

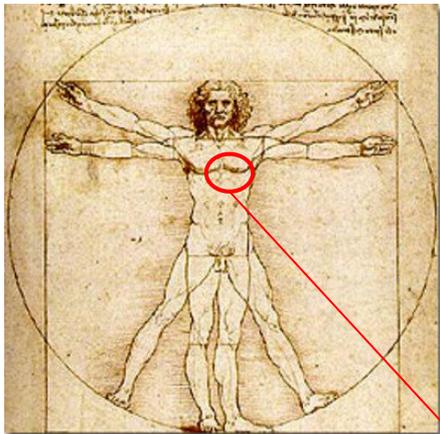
# IL BOSONE DI HIGGS E LA MASSA DELLE PARTICELLE

Marco Vanadia 29/09/2023  
"Alla scoperta del bosone di Higgs"  
Università di Roma Tor Vergata



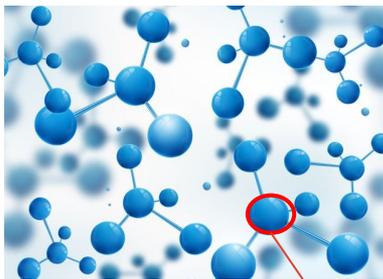
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
SEZIONE DI ROMA TOR VERGATA

~1 metro

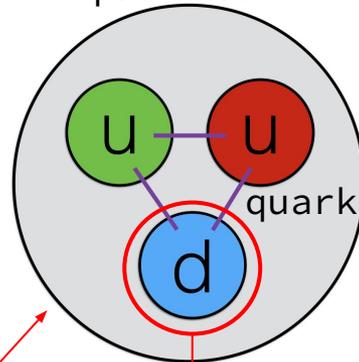


molecole

~1 miliardesimo di metro



protone

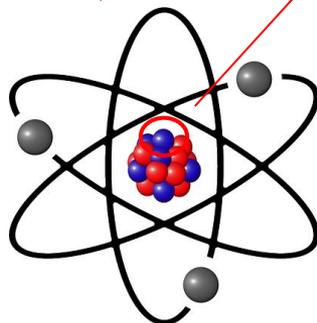


~1 milionesimo di miliardesimo di metro



cellule

~10 milionesimi di metro



atomi:

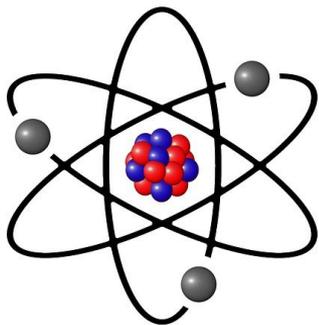
- elettroni ~0.1 miliardesimo di metro
- neutroni miliardesimo di metro
- protoni miliardesimo di metro



DI COSA E' FATTO IL MONDO?

Atomo:

- elettroni (-)
- protoni (+)
- neutroni



La differenza tra gli elementi è nel numero di protoni

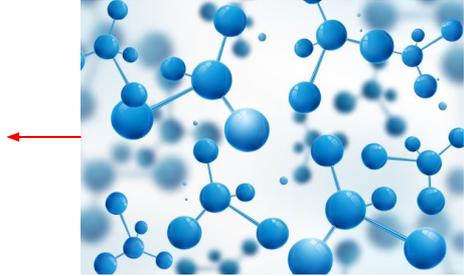
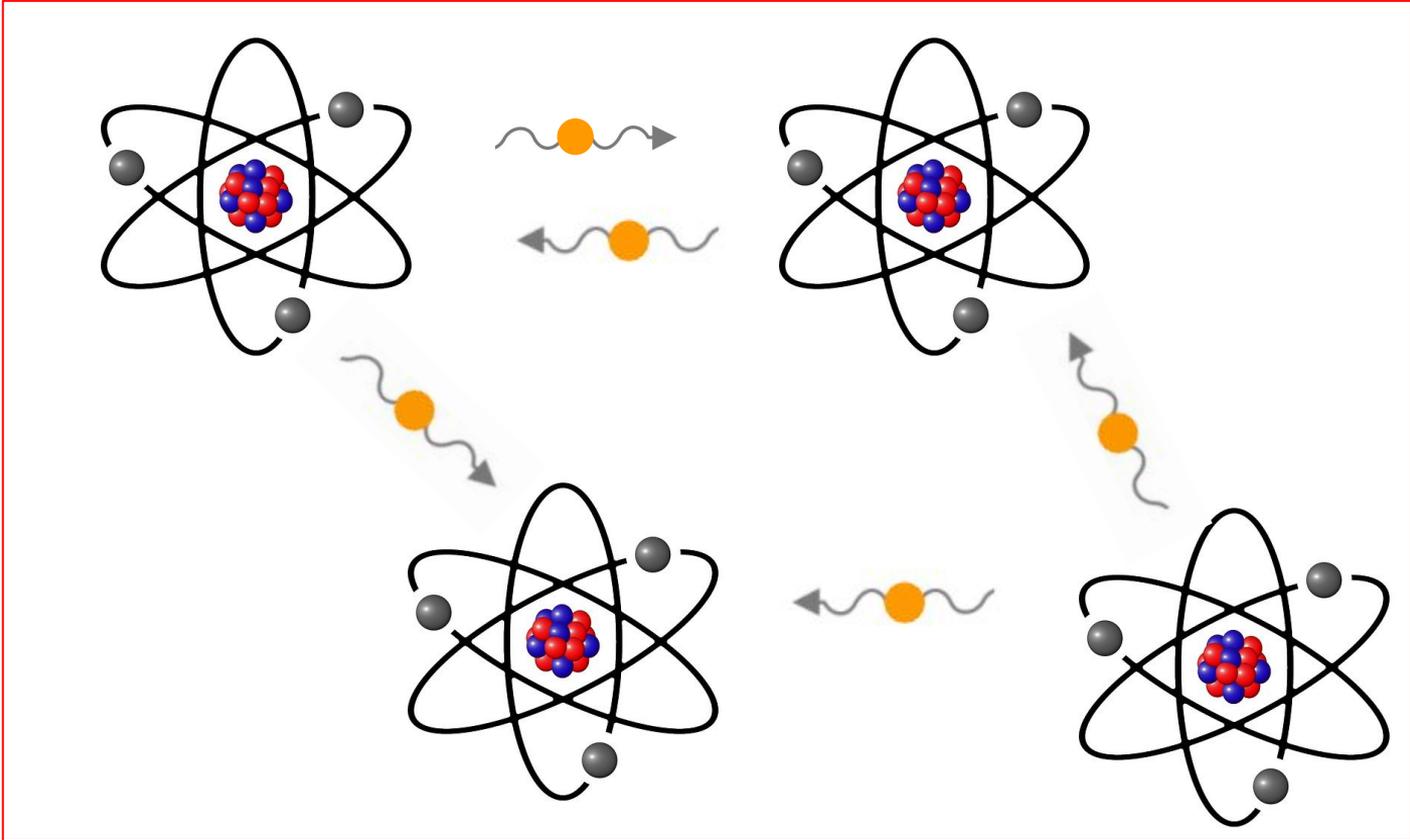
- Prendo un certo numero di protoni (per es. 8)
- Aggiungo dei neutroni nel nucleo per renderlo stabile (8 in questo es.)
- Aggiungo elettroni per rendere l'atomo neutro (ancora 8 nell'es.)

Ho ottenuto un elemento: l'ossigeno!

