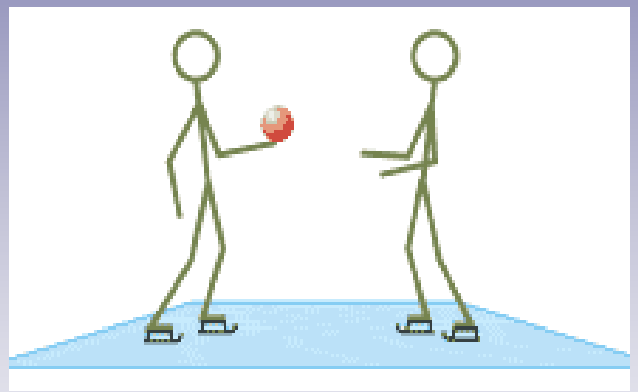
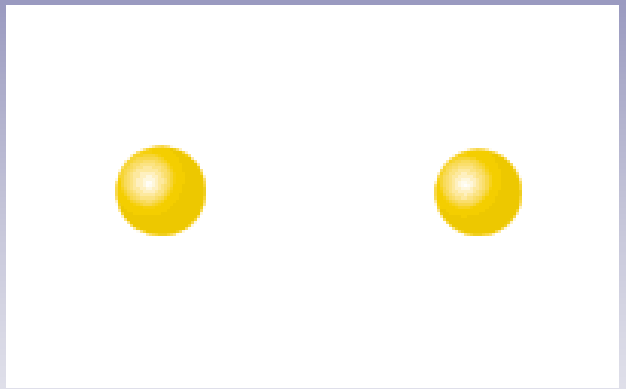
Il Modello Standard e il bosone di Higgs

Paolo Gambino
INFN Torino

Le interazioni fondamentali



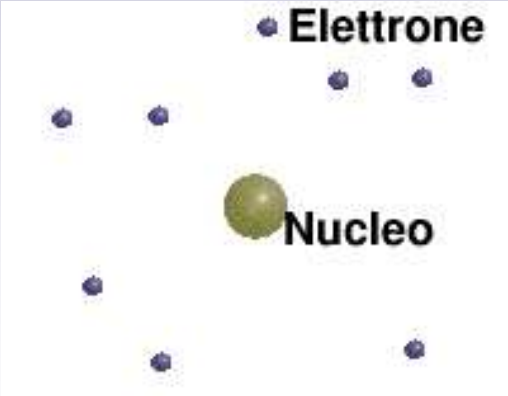


Le particelle di materia interagiscono tra loro scambiandosi *bosoni*
la forza può essere attrattiva o repulsiva

