I.N.F.N. - Florence / GGI

Alla ricerca di nuove particelle
Qual'è il lavoro del fisico teorico?

15 Ottobre 2021

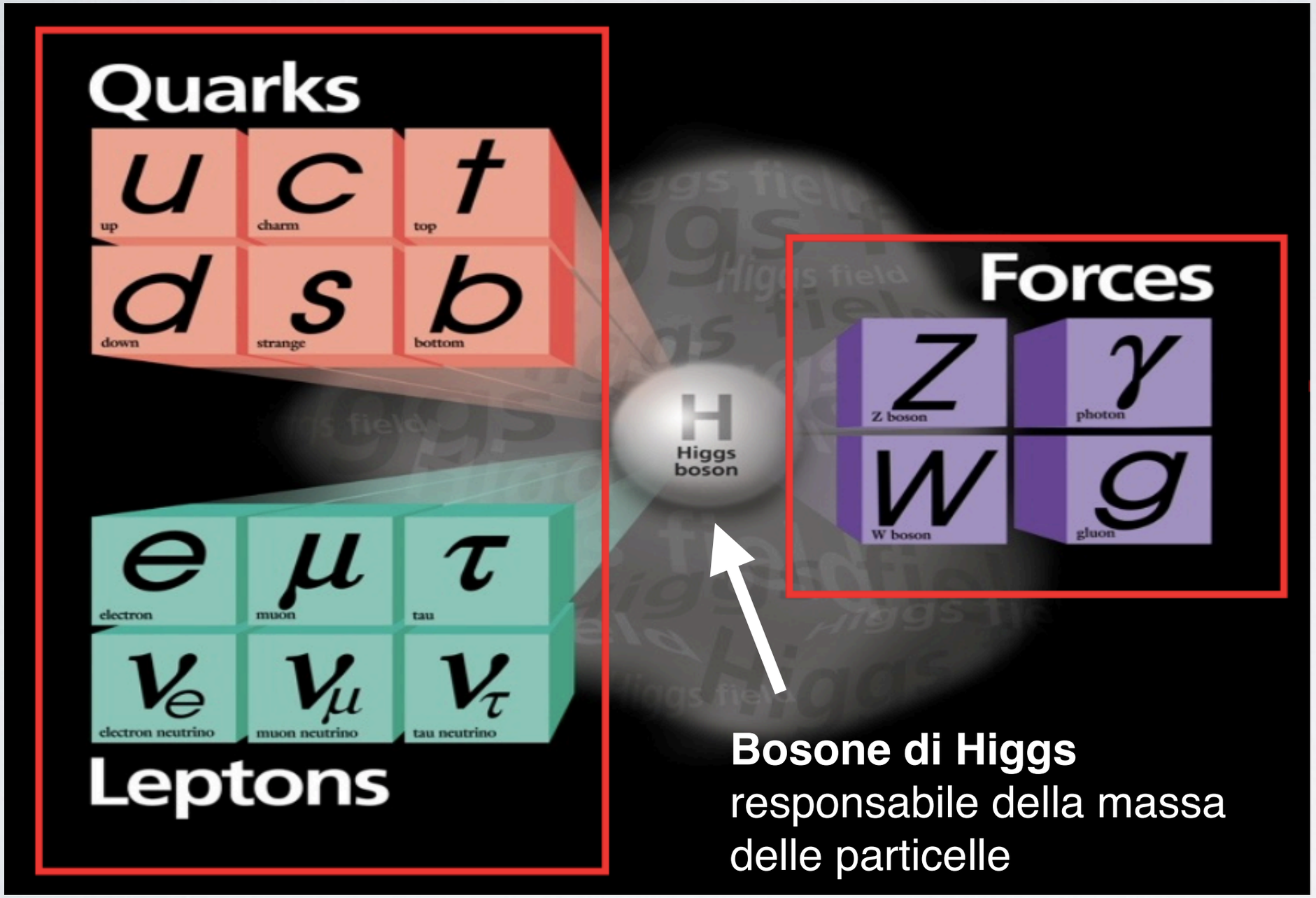
What Next
GIOVANI CHE RACCONTANO IL FUTURO

Quali sono le leggi della fisica che vogliamo verificare con gli esperimenti agli acceleratori di particelle?

Cosa abbiamo capito?

Cosa rimane ancora a capire?