Periodic table of the elements

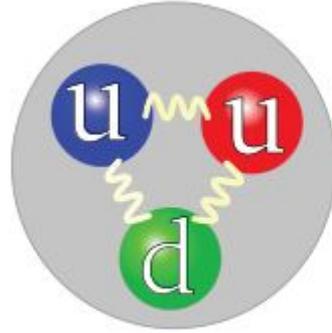
		Alkali metals										Halogens								
		Alkaline-earth metals										Noble gases								
		Transition metals										Rare-earth elements (21, 39, 57-71) and lanthanoid elements (57-71 only)								
		Other metals										Actinoid elements								
		Other nonmetals																		
group	1*																	18		
period	1	1																	2	
1		H																	He	
2		Li	Be																	
3		Na	Mg																	
4		K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5		Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6		Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7		Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	
lanthanoid series		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71					
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
actinoid series		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103					
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr					

\*Numbering system adopted by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). © Encyclopædia Britannica, Inc.

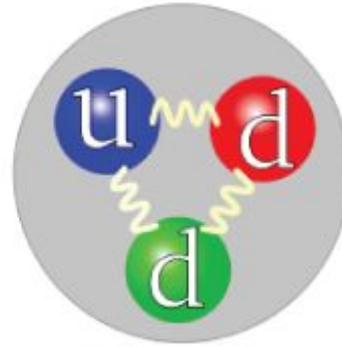


Abbiamo per ora 3 ingredienti per la materia (protoni, neutroni, elettroni) e una interazione, l'elettromagnetismo, mediata dai fotoni.

# I QUARK



Proton



Neutron

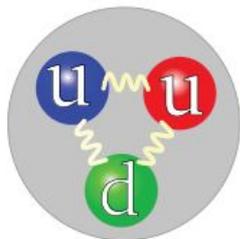
Studiando protoni e neutroni, gli scienziati hanno scoperto che sono stati legati di componenti ancora più fondamentali: i quark!

Due tipi di quark: UP e DOWN.

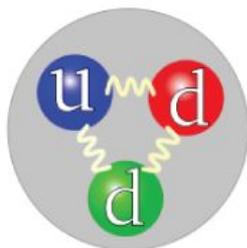
2 UP + 1 DOWN = PROTONE

1 UP + 2 DOWN = NEUTRONE

# NUOVE INTERAZIONI: FORTE E DEBOLE



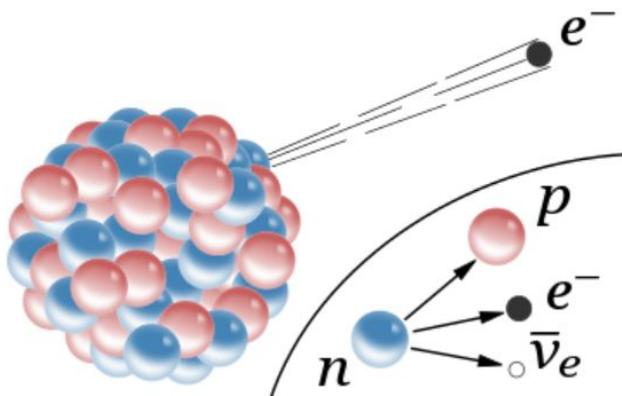
Proton



Neutron

**Interazione forte:** avviene tra quark, e ad esempio li tiene uniti dentro il protone e il neutrone.

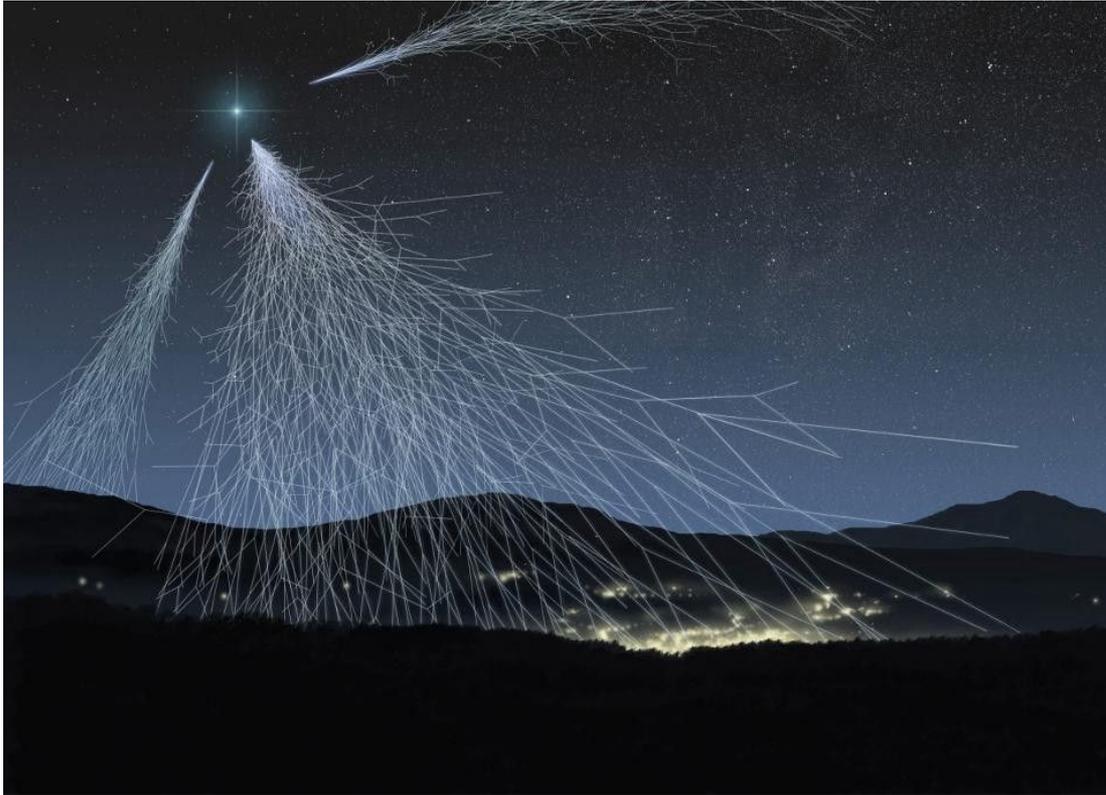
Ha bisogno di una particella mediatrice: il **gluone!**



**Interazione debole:** trasforma alcuni elementi (radioattivi) in altri.

Ha bisogno di due particelle mediatrici: **W** e **Z**. Studiando questi casi si sono scoperte altre particelle, molto difficili da vedere: i **neutrini!**

# UNA FAMIGLIA MOLTO ALLARGATA

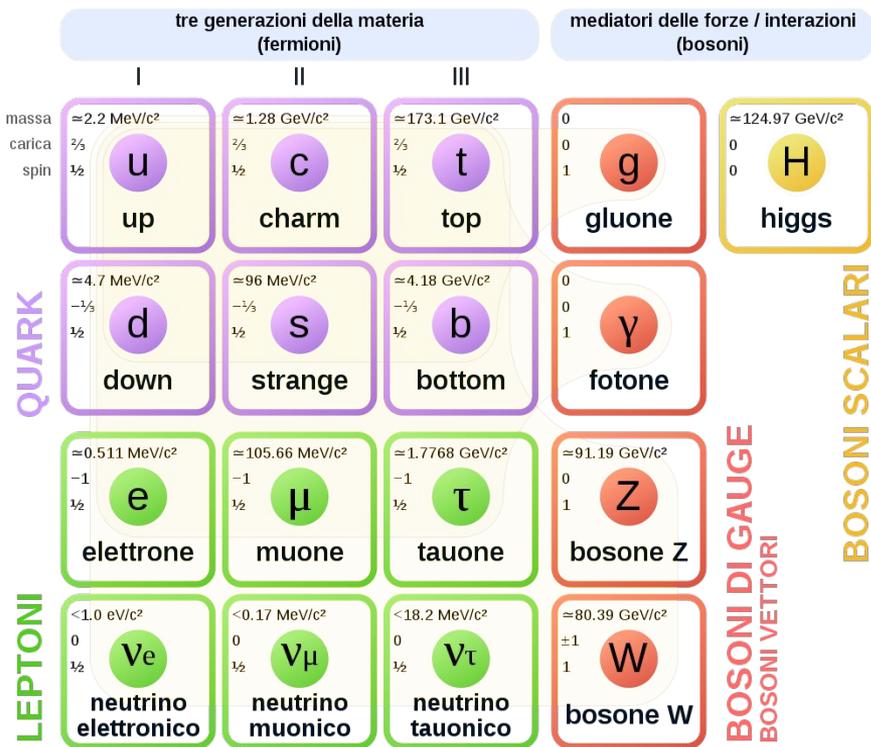


Studiando particelle che vengono dall'Universo, che producono sciami di altre particelle nell'atmosfera, ci si è accorti che esistono delle **particelle "replica"**:

ad esempio il **muone**, molto simile all'**eletttrone** ma circa 2000 volte più pesante!