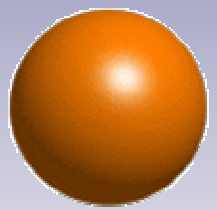
4 interazioni fondamentali

- elettromagnetiche
- deboli
- forti
- gravitazionali

Forza elettromagnetica



interazioni *deboli*



Decadimenti β

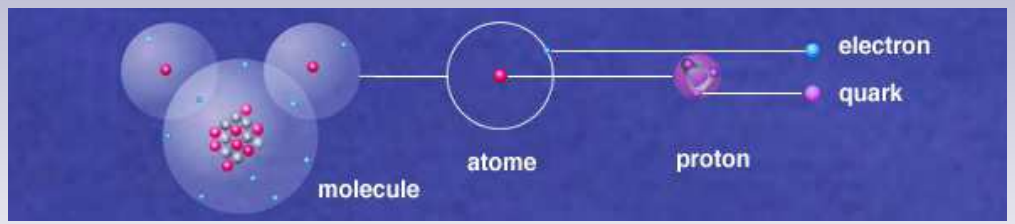
Decadimento del muone

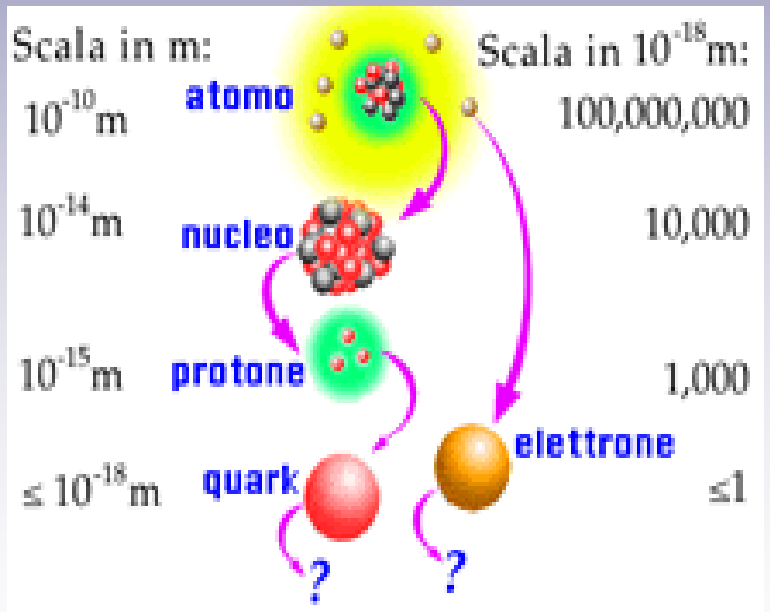
4 interazioni fondamentali

- elettromagnetiche
- deboli
- **forti**
- gravitazionali

} elettrodeboli

MODELLO STANDARD





Non c'è ad oggi evidenza di una struttura dell'elettrone e dei quark

4 interazioni fondamentali

- elettromagnetiche
- deboli
- forti
- gravitazionali

} elettrodeboli

MODELLO STANDARD

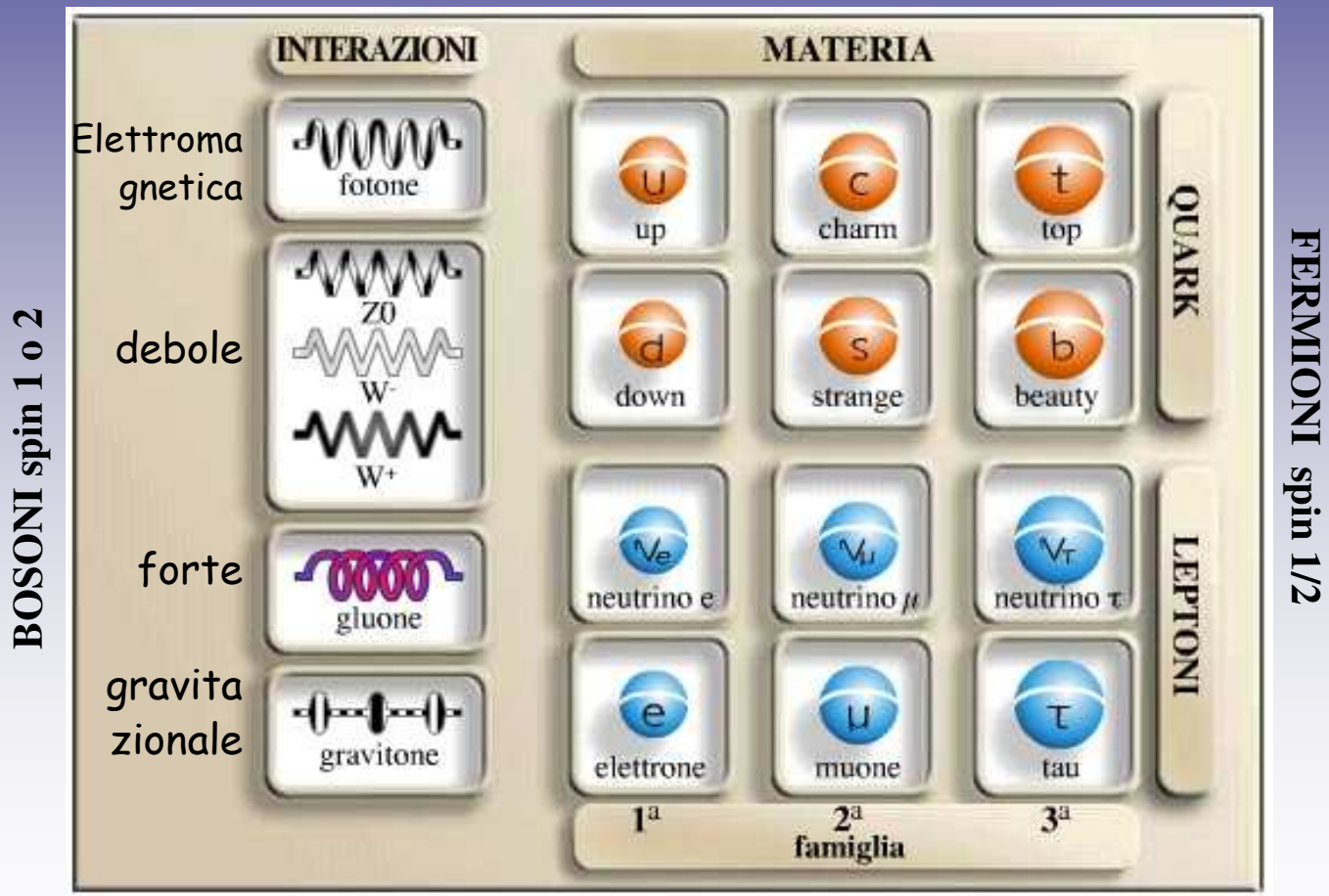
} GUTs ?

Stringhe ?

MODELLO STANDARD: interazioni dettate da un <u>principio di simmetria</u> (*simmetria di gauge*)

E' possibile unificare tutte le forze utilizzando simmetrie più ampie?

Materia e quanti d'interazione

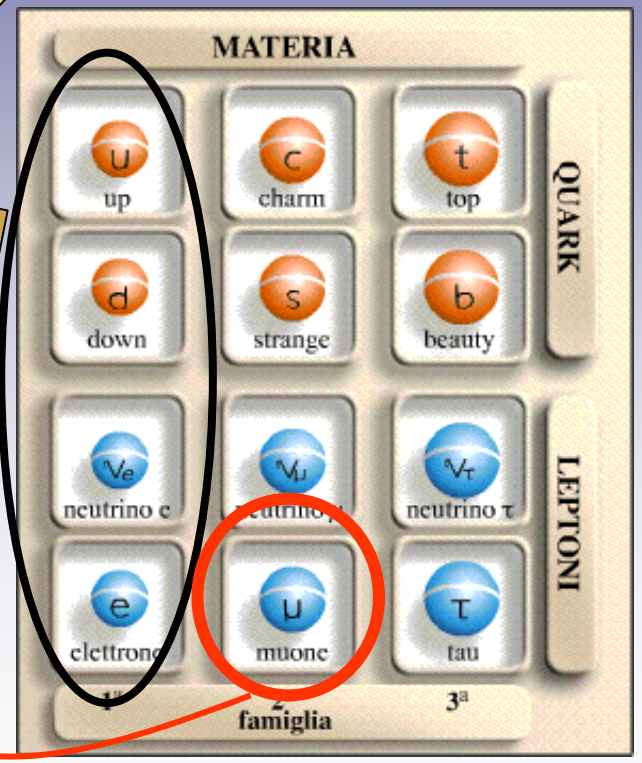


3 generazioni:

lo zoo delle particelle ridotto a mattoni fondamentali

A prima vista solo la prima famiglia entra nella vita di tutti i giorni

La massa è solo una forma di energia



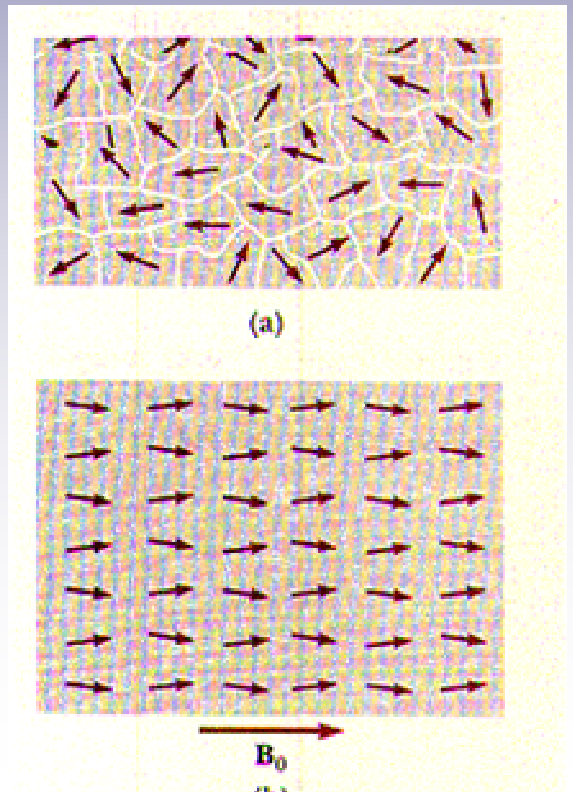
Raggi cosmici

Per osservare i mattoni più pesanti sono necessari gli acceleratori

La simmetria nascosta

Il MS unifica interazioni deboli & elettromagnetiche, sebbene esse abbiano raggio d'azione molto diverso...

