

Il bosone di Higgs

Seminari di Fisica

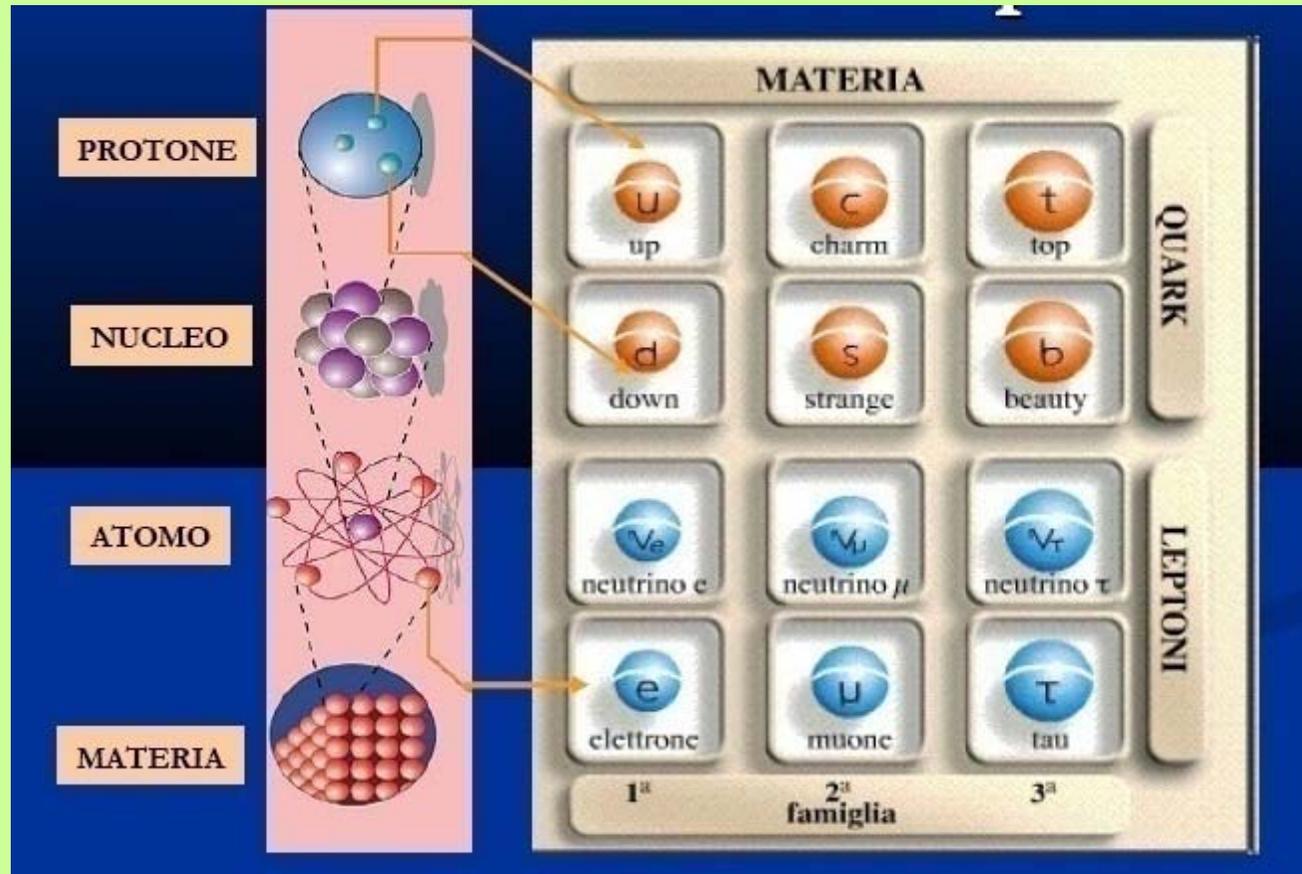
Dipartimento di Fisica
dell'Università di Torino
27 novembre 2012

Alessandro Bottino
INFN/Università di Torino

Contenuto

- ★ Il bosone di Higgs come previsione del Modello Standard delle particelle
- ★ Rottura spontanea di simmetria e generazione di massa
- ★ Particella di Higgs al Large Hadron Collider del CERN
- ★ Oltre il Modello Standard ?
- ★ Implicazioni cosmologiche del bosone di Higgs

Tutte le particelle che conosciamo sono riconducibili ai seguenti costituenti (quarks e leptoni)

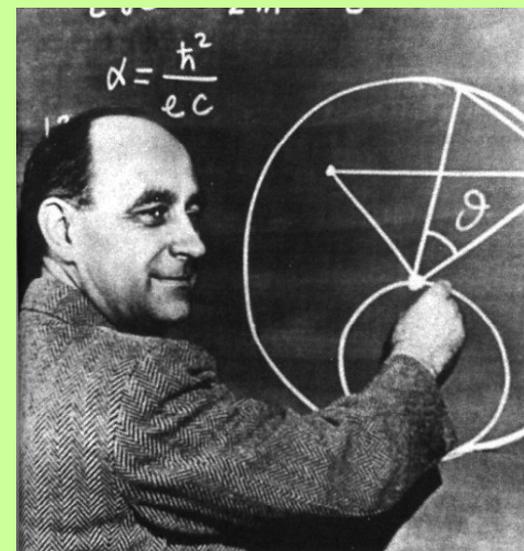


e ai corrispondenti anti-quarks e anti-leptoni:

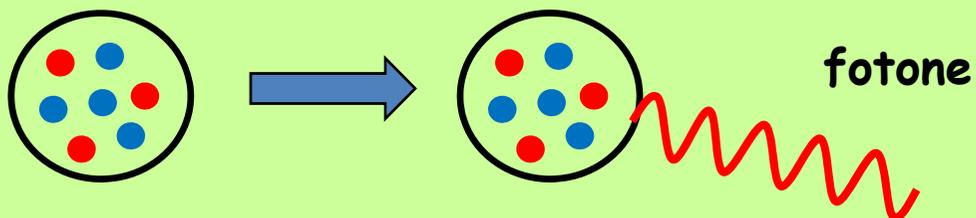
$$q \rightarrow \bar{q}; \quad e^- \rightarrow e^+, \quad \nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e, \dots$$

**Mediatori dell'interazione elettromagnetica
e dell'interazione debole**

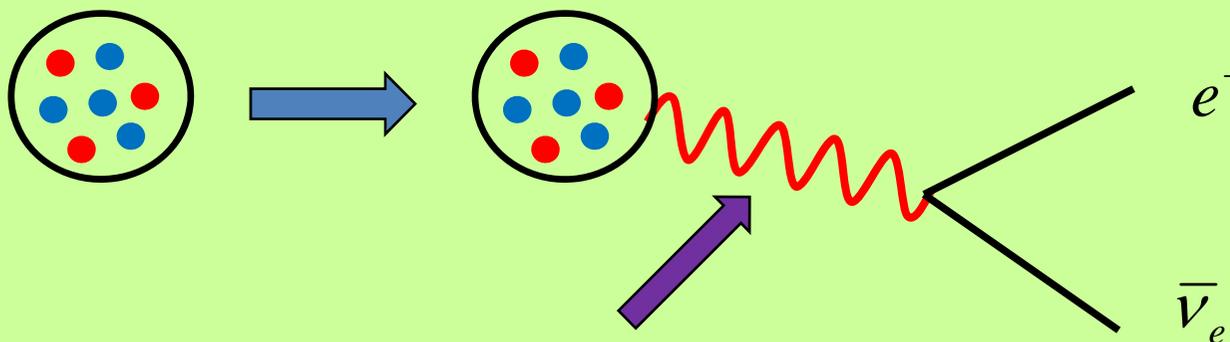
emissione di coppia elettrone-neutrino in analogia con il caso elettromagnetico
FERMI



diseccitazione di un nucleo



decadimento beta di un nucleo

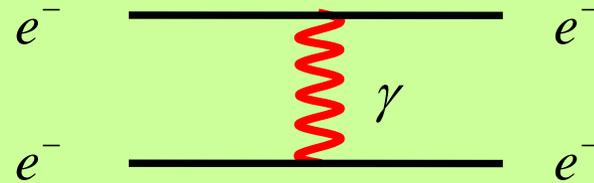


questo sarà il **bosone W** del **modello standard** dell'interazione elettrodebole

teoria dell'interazione debole (1933)