# IL MODELLO STANDARD DELLA FISICA DELLE PARTICELLE

## Modello Standard delle Particelle Elementari



Mettendo tutto insieme, abbiamo:

- i quark UP e DOWN e le loro “copie” più pesanti
- l’elettrone e il suo neutrino, di nuovo con le loro “copie”
- le particelle mediatrici:
  - fotone → elettromagnetismo
  - gluone → interazione forte
  - W e Z → interazione debole

**Ma perché alcune particelle sono più pesanti di altre? Che cosa è la massa di una particella? Da dove ha origine?**

Per rispondere devo aggiungere un ultimo ingrediente: **il bosone di Higgs!**

# MASSA DI UNA PARTICELLA

Cosa vuol dire che una particella ha massa?

- che non può andare alla velocità della luce
- che più è grande la massa, più “fatica” devo fare per accelerarla

Nell'urto tra due particelle posso **creare particelle nuove**, trasformando l'**energia** dell'urto nella **massa** delle particelle nuove:

$$E=mc^2$$

Più è grande la massa di una particella, più è difficile produrla in una collisione...

# DA DOVE VIENE LA MASSA?

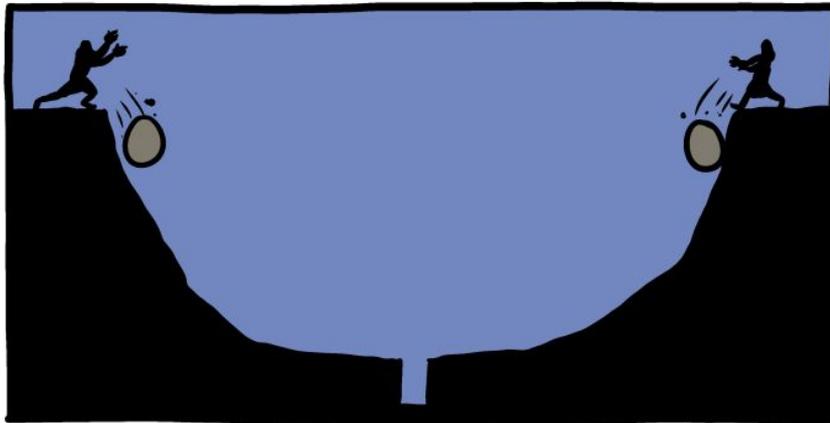
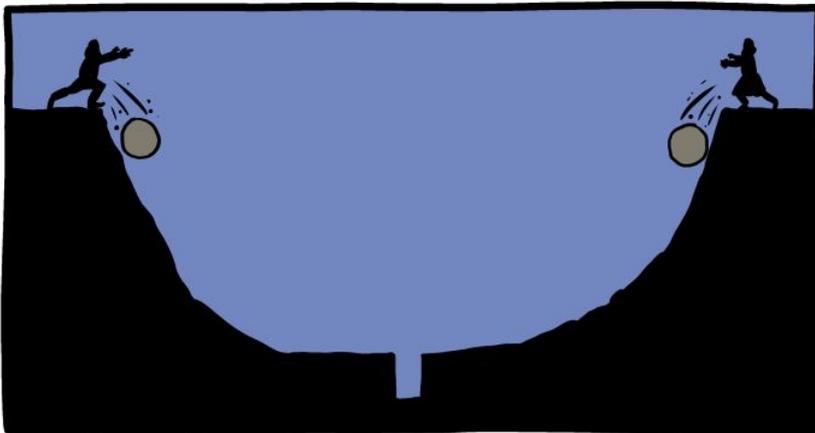
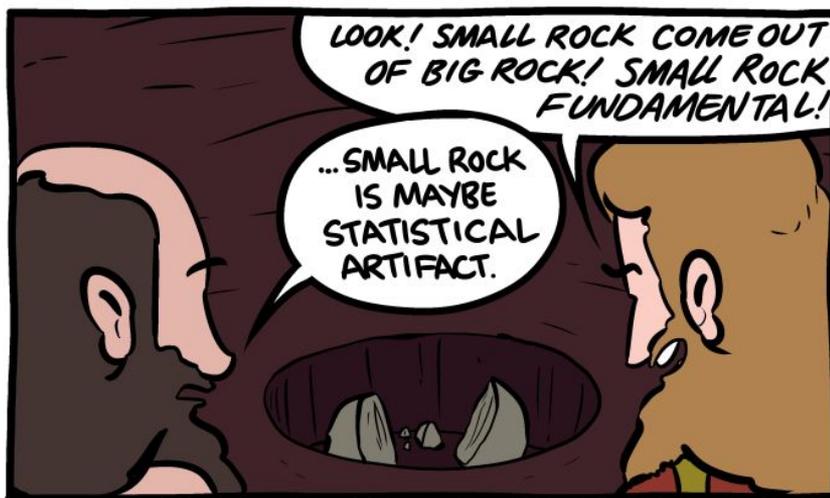
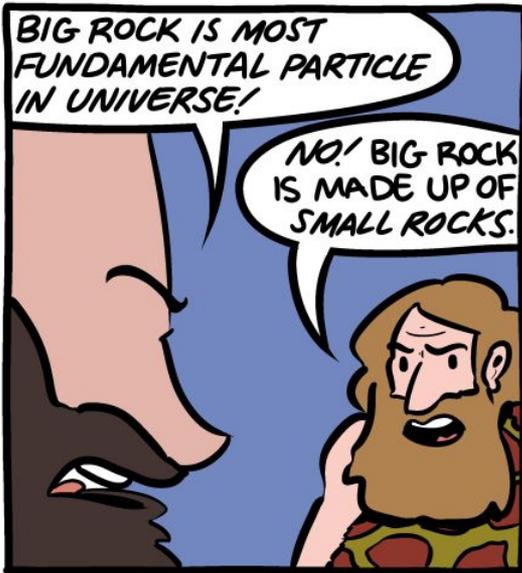


Negli anni '60 alcuni scienziati (tra cui Peter Higgs) ipotizzano l'esistenza del **bosone di Higgs**, una particella associata a un campo che permea tutto l'Universo e che "si attacca" alle altre particelle dando loro la massa...

Ad alcune di più, ad altre di meno.

Talmente importante da meritarsi il suo peluche!

