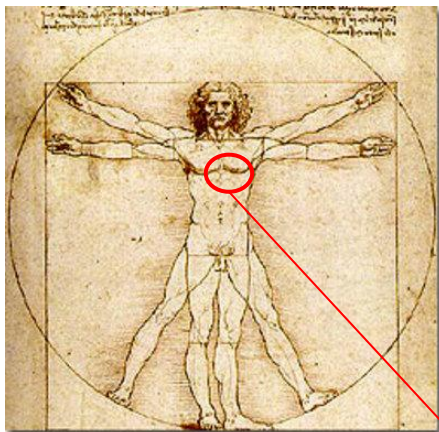


IL BOSONE DI HIGGS E LA MASSA DELLE PARTICELLE

Umberto De Sanctis e Marco Vanadia 01/10/2025
"Alla scoperta del bosone di Higgs"
Università di Roma Tor Vergata

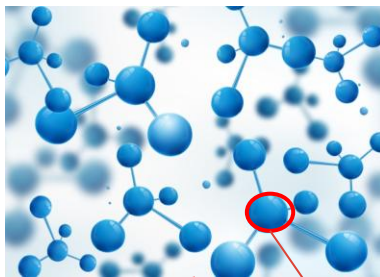


~1 metro

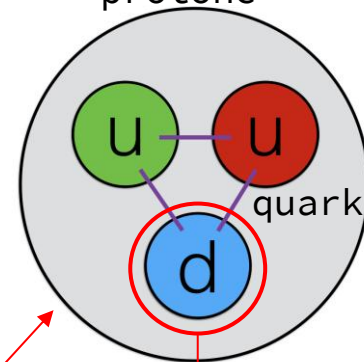


molecole

~1 miliardesimo
di metro



protone

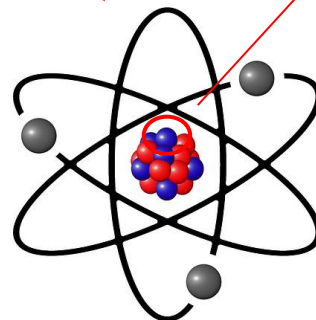


~1 milionesimo
di miliardesimo
di metro



cellule

~10 milionesimi
di metro



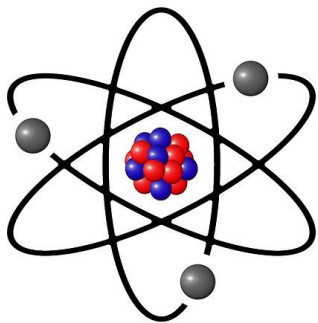
atomi:

- elettroni ~0.1
- neutroni miliardesimo
- protoni di metro

?

DI COSA E' FATTO IL MONDO?

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



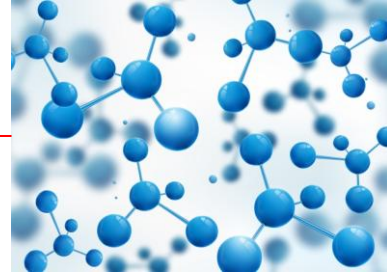
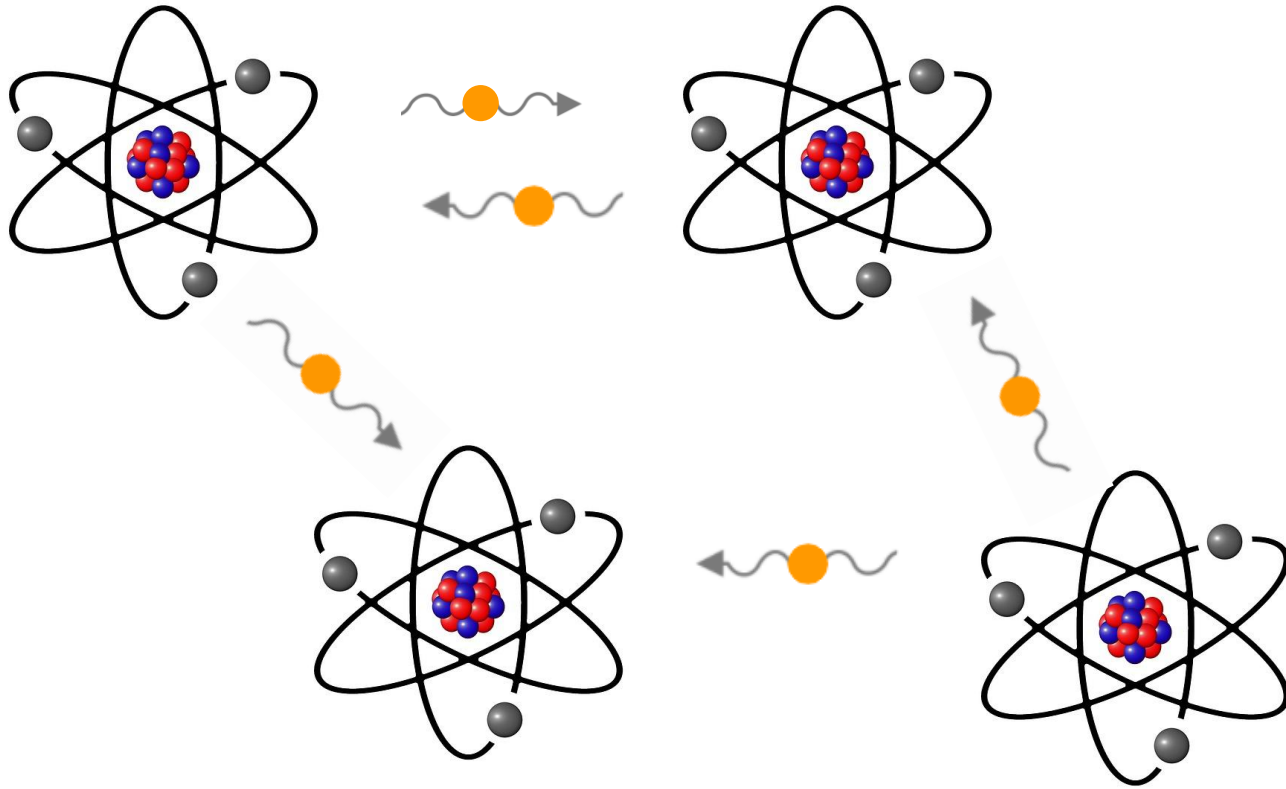
La differenza tra gli elementi è nel numero di protoni

- 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!

