A Caccia di Particelle Elementari

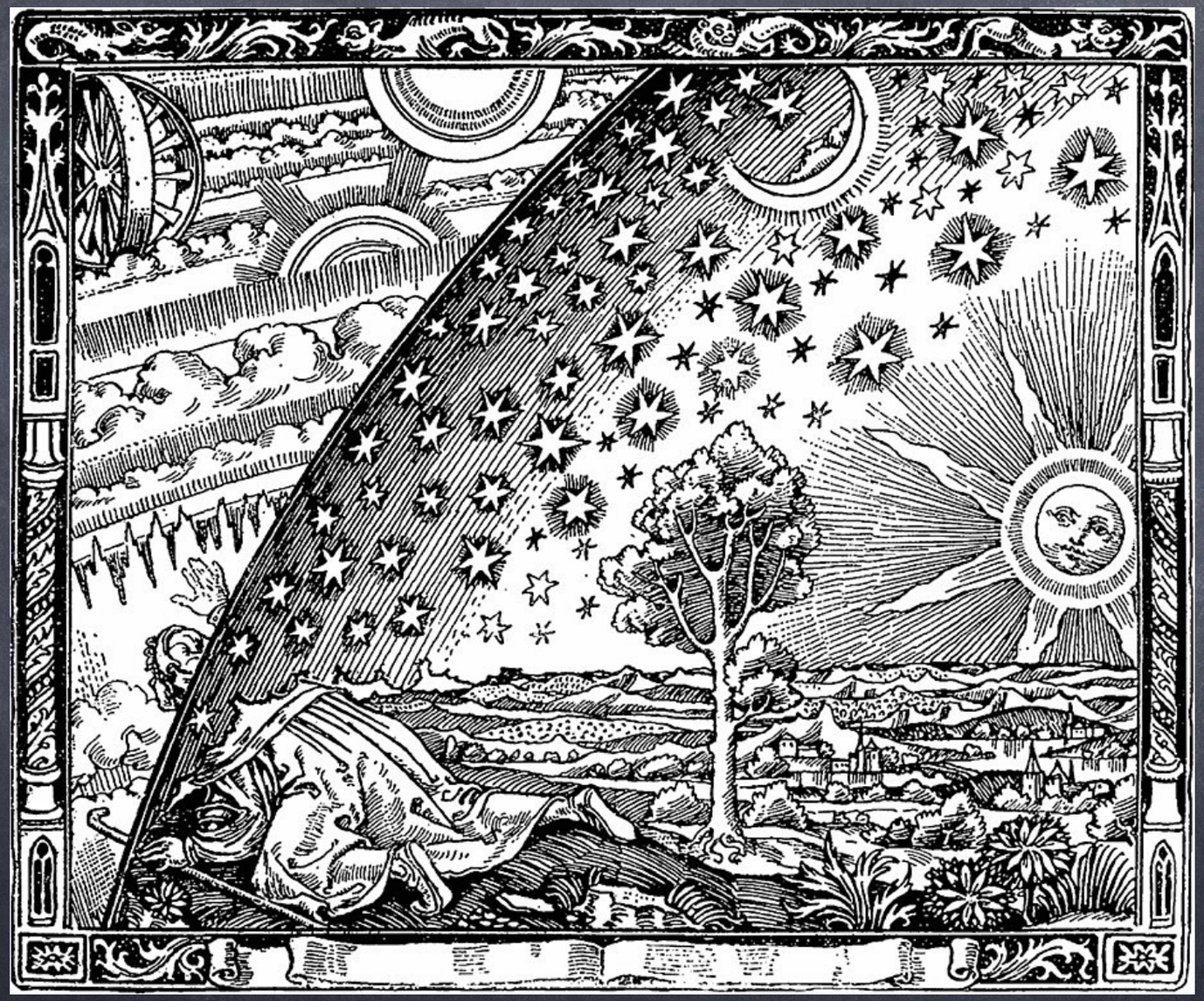
Giuliano Panico

Institut de Física d'Altes Energies

Ai confini della conoscenza

In viaggio ai confini della conoscenza

Il ruolo della scienza è investigare la natura
andando oltre i confini della conoscenza



In viaggio ai confini della conoscenza

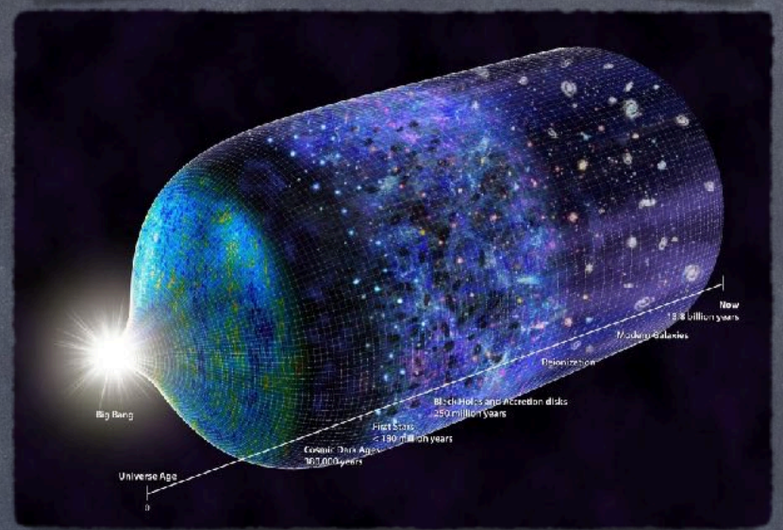
Il ruolo della scienza è investigare la natura

andando oltre i confini della conoscenza

… per migliorare la nostra comprensione dell'universo

Le nuove frontiere

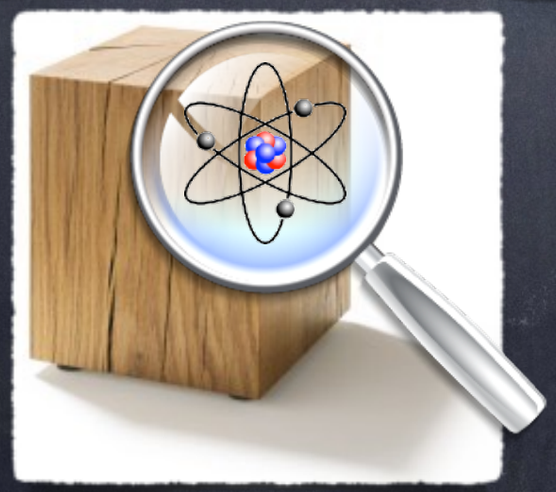
l'origine del tempo



Cosmologia

- Big Bang
- Evoluzione dell'universo
- Energia oscura

l'infinitamente piccolo



Fisica delle Particelle

- Costituenti della materia
- Forze ed energia

l'infinitamente grande

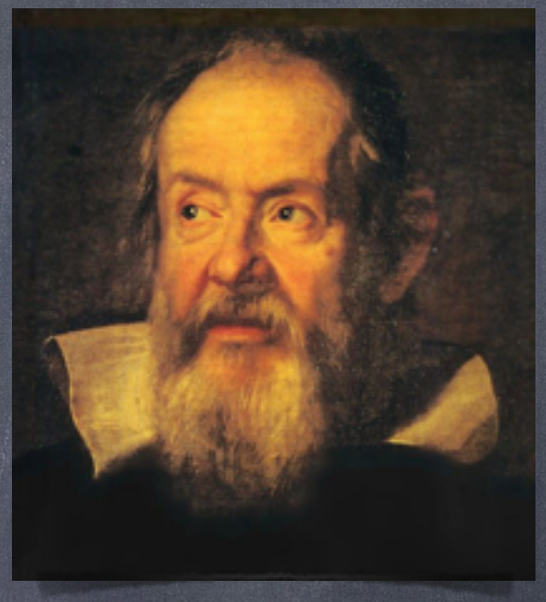
Cosmologia/Astrofisica

- Galassie, stelle
- Materia oscura

Una questione di linguaggio...

"[La scienza] è scritta in questo grandissimo libro [l'universo] ... in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto."

Galileo, Il Saggiatore, 1623



Sorprende sempre il fatto che la natura possa essere descritta attraverso il linguaggio della matematica: un linguaggio a noi accessibile!

I pilastri della conoscenza

Fare scienza significa raggiungere una descrizione e interpretazione dei fenomeni naturali

I pilastri della conoscenza

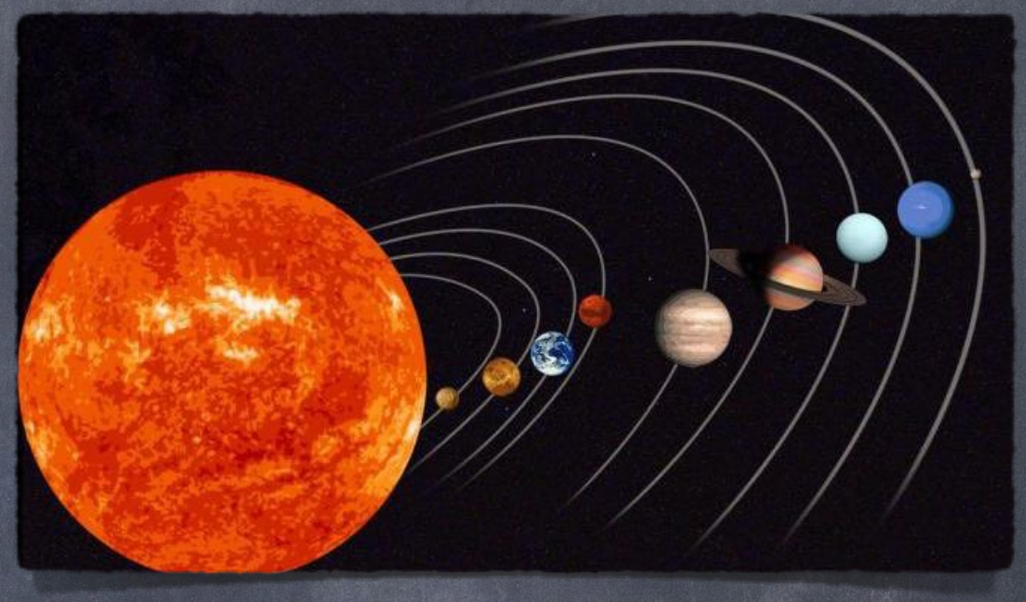
Fare scienza significa raggiungere una descrizione e interpretazione dei fenomeni naturali

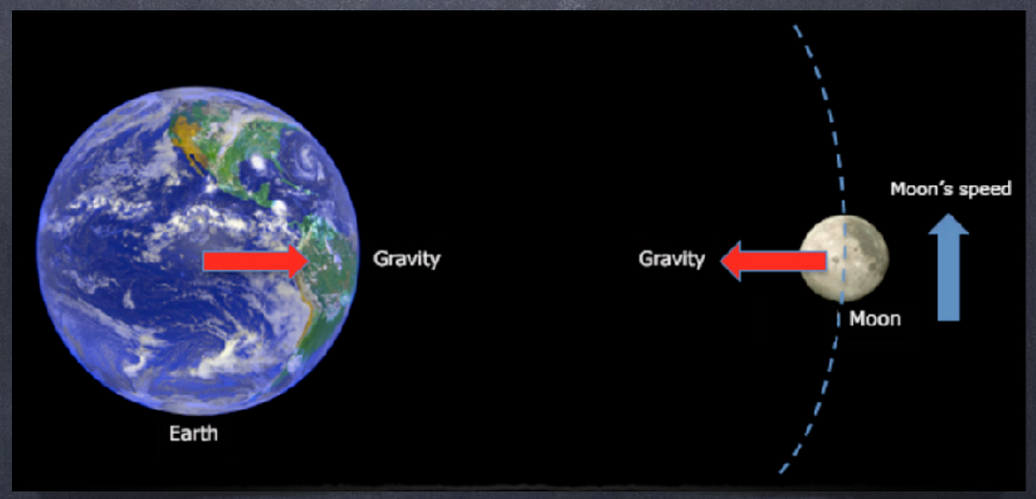
Il metodo scientifico

- osservazione di fenomeni
- costruzione di "modelli"
  - predittività (capacità di prevedere nuovi fenomeni)
  - potere di sintesi (possibilità di spiegare diversi fenomeni in un linguaggio "unificato")
- confronto con i dati sperimentali

Newton e la gravità – 1600

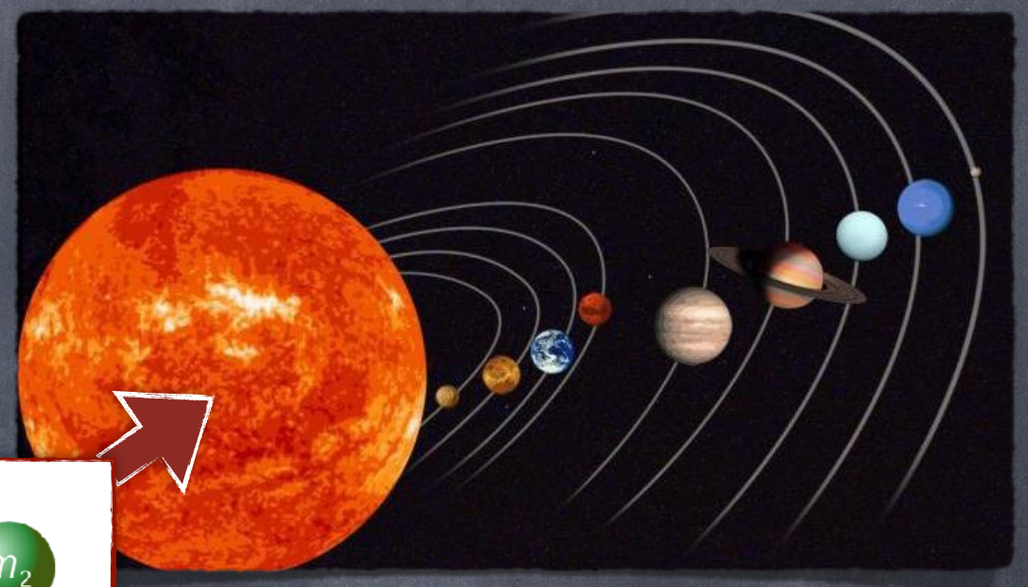
La teoria di Newton è un brillante esempio di sintesi in una teoria scientifica

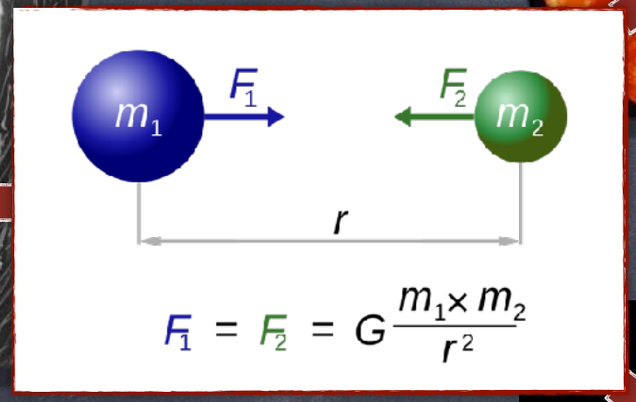


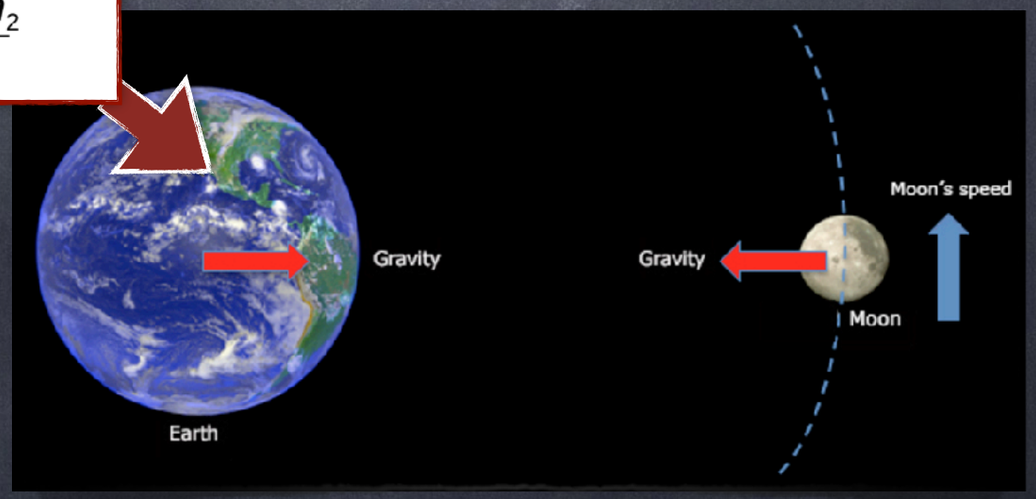


Newton e la gravità – 1600

La teoria di Newton è un brillante esempio di sintesi in una teoria scientifica



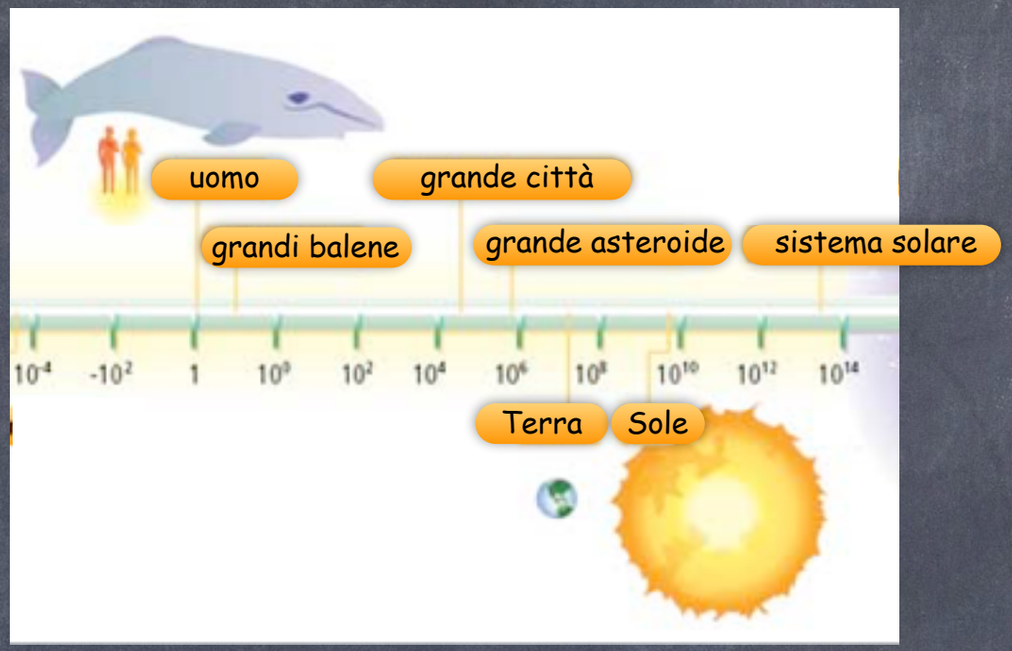


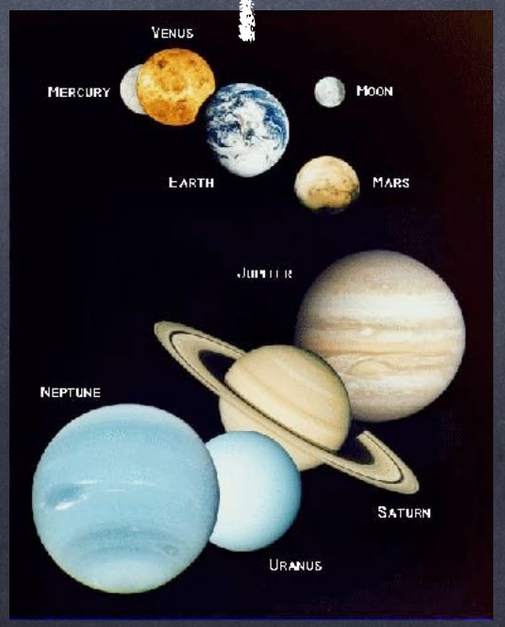


La legge di gravitazione lega fenomeni diversi ad un unico principio!