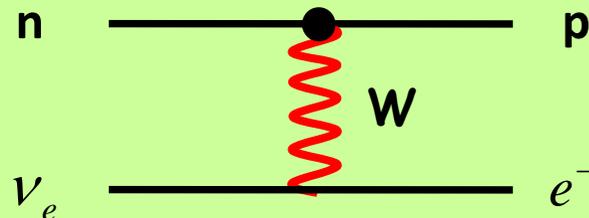
schematizzando

un generico processo elettromagnetico, per esempio:



ha come campo "mediatore" dell'interazione il campo elettromagnetico, ossia il **fotone**

un generico processo debole, per esempio:

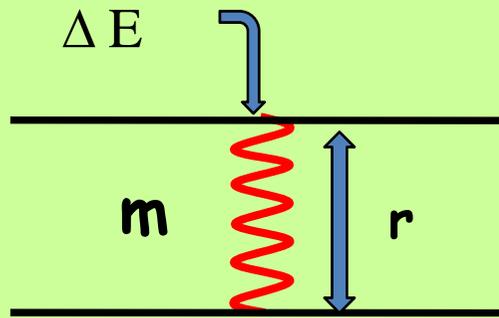


Attenzione: la particella W deve essere carica W^\pm

ha come campo "mediatore" dell'interazione il campo debole, ossia il **bosone W**

Il fotone ha massa nulla, puo' il bosone W essere a massa nulla?

Raggio d'azione dell'interazione



le particelle interagiscono mediante scambio di un "mediatore" di massa m , quindi con un trasferimento di energia $\Delta E \approx m c^2$

la conservazione dell'energia richiede che il processo avvenga in un intervallo di tempo Δt tale che

$\Delta E \cdot \Delta t \approx h$ **principio d'indeterminazione energia-tempo**
(h = costante di Planck)

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta E \approx m c^2 \\ \Delta t \approx r / c \end{array} \right. \longrightarrow \Delta E \cdot \Delta t \approx r \cdot m \cdot c \longrightarrow r \approx \Delta E \cdot \Delta t / (m \cdot c) \approx h / (m \cdot c)$$

Il raggio di azione dell'interazione e' quindi inversamente proporzionale alla massa del mediatore.

il fotone ha massa nulla \longrightarrow l'int. elettromagnetica ha raggio infinito

l'interazione debole e' a raggio d'azione finito \longrightarrow **massa del W non nulla**

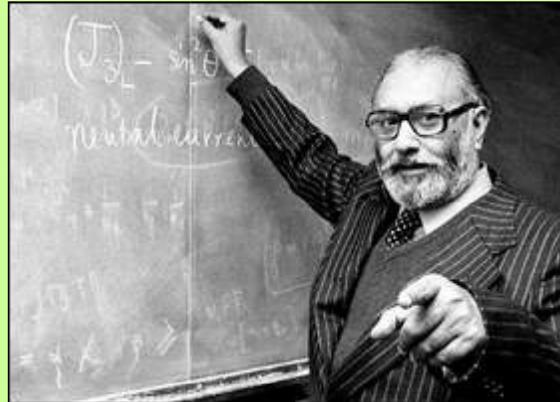
Modello standard delle particelle

MODELLO STANDARD DELLA FISICA DELLE PARTICELLE

Premi Nobel 1979



Sheldon L. Glashow



Abdus Salam



Steven Weinberg

MODELLO STANDARD DELLA FISICA DELLE PARTICELLE

Teoria dell'interazione elettromagnetica = teoria perfetta

- ★ se vogliamo formulare per l'interazione debole una teoria analoga a quella dell'interazione elettromagnetica **occorre provvisoriamente mettere a zero la massa del mediatore W**
- ★ analogamente vengono provvisoriamente **messe a zero le masse di tutte le particelle (leptoni e quarks)**
- ★ una volta sviluppata la teoria, occorrerà trovare un "meccanismo" per conferire a tutte le particelle e ai mediatori (campi) di interazione i loro valori fisici di massa

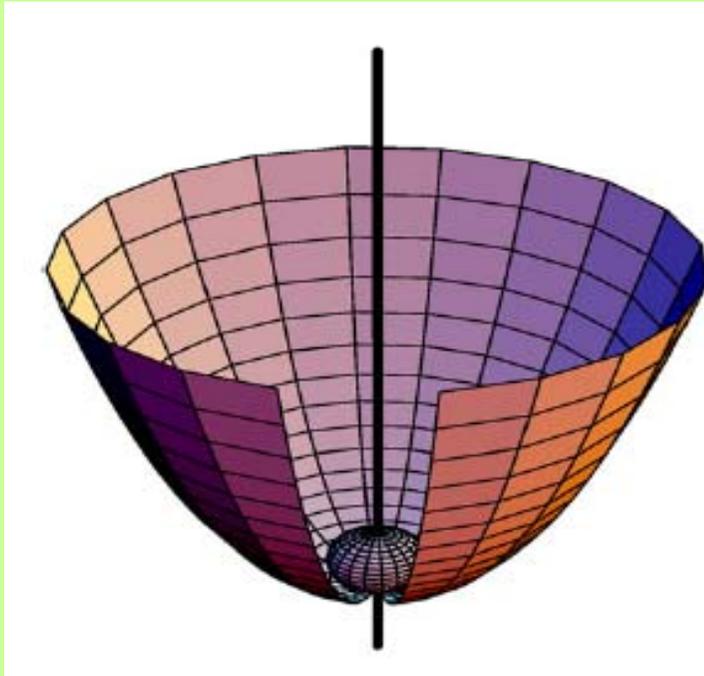
Meccanismo di Higgs:

esiste ovunque un campo di Higgs

le particelle e i campi di interazione acquisiscono massa tramite le **loro interazioni con il campo di Higgs**

**Campo di Higgs e
rottura spontanea di simmetria**

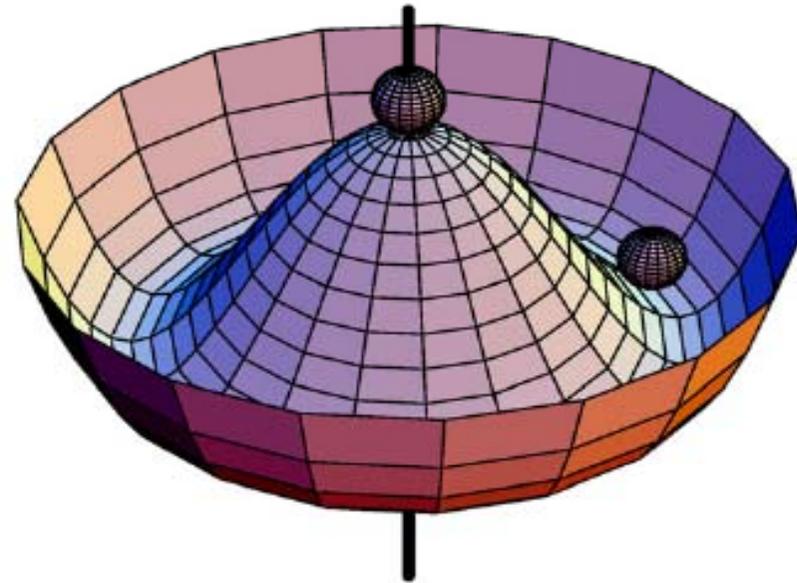
confinamento da superficie
parabolica



potenziale parabolico

esiste una sola configurazione
di energia minima

confinamento da superficie
a forma di "sombbrero"

