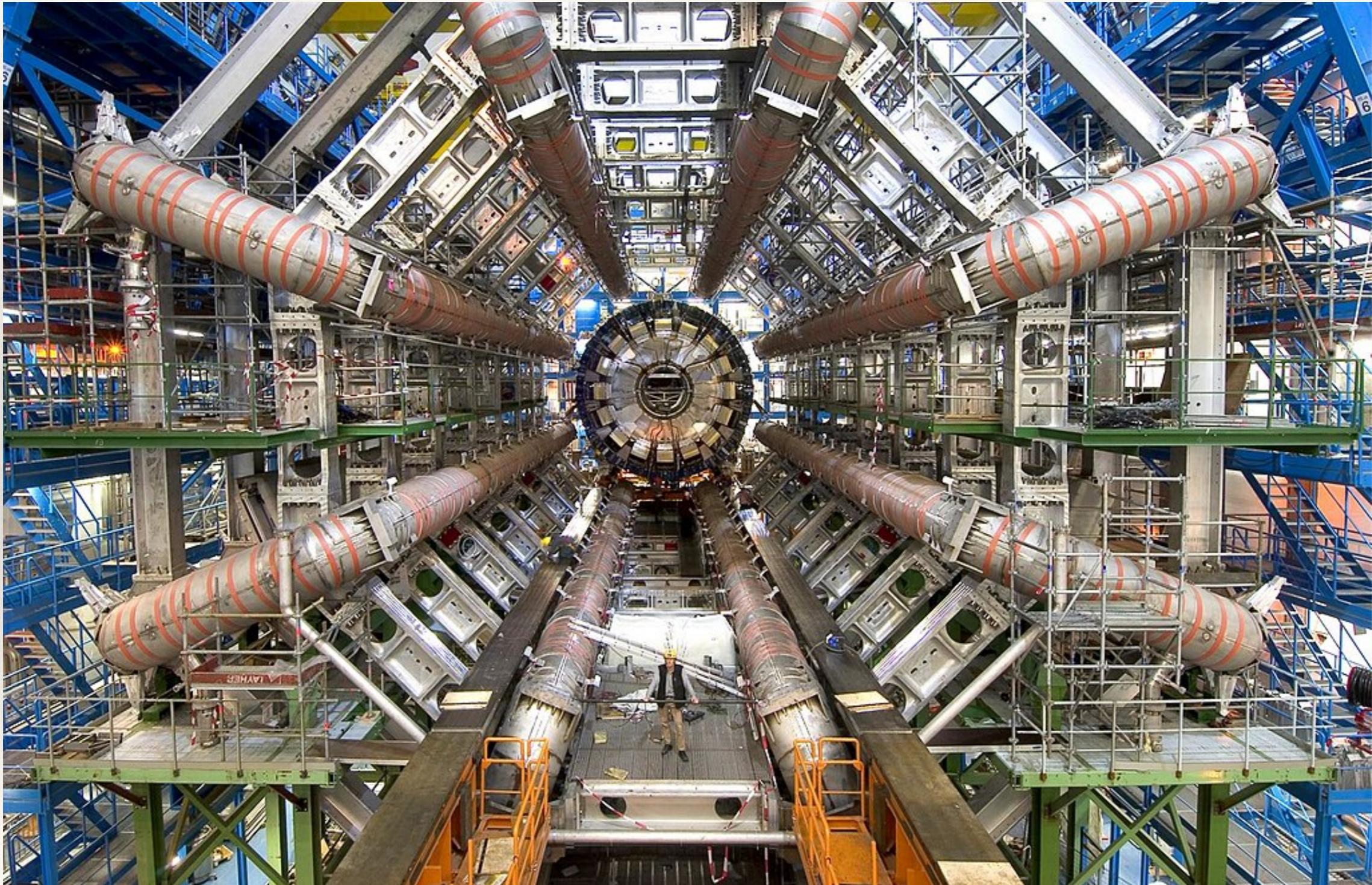
LHCb: analizza le proprietà dei mesoni B (composti da quark b) per studiare le interazioni deboli



ALICE: analizza i prodotti di collisioni di ioni di Piombo per studiare le interazioni forti

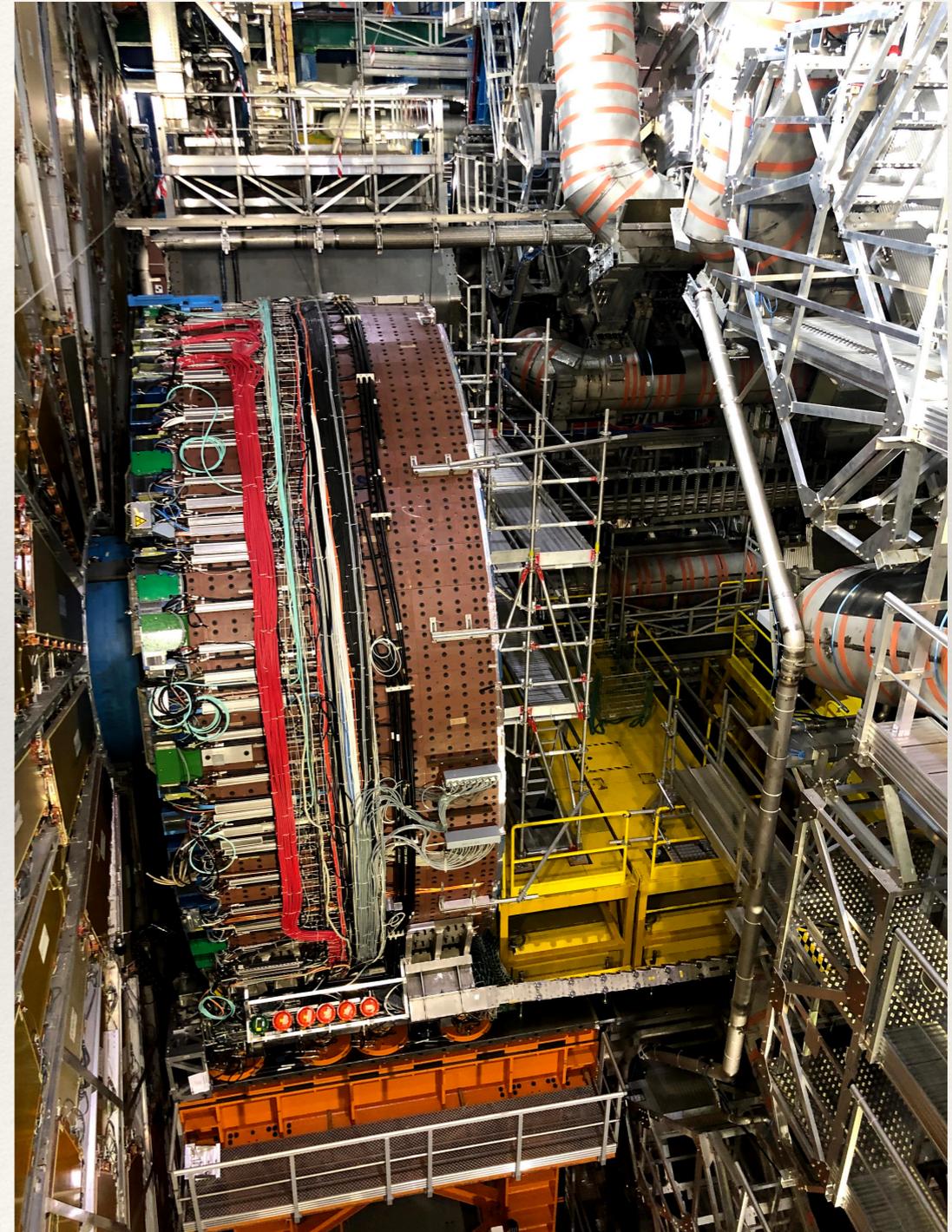


# Il rivelatore ATLAS a LHC

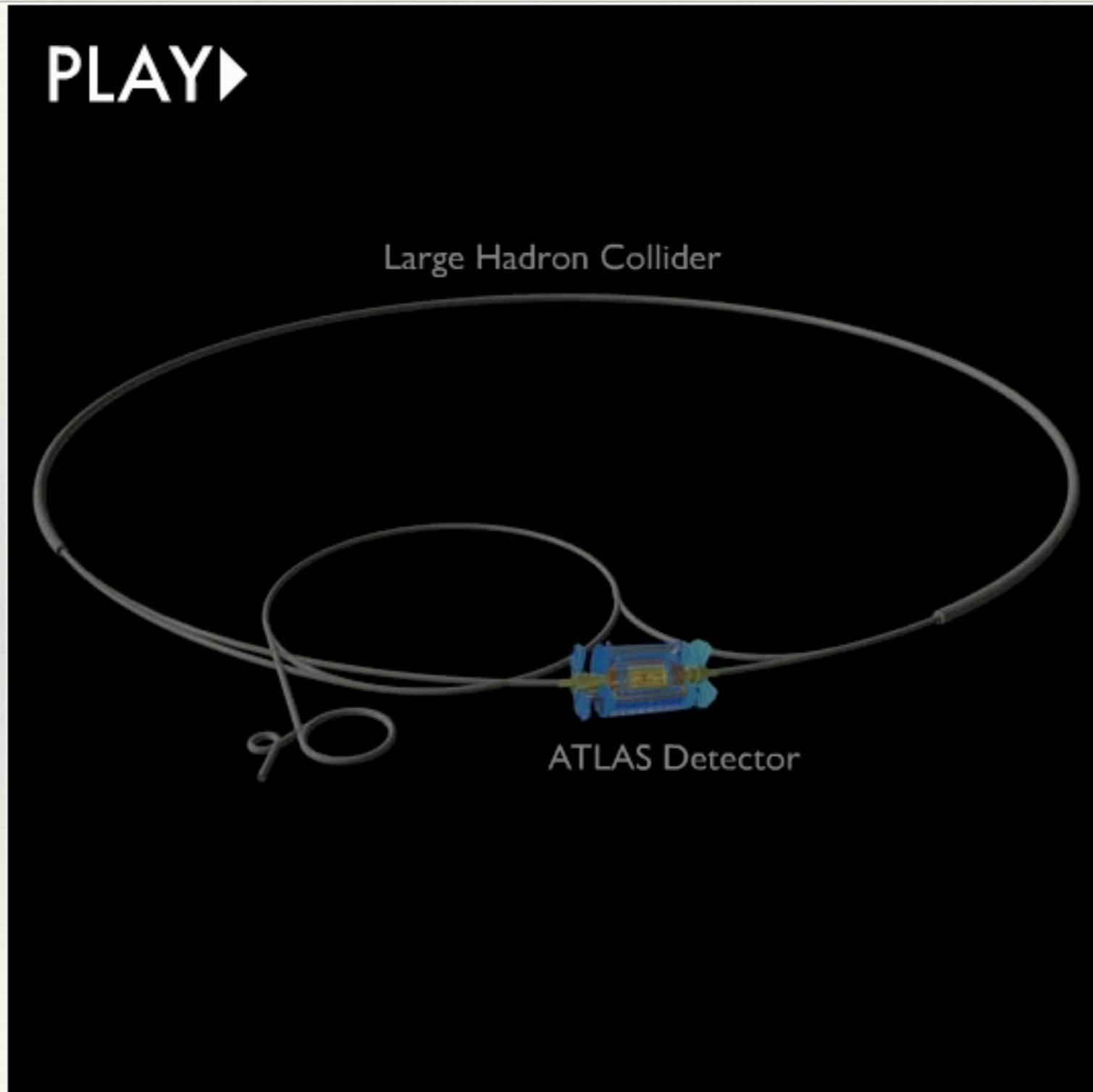


# Rivelatore ATLAS a LHC

- Il più grande rivelatore di particelle mai costruito
- Ha le dimensioni di un cilindro, con 46 m di lunghezza e 25 m di diametro
- Si trova in una caverna a 100 m sotto terra in corrispondenza di uno dei punti di collisione dei protoni di LHC
- Pesa 7000 tonnellate, circa il peso della Torre Eiffel