- caduta dei gravi
- moto dei satelliti (Luna)
- moto dei pianeti (sistema solare)

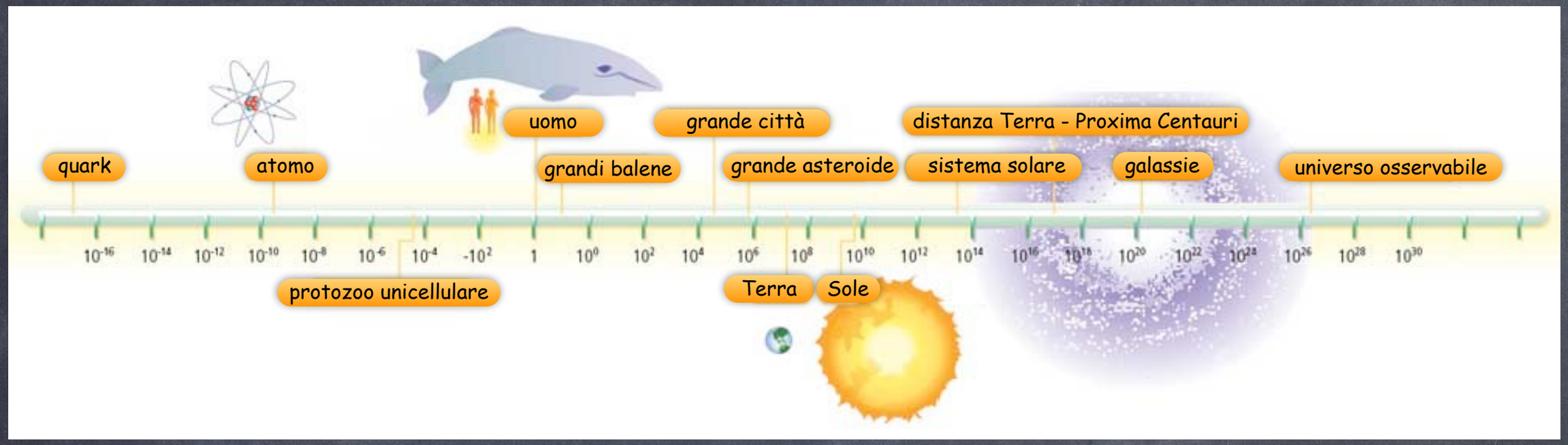
Una questione di scale – fine 1800

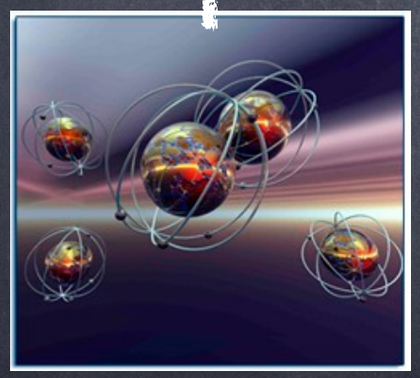




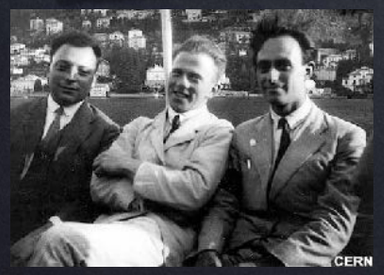
Meccanica Classica

Una questione di scale – inizio 1900





Meccanica Quantistica

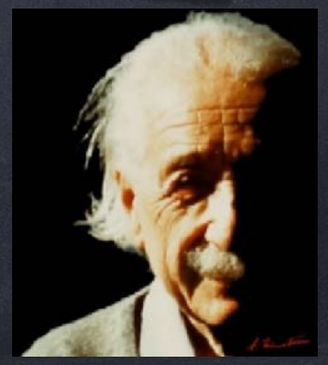


Pauli, Heisenberg, Fermi ...

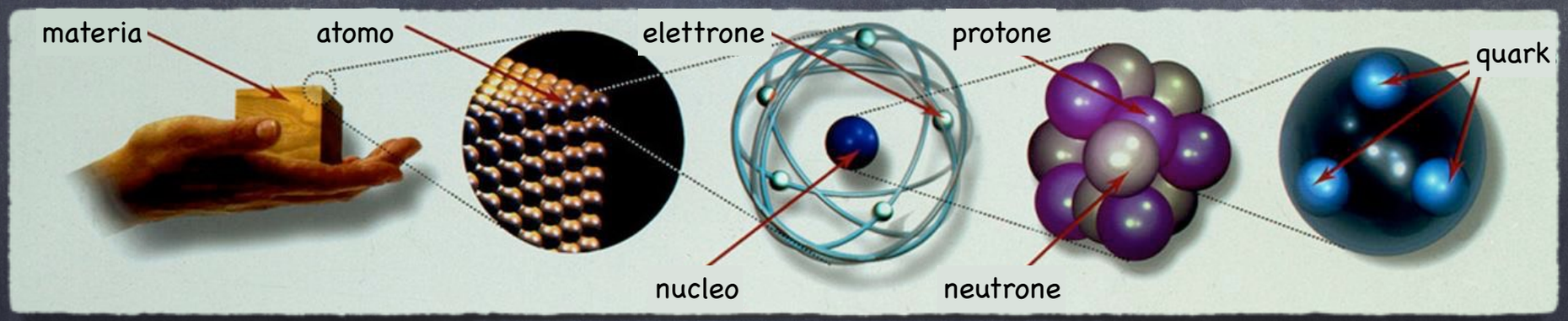
Meccanica Classica

Relatività Generale

Einstein

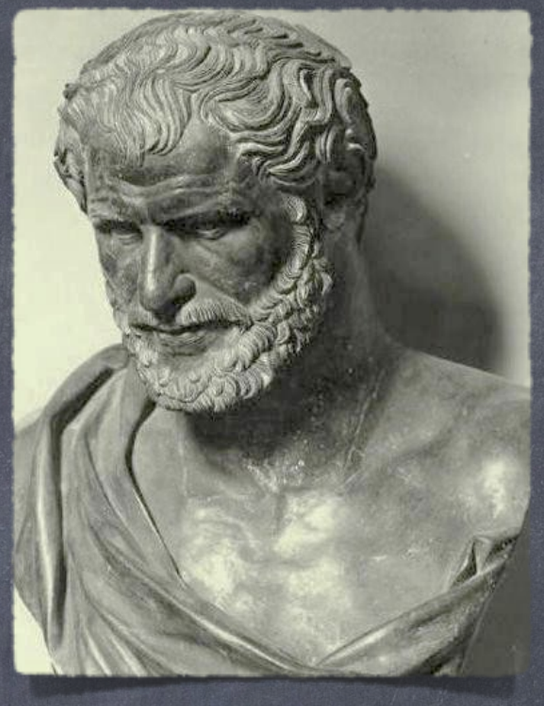


I costituenti fondamentali della natura

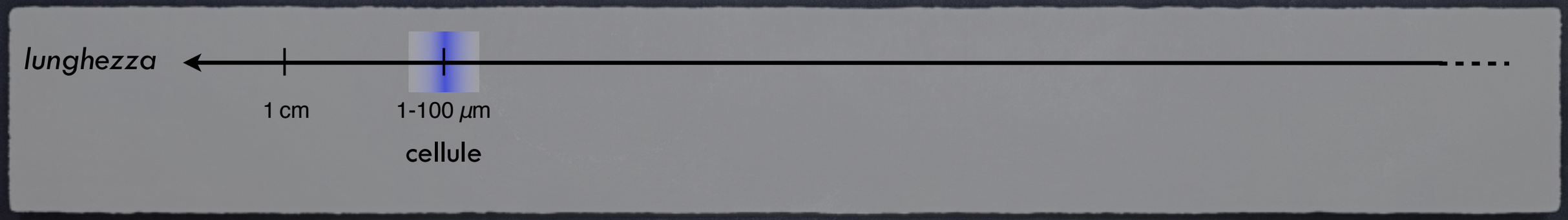


Gli antichi Greci avevano intuito l'esistenza di costituenti fondamentali, ovvero indivisibili, della materia (atomi)

[Leucippo (V sec. a.C.), Democrito (V-IV sec. a.C.)]

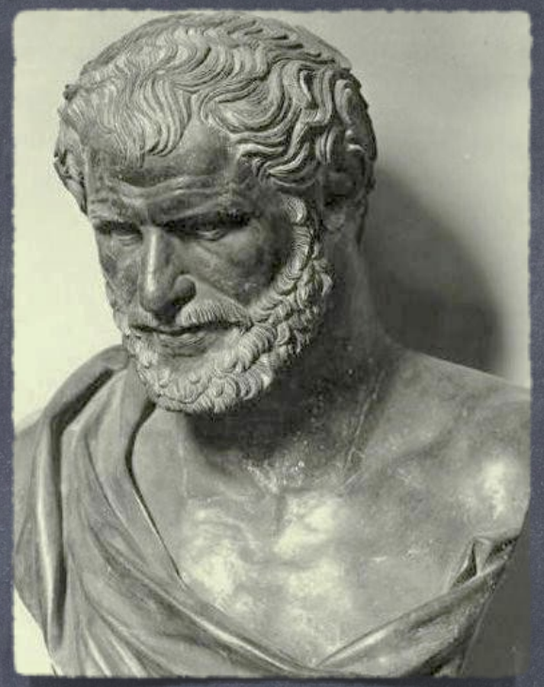


La scienza moderna ha svelato la struttura microscopica della materia ed individuato i suoi costituenti fondamentali

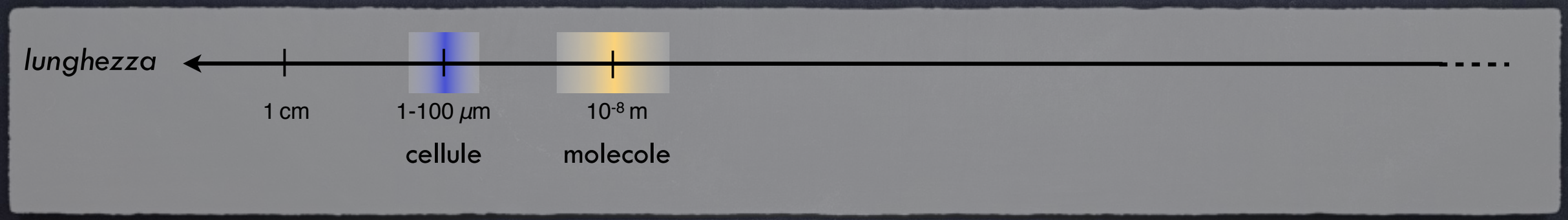


Gli antichi Greci avevano intuito l'esistenza di costituenti fondamentali, ovvero indivisibili, della materia (atomi)

[Leucippo (V sec. a.C.), Democrito (V-IV sec. a.C.)]

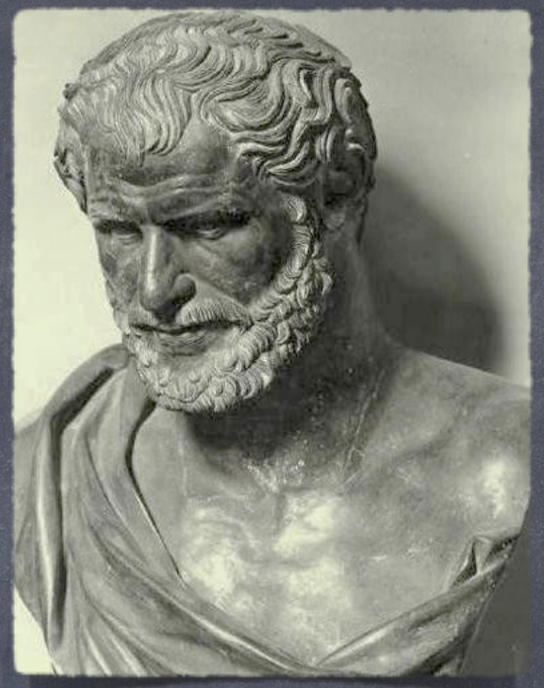


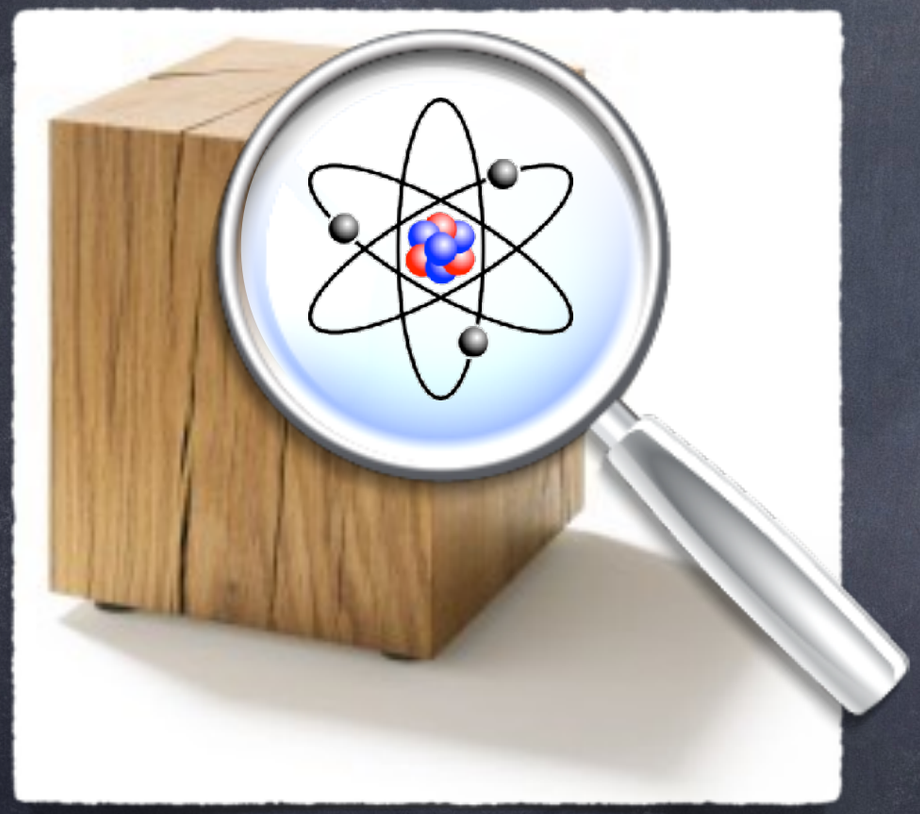
La scienza moderna ha svelato la struttura microscopica della materia ed individuato i suoi costituenti fondamentali



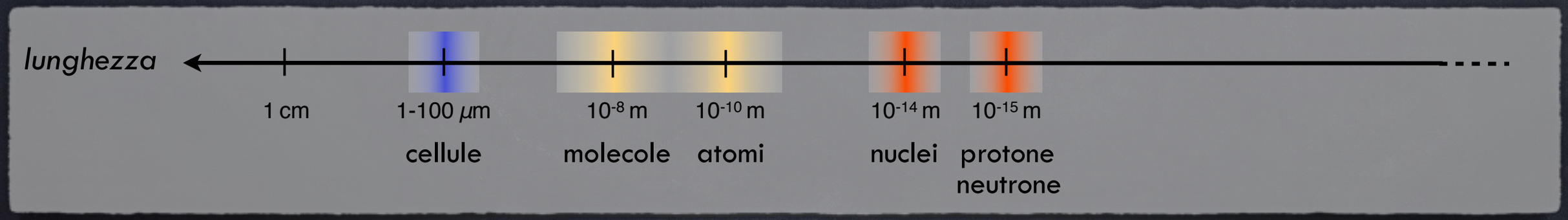
Gli antichi Greci avevano intuito l'esistenza di costituenti fondamentali, ovvero indivisibili, della materia (atomi)

[Leucippo (V sec. a.C.), Democrito (V-IV sec. a.C.)]



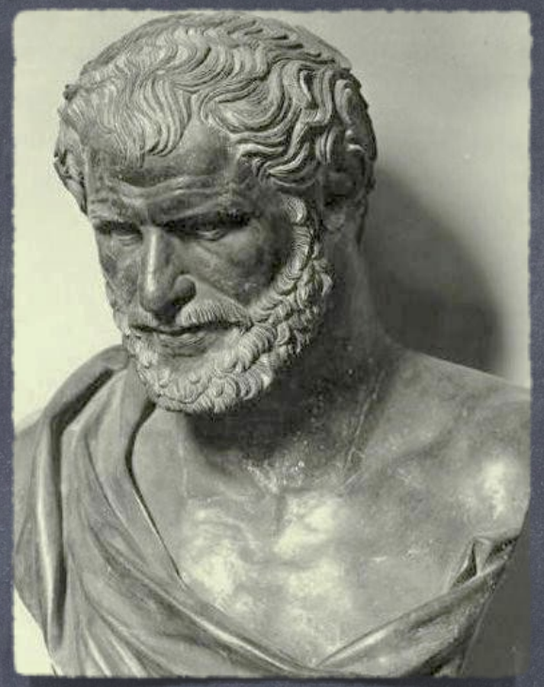


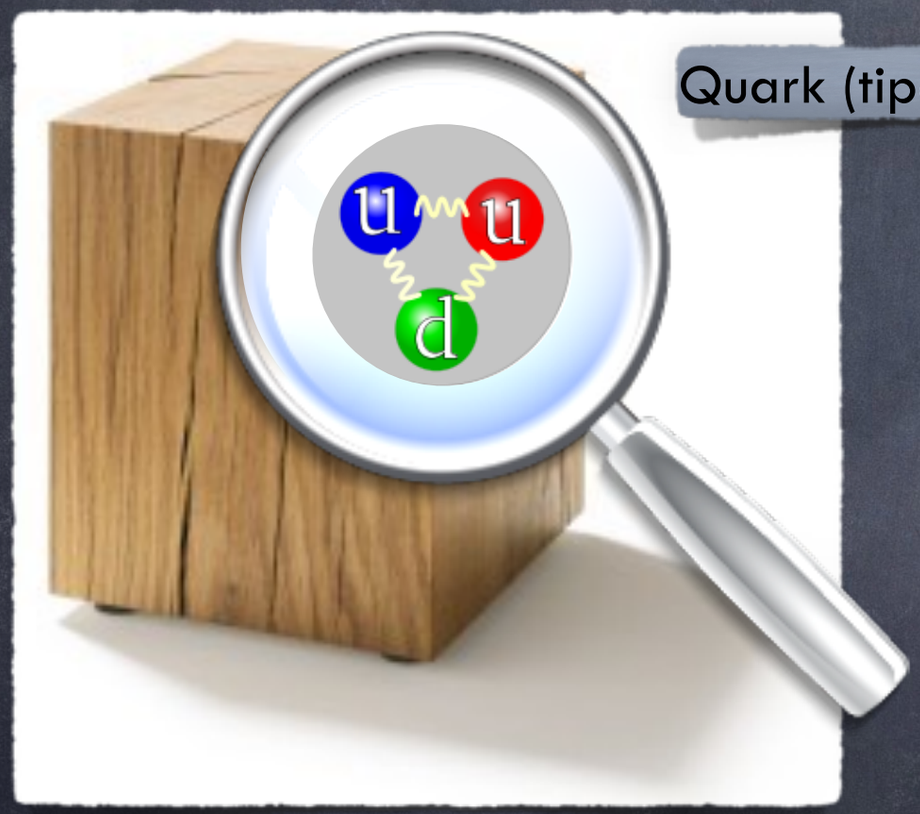
La scienza moderna ha svelato la struttura microscopica della materia ed individuato i suoi costituenti fondamentali



Gli antichi Greci avevano intuito l'esistenza di costituenti fondamentali, ovvero indivisibili, della materia (atomi)

[Leucippo (V sec. a.C.), Democrito (V-IV sec. a.C.)]