La simmetria che le unifica è nascosta!

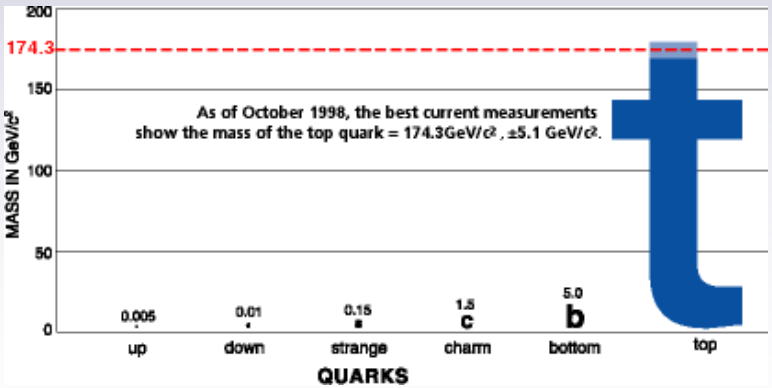


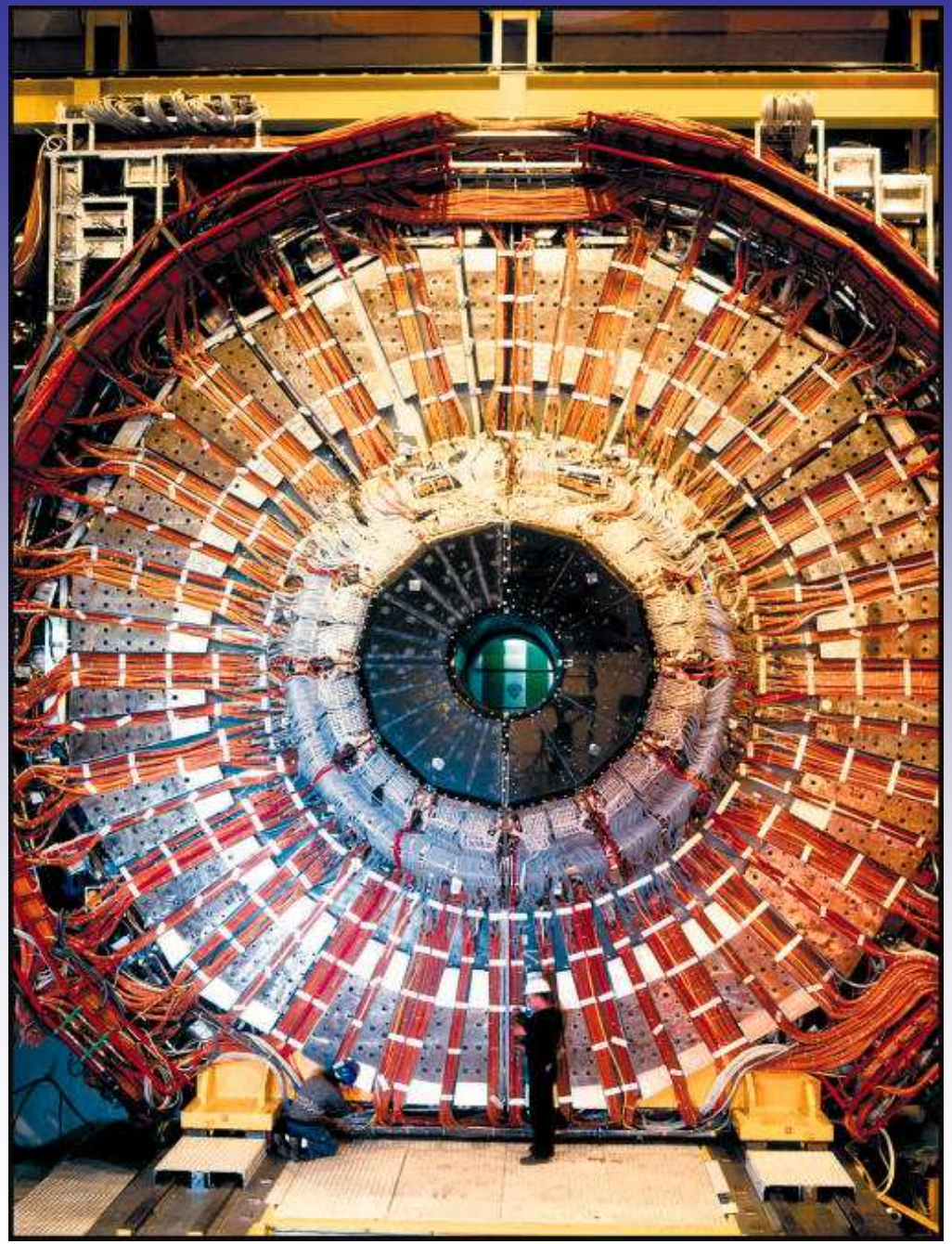
In natura è piuttosto comune che lo stato a più bassa energia non sia quello simmetrico: es. **ferromagnete** sotto la temperatura di Curie

Il tesoro di LEP

LEP non ha scoperto nuove particelle ma confermando le interazioni di gauge del MS allo 0.1% ha cambiato la fisica

