

L'Higgs

Giorgio Chiarelli
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Pisa

La semplicità...

La semplicità è una delle basi del programma riduzionistico

- Quante forze («interazioni») fondamentali ci sono?
 1. Interazioni forti
 2. Forza elettromagnetica
 3. Interazioni deboli
 4. Forza gravitazionale

Possiamo ridurre tutto ad una forza?

- Negli ultimi decenni del '900 abbiamo capito (e dimostrato) che la 2. e la 3. erano aspetti di una stessa forza
 - L'interazione elettrodebole

Il modello a quark

Negli anni '50 e '60 del '900 i fisici sfruttarono pesantemente

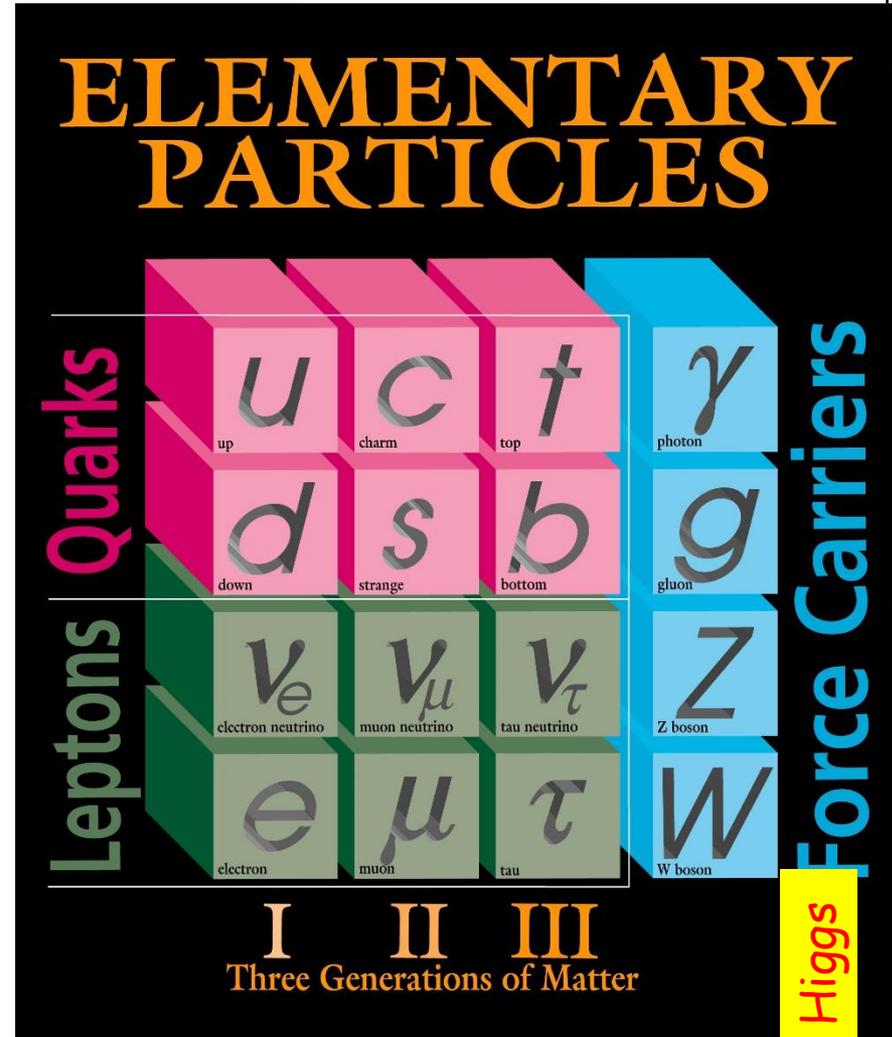
- $E=mc^2$, creando negli scontri tra particelle decine e decine di nuove particelle, di cui misuravano le proprietà.
- Studiando la regolarità di queste proprietà alcuni scienziati ipotizzarono l'esistenza di un numero limitato (inizialmente 2, poi 3, infine 6) di particelle elementari
 - **Three quarks for Muster Mark**

Il modello standard

il mondo subatomico

- ☞ Tre generazioni di materia
- ☞ 4 portatori di forze
 1. Fotone
 2. Gluone
 3. Z
 4. W
- ☞ Sappiamo prevedere tutti i processi con esattezza

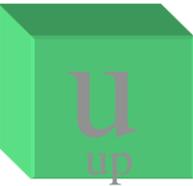
problema: tutte le particelle hanno massa 0



I Fermioni : le masse (in GeV)