**Ma come capisco se esiste davvero?  
Devo inventarmi un esperimento!**



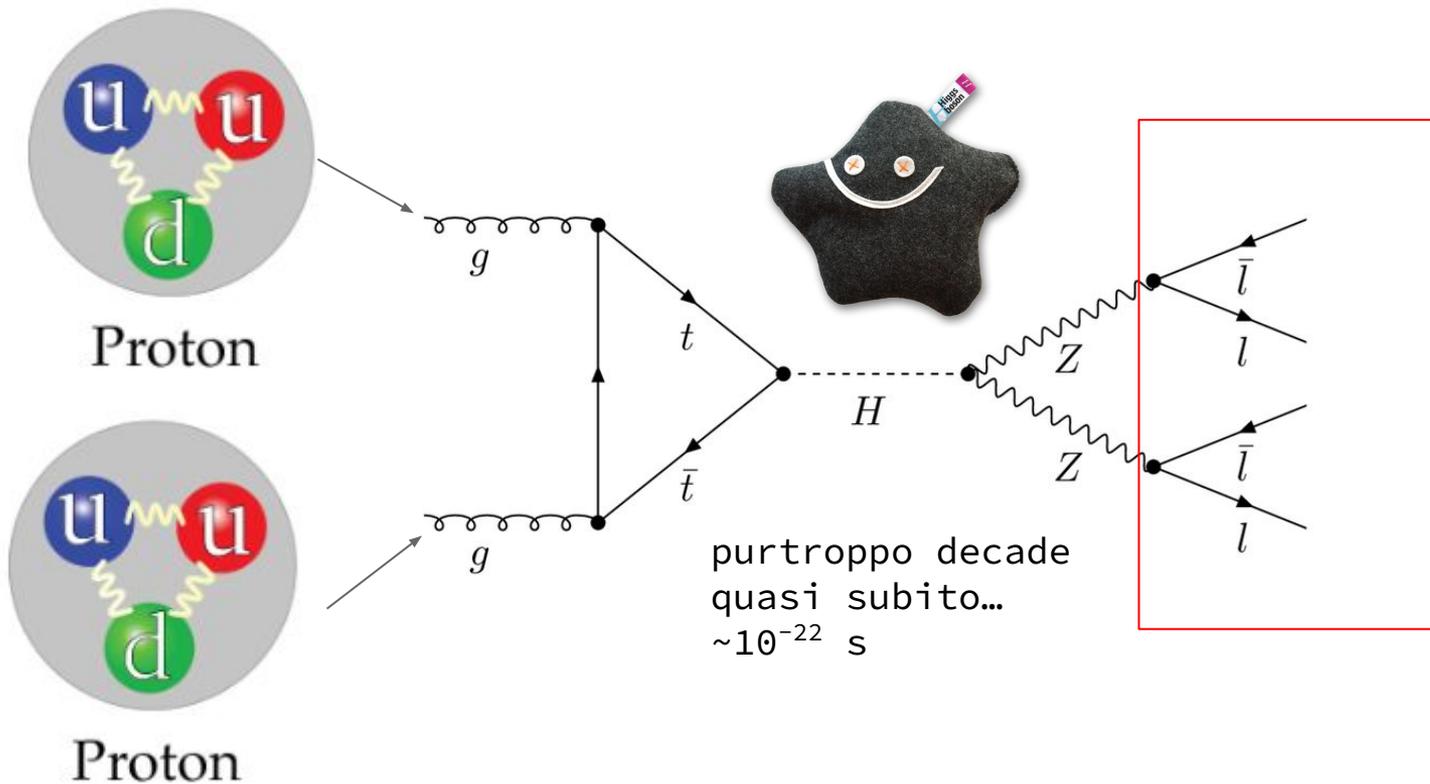
# IL LARGE HADRON COLLIDER

Se faccio **scontrare** due particelle con abbastanza **energia**, posso crearne di nuove.  
Forse posso ottenere dei bosoni di Higgs?



Prendo l'idrogeno (protone+elettrone), rimuovo l'elettrone..  
Ora ho i **protoni**, che accelero con **campi elettrici**, li faccio girare con un **campo magnetico** dentro due anelli di 27 km posti a 100 metri sottoterra.  
In alcuni punti li faccio scontrare e "scatto fotografie" della **collisione!**

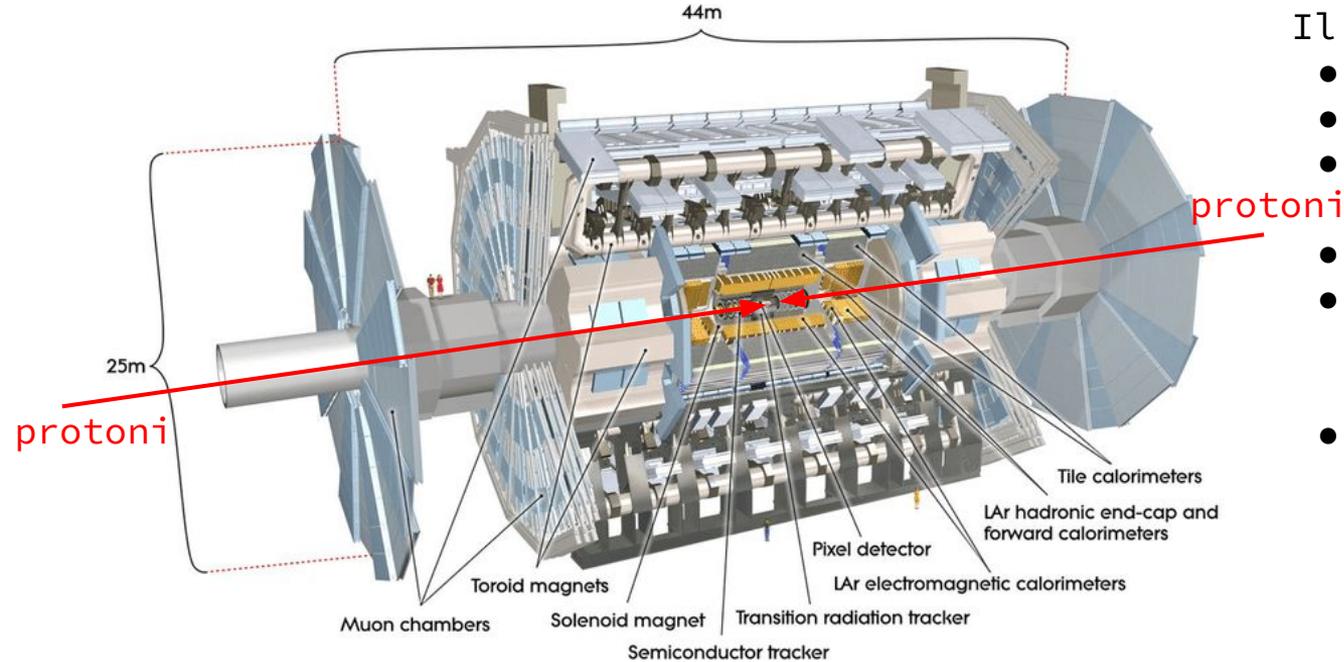
# COME PRODUCO IL BOSONE DI HIGGS?



Posso cercare le particelle “quasi” stabili che produce, i.e. che vivono abbastanza a lungo da lasciare segni visibili della loro presenza...

Ad esempio 4 muoni, o 2 fotoni, ...