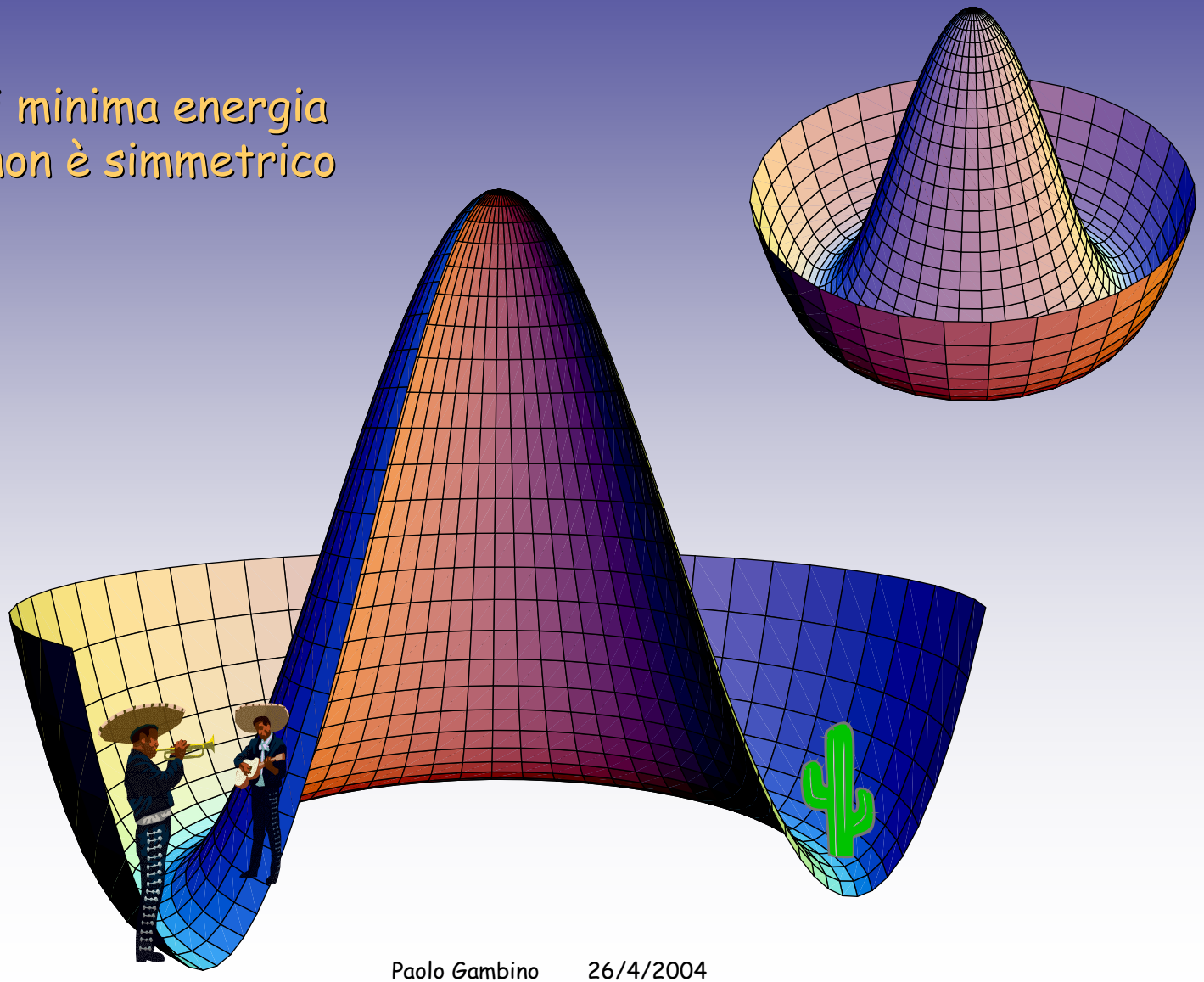
Oggi crediamo che la simmetria di gauge sia corretta e abbia un significato profondo ***nonostante sia incompatibile con le masse***