Il Modello Standard delle Particelle Elementari



Bosone di Higgs
responsabile della massa delle particelle

Mediatori delle interazioni

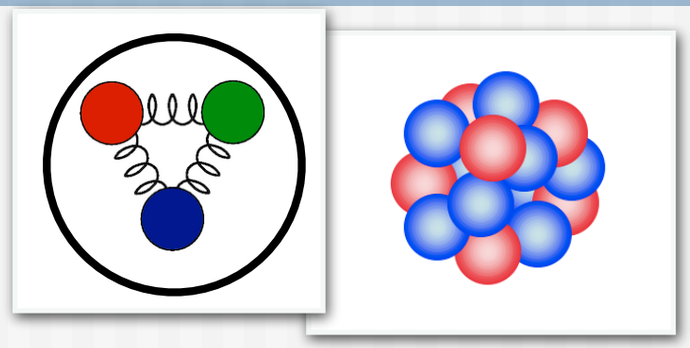
γ: elettromagnetiche

W,Z: deboli

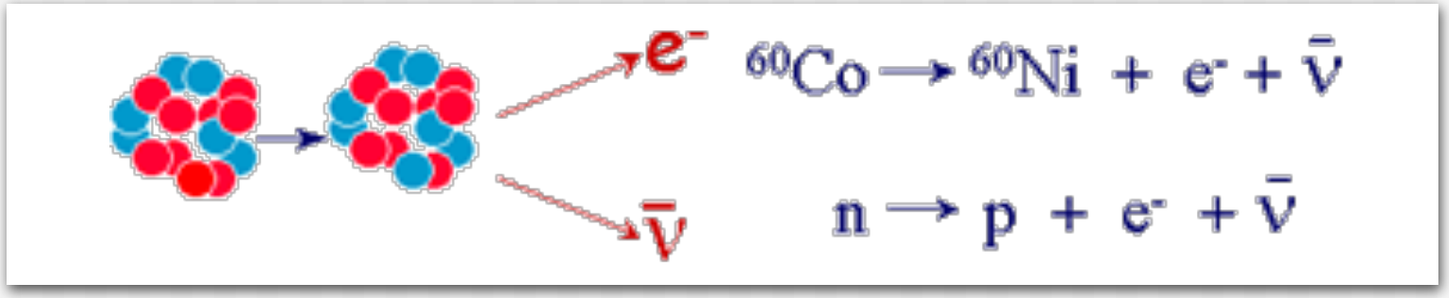
g: forti

Le quattro forze fondamentali

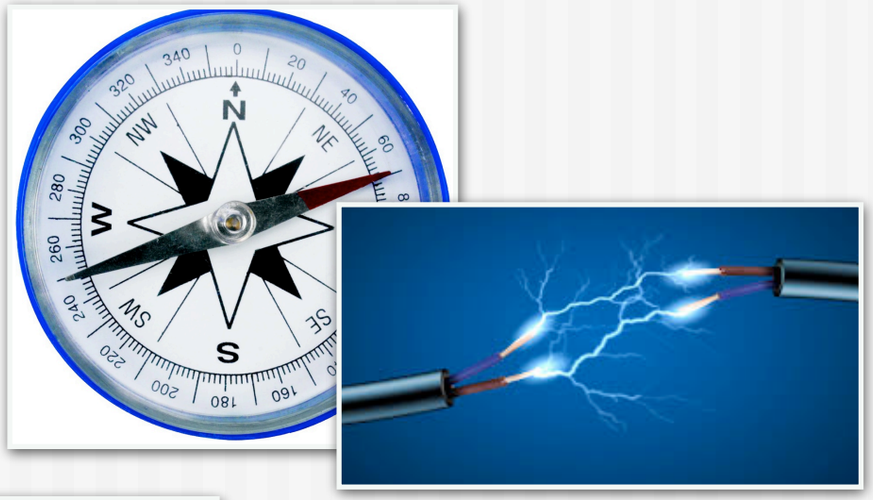
- Forte: gluoni



- Debole: W, Z



- Elettromagnetica: fotone



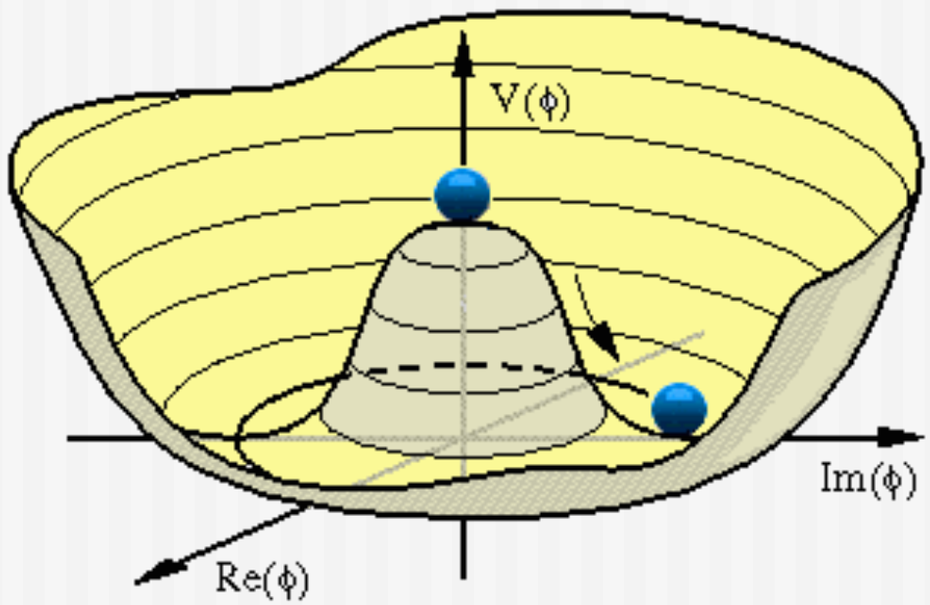
- Gravitazionale:

Il Bosone di Higgs

- Le interazioni fondamentali sono regolate da “principi di simmetria”, ma soltanto se le particelle non hanno massa

- Nel 1964 R. Brout, F. Englert e P. Higgs immaginarono un meccanismo per dare massa alle particelle, senza violare la simmetria fondamentale della natura

- Come conseguenza di questo meccanismo doveva però esistere una particella che aveva proprietà molto particolari: il Bosone di Higgs



Il vuoto non è vuoto

Lo stato di minima energia corrisponde ad un valore non nullo del campo di Higgs che permea lo spazio-tempo

Il bosone di Higgs

Senza il campo di Higgs le particelle non hanno massa

Vediamo come funziona il campo di Higgs!

Gli invitati ad un party sono il campo di Higgs

D.J.Miller

Il bosone di Higgs

Senza il campo di Higgs le particelle non hanno massa

Più grande è l'interazione con il campo di Higgs maggiore è la massa

Gli invitati ad un party sono il campo di Higgs

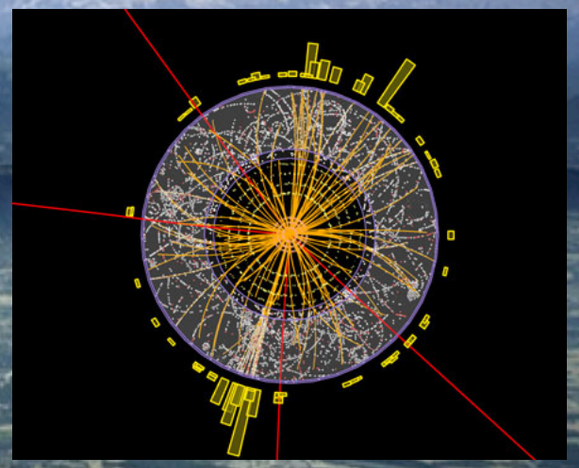
Un VIP incontra resistenza a muoversi nella folla di un party:

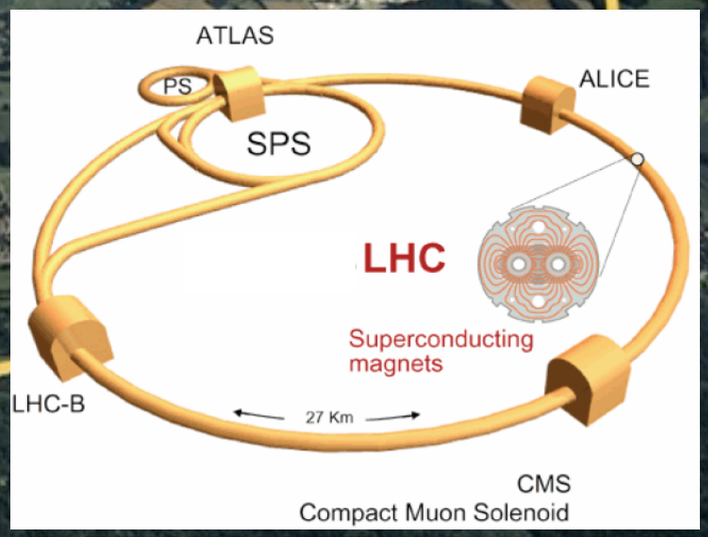
importanza
=
difficoltà a muoversi
=
massa!

D.J.Miller

La caccia al bosone di Higgs @ Large Hadron Collider (LHC)

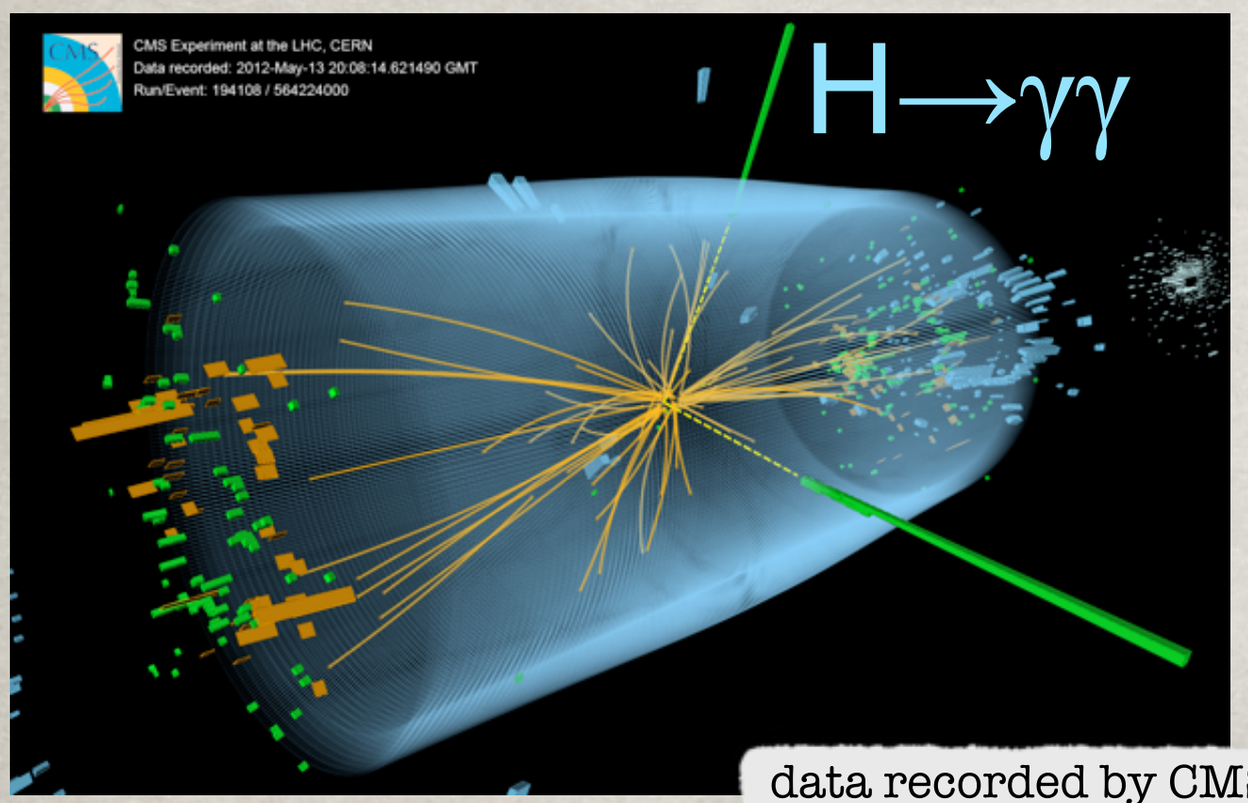
Due fasci di protoni protoni collidono in 4 punti dell'anello