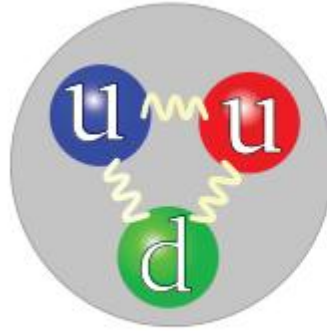
period	group 1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H	2																2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
lanthanoid series	6	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
actinoid series	7	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

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

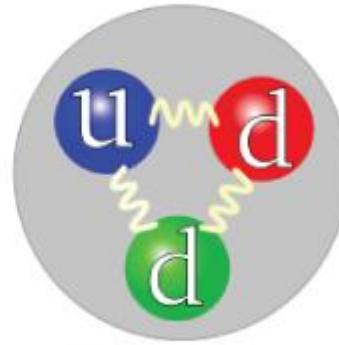


Abbiamo per ora 3 ingredienti per la materia (**protoni**, **neutroni**, elettroni) e una interazione, l'elettromagnetismo, mediata dai **fotoni**.

I QUARK



Proton



Neutron

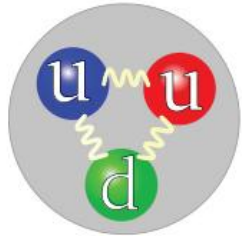
Studiando protoni e neutroni, gli scienziati hanno scoperto che sono stati legati di componenti ancora più fondamentali: i quark!

Due tipi di quark: UP e DOWN.

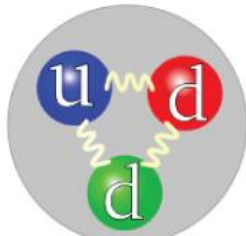
2 UP + 1 DOWN = PROTONE

1 UP + 2 DOWN = NEUTRONE

NUOVE INTERAZIONI: FORTE E DEBOLE



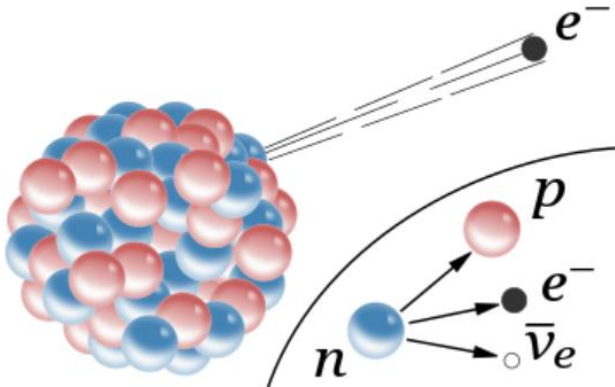
Proton



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

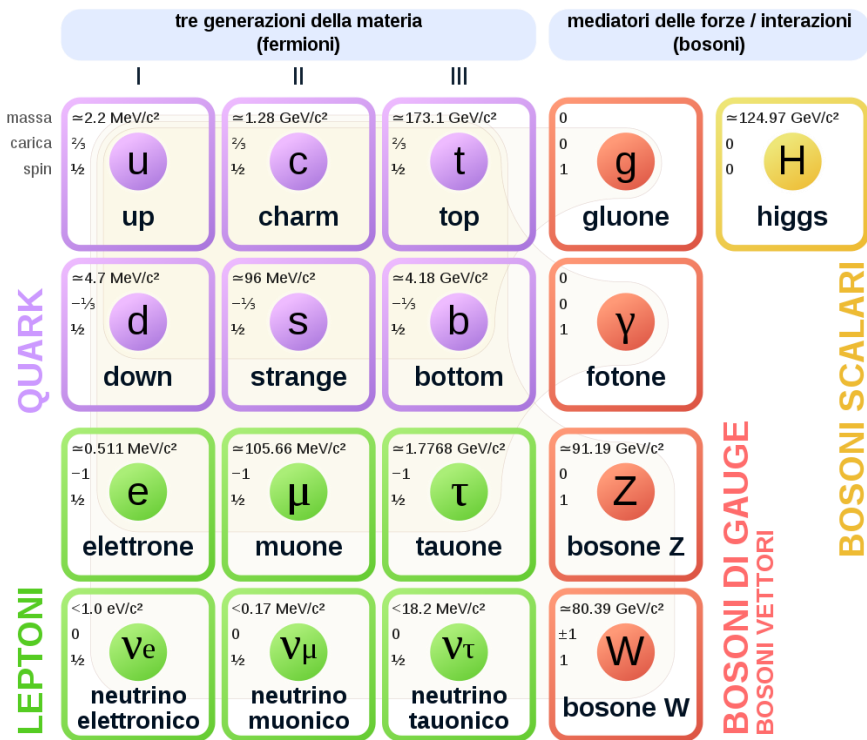


Studiando particelle che vengono dall'Universo, che producono sciame di altri particelle nell'atmosfera, ci si è accorti che esistono delle **particelle “replica”**:

ad esempio il **muone**, molto simile all'**elettone** 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 $\rightarrow$ elettromagnetismo
 - gluone $\rightarrow$ interazione forte
 - W e Z $\rightarrow$ 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:

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

$$E=mc^2$$

DA DOVE VIENE LA MASSA?