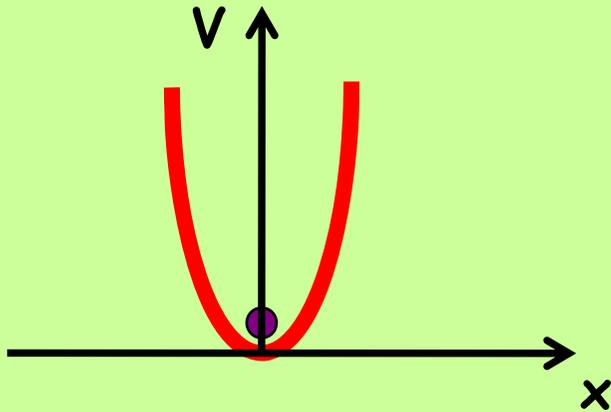


potenziale di Higgs

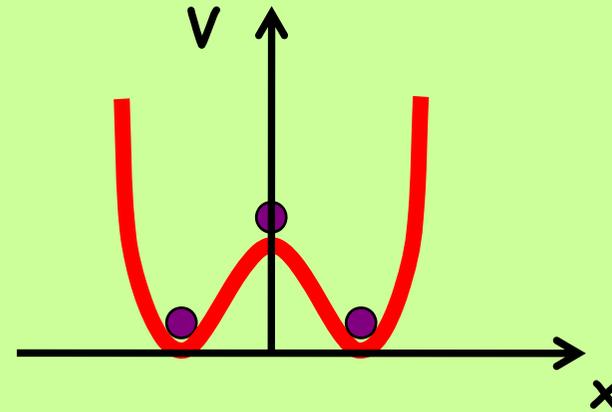
esistono infinite soluzioni di energia
minima - al verificarsi di una di
queste si ha una rottura "spontanea"
di simmetria - ma la simmetria del
potenziale confinante resta inalterata

Caso unidimensionale

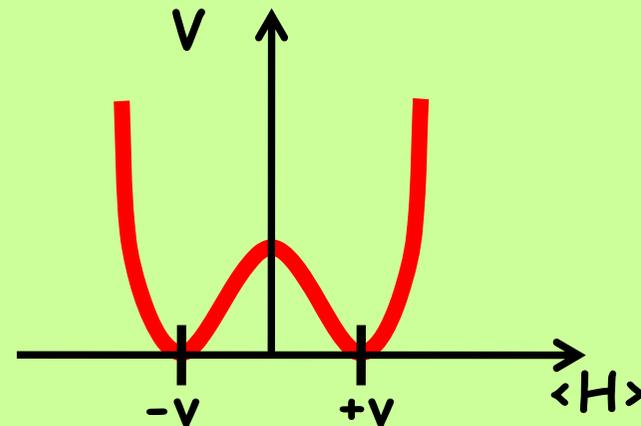
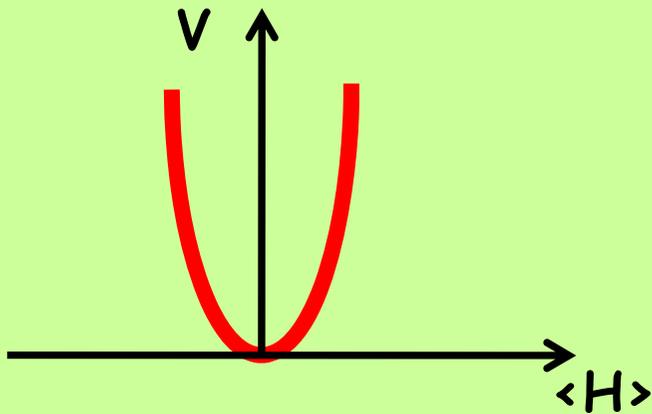
potenziale parabolico



potenziale di Higgs



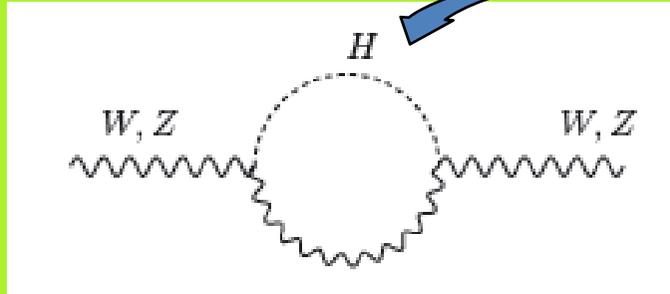
analogamente per il campo di Higgs H



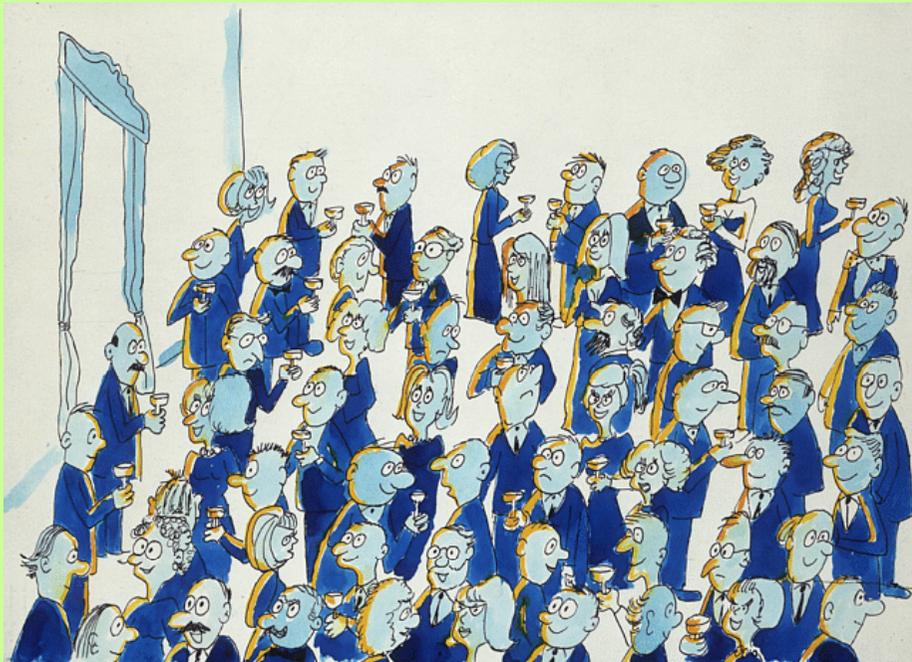
se $\langle H \rangle_0 = 0$, esiste un solo stato di vuoto e la particella di Higgs ha massa = 0

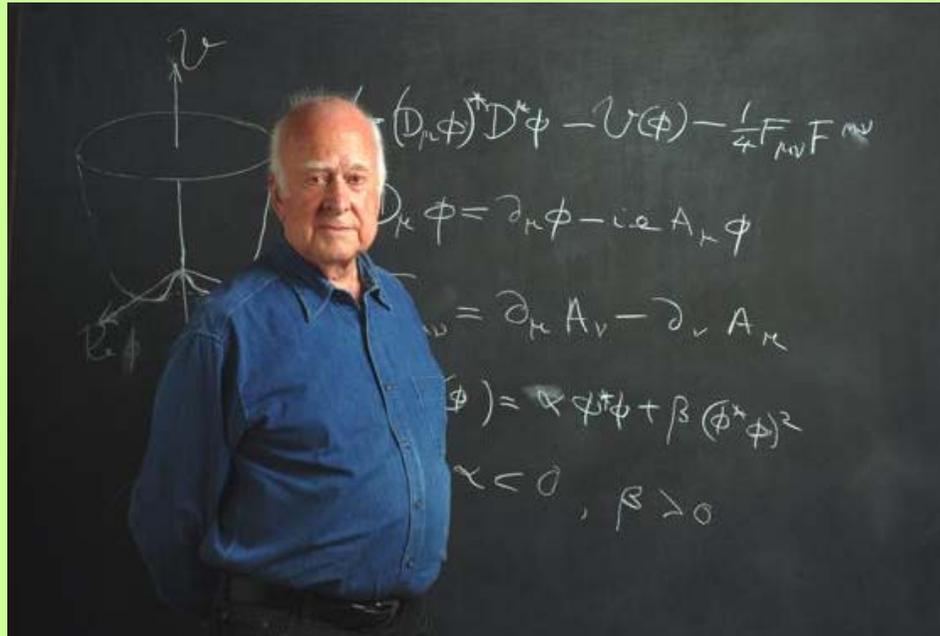
se $\langle H \rangle_0 \neq 0$, esistono 2 stati di vuoto e la particella di Higgs e' massiva

Per esempio, il bosone W "dialoga" con il mezzo circostante pervaso dal campo di Higgs, ossia acquista massa con processi del tipo



processo con particelle "virtuali"