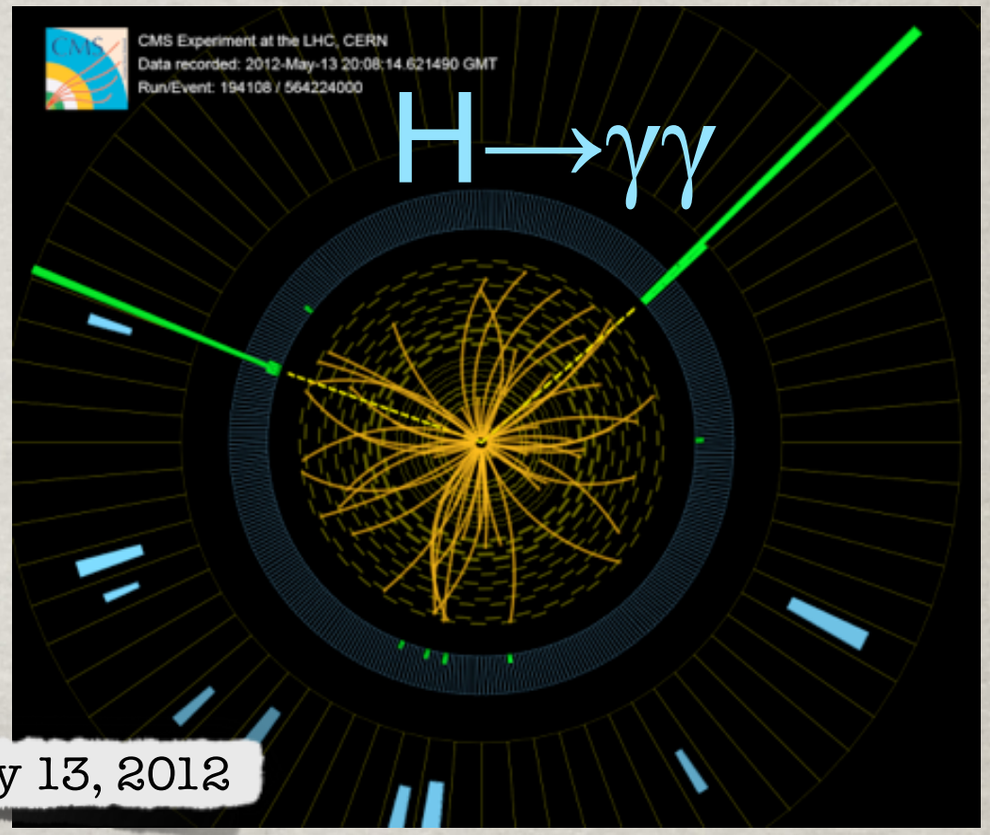




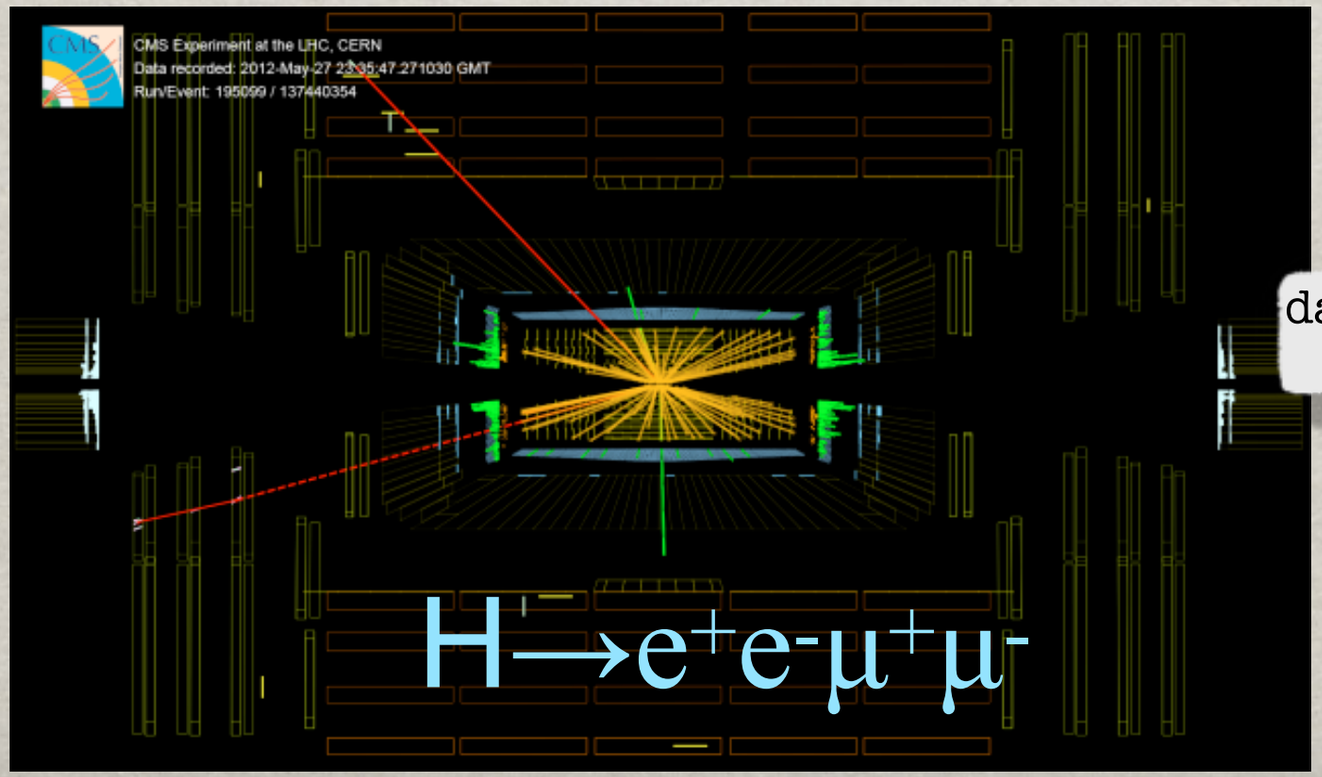
Esperimenti a LHC:
CMS,LHCb,ATLAS,ALICE
Collisioni: p-p, p-Pb, Pb-Pb