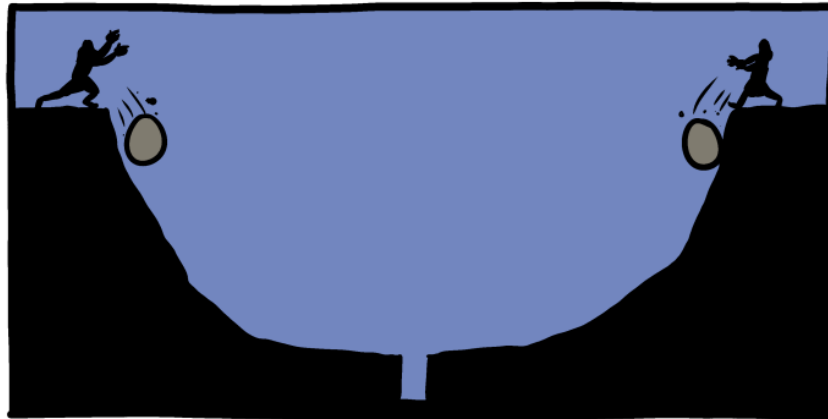
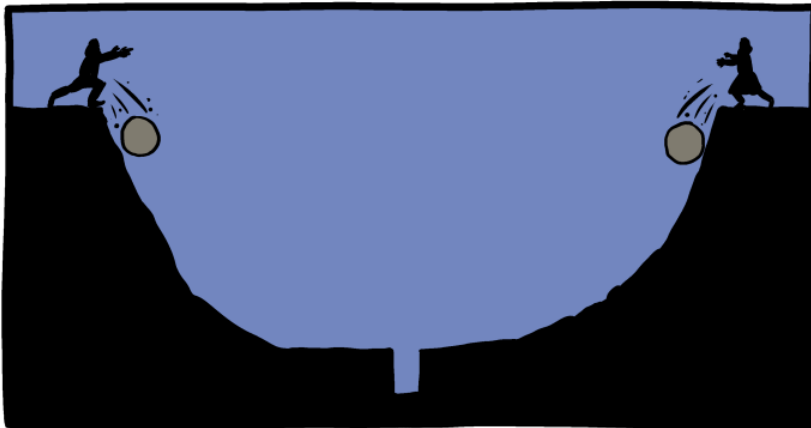
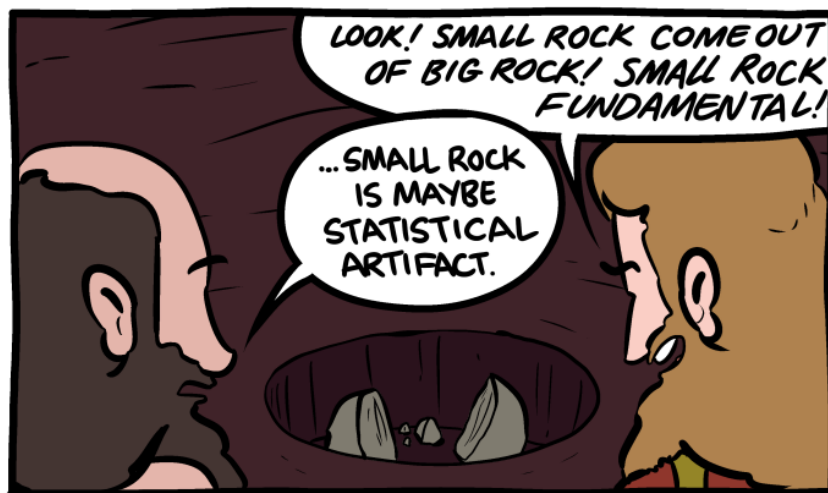


Negli anni '60 alcuni scienziati (tra cui Peter Higgs) ipotizzano l'esistenza del **bosone di Higgs**, una particella associata a un campo che permea tutto l'Universo e che "si attacca" alle altre particelle dando loro la massa...

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!**



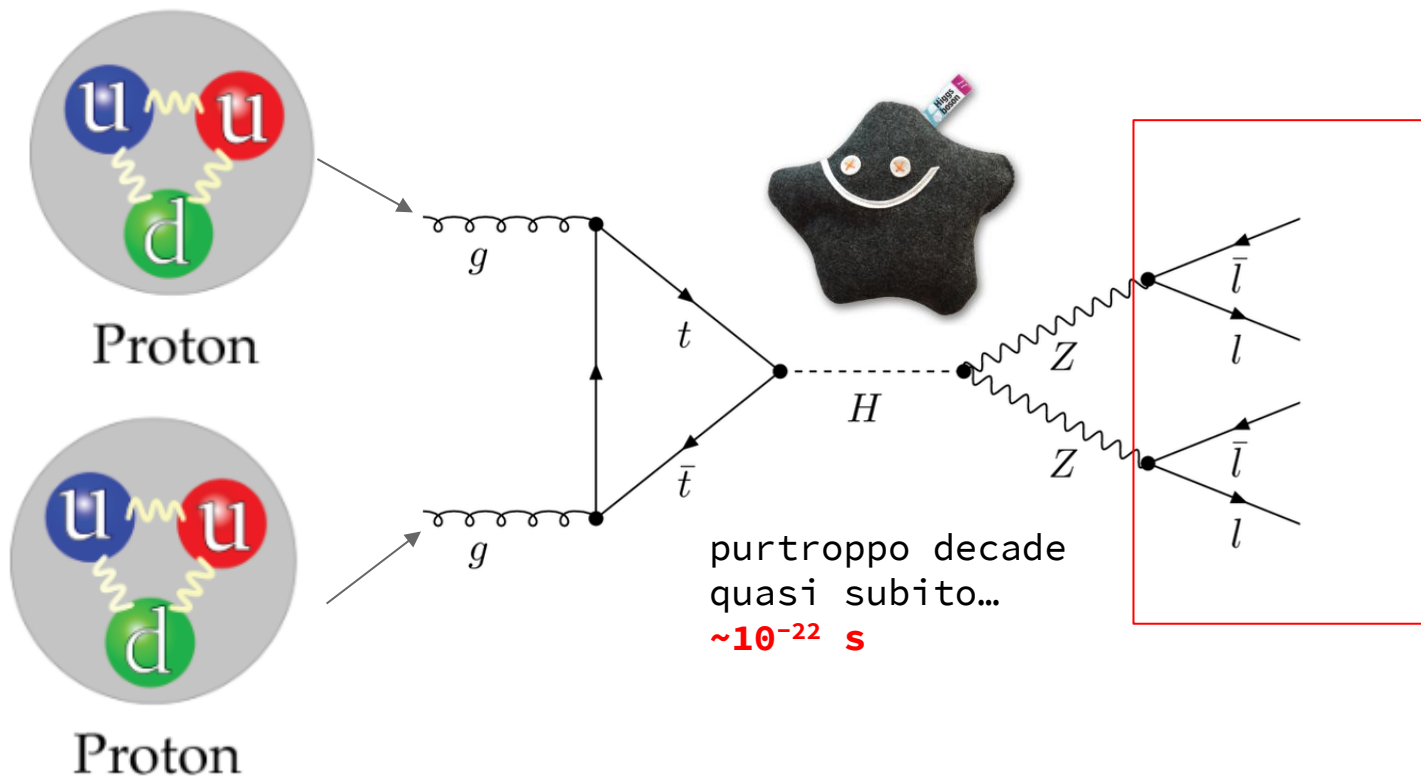
IL LARGE HADRON COLLIDER

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**!

