

La caccia all'Higgs: l'avventura della fisica delle particelle

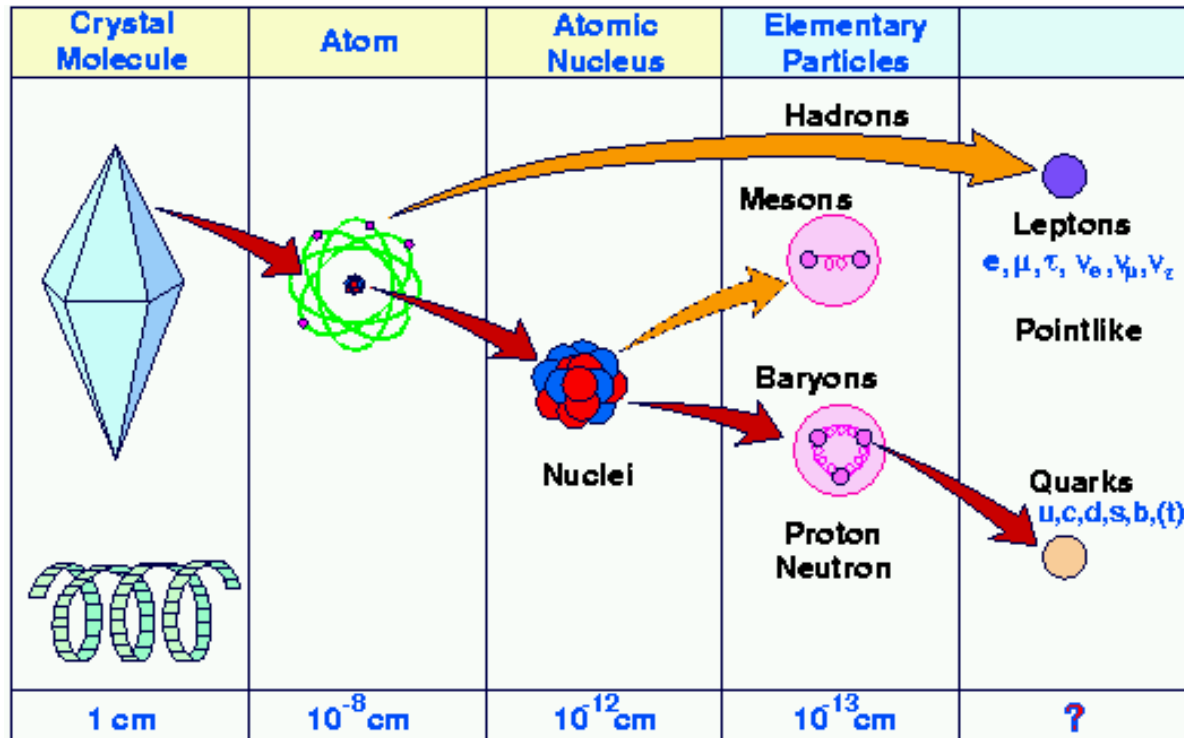


28 novembre 2012, Torino

Chiara Mariotti

Le particelle elementari

Negli ultimi 50 anni si è scoperto che l'universo è costituito da particelle elementari
Combinare tra loro formano la materia di cui siamo fatti.



Le forze

Le particelle elementari interagiscono tra loro tramite **messaggeri**, che sono altre particelle, dette “**particelle forza**”.

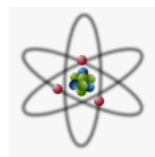
Le forze che conosciamo in natura sono:

Forza **gravitazionale**:



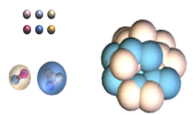
Caduta dei corpi, moto stellare...
Il messaggero si pensa sia il **gravitone**

Forza **elettromagnetica**:



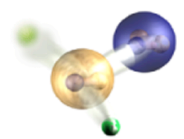
corrente, magneti, atomi, chimica...
Il suo messaggero è il **fotone**

Forza **forte**:



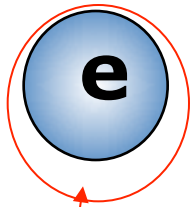
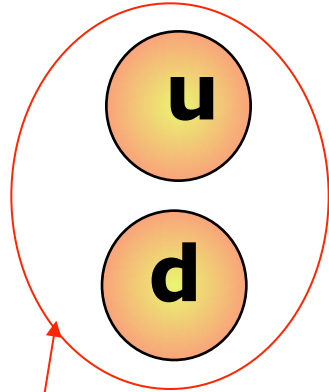
tiene uniti i protoni e i neutroni nel nucleo anche se di carica uguale e tiene uniti i quark
Il suo messaggero è il **gluone**

Forza **debole**:



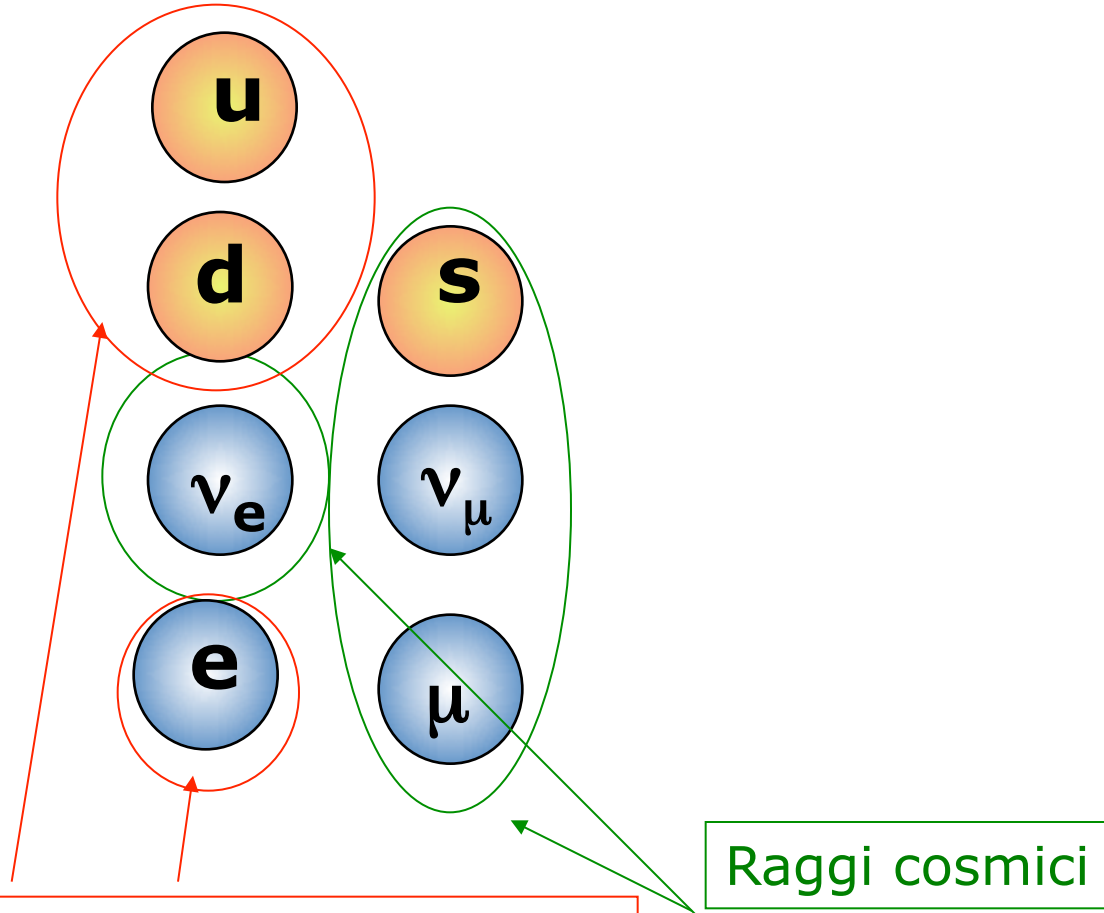
radioattività, attività solare ...
I suoi messaggeri sono i **W[±]** e la **Z**

Le particelle fondamentali: il Modello Standard



La materia di cui siamo fatti

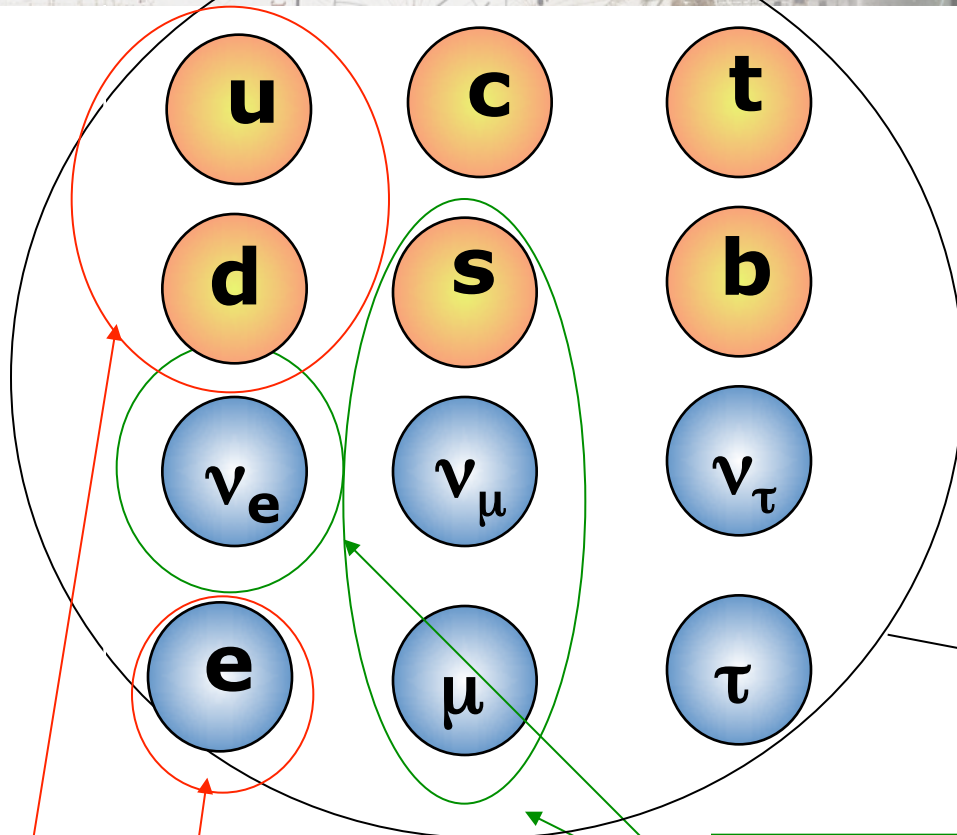
Le particelle fondamentali: il Modello Standard



La materia di cui siamo fatti

Raggi cosmici

Le particelle fondamentali: il Modello Standard



La materia di cui siamo fatti

Raggi cosmici

Le particelle forza

g gluoni (8)

γ fotone

W^+, W^-, Z bosoni

Higgs ????