Q
U
A
R
K
S

L
E
P
T
O
N
I

0.003  **u**
up

1.5  **c**
charm



t
top

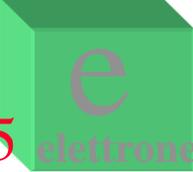
1 GeV \approx protone

0.006  **d**
down

0.12  **s**
strange



b
bottom

0.0005  **e**
elettrone

0.105  **μ**
muone



τ
tau

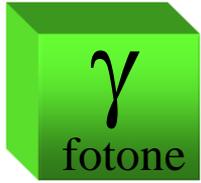
≈ 0  **ν_e**
neutrino e

≈ 0  **ν_μ**
neutrino μ

≈ 0

ν_τ
neutrino τ

I Bosoni: le masse

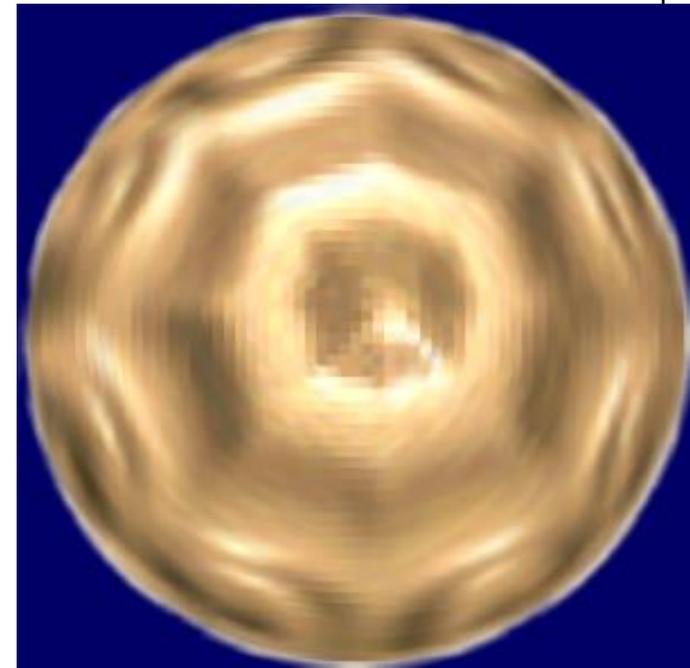
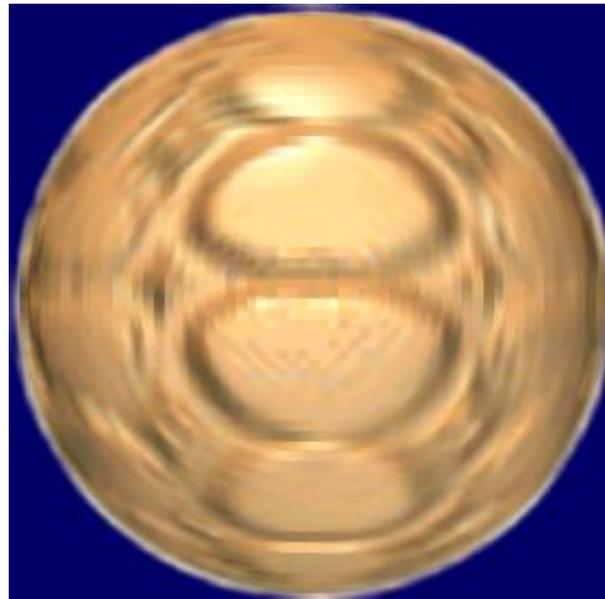


