

La particella di Higgs: cos'è e perché cercarla?

Ricerche al Large Hadron Collider del CERN

Biblioteca Civica Archimede
Settimo Torinese, 16 aprile 2012

Alessandro Bottino
INFN/Università di Torino

Sommario

Ricerca di nuove particelle agli acceleratori:
il Large Hadron Collider del CERN

Modello Standard della Fisica delle Particelle:
l'elemento mancante - la particella di Higgs

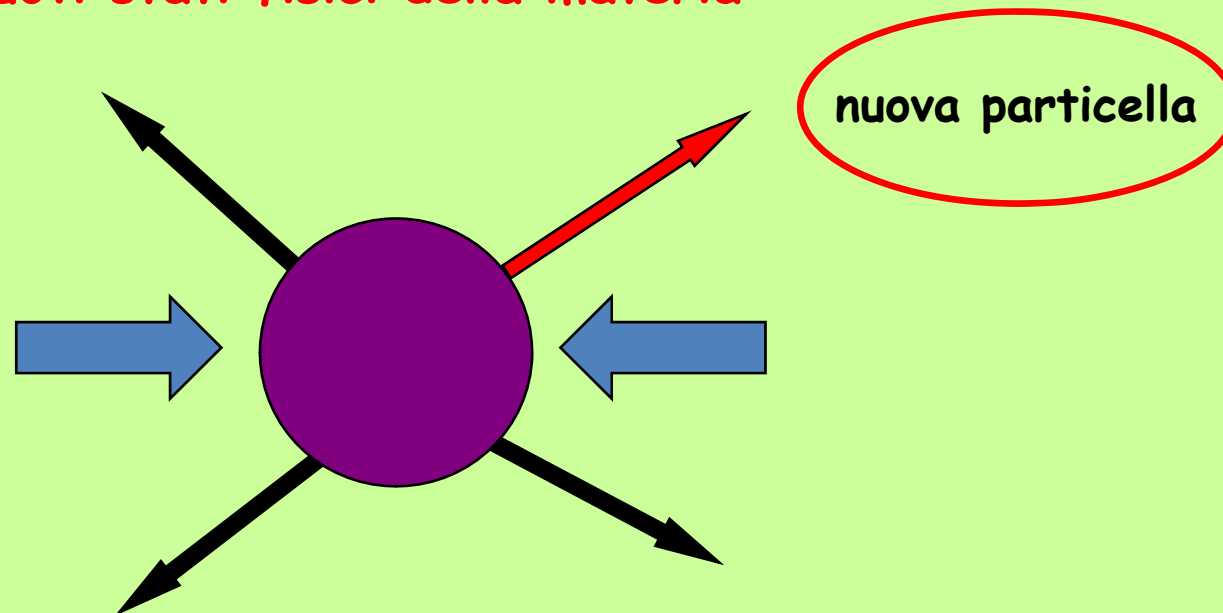
Oltre il Modello Standard: la supersimmetria

Stravaganze: creazione di buchi neri agli acceleratori?

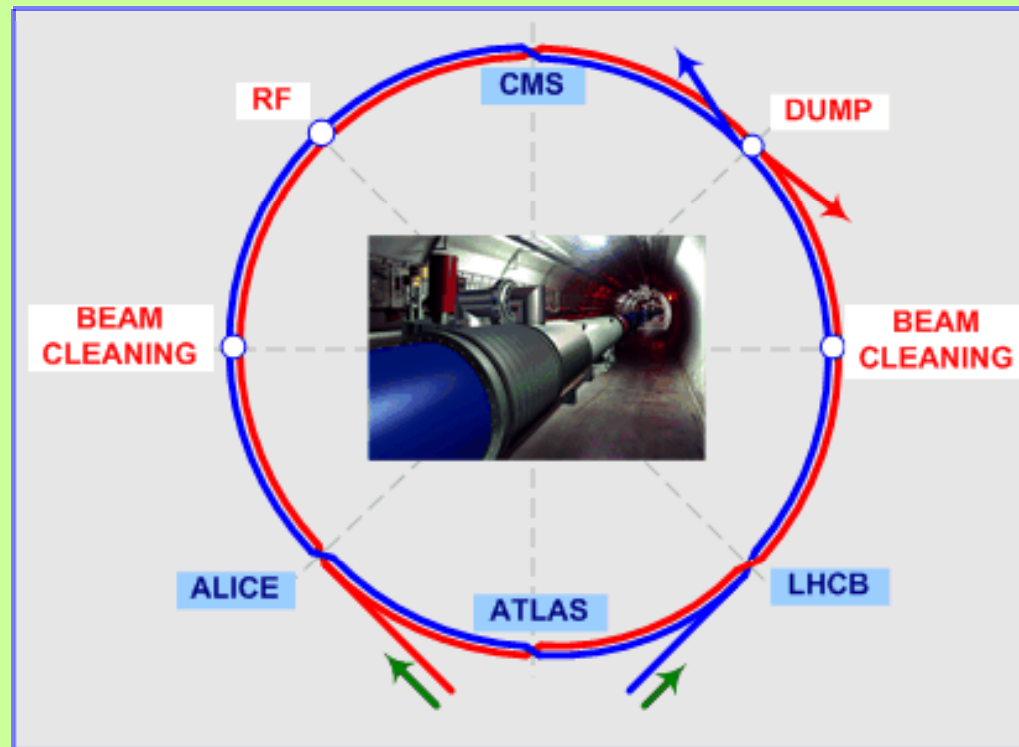
Fisica agli acceleratori di particelle (collisori)

Due particelle vengono fatte collidere per:

- 1) studiare la **struttura** di queste particelle
- 2) produrre **nuove particelle**
- 3) produrre **nuovi stati fisici della materia**