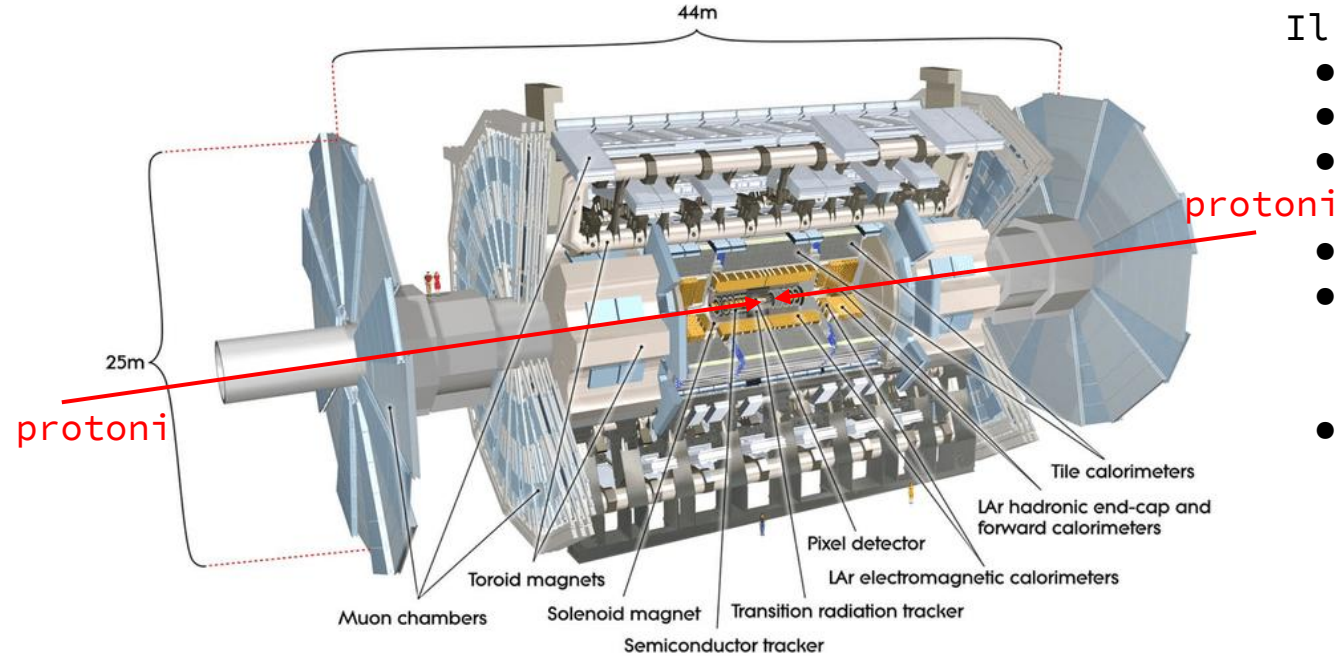
COME PRODUCO IL BOSONE DI HIGGS?



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, ...

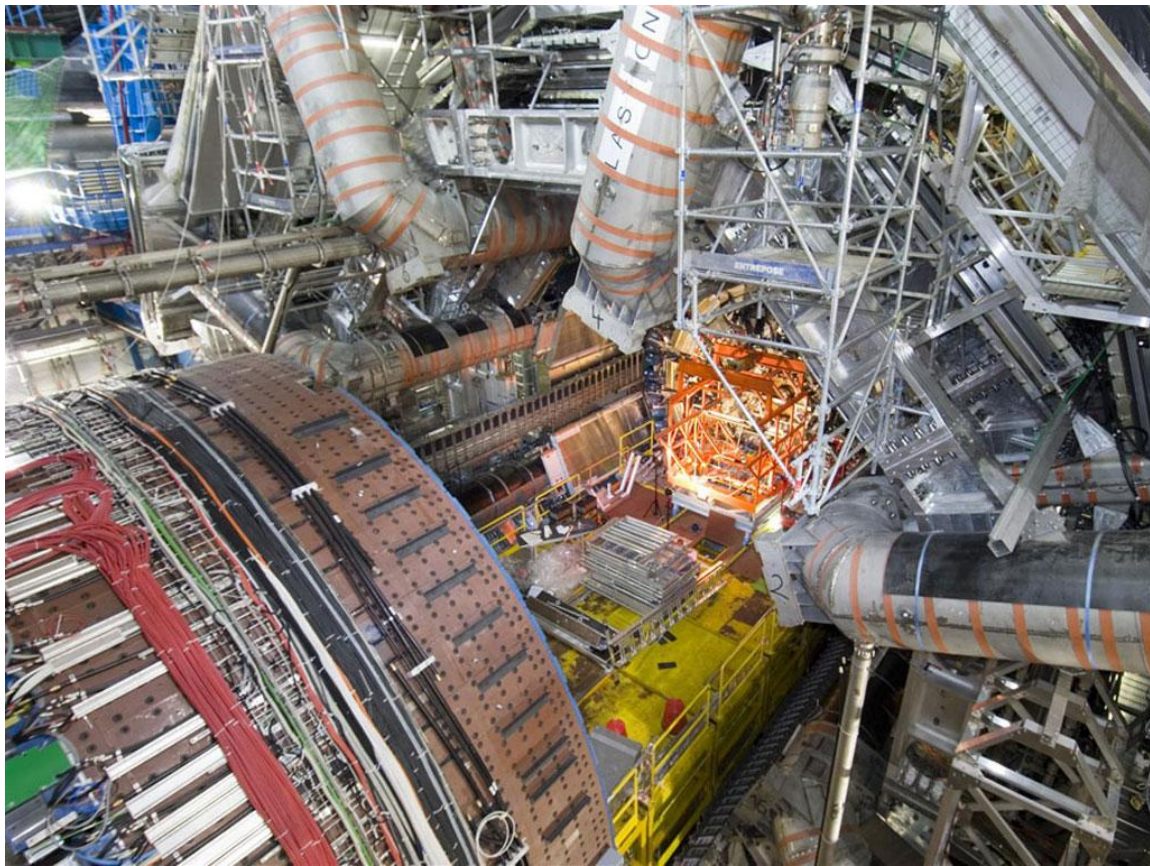
I RIVELATORI: LE NOSTRE MACCHINE FOTOGRAFICHE!