0

0

83 GeV

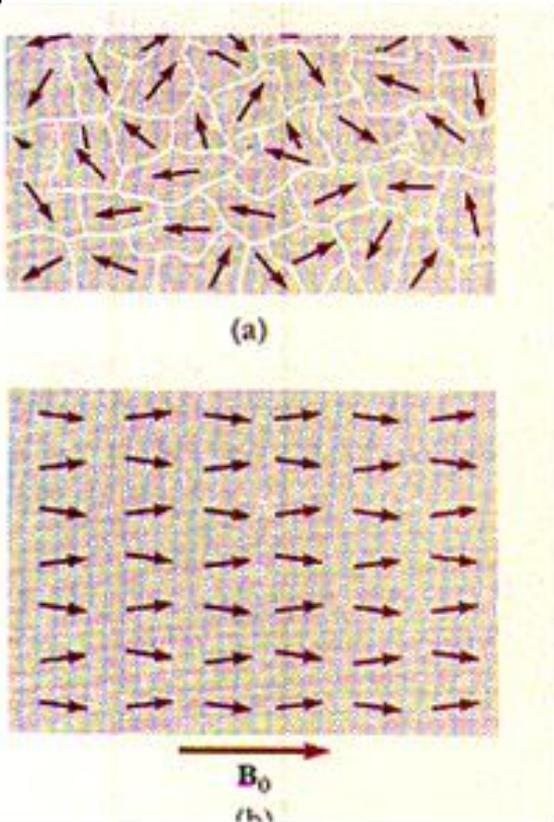
91 GeV



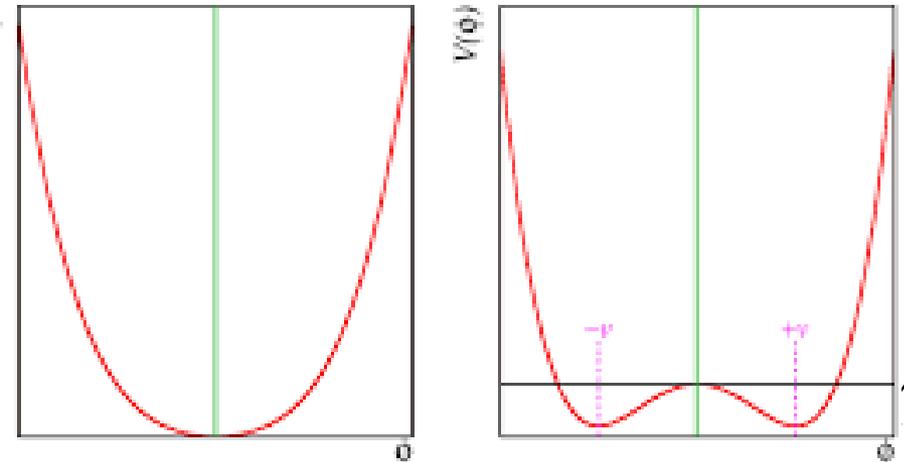
1 GeV \approx protone

La risposta

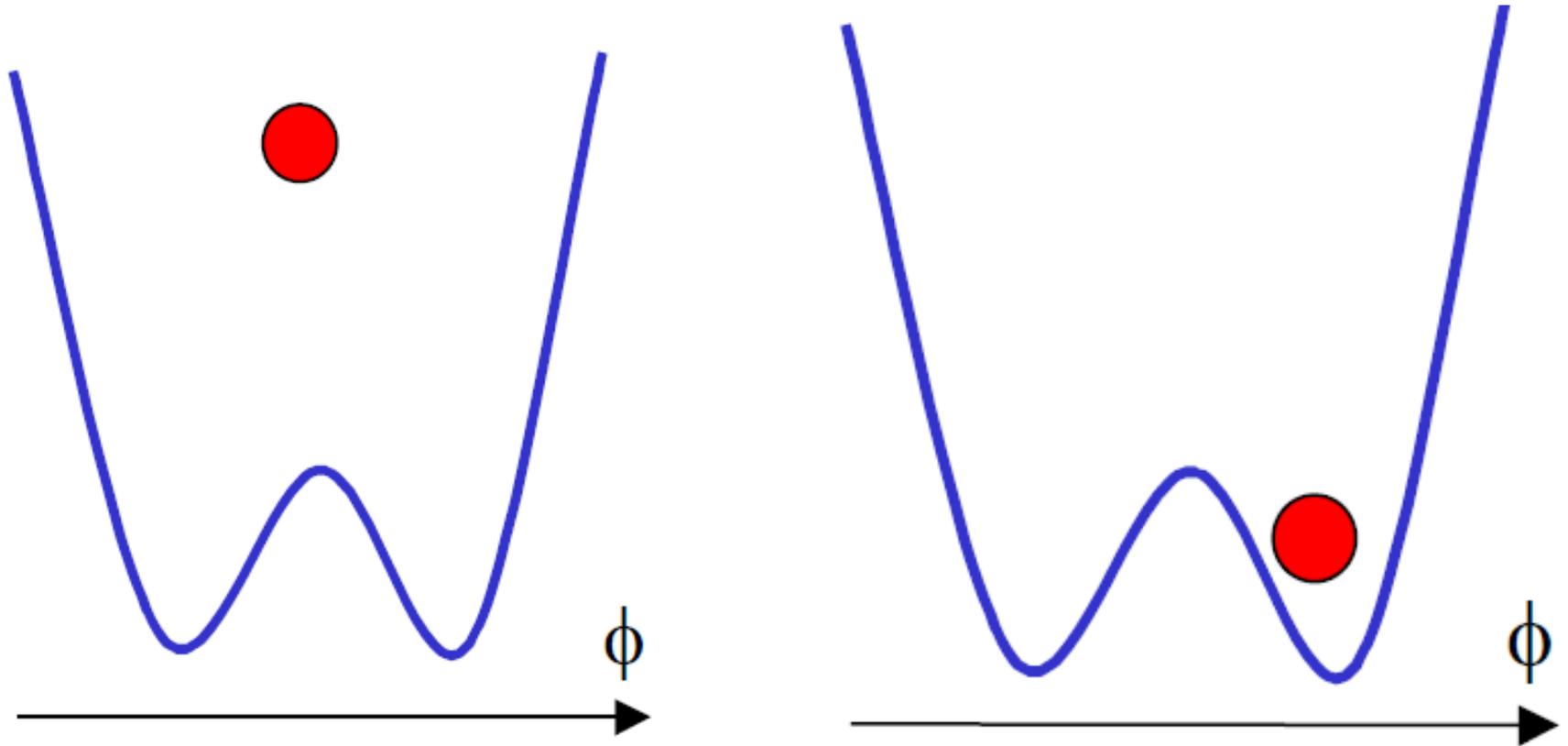
La risposta alla domanda era già stata data



- ☞ Nei primi anno '60 si studiavano le «rotture spontanee delle simmetrie»
 - ⇒ (a sx il ferromagnetismo)
- ☞ La domanda era: cosa succede se ho un «campo»
 - ⇒ Inizialmente simmetrico e poi del tipo a «cappello messicano»



Il meccanismo di Higgs



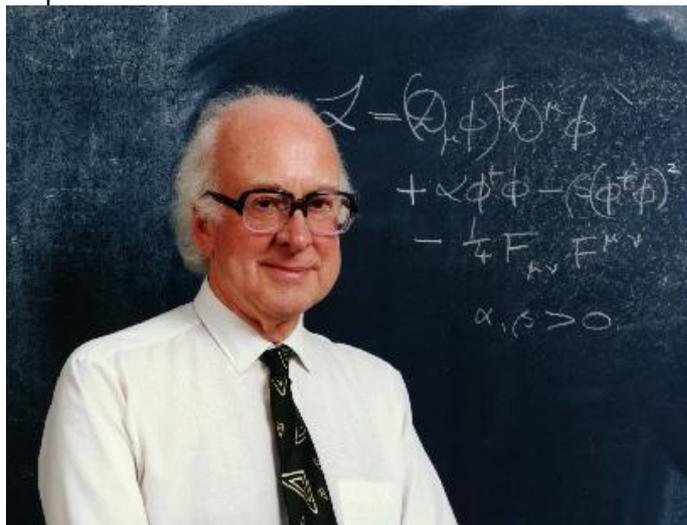
Ma le masse...no...

Abbiamo una teoria (il Modello Standard) che ci «spiega» tutte le nostre misure

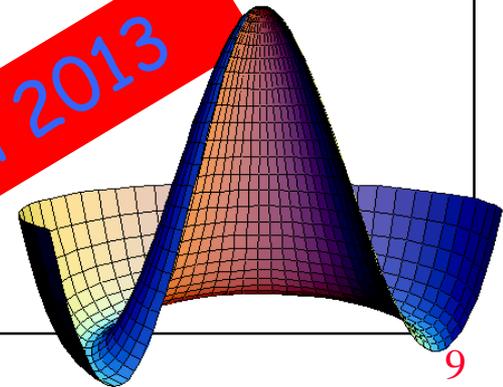
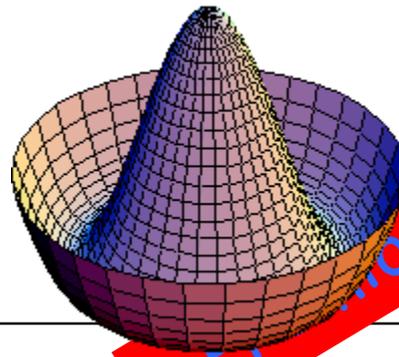
☞ Ed anzi che ci da delle previsioni

Non riesce a spiegare perché le particelle hanno massa

☞ La soluzione di questo problema (com particelle) è venuta prima della teoria del Modello Standard



Spontaneous symmetry breaking
(Brout, Englert, Higgs, Kibble, 1964)

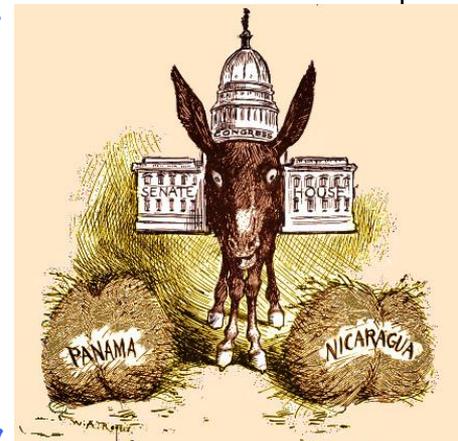


Nobel 2013

L'asino di Buridano e la rottura spontanea della simmetria

La domanda è: se un asino è equidistante da due mucchi di avena, quale mangerà?