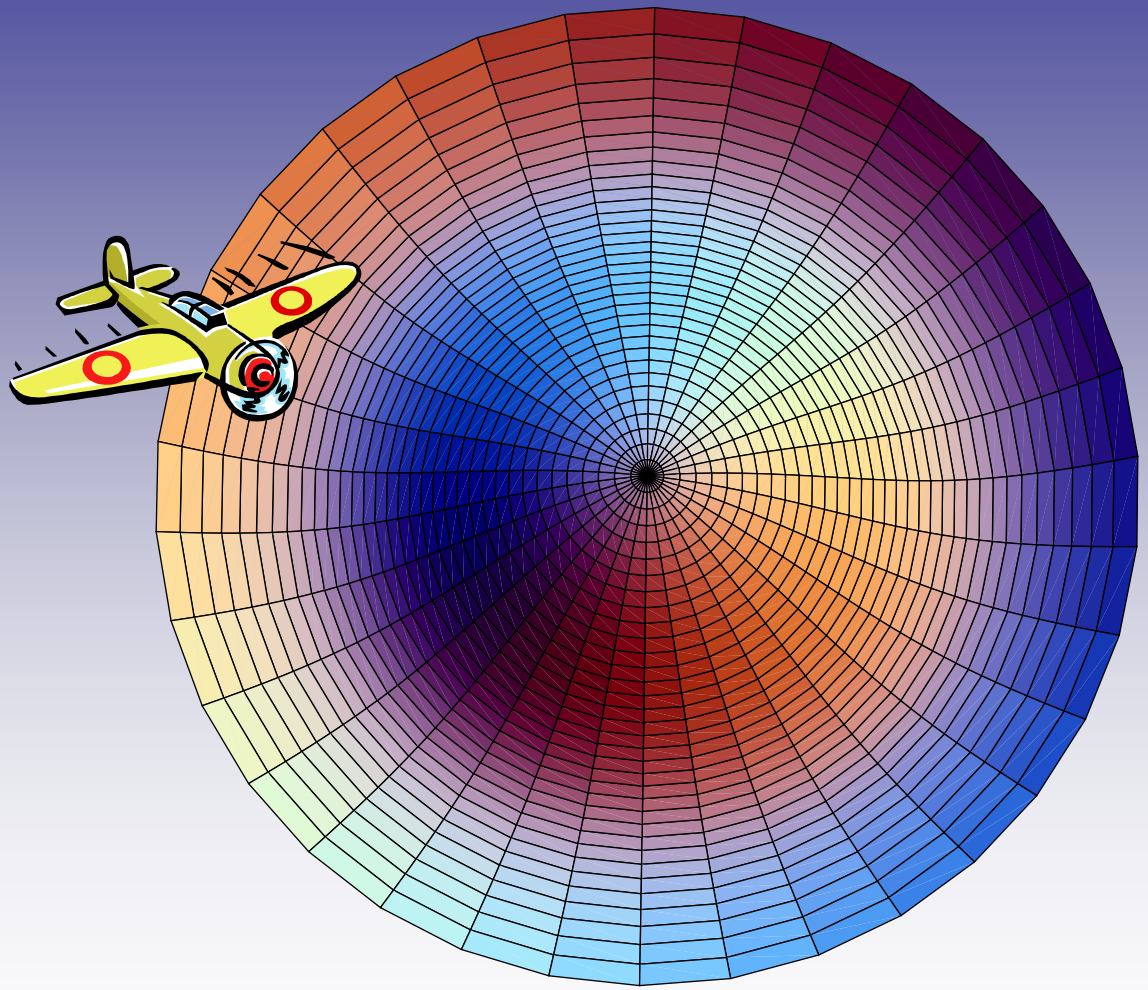




Rottura *spontanea* di simmetria

Lo stato di minima energia
(il vuoto) non è simmetrico





Solo ad alte energie la simmetria nascosta diventa evidente

Il mistero dell'Higgs

Il vuoto deve perciò avere certe proprietà

$$m \neq 0 \iff \langle 0|X|0\rangle \neq 0$$

Deve esistere qualcosa **X** che rompe la simmetria del vuoto

Può essere un nuovo campo elementare (BOSONE di HIGGS)
o la manifestazione di una nuova interazione (tecnicolor)

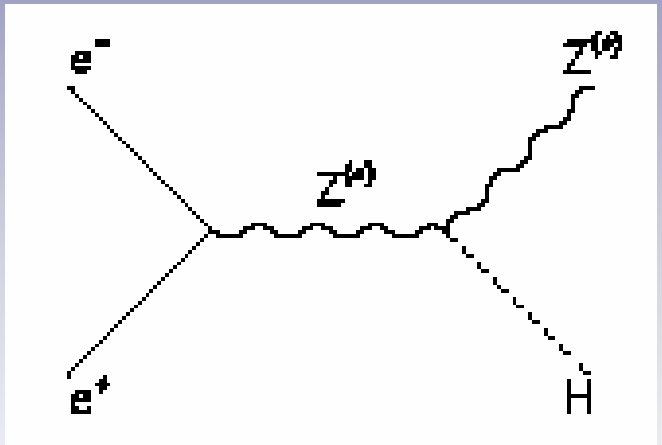
Le misure di precisione favoriscono la prima soluzione, la più economica, che è propria del MS. La massa dell'Higgs è l'ultimo parametro sconosciuto del MS, deve essere **<600GeV**

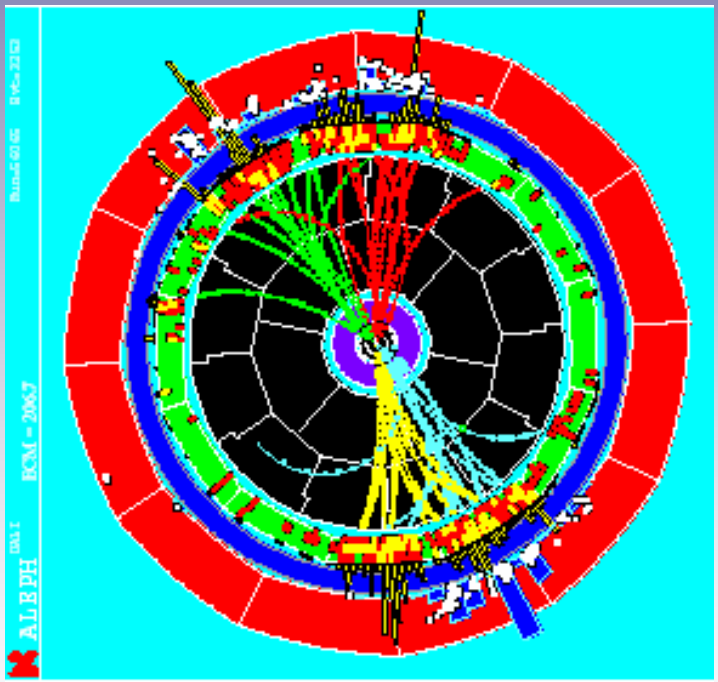
Il meccanismo di rottura della simmetria elettrodebole
è il problema centrale della fisica delle particelle attuale

Che cosa sappiamo dell'Higgs?

Ricerche dirette a LEP

M_H>114.4 GeV



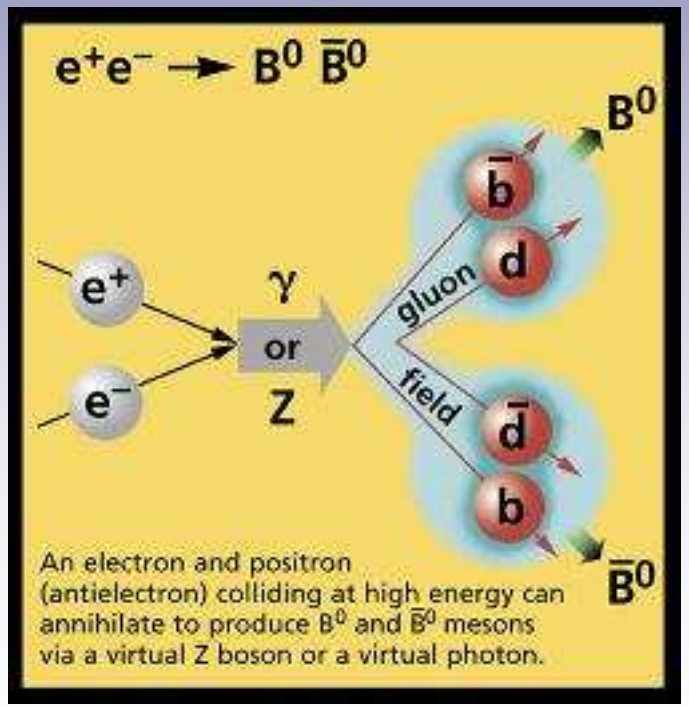


Piccolo eccesso osservato da Aleph negli ultimi mesi di LEP a M_H~115 GeV, ma la significanza statistica è bassa

Due strade complementari

Produzione diretta

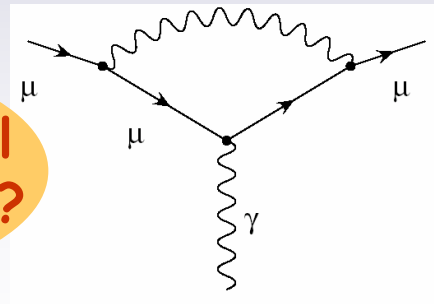
Ricerca indiretta



Anche particelle pesanti come l'H contribuiscono alle interazioni d'alta energia sebbene soppresse (loops)

Storicamente segnali indiretti hanno sovente anticipato scoperte dirette (charm, top...)