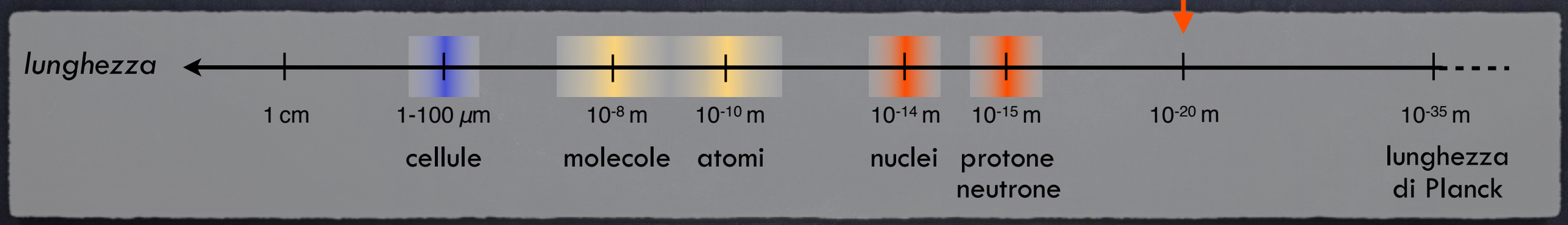




Quark (tipo "up" e "down")

La scienza moderna ha svelato la struttura microscopica della materia ed individuato i suoi costituenti fondamentali

i quark appaiono puntiformi (indivisibili) alle più piccole distanze finora esplorate (1 miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di centimetro)



Dualità onda – particella

Secondo la meccanica quantistica, le particelle si comportano come corpuscoli ed onde allo stesso tempo

[Einstein 1905, de Broglie 1924]

Louis de Broglie

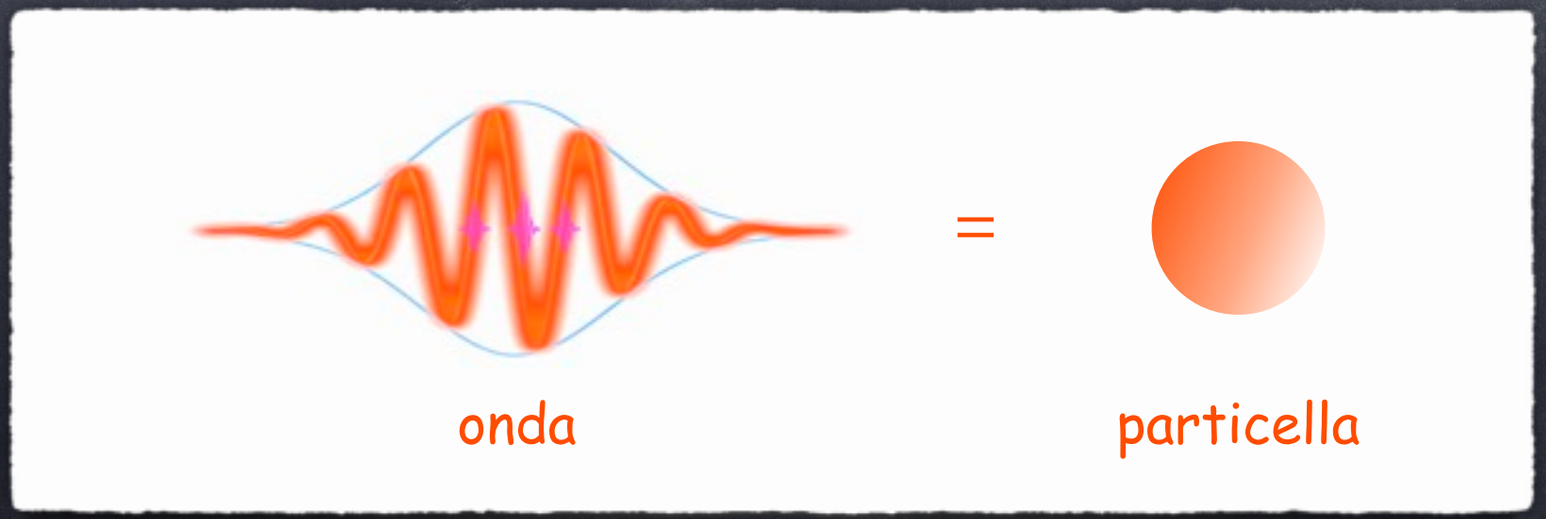
$$E = h\,\nu$$

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

ν = frequenza

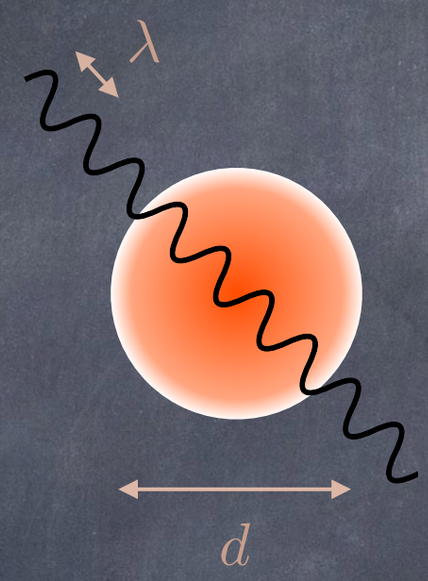
λ = lunghezza d'onda di de Broglie

h = costante di Planck



I collisori: i nostri più potenti microscopi

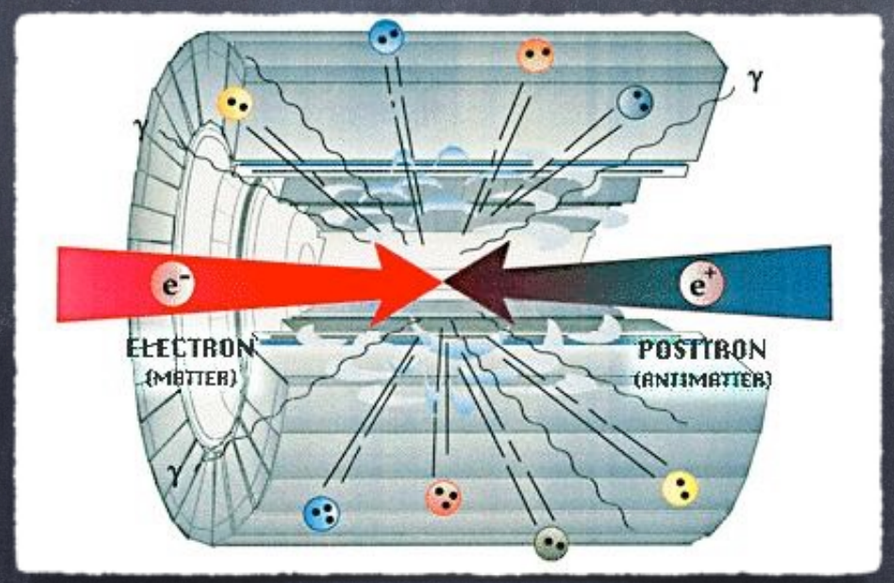
Esplorare piccole distanze richiede sonde con piccola lunghezza d'onda, ovvero grande quantità di moto



$$\lambda = \frac{h}{p}$$

lunghezza d'onda di de Broglie

Per studiarne la struttura interna, le particelle vengono accelerate e fatte collidere



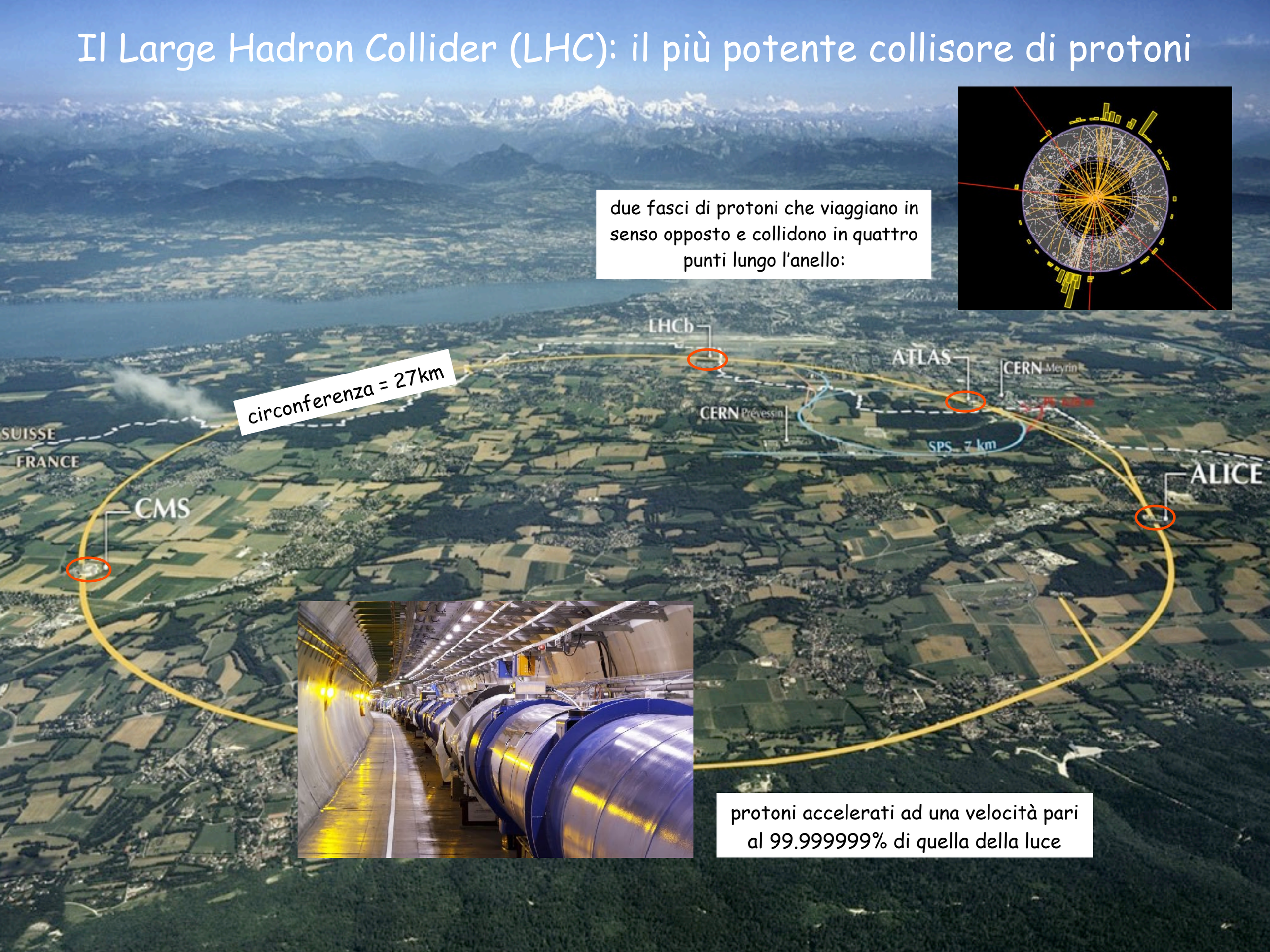
Dall'urto si creano nuove particelle secondo la relazione tra massa ed energia di Einstein

$$E = m\,c^2$$

Il Large Hadron Collider (LHC): il più potente collisore di protoni

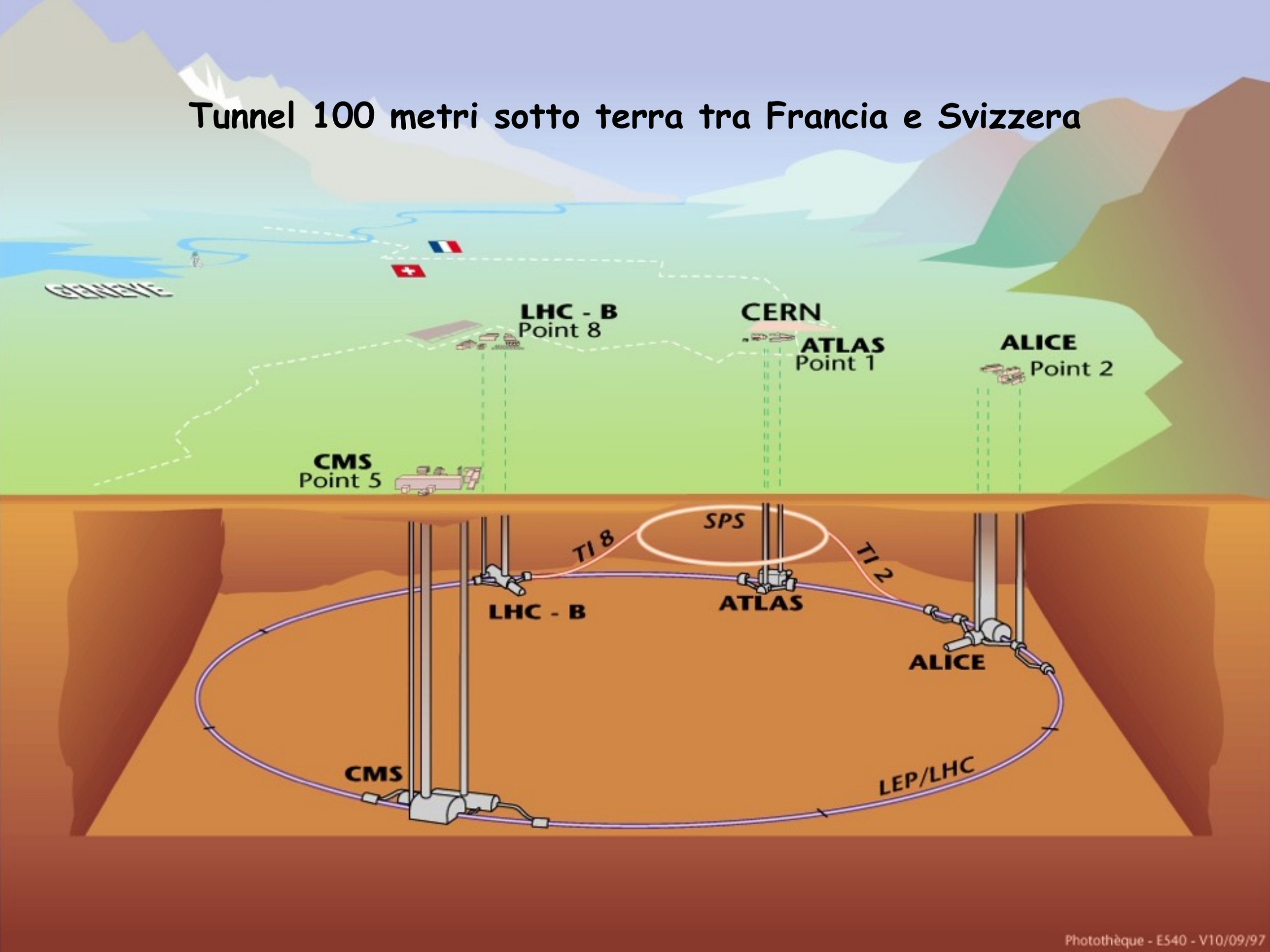
due fasci di protoni che viaggiano in senso opposto e collidono in quattro punti lungo l'anello:

circonferenza = 27km

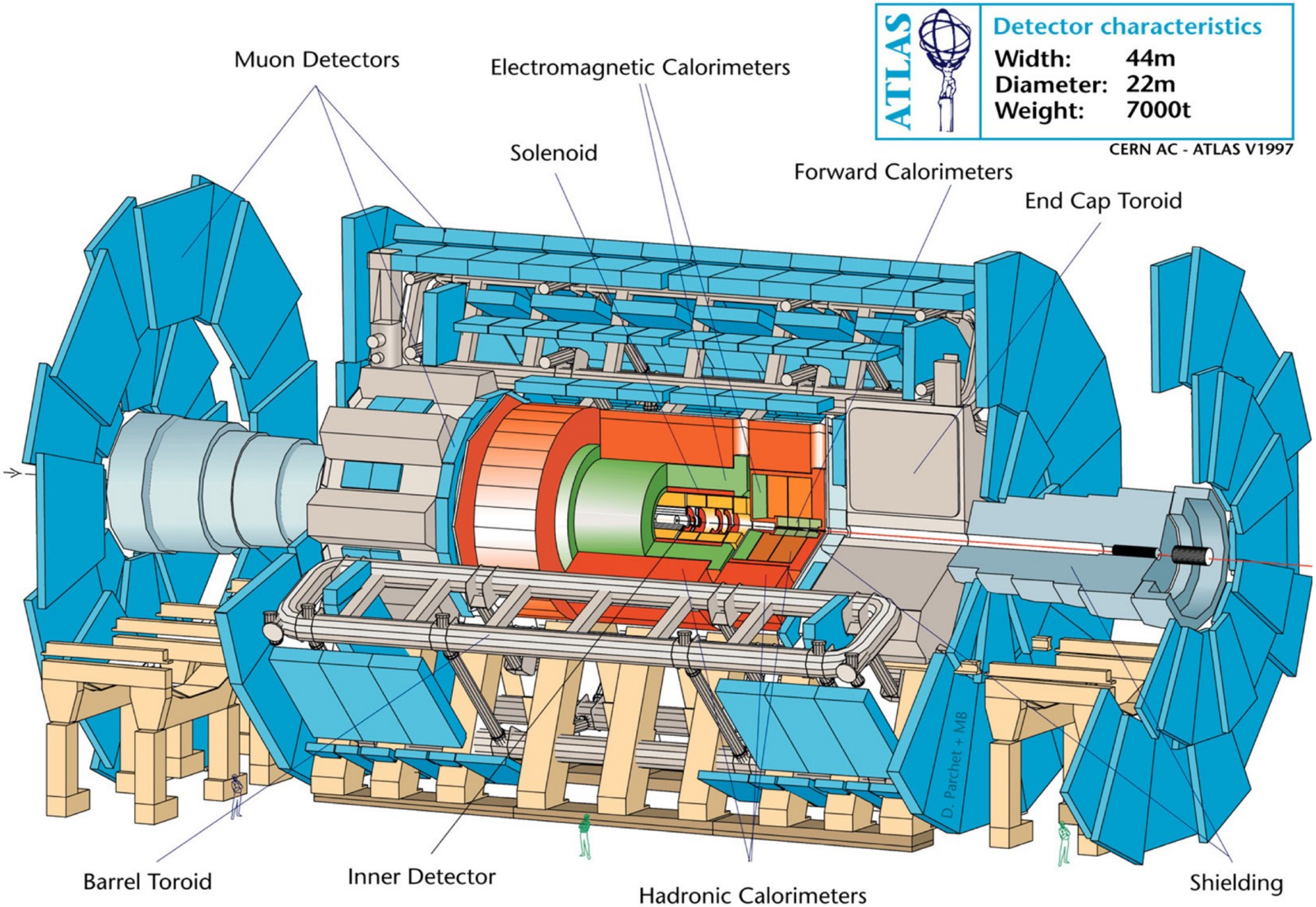


protoni accelerati ad una velocità pari al 99.999999% di quella della luce

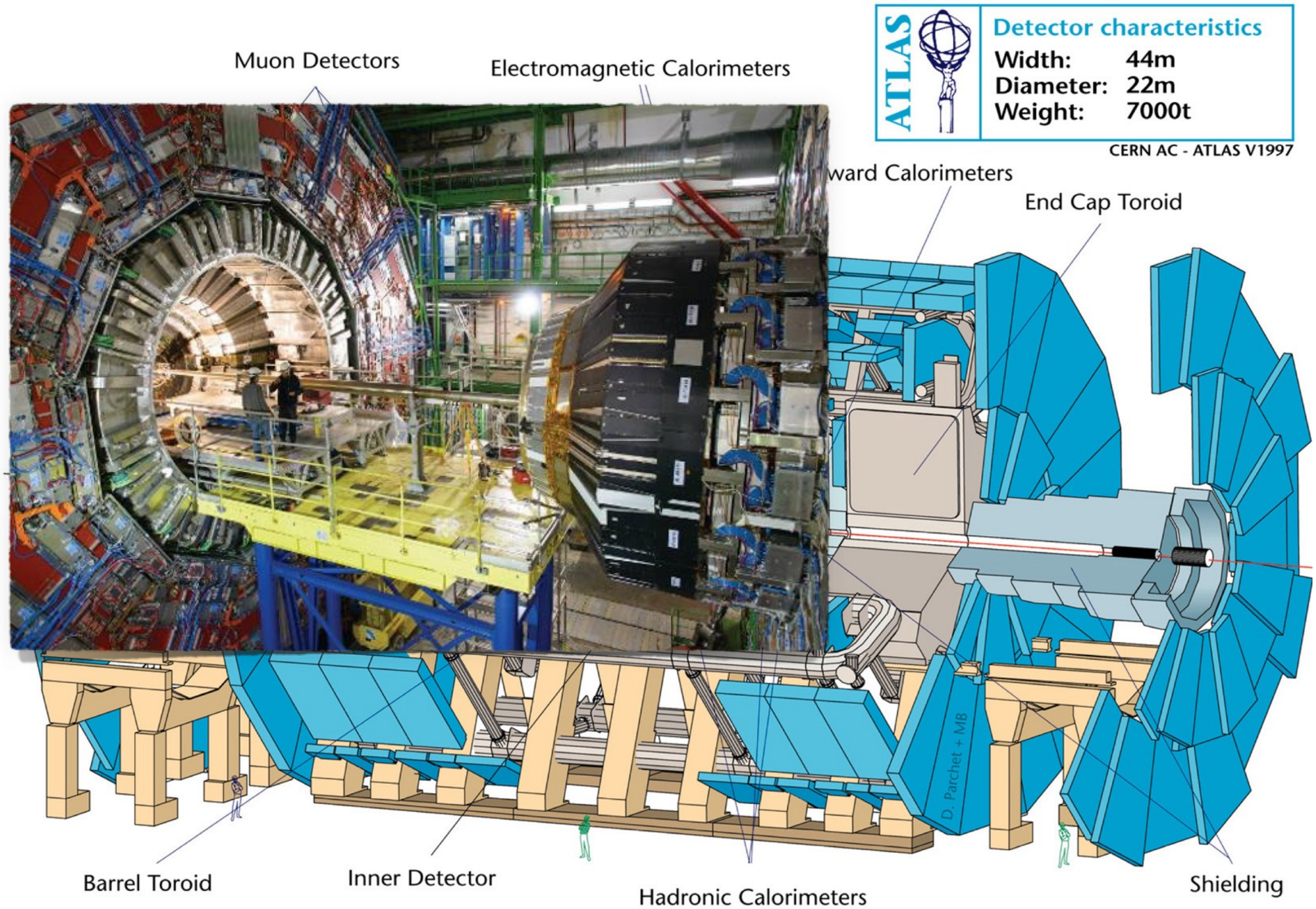
Tunnel 100 metri sotto terra tra Francia e Svizzera



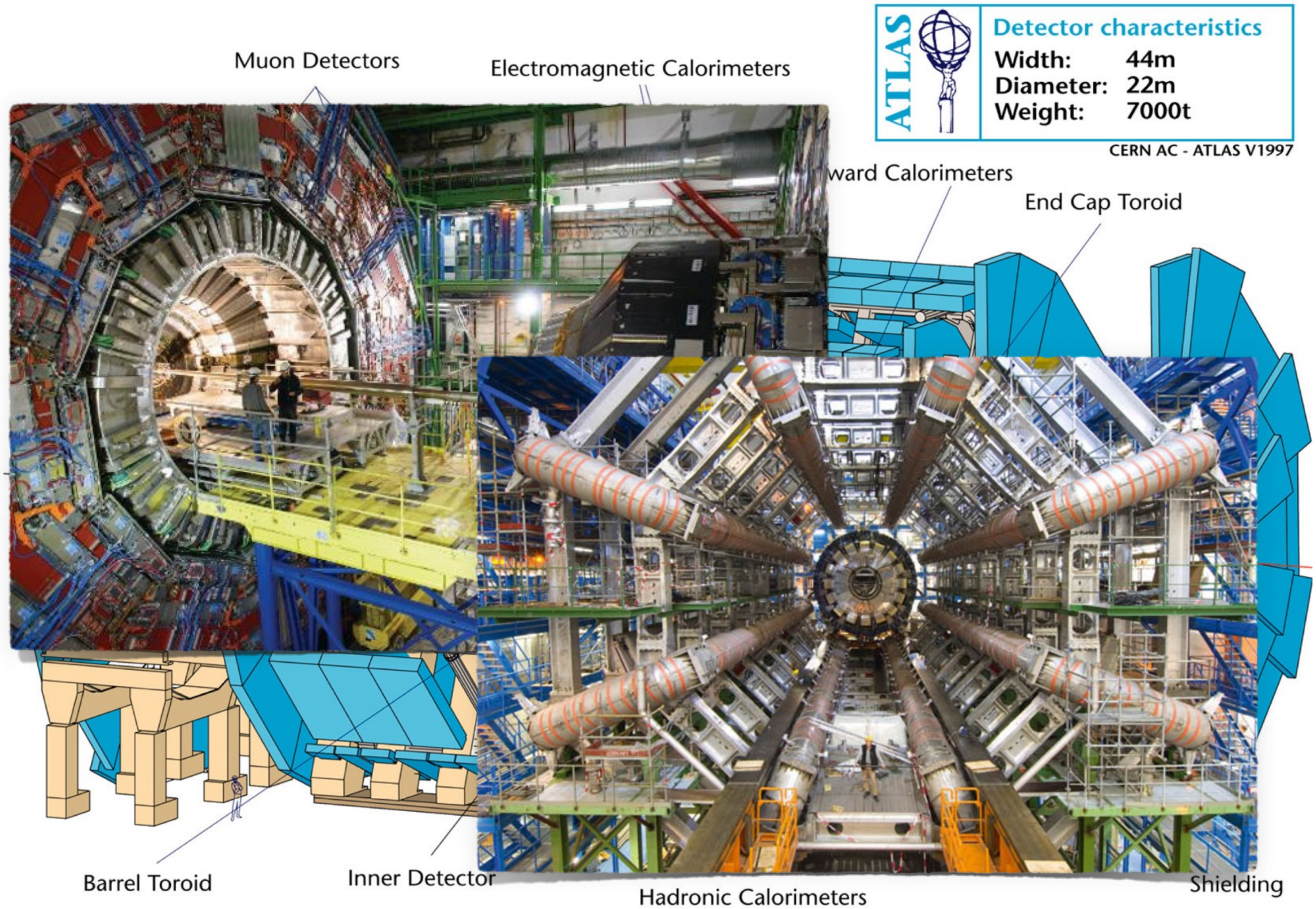
Enormi rivelatori



Enormi rivelatori



Enormi rivelatori



L'energia in gioco:

3000 pacchetti di protoni per fascio × 100 miliardi (10^{11}) di protoni per pacchetto × 7 TeV per protone = ciascun fascio ha l'energia di un treno di 400ton che viaggia a 150 km/h

↓

1 TeV = 1 Tera (10^{12}) eV

1 eV = energia acquisita da un elettrone nell'attraversare una differenza di potenziale di 1 Volt

1 TeV ~ energia di un moscerino che vola

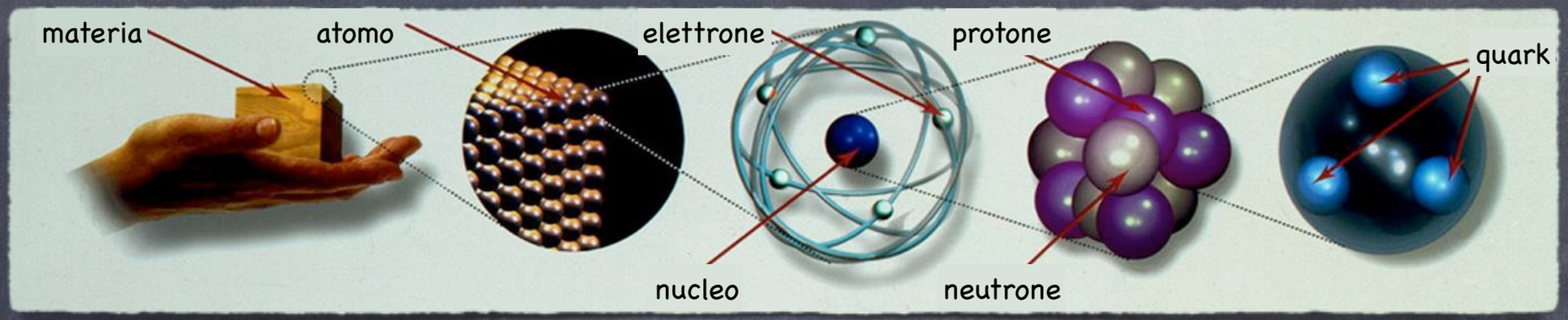
Nelle collisioni ad LHC l'energia è concentrata in uno spazio pari ad un milionesimo di milionesimo delle dimensioni di un moscerino

Il lungo viaggio verso il Modello Standard

Materia vs Interazioni

La materia che ci circonda è formata da un piccolo numero di costituenti fondamentali: elettroni e quark

Queste particelle appartengono alla classe dei "fermioni"



- La proprietà fondamentale dei fermioni è il "principio di esclusione":
  due particelle non possono esistere contemporaneamente nello stesso "stato"

- Questa proprietà è alla base della struttura della materia:
  rende gli oggetti incomprimibili

Materia vs Interazioni

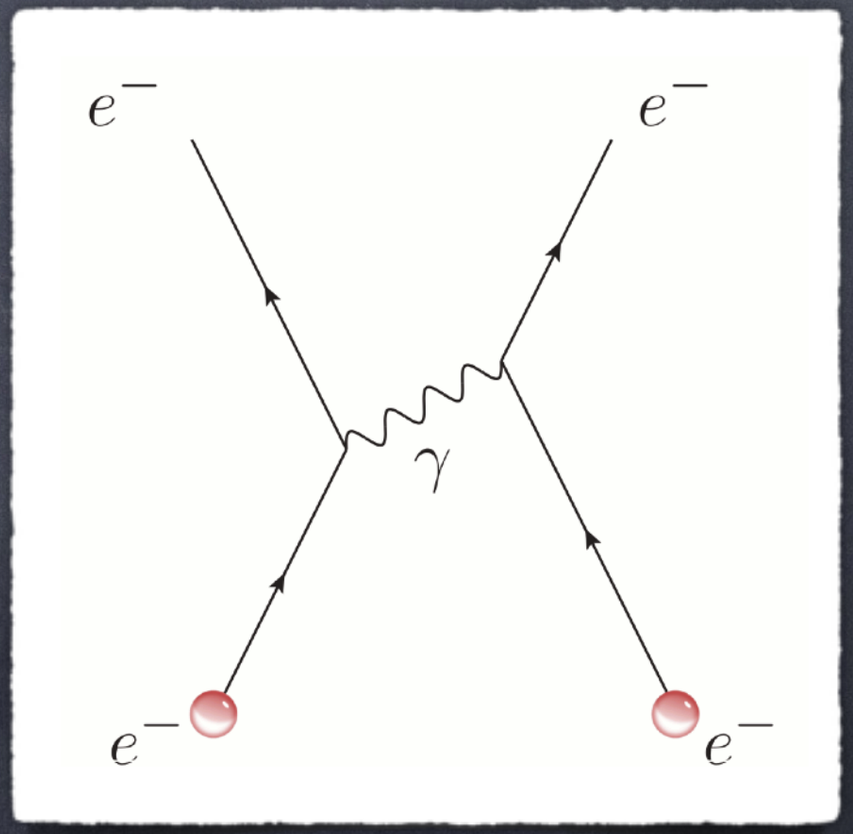
Il concetto di "forza" (o "interazione") è legato ad una seconda classe di particelle, i "bosoni vettori"

- I bosoni non seguono il principio di esclusione, quindi molti bosoni possono essere "compressi" in un solo "stato"

Le particelle interagiscono scambiandosi dei bosoni vettori

La distanza a cui una interazione agisce dipende dalla massa del suo bosone mediatore:

- mediatori leggeri agiscono a lunga distanza
- mediatori pesanti agiscono a breve distanza



esempio: due elettroni si respingono scambiandosi un fotone

Materia vs Interazioni

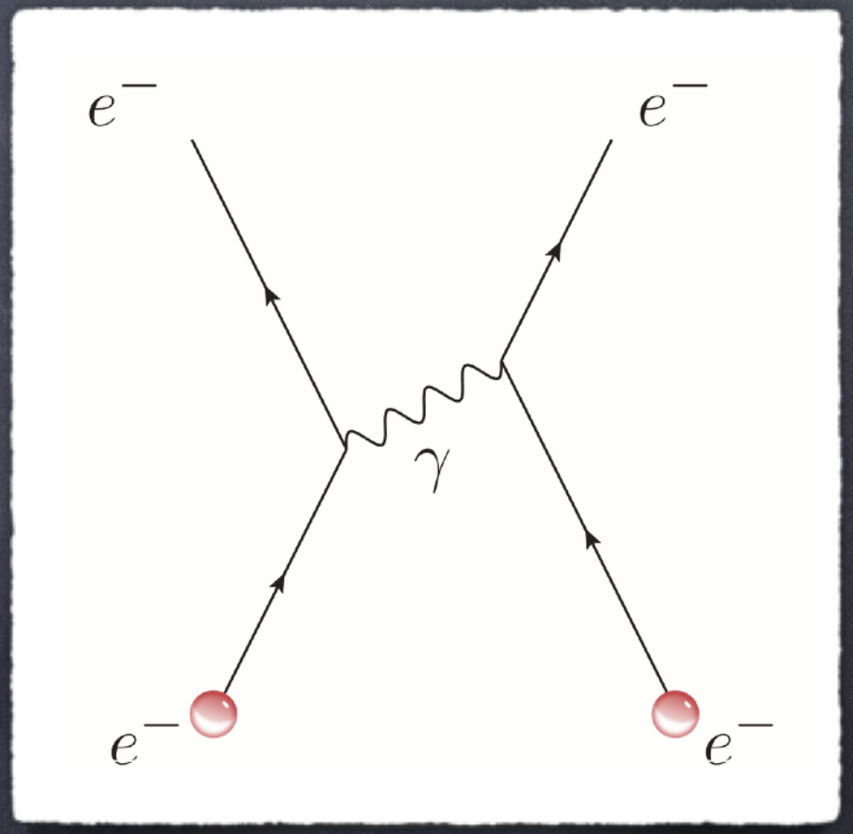
Il concetto di "forza" (o "interazione") è legato ad una seconda classe di particelle, i "bosoni vettori"

- I bosoni non seguono il principio di esclusione, quindi molti bosoni possono essere "compressi" in un solo "stato"

Le particelle interagiscono scambiandosi dei bosoni vettori

La distanza a cui una interazione agisce dipende dalla massa del suo bosone mediatore:

- mediatori leggeri agiscono a lunga distanza
- mediatori pesanti agiscono a breve distanza