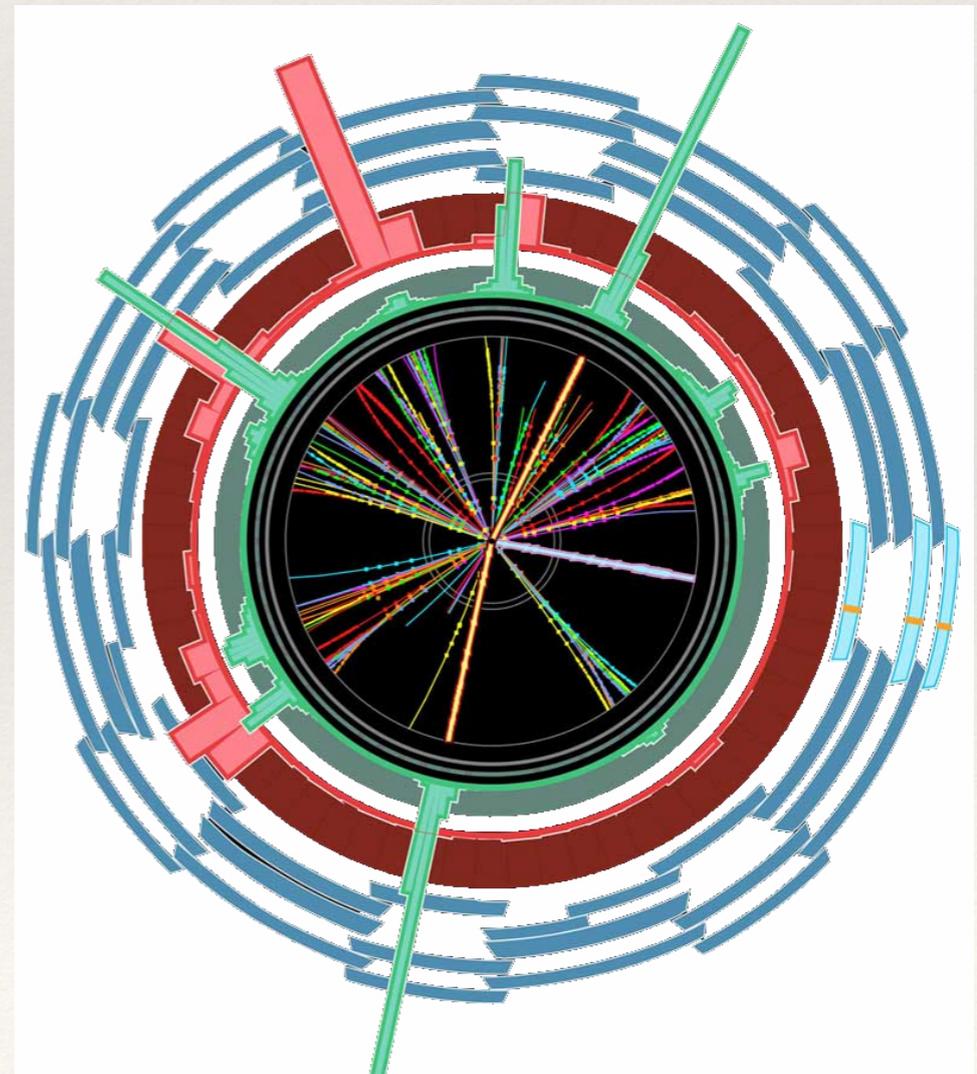
# I rivelatori



# I rivelatori

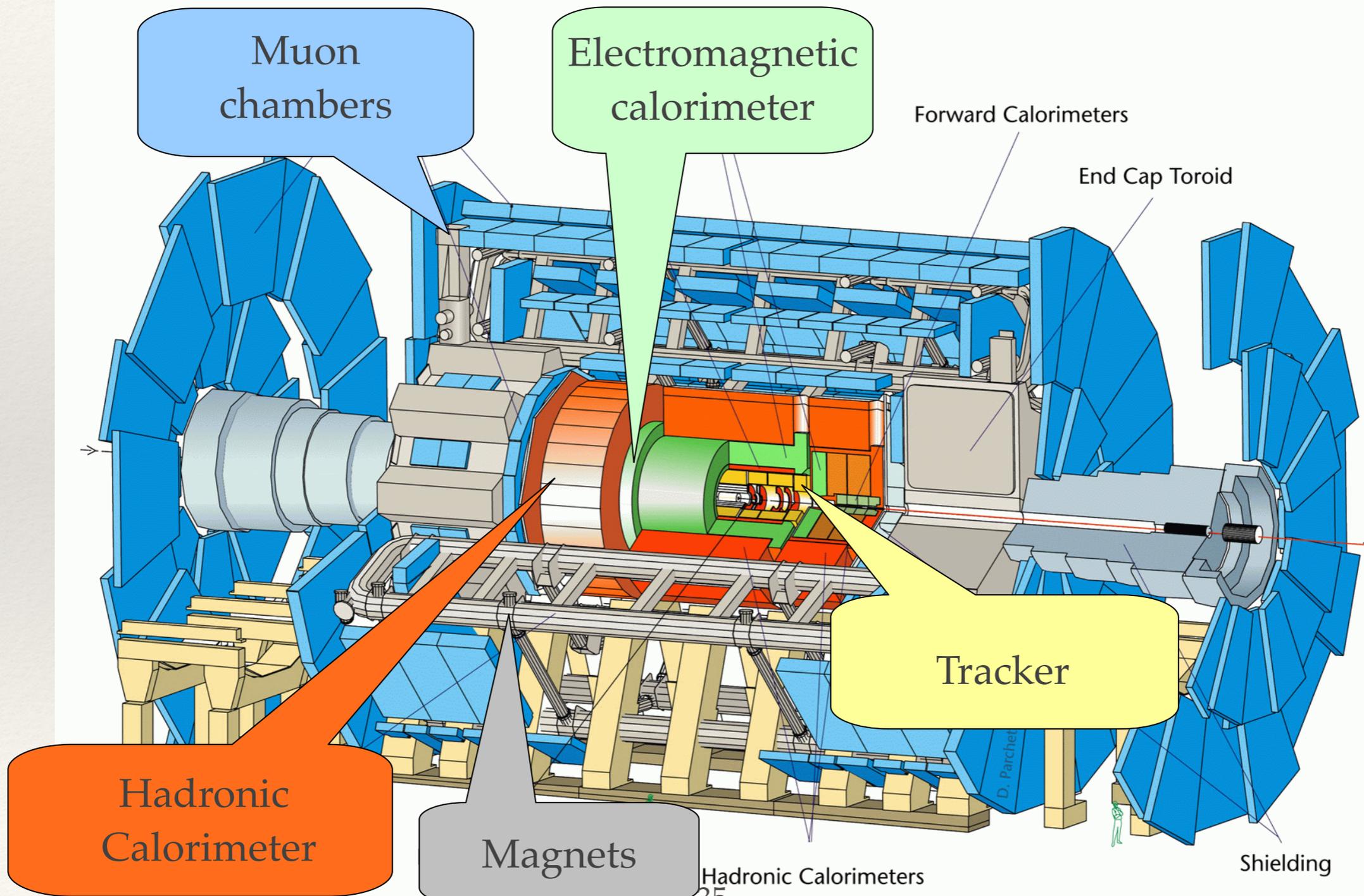
I rivelatori sono posti attorno al punto di collisione e hanno una struttura che chiamiamo “a cipolla” in quanto sono fatti a strati

Le particelle prodotte dalla collisione dei protoni al centro del rivelatore si muovono verso l'esterno attraversando i vari strati in cui vengono misurate diverse proprietà



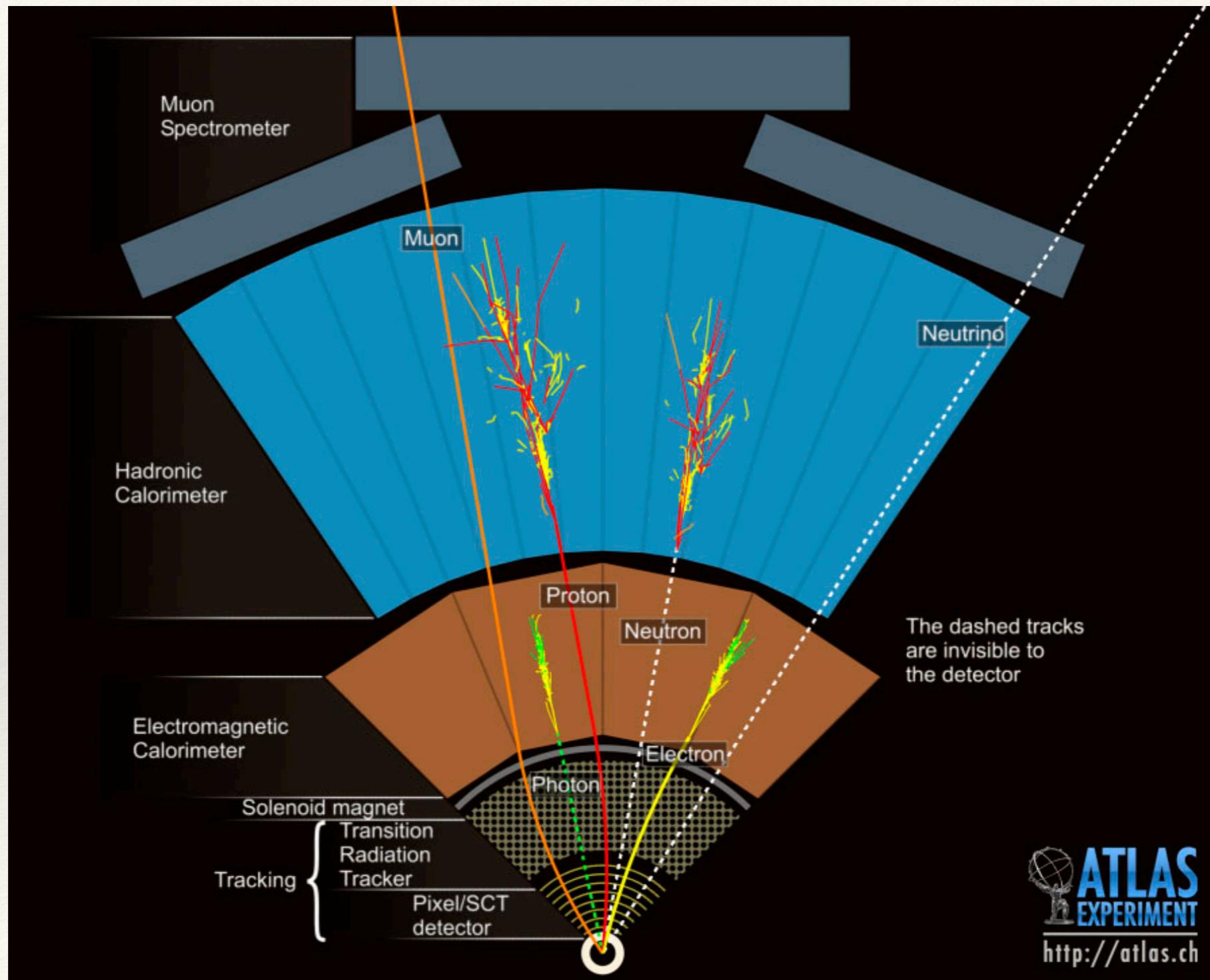
# Il rivelatore ATLAS a LHC

D712/mb-26/06/97



Hadronic Calorimeters

# Caratterizzazione delle particelle



---

# Caratterizzazione delle particelle: la massa

---

Molte delle particelle prodotte a LHC e che vogliamo studiare decadono quasi istantaneamente e possono essere ricostruite e identificate solo tramite i loro prodotti di decadimento

Una caratteristica che usiamo per identificare le particelle a partire dai loro prodotti di decadimento è la **massa invariante**:

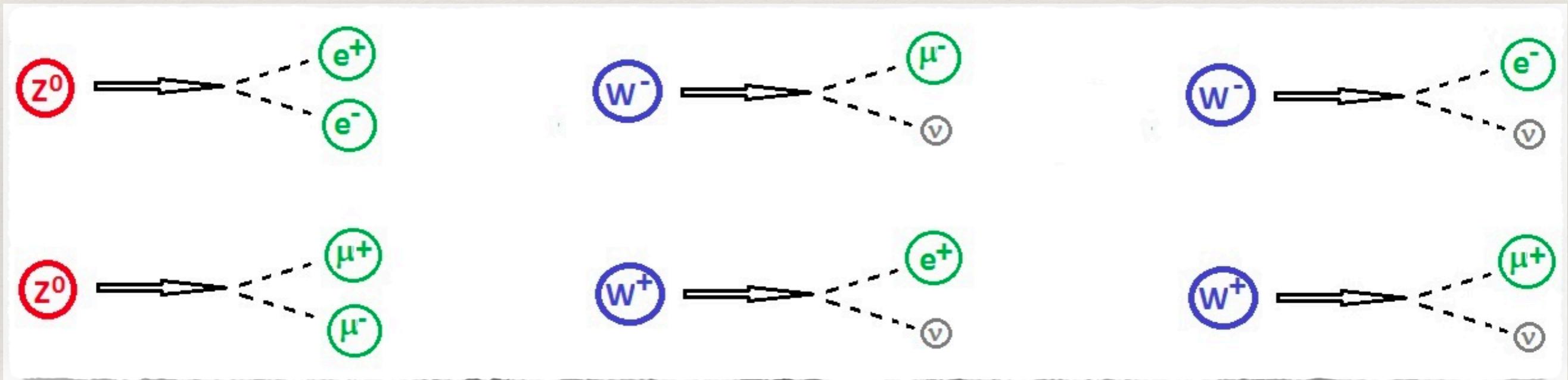
$$m_X = \sqrt{E_1 E_2 (1 - \cos \theta)}$$

Misurando l'energia e la direzione dei prodotti di decadimento possiamo calcolare la massa della particella che li ha prodotti

# I bosoni Z e W

I bosoni W e Z, mediatori delle interazioni deboli, sono stati scoperti al CERN negli anni '80

Particelle che decadono quasi istantaneamente e possono essere ricostruite e identificate solo tramite i loro prodotti di decadimento

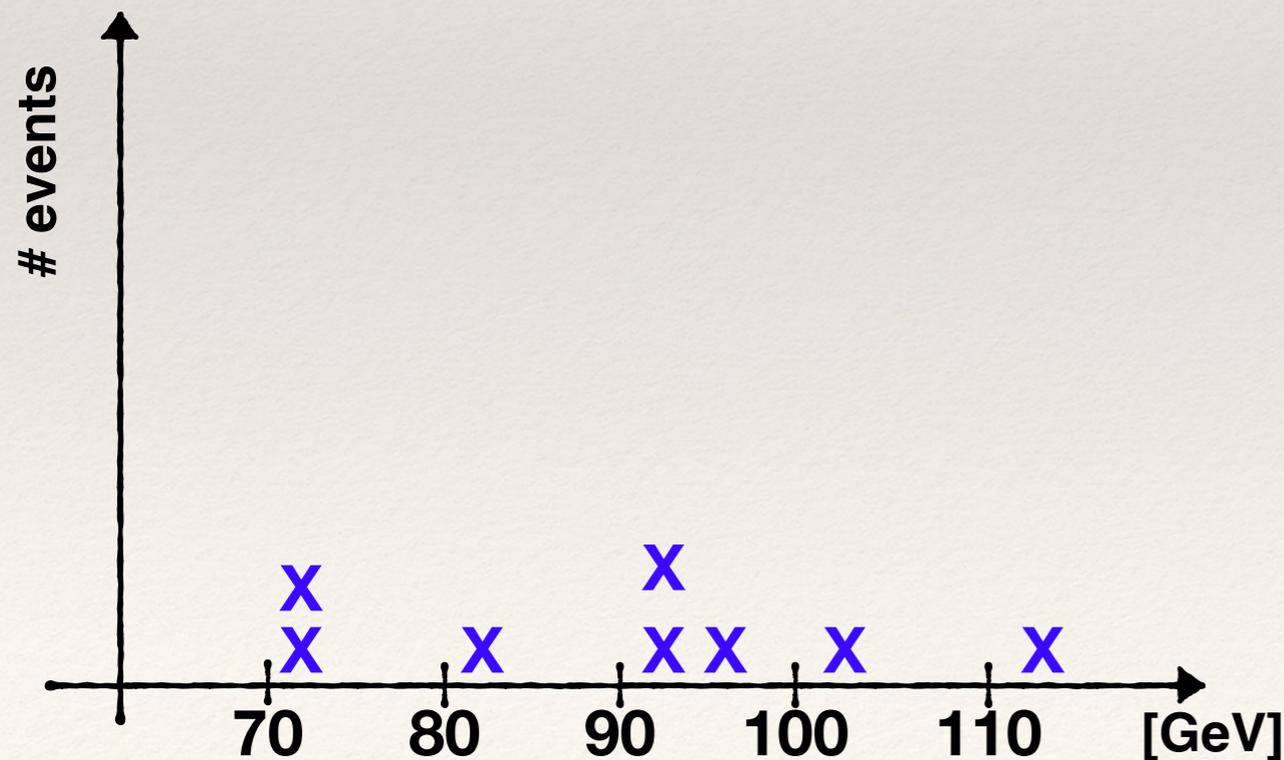


Quindi quando in una collisione p-p vengono prodotti un bosone Z o un bosone W quello che vediamo nei rivelatori sono solo elettroni o muoni, E studiamo queste particelle nei nostri rivelatori per identificare i bosoni Z e W