Peter Higgs e la particella di Higgs



Peter Higgs by Ken Currie 2008



T.W.B. Kibble, G.S. Guralnik, C.R.Hagen, F. Englert, R. Brout

premio Sakurai 2010



Available online at www.sciencedirect.com



C. R. Physique 8 (2007) 970–972



<http://france.elsevier.com/direct/COMREN/>

The mystery of the Higgs particle/Le mystère de la particule de Higgs

Prehistory of the Higgs boson

Peter Higgs

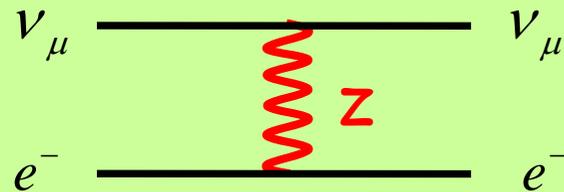
*School of Physics, James Clerk Maxwell Building, University of Edinburgh,
Mayfield Road, EH9 3JZ Edinburgh, Scotland, UK*

Available online 5 June 2007

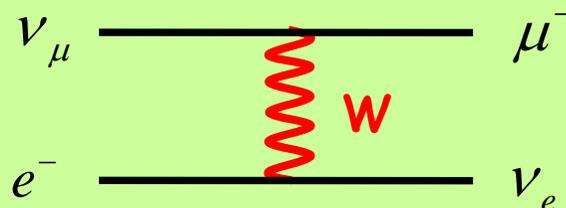
Nel **Modello Standard** delle particelle elementari le masse sono generate dal meccanismo di Higgs.

Importanti **previsioni del MS**:

1) esiste anche un campo Z, mediatore di processi deboli del tipo



analogamente a

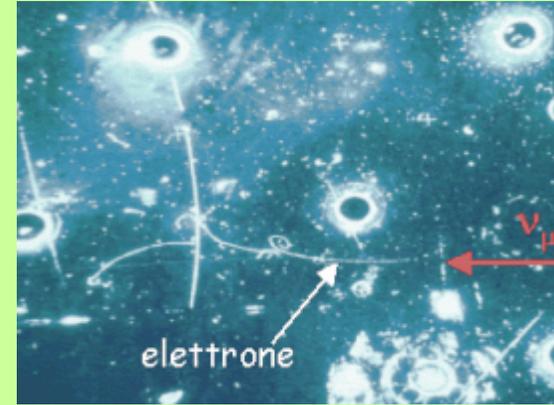
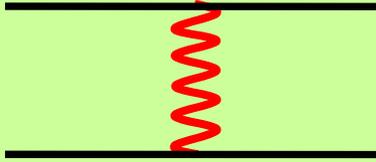


2) massa del W $\approx 80 \text{ GeV} / c^2$

massa dello Z $\approx 91 \text{ GeV} / c^2$

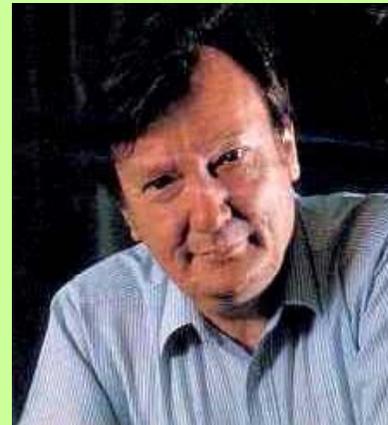
Proprietà verificate
sperimentalmente

Verifiche sperimentali del MS



Processi dovuti a bosone Z misurati
al CERN (rivelatore Gargamelle) nel 1973

Misure delle masse dei bosoni W e Z
al collisore protoni-antiprotoni
del CERN (1983)



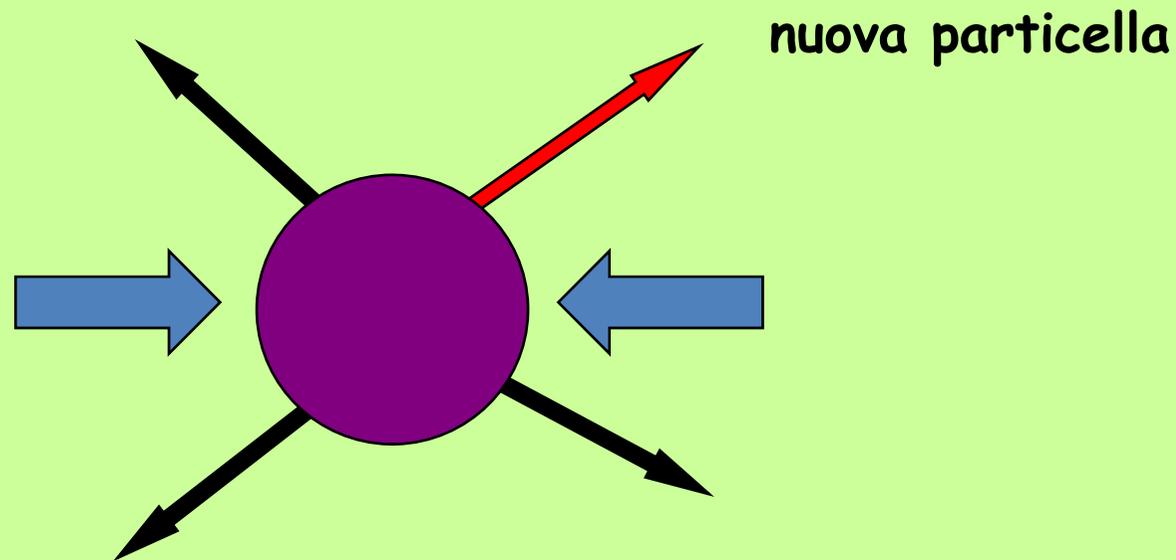
Carlo Rubbia



Simon van Der Meer

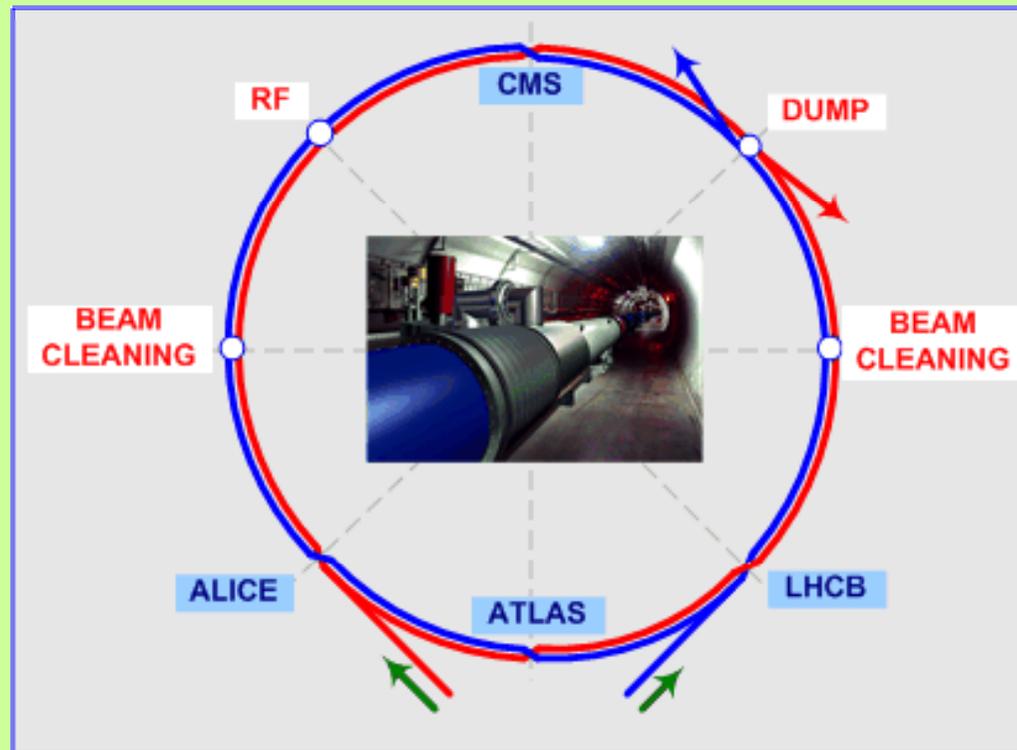
Ricerca della particella di Higgs ad LHC