X



nuova fisica nel g-2 del muone?

I test di precisione e il top

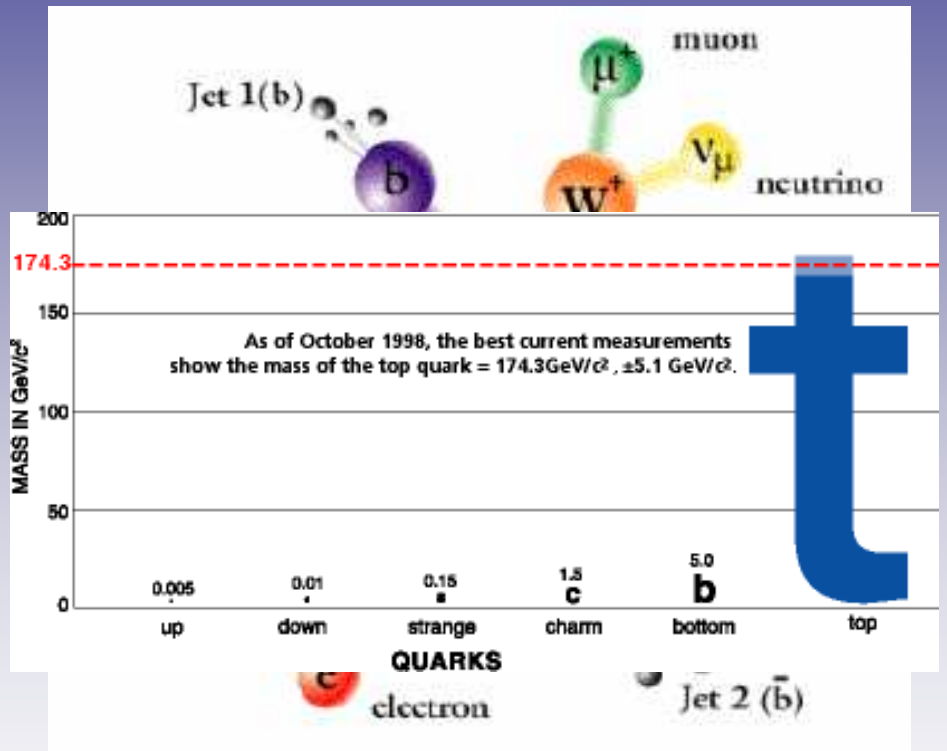
1994: i fit alle misure di pre cisione (LEP ecc.) danno

M_{top}=177±11±19 GeV

1994: top quark scoperto a Fermilab con

M_{top}=174±10±13 GeV

Grande successo del MS e del programma sperimentale



➡ Si può ripetere con l'Higgs?

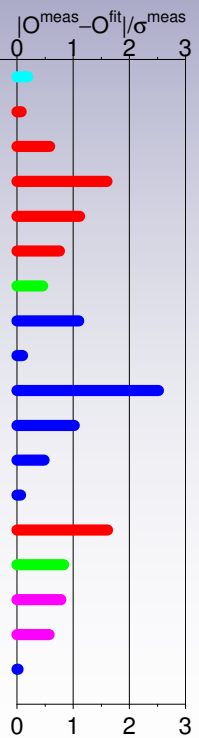
Putroppo la sensitività a M_H è molto più debole ~log M_H

Che cosa sappiamo dell'Higgs (II)

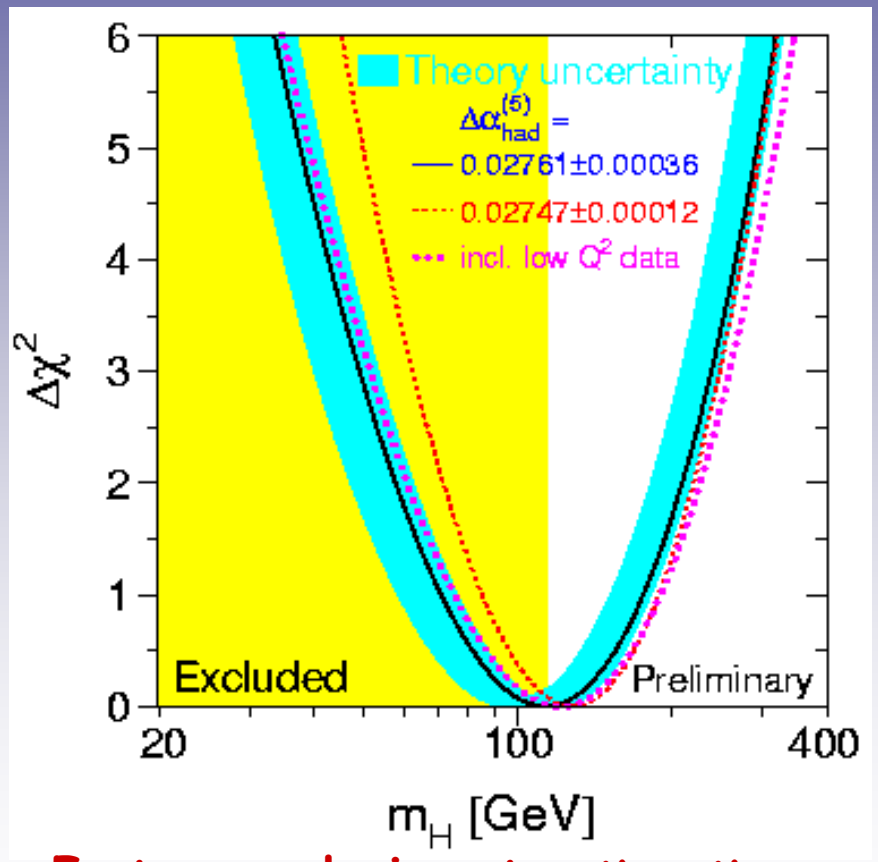
Netta preferenza per un Higgs leggero, sotto i 250GeV, valore centrale poco sopra limite diretto