Si possono produrre
in laboratorio

+ **le antiparticelle**
ossia l' antimateria

Le particelle fondamentali: il Modello Standard

Masse dei FERMIONI (GeV)

u ~0.001	c ~1.5	t ~180
d ~0.002	s ~0.1	b ~4.5
ν_e ~0.	ν_μ ~0.	ν_τ ~0.
e ~0.0005	μ ~0.1	τ ~1.7

Le particelle forza Massa

g gluoni (8) 0

γ fotone 0

W^+, W^-, Z bosoni 80/90 GeV

(Il protone ha massa ~1 GeV)

Il Modello Standard non predice le masse delle particelle.

I valori delle masse sono stati misurati sperimentalmente

Qual e' l' origine della massa

Il bosone di Higgs

- Una soluzione per l'origine della massa: il meccanismo di Higgs (postulato nel 1964)
 - Le particelle acquistano massa nell'interazione con un nuovo *campo che pervade lo spazio*
 - La massa di una particella dipende dall'intensità dell'interazione con il campo
 - Un analogia:
 - I fotoni si propagano nel vuoto alla velocità della luce
 - Per la relatività, $v=c \rightarrow m=0$
 - In un mezzo, $v < c$: il campo e.m. interagisce con il mezzo e l'effetto risultante è un rallentamento dell'onda
 - è equivalente all'acquisizione di una *massa effettiva* da parte del fotone

Richiede l'esistenza di una ulteriore particella: il **Bosone di Higgs**

Il bosone di Higgs

- Se cammini e improvvisamente entri in una piscina, rallenti.
- Se non vedessi l'acqua, penseresti di essere improvvisamente diventato pesante.
- Acquisti “massa” perché interagisci con un mezzo che è tutto attorno a te.
- Il campo di Higgs è l'equivalente dell'acqua che ti sta attorno.

Il bosone di Higgs

Possiamo pensare alla particella di Higgs come il messaggero del campo di Higgs, come un fiocco di neve.



Possiamo pensare al “vuoto” come un mezzo denso che offre una “resistenza” ad una forza e quindi é equivalente ad una massa:



quark top

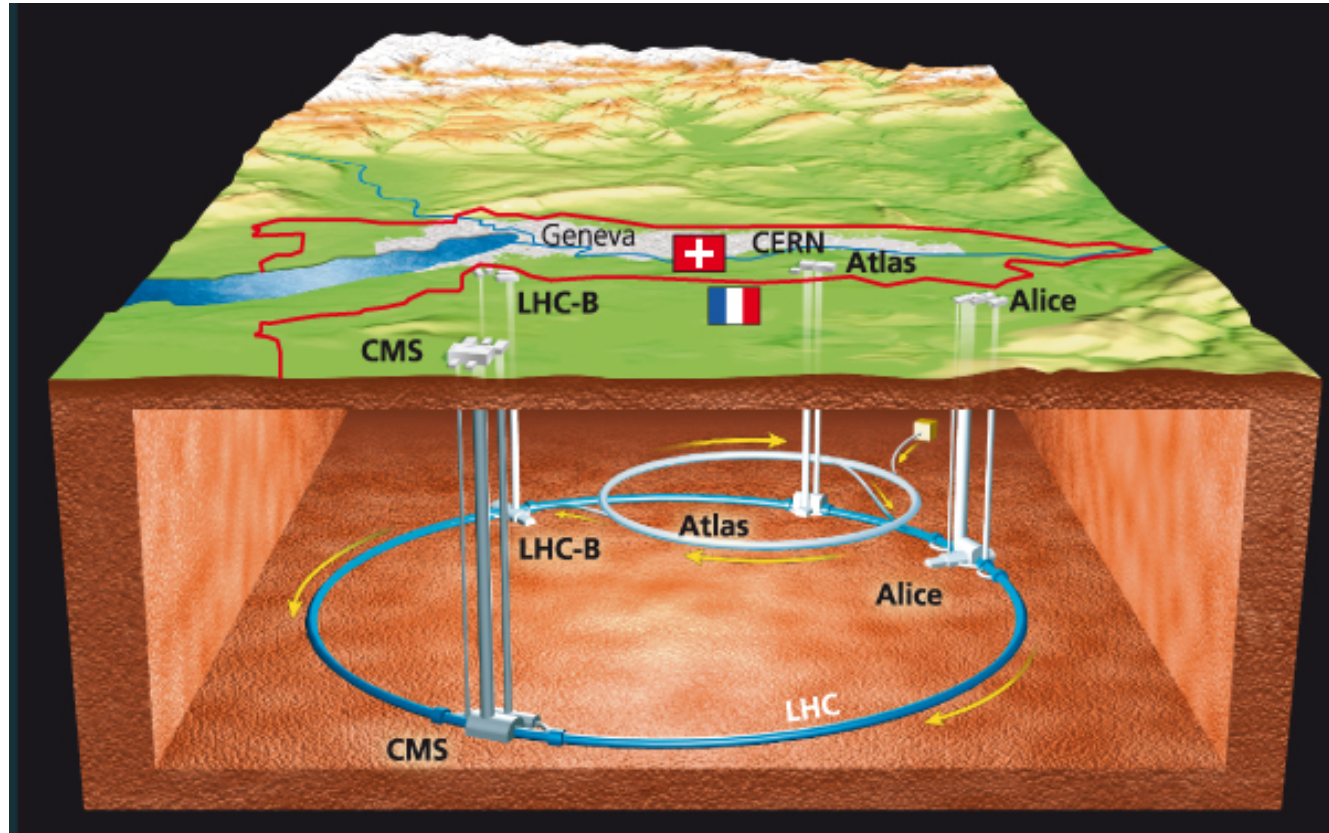


elettrone

La ricerca di nuove particelle

- Vogliamo dunque:
 - scoprire se esiste il bosone di Higgs
 - cercare il meccanismo responsabile della rottura spontanea di simmetria, ovvero dell'origine delle masse
 - cercare nuova fisica/nuove particelle
 - verificare altre e nuove teorie
- Al CERN e' stato costruito l'acceleratore chiamato LHC (Large Hadron Collider) che sara' in grado di dare una risposta a queste domande.
 - E' entrato in funzione alla fine del 2009.

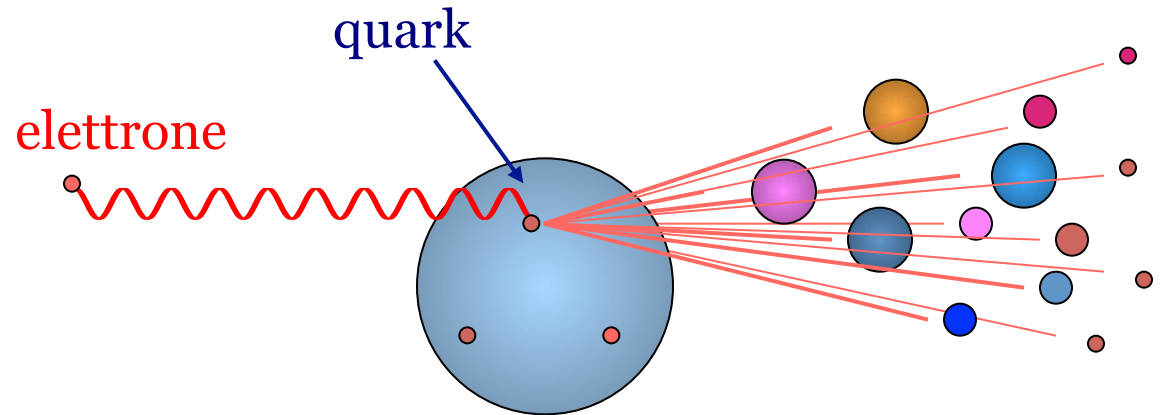
IL CERN



Energia = massa

Acceleriamo particelle portandole ad altissime energie per poi farle scontrare per produrre nuove particelle

$$E=mc^2$$



L'energia della particella viene trasformata in materia sotto forma di nuove particelle.

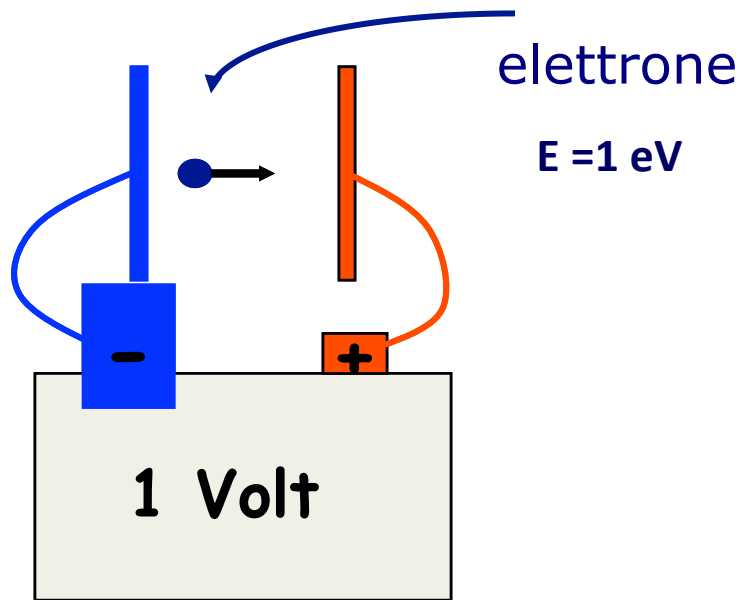
Studiando le particelle prodotte possiamo capire cosa è successo al momento dell'urto e risalire ai processi fondamentali che regolano la natura

Energia

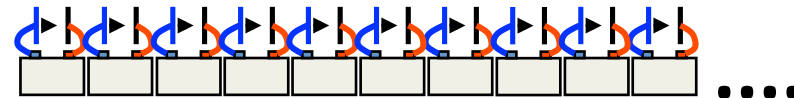
• I fisici usano il **GeV** - Giga ElectronVolt = 10^9 eV