# Scoperta del bosone Z

In ogni evento in cui viene prodotto il bosone Z abbiamo due elettroni o due muoni nello stato finale

Calcoliamo la massa invariante degli elettroni o muoni e riempiamo un istogramma con i valori ottenuti per ogni evento



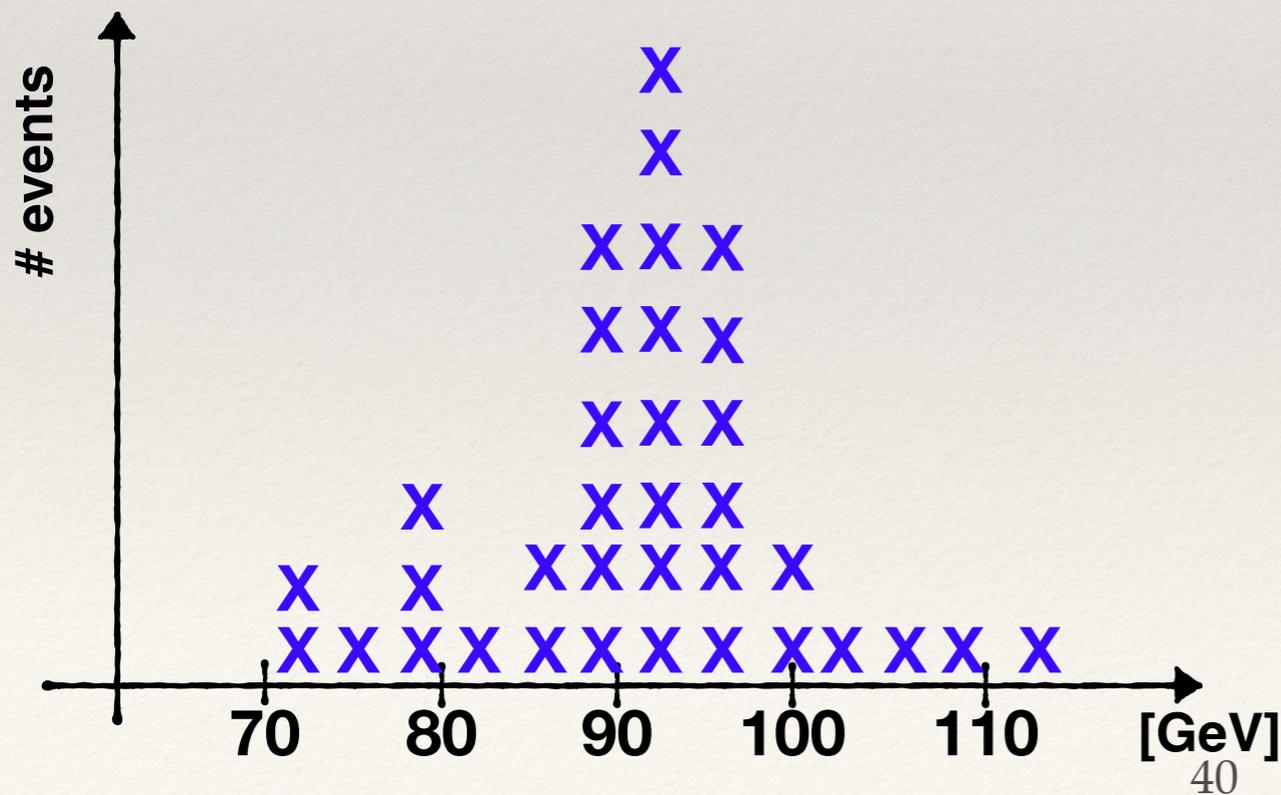
$$m_X = \sqrt{E_1 E_2 (1 - \cos \theta)}$$

# Scoperta del bosone Z

Riempiendo l'istogramma con tanti eventi,  
Comparirà un picco in corrispondenza del valore della  
massa del bosone Z (se il bosone Z esiste ...)

Se il picco è abbastanza grande,  
possiamo annunciare di aver  
scoperto il bosone Z!

Plot di scoperta del bosone Z nel 1983



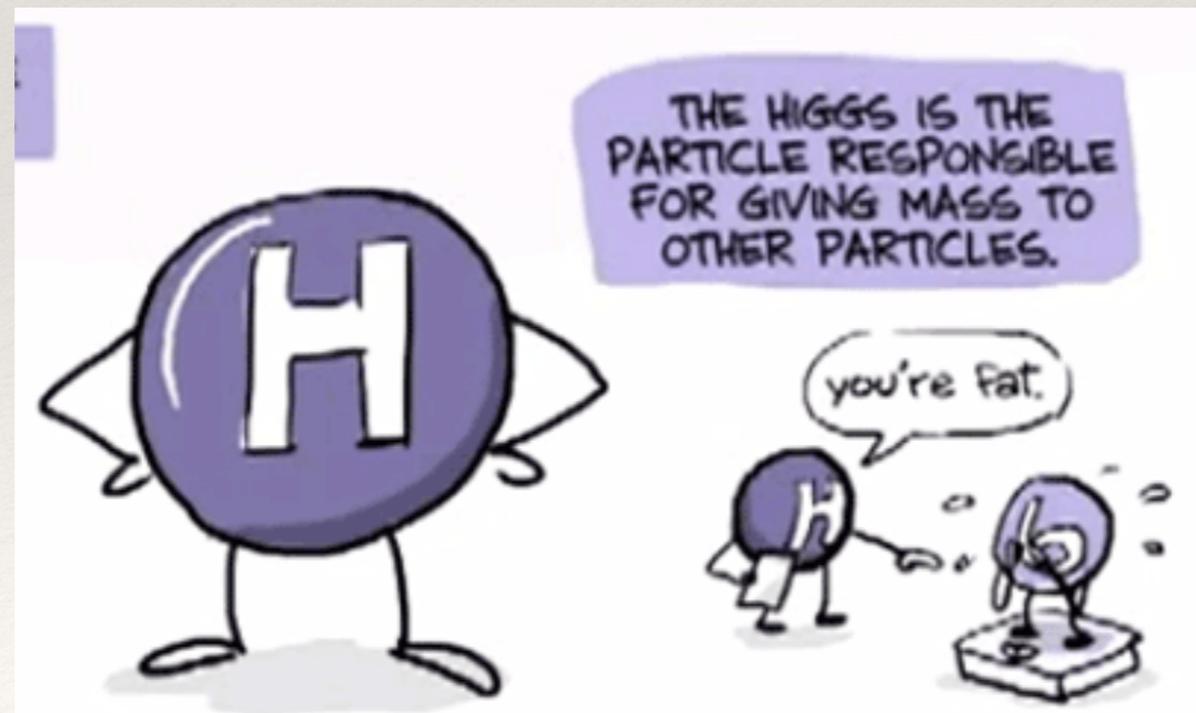
# Scoperta del bosone di Higgs

# Bosone di Higgs

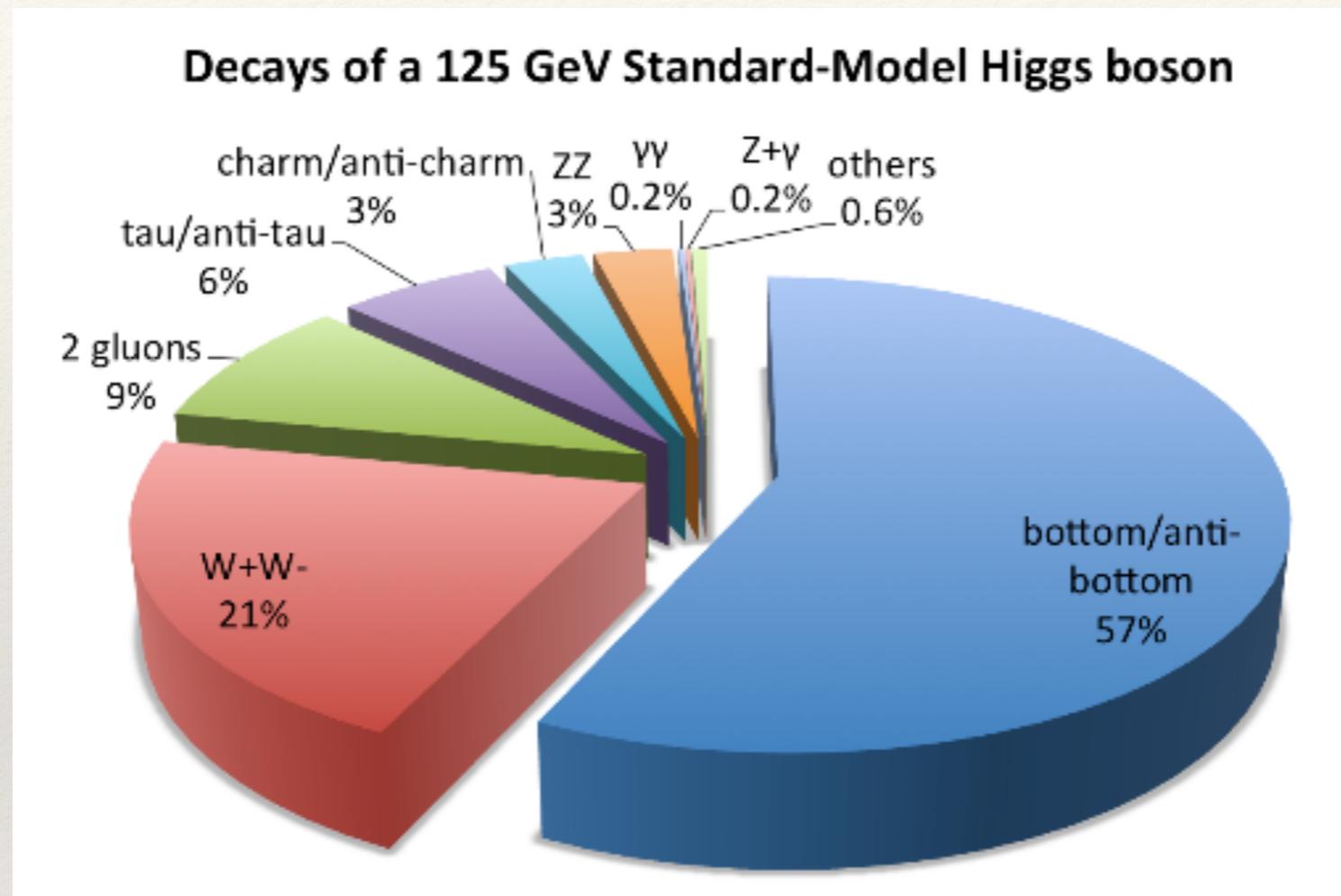
Particella prevista dal Modello Standard come la particella che fornisce la massa alle altre particelle, fino alla sua scoperta avvenuta nel 2012, era l'unica particella "mancante" del modello

Ma il bosone di Higgs che osserviamo ha veramente tutte le caratteristiche previste dal modello?

→ Lo stiamo studiando per capirlo!