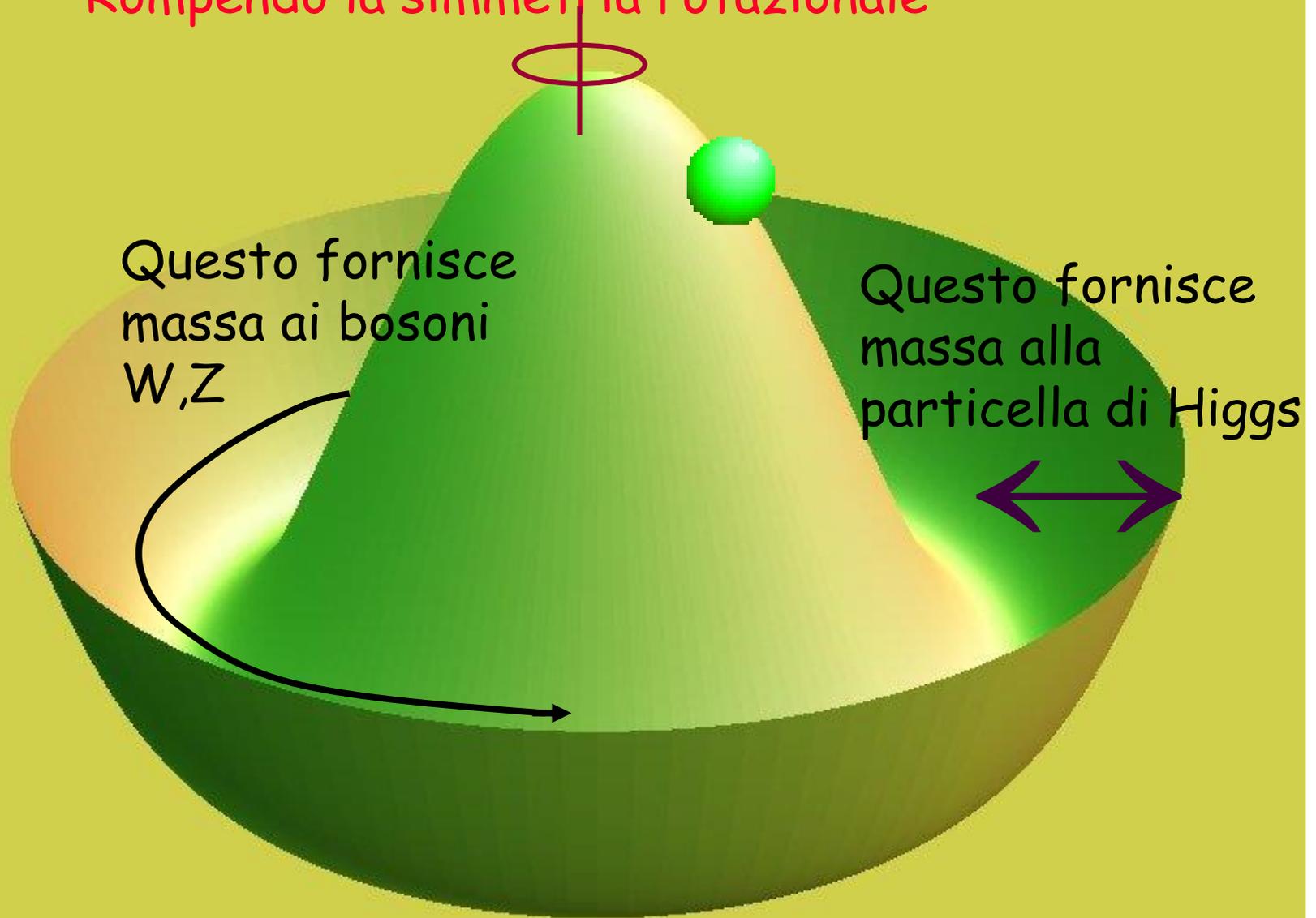
Secondo **Buridano** l'intelletto è sempre in grado di indicare all'uomo quale sia la scelta giusta tra le varie diverse alternative tanto che se, per assurdo, la scelta fosse costituita da due elementi identici la volontà si paralizzerebbe a meno che non si scegliesse di non scegliere.



Leibniz discusse di questo paradosso nei suoi *Saggi di teodicea* osservando che in natura non esistono, come avviene invece in matematica, due realtà perfettamente identiche e che quindi l'azione umana è sempre determinata da una precisa causa, magari a noi sconosciuta ma esistente.

☞ Sarebbe interessante che qualche filosofo ridiscutesse il problema alla luce della scoperta del bosone di Higgs

Rompendo la simmetria rotazionale



Un solo campo che pervade tutto lo spazio

Ma cosa fa questo campo?

Il meccanismo di Higgs non solo fornisce la massa ai bosoni (γ, Z, W) ma lascia un campo che pervade tutto:

- L'interazione delle particelle con questo campo fornisce loro massa..



Come facciamo a vederlo?



Ma come fare a trovarlo??

Sfruttiamo l'equazione di Einstein:

☞ $E=mc^2$

Trasformiamo l'energia in massa

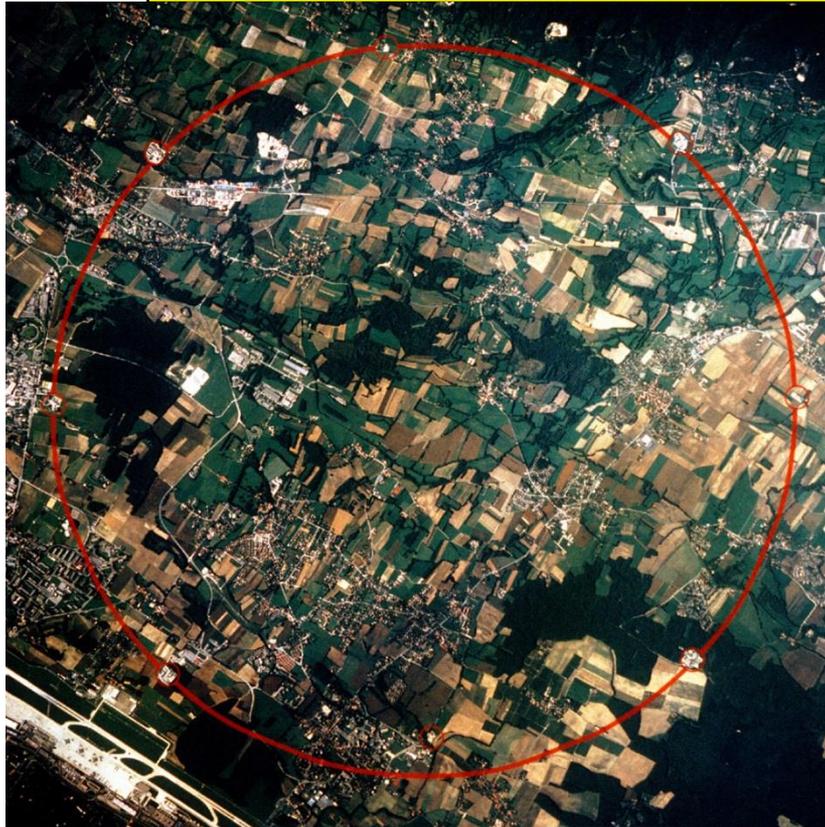
☞ Creiamo il bosone di Higgs (per un momento infinitesimo)