Higgs candidates



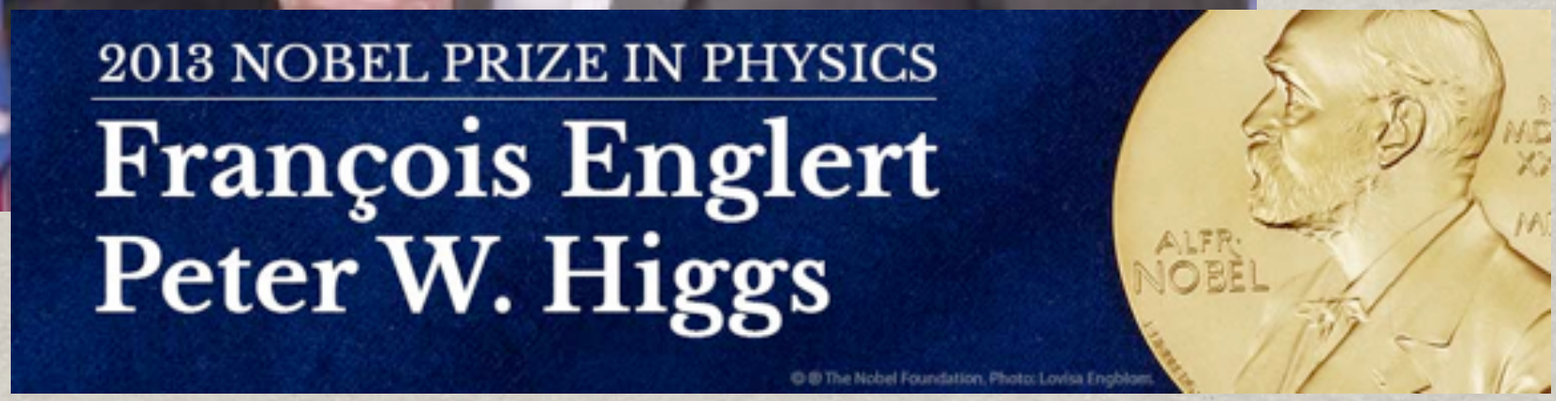


data recorded by CMS - May 13, 2012



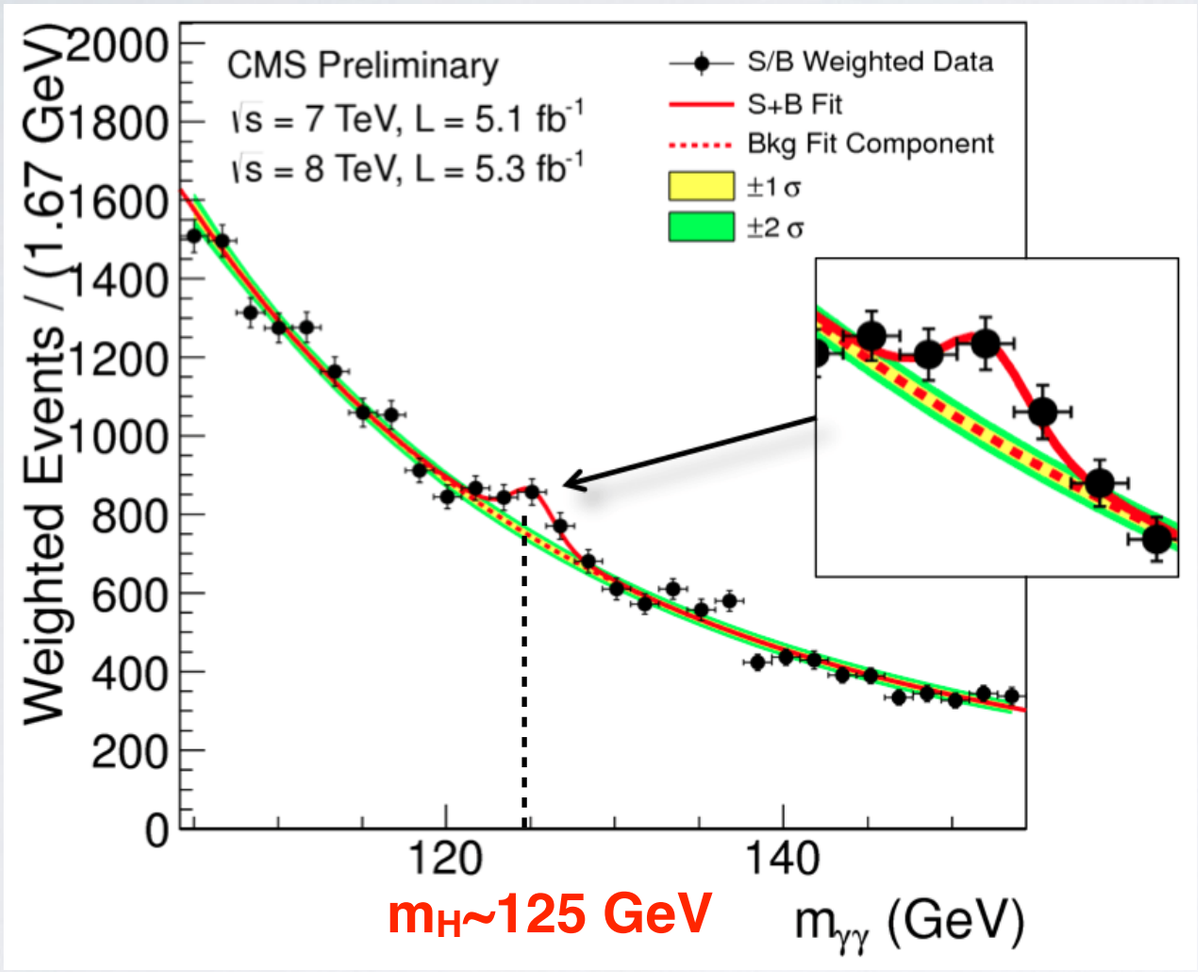
data recorded by CMS - May 27, 2012

Il 4 Luglio, 2012 le collaborazioni ATLAS e CMS hanno annunciato la scoperta del bosone di Higgs … 48 anni dopo la predizione teorica (1964)



" ... for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle ... "

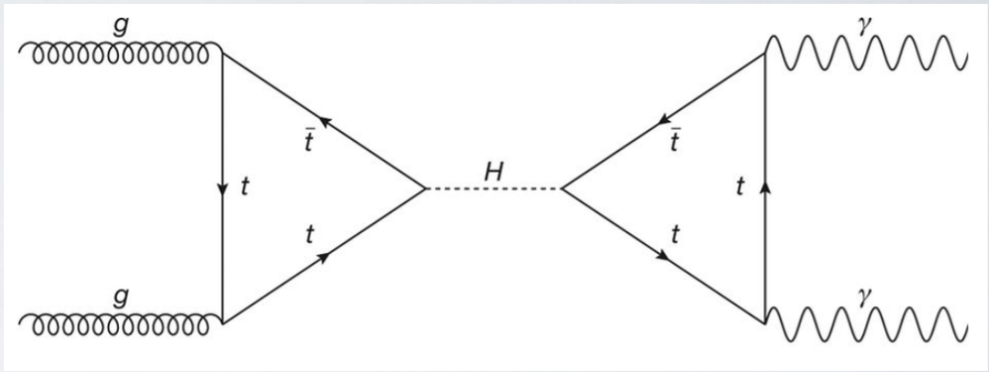
Scoperta del Bosone di Higgs



massa invariante dei due fotoni emessi

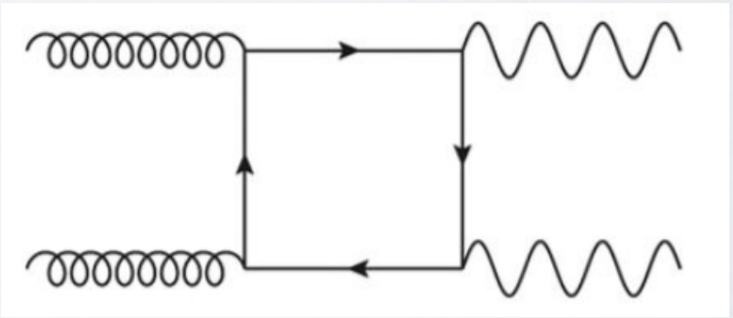
Il lavoro dei fisici teorici

evento di segnale gg → H → $\gamma\gamma$



Precisa valutazione degli eventi di segnale e di fondo come previsti dal Modello Standard per il processo