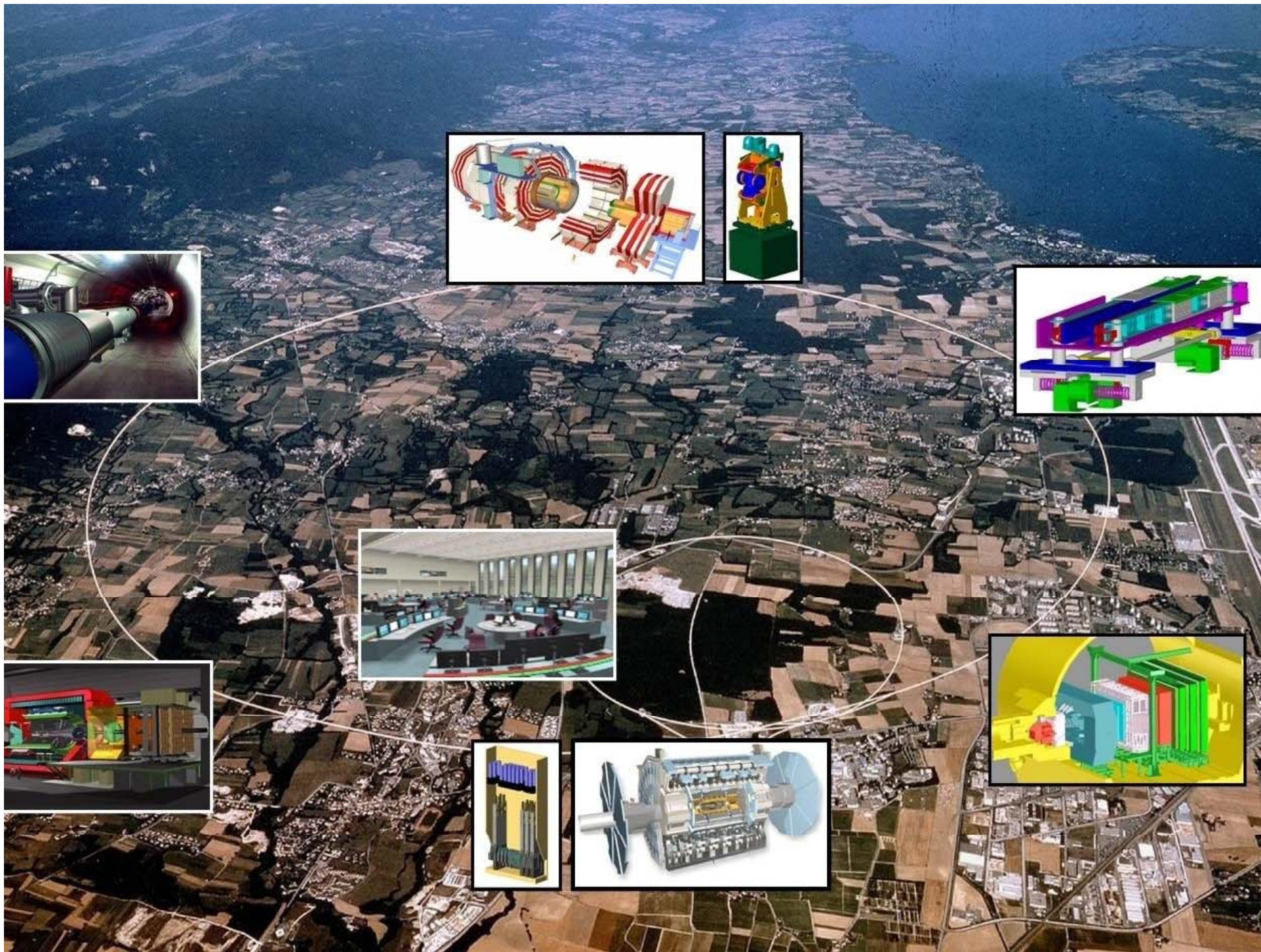


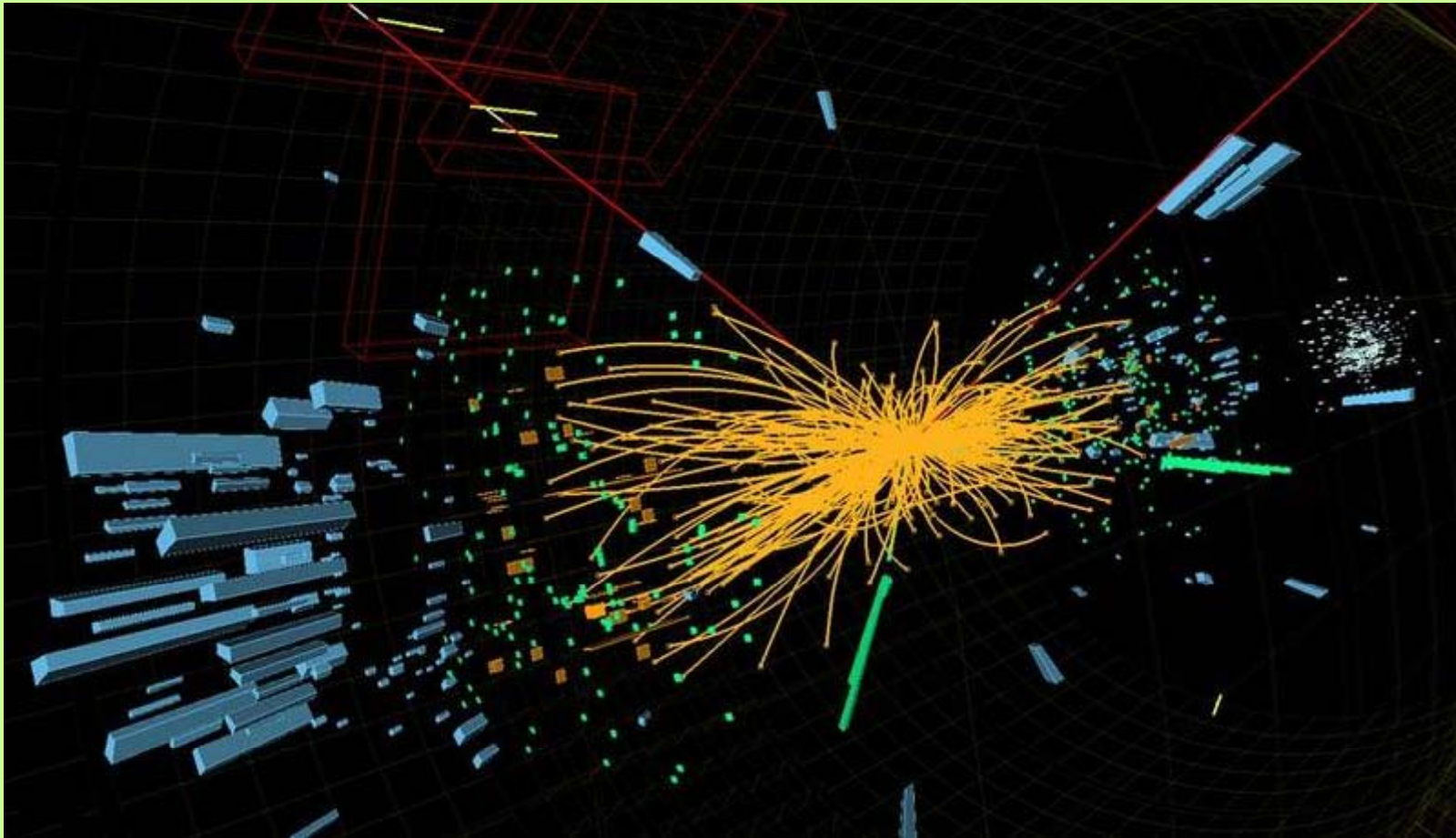
Large Hadron Collider (CERN)