• $m(\text{protone}) = 0.938 \text{ GeV} \rightarrow 1.67262158(31) \times 10^{-27} \text{ Kg}$

• $m(\text{elettrone}) = 0.0005 \text{ GeV} \rightarrow 9.109 \times 10^{-31} \text{ Kg} = (1/2000 m(p))$

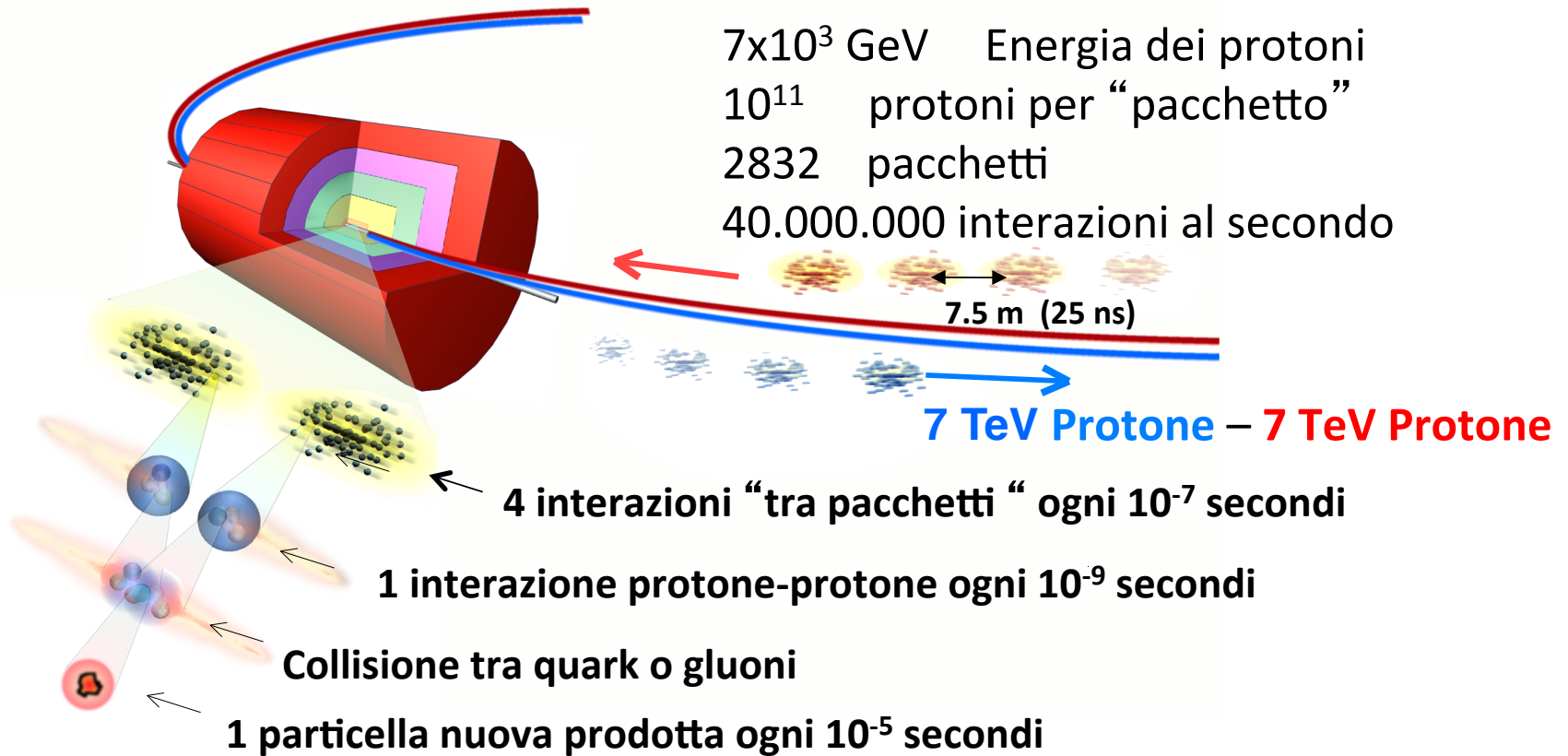


Per dare ad un elettrone l'energia di **1GeV**, dovremmo mettere di seguito **666,666,666** pile da 1.5 Volt !!



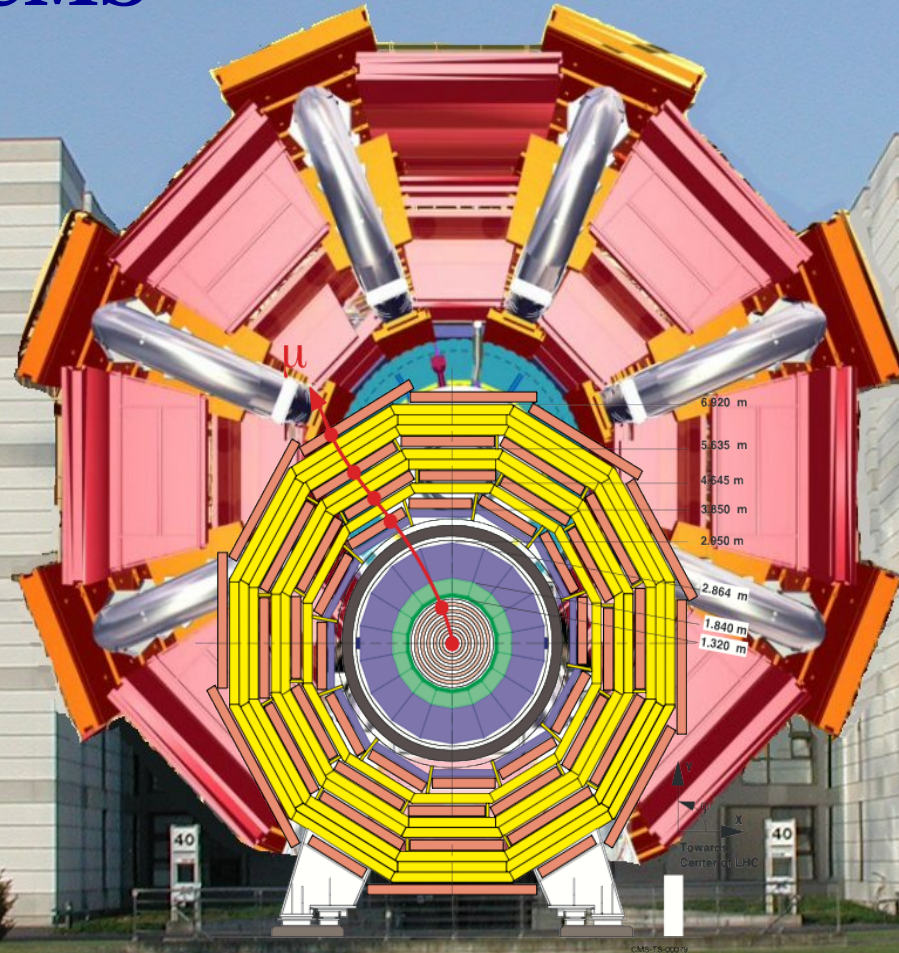
2008: Large Hadron Collider

Costruito nel tunnel di LEP / urti protoni - protoni

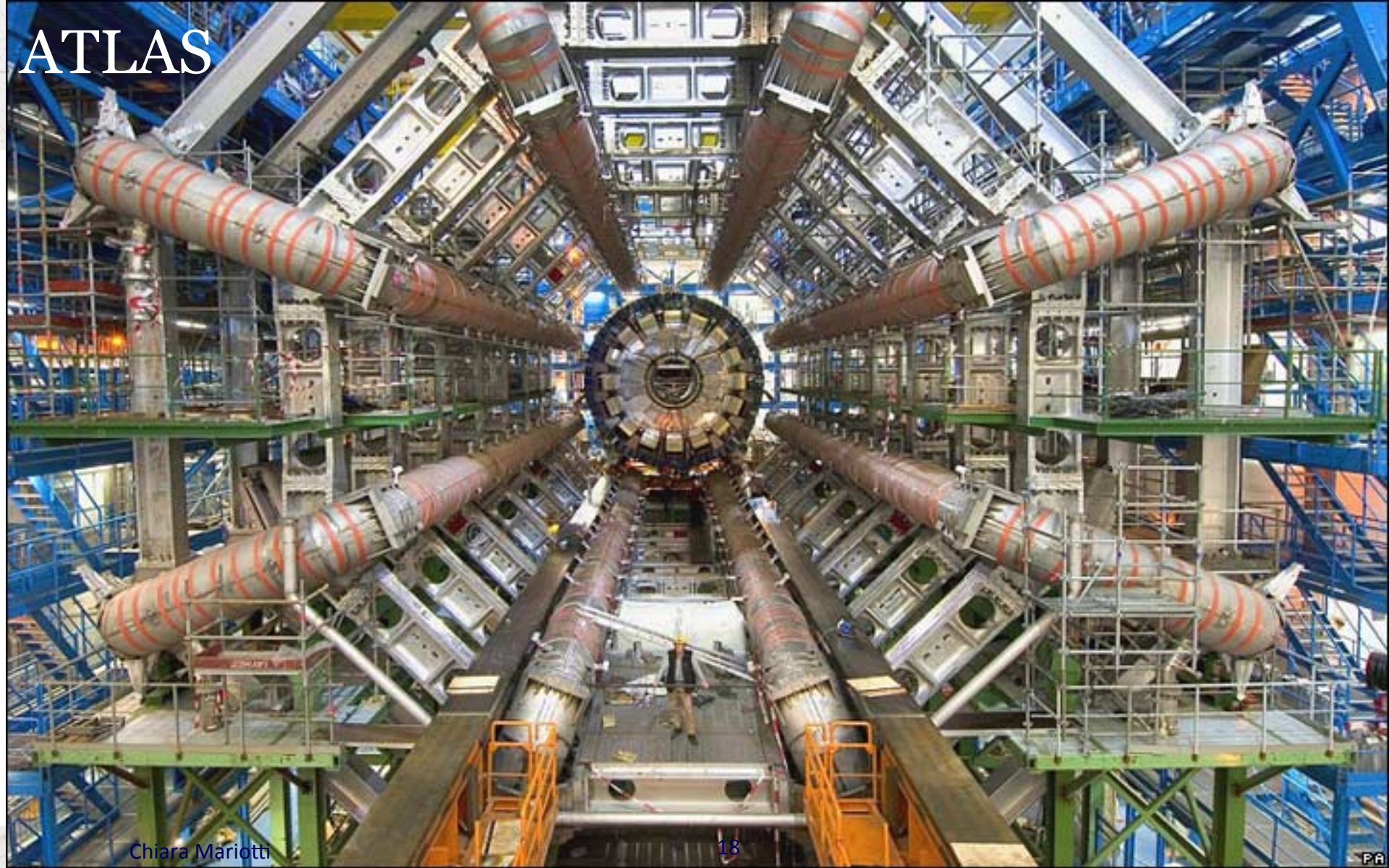




ATLAS e CMS



Transverse View



ATLAS



*41 Countries, 179 institutes
~3000 Authors including ~2200 PhD's and ~800 PhD students*