produzione di una nuova particella in laboratorio



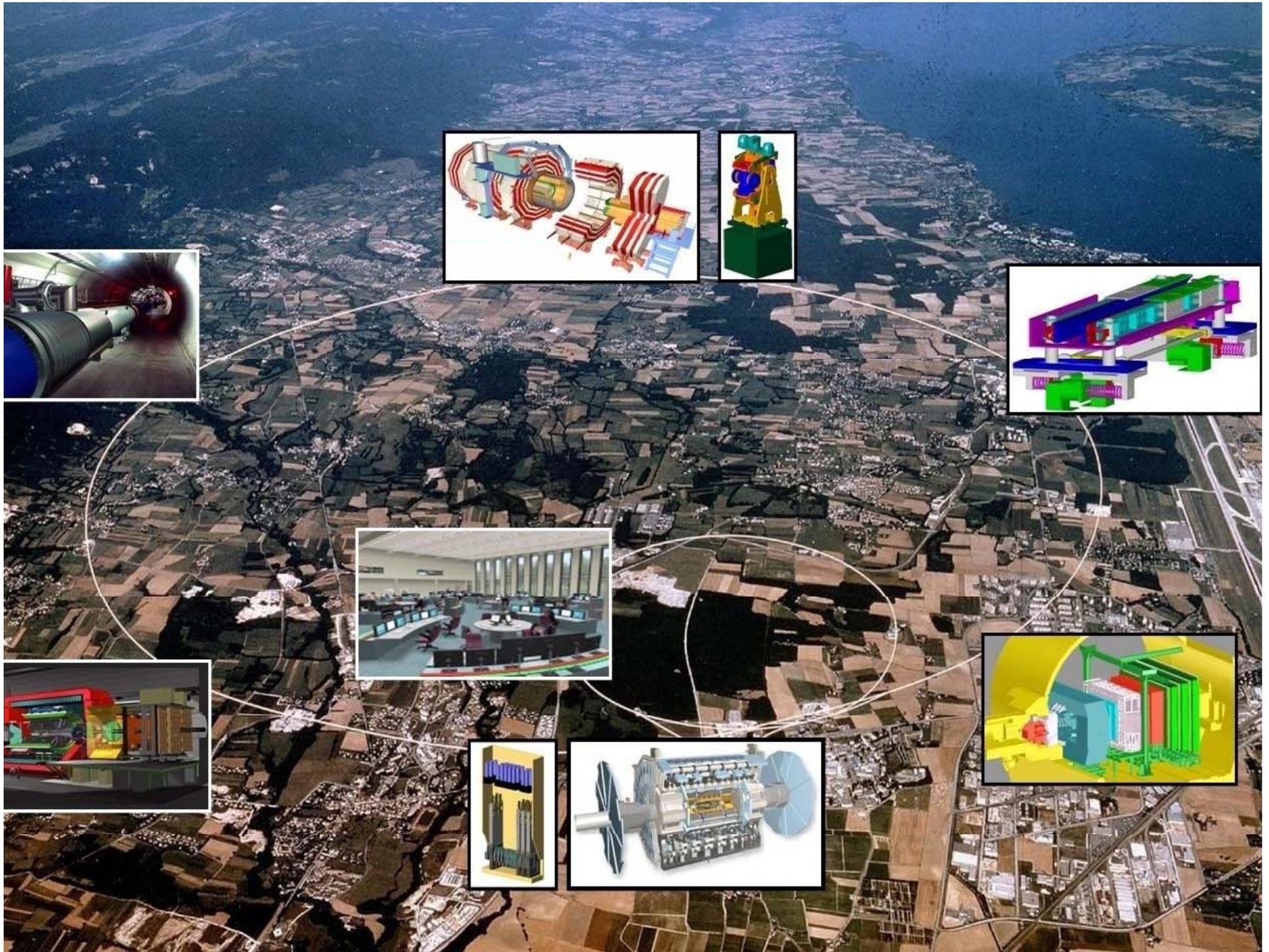
due particelle note vengono fatte collidere

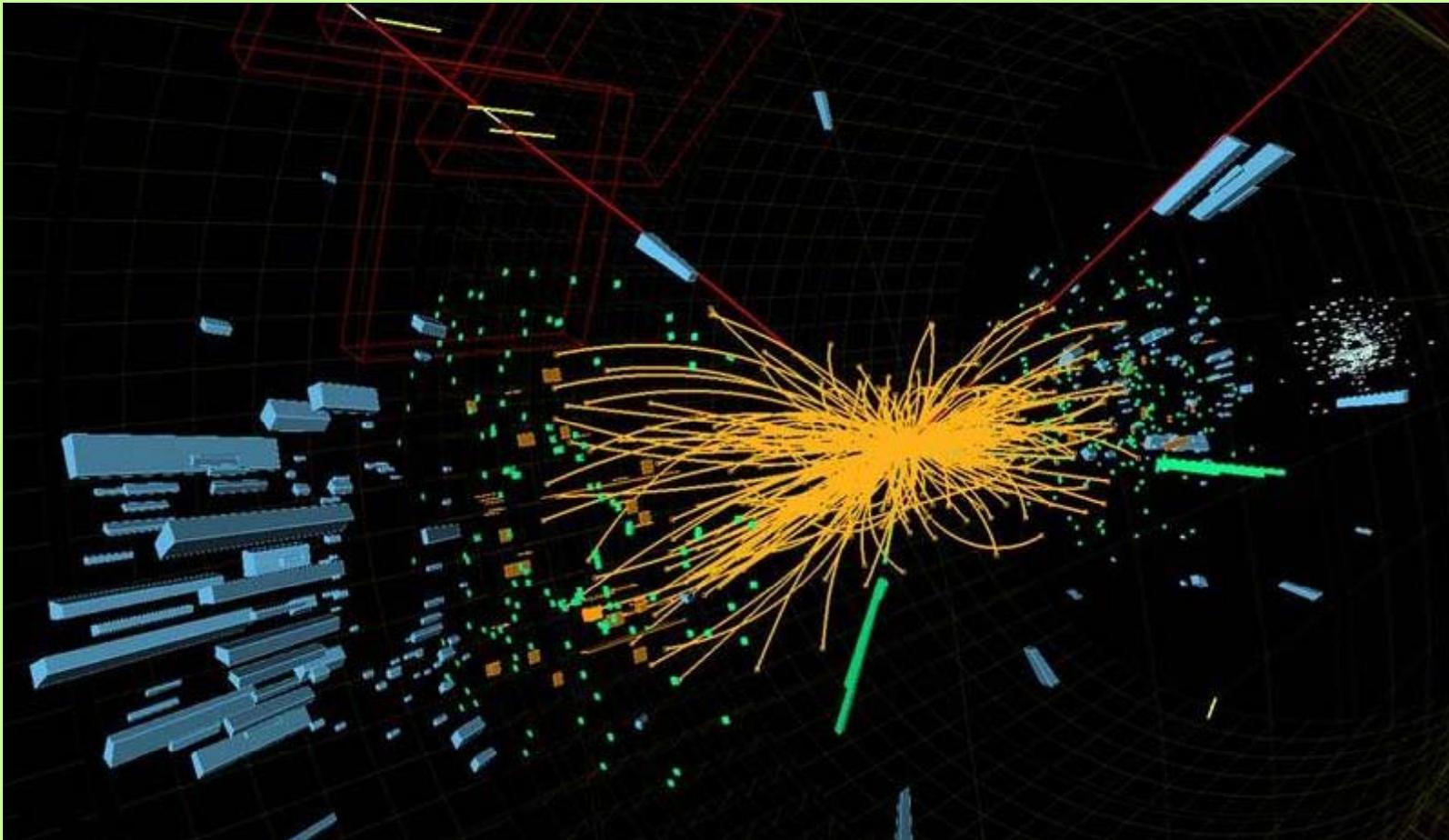
Large Hadron Collider (CERN)



- ★ circonferenza di 27 km - tunnel sotterraneo a 50 - 175 metri di profondità'
- ★ 2 fasci di protoni circolanti in verso opposto per provocare collisioni
- ★ ogni protone ha un'energia 7.000 volte piu' grande della propria energia di riposo