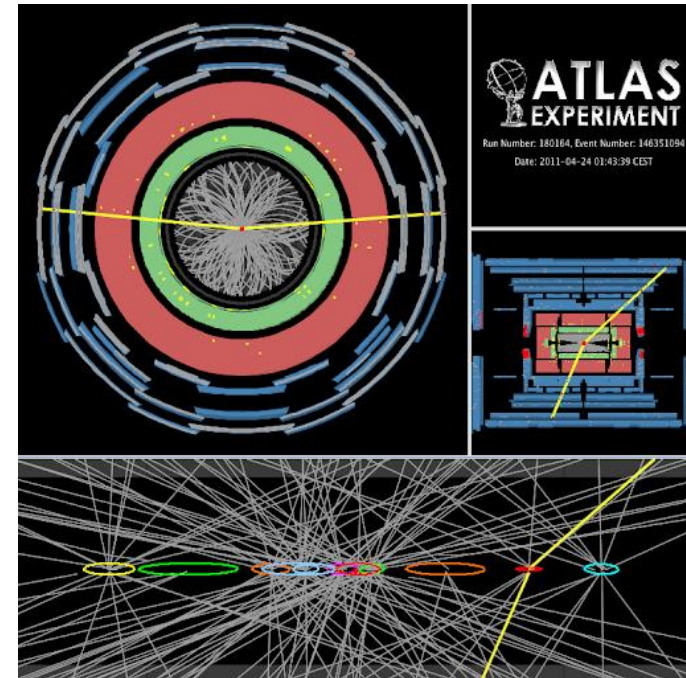
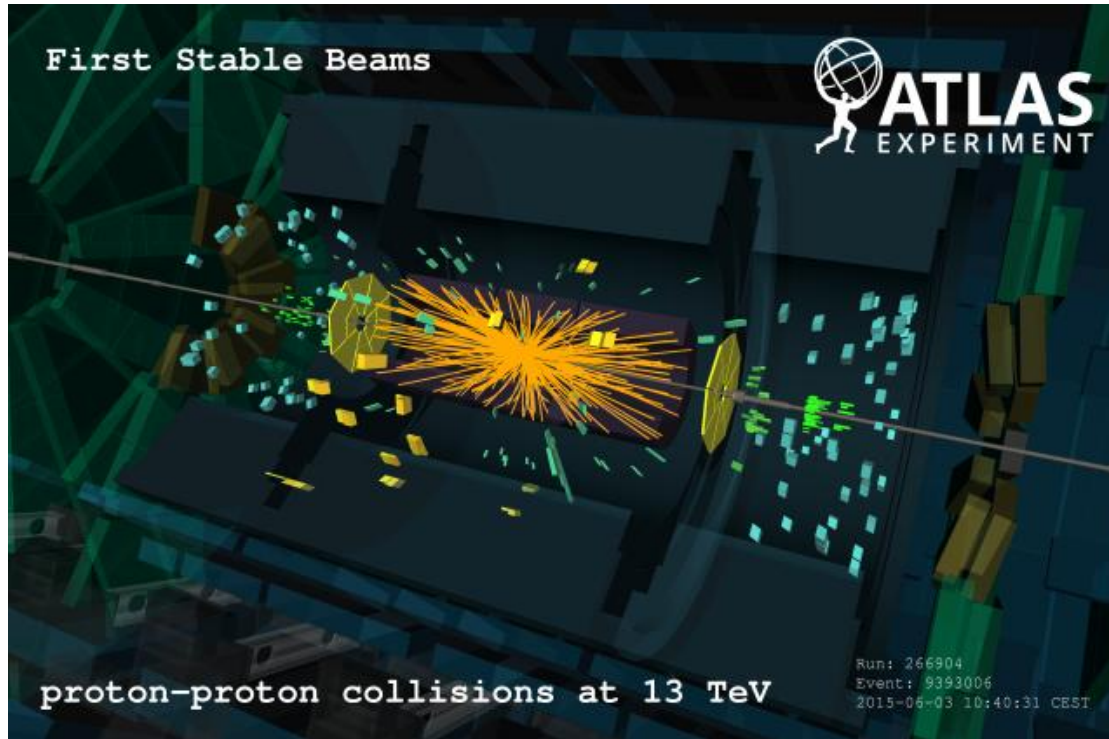
Il rivelatore ATLAS:

- 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!

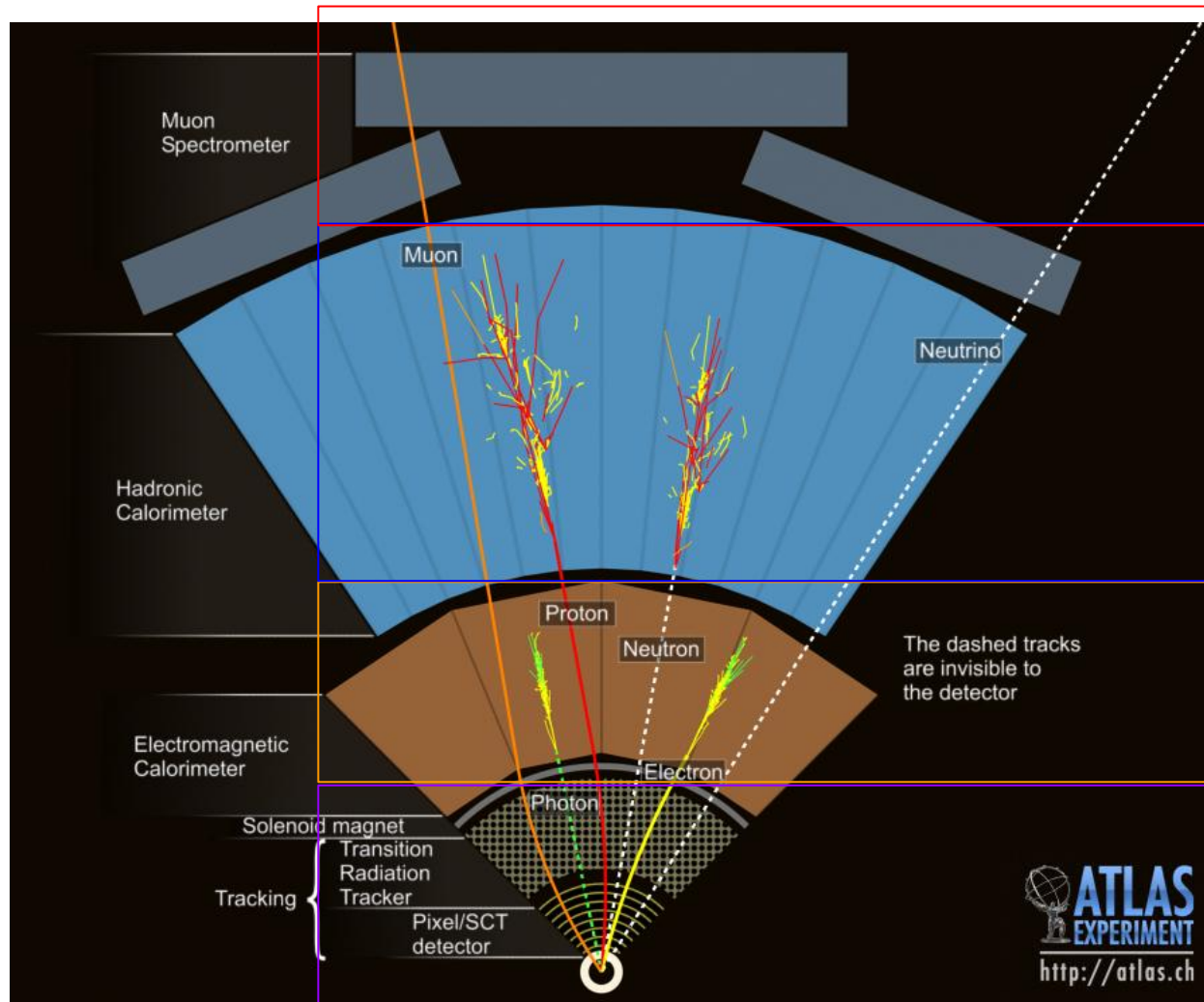
ALICE, ATLAS, CMS, LHCb e tanti altri esperimenti al CERN studiano le collisioni in tanti modi diversi, per capire di cosa è fatta e come funziona la materia!