pp → H → $\gamma\gamma$ + X

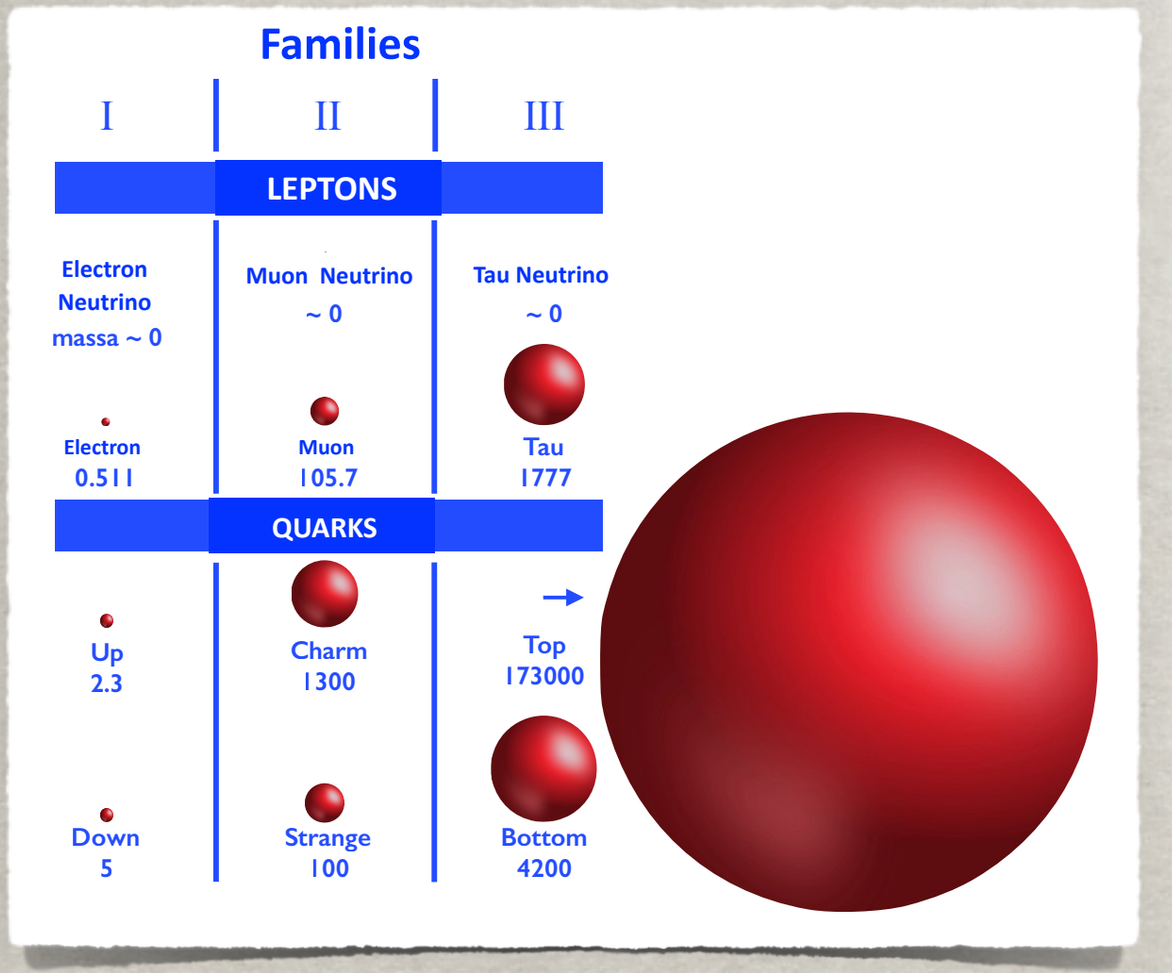


evento di fondo gg → $\gamma\gamma$

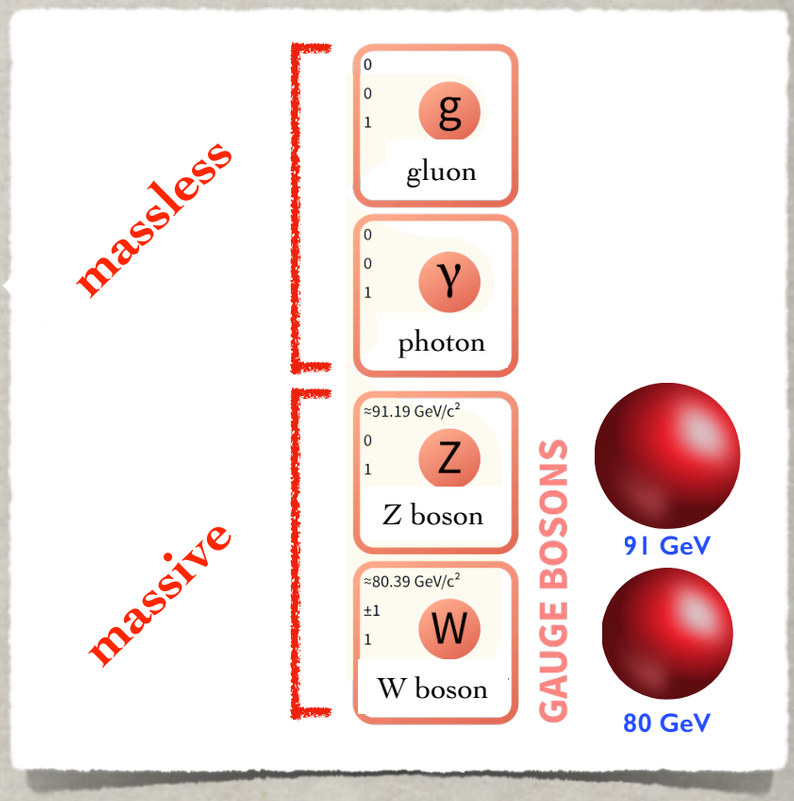
Il Modello Standard

Si basa su un piccolo numero di particelle elementari (quark, leptoni e i mediatori delle forze), e spiega tutti i fenomeni osservati in natura (ad eccezione della gravità)