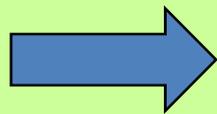




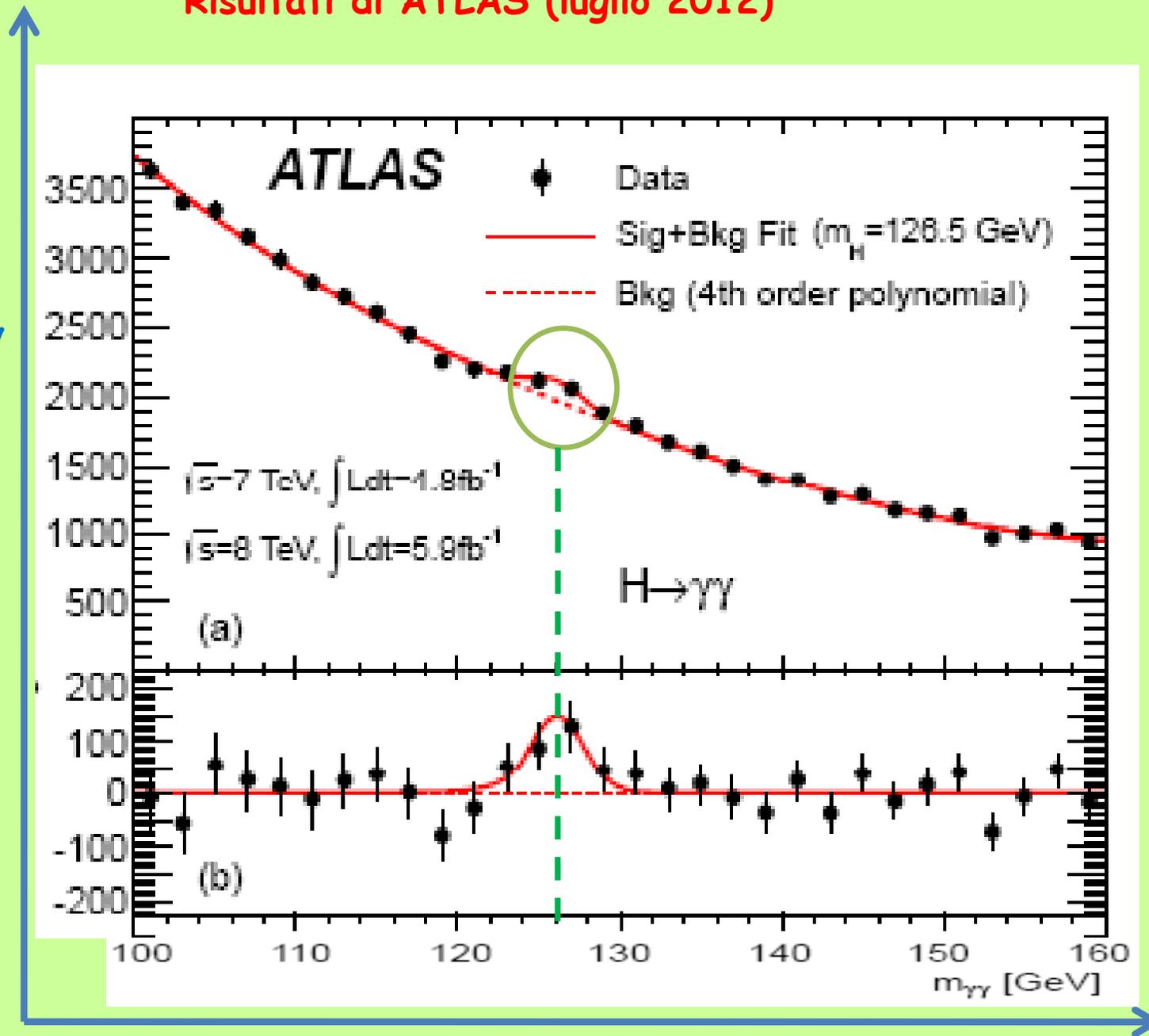
Verde = elettrone positrone
Rosso = $\mu + \mu -$

Risultati di ATLAS (luglio 2012)

numero eventi
in intervallo di
energia di 2 GeV



numero
eventi
con fondo
sottratto



I dati indicano la produzione di un bosone neutro con
massa $126.0 \pm 0.4 \text{ (stat)} \pm 0.4 \text{ (sys)} \text{ GeV}$

Significativita' statistica **5.9 deviazioni standard**
(probabilita' di una fluttuazione del fondo di 1.7×10^{-9} .)

Misura compatibile con la produzione e il decadimento
del **bosone di Higgs del Modello Standard**

Risultati analoghi ottenuti dalla **Collaborazione CMS**

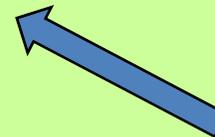
E se il bosone di Higgs misurato ad LHC fosse un Higgs di una teoria supersimmetrica (estensione del Modello Standard)?

Modello Standard delle particelle

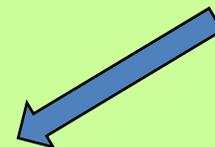
Spin	Particelle del MS
1/2	Leptons (e, ν_e , ...) Quarks (u, d, ...)
1	Gluons W^\pm Z^0 Photon (γ)
0	Higgs
2	Graviton



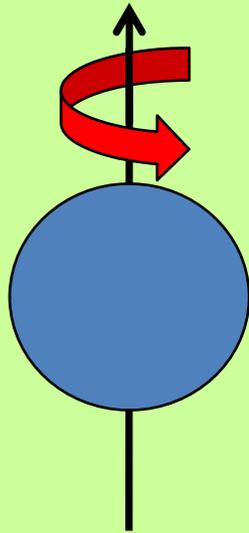
**Costituenti fondamentali
della materia**



**Campi mediatori
di interazione**



Spin di una particella = suo momento angolare **intrinseco**



Spin = concetto **quantistico**

lo spin puo' solo avere **valori interi o semi-interi**

una particella con **spin intero** viene detta **BOSONE**

una particella con **spin semi-intero** viene detta **FERMIONE**

Modello Standard delle particelle

e sua estensione supersimmetrica

Spin	Particelle del MS	Superparticelle	Spin
1/2	Leptons (e, ν_e, \dots) Quarks (u, d, \dots)	Sleptons ($\tilde{e}, \tilde{\nu}_e, \dots$) Squarks ($\tilde{u}, \tilde{d}, \dots$)	0
1	Gluons W^\pm Z^0 Photon (γ)	Gluinos Wino Zino Photino ($\tilde{\gamma}$)	1/2
0	Higgs	Higgsino	1/2
2	Graviton	Gravitino	3/2

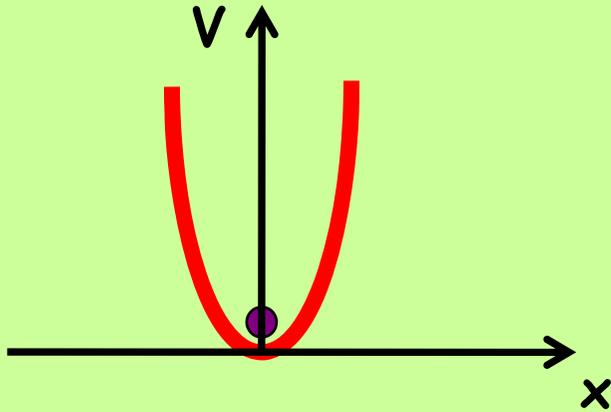
SUPERSIMMETRIA

L'esistenza della particella di Higgs con una massa di circa $125 \text{ GeV}/c^2$ potrebbe anche essere un'indicazione di **supersimmetria in fisica delle particelle**

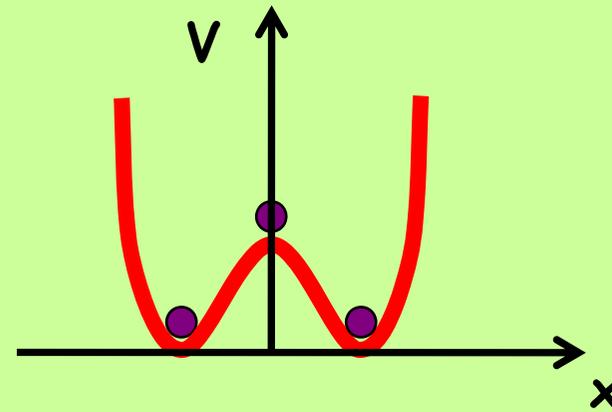
Rottura spontanea di simmetria in cosmologia