⇒ Riveliamolo attraverso i suoi «figli»

Tre problemi:

- ☞ Se ha massa grande abbiamo bisogno di grande energia
- ☞ È un evento molto raro
- ☞ Vogliamo distinguerlo da eventi che possono emularlo (ma che non ci interessano)

La risposta

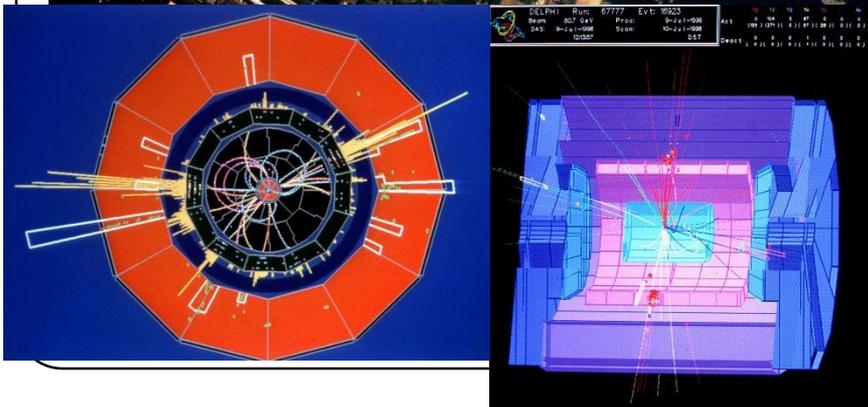


☞ Acceleratori di particelle:
nello scontro tra fasci di
particelle diviene
disponibile l'energia
necessaria

☞ Se gli scontri sono tanti
allora è possibile creare
un numero sufficiente di
bosoni di Higgs da essere
rivelato

☞ Rivelatori di particelle:

⇒ Ricostruire gli eventi e
distinguere il grano (Higgs)
dal loglio (il fondo)

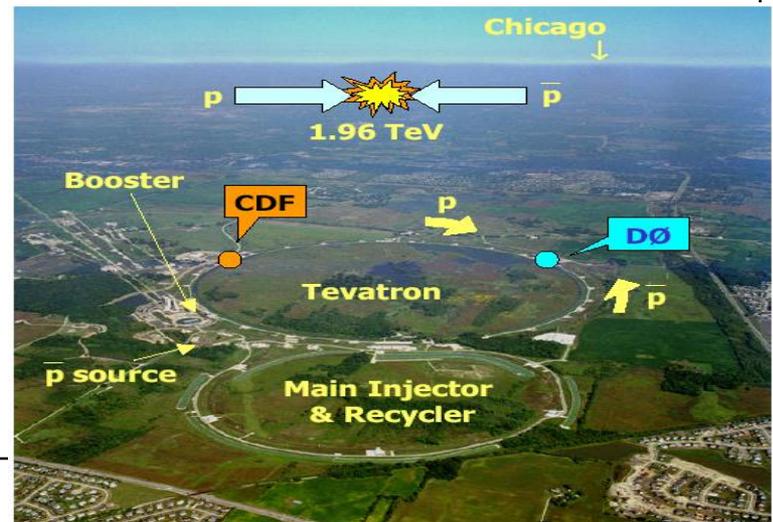
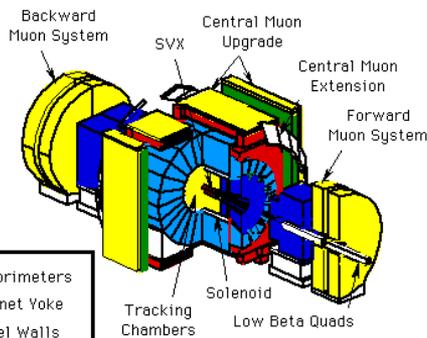


Come è andata?

Ci abbiamo messo qualche anno...

- ☞ Prima la caccia al LEP (scontri tra elettroni e positroni in un acceleratore del CERN)
 - ⇒ Non abbiamo visto l'Higgs, ma abbiamo capito che doveva avere una massa $>114 \text{ GeV}$
- ☞ Poi una lunga caccia al collisionatore protone-antiprotone Tevatron (Chicago)
 - ⇒ Abbiamo capito qualcosa in più e visto
 - Qualcosa che non era completamente coerente con le aspettative per gli eventi di fondo