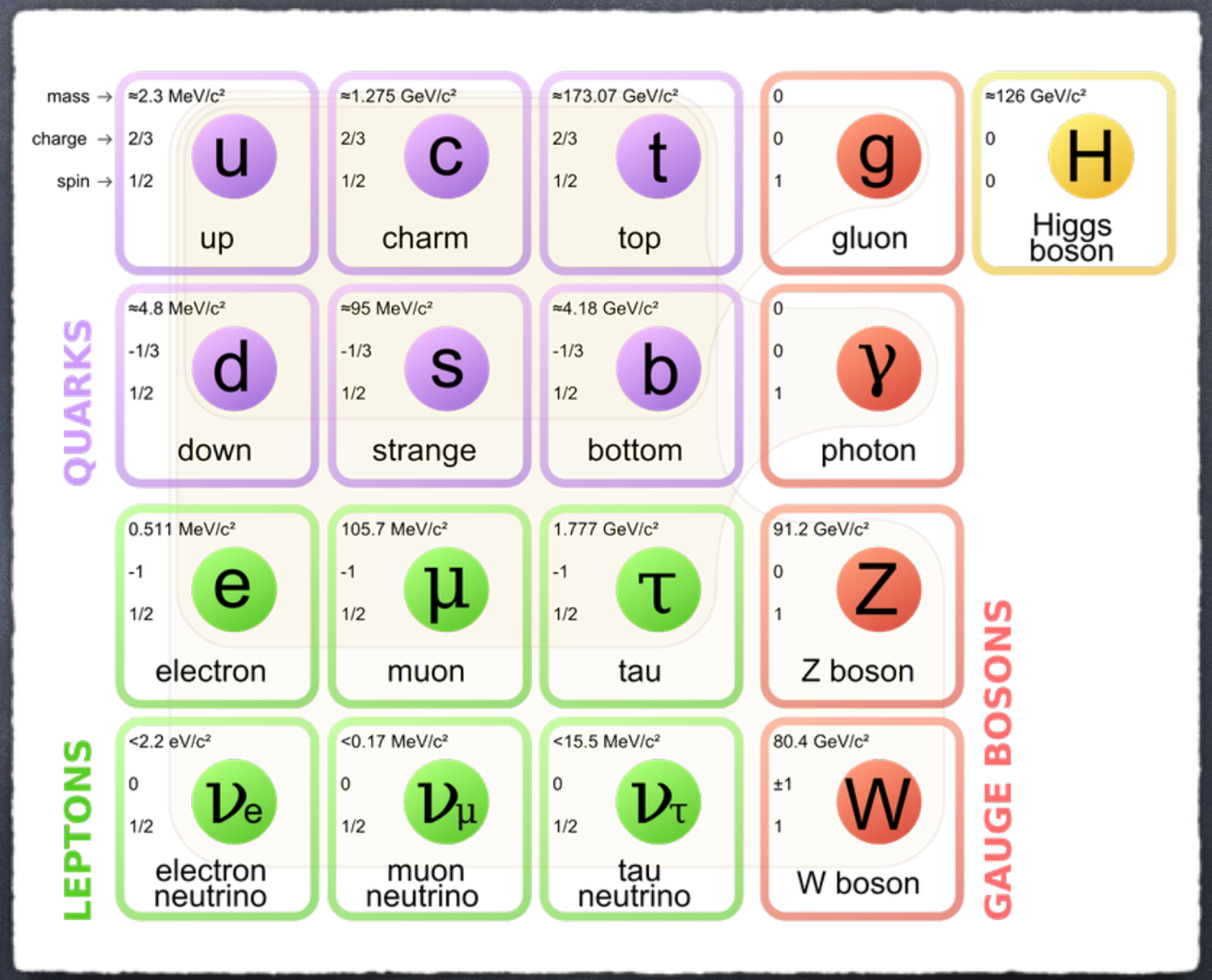


esempio: due elettroni si respingono scambiandosi un fotone

Il Modello Standard

- Una teoria basata su un piccolo numero di particelle fondamentali (quark, leptoni e mediatori di forze), spiega tutti i fenomeni in natura, eccetto la gravità

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

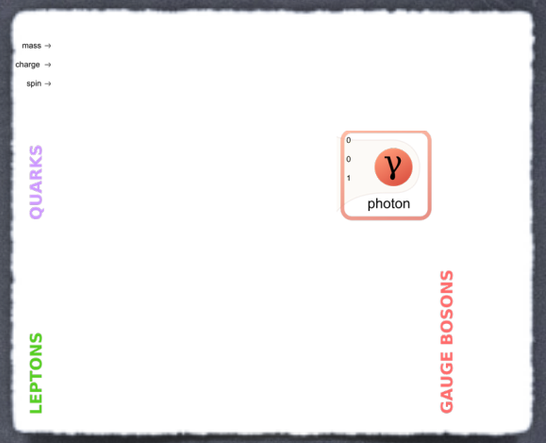


- Coronamento della scienza del XX secolo e traguardo di più di 100 anni di ricerche teoriche e sperimentali

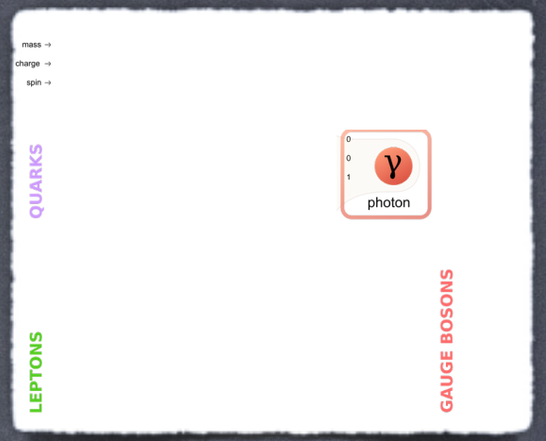
Il fotone

La storia del fotone inizia diversi secoli fa … con la luce

Il fotone e' il costituente fondamentale
delle onde elettromagnetiche



Il fotone

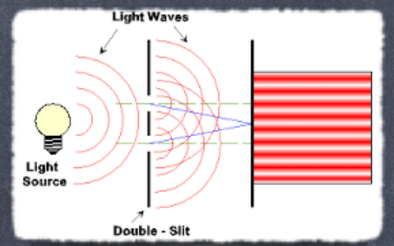


La storia del fotone inizia diversi secoli fa … con la luce

Il fotone e' il costituente fondamentale
delle onde elettromagnetiche

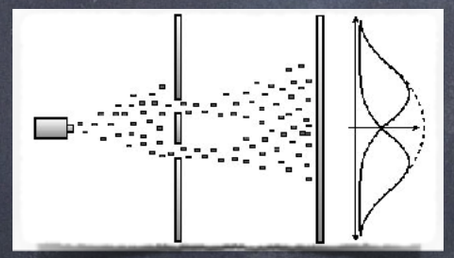
Sino a fine '800 la natura della luce non era capita, due ipotesi contrastanti:

- modello ondulatorio



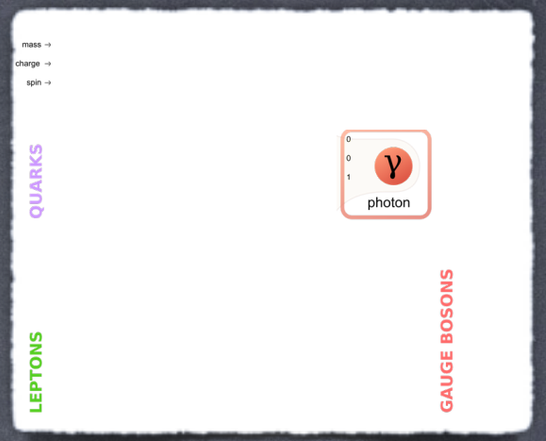
(luce come onda) [Cartesio, Hooke, Huygens …]

- modello corpuscolare



(luce come particelle) [Newton …]

Il fotone

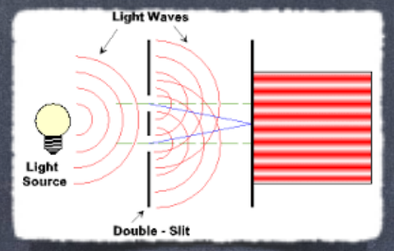


La storia del fotone inizia diversi secoli fa … con la luce

Il fotone e' il costituente fondamentale
delle onde elettromagnetiche

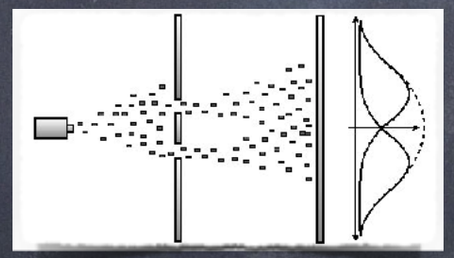
Sino a fine '800 la natura della luce non era capita, due ipotesi contrastanti:

- modello ondulatorio



(luce come onda) [Cartesio, Hooke, Huygens …]

- modello corpuscolare



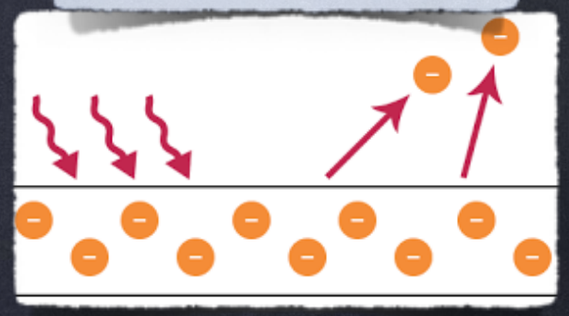
(luce come particelle) [Newton …]

Le due ipotesi furono "unificate" all'inizio del '900

- la luce è formata da particelle, i fotoni [Einstein 1905]

  … che si comportano sia come corpuscoli sia come onde!

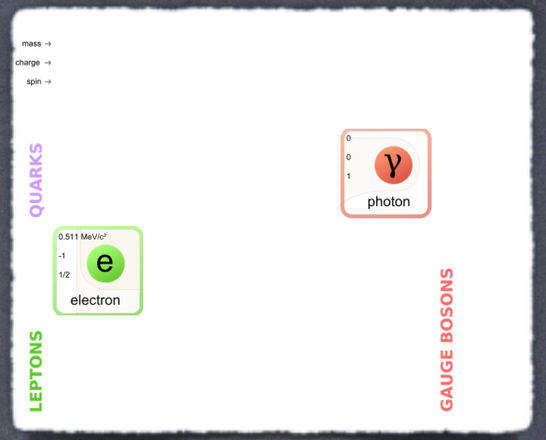
effetto fotoelettrico
Nobel 1921



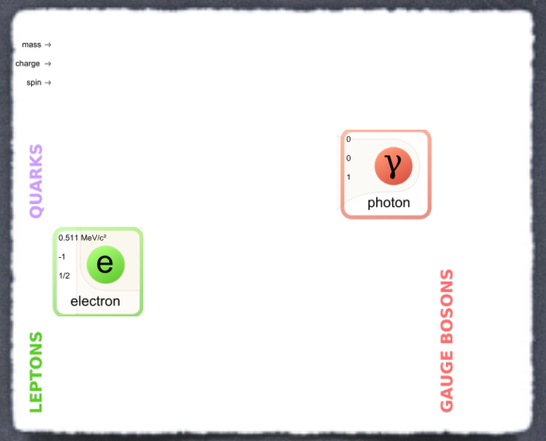
L'elettrone

Fu la prima particella di materia ad essere scoperta

È l'ingrediente fondamentale dell'elettricità e trasporta la carica elettrica nella corrente!



L'elettrone

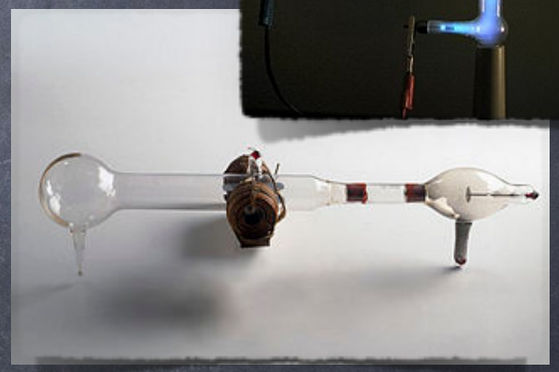


Fu la prima particella di materia ad essere scoperta

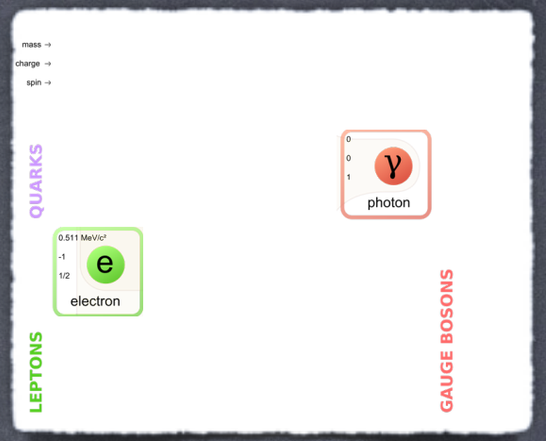
È l'ingrediente fondamentale dell'elettricità e trasporta la carica elettrica nella corrente!

Scoperto in studi sulla natura dell'elettricità

- prime evidenze 1860-1880 [Crookes, Hittorf, Goldstein]
- scoperta nel 1897 [J. J. Thompson]



L'elettrone

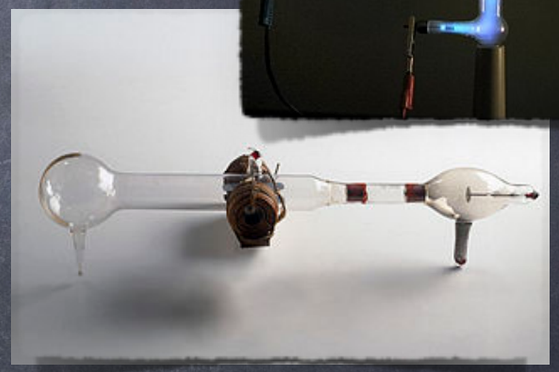


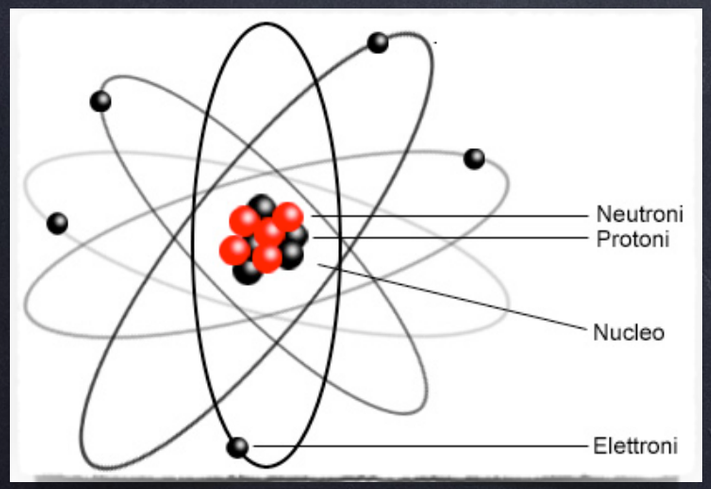
Fu la prima particella di materia ad essere scoperta

È l'ingrediente fondamentale dell'elettricità e trasporta la carica elettrica nella corrente!

Scoperto in studi sulla natura dell'elettricità

- prime evidenze 1860-1880 [Crookes, Hittorf, Goldstein]
- scoperta nel 1897 [J. J. Thompson]

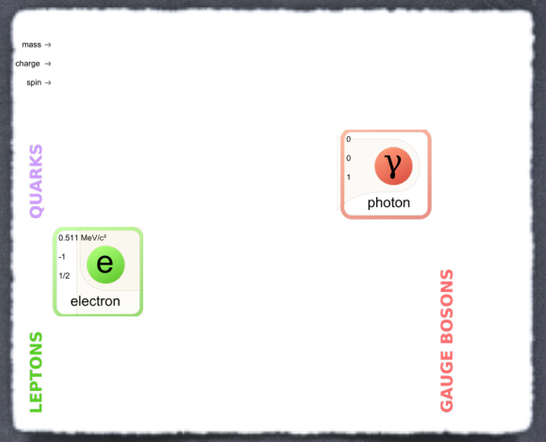




È uno dei componenti fondamentali dell'atomo

- bilancia la carica del nucleo
- forma i legami tra gli atomi nelle molecole

L'antimateria: Il positrone



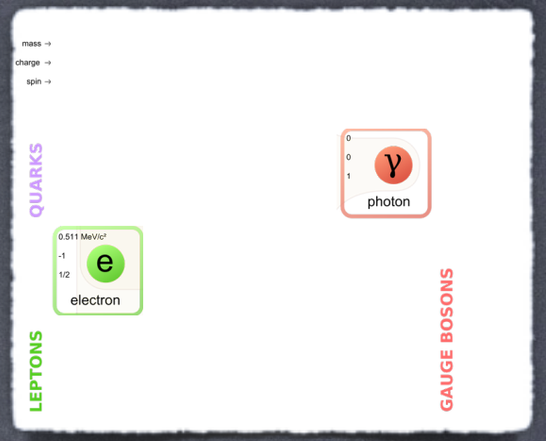
I primi passi verso una teoria delle particelle elementari portarono ad una sorprendente scoperta:

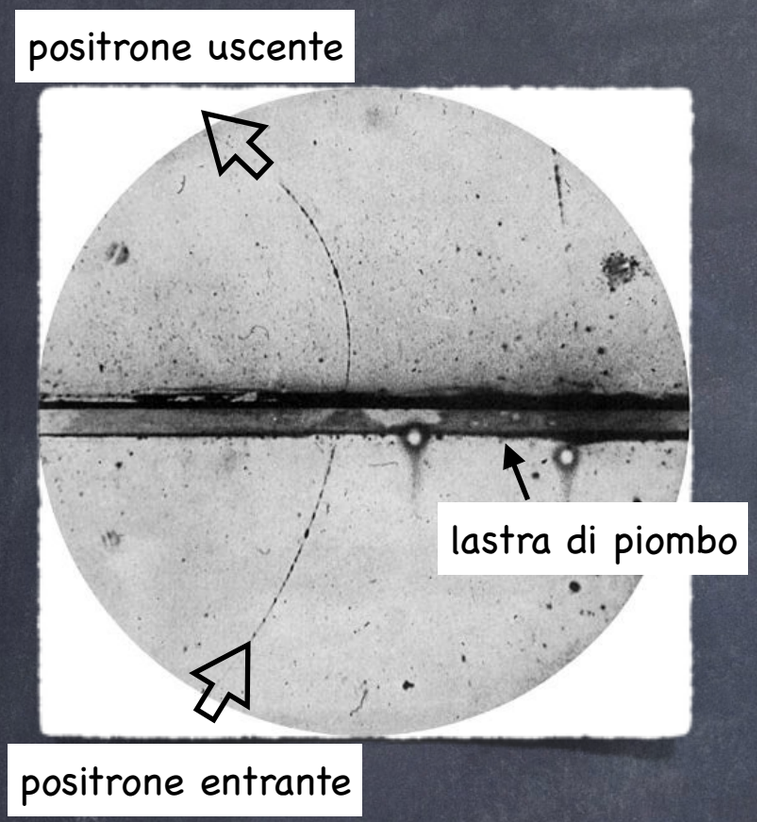
> l'unione della meccanica quantistica e della relatività predice l'esistenza di nuove particelle: l'antimateria

[Pauli 1928]

- ogni particella di materia è accompagnata da un "gemello" di antimateria
- l'antimateria ha le stesse proprietà della materia, ma cariche opposte

L'antimateria: Il positrone





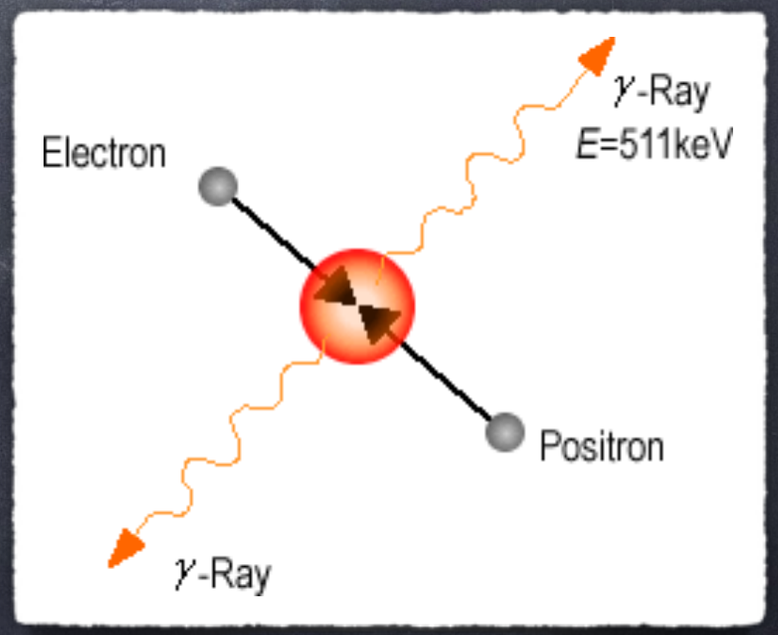
la prima particella di antimateria ad essere scoperta fu il positrone: il partner dell'elettrone

