

# La ricerca del bosone di Higgs in CMS



Stefano Casasso

Università di Torino

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

# Sommario

- Che cos'è il bosone di Higgs?
- Perché lo cerchiamo?
- Come lo cerchiamo?
- Dove lo cerchiamo?
- Che aspetto ha?
- Lo abbiamo trovato?
- E ... adesso?

# Le particelle, la massa, il campo di Higgs

- La **massa** delle particelle composte (protone) si può, in linea di principio, calcolare, ma questo NON vale per le **particelle elementari** => si possono misurare
- Ma **perché** (dal punto di vista del Modello Standard) esse hanno una massa e in che modo l'acquistano?
- Un'ipotesi, elegante e convincente, è stata data nel 1964 da P. Higgs, F. Englert e R. Brout.
- Le particelle acquistano massa interagendo con il **campo di Higgs**
- Quanto più interagiscono tanto più è grande la loro massa

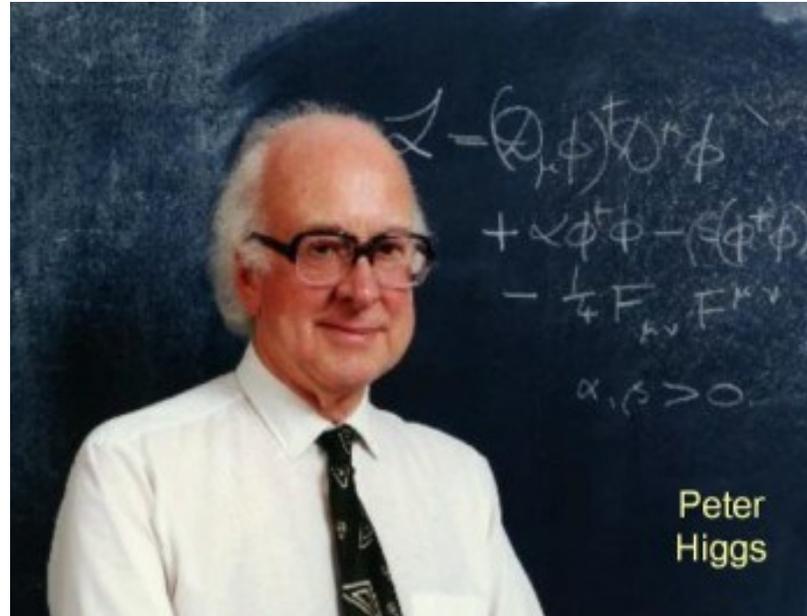
# Il campo di Higgs

- Pensiamolo come un mezzo che riempie il vuoto
- Interagendo con questo “mezzo” le particelle elementari “sentono” una massa efficace



Il quark top “pesa” circa 350 000 volte quello che pesa un elettrone ...