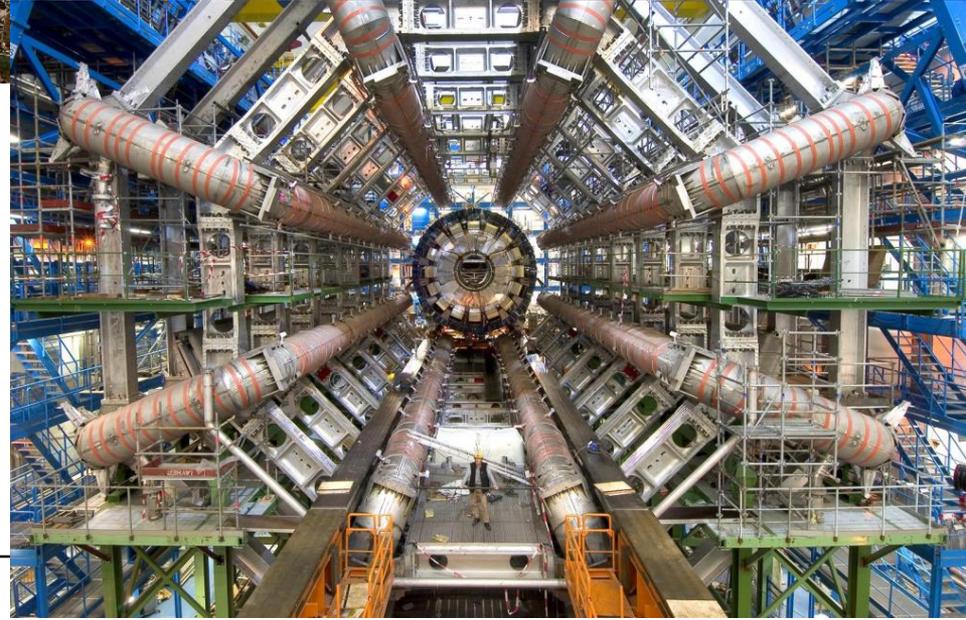
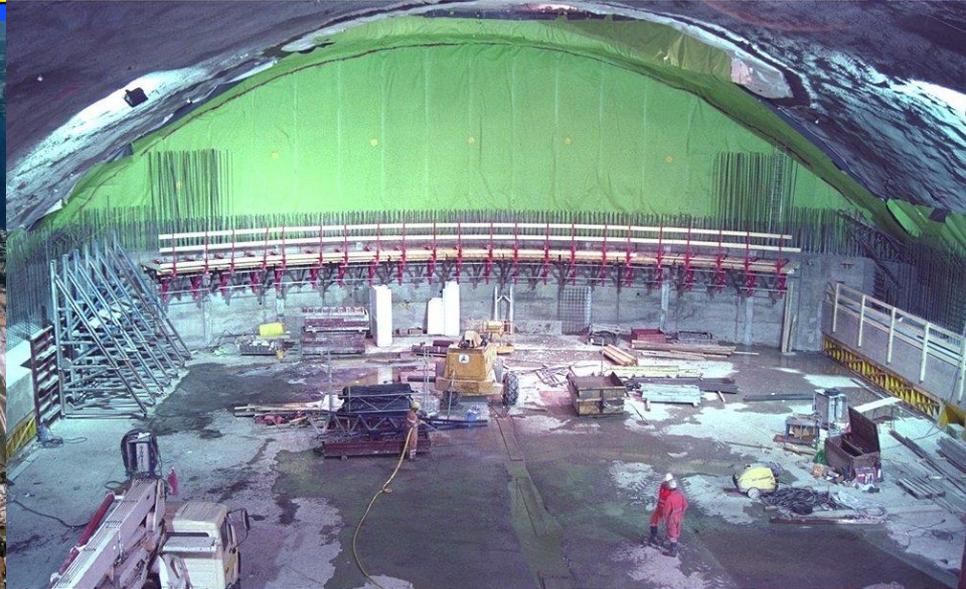
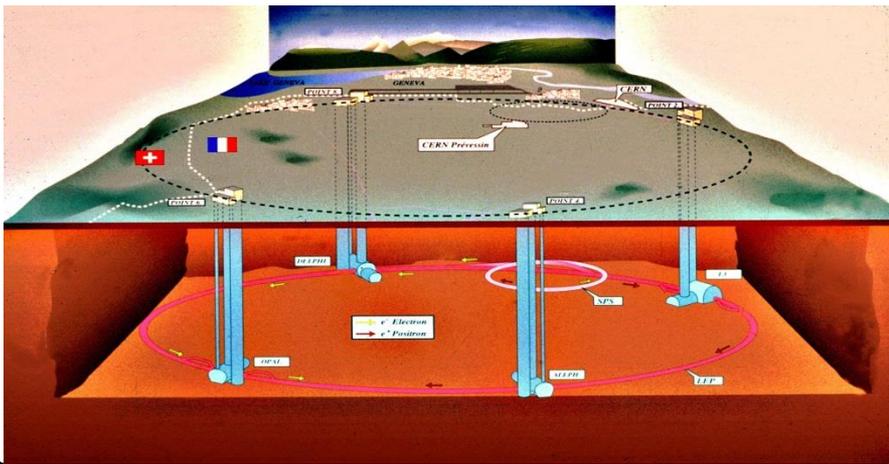
CDF Detector



LHC ed i suoi esperimenti

CERN-Ginevra

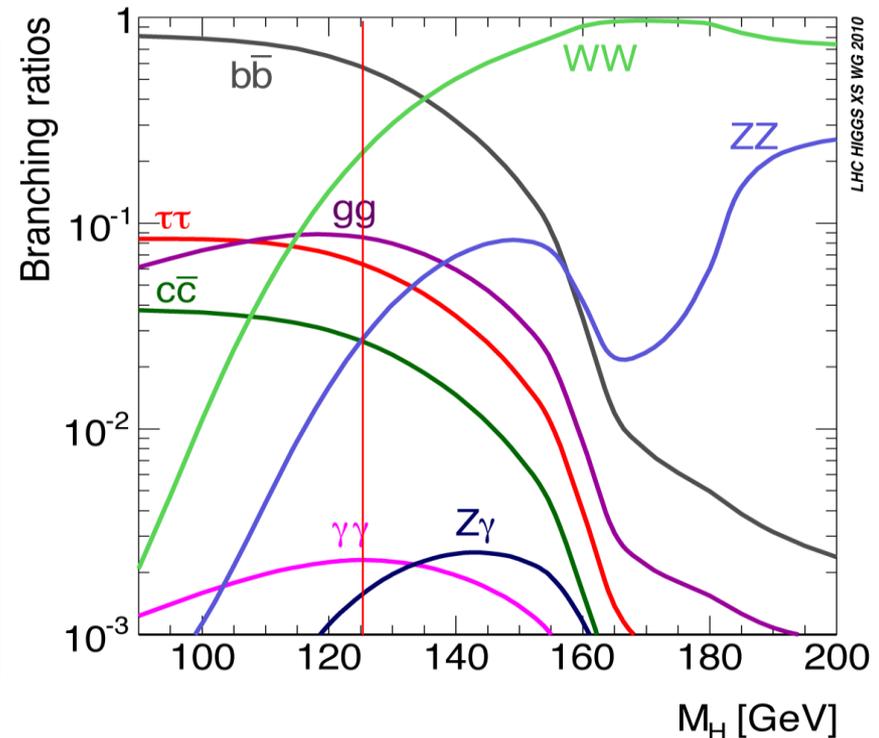
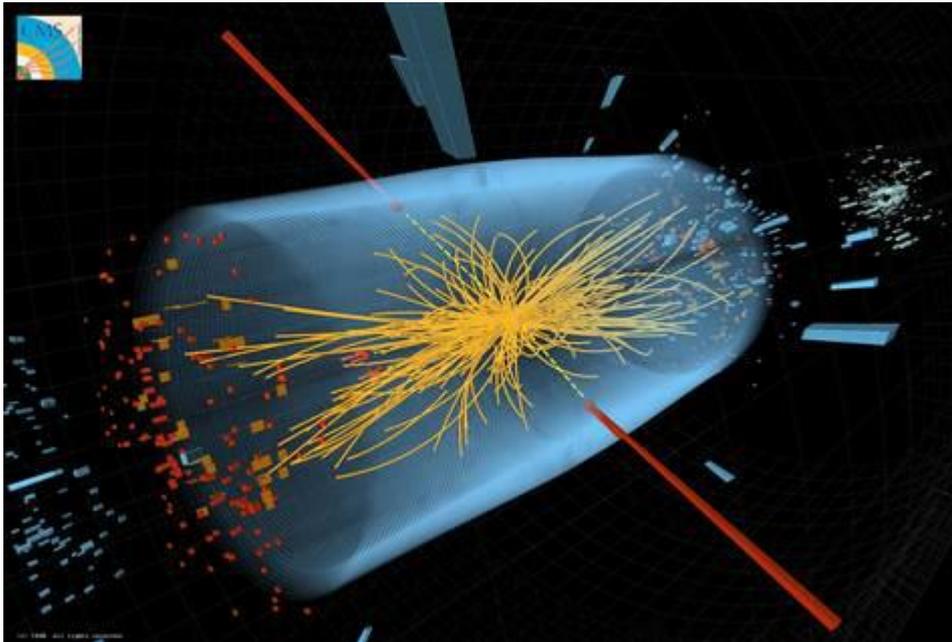
Diametro=27 Km