- rilevata nei raggi cosmici [C. D. Anderson 1932]
- ha la stessa massa dell'elettrone, ma carica positiva

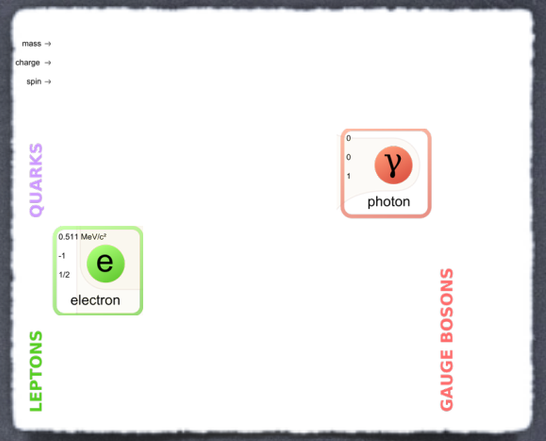
L'interazione tra materia e antimateria produce un'evento spettacolare, l'annichilazione:

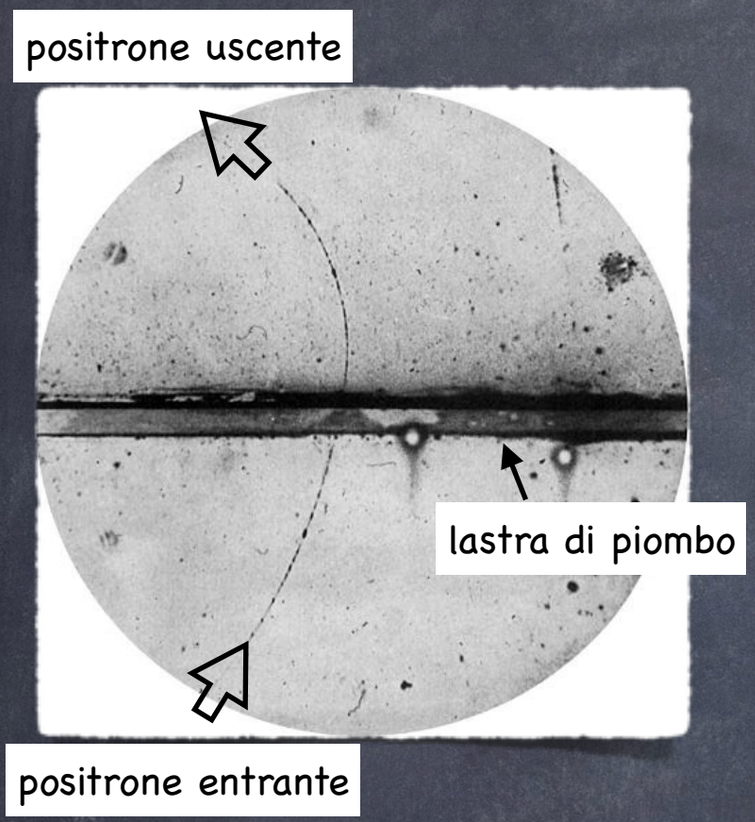
le due particelle "svaniscono" trasformando tutta la loro massa in energia (sotto forma di fotoni)

- questo effetto è ora sfruttato nella PET



L'antimateria: Il positrone





la prima particella di antimateria ad essere scoperta fu il positrone: il partner dell'elettrone

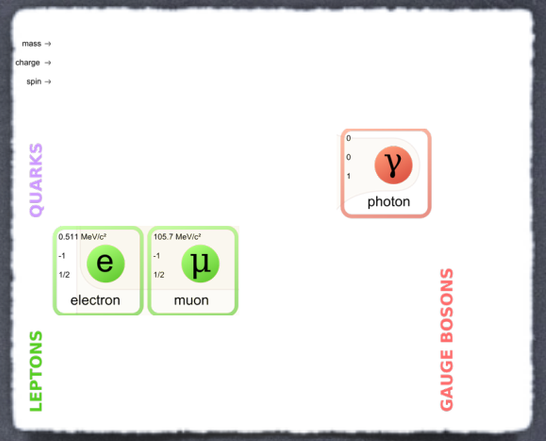
- rilevata nei raggi cosmici [C. D. Anderson 1932]
- ha la stessa massa dell'elettrone, ma carica positiva

L'interazione tra materia e antimateria pr
un'evento spettacolare, l'annichilazione:

le due particelle "svaniscono" trasforman
la loro massa in energia (sotto forma di

- questo effetto è ora sfruttato nella PET
- ... e ad Hollywood

Il muone e le "famiglie"

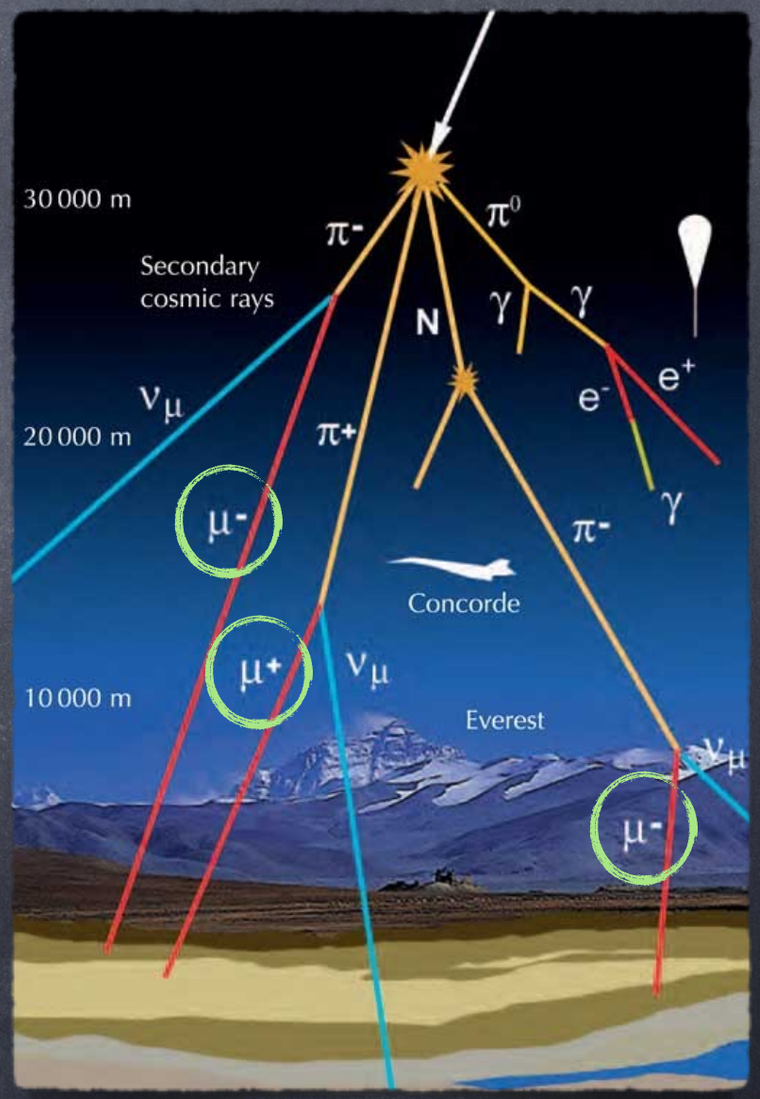


Lo studio dei raggi cosmici (particelle molto energetiche provenienti dallo spazio) portò ad un'altra sorpresa:

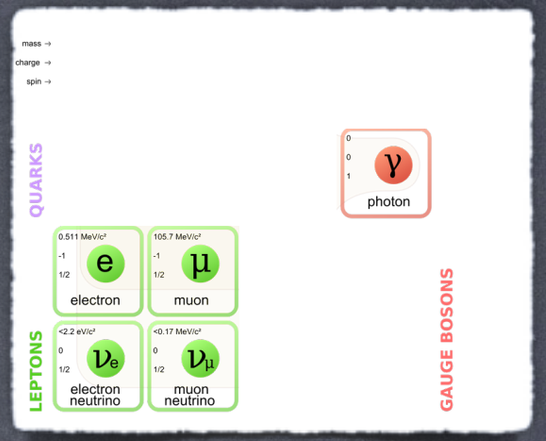
l'elettrone ha un "parente" più massivo: il muone

le particelle di materia sono organizzate in "famiglie"

- elettrone e muone hanno le stesse proprietà
- differiscono solo per la massa:
  il muone è circa 200 volte più massivo dell'elettrone
- il muone è instabile e decade in un elettrone (e due neutrini)



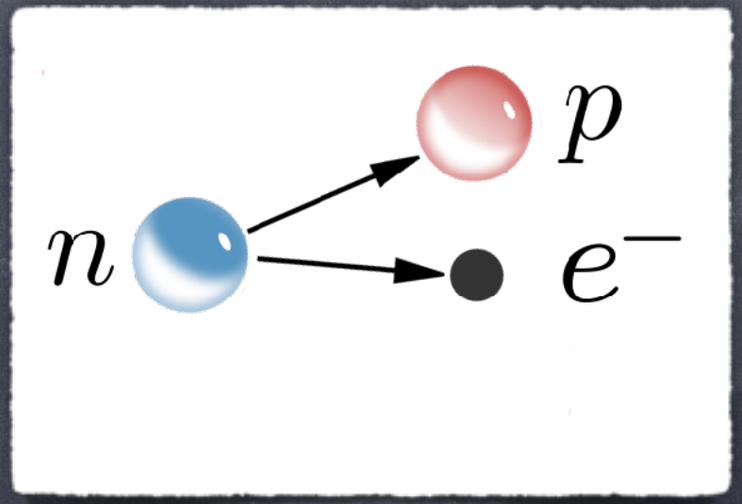
I neutrini



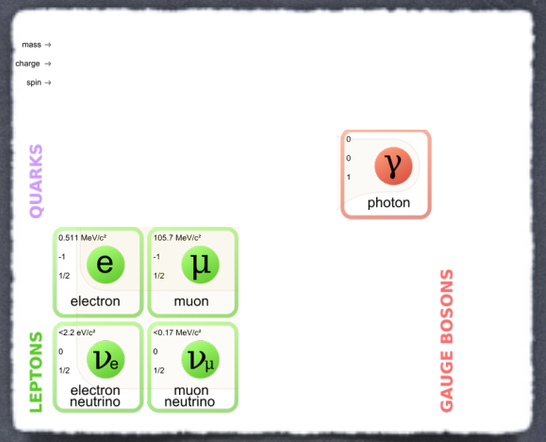
Il problema del decadimento del neutrone:

il neutrone (costituente del nucleo atomico) decade in un protone e un elettrone (decadimento beta), ma le misure mostravano che l'energia non era conservata

$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- \quad ?$$



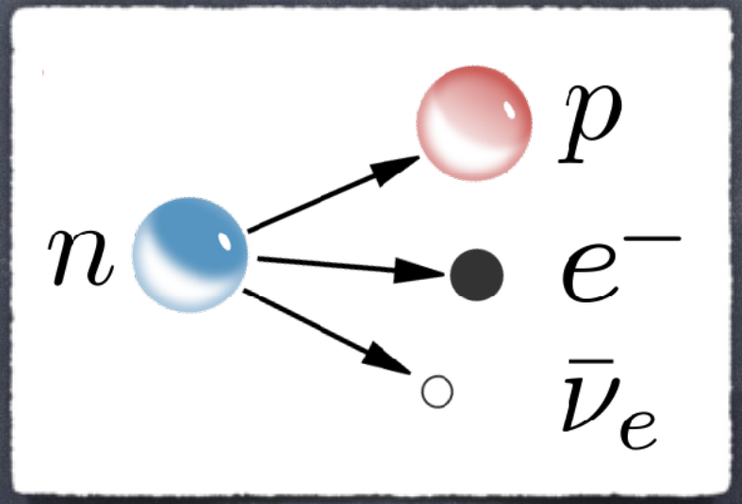
I neutrini



Il problema del decadimento del neutrone:

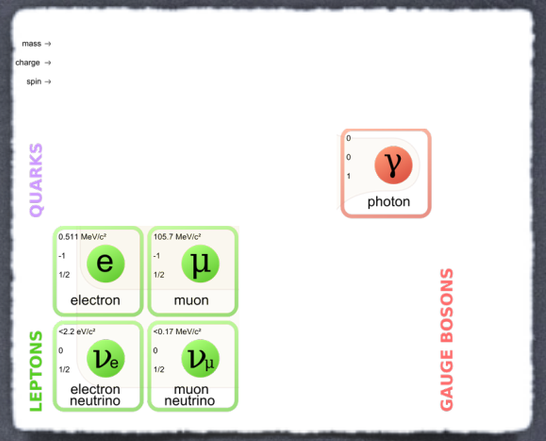
il neutrone (costituente del nucleo atomico) decade in un protone e un elettrone (decadimento beta), ma le misure mostravano che l'energia non era conservata

$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \overline{\nu}_e$$



- l'energia si conserva perché è prodotta anche una nuova particella: il neutrino
  [Pauli 1930; Fermi 1934]
- scoperto sperimentalmente nel 1956 [Cowan e Reines]

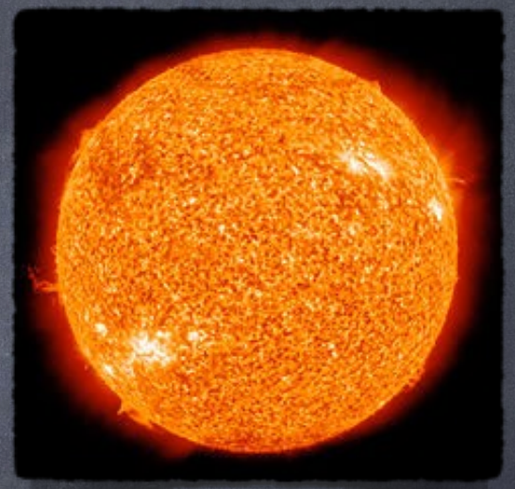
I neutrini



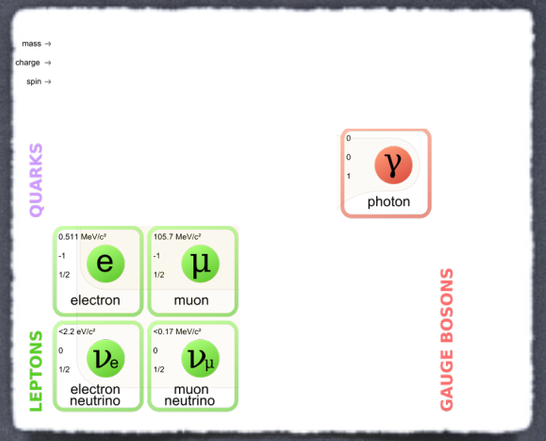
I neutrini sono estremamente leggeri
ed interagiscono molto debolmente con la materia

- possono attraversare tutta la Terra senza essere fermati
- ogni secondo miliardi di neutrini attraversano il nostro corpo senza essere percepiti!

… eppure sono coinvolti in processi importantissimi
nell'universo, come la fusione nucleare nelle stelle

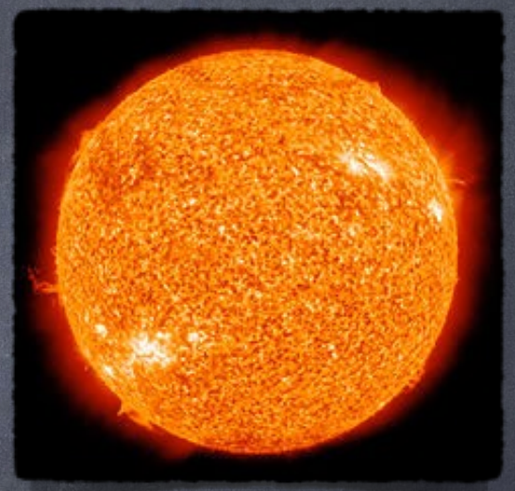


I neutrini

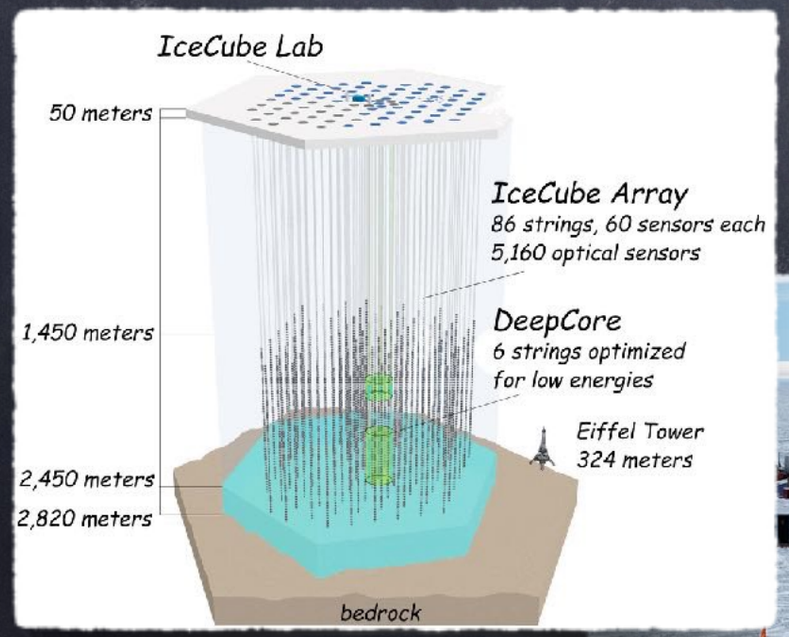


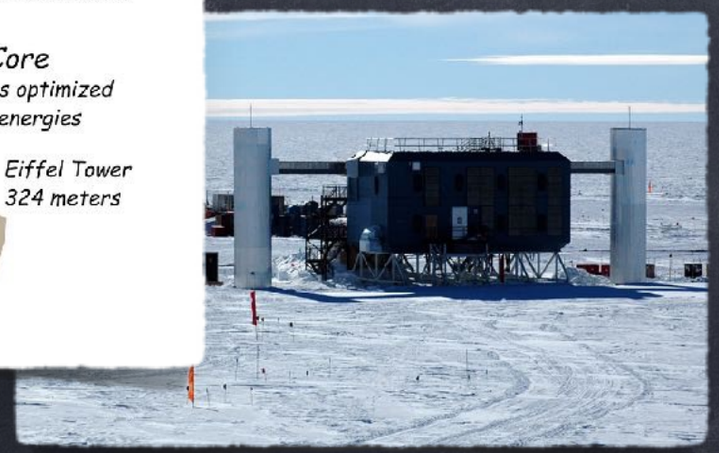
I neutrini sono estremamente leggeri
ed interagiscono molto debolmente con la materia

- possono attraversare tutta la Terra senza essere fermati
- ogni secondo miliardi di neutrini attraversano il nostro corpo senza essere percepiti!