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?



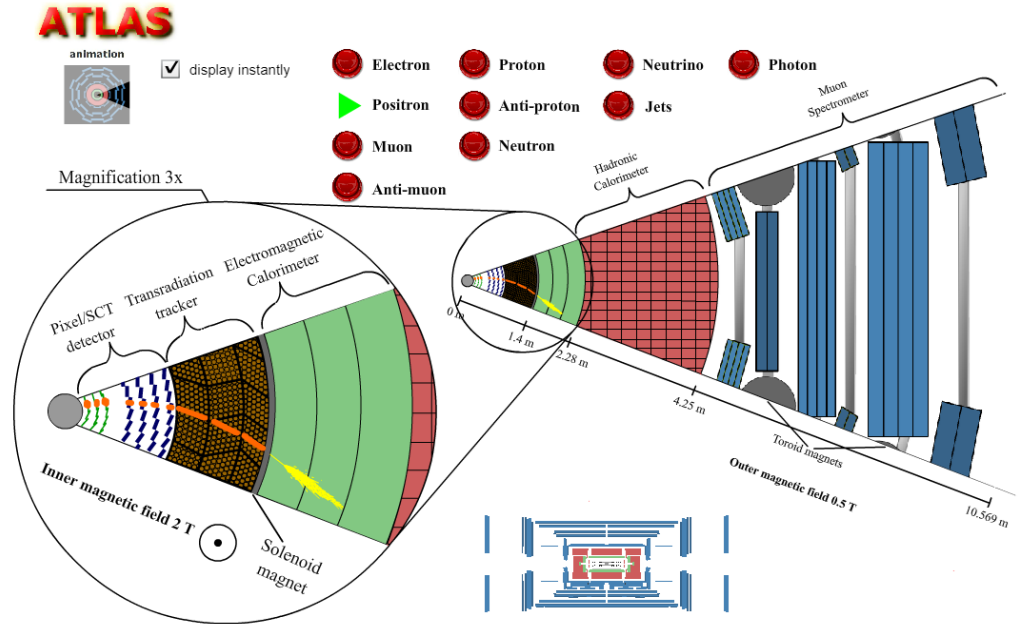
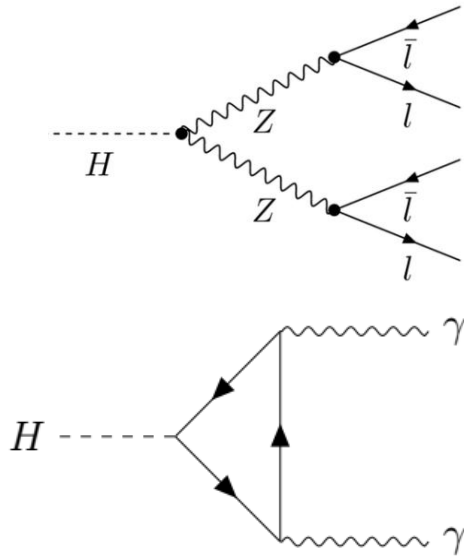
Spettrometro per muoni: è un grande tracciatore perché i muoni sono penetranti

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

Calorimetro EM: misura quanta energia rilasciano elettroni e fotoni

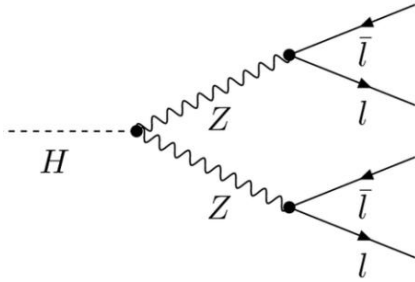
Tracciatore: misura quanto curvano particelle cariche in campo magnetico