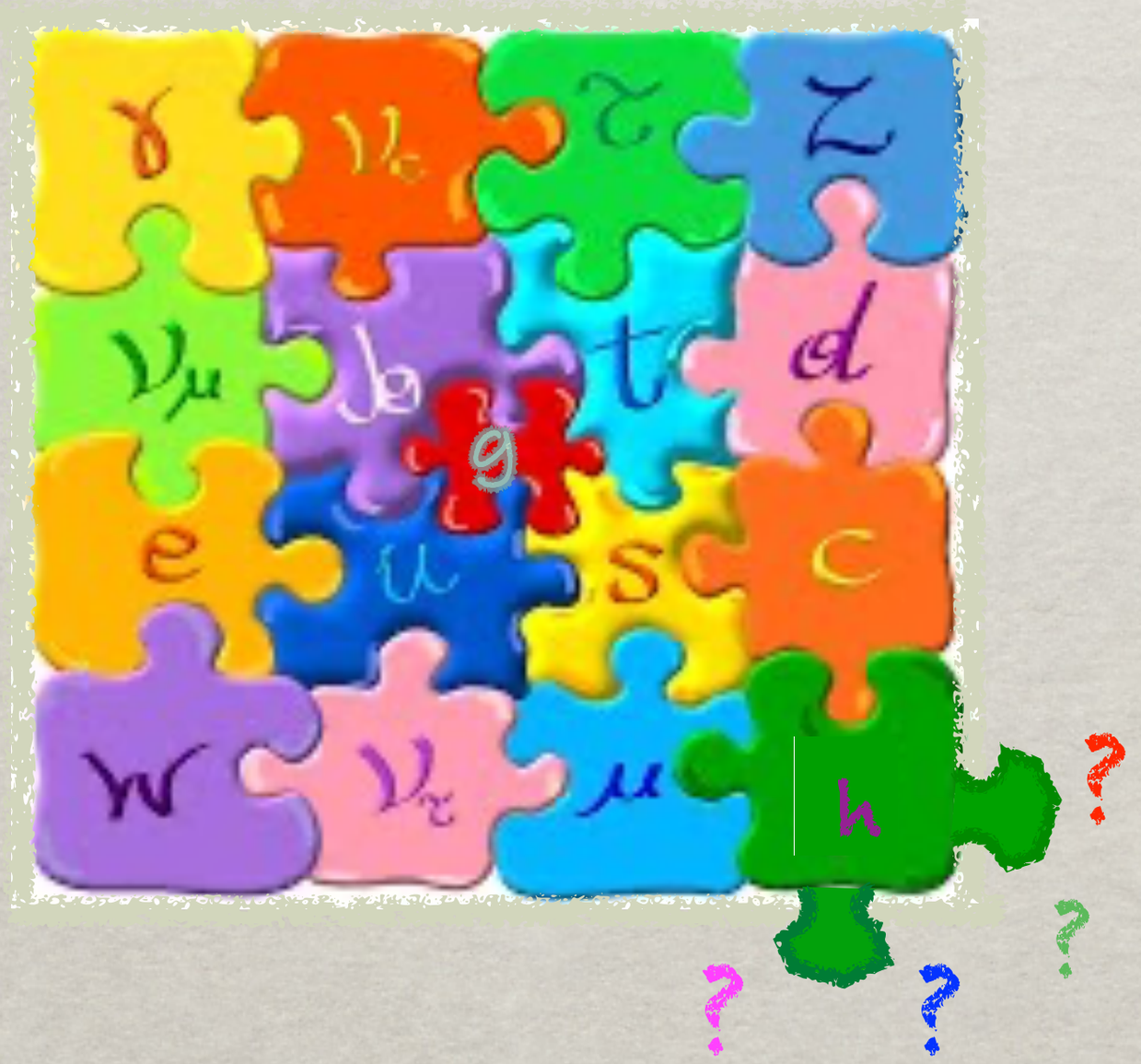
$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi} \not{D} \psi + \psi_i y_{ij} \psi_j \phi + h.c. + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$



Il bosone di Higgs fornisce massa a quark, leptoni e ai mediatori della forza debole



Le particelle elementari



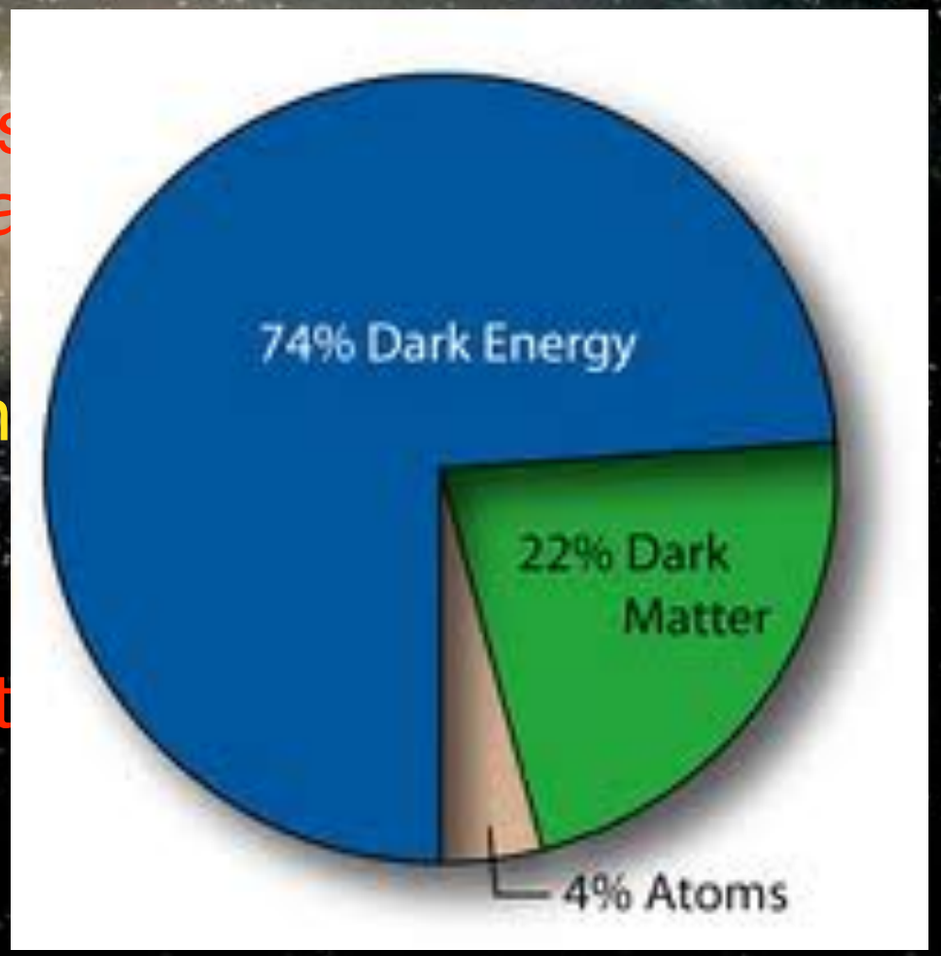
La paricella di Higgs è veramente l'ultimo pezzo del puzzle ?

Il Modello Standard funziona benissimo a LHC

nessuna evidenza diretta di “Nuova Fisica”

Alcune domande fondamentali sono ancora senza risposta

- Se materia e antimateria sono tanto simili, come mai l’Universo che conosciamo è fatto solo di materia?
- Perché la forza gravitazionale è tanto più debole delle altre?
- Perché il bosone di Higgs ha una mass
  Forte indicazione per Nuova Fisica alla
- Perchè le tre famiglie di quark e lepton
  così diverse?
- Che cos’è la materia oscura? Una part
  sconosciuta? E l’energia oscura?