# Ricerca del bosone di Higgs

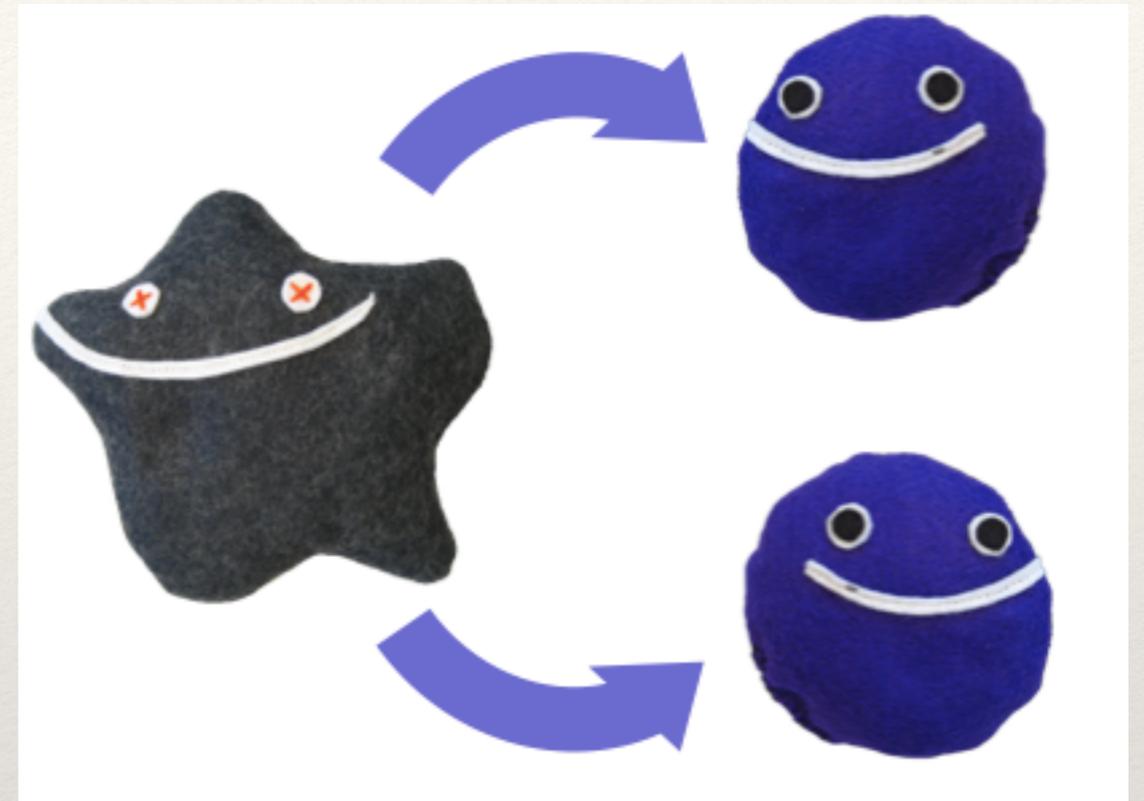
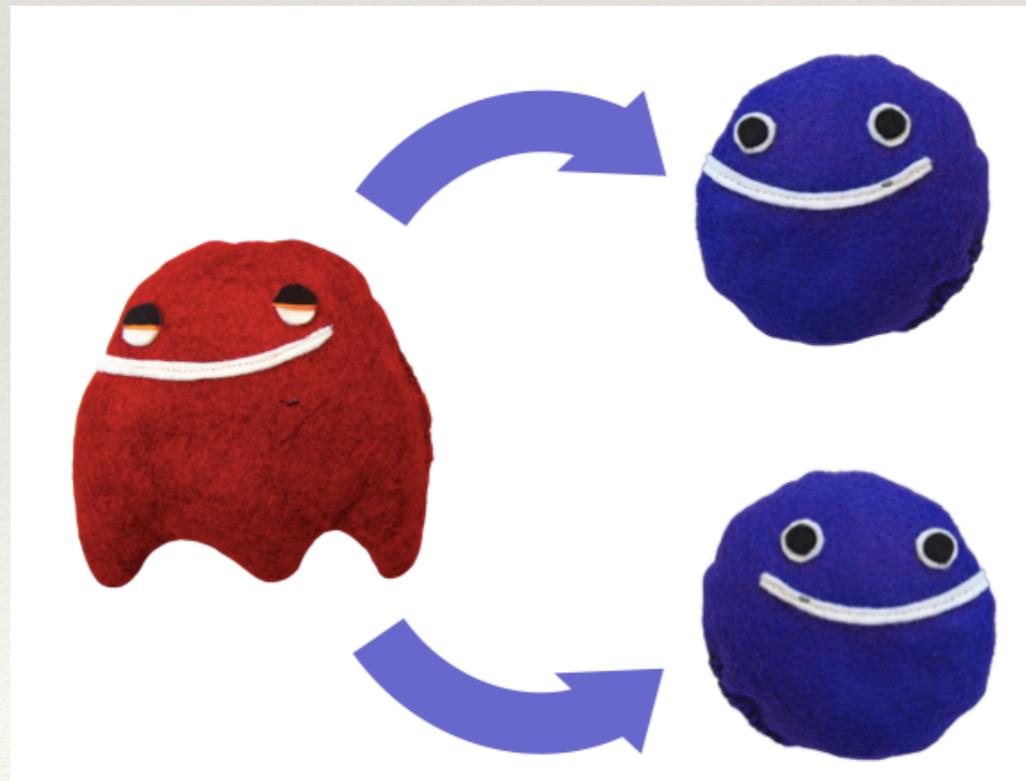


Il bosone di Higgs decade immediatamente dopo essere stato prodotto, può decadere in diversi modi, producendo stati finali con diversi tipi di particelle che possono essere osservate nel nostro rivelatore

→ possiamo osservare il bosone di Higgs indirettamente tramite i suoi prodotti di decadimento

## Ricerca del bosone di Higgs nel canale di decadimento in due muoni

Il bosone di Higgs può  
decadere in una  
coppia di muoni  
→ questo è il nostro “segnale”



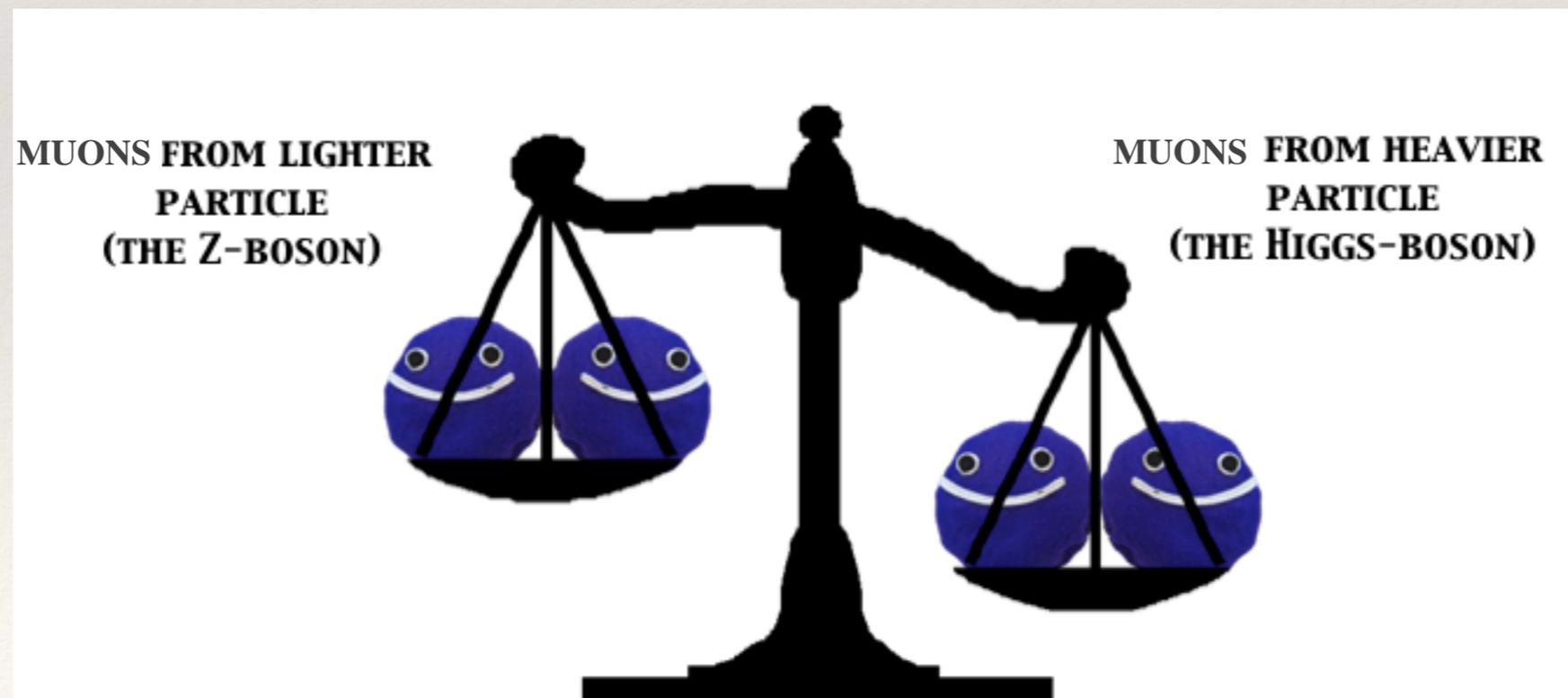
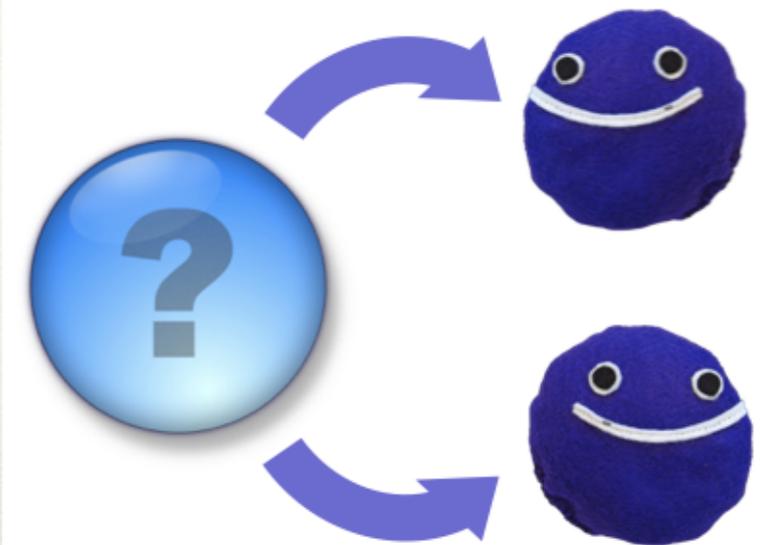
Anche il bosone Z può  
decadere in una  
coppia di muoni  
→ questo è il nostro “fondo”

# Ricerca del bosone di Higgs nel canale di decadimento in due muoni

Selezioniamo gli eventi che contengono due muoni  
e calcoliamo la massa invariante  
dei due muoni per ogni evento per capire da quale  
particella vengono

La massa dei muoni che vengono dal bosone Z è più piccola di  
quella dei muoni che vengono dal bosone di Higgs:

$$m_Z=91 \text{ GeV} < m_H=125 \text{ GeV}$$

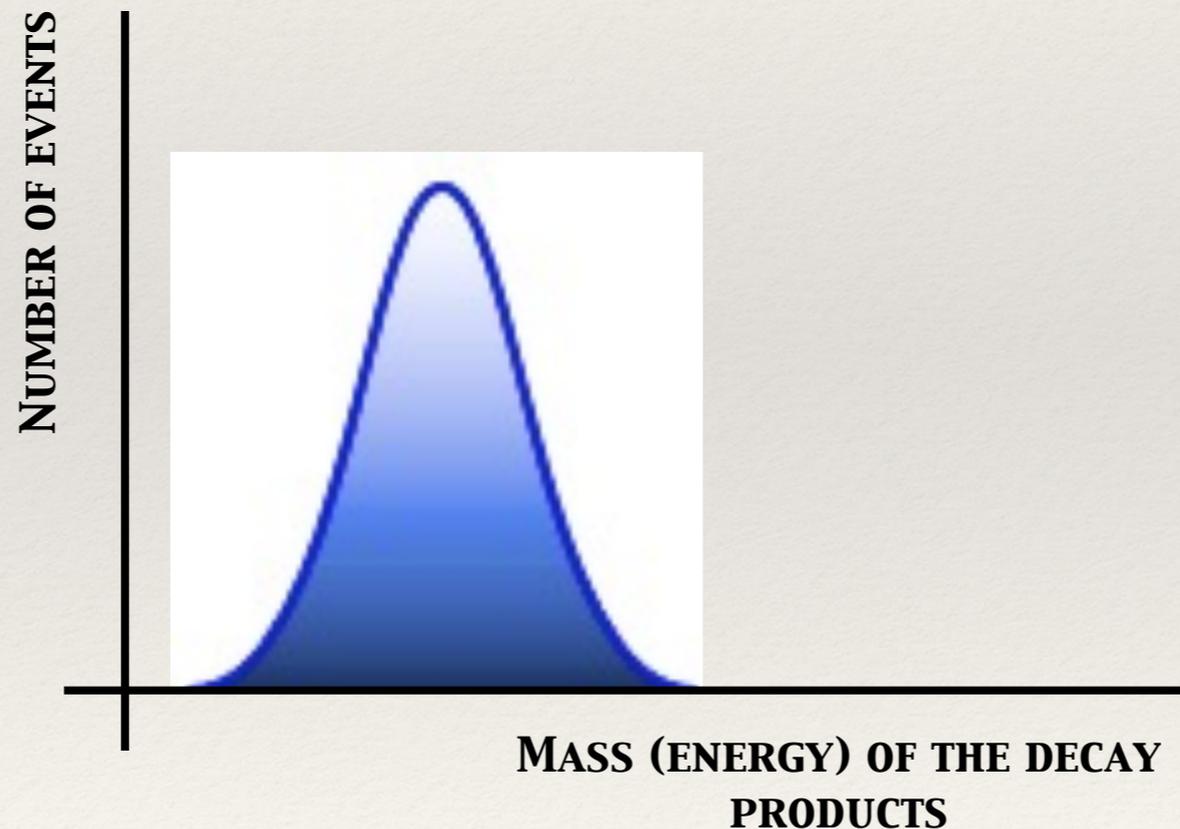


---

# Analisi dei dati

---

Sappiamo cosa aspettarci per la distribuzione della massa invariante dei muoni che vengono dal bosone Z che è per noi il “fondo” nella nostra ricerca