Winter 2004

	Measurement	Fit
$\Delta\alpha^{(5)}_{had}(m_Z)$	0.02761 ± 0.00036	0.02768
m_Z [GeV]	91.1875 ± 0.0021	91.1873
Γ_Z [GeV]	2.4952 ± 0.0023	2.4965
σ^0_{had} [nb]	41.540 ± 0.037	41.481
R_l	20.767 ± 0.025	20.739
$A^{0,l}_{fb}$	0.01714 ± 0.00095	0.01642
$A_l(P_\tau)$	0.1465 ± 0.0032	0.1480
R_b	0.21638 ± 0.00066	0.21566
R_c	0.1720 ± 0.0030	0.1723
$A^{0,b}_{fb}$	0.0997 ± 0.0016	0.1037
$A^{0,c}_{fb}$	0.0706 ± 0.0035	0.0742
A_b	0.925 ± 0.020	0.935
A_c	0.670 ± 0.026	0.668
A_l(SLD)	0.1513 ± 0.0021	0.1480
$\sin^2\theta^{lept}_{eff}(Q_{fb})$	0.2324 ± 0.0012	0.2314
m_W [GeV]	80.425 ± 0.034	80.398
Γ_W [GeV]	2.133 ± 0.069	2.094
m_t [GeV]	178.0 ± 4.3	178.1

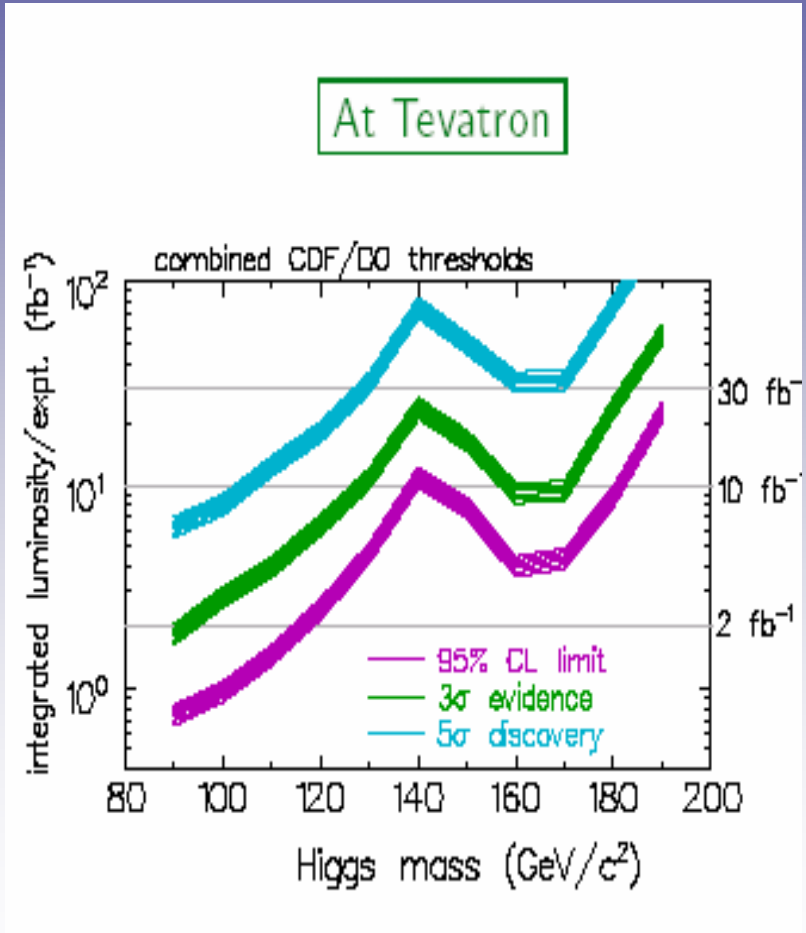


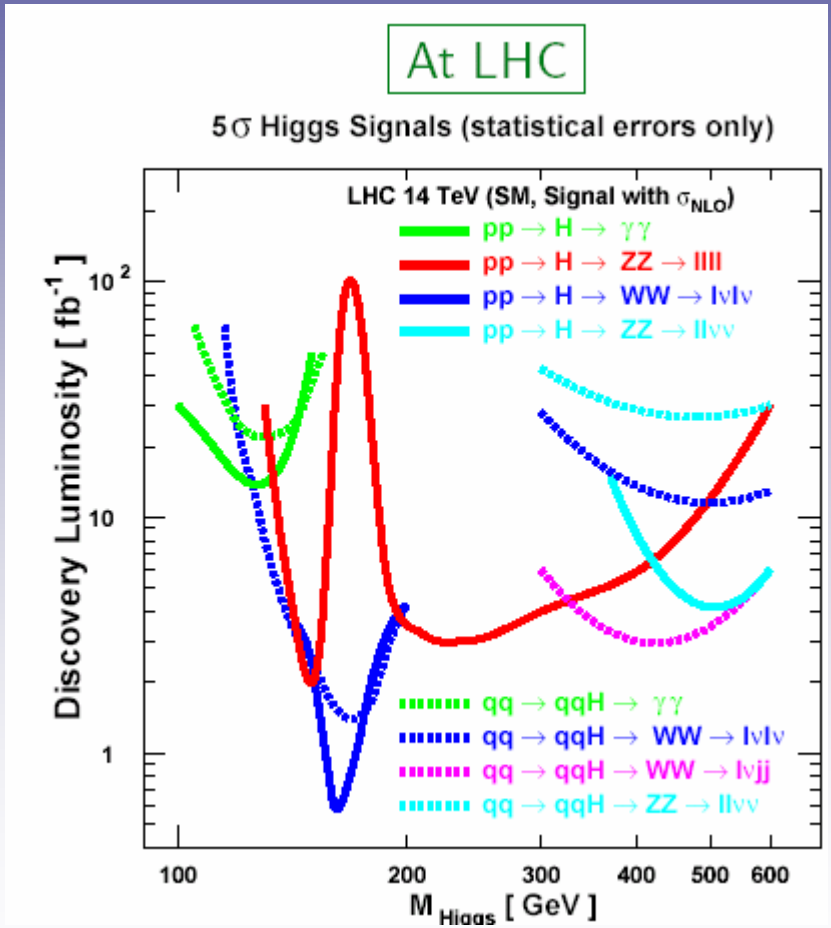
GLOBAL EWWG FIT



Forte correlazione tra M_t e M_H
qualche discrepanza...