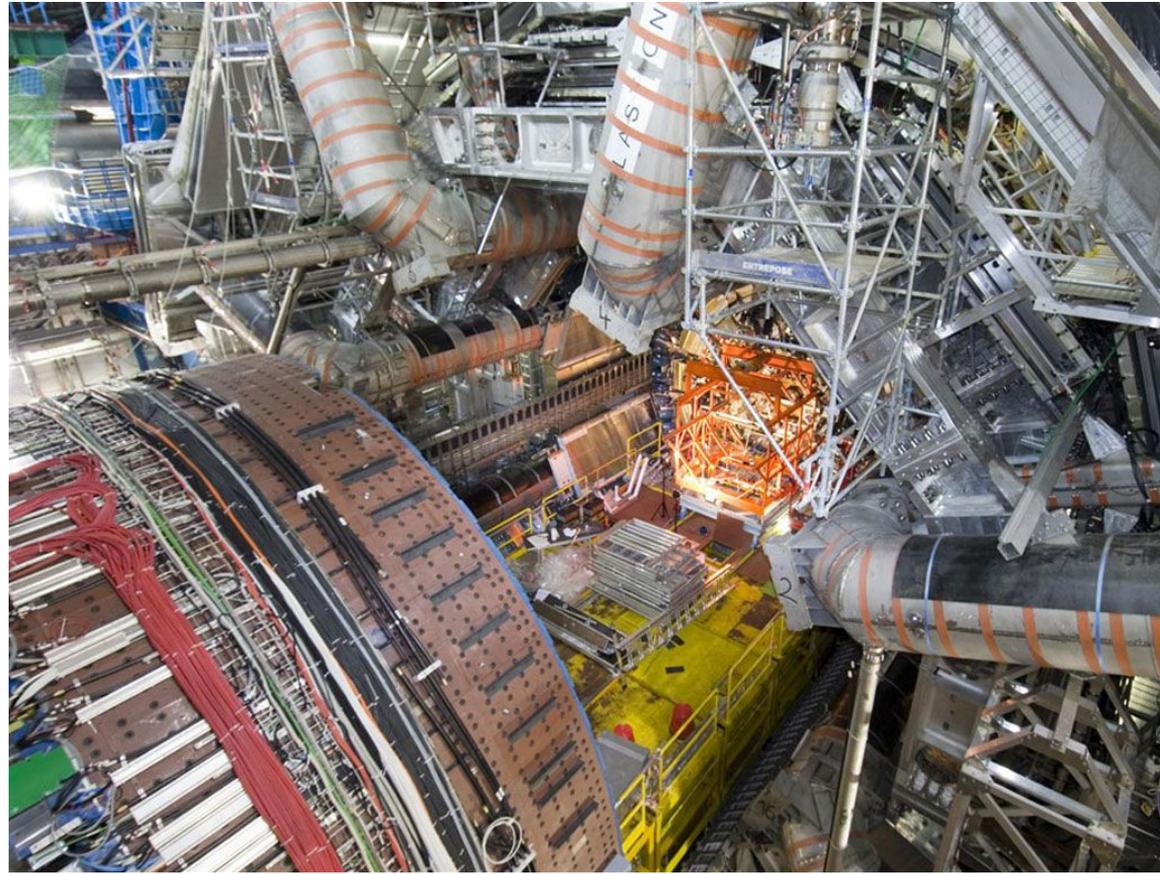
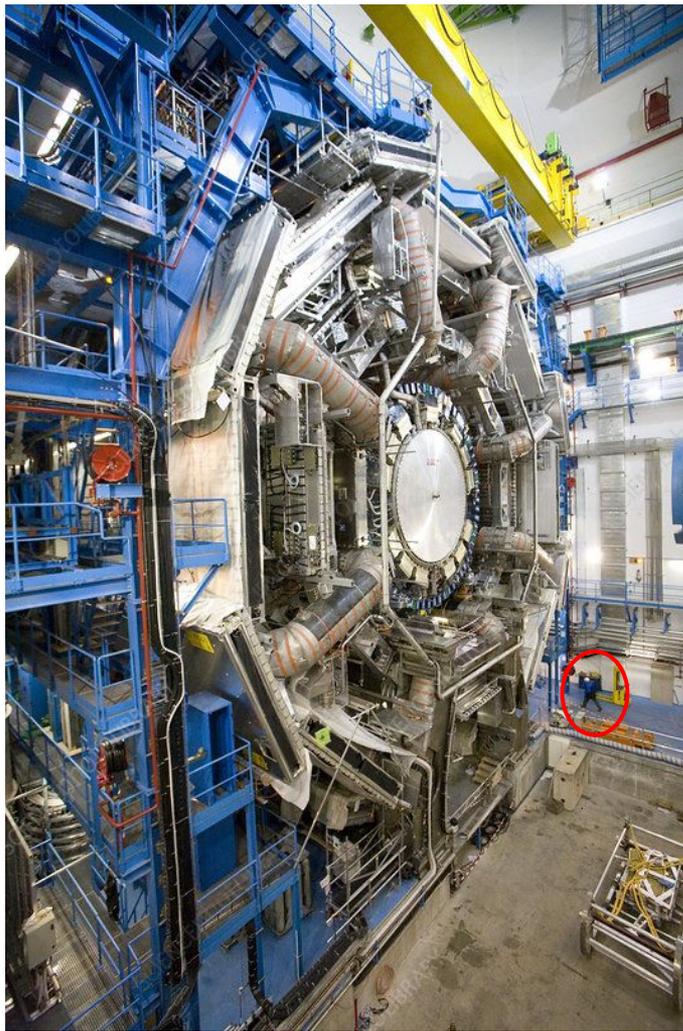
# I RIVELATORI: LE NOSTRE MACCHINE FOTOGRAFICHE!



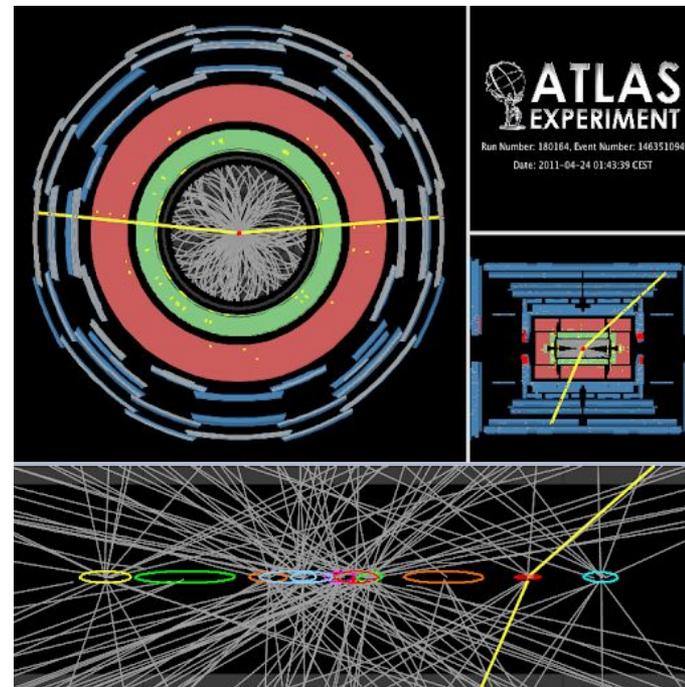
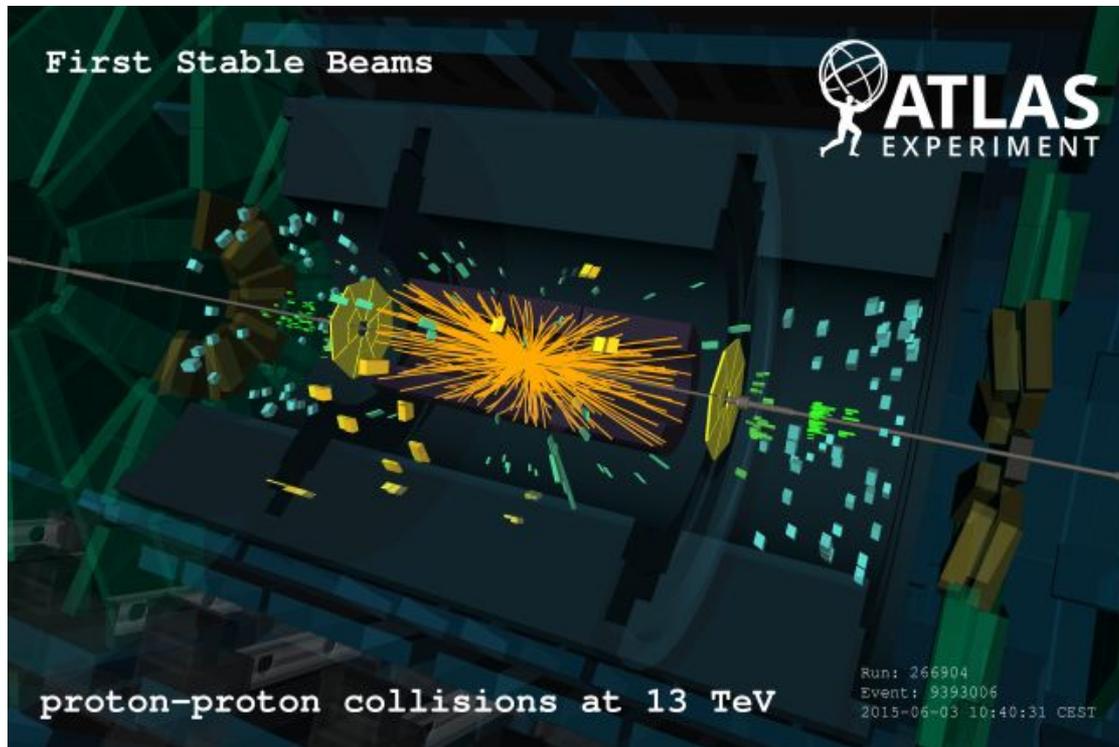
Il rivelatore ATLAS:

- 25 m x 44 m
- 7000 tonnellate
- 100 milioni di canali elettronici
- 3000 km di cavi
- I protoni si scontrano 40 milioni di volte al secondo
- ATLAS seleziona le “foto” più interessanti e ne salva circa 1000 al secondo!