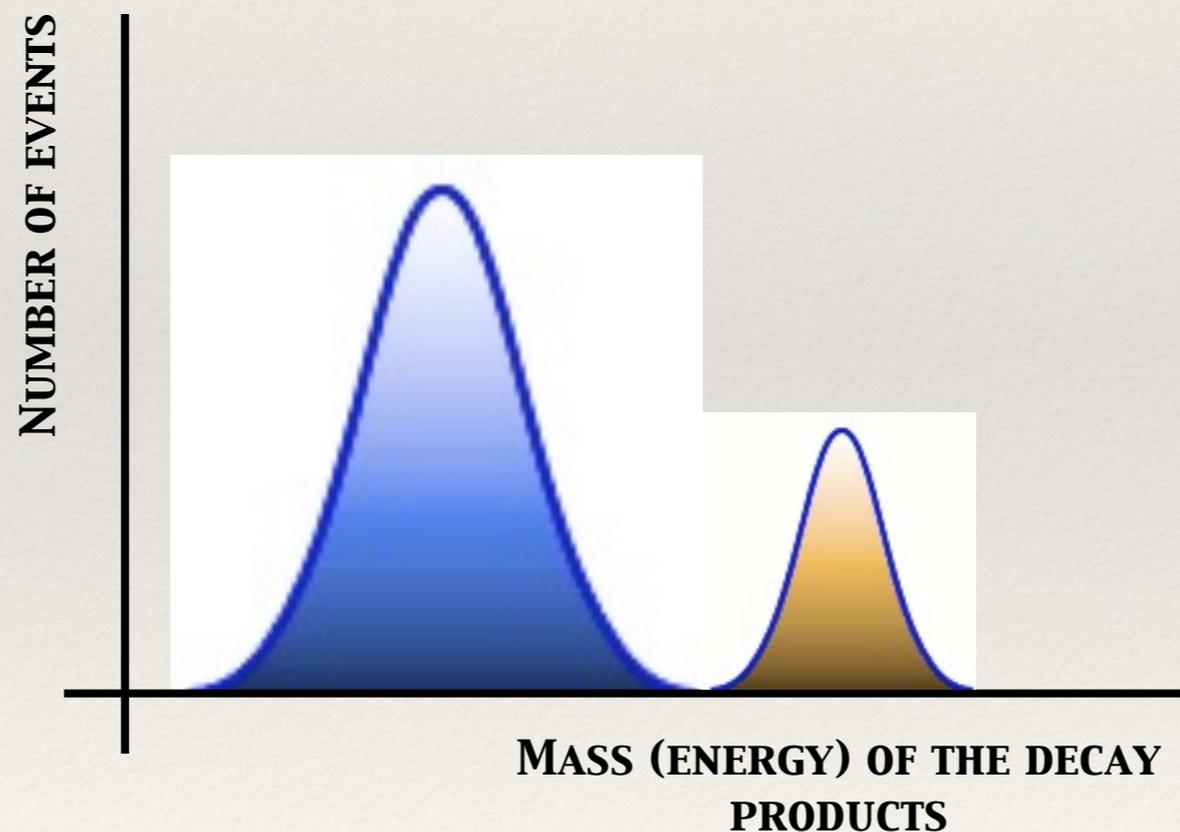


---

# Analisi dei dati

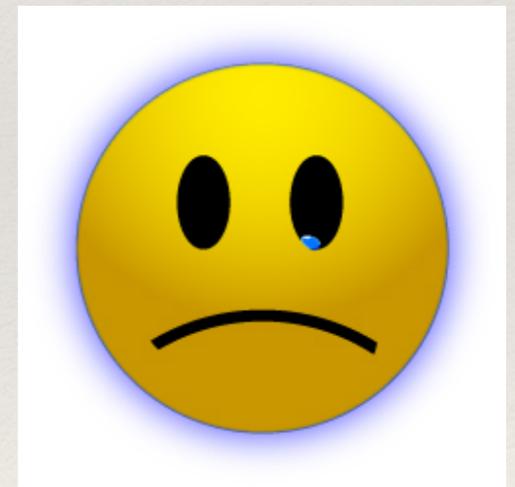
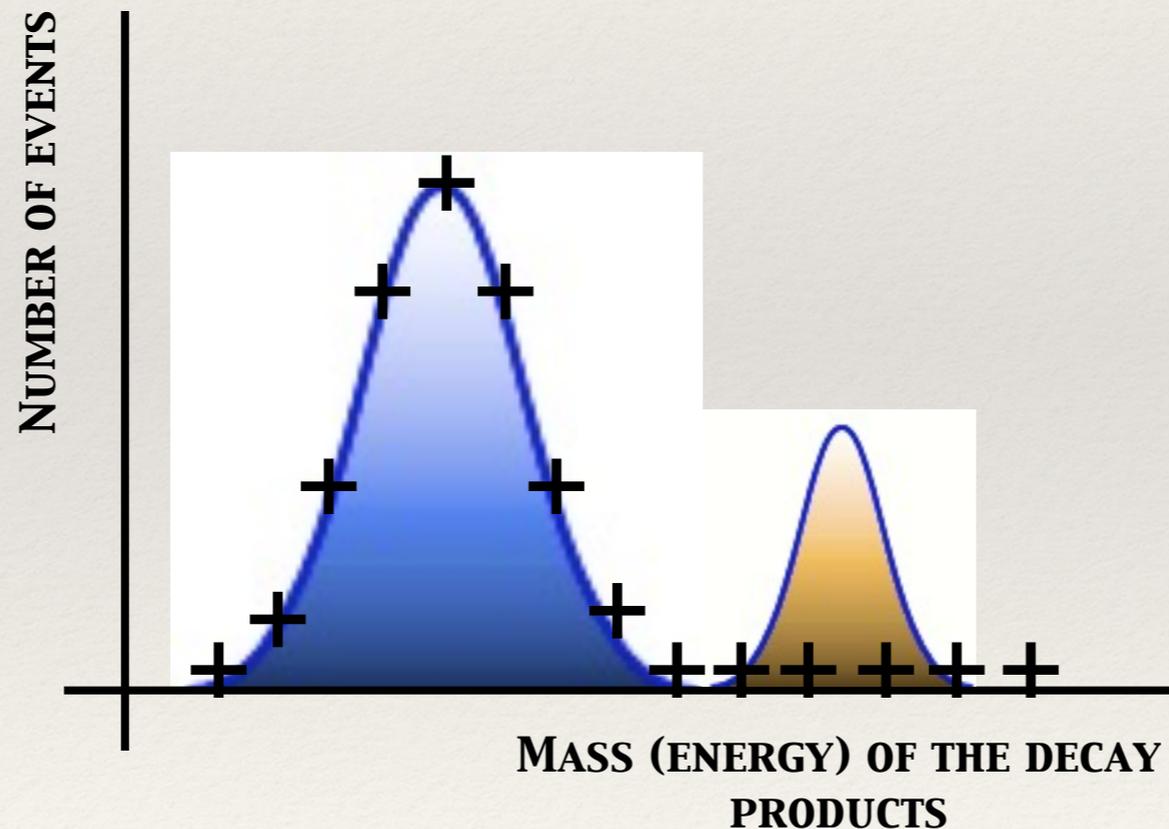
---

E sappiamo cosa aspettarci per la distribuzione della massa invariante dei muoni che vengono dal bosone di Higgs che è per noi il “segnale” nella nostra ricerca



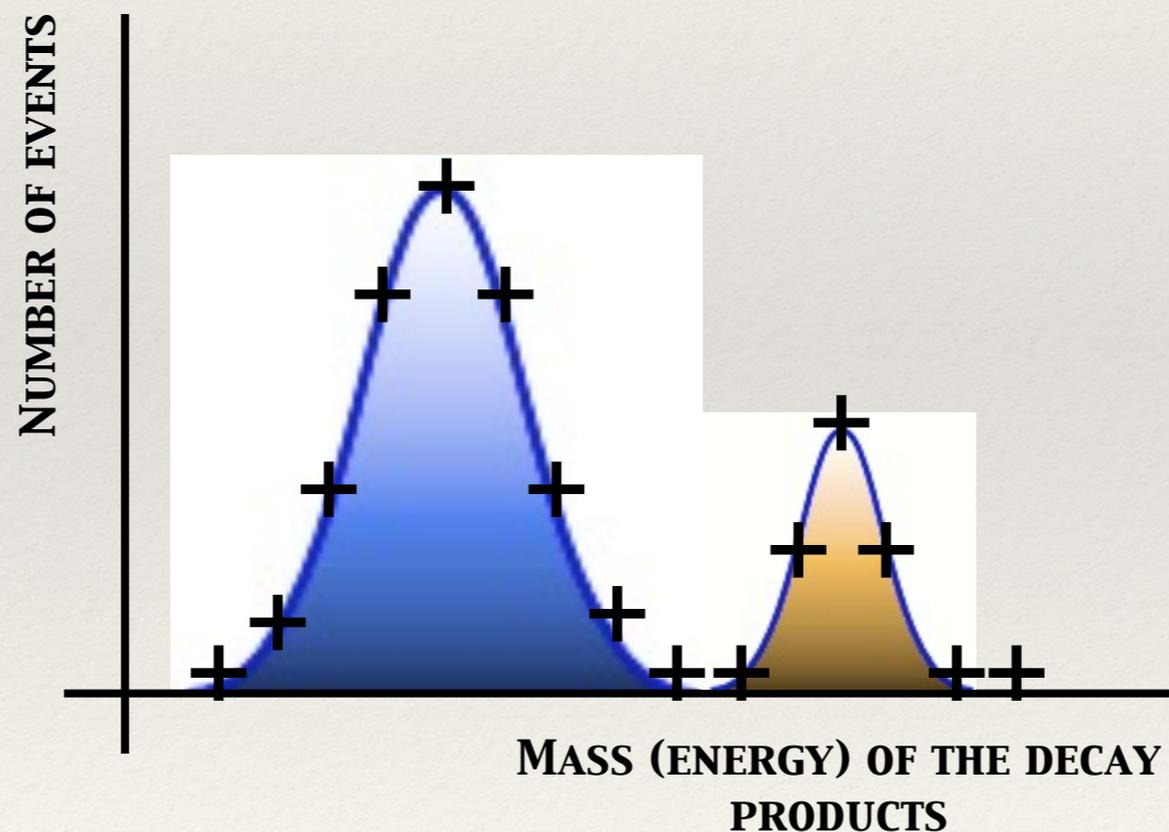
# Analisi dei dati

Se i dati sono in accordo con la distribuzione attesa dal fondo,  
non abbiamo osservato il nostro segnale



# Analisi dei dati

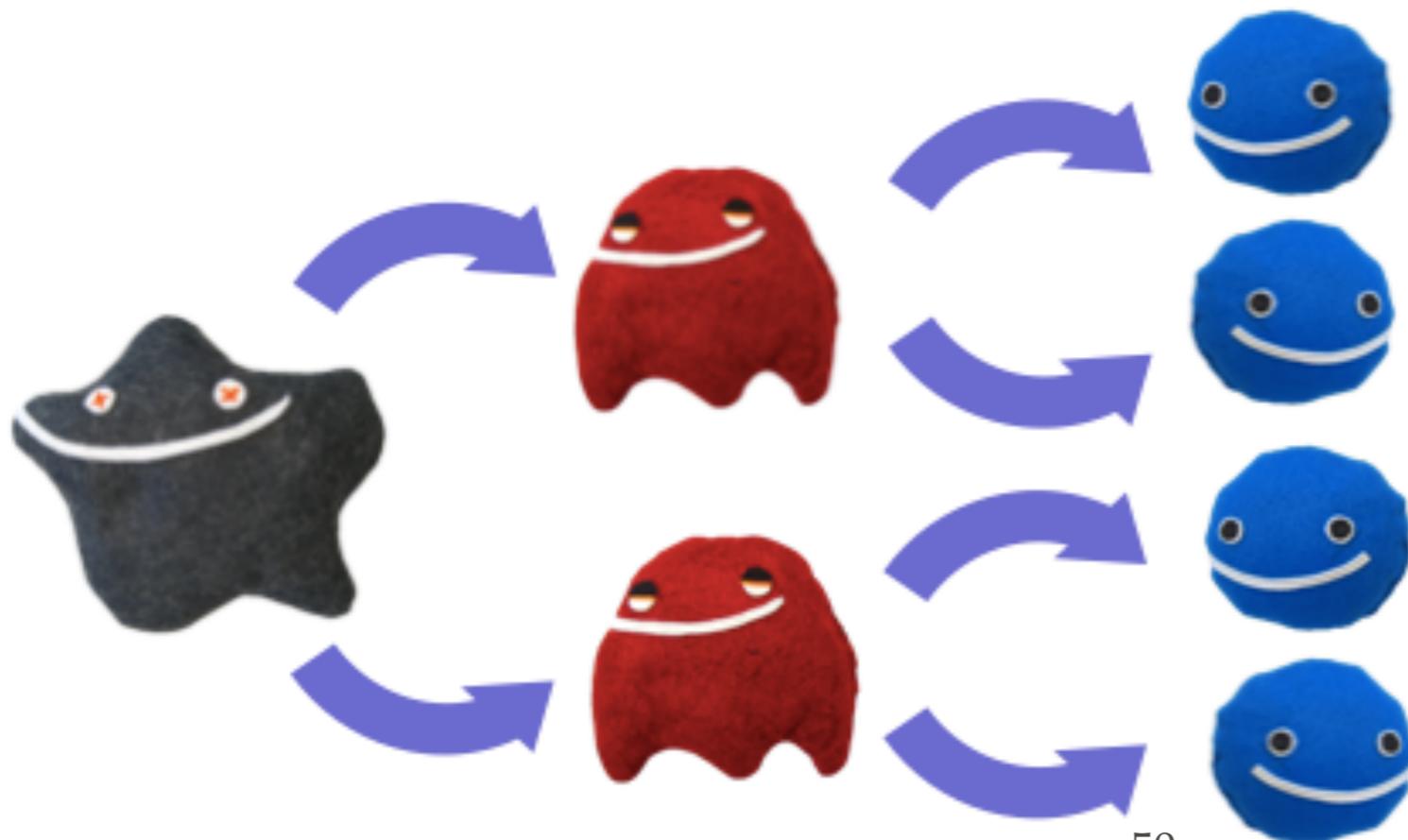
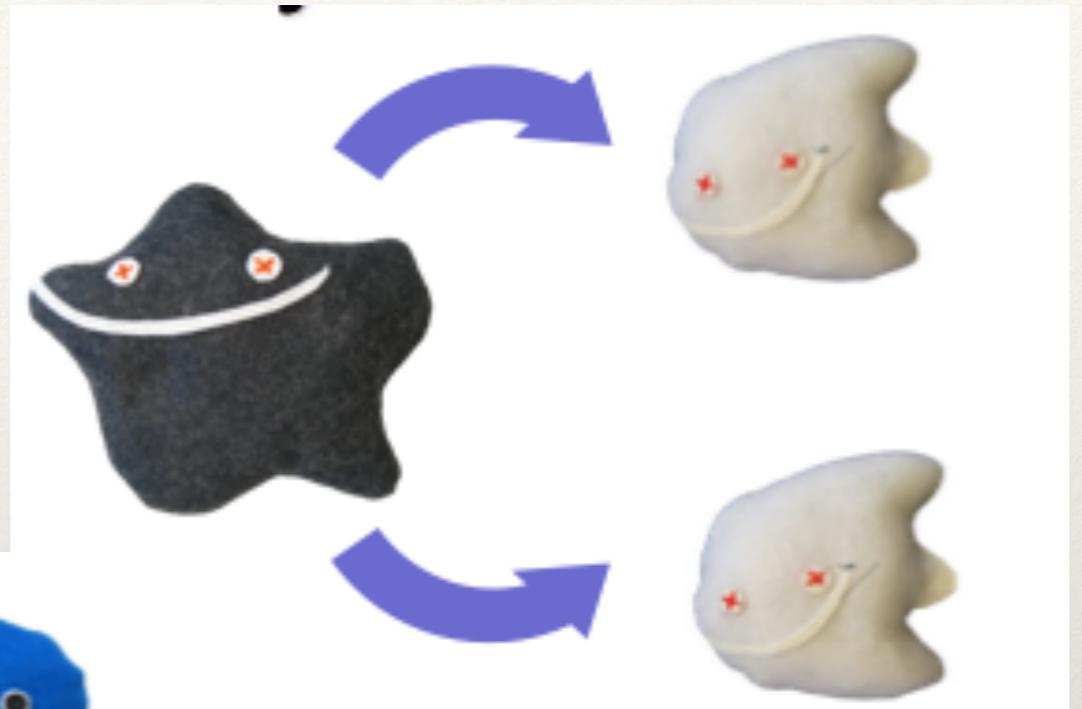
Se i dati sono in accordo con la distribuzione attesa  
dall'unione di fondo e segnale,  
abbiamo osservato il nostro segnale