ELETTRONI E FOTONI

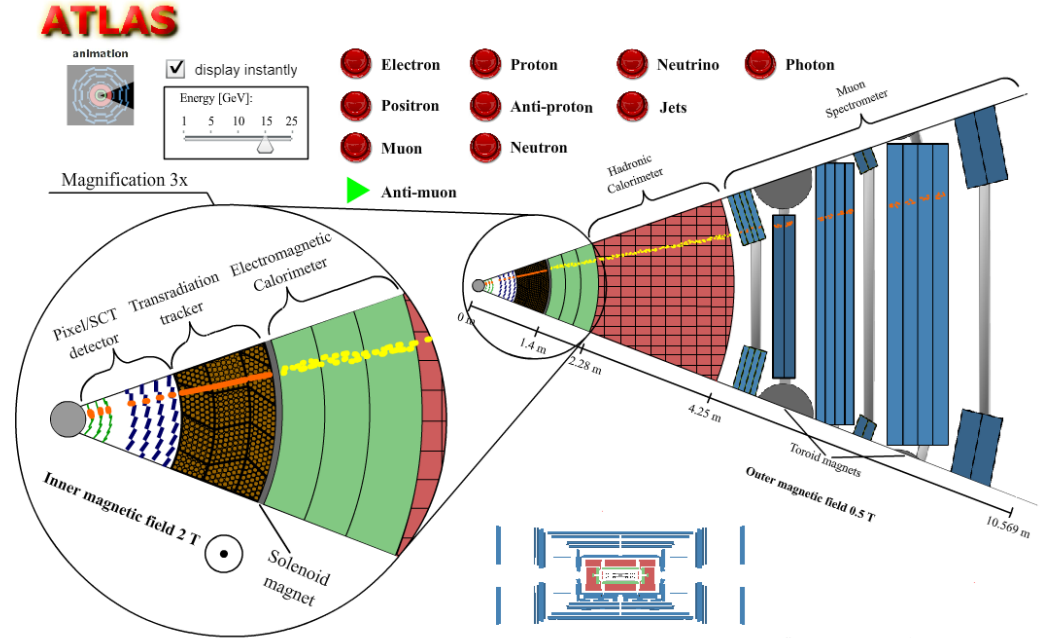


MUONI

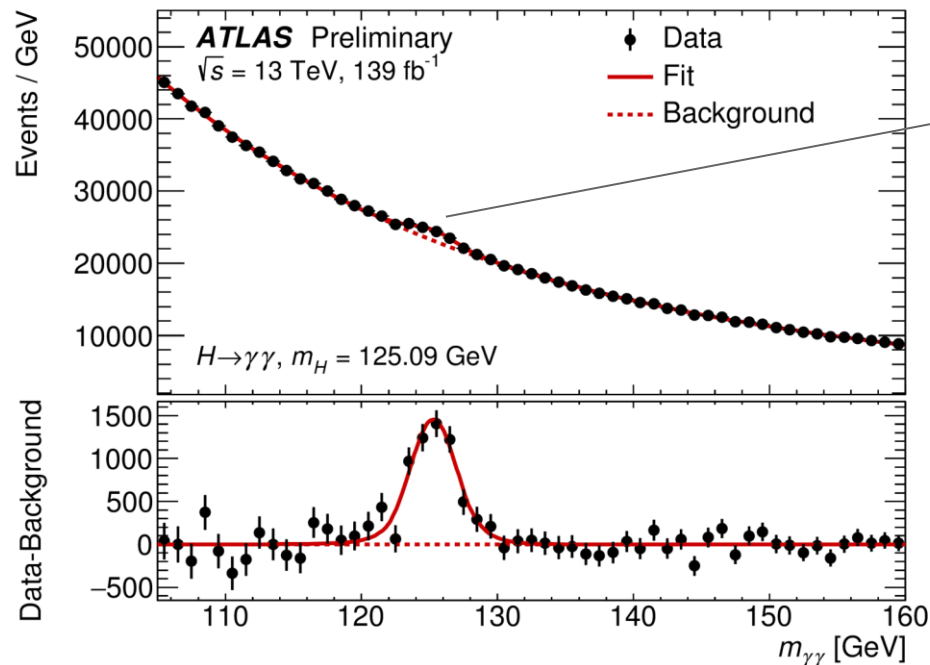
used also for trigger



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!**

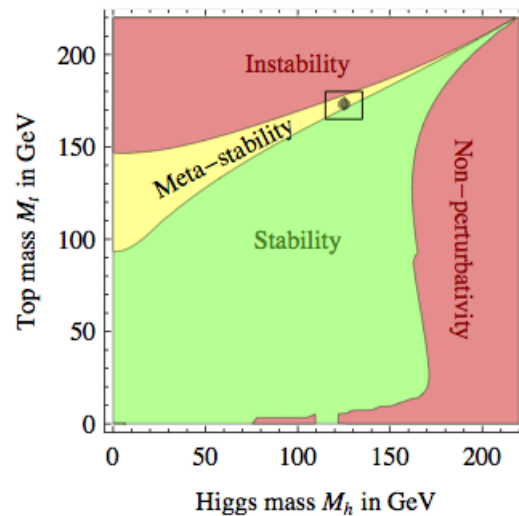
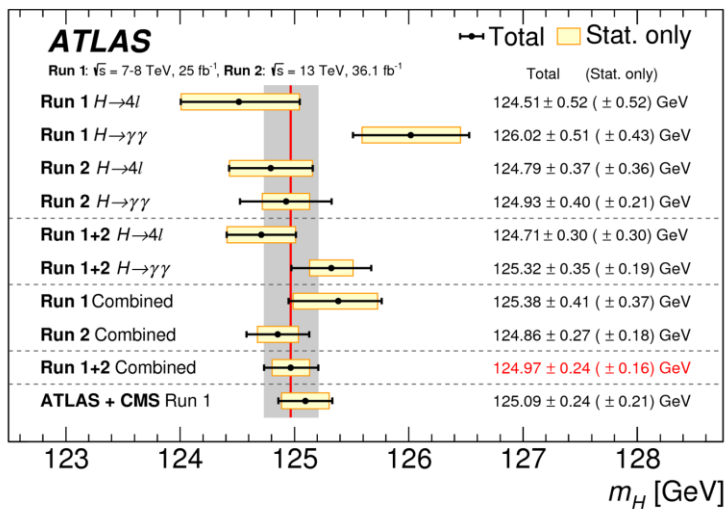
Nel 2012 ATLAS e CMS scoprono il bosone di Higgs... e lui festeggia insieme a Fabiola Gianotti!

E UNA VOLTA CHE HO SCOPERTO IL BOSONE DI HIGGS?

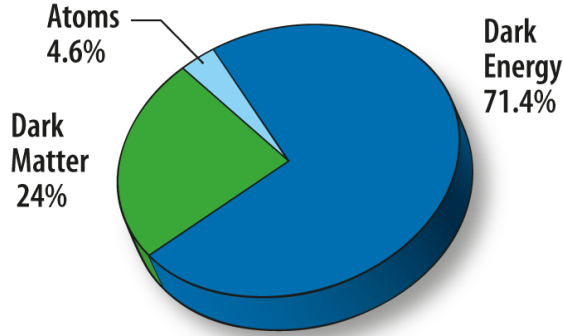
Il bosone di Higgs controlla i meccanismi più fondamentali del nostro Modello Standard...