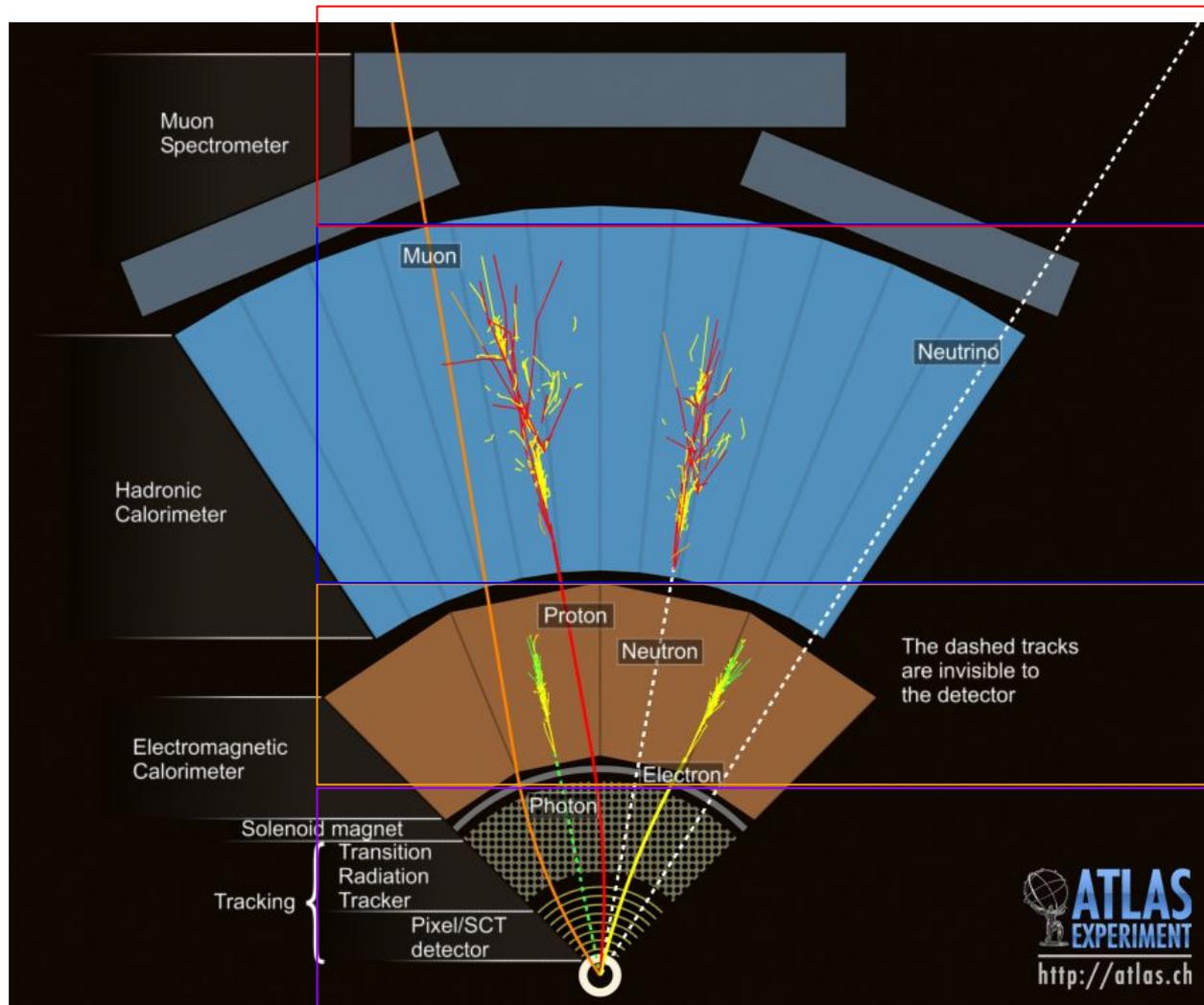
ALICE, ATLAS, CMS, LHCb e tanti altri esperimenti al CERN studiano le collisioni in tanti modi diversi, per capire di cosa è fatta e come funziona la materia!



Ogni **collisione** produce tantissime particelle, noi siamo interessati solo ad alcune di esse, come quelle prodotte da un bosone di Higgs



E' un po' come cercare un ago in un pagliaio... **riuscirò a trovare il bosone di Higgs** in mezzo a così tante particelle?



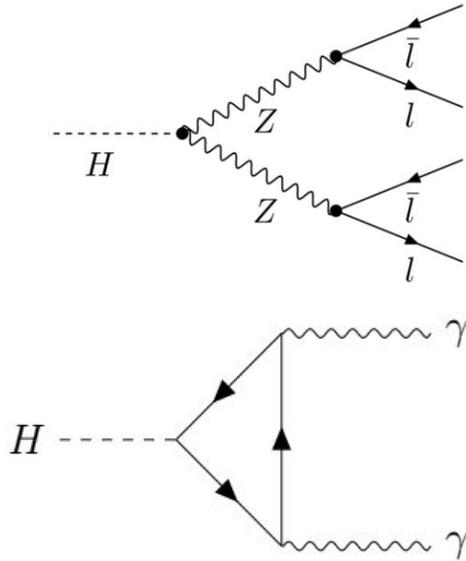
Spettrometro per muoni: è un grande tracciatore perché i muoni sono penetranti

Calorimetro adronico: misura quanta energia rilasciano protoni, neutroni, ...

Calorimetro EM: misura quanta energia rilasciano elettroni e fotoni

Tracciatore: misura quanto curvano particelle cariche in campo magnetico

# ELETTRONI E FOTONI



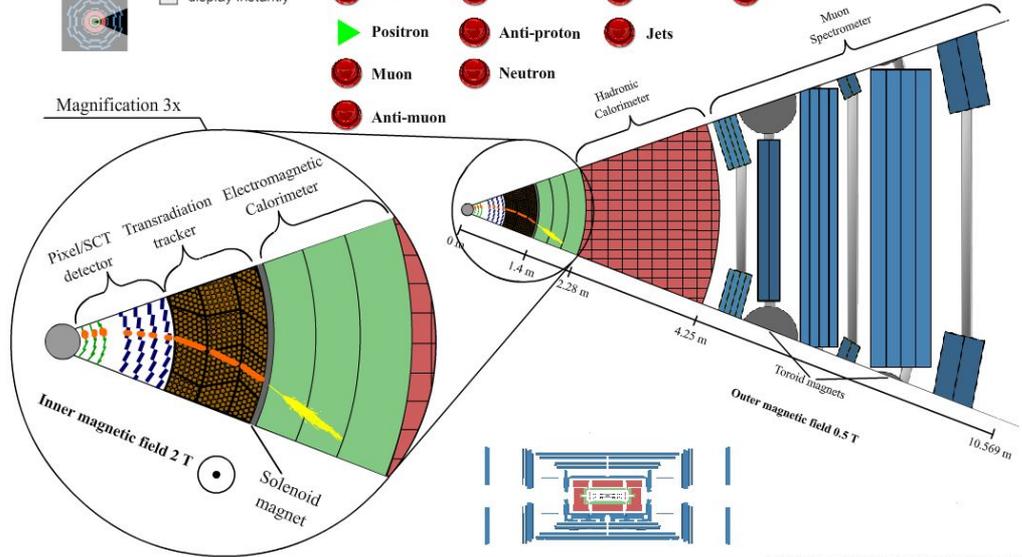
## ATLAS



display instantly

- Electron
- Proton
- Neutrino
- Photon
- ▶ Positron
- Anti-proton
- Jets
- Muon
- Neutron
- Anti-muon