CMS



CMS a Torino

MUONI: Costruzione camere piu' esterne.
Sistema di acquisizione dati

ECAL: elettronica

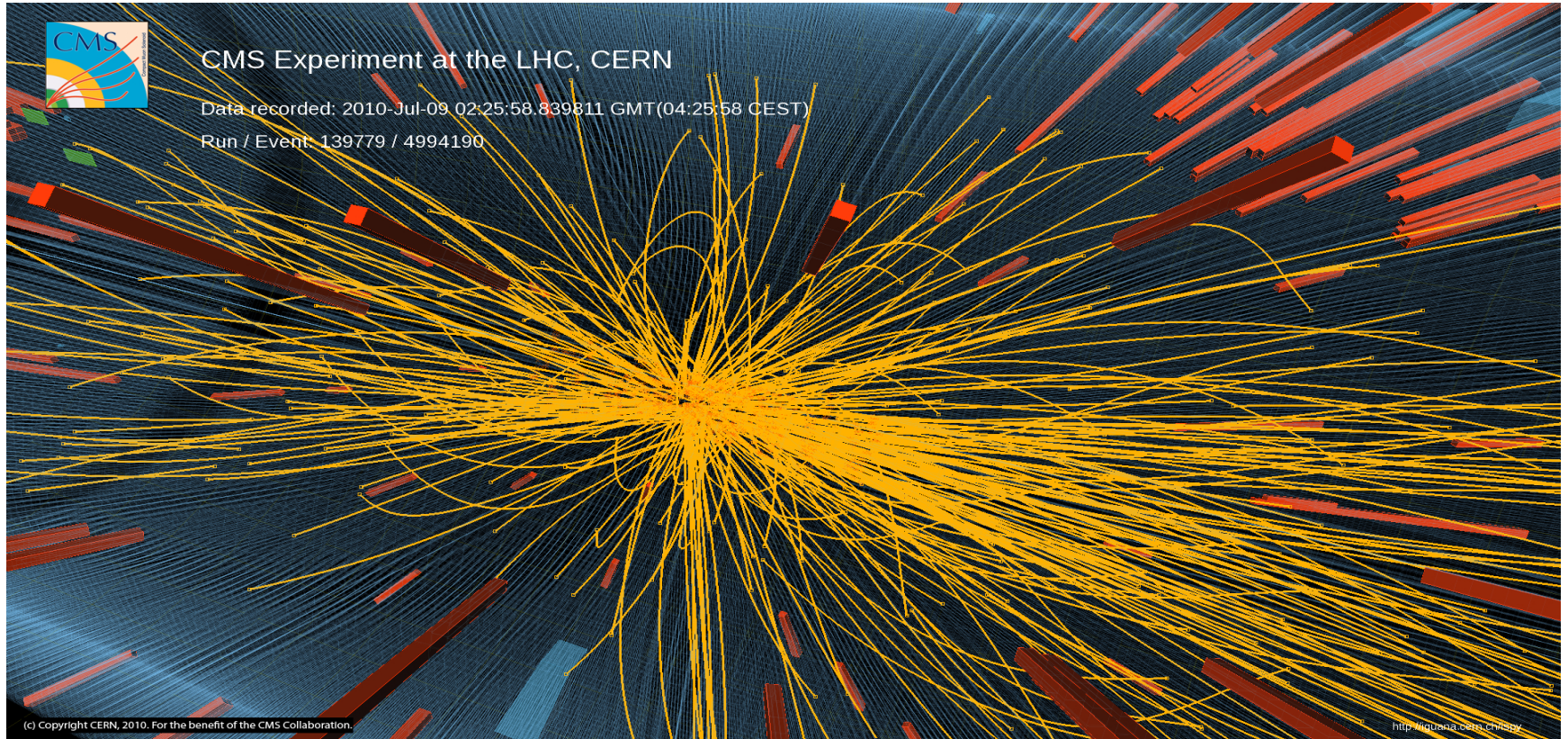
SiT: R&D, Test,
montaggio, LV, HV

CMS a Torino

MUONI: Costruzione camere piu' esterne.
Sistema di acquisizione dati



Eventi spettacolari





4 luglio 2012

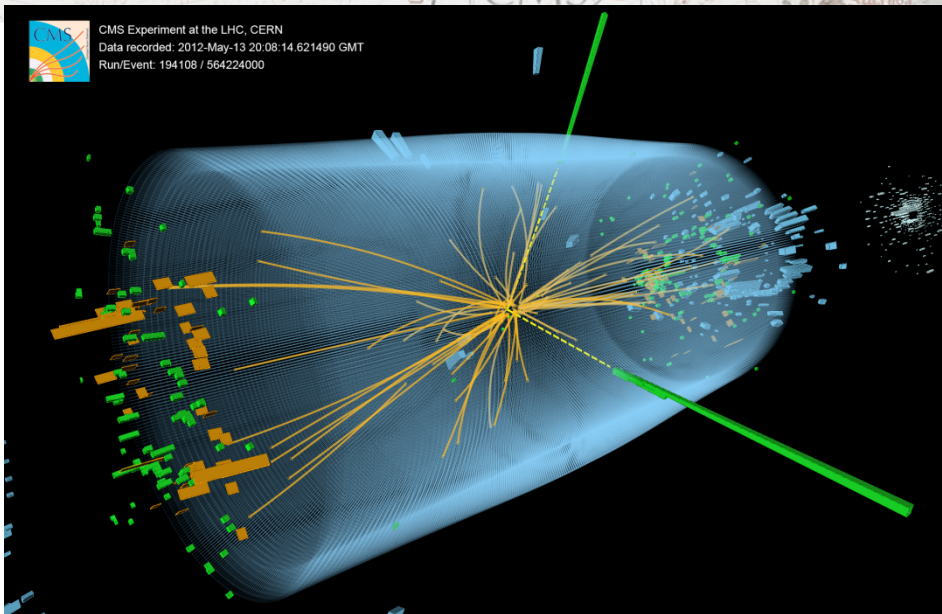
Annuncio della prima scoperta degli esperimenti Atlas e CMS:

Una nuova particella di ~ 125 GeV di massa

Questa scoperta e' arrivata

- a meta' dell'energia di "design" di LHC,
- con condizioni molto piu' difficili di quelle che ci immaginavamo (altissimo Pileup)
- ad una luminosita' molto minore di quella giudicata necessaria (circa 1/3)

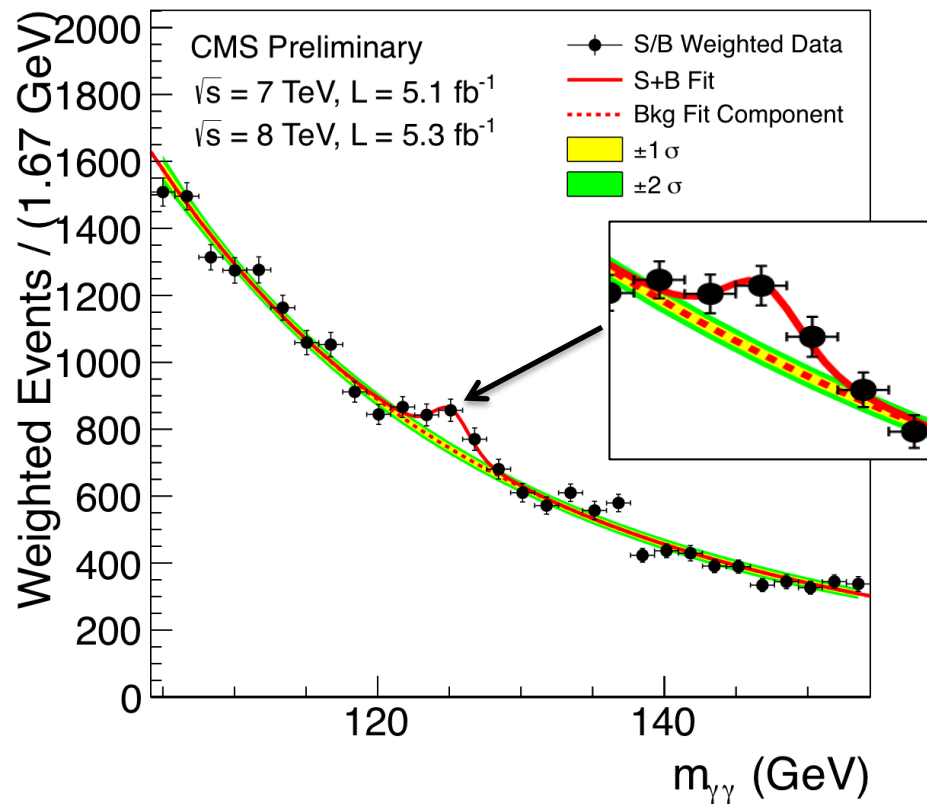
La scoperta: $H \rightarrow \gamma\gamma$