# Scoperta del bosone di Higgs

I canali di decadimento dell'Higgs che sono stati importanti per la sua scoperta sono:

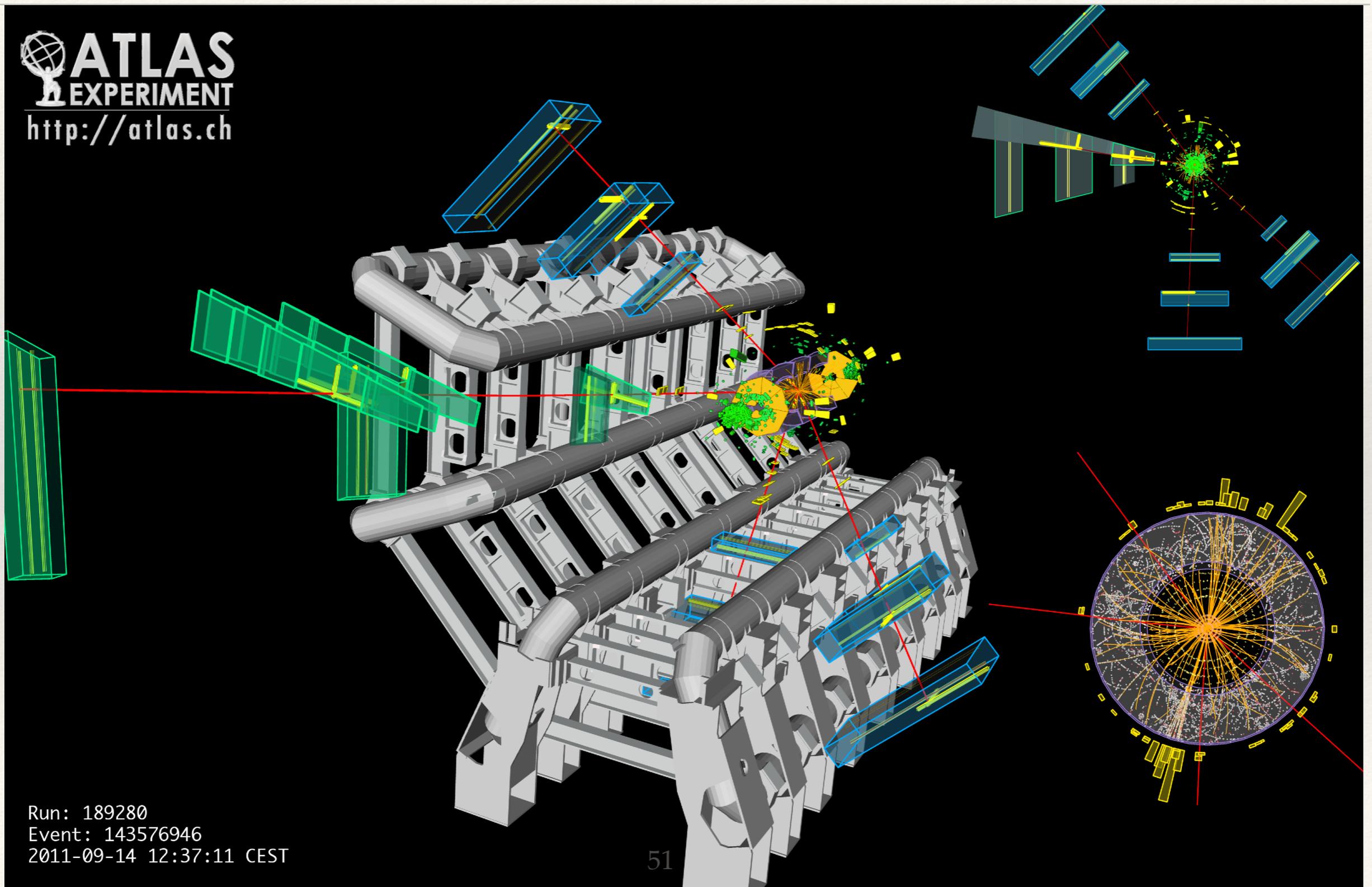
Il decadimento in due fotoni



Il decadimento in due bosoni Z che a loro volta decadono in quattro leptoni (muoni o elettroni)

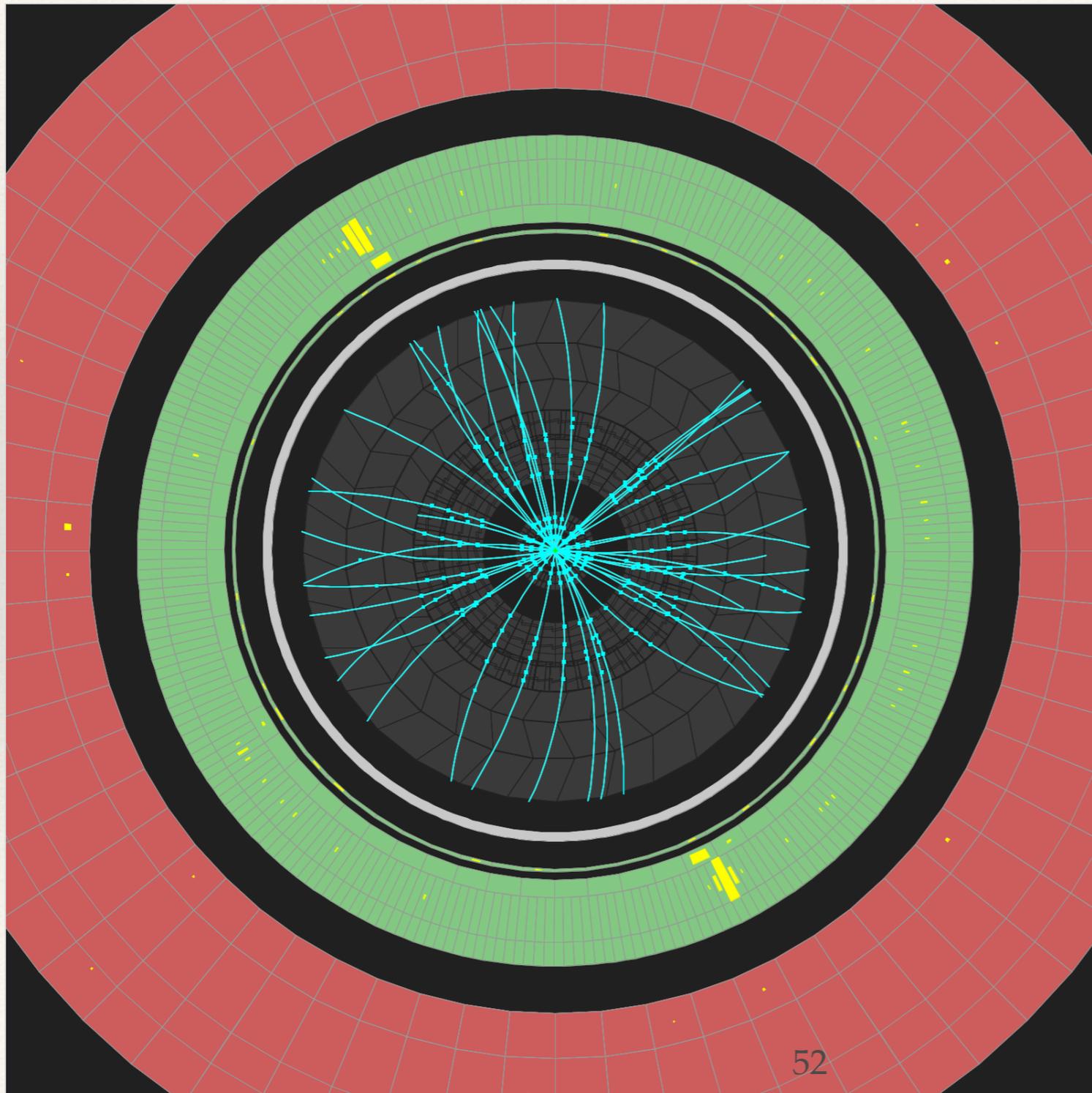
# Evento candidato $H \rightarrow 4\mu$

 **ATLAS**  
EXPERIMENT  
<http://atlas.ch>



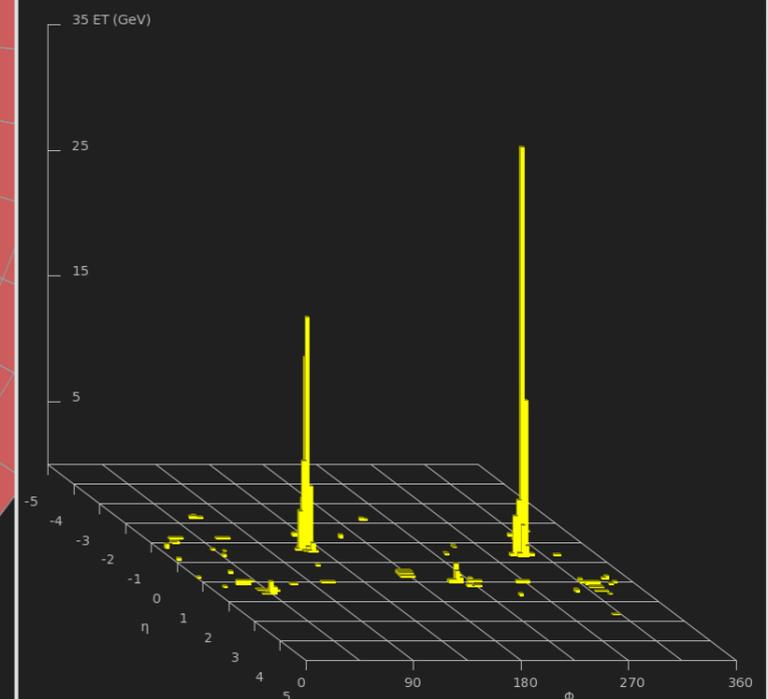
Run: 189280  
Event: 143576946  
2011-09-14 12:37:11 CEST

# Evento candidato $H \rightarrow \gamma\gamma$

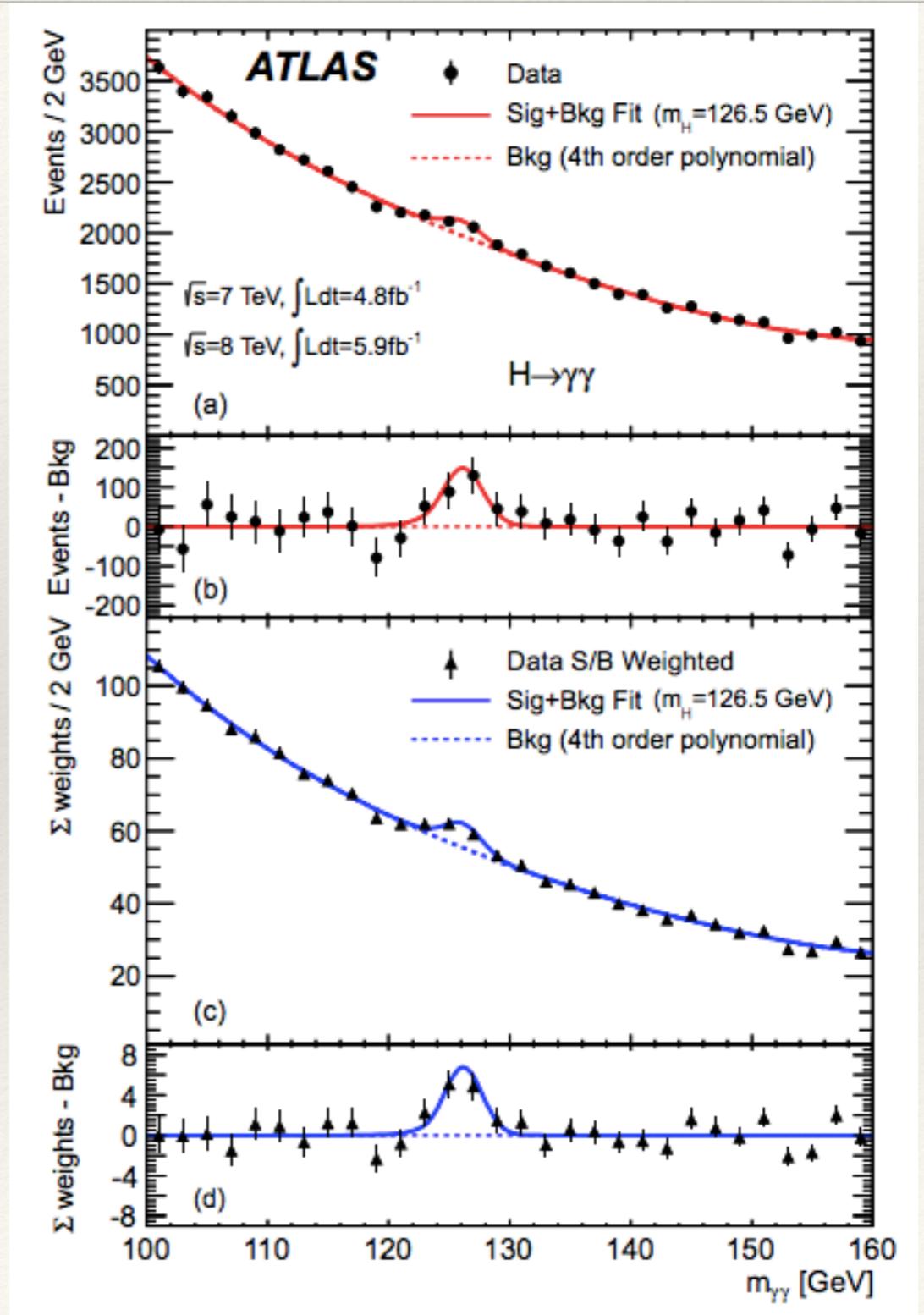
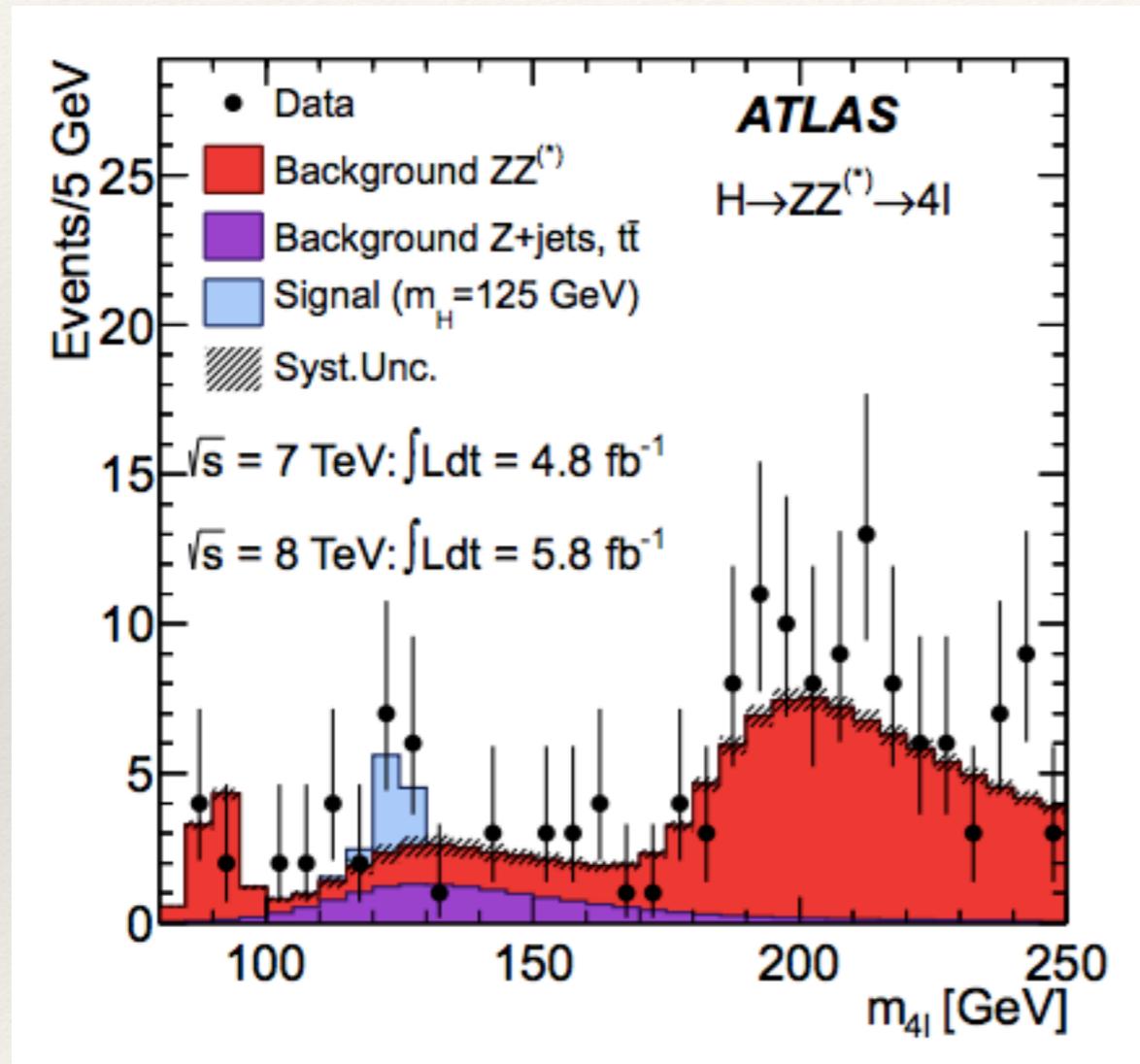