… eppure sono coinvolti in processi importantissimi
nell'universo, come la fusione nucleare nelle stelle

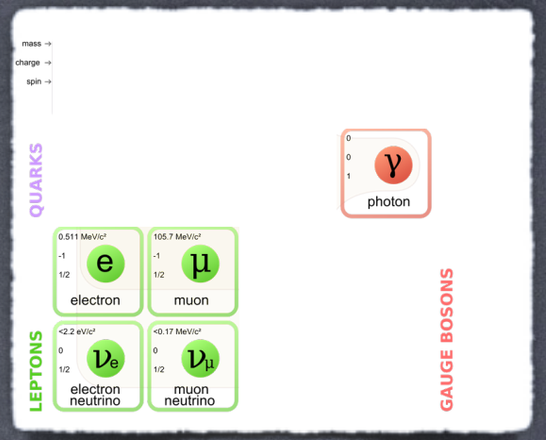




Enormi laboratori sono necessari
per studiare i neutrini:

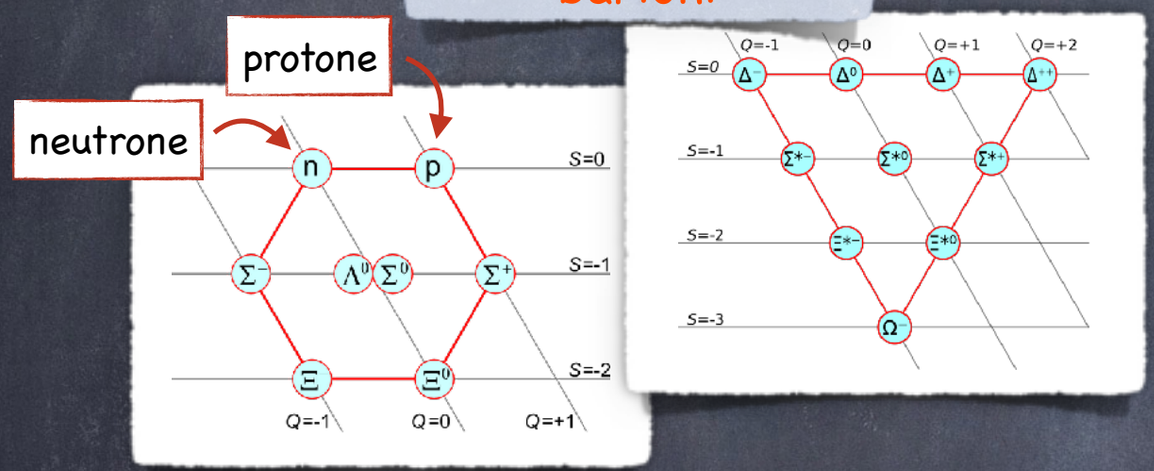
IceCube costruito al Polo Sud
contiene 1 km^3 di rivelatori!

Gli adroni

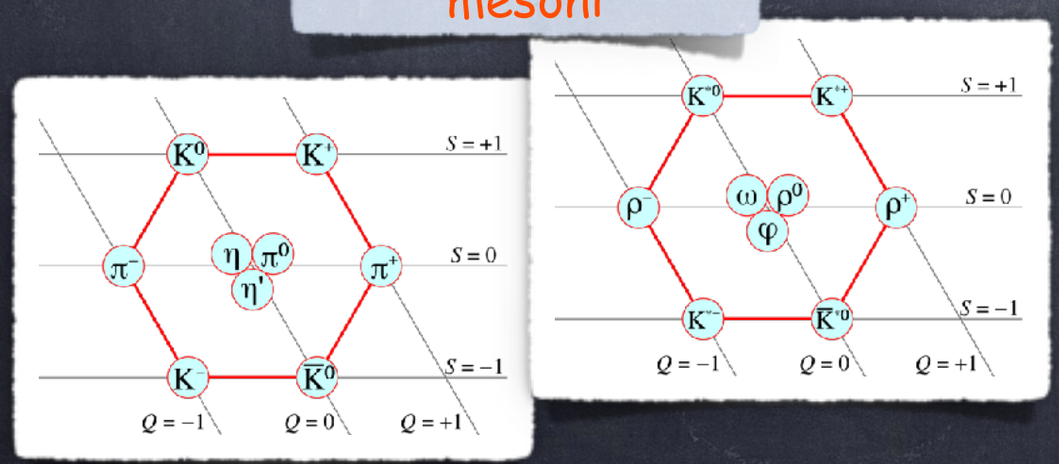


Dagli anni '30 in poi furono scoperte un gran numero di particelle con proprietà affini ai costituenti del nucleo atomico gli adroni

barioni

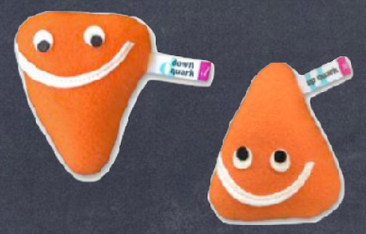


mesoni

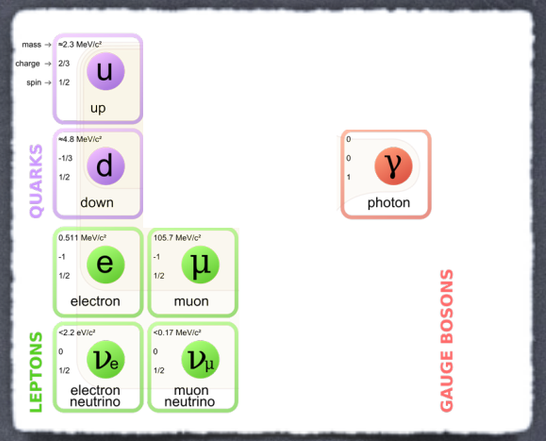


le proprietà di queste particelle seguono degli schemi ricorrenti: un analogo della tavola periodica per gli atomi

ciò faceva immaginare che gli adroni non fossero elementari, ma composti da particelle più piccole



I quark

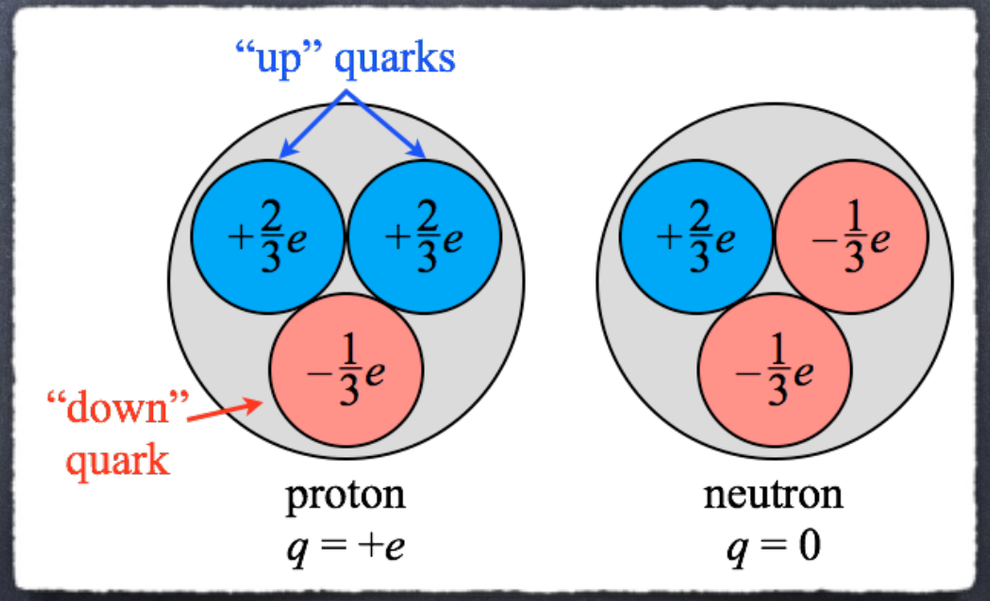


… infatti gli adroni sono costituiti da una combinazione di quark

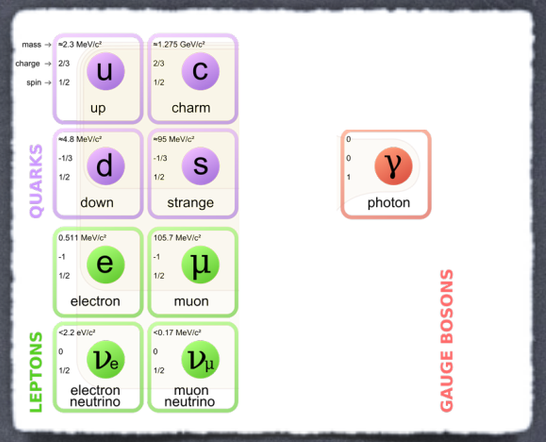
[Gell-Mann, Zweig 1964]

Ad esempio, protoni e neutroni sono composti ciascuno da 3 quark di due tipi diversi: quark "up" e quark "down"

$$p = u\ u\ d \qquad n = u\ d\ d$$

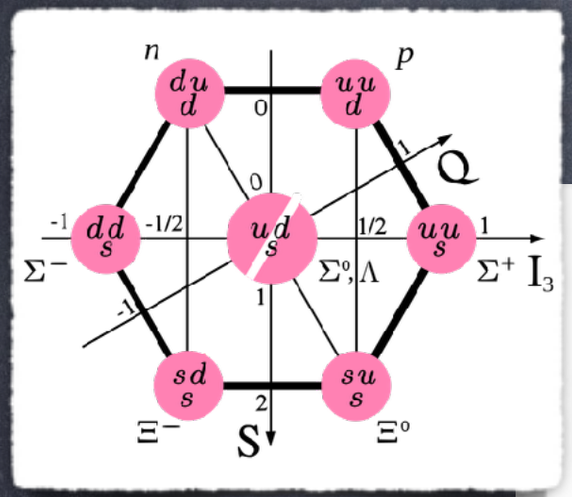


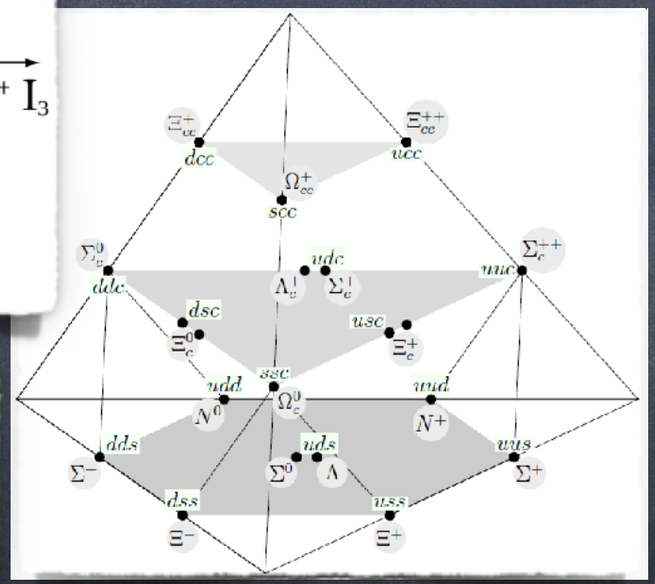
I quark

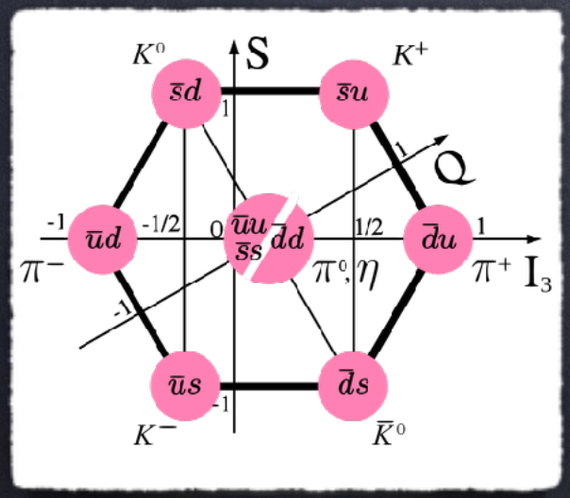


Come i leptoni (elettrone e muone) anche i quark appartengono a diverse "famiglie"

Due altri quark (più pesanti di "up" e "down") furono presto scoperti: il quark "strange" (1968) e il quark "charm" (1974)



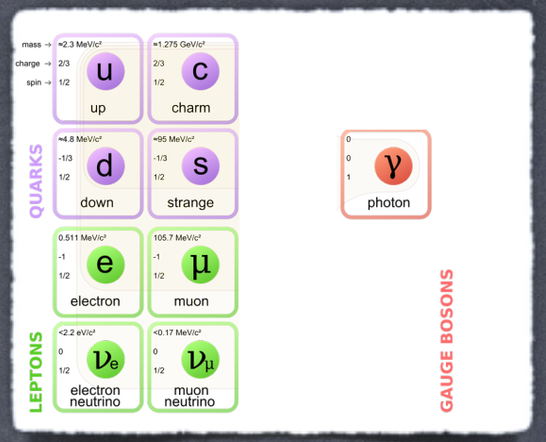




i quark riescono a spiegare perfettamente le proprietà degli adroni

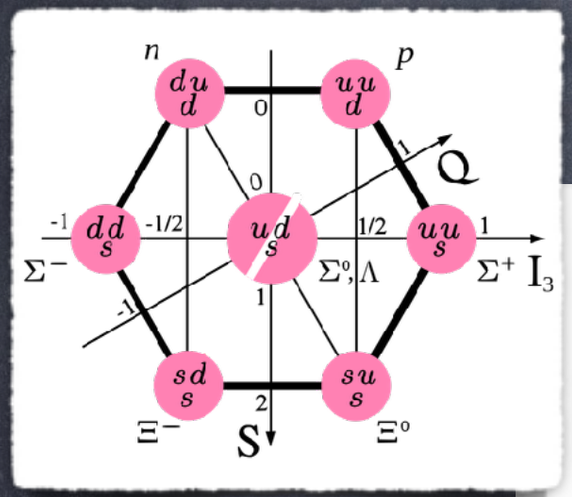
- i barioni sono formati da 3 quark
- i mesoni sono formati da 2 quark

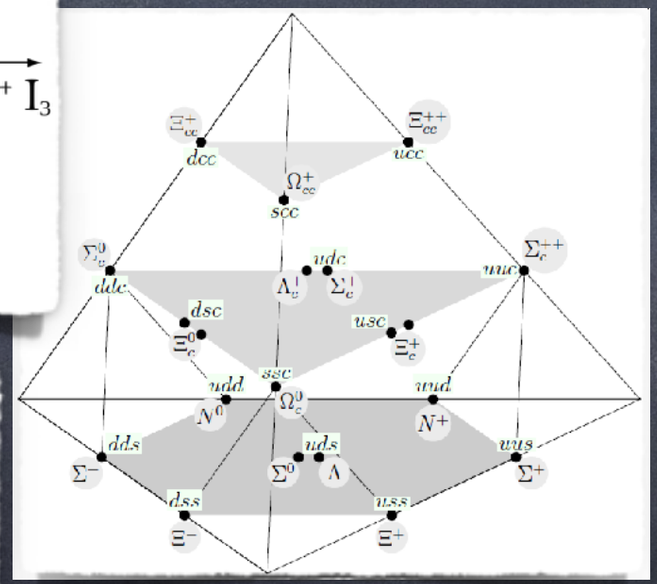
I quark



Come i leptoni (elettrone e muone) anche i quark appartengono a diverse "famiglie"

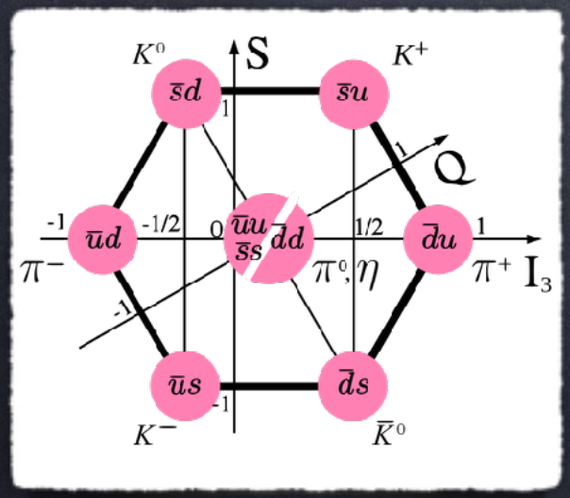
Due altri quark (più pesanti di "up" e "down") furono presto scoperti: il quark "strange" (1968) e il quark "charm" (1974)





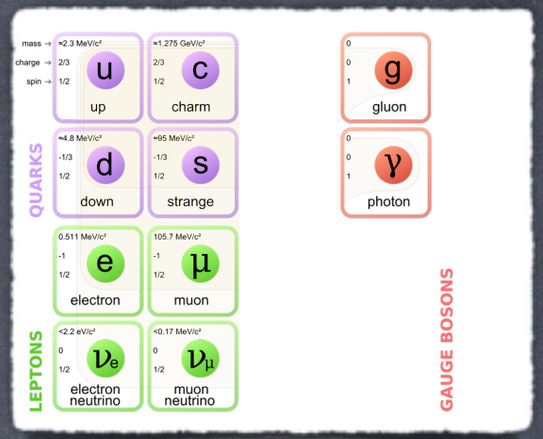
i quark riescono a spiegare perfettamente le proprietà degli adroni

- i barioni sono formati da 3 quark
- i mesoni sono formati da 2 quark



... ma hanno una strana proprietà: sono sempre confinati negli adroni e non esistono isolati!