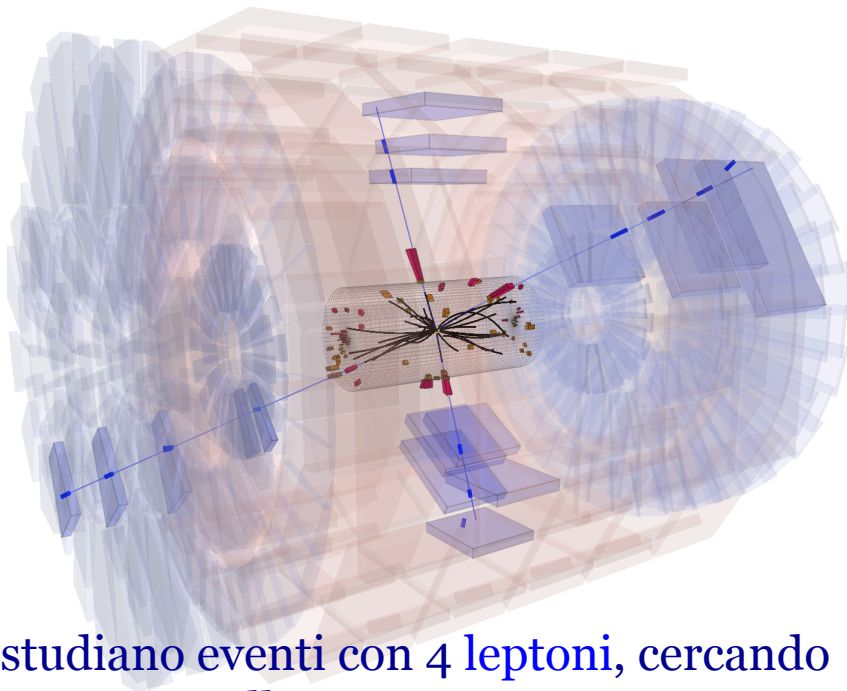
Si studiano eventi con 2 fotoni,
cercando un **ecceso** nello spettro $m_{\gamma\gamma}$

$$pp \rightarrow H \rightarrow \gamma\gamma$$

Punti -- Dati raccolti
Linee - Simulazioni

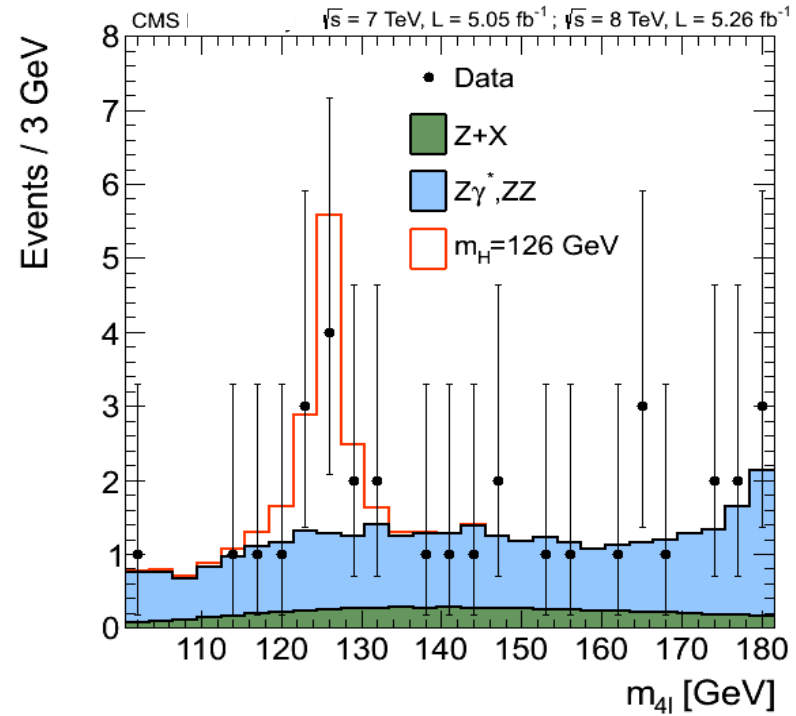


La scoperta: $H \rightarrow 4l$

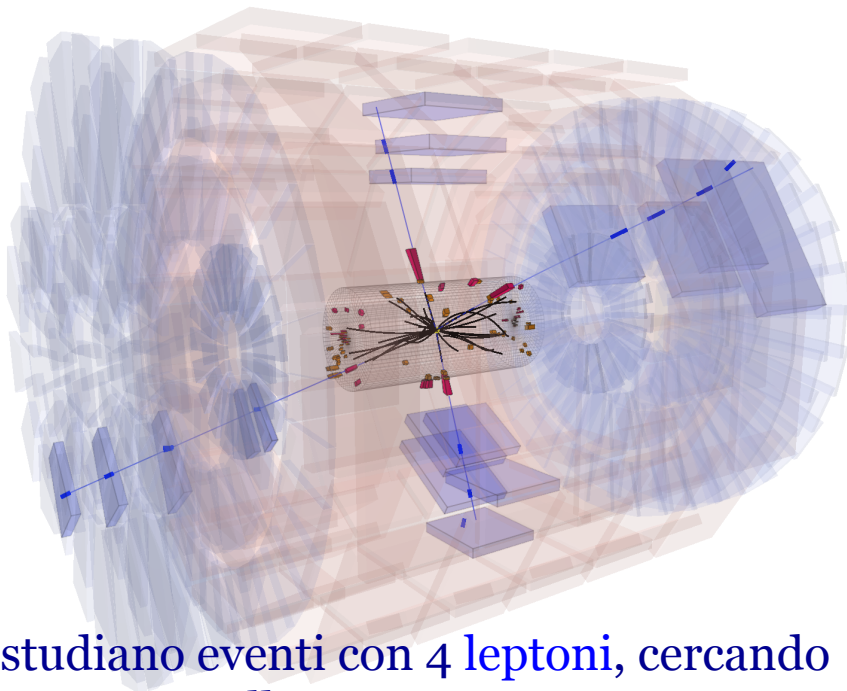


Si studiano eventi con 4 leptoni, cercando un **ecceso** nello spettro m_{4l}

$$pp \rightarrow H \rightarrow ll\bar{l}\bar{l}$$

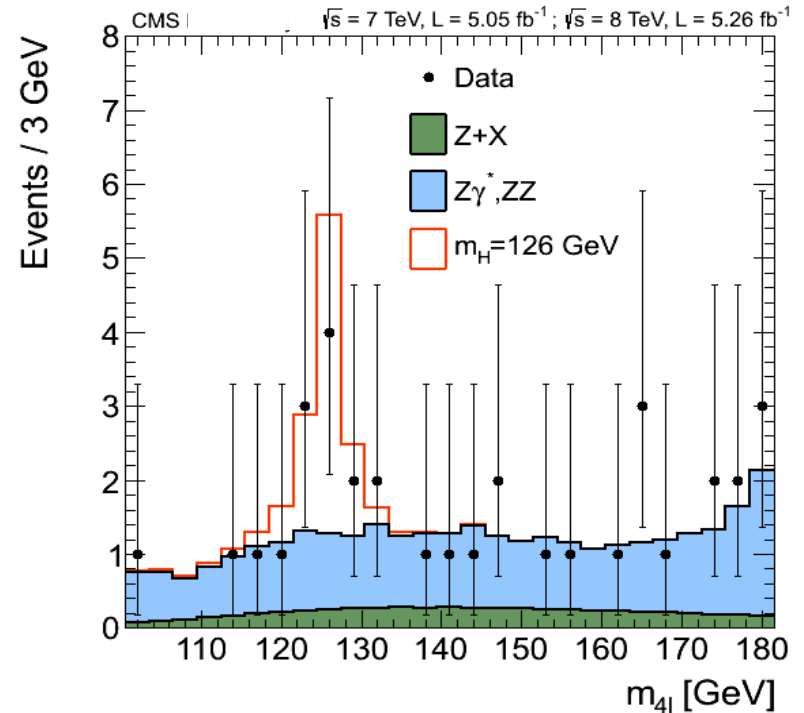


La scoperta: $H \rightarrow 4l$



Si studiano eventi con 4 leptoni, cercando un **eccesso** nello spettro m_{4l}

$$pp \rightarrow H \rightarrow ll\bar{l}\bar{l}$$



Il gruppo di Torino ha fatto l'analisi che ha scoperto l'Higgs. E' l'analisi piu' sensibile al LHC !