- ★ 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 più grande della propria energia di riposo

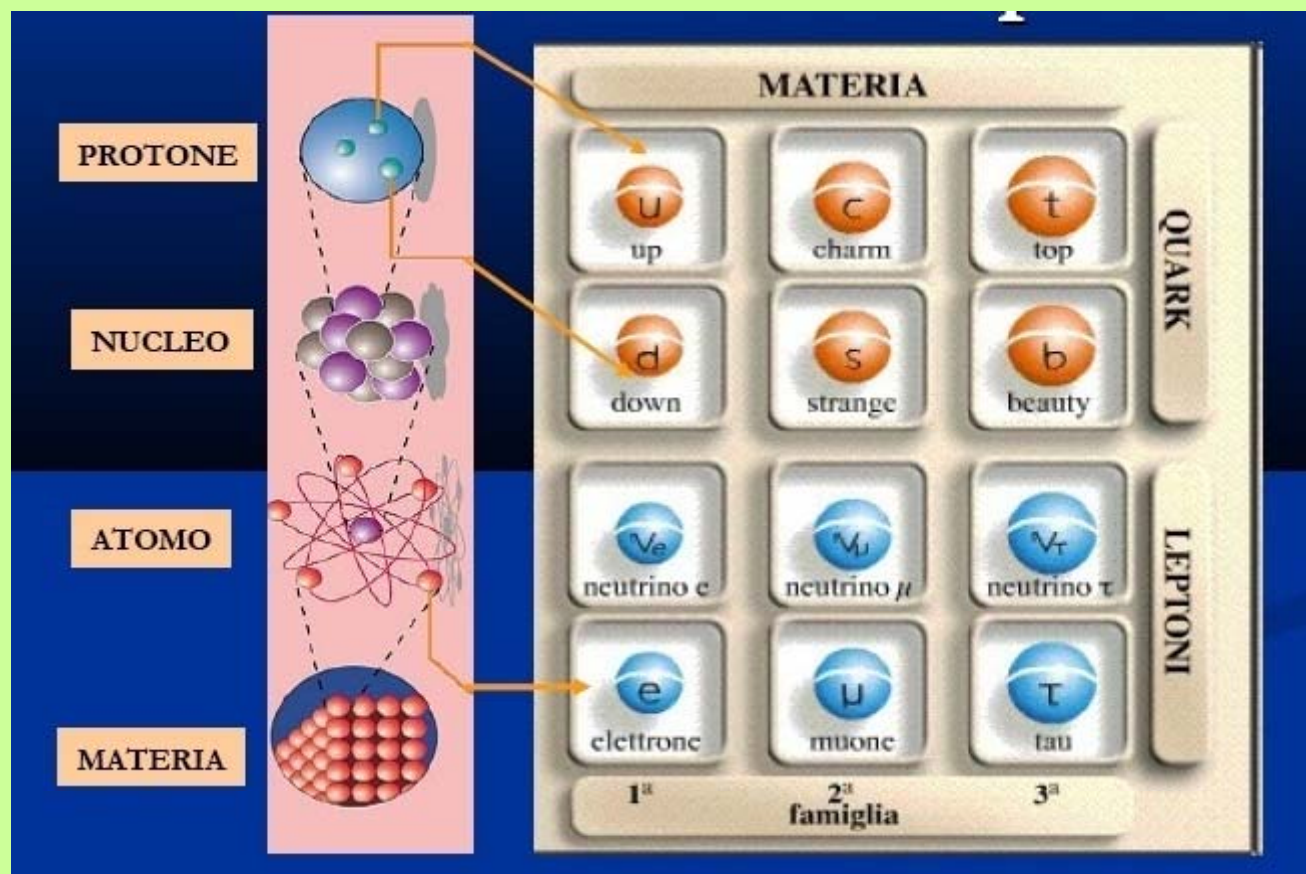






Verde = elettrone positrone
Rosso = $\mu + \mu -$

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

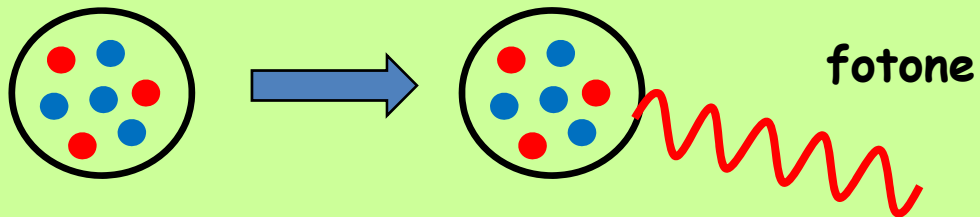


e ai corrispondenti anti-quarks e anti-leptoni:

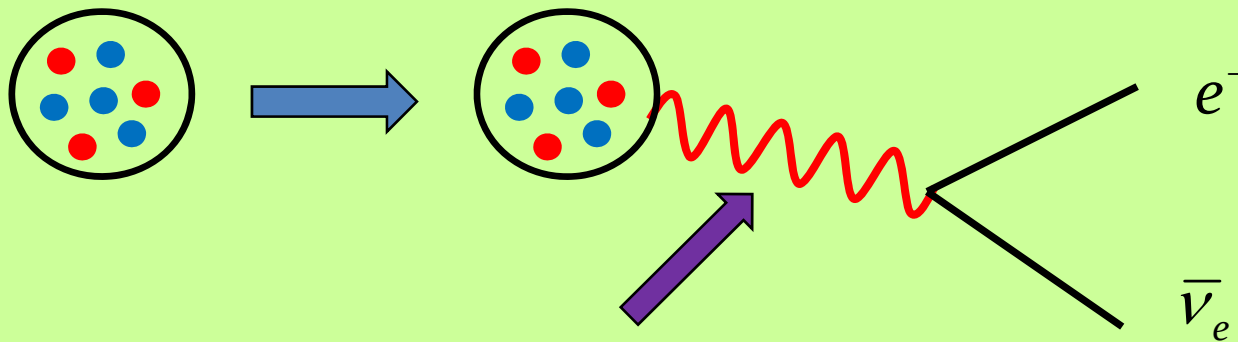
$$q \rightarrow \bar{q}; \quad e^- \rightarrow e^+, \quad \nu_e \rightarrow \bar{\nu}_e, \quad \dots$$

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

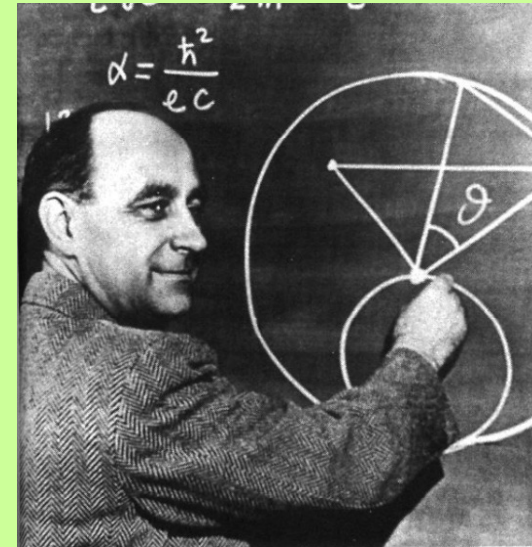
diseccitazione di un nucleo



decadimento beta di un nucleo



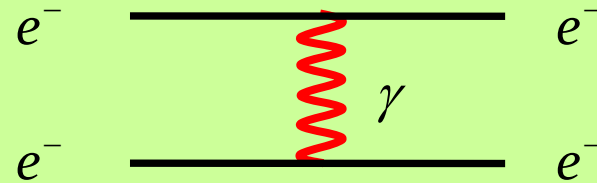
questo sarà il **bosone W** del **modello
standard** dell'interazione elettrodebole



teoria dell'interazione
debole (1933)

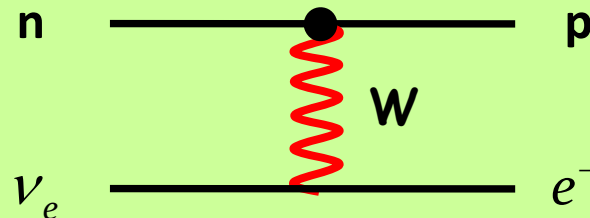
schematizzando

un generico processo elettromagnetico, per esempio:



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

un generico processo debole, per esempio:

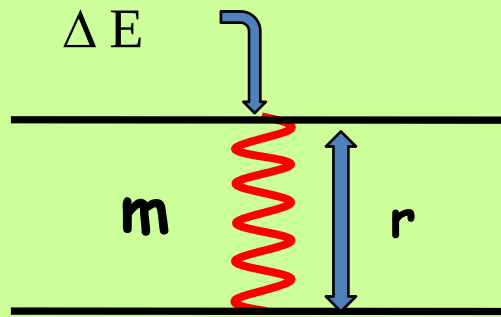


Attenzione: la particella W
deve essere carica $W^\pm$

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

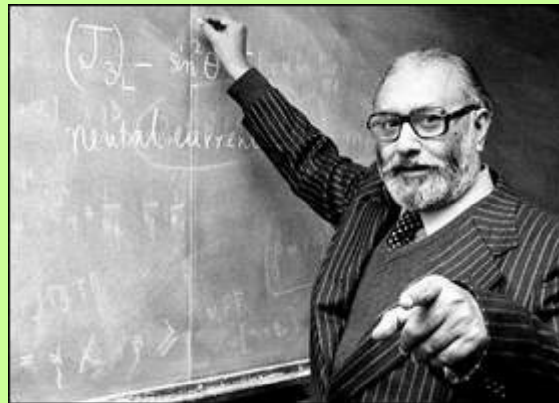
l'interazione debole e' a corto raggio d'azione $\longrightarrow$ **massa del W non nulla**

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

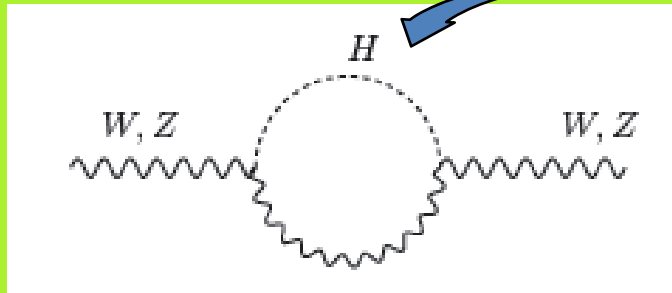
- ★ se vogliamo formulare per l'interazione debole una teoria analoga a quella dell'interazione elettromagnetica **occorre provvisoriamente mettere a zero la massa del mediatore W**
- ★ analogamente vengono provvisoriamente **messe a zero le masse di tutte le particelle (leptoni e quarks)**
- ★ una volta 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