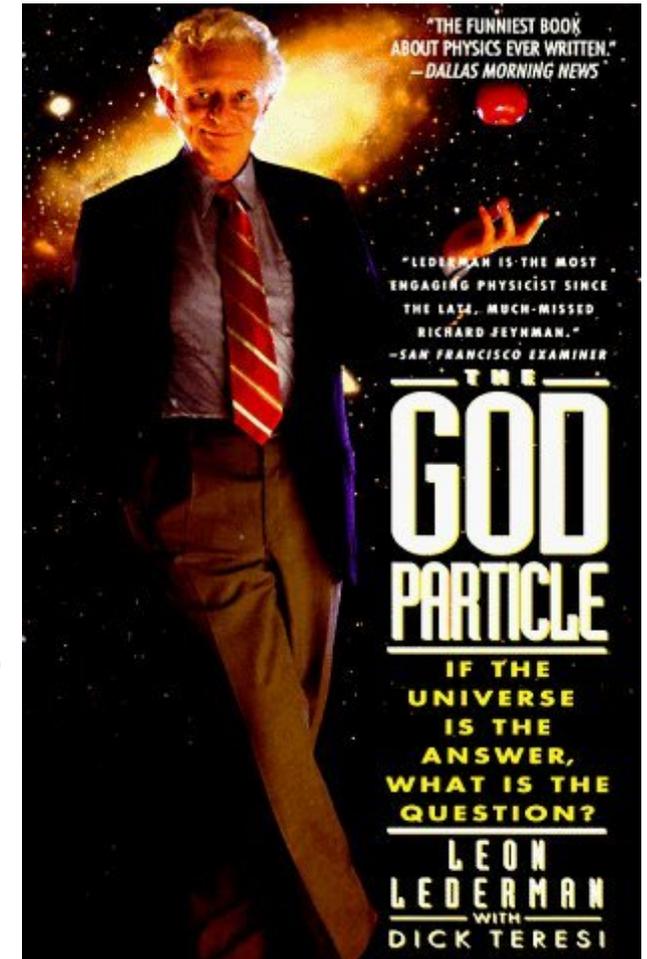
# Il bosone di Higgs



- Nella teoria delle particelle elementari più affermata, il Modello Standard, ad ogni campo è associata una particella (detta “quanto” di quel campo)
- Nella slide prima: campo  $\Rightarrow$  neve, quanto  $\Rightarrow$  fiocco di neve
- Il **bosone di Higgs** è la particella associata al campo di Higgs, così come il fotone è associato al campo elettromagnetico

# Il bosone di Higgs e ... Dio??

- Il bosone di Higgs viene spesso chiamato la “**particella di Dio**”. Ma che cosa c'entra con Dio??
- La risposta è: **! ASSOLUTAMENTE NIENTE !**
- L. Ledermann (premio Nobel per la fisica 1988) scrisse nel 1993 il libro: “The Goddamn Particle” ovvero la **particella maledetta** (in riferimento alla difficoltà di osservarla negli esperimenti)
- Il suo scellerato editore ha cambiato il titolo in “The God Particle”
- Inutile dire che anche lo stesso P. Higgs ha più volte ripudiato questo fastidioso soprannome ...



# La ricerca dell' Higgs

- Da quando è stato predetto (1964) a quando è stato osservato (2012?) sono passati 48 anni (!!)
- E' stato cercato con ostinazione dai fisici di tutto il mondo, in particolare dagli esperimenti di **LEP** (**Cern**, Ginevra) e **Tevatron** (**Fermilab**, Chicago)
- Forse Ledermann qualche ragione ce l'aveva a chiamarla maledetta...
- **Ma perchè è così difficile da scovare?**

# Come si nasconde il bosone di Higgs (1)

- Il bosone di Higgs viene prodotto molto raramente nelle collisioni di LHC => necessità di molti anni di “presa dati” per giungere ad una conclusione sulla sua esistenza (statistica)



# Come si nasconde il bosone di Higgs (2)

- Molti processi di fisica nota del Modello Standard “assomigliano” al bosone di Higgs, e accadono molto più frequentemente
  - Produzione coppie bb:  $10^{14}$  eventi ogni anno
  - $H \rightarrow bb$ :  $10^5$  eventi ogni anno



# Come si nasconde il bosone di Higgs (3)

- Nessuno sa quanto “pesi” l’Higgs: a seconda della sua massa può apparire in modo molto diverso
- Viene cercato in un intervallo tra 100-1000 GeV (ricorda: 1 GeV  $\cong$  massa protone)



100 GeV



1000 GeV

# Come cerchiamo il bosone di Higgs

- Cercare il bosone di Higgs e' veramente come "*cercare un ago in un pagliaio*": il lavoro di un fisico sperimentale e' di smuovere questo pagliaio
- Gli strumenti che abbiamo:
  - **Bricolage**: selezioniamo un centinaio di eventi tra i miliardi registrati dal nostro esperimento, operando delle richieste stringenti sulle proprieta' cinematiche dell'evento => la nostra selezione aumenta la probabilita' di segnale (Higgs) rispetto a quella di altri processi non "interessanti"
  - **Statistica**: sofisticati strumenti statistici applicati all'insieme di eventi che selezioniamo ci danno informazioni preziose sull'esistenza o assenza di segnale (Higgs) nei nostri dati

# Dove cerchiamo il bosone di Higgs

- @LHC, @CMS, in Italia e ... a **Torino!**
- Torino ha un nutrito gruppo di ricercatori impegnati nell'esperimento **CMS**, con una partecipazione fondamentale nella fase di costruzione del rivelatore e con ruoli di grande responsabilita' nella collaborazione
- In CMS Torino, una decina di ricercatori sono direttamente coinvolti nella ricerca del bosone di Higgs, in particolare nel gruppo di analisi che che studia il decadimento: **H -> ZZ -> 4l**

Higgs

2 bosoni Z

Ogni bosone Z decade in 2 leptoni  
-> 4 leptoni in totale!