Se c'è, l'Higgs verrà scoperto

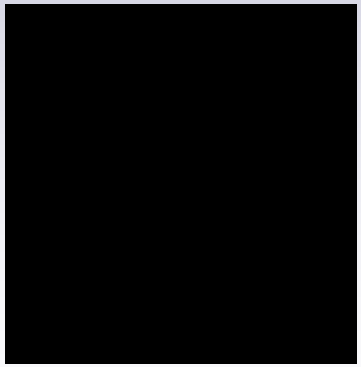




Perché non crediamo nel MS

Inaspettatamente, il MS ha passato molti test, eppure...

- ✓ tanti parametri (18 masse e mixing), 3 repliche,senza spiegazione
- ✓ incompleto: e la gravità? Perché è così debole?
- ✓ non prevede masse per i **neutrini**, nè può spiegarne la piccolezza
- ✓ non spiega la **materia oscura** osservata, nè la bariogenesi



Materia oscura

Materia non oscura

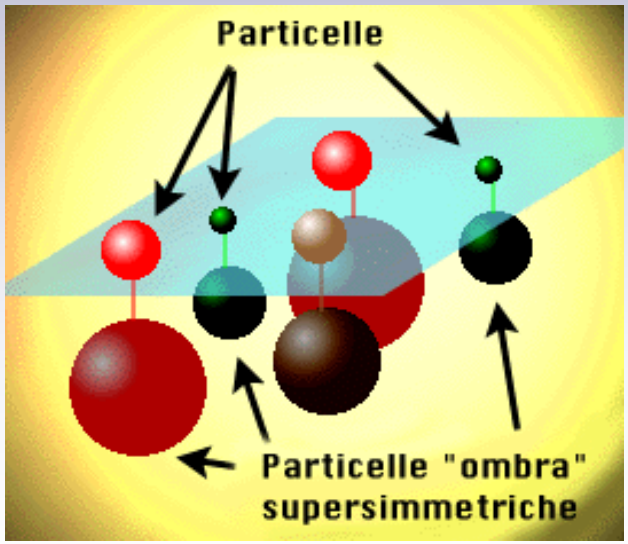
La scommessa di LHC

Il MS deve avere un completamento che ancora non conosciamo. Ma è una teoria protetta da effetti di scale alte (renormalizzabile).

L'estrapolazione del MS ad alte energie è problematica: la gerarchia (18 ordini di grandezza) tra scale di Fermi e di Planck è instabile proprio a causa dell'Higgs.
La densità di materia oscura suggerisce novità a scale vicine

Ci aspettiamo Nuova Fisica sotto il TeV!

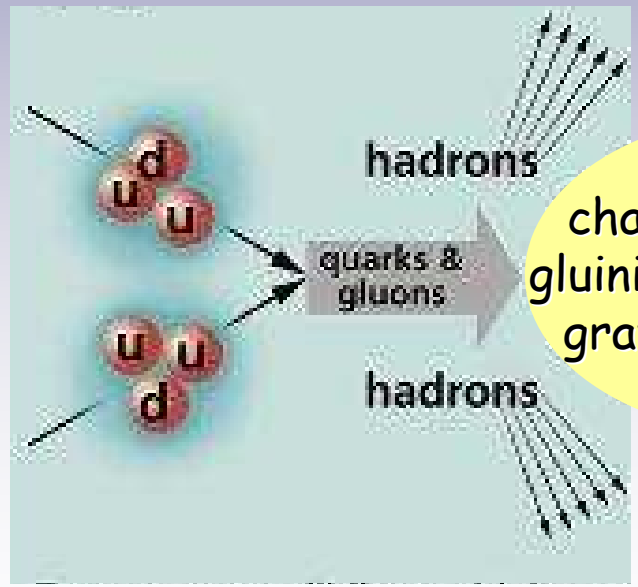
Trovare l'Higgs è parte di un <u>progetto più ambizioso</u>: capire l'origine della rottura di simmetria che genera le masse e la natura della scala elettrodebole



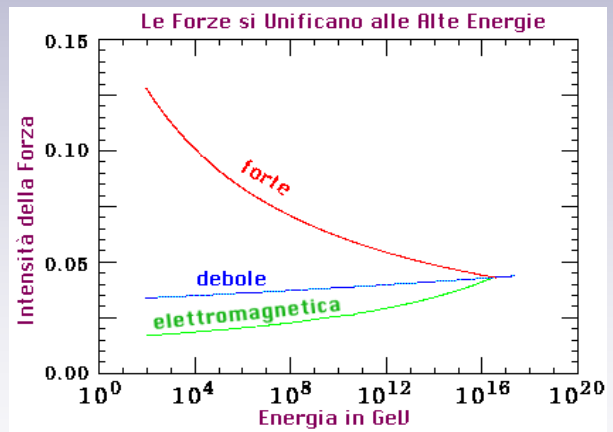
Il futuro è supersimmetrico?

La supersimmetria è un'idea bellissima: simmetria tra particelle con spin diverso bosoni ⇔ fermioni

Risolve alcuni problemi del MS, ma è rotta ! E non sappiamo nulla del meccanismo di rottura... Ha un settore di Higgs esteso e uno spettro ricchissimo. L'Higgs più leggero deve essere <135GeV



chargini, neutralini, gluini, squark, sleptoni, gravitini, goldstini...



g-2 del muone?

LHC: il punto di svolta

Il Modello Standard funziona benissimo, molto meglio di quanto ci aspettassimo.

LHC, scoprendo l'Higgs o ciò che lo simula, permetterà di incominciare a capire come completarlo