Come vediamo la particella di Higgs?

In maniera non diversa da come vediamo altre particelle instabili

☞ Identifichiamo i prodotti del suo decadimento

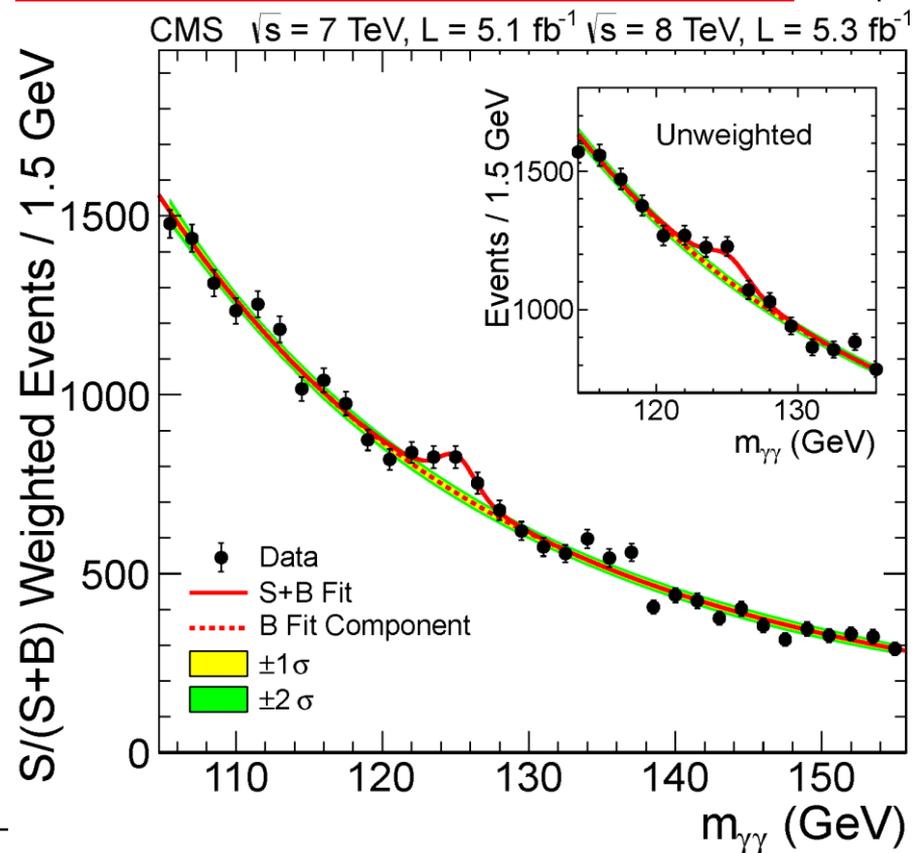
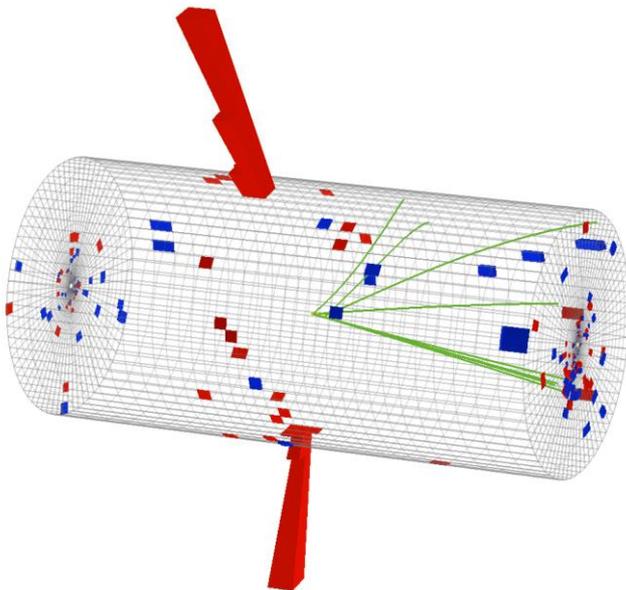