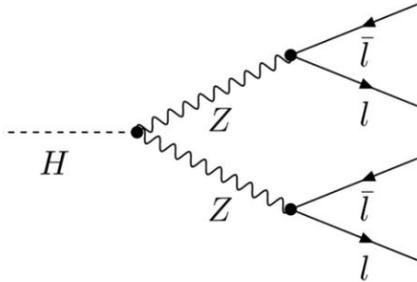
Magnification 3x



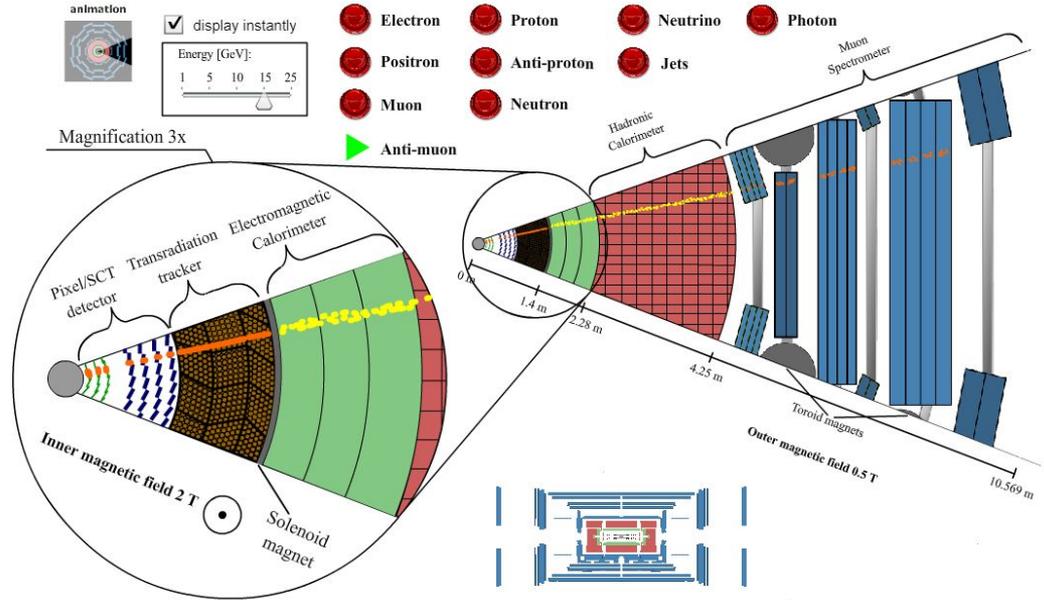
Created by T. Herrmann, O. Jeřábek, K. Jende, M. Kobel

# MUONI

used also for trigger



## ATLAS

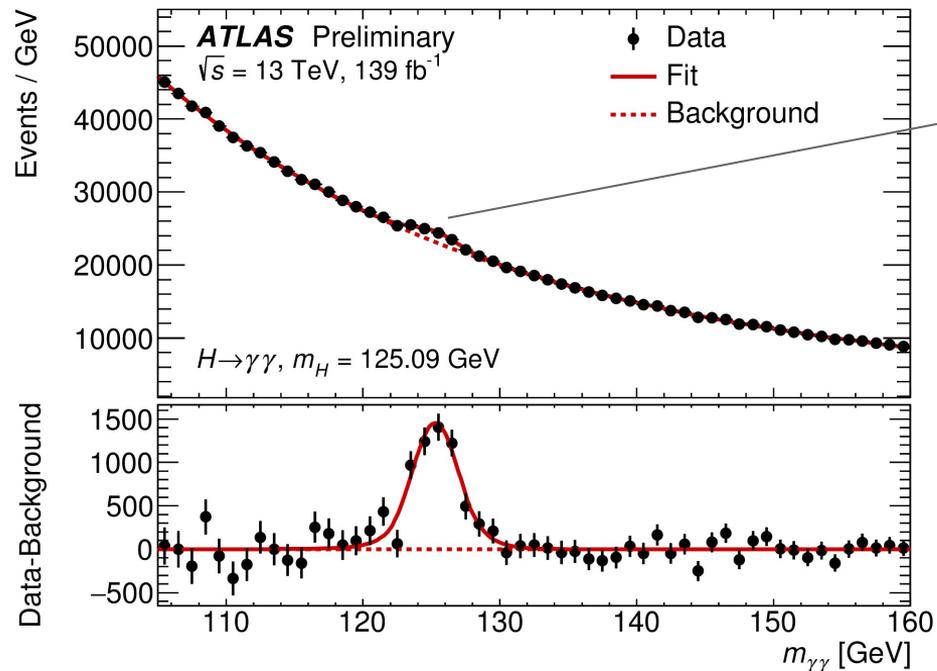


Created by T. Herrmann, O. Jefáček, K. Jende, M. Kobel

Signature: isolated track in Inner Detector + track in Muon Spectrometer

Il bosone di Higgs può produrre due fotoni, ma questi possono essere prodotti anche in tanti altri modi.

Allora non solo devo trovare collisioni in cui vengono prodotti i due fotoni, ma devo contare quanto spesso succede...



Se il bosone di Higgs non esiste, mi aspetto di trovare un certo numero di fotoni... e invece ne trovo un po' di più!



La differenza è piccola, ma ci fa capire da dove viene la massa delle particelle nel nostro Universo... **una differenza da Nobel!**

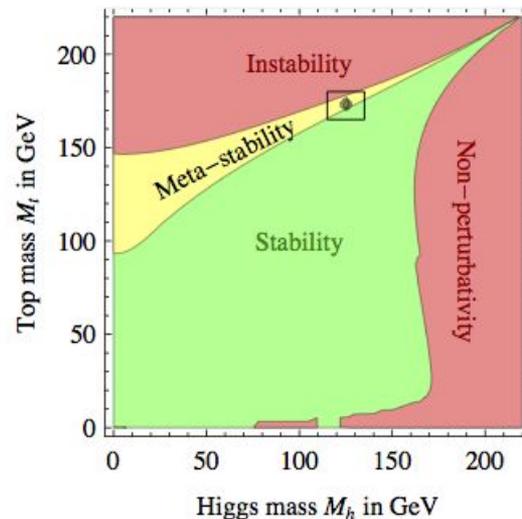
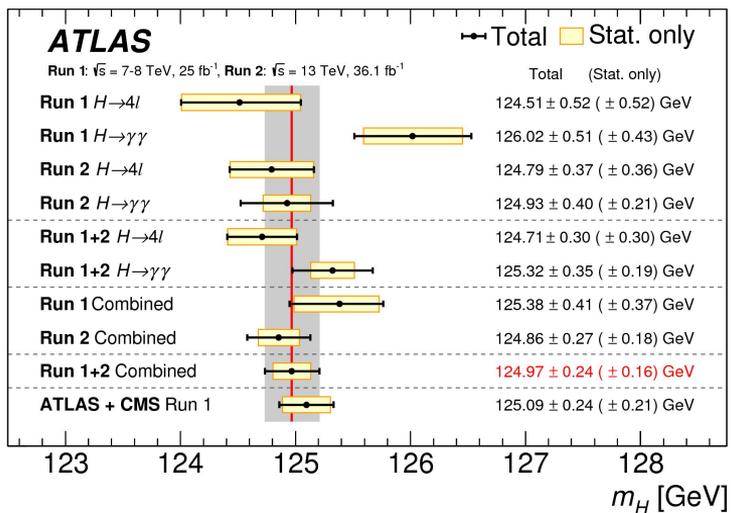
Nel 2012 ATLAS e CMS scoprono il bosone di Higgs... e lui festeggia insieme a Fabiola Gianotti!