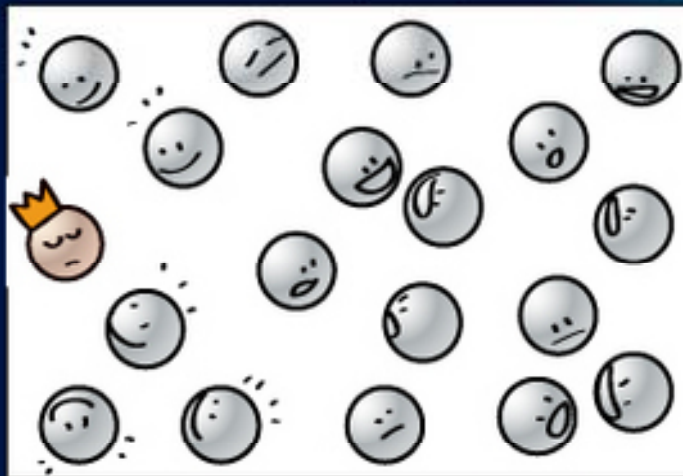
le particelle e i campi di interazione acquisiscono massa tramite le **loro interazioni con il campo di Higgs**

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

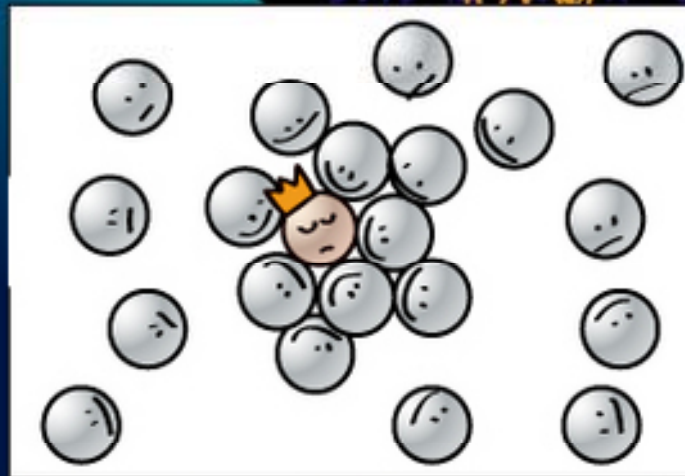


processo con particelle “virtuali”

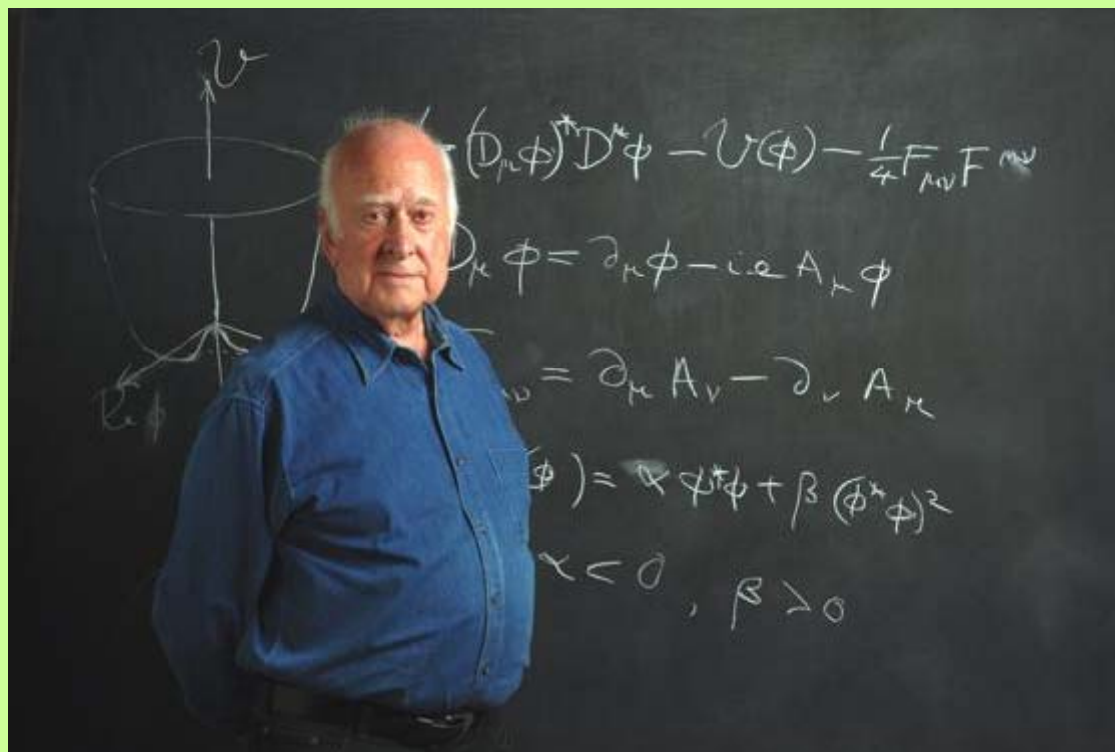
The “cocktail party” analogy



Imagine a party where guests are evenly spaced around the room. The room of guests represents the Higgs field, which is everywhere in the universe. Suddenly a celebrity enters. Guests notice the celebrity and rush in closer to be near her, forming a tight knot.



As the celebrity passes through the room, the concentrated clump of guests surrounding her gives the group additional momentum. The clump is harder to stop than one guest alone would be, and so we can say that the clump has acquired mass.



Peter Higgs e la particella di Higgs



Francois Englert

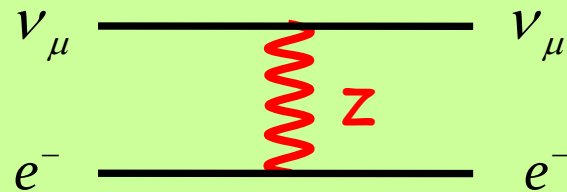


Robert Brout

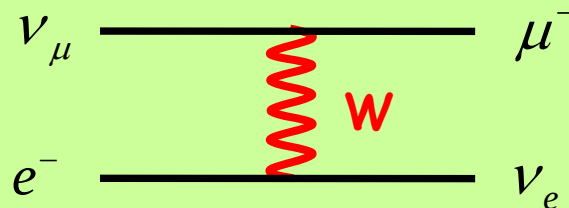
Nel **Modello Standard** delle particelle elementari le masse sono generate dal meccanismo di Higgs.