Il Modello Standard è una descrizione parziale della Natura
Segnali di “Nuova Fisica” ?

prima di LHC

dopo LHC run 2

- **Non avendo trovato evidenze di nuove particelle o interazioni, dobbiamo esplorare il più possibile ed in tutte le direzioni**

La Fisica delle Particelle non sarà più una VERIFICA del Modello Standard ma una ESPLORAZIONE di territori sconosciuti

- **Nuovi acceleratori di alta energia forniscono lo strumento per questa esplorazione, permettono di accedere a regimi di energia finora non esplorati**

Oppurtunità Future per le ricerche di Nuova Fisica

High Luminosity-LHC
grande statistica di eventi

High Energy-LHC e Futuri
Acceleratori di alta energia

aiuta i processi con
piccola sezione d'urto

aiuta i processi con
segnali inusuali

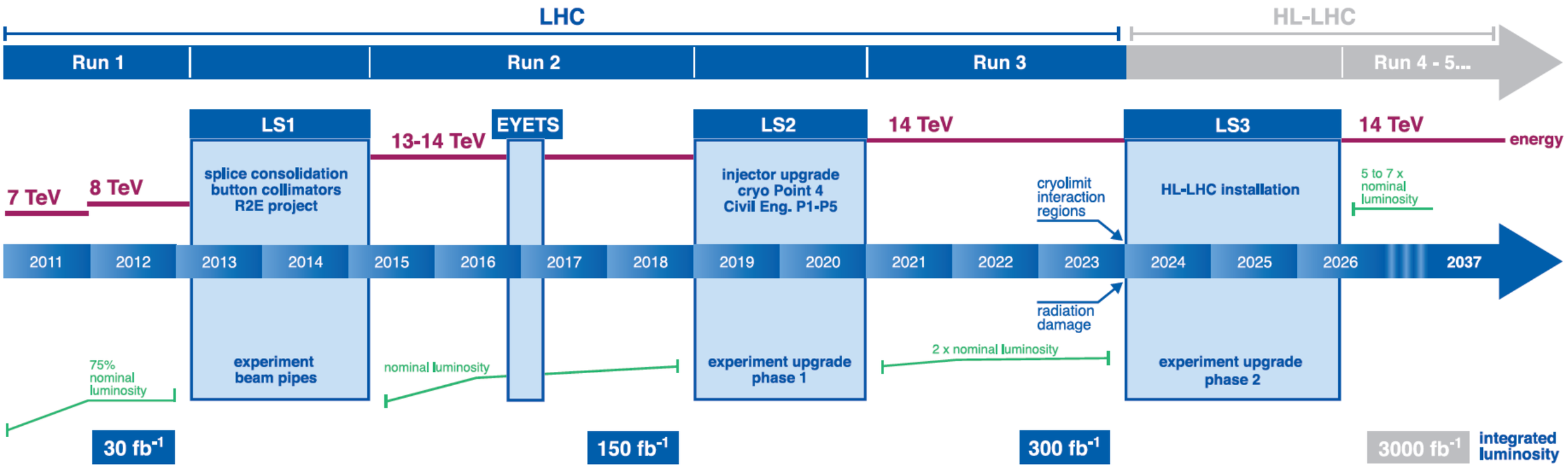
la grande statistica
aiuta per ottimizzare
l'analisi