I nuovi risultati

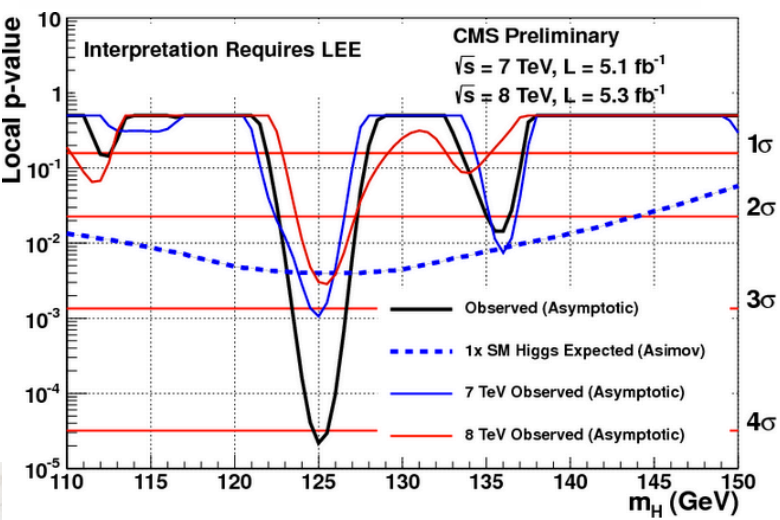
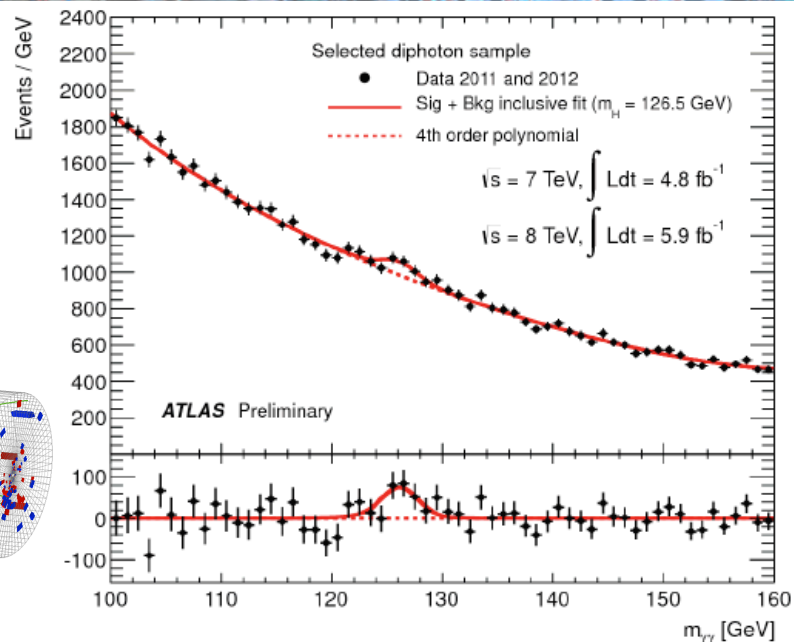
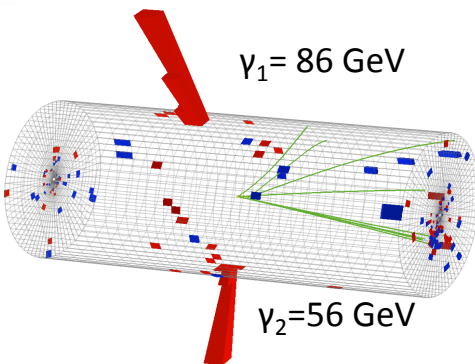
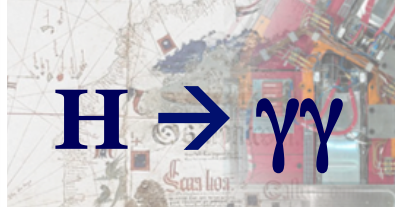
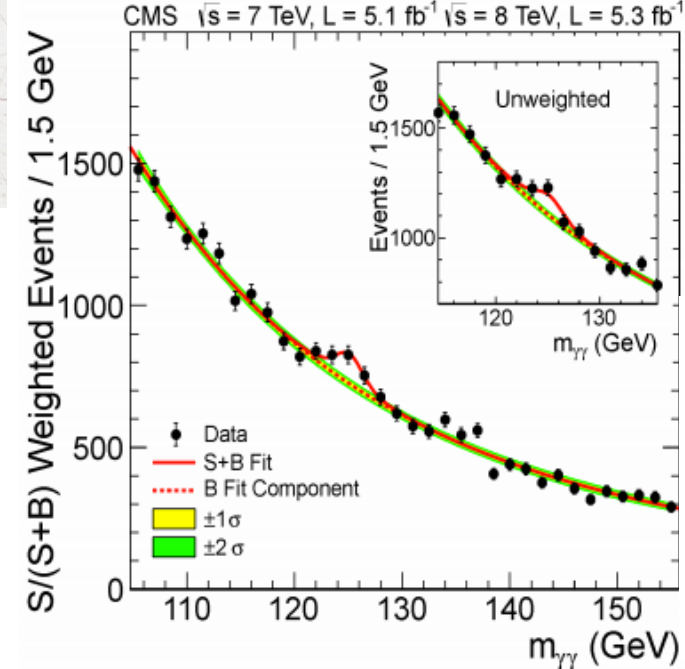
- Dopo il 4 luglio gli esperimenti hanno raccolto altri dati e la scoperta della nuova particella e' stata confermata
- Stiamo ancora prendendo dati e potremmo dunque essere piu' precisi sulle sue caratteristiche

Ad oggi: $M = 125.8 \pm 0.5 \text{ GeV}$ CMS

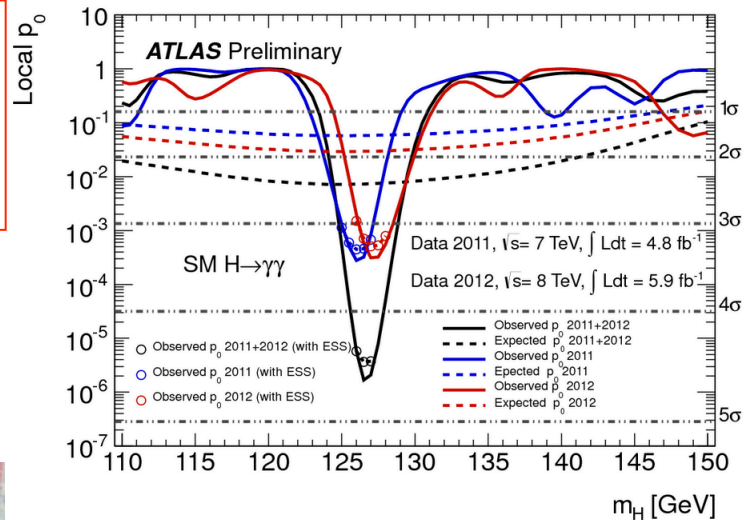
$M = 126.0 \pm 0.5 \text{ GeV}$ Atlas

Spin e parita' $J^P = 0^+$ CMS only

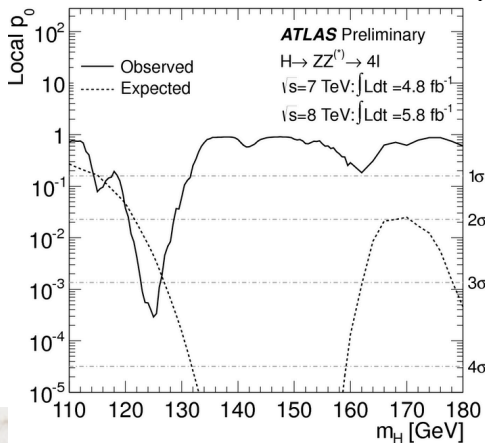
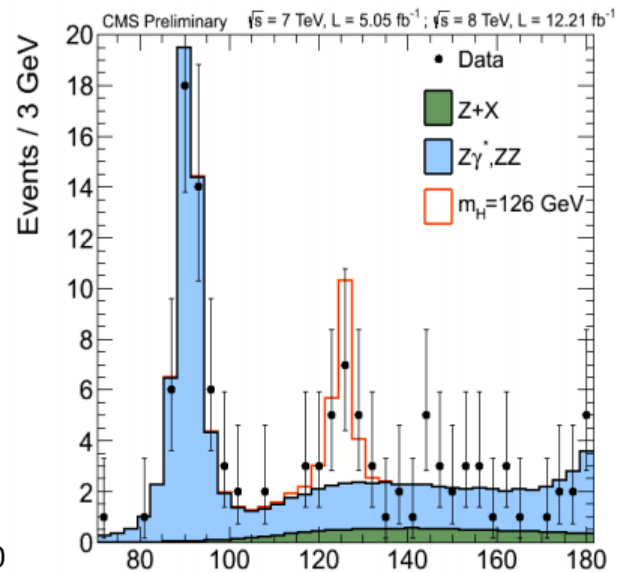
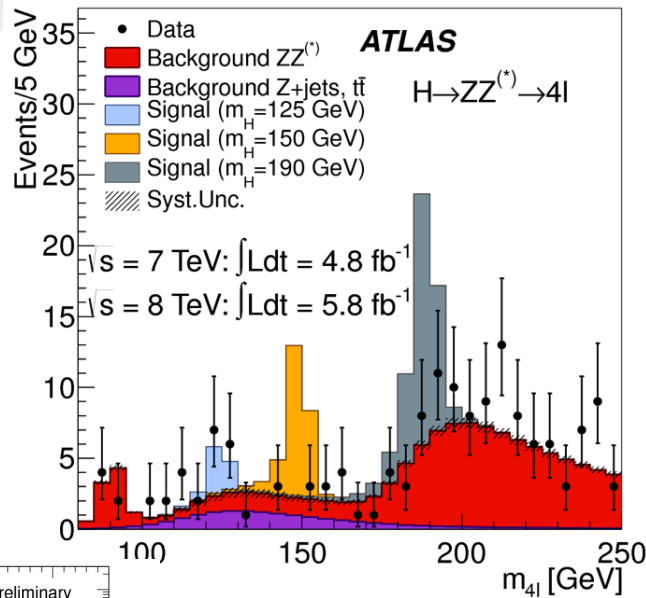
(escluso $J^P = 0^-$ al 95% CL)



Signature:
 2 energetic, isolated γ ,
 in a narrow mass peak
 on top of a
 steeply falling
 spectrum

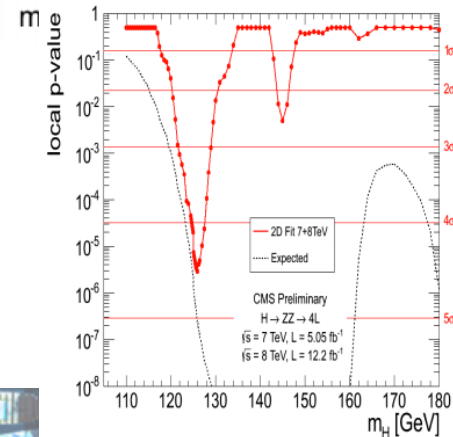


H → ZZ → 4leptoni

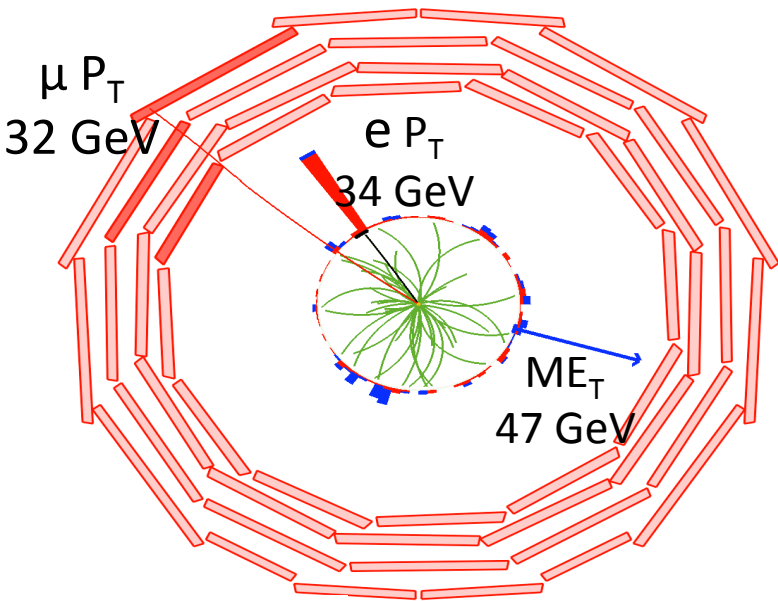


Stato finale molto chiaro:

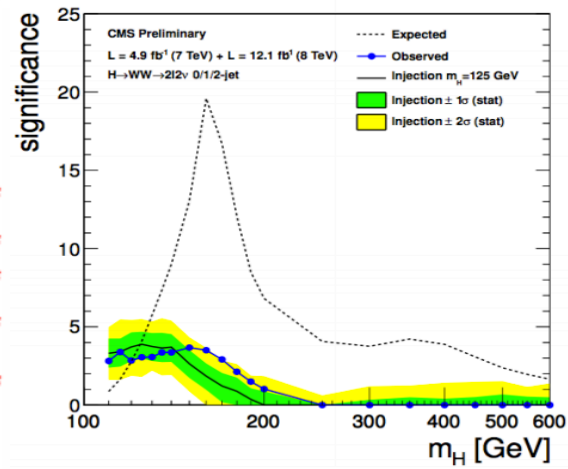
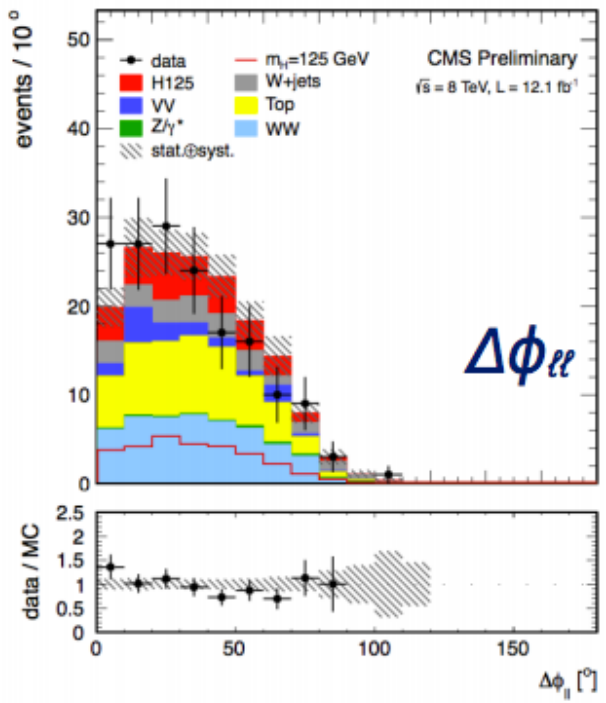
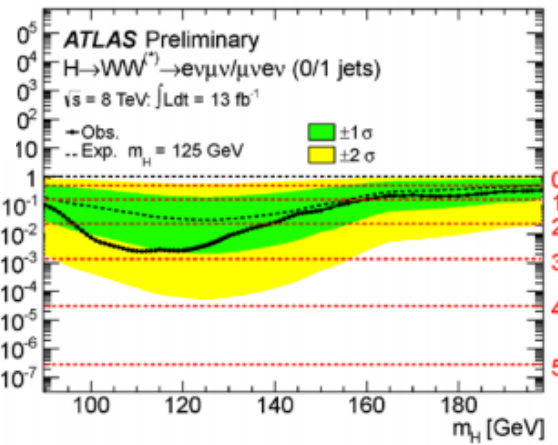
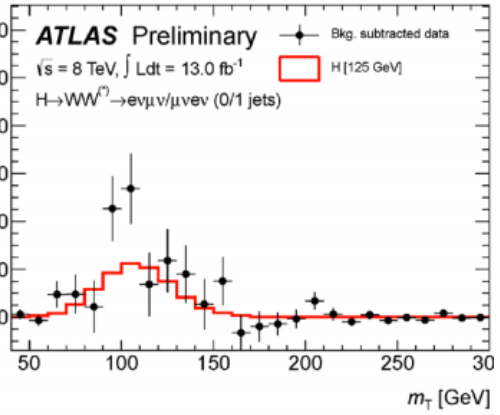
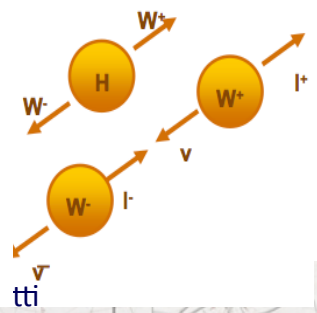
- 4 leptoni di alto p_T ,
- isolati
- provenienti dal vertice primario



$H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$

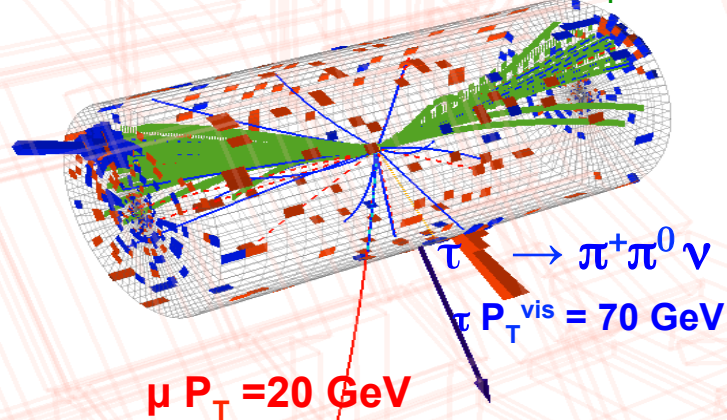


Struttura V-A della teoria \rightarrow i leptoni sono emessi vicini in angolo



H → ττ

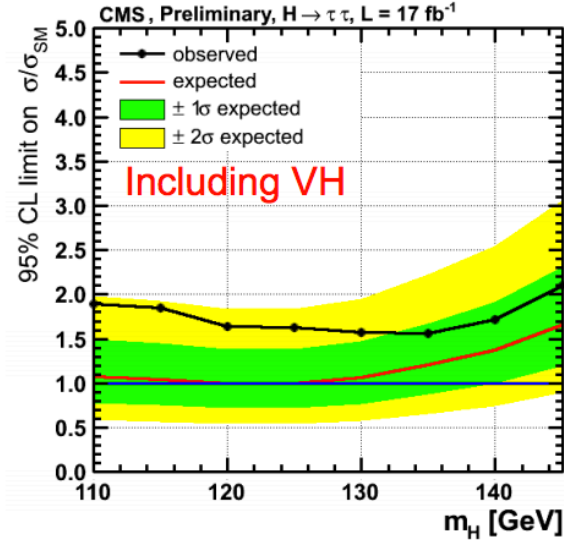
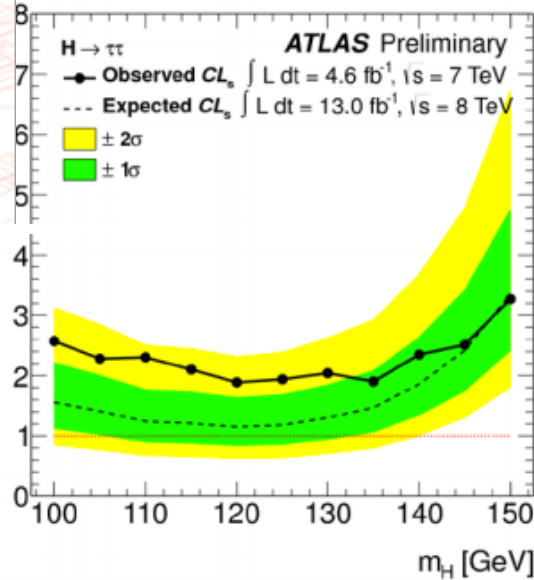
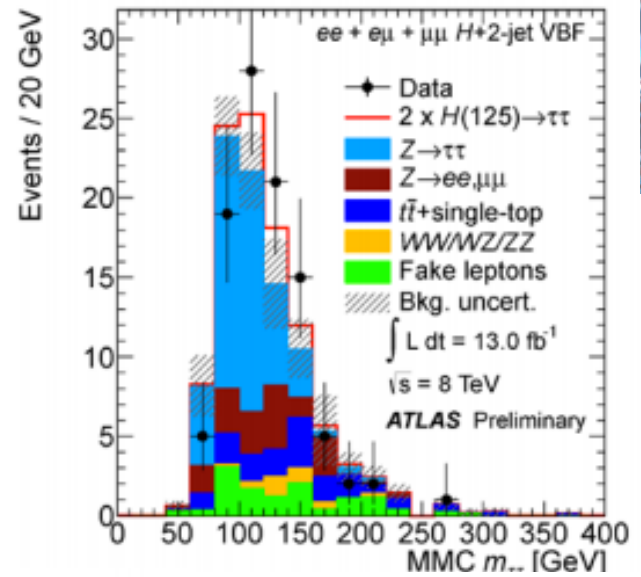
Jet₂ E_T = 46 GeV