# I 4 leptoni

- I leptoni sono di **6** tipi: elettrone, muone, tau + 3 neutrini
- Noi siamo interessati a leptoni carichi (tracce) -> rimangono **3** tipi
- Il tau e' difficile da identificare, decade subito, produce tante particelle -> rimangono **elettrone e muone**
- 2 bosoni Z, ognuno puo' decadere in 2 modi => 3 combinazioni possibili:
  - 4 muoni
  - 4 elettroni
  - 2 muoni + 2 elettroni
- Queste combinazioni sono gli "stati finali" che cerchiamo nella nostra analisi, ovvero le particelle che devono essere ricostruite nel rivelatore per rendere l'evento "appetibile"

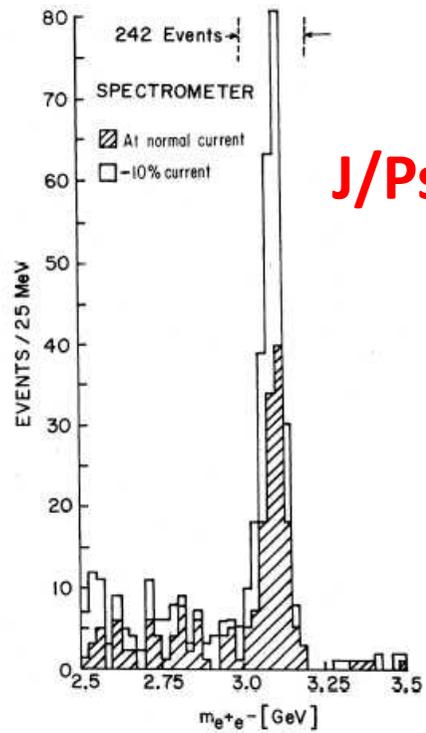
# Come vediamo il bosone di Higgs

- Partendo dall'identificazione e ricostruzione dei 4 leptoni, scorrendo all'indietro la nostra catena di decadimento, ricostruiamo il “*candidato*” bosone di Higgs
- I 4 leptoni, così come qualunque particella ricostruita in CMS, è innanzitutto un 4-momento:  $(E, p_x, p_y, p_z)$
- Combinando insieme i 4-momenti dei 4 leptoni (o delle 2 Z) come Einstein ci ha insegnato ricostruiamo la **massa** (invariante) del nostro candidato

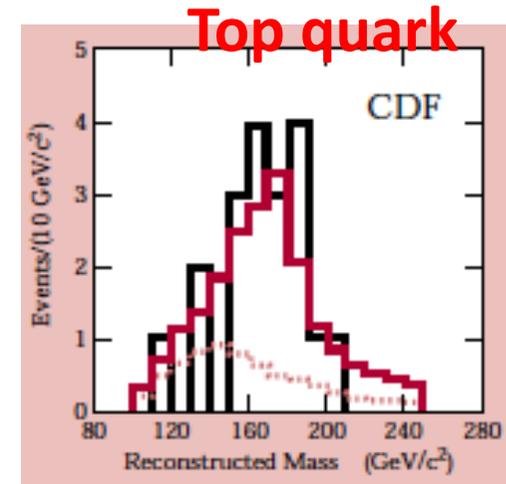
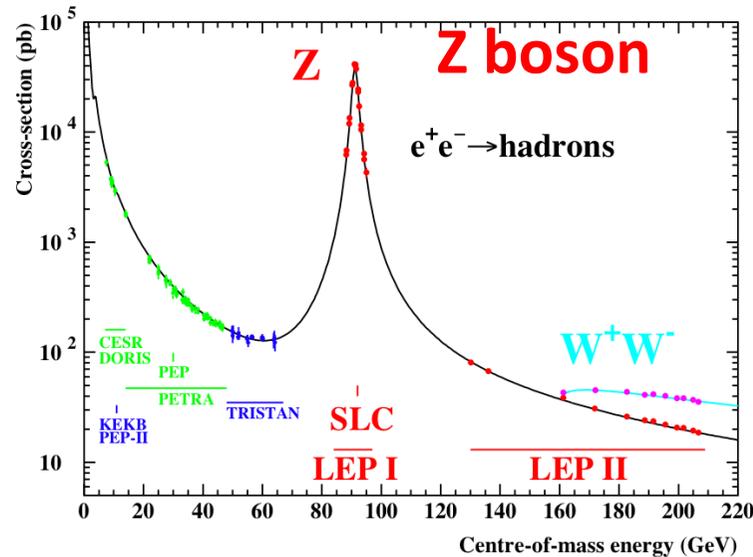
**N.B.:** Questo è il modo più semplice e più usato per cercare nuove particelle: esse possono apparire come dei “*picchi*” attorno al valore della massa della particella