produzione diretta
di oggetti pesanti

maggiore sezione
d'urto di produzione
per molti processi

Il futuro di LHC

LHC / HL-LHC Plan

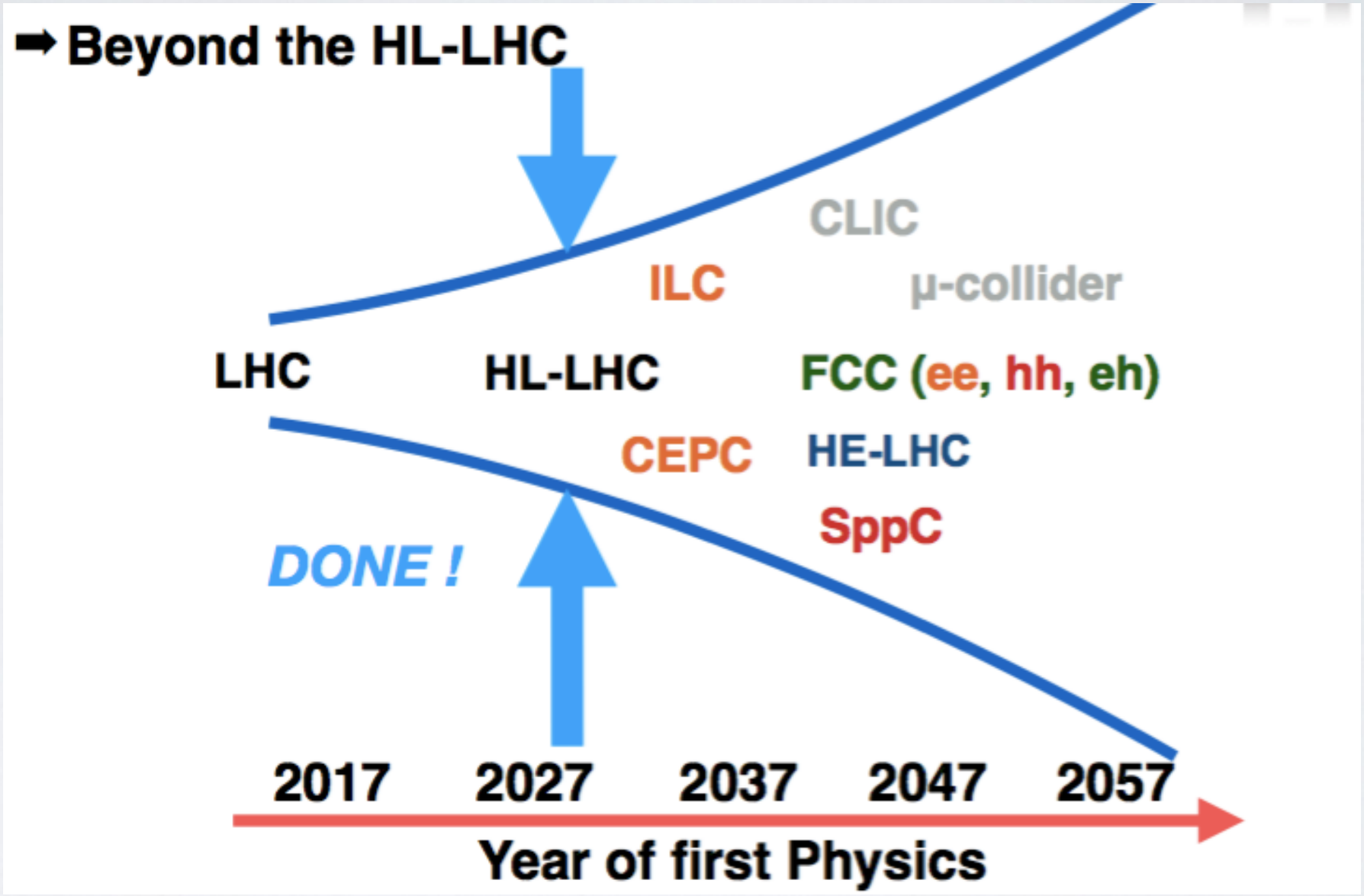


Scoperta dell'Higgs

Siamo qui

LHC ha ancora un lungo programma davanti a sé…

Tabella di marcia per la Fisica delle Particelle



HiLumi HL-LHC PROJECT

pp @ 14 TeV, 3ab^{-1}

✓Approved 2026-37

LHC tunnel: HE-LHC

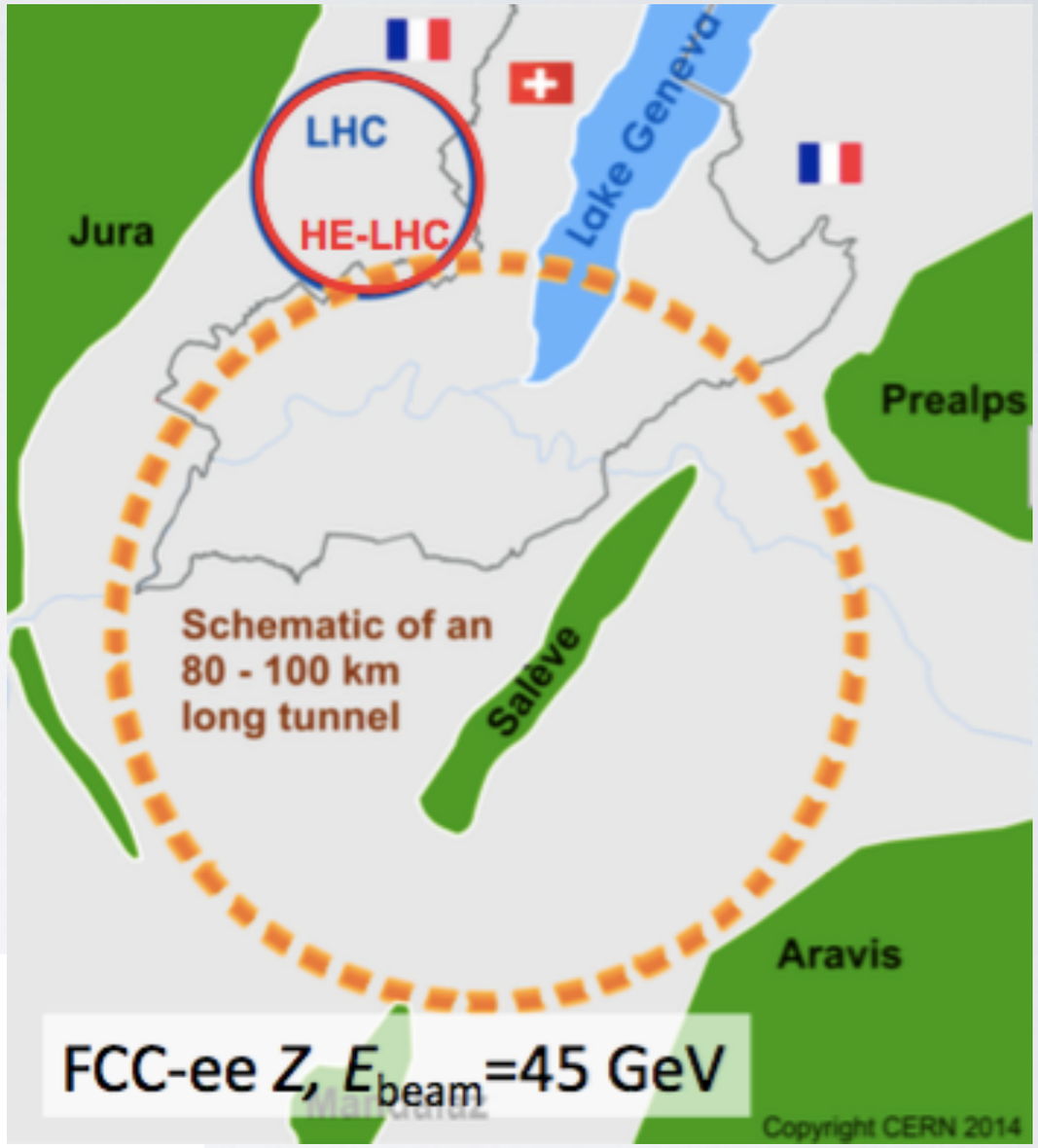
- **pp @ 27 TeV, 15ab^{-1}**

FCC hh ee he

100km tunnel

- **pp @ 100 TeV**
- e$^+$e$^-$ @ 91, 160, 240, 365 GeV

Future Circular Collider
Cern as host Lab



CEPC

100km tunnel

- e$^+$e$^-$ @ 91, 240 GeV (but possibly 160 & 350)
- **Future possible pp @ ~70 TeV** and e$_{60GeV}$ p$_{35TeV}$

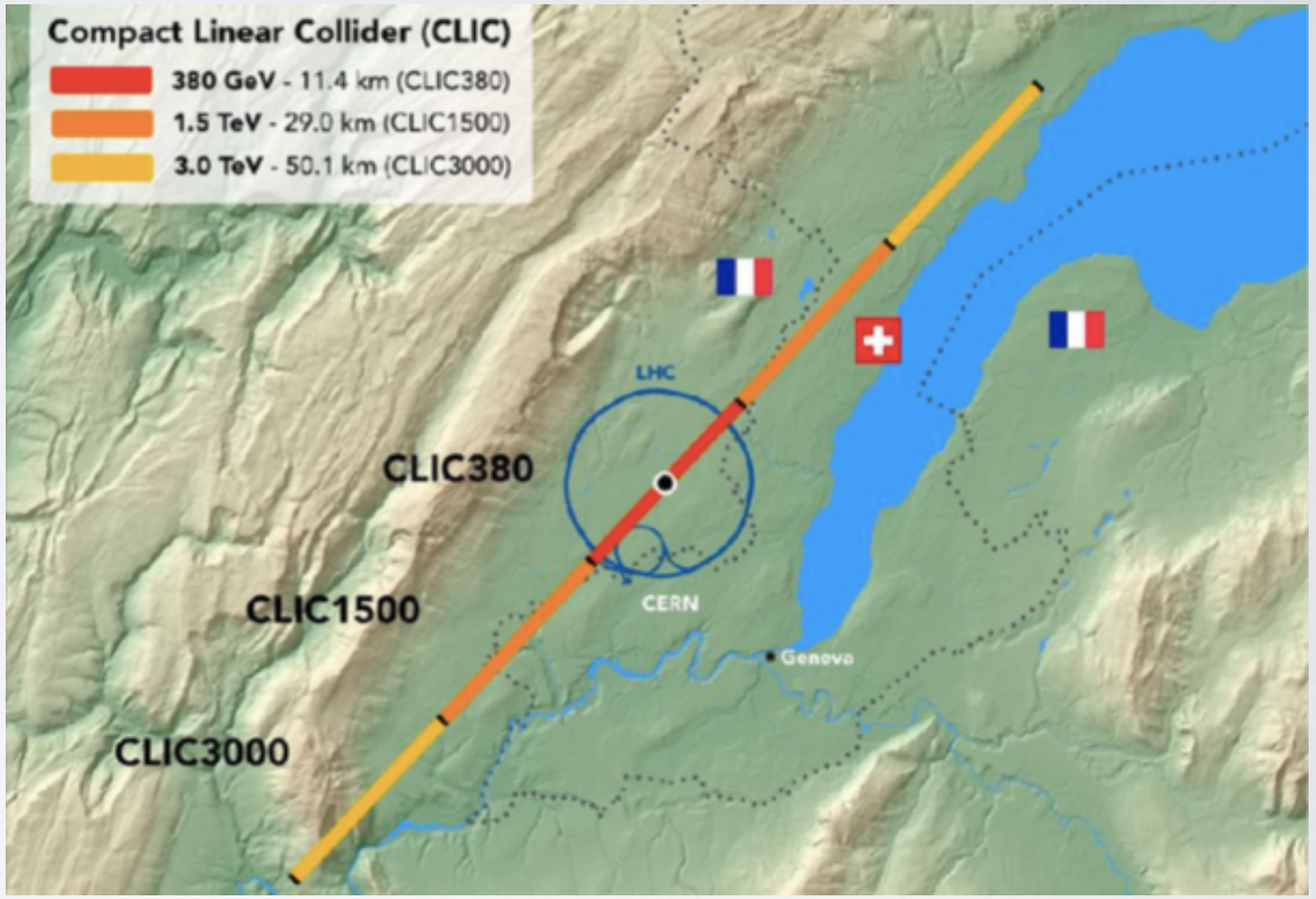
progetto parallelo in **Cina**
Circular electron-positron Collider
con possibile upgrade adronico

Futuri Acceleratori Lineari e+e-

ILC - International Linear Collider
(in Giappone)

Proposta con energia del centro di massa di 250 GeV machine, con possibile upgrade a 500 GeV, fino a 1 - 1.5 TeV

CLIC - Compact Linear Collider
(CERN area)



Proposta con energia iniziale di 380 GeV ed energia finale di 3 TeV

Costi HE-LHC/ILC/CLIC380/FCC-ee/CepC ~ comparabili

Parti del rivelatore CMS prima di essere calato nel tunnel di LHC (Cern - 2006)

Importante contributo
dei fisici teorici !