# È UNA VOLTA CHE HO SCOPERTO IL BOSONE DI HIGGS?

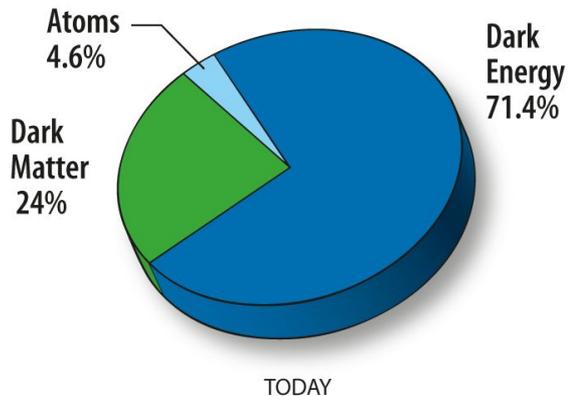
Il bosone di Higgs controlla i meccanismi più fondamentali del nostro Modello Standard...

Devo misurare con precisione le sue proprietà per capire l'Universo.

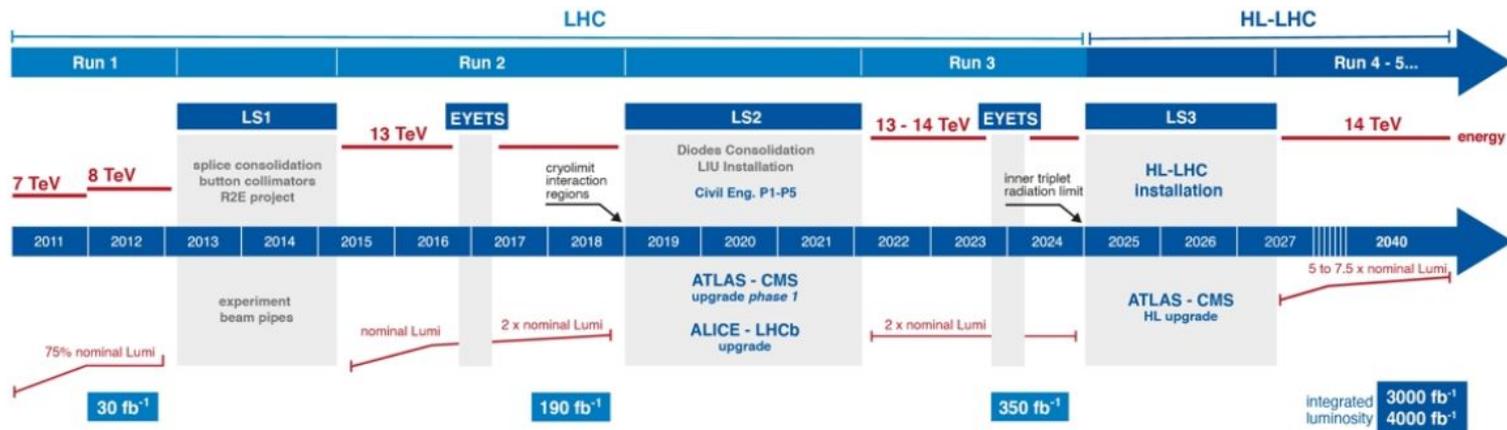
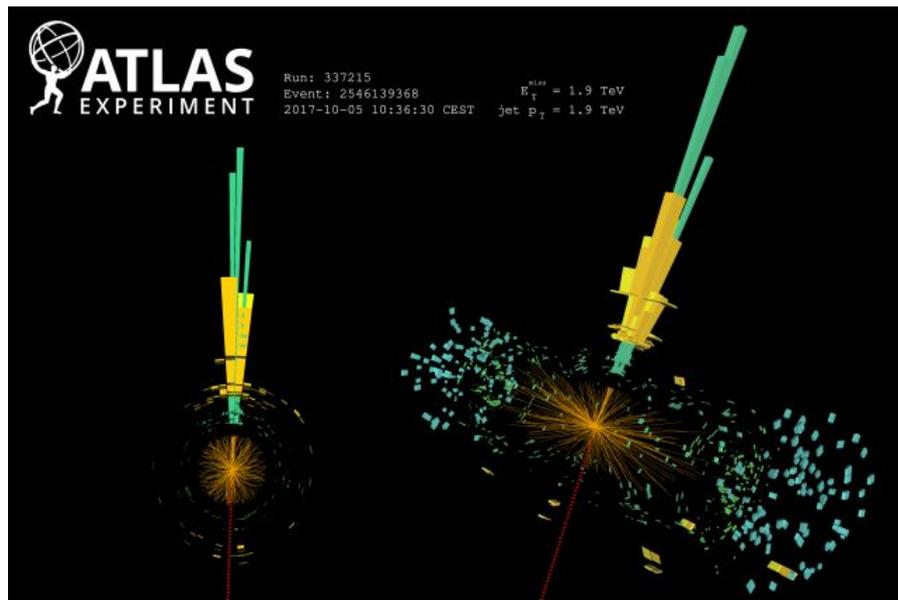
E cercare se ci sono sorprese: ad esempio, ci sono altri bosoni di Higgs?



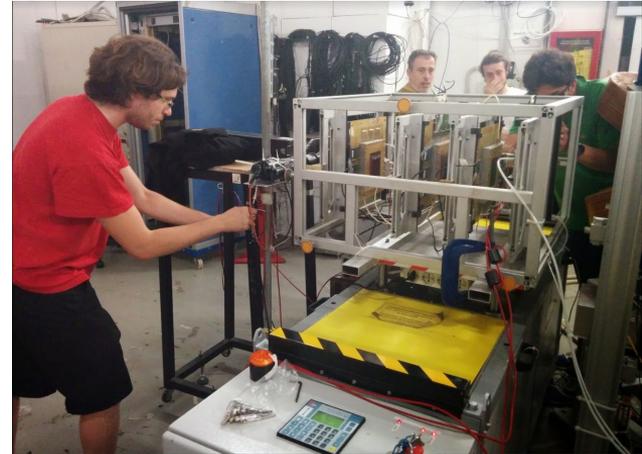
# CI SONO ANCORA TANTISSIME COSE DA CAPIRE...



WMAP



# E TANTISSIMO LAVORO DA FARE...



# PER SAPERNE DI PIU'

- Siti: [CERN](#), [ALICE](#), [ATLAS](#), [CMS](#), [LHCb](#)
- Sito dedicato all'outreach dell'INFN: [link](#)
- Canali youtube: [INFN](#), [CERN](#), [ALICE](#), [ATLAS](#), [CMS](#), [LHCb](#)
  - ma li trovate praticamente su ogni canale social possibile...
- Tante iniziative del [dipartimento di Fisica](#) e della [sezione INFN di Roma Tor Vergata](#)
  - tra cui le masterclass, per diventare fisici delle particelle per un giorno!
- Scrivetemi una mail a [marco.vanadia@roma2.infn.it](mailto:marco.vanadia@roma2.infn.it) per qualunque informazione o curiosità!



Per chi fosse interessato, stasera e domani sera saremo all Città dell'Altra Economia (ex-mattatoio) a Testaccio insieme a tanti altri stand per parlare ancora di Scienza!

[Notte europea dei ricercatori](#)

BACKUP