$H \rightarrow \gamma\gamma$

Il decadimento principale utilizzato per individuare la particella di Higgs è

☞ $H \rightarrow \gamma\gamma$

☞ L'identificazione avviene ricostruendo la massa del sistema $\gamma\gamma$

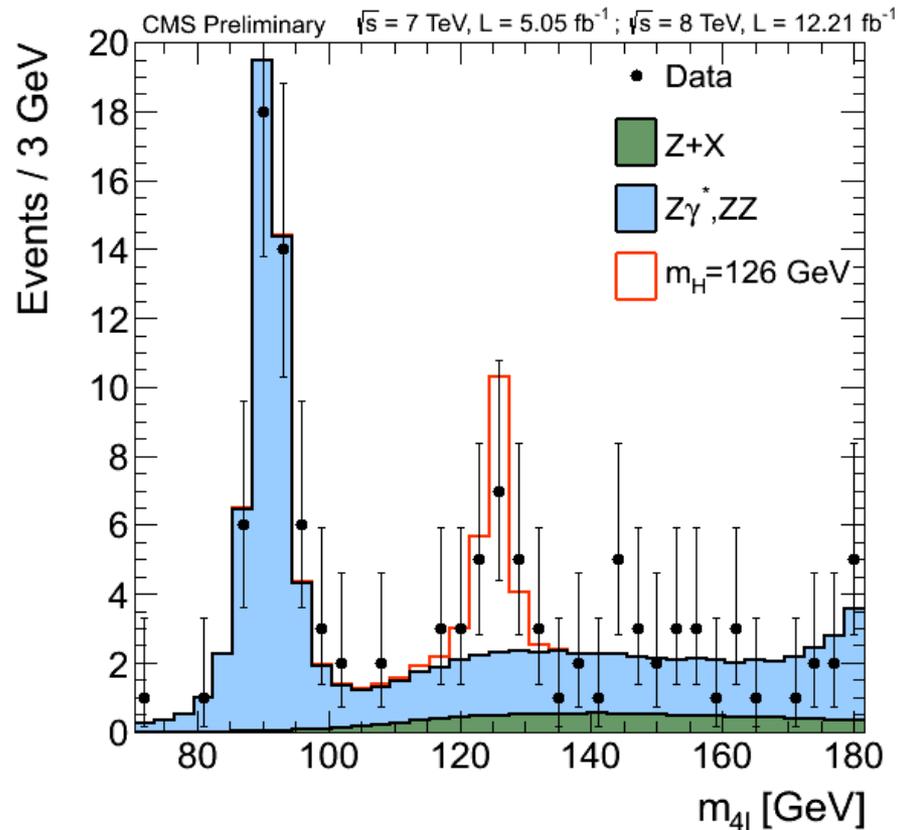
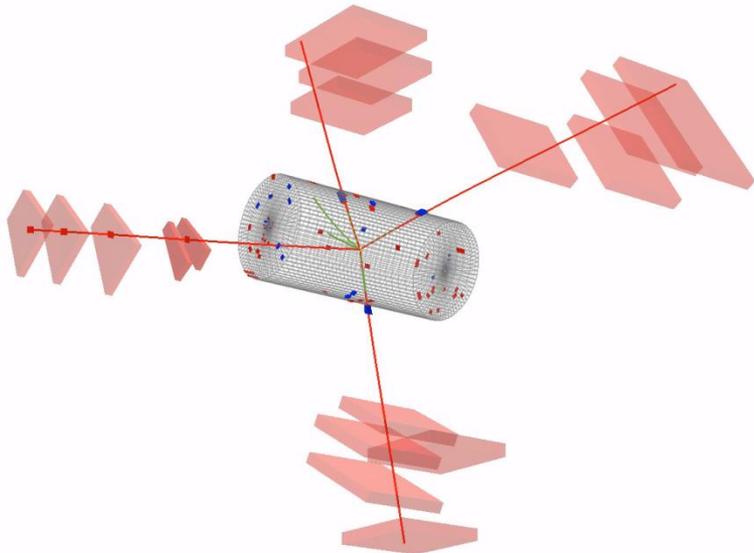


$H \rightarrow ZZ$

Un canale diverso è quello in cui

☞ $H \rightarrow ZZ, Z \rightarrow ll$ dove $l = e, \mu$

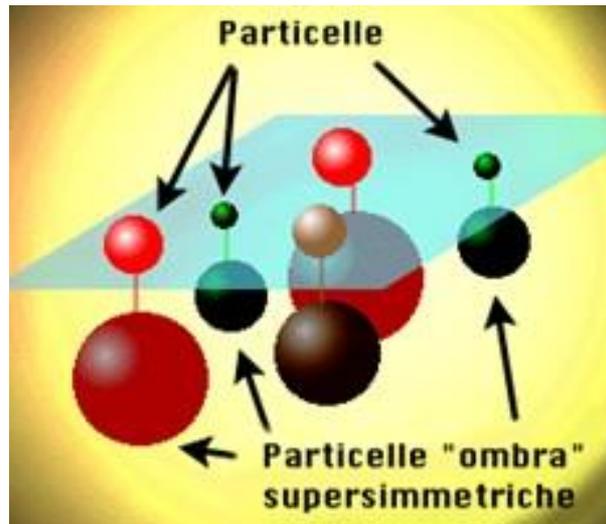
☞ Si ricostruisce la massa della coppia di Z



Altre strade?

Tutta la materia che ci circonda è composta da particelle (quarks e leptoni) che hanno una proprietà -lo spin- = $\frac{1}{2}$

E se per ogni particella nota esistesse un partner con spin=0?



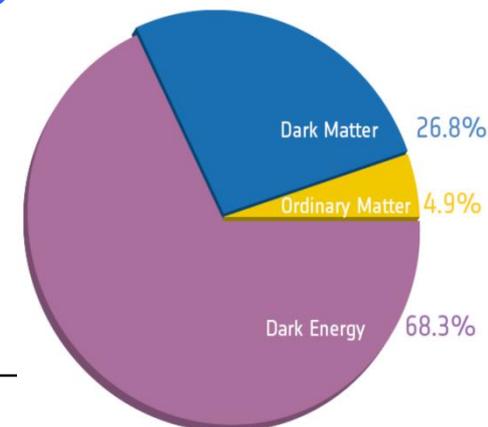
Ed ora?

Dobbiamo rispondere ad alcune domande

- ☞ La particella che abbiamo visto possiede tutte le proprietà attese nel modello standard?
 - ⇒ Misurazione precisa degli altri canali di decadimento
 - ⇒ Misurazione precisa dello spin (zero o due?)
- ☞ Ci sono delle anomalie (comportamenti inattesi)?
- ☞ È l'unica?
 - ⇒ Ci sono teorie che «includono» il modello standard che prevedono più «particelle di Higgs»

Un grande mistero:

- ☞ la «dark matter»



Che implicazioni per questa massa?