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?

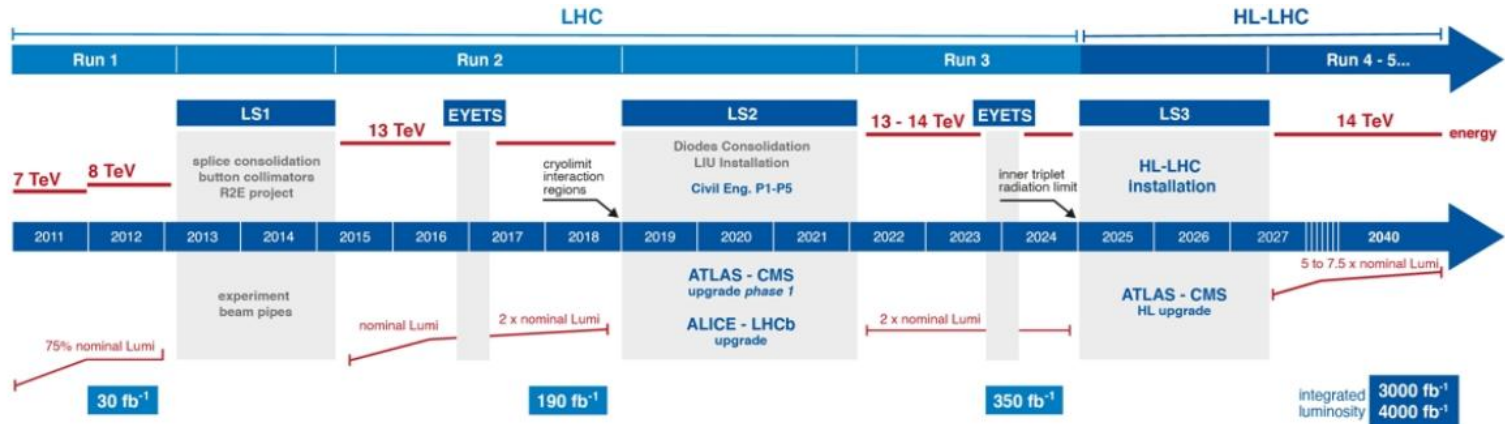
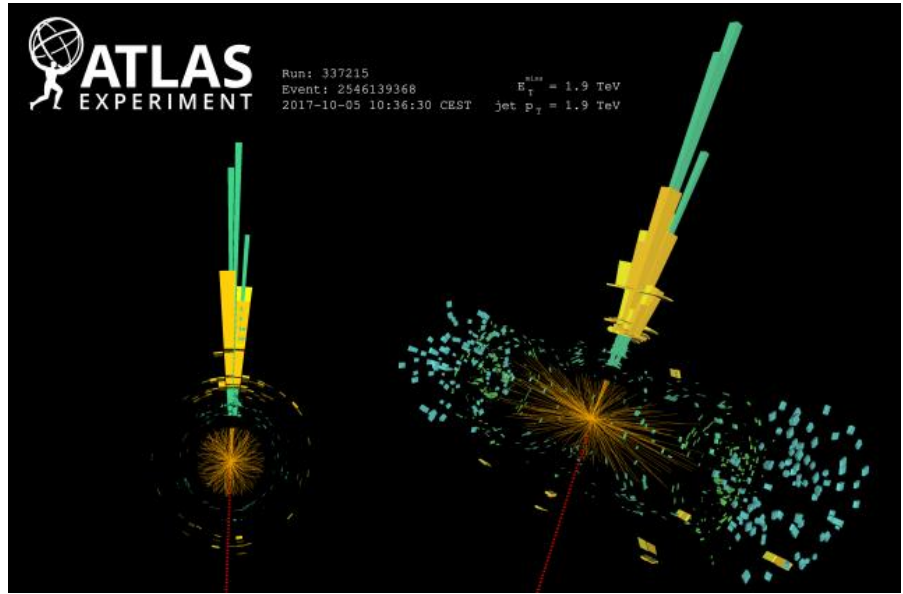


CI SONO ANCORA TANTISSIME COSE DA CAPIRE...

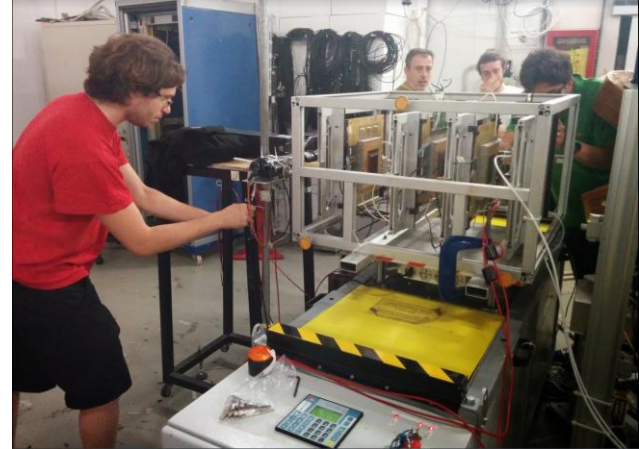
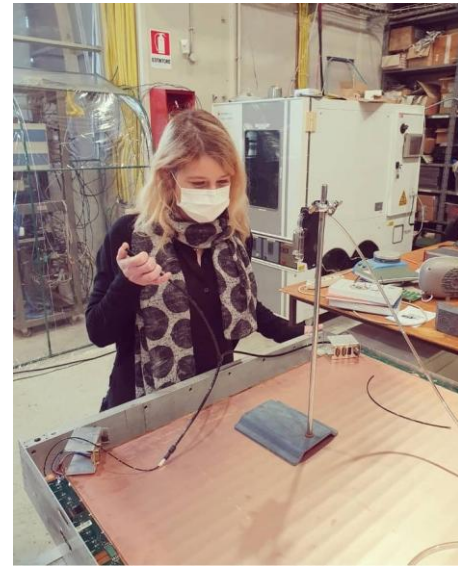


WMAP

TODAY



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!
- Scriveteci una mail a marco.vanadia@roma2.infn.it o umberto.desanctis@roma2.infn.it per qualunque informazione o curiosità!