Caso unidimensionale

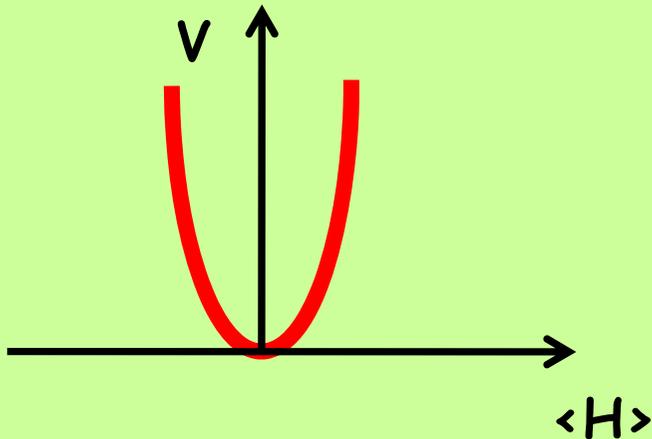
potenziale parabolico



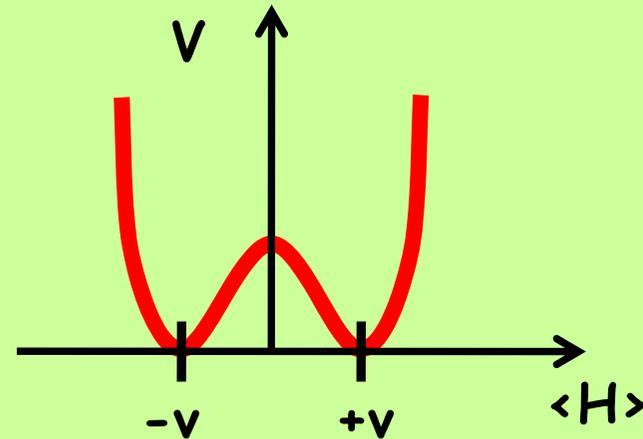
potenziale di Higgs



analogamente per il campo di Higgs H

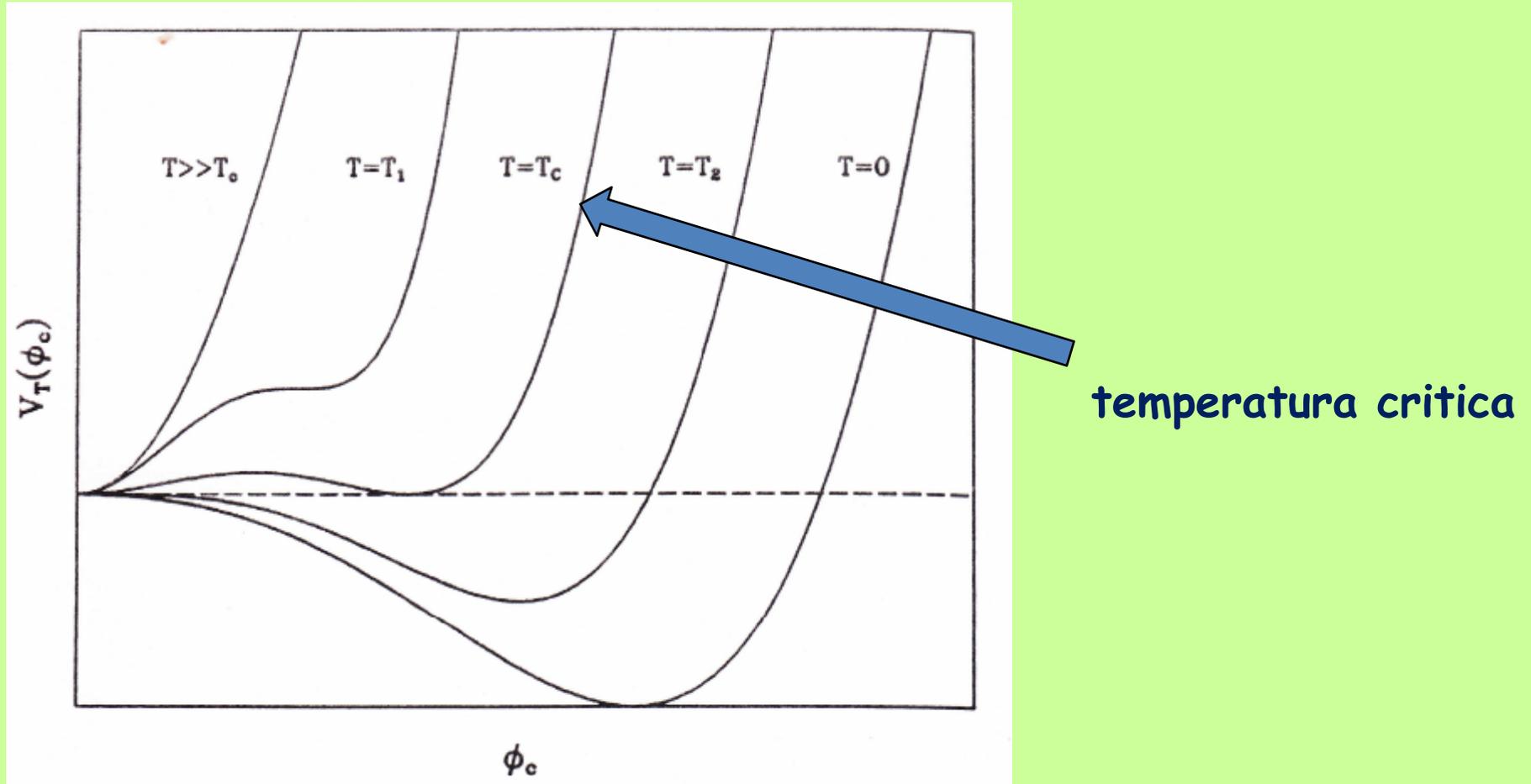


se $\langle H \rangle = 0$, la particella di Higgs ha massa = 0

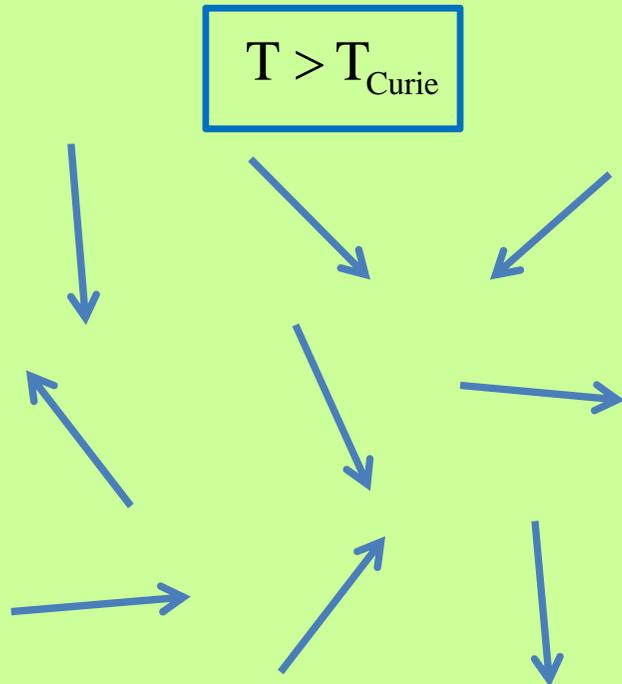


se $\langle H \rangle \neq 0$, la particella di Higgs e' massiva

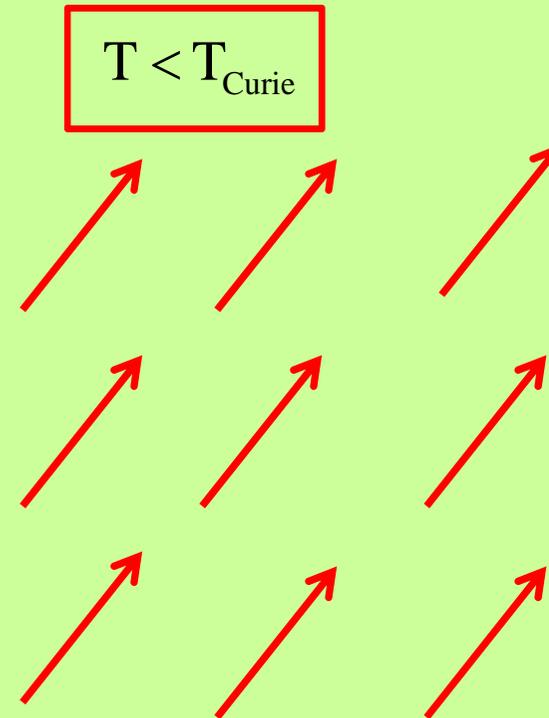
Evoluzione del potenziale di Higgs in funzione della temperatura