Importanti **previsioni del MS**:

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



analogamente a

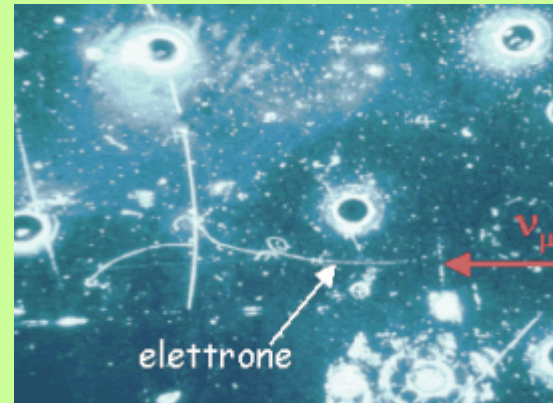
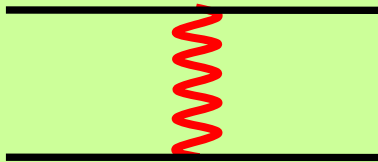


2) massa del W $\approx 80 \text{ GeV} / c^2$

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

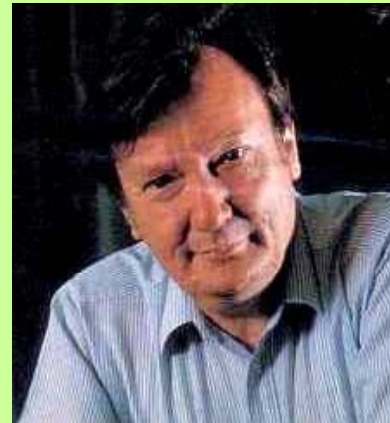
Proprietà' verificate
sperimentalmente

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

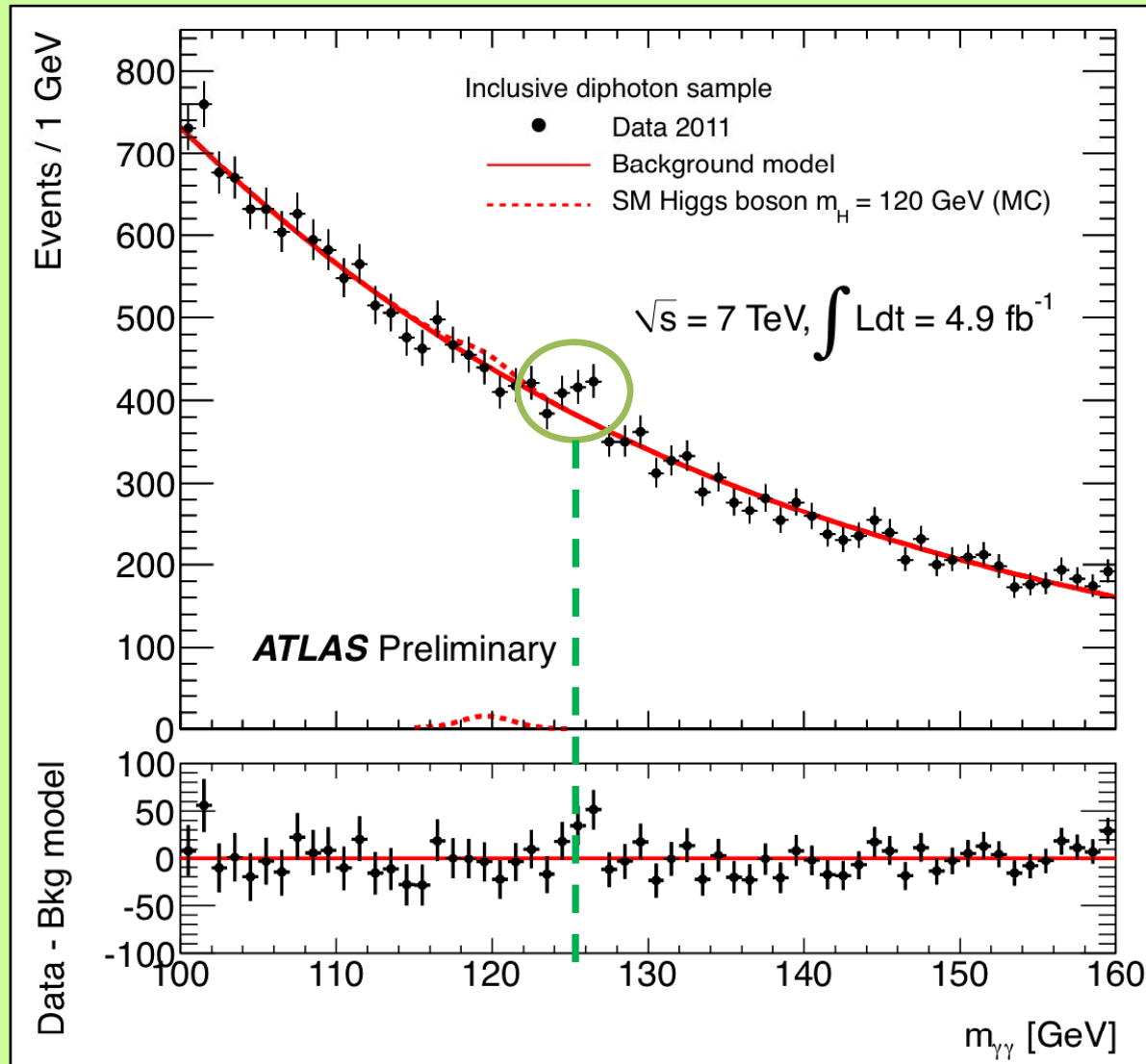


Simon van Der Meer

Manca ancora una solida evidenza dell'esistenza della
particella di Higgs: prime avvisaglie all'LHC ?