Run Number: 191426, Event Number: 86694500

Date: 2011-10-22 15:30:29 UTC



# Scoperta del bosone di Higgs



# Scoperta del bosone di Higgs

"All the News That's Fit to Print"

## The New York Times

Late Edition  
Today, sunny to partly cloudy, rather hot, high 92. Tonight, mostly clear, low 72. Tomorrow, mostly sunny, hot and humid, high 90. Weather map appears on Page B16.

VOL. CLXI . No. 55,823      © 2012 The New York Times      NEW YORK, THURSDAY, JULY 5, 2012      \$2.50

### Oil Backed Up, Iranians Put It On Idled Ships

Subterfuge at Tankers as Embargo Tightens

By THOMAS ERDBRINK and CLIFFORD KRAUSS

BANDAR ABBAS, Iran — The hulking tanker Neptune was floating aimlessly this week in the warm waters of the Persian Gulf, a fresh coat of black paint barely concealing its true identity as an Iranian ship loaded with hundreds of thousands of barrels of oil that no one is willing to buy.

The ship's real name was Iran Astaneh, and it was part of a fleet of about 65 Iranian tankers serving as floating storage facilities for Iranian oil, each one given a nautical makeover to conceal its origin and make a buyer easier to find. The Neptune had been floating there for a month, and local fishermen said there were two even larger tankers anchored nearby.

Iran, faced with increasingly stringent economic sanctions imposed by the international community to force it to abandon any ambitions to develop nuclear weapons, has been reluctant to reduce its oil production, fearing that doing so could damage its wells. But Iran has insufficient space to store the crude it cannot sell. So while it furiously works to build storage capacity on shore, it has turned to mothballing at sea.

"We have never seen so many just waiting around," said Rossum, a fisherman and consultant.

### ROMNEY NOW SAYS HEALTH MANDATE BY OBAMA IS A TAX

SHIFT RENEWS CRITICISM

Move Aligns Him With Conservative Voices Within His Party

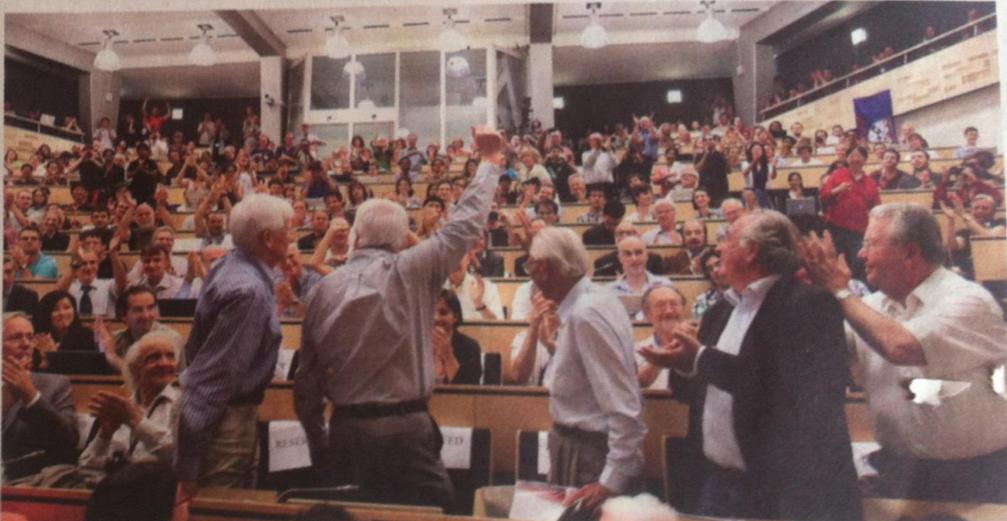
By JEREMY W. PETERS

WOLFEBORO, N.H. — Mitt Romney declared on Wednesday that President Obama's health care mandate was in fact a tax, shifting his campaign's characterization of the law and aligning himself with the conservative voices in his party.

Mr. Romney's remarks, made in a hastily arranged interview with CBS News on a national holiday, prompted renewed criticisms that he was willing to adjust his views for political expediency. Two days earlier, his chief spokesman and senior strategist had said that Mr. Romney did not believe the mandate should be called a tax.

Mr. Romney was already in the uncomfortable position of standing at odds with the dominant Republican Party message on health care: that President Obama was imposing a burdensome new tax on the middle class by requiring health insurance. His latest statement, while carrying the short-term risk of allowing his opponent to brand him a flip-flopper, helped him

### Physicists Find Elusive Particle Seen as Key to Universe



Scientists in Geneva on Wednesday applauded the discovery of a subatomic particle that looks like the Higgs boson.

POOL PHOTO BY DENIS BALABOUSE

### Date Night at the Zoo, if Rare Species Play Along

'I Think We Have It' Is Cheer of Day at Home of Search

By LESLIE KAUFMAN

FRONT ROYAL, Va. — After cautiously sniffing the grass, three male cheetahs at the animal-breeding center here suddenly began running in frenzied circles. It was a sign that a female cheetah that normally lives in the yard was in heat.

Then one of the males let out a thing but.

Eighty-three percent of those species in North American zoos are not meeting the targets set for maintaining their genetic diversity, the Association of Zoos and Aquariums reports. In the case of cheetahs, fewer than 20 percent of those in North American zoos have been able to reproduce.

Zoos must figure out how to

By DENNIS OVERBYE

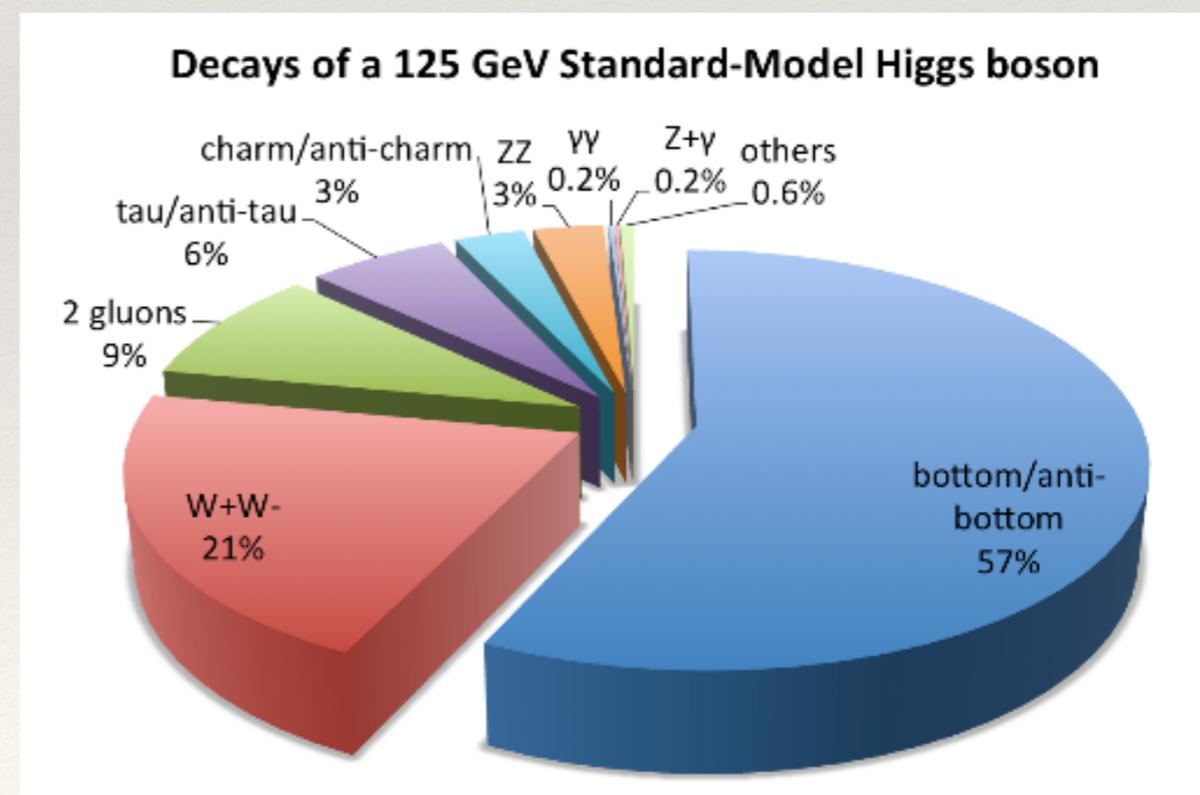
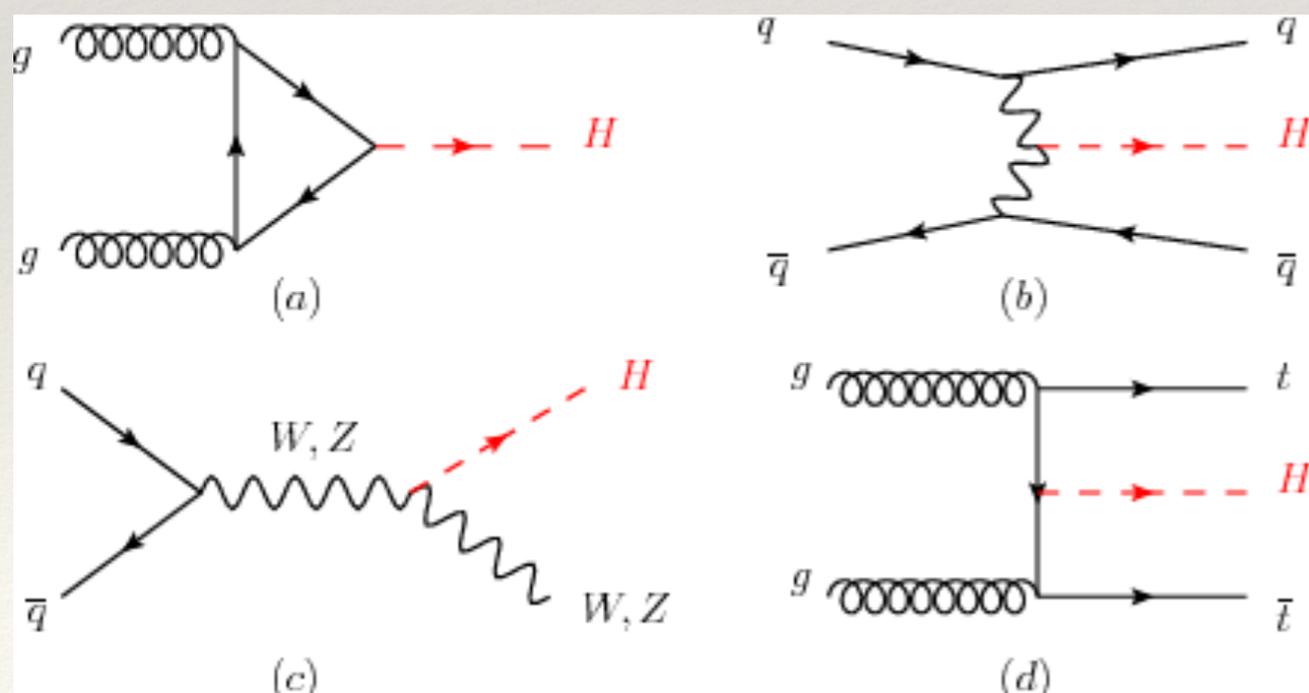
ASPEN, Colo. — Signaling a likely end to one of the longest, most expensive searches in the history of science, physicists said Wednesday that they had discovered a new subatomic particle