Un esempio di questo fenomeno: raffreddamento di un materiale ferromagnetico

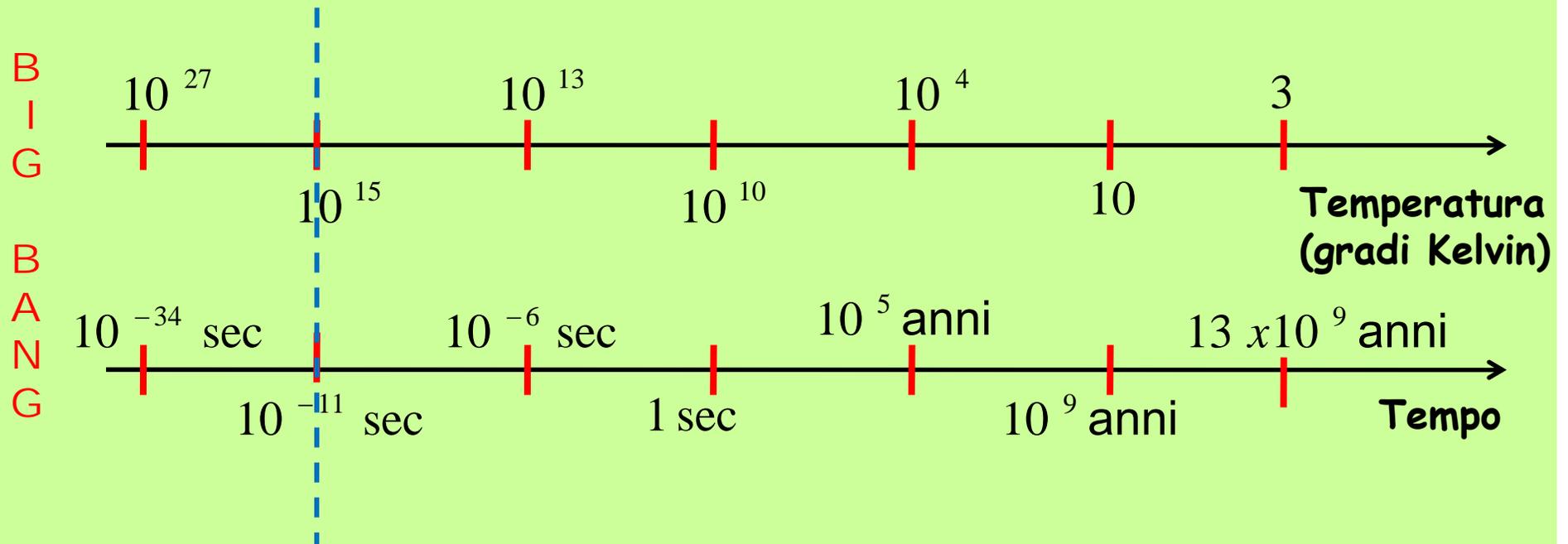


le orientazioni dei momenti magnetici intrinseci degli atomi sono "a caso", non correlate e rapidamente fluttuanti - non vi e' nessuna direzione privilegiata nello spazio: **SIMMETRIA**



i momenti magnetici intrinseci degli atomi si correlano tra di loro e si allineano in una certa direzione (casuale) - **ROTTURA SPONTANEA DI SIMMETRIA**

nel corso dell'espansione, l'Universo si raffredda



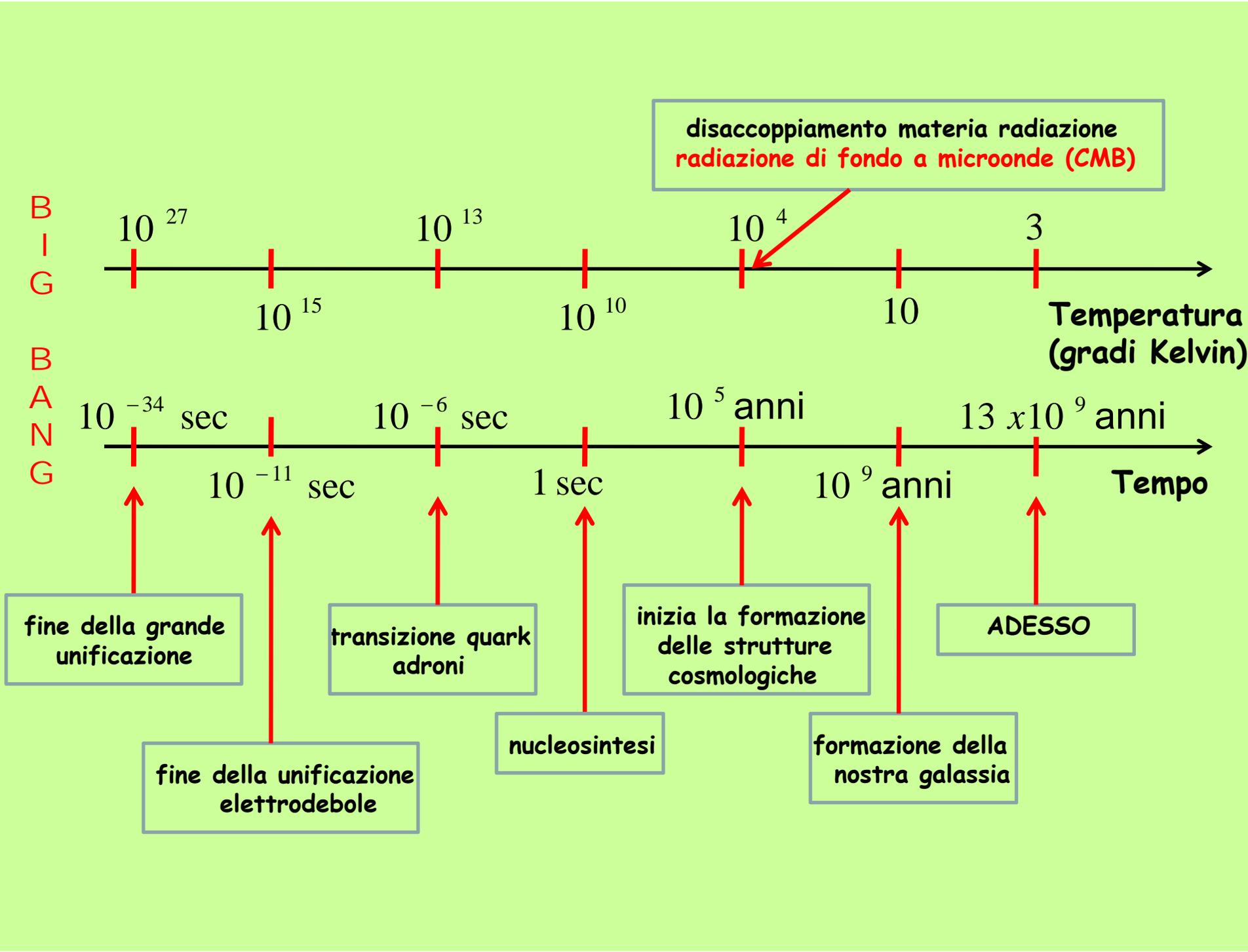
rottura spontanea di
simmetria elettrodebole

scala di energia \cong 200 - 300 GeV

1 GeV \cong energia di riposo del protone



10^{13} gradi Kelvin



Utali da visitare

Esperimenti a LHC per ricerca del bosone di Higgs

sito della Collaborazione ATLAS (CERN)

<http://atlas.ch/>

sito della Collaborazione CMS (CERN)

<http://cms.web.cern.ch/>

Peter Higgs & University of Edinburgh

<http://www.ph.ed.ac.uk/higgs>

Qualche informazione giornalistica sulla figura di Peter Higgs

<http://www.samiraahmed.co.uk/?p=1689>

Per il file pdf di questa presentazione:

<http://personalpages.to.infn.it/~bottino/seminaridifisica>