# Un po' di storia ...

- Alcuni esempi di **picchi** famosi nella storia della fisica

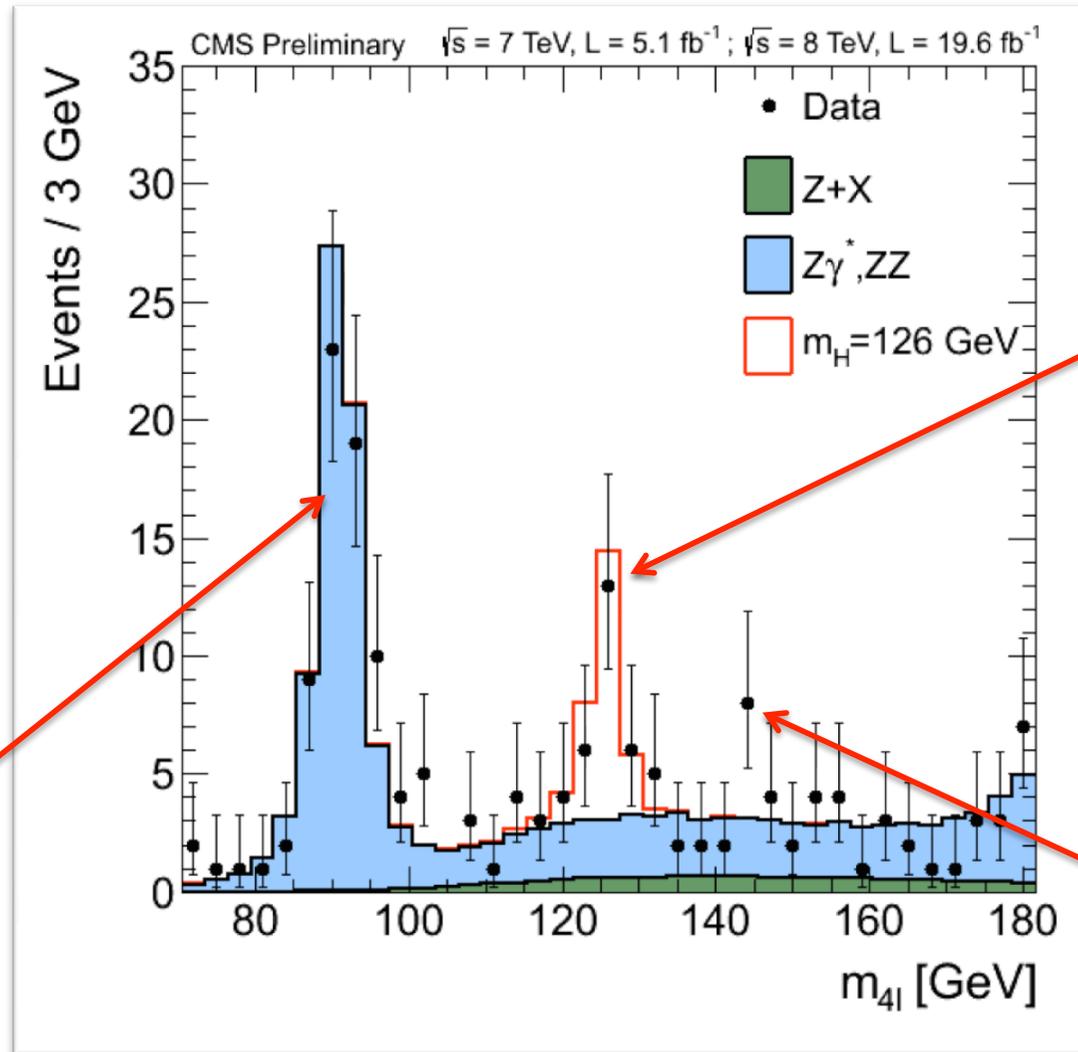


J/Psi



Top quark

# ... fino ai giorni nostri



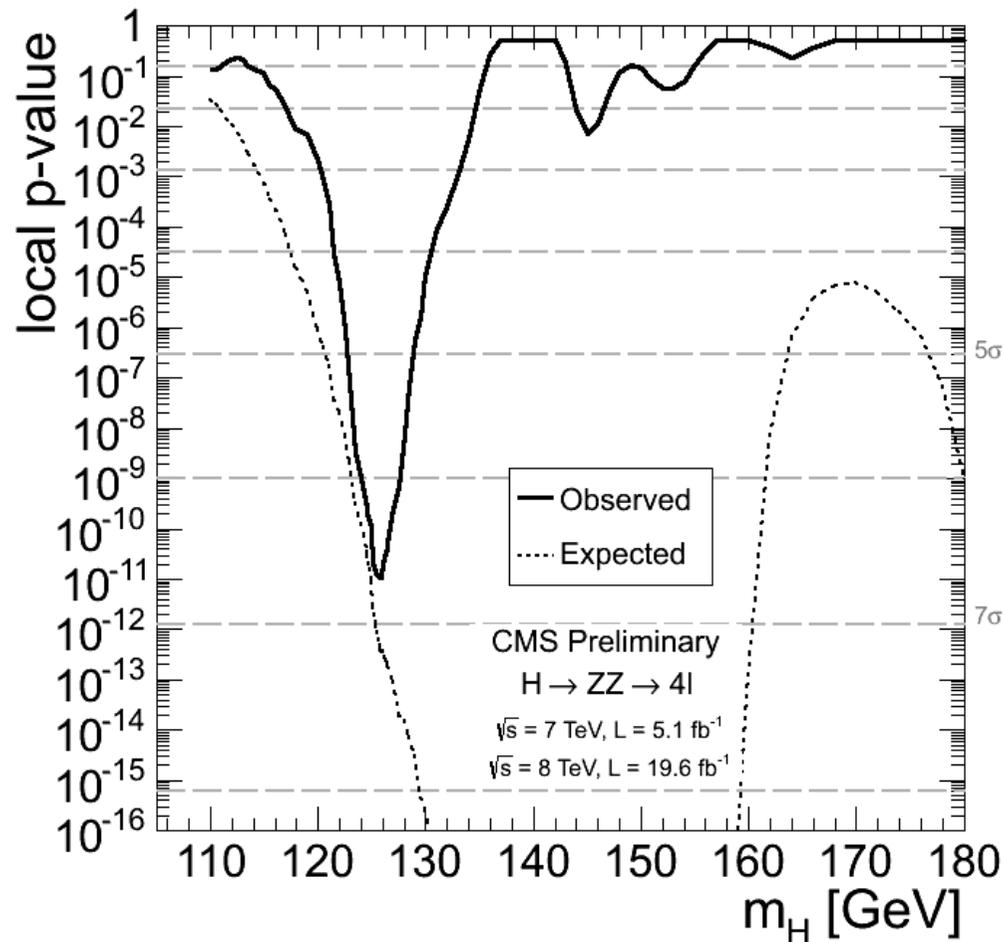
Vecchia conoscenza,  
il bosone Z ...

Nuova  
particella,  
scoperta dagli  
esperimenti  
CMS e ATLAS!

Fluttuazione  
statistica (?)

# P-value

- Un' altro modo per “vedere” una particella...



E' la probabilita' di osservare un numero di eventi maggiore o uguale a quello osservato in assenza di una nuova particella (in questo caso, il **bosone di Higgs**)



Minore e' questa probabilita', piu' verosimilmente si sta osservando il segnale di una nuova particella ...

# 4 Luglio 2012

- Una data che ha cambiato la fisica delle particelle: gli esperimenti CMS e ATLAS a LHC annunciano la scoperta di una nuova particella (un bosone) ad una massa di 125-126 GeV
- Grande risonanza mediatica dell'evento, a volte accompagnata da un po' di confusione ...



# Higgs o non Higgs?

- Come detto e' stata annunciata la scoperta di una nuova particella ... ma **e' proprio il bosone di Higgs?**
- Questa e' una domanda cui non possiamo ancora rispondere con certezza: serviranno piu' dati e nuovi studi
- Le prime indicazioni che si hanno sembrano indicare che sia proprio il bosone di Higgs, cosi' come fu predetto dallo scienziato britannico ...

# E adesso?

- Adesso arriva il bello! Nuove porte (e nuove sfide) si aprono per la **comunita' sperimentale**:
  - Dare una risposta definitiva sull' "identita'" della nuova particella
  - Misurare con precisione le sue proprieta'
- ... ma anche per la **comunita' teorica**: il bosone di Higgs cosi' come e' previsto nel Modello Standard lascia ancora parecchie domande senza risposta, una su tutte:
  - Perche' esiste una gerarchia di massa cosi' forte tra le particelle elementari?
- Tutto cio' e' fondamentale per progredire nella nostra comprensione dei meccanismi delle interazioni fondamentali