# Studio delle proprietà del bosone di Higgs

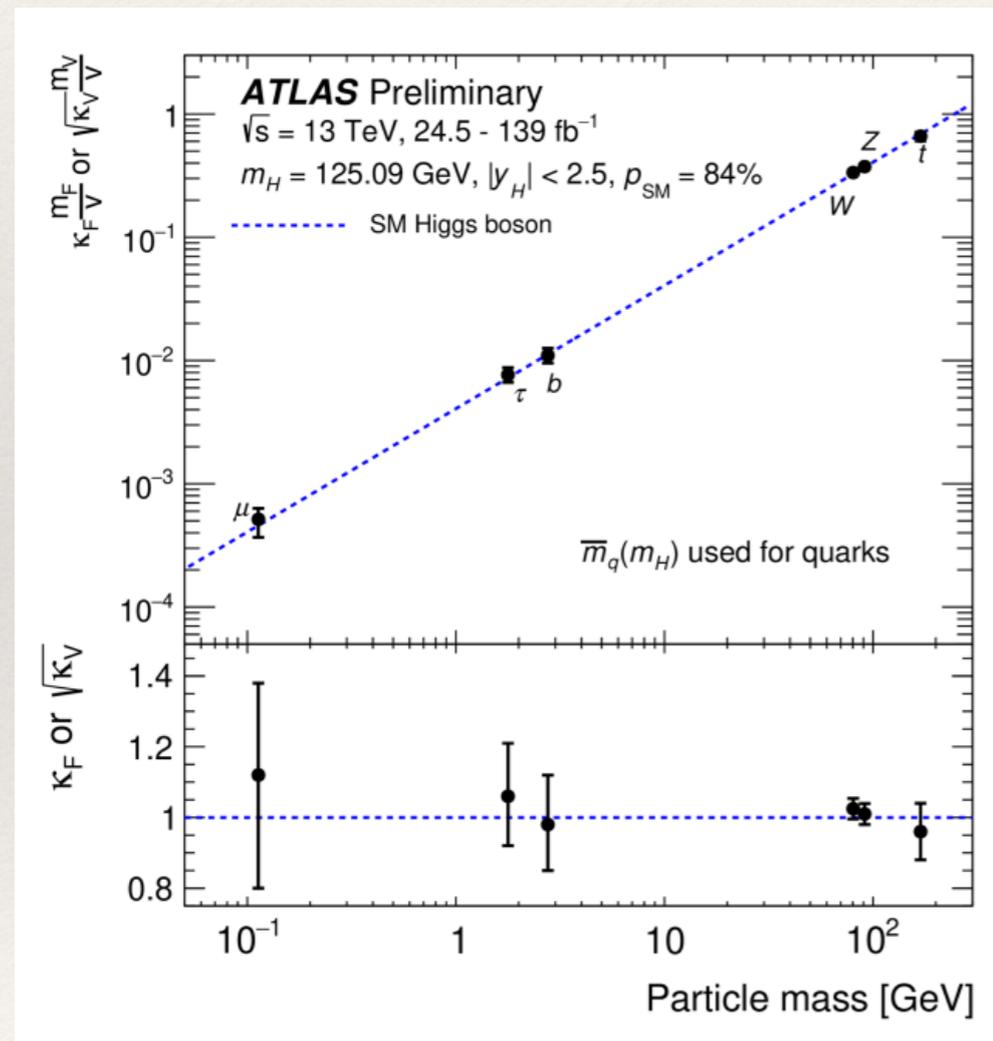
Dopo la scoperta del bosone di Higgs,  
gli esperimenti ATLAS e CMS hanno avviato un vasto programma di  
studio delle sue caratteristiche per verificare se tutte le osservazioni sperimentali  
riguardo al suo comportamento sono compatibili  
con quanto previsto dal Modello Standard

→ Si studiano gli accoppiamenti del bosone di Higgs con altre particelle tramite la misura delle  
sezioni d'urto (probabilità) di produzione e delle frazioni di decadimento in vari canali



# Studio delle proprietà del bosone di Higgs

Fino ad ora tutte le misure degli accoppiamenti del bosone di Higgs sono in accordo con le previsioni del Modello Standard



Alcune di queste misure hanno ancora incertezze grandi che devono essere ridotte per testare la compatibilità con il Modello Standard con maggiore precisione

Gli accoppiamenti con alcune particelle non sono ancora stati misurati a causa della rarità dei processi e delle difficoltà sperimentali

C'è ancora molto da fare!

Ricerca di nuove particelle

# Ricerca di nuove particelle

Il Modello Standard,  
è il modello che al momento descrive al meglio della nostra conoscenza  
la fisica delle particelle elementari  
(tutte le misure sperimentali sono in accordo con le previsioni del modello)

**Sappiamo però che il Modello Standard non è un modello completo!**

- L'interazione gravitazionale e il suo mediatore non sono inclusi nel modello
- La materia oscura e le sue interazioni non sono incluse nel modello

→ Gli esperimenti a LHC ricercano nuove particelle che possano essere possibili mediatori dell'interazione gravitazionale o possibili particelle di materia oscura per verificarne la possibile esistenza e studiarne le caratteristiche



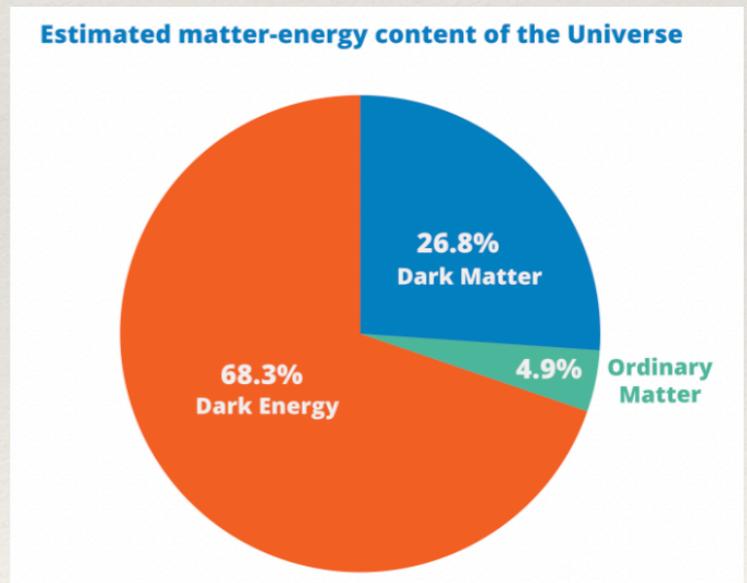
# Materia Oscura



Osservazioni sperimentali in ambito astrofisico indicano che ci deve essere una grossa quantità di materia in più rispetto a quella che osserviamo (ad esempio per giustificare la velocità di rotazione delle galassie)

Si ipotizza la presenza di Materia Oscura, ovvero **materia che non interagisce elettromagneticamente** e quindi non si vede

Dalle osservazioni sperimentali si stima che la Materia Oscura (e l'energia oscura) sia circa il 95% di tutta la materia dell'universo!

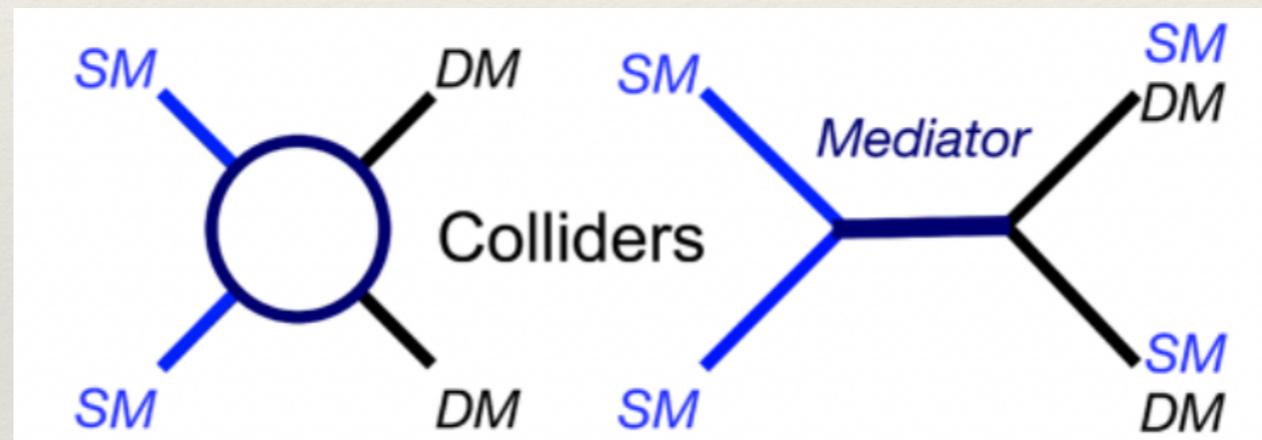


**La natura della materia oscura è ancora sconosciuta!**

# Ricerca di materia oscura

Ad LHC cerchiamo la materia oscura assumendo che possa essere prodotta nelle collisioni p-p

Diversi modelli prevedono diversi comportamenti della materia oscura e diversi tipi di interazione con la materia ordinaria, quindi diversi possibili modi di produzione all'LHC



Partendo da particelle del Modello Standard, possiamo produrre particelle di Materia Oscura tramite annichilazione o tramite l'interazione con un nuovo mediatore

# Ricerca di materia oscura

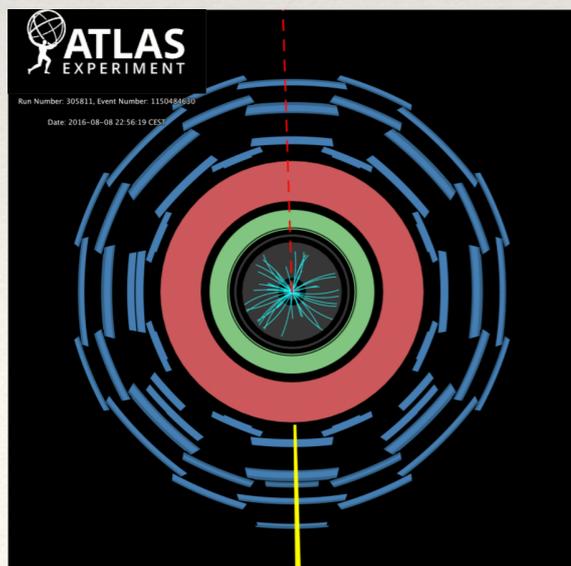
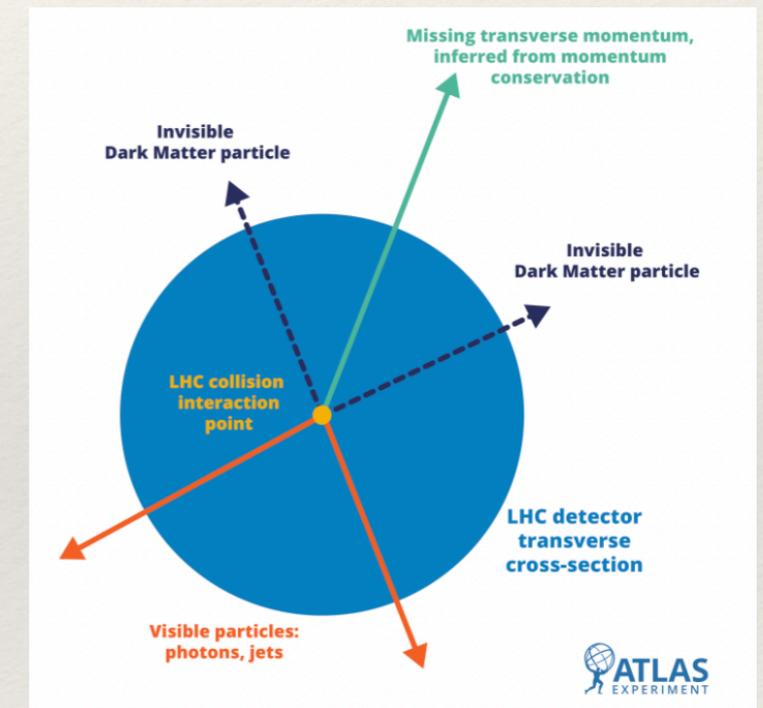
Se viene prodotta, come la osserviamo nei nostri rivelatori?

La materia oscura interagisce molto poco con la materia ordinaria, quindi con la materia dei nostri rivelatori

→ la osserviamo indirettamente tramite la misura di “energia (trasversa) mancante”

Applichiamo il principio di conservazione dell’energia: nelle collisioni p-p l’energia iniziale nel piano trasverso, quindi deve essere zero anche dopo la collisione

→ se l’energia trasversa misurata nel rivelatore non è zero, significa che la parte mancante è stata acquisita da una particella che non è stata osservata nel rivelatore



Evento con un fotone e energia trasversa mancante per bilanciare l’energia trasversa del fotone

→ cerchiamo un eccesso di questo tipo di eventi con energia trasversa mancante rispetto agli eventi attesi dai processi del Modello Standard

# Sviluppo tecnologico

Al CERN fisici, ingegneri e tecnici, sviluppano continuamente nuova tecnologia necessaria per portare avanti il programma di ricerca di fisica fondamentale del CERN

Per poter migliorare le nostre misure abbiamo bisogno di strumenti potenti che non sono disponibili sul mercato quindi li sviluppiamo all'interno del CERN

Molti di questi strumenti si rivelano poi molto utili anche per la società, ad esempio al CERN sono stati inventati e sviluppati:

Touch screen negli anni '70



PET scanner negli anni '80



World Wide Web nel 1990



Grazie per l'attenzione!  
Domande?