Risultati di ATLAS/CMS (dicembre 2011)

numero di eventi per intervallo di energia



Massa della particella di Higgs

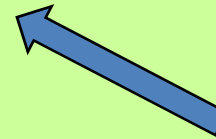
Ricerca di supersimmetria

Modello Standard delle particelle

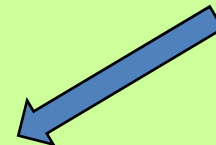
Spin	Particelle del MS
1/2	Leptons (e, ν_e , ...) Quarks (u, d, ...)
1	Gluons $W^\pm$ Z^0 Photon (γ)
0	Higgs
2	Graviton



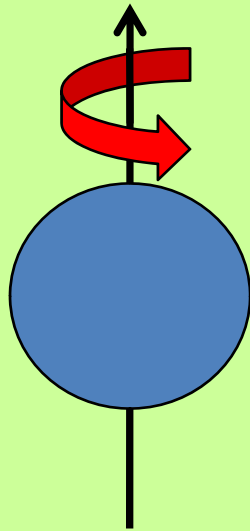
**Costituenti fondamentali
della materia**



**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

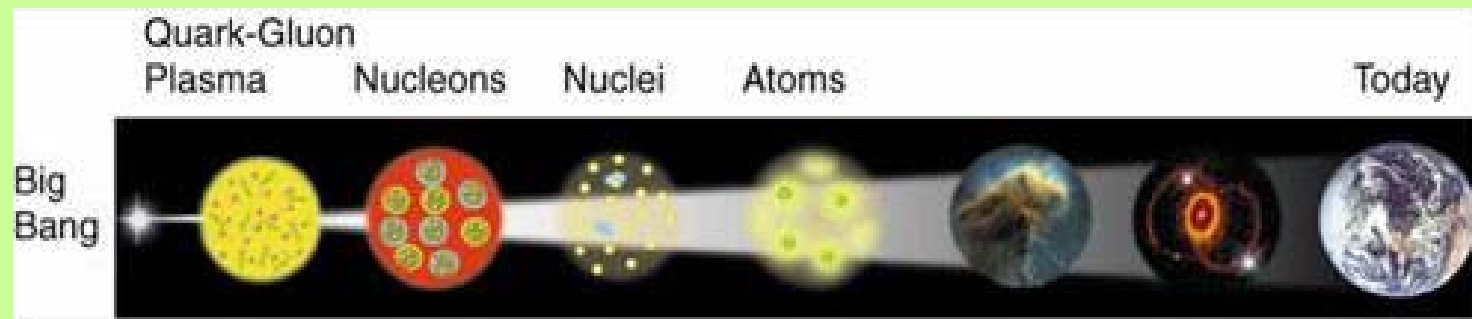
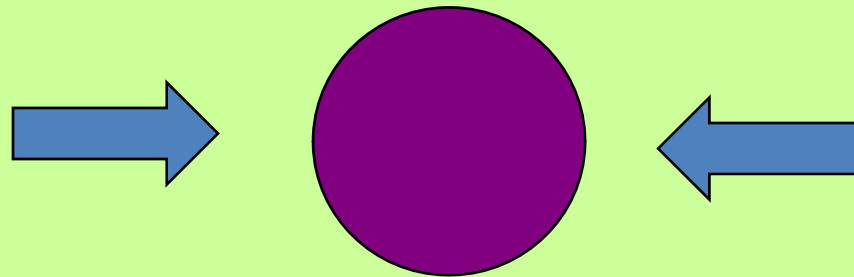
e sua estensione supersimmetrica

Spin	Particelle del MS	Superparticelle	Spin
1/2	Leptons ($e, \nu_e, \dots$) 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

Studio del plasma di quarks e gluoni

Esperimento ALICE



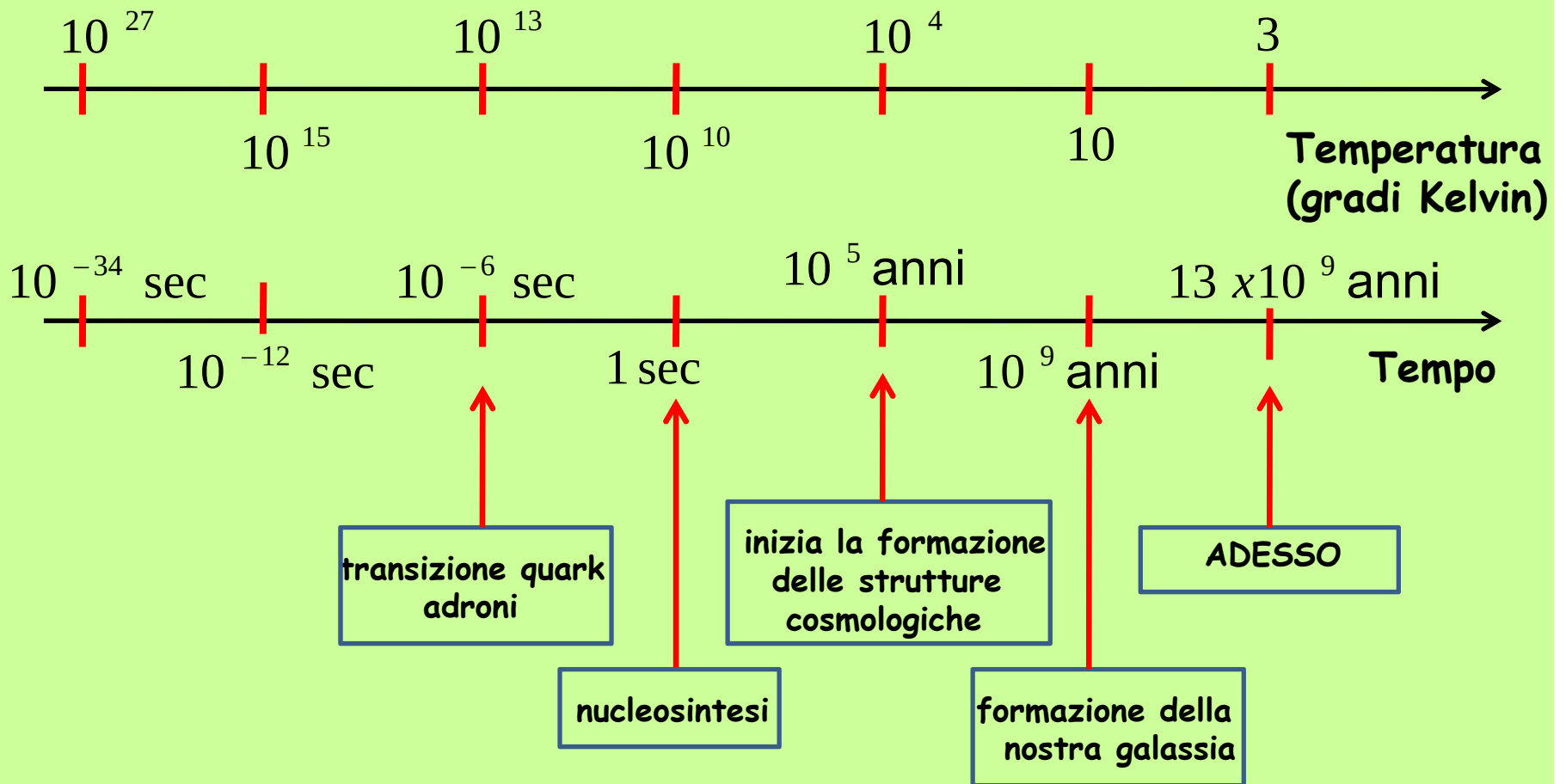
Vedi:

<http://scienzapertutti.inf.infn.it/>

Percorsi divulgativi: **Alla ricerca del plasma di quarks e gluoni**

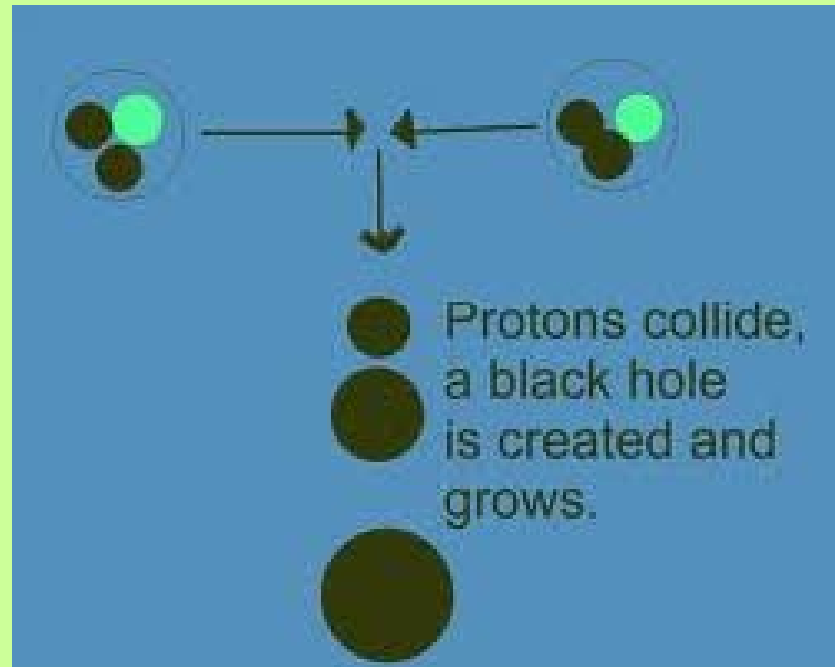
B
I
G

B
A
N
G



Creazione di buchi neri al Large Hadron Collider ?

Corriamo il rischio che questo processo possa capitare all' LHC?

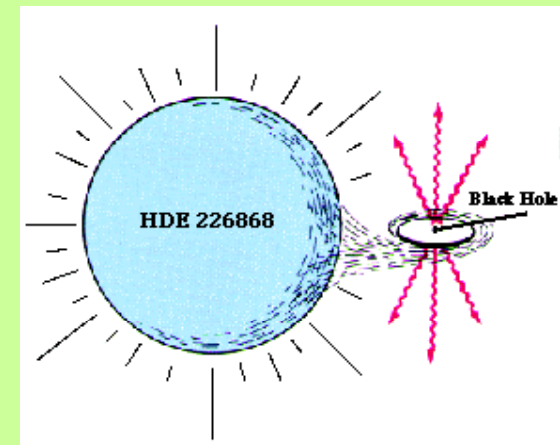


★ Quando la pressione interna di un oggetto astrofisico non riesce a controbilanciare la propria gravita' avviene un **collasso gravitazionale** che puo' generare la **formazione di un buco nero**.

★ Un buco nero cattura la radiazione che lo investe e puo' crescere, **assorbendo materia dal mezzo circostante**.

★ Esempio tipico: **sistema binario** costituito da un buco nero ed una stella compagna dalla quale il buco nero assorbe materia. Nella fase di assorbimento da parte del buco nero, questa materia si scalda ed **emette raggi X**.

Cygnus X-1 (Cyg X-1):
stella compagna supergigante HDE 226868



★ Buchi neri possono essersi prodotti nelle fasi iniziali dell'Universo come effetto di elevate densita' di materia e delle loro fluttuazioni: **buchi neri primordiali**.

★ In base alla Relativita' Generale la **forza gravitazionale e' troppo debole** per produrre buchi neri nelle collisioni protone-protone ad LHC

Tale produzione potrebbe essere possibile nell'ambito di teorie delle stringhe (con **extra dimensioni**)

★ Comunque **non sembriamo correre rischi** perche':

1) i buchi neri microscopici cosi' prodotti **evaporerebbero** in 10^{-25} secondi (radiazione di Hawking)

2) processi di altissima energia vengono continuamente indotti dai raggi cosmici che investono la Terra ed altri oggetti astrofisici piu' grandi (Sole, Giove, etc); **nessun evento di produzione di buchi neri sembra essersi prodotto !**

Utili da visitare

Esperimenti a LHC

sito della Collaborazione ATLAS (CERN)

<http://atlas.ch/>

sito della Collaborazione CMS (CERN)

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

sito della collaborazione ALICE (heavy-ion collisions at LHC)

<http://aliweb.cern.ch/>

Buchi neri a LHC?

http://hubblesite.org/explore_astronomy/black_holes/

http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know_l2/black_holes.html

http://www.einstein-online.info/spotlights/accelerators_bh/

Per i files pdf di queste lezioni:

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