Visible Mass(ττ) = 75 GeV

Mass(jj) = 580 GeV

Δη(jj) = 3.5



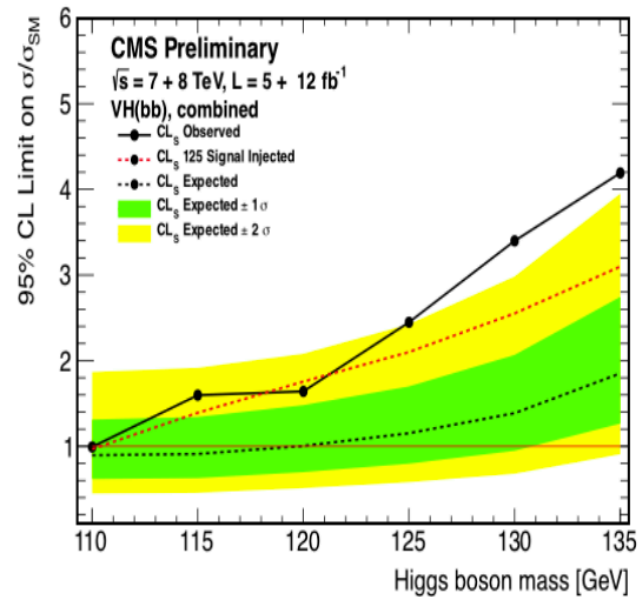
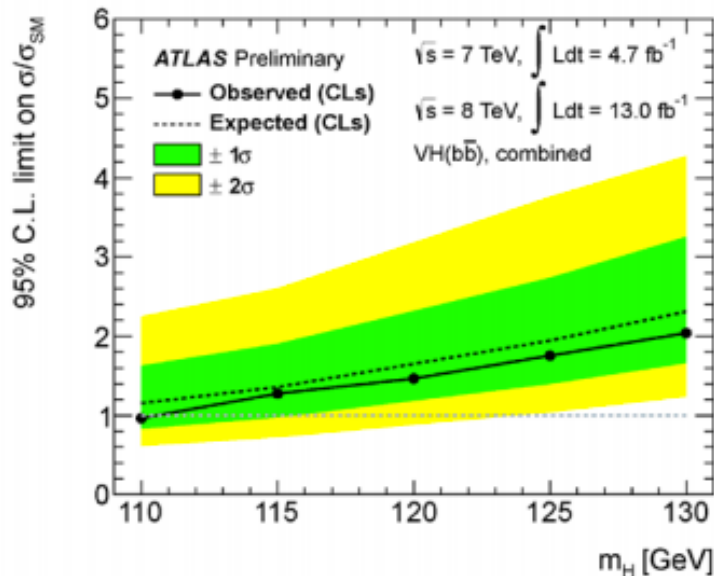
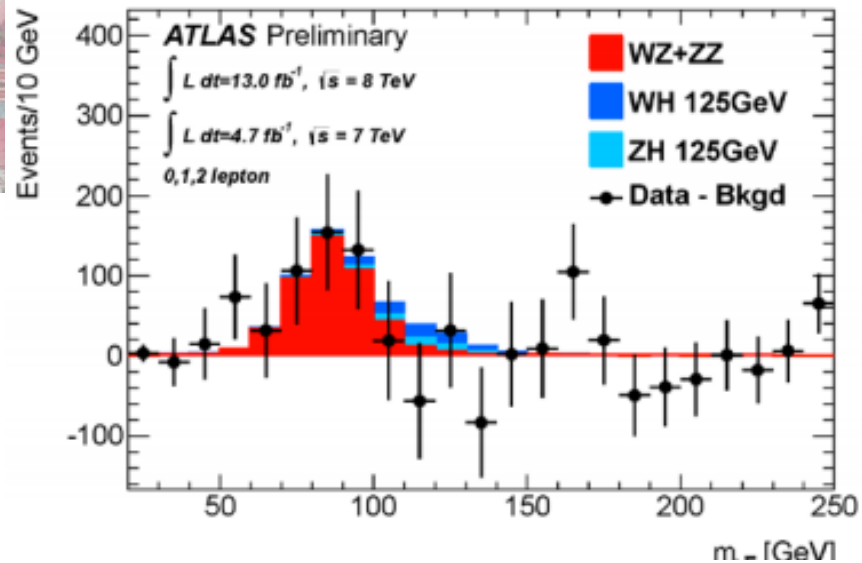
Ricerca in
τ_e + τ_h, τ_μ + τ_h, τ_e + τ_μ

Fondi:
QCD,
EWK Z → ττ (irreducible)

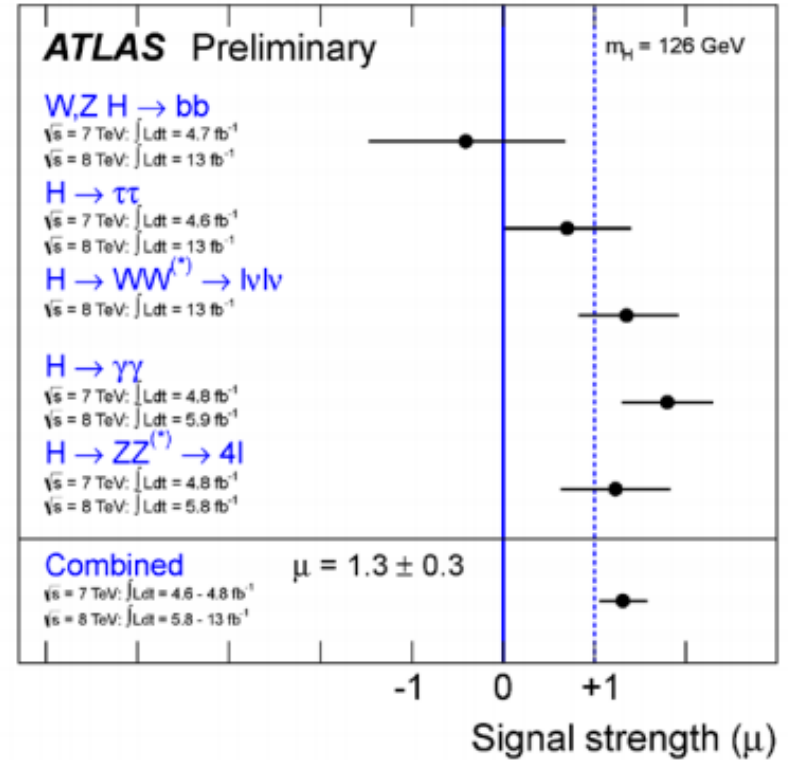
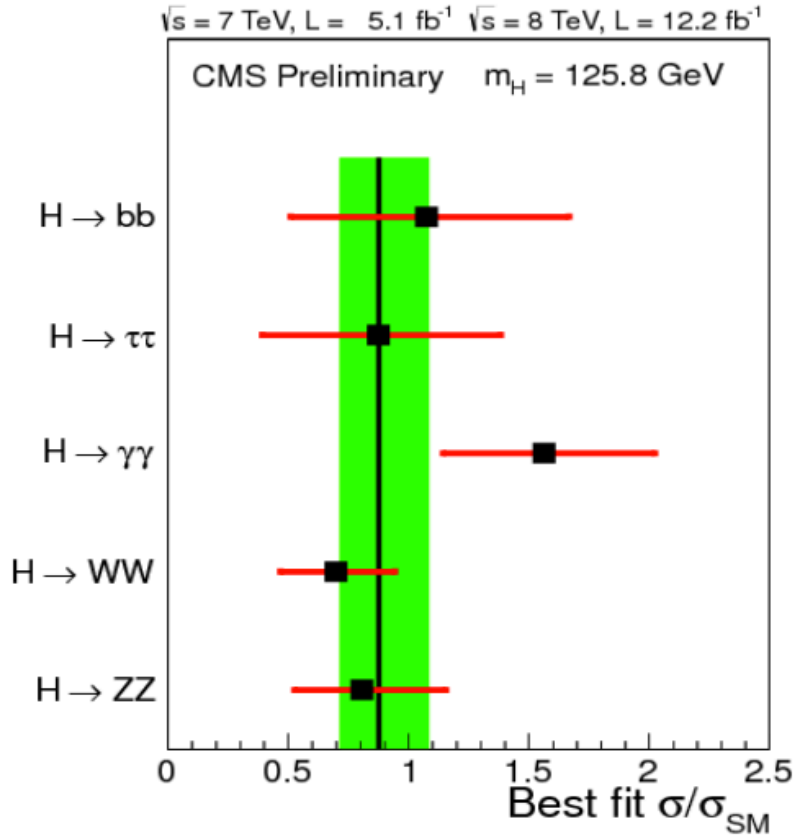
VH, H → bb

- Topologia e' molto chiara, molti stati finali considerati :
 - $lvbb, llbb, vbb$
 - $\Delta\phi(V,H)$, b-tagging duro

Higgs boostato
 $p_T(\text{Higgs}) > 150 \text{ GeV}$

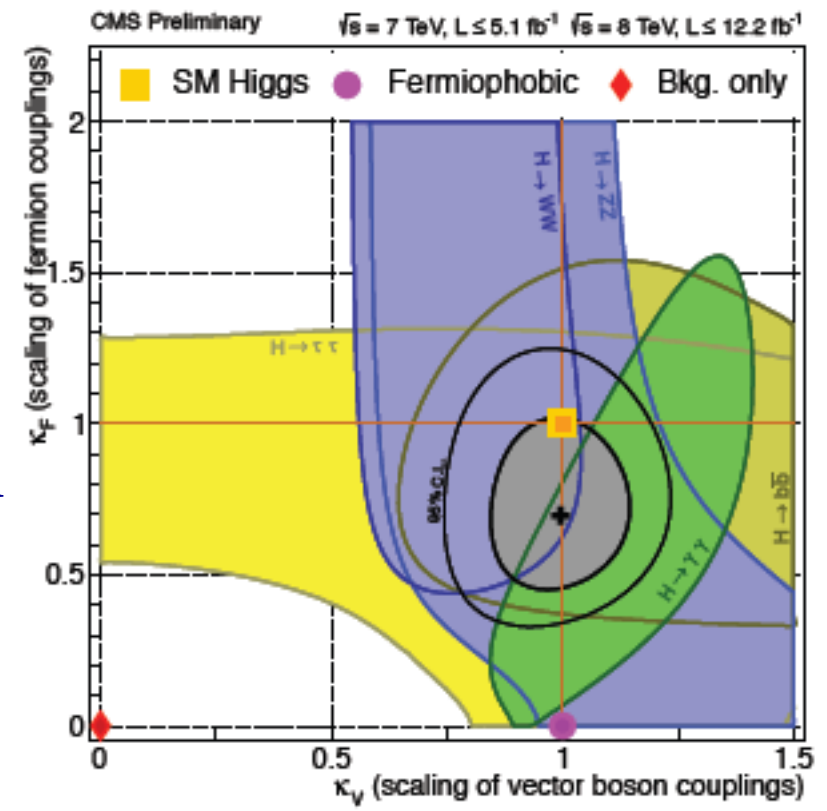


Misure compatibili



Proprieta'

- Stiamo misurando quanto l'Higgs interagisca con gli altri bosoni e fermioni :
La teoria lo prevede molto bene e quindi possiamo fare dei test e capire se e' veramente il bosone di Higgs del Modello Standard



Yellow Report 1 e 2

Il gruppo internazionale (teorico e sperimentale) che fornisce Sezioni d'Urto, frazioni di decadimento, metodi di analisi etc

LHC Higgs Cross Section Working Group

Coordinato (e inventato!) qua a Torino!

Attivo dal novembre 2009 (meeting in Torino);
2 pubblicazioni CERN-2011-02 e CERN 12-2002
con piu' di 300 citazioni

ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE
CERN EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

Handbook of LHC Higgs cross sections:
1. Inclusive observables

Report of the LHC Higgs Cross Section Working Group

Editors: S. Dittmaier
C. Mariotti
G. Passarino
R. Tanaka

ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE
CERN EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

Handbook of LHC Higgs cross sections:
2. Differential Distributions

Report of the LHC Higgs Cross Section Working Group

Editors: S. Dittmaier
C. Mariotti
G. Passarino
R. Tanaka

“Verso un nuovo mondo”

- Abbiamo costruito apparati sofisticati ed enormi, “le cattedrali della scienza”, per cercare una particella puntiforme che spiega il perché le particelle elementari hanno massa.
- E’ una scoperta di enorme importanza, che segna la storia della fisica
- E’ un grande successo di una comunità di migliaia di fisici: e’ un lavoro di gruppo, ma dove ognuno ha dato il suo personale contributo.