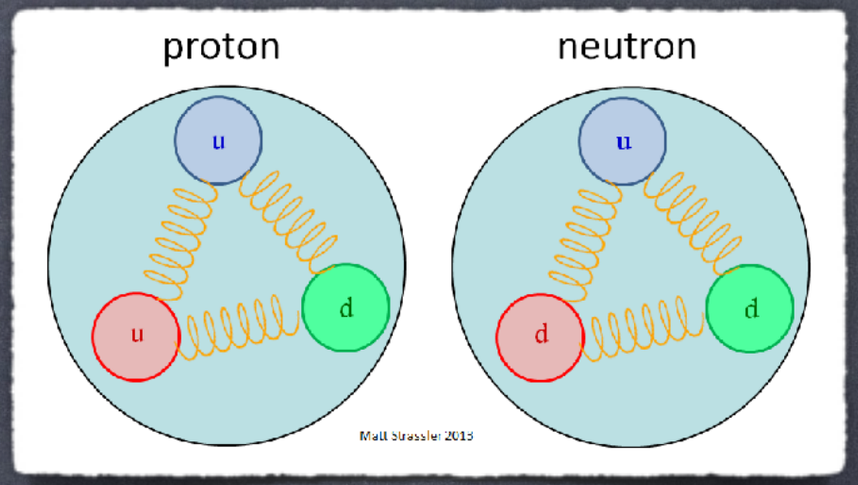
L'interazione forte: Il gluone



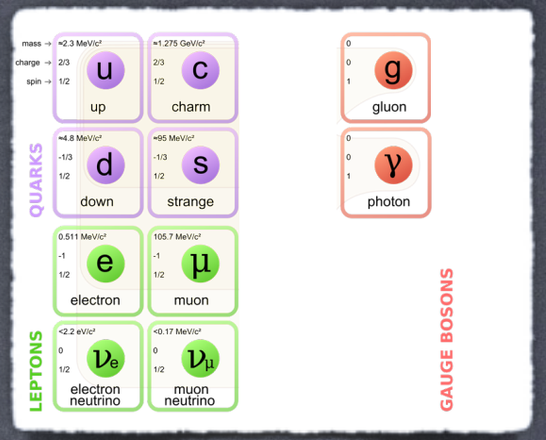
Il confinamento dei quark è dovuto ad un particolare tipo di forza: l'interazione forte

L'interazione forte è mediata dai gluoni e funziona come una molla (o un elastico) tra i quark:

- i quark sono quasi liberi quando sono vicini
- ma si attraggono fortemente quando si allontanano



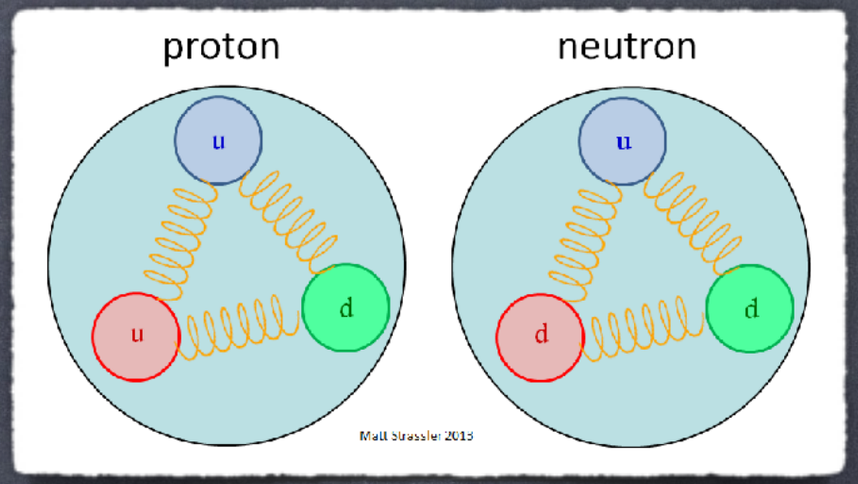
L'interazione forte: Il gluone



Il confinamento dei quark è dovuto ad un particolare tipo di forza: l'interazione forte

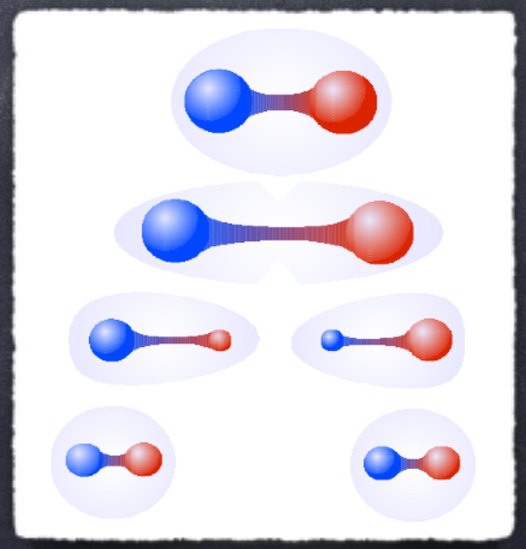
L'interazione forte è mediata dai gluoni e funziona come una molla (o un elastico) tra i quark:

- i quark sono quasi liberi quando sono vicini
- ma si attraggono fortemente quando si allontanano

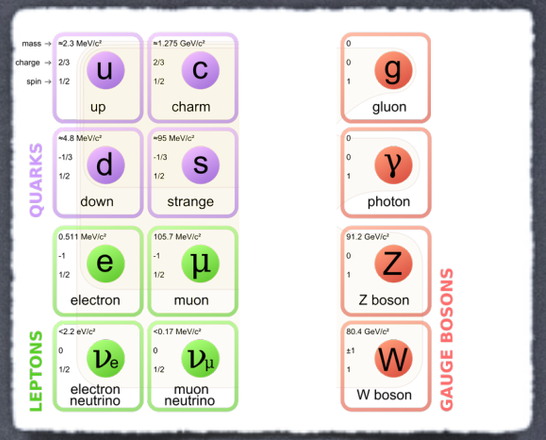


Quando si cerca di separare due quark la forza tra di loro accumula tanta energia da creare altri quark dal vuoto:

non si riescono mai a produrre quark isolati!



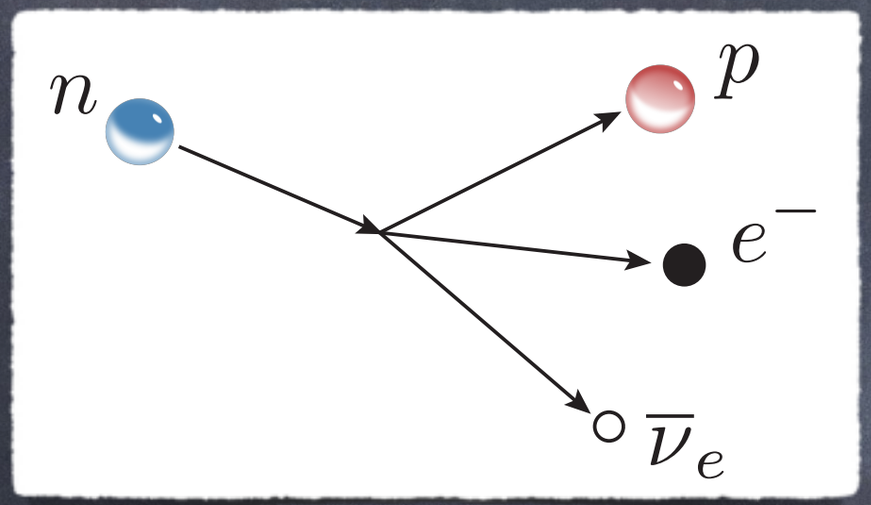
Le interazioni deboli: W e Z



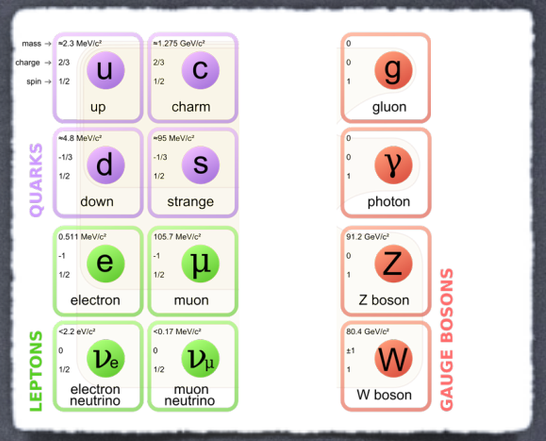
… altre "sorprese" dal decadimento del neutrone

Le interazioni tra particelle sono dovute alle forze…

quale forza è responsabile del decadimento del neutrone?



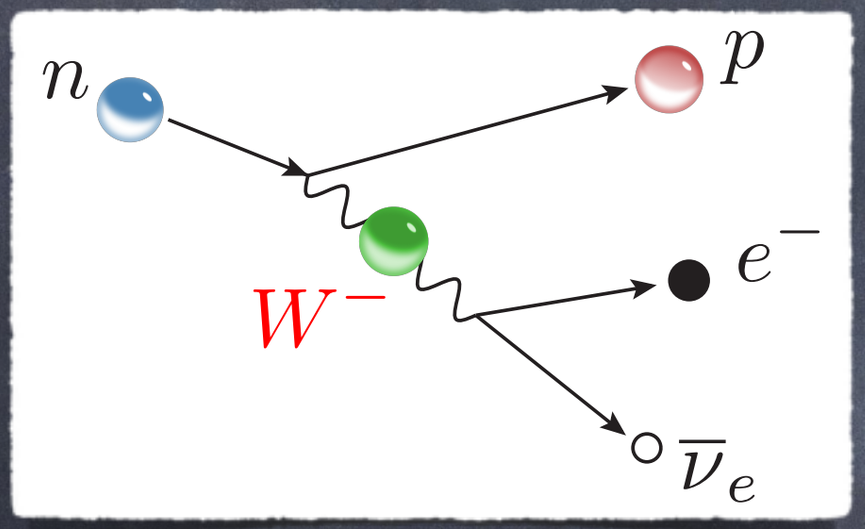
Le interazioni deboli: W e Z



... altre "sorprese" dal decadimento del neutrone

Le interazioni tra particelle sono dovute alle forze...

quale forza è responsabile del decadimento del neutrone?

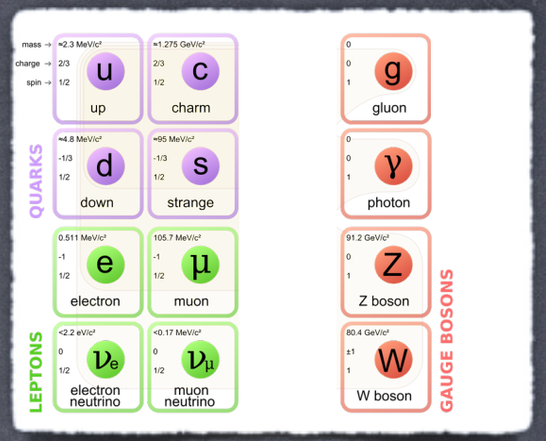


questo decadimento è dovuto ad una nuova forza: l'interazione debole

L'interazione debole è mediata da due tipi di particelle:

- i bosoni $W^{\pm}$ che hanno carica elettrica ± 1
- il bosone Z^0 che è neutro

Le interazioni deboli: W e Z



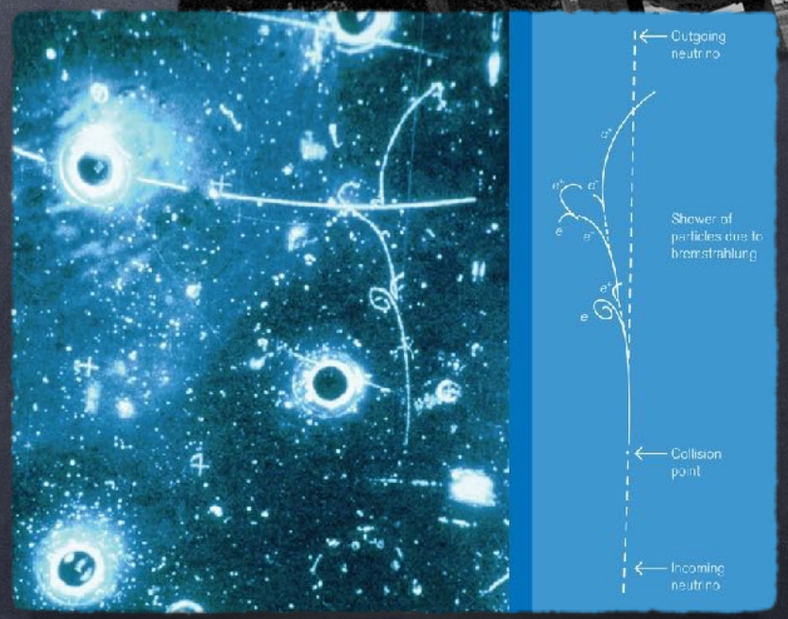
I bosoni W e Z hanno una grande massa (circa 100 volte maggiore di un protone), quindi la forza debole ha un raggio di azione estremamente piccolo, confrontabile con la dimensione del nucleo atomico

Sebbene fossero stati predetti già nel 1968,

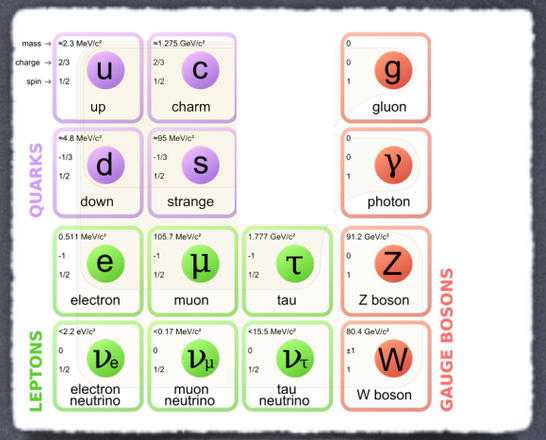
[Glashow, Weinberg, Salam]

la loro scoperta ha richiesto molti anni…

scoperti al CERN nel 1983



La terza "famiglia"

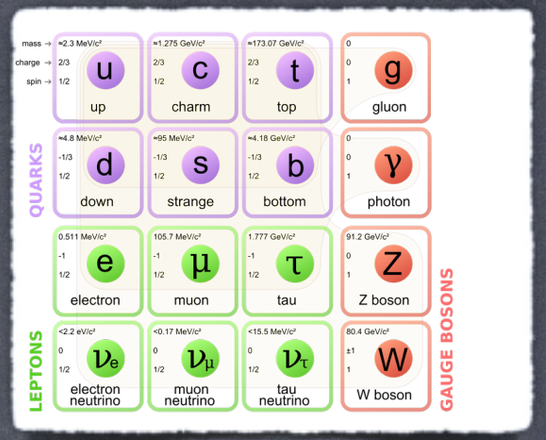


Una terza "famiglia" di fermioni, ancora più massivi degli altri, è stata successivamente scoperta

Due nuovi leptoni:

- il tau (circa 3000 volte più massivo dell'elettrone) [SLAC-LBL 1977]
- il neutrino tau [Fermilab 2000]

La terza "famiglia"



Una terza "famiglia" di fermioni, ancora più massivi degli altri, è stata successivamente scoperta

Due nuovi leptoni:

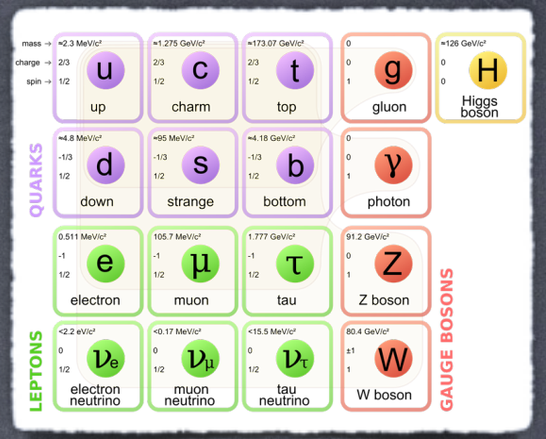
- il tau (circa 3000 volte più massivo dell'elettrone) [SLAC-LBL 1977]
- il neutrino tau [Fermilab 2000]

Due nuovi quark:

- il quark "bottom" [Fermilab 1977]
- il quark "top" [Fermilab 1995]

Il quark top è la particella elementare più massiva scoperta sino ad ora. La sua massa è circa uguale a quella di un atomo di oro (uno degli atomi più pesanti)... ma concentrata in un raggio miliardi di volte più piccolo!

La chiave di volta: l'Higgs



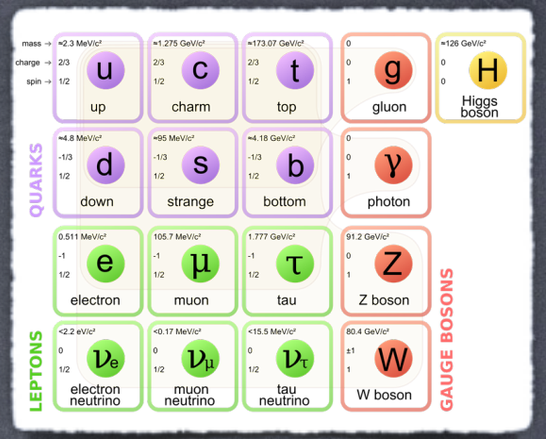
Con la scoperta delle tre "famiglie" di fermioni e dei bosoni vettori, il Modello Standard, teorizzato nel 1964, era quasi al completo…

Un mattone fondamentale della teoria tuttavia mancava…

il bosone di Higgs!

Essenziale per la consistenza teorica del Modello Standard, è necessario per spiegare il comportamento di tutte le altre particelle elementari

La chiave di volta: l'Higgs



Con la scoperta delle tre "famiglie" di fermioni e dei bosoni vettori, il Modello Standard, teorizzato nel 1964, era quasi al completo…

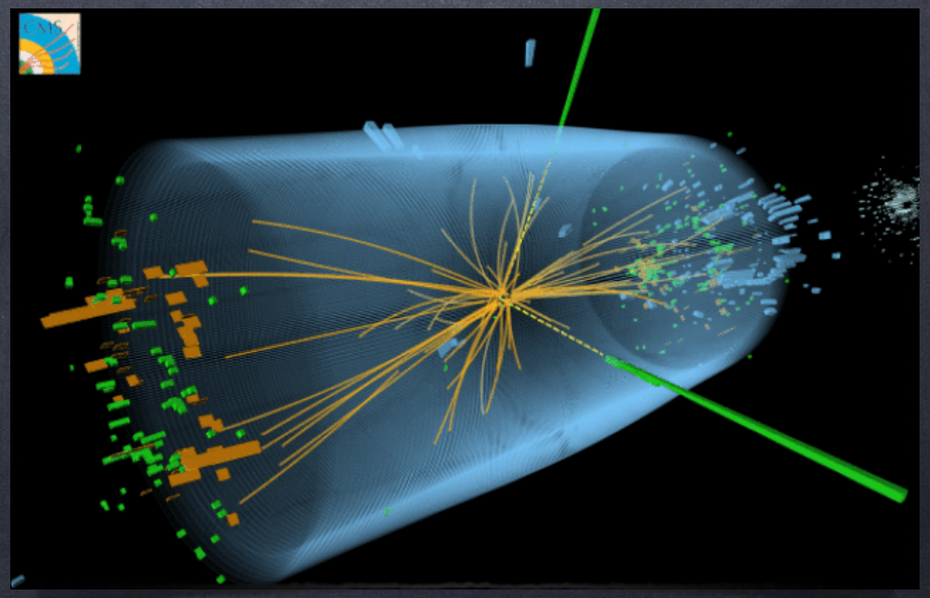
Un mattone fondamentale della teoria tuttavia mancava…

il bosone di Higgs!

Essenziale per la consistenza teorica del Modello Standard, è necessario per spiegare il comportamento di tutte le altre particelle elementari

Scoperto nel 2012 presso l'LHC al CERN!

ne parleremo di più tra qualche slide…



Lo zoo delle particelle del Modello Standard

Lo zoo delle particelle del Modello Standard

Lo zoo delle particelle del Modello Standard

Lo zoo delle particelle del Modello Standard

struttura a 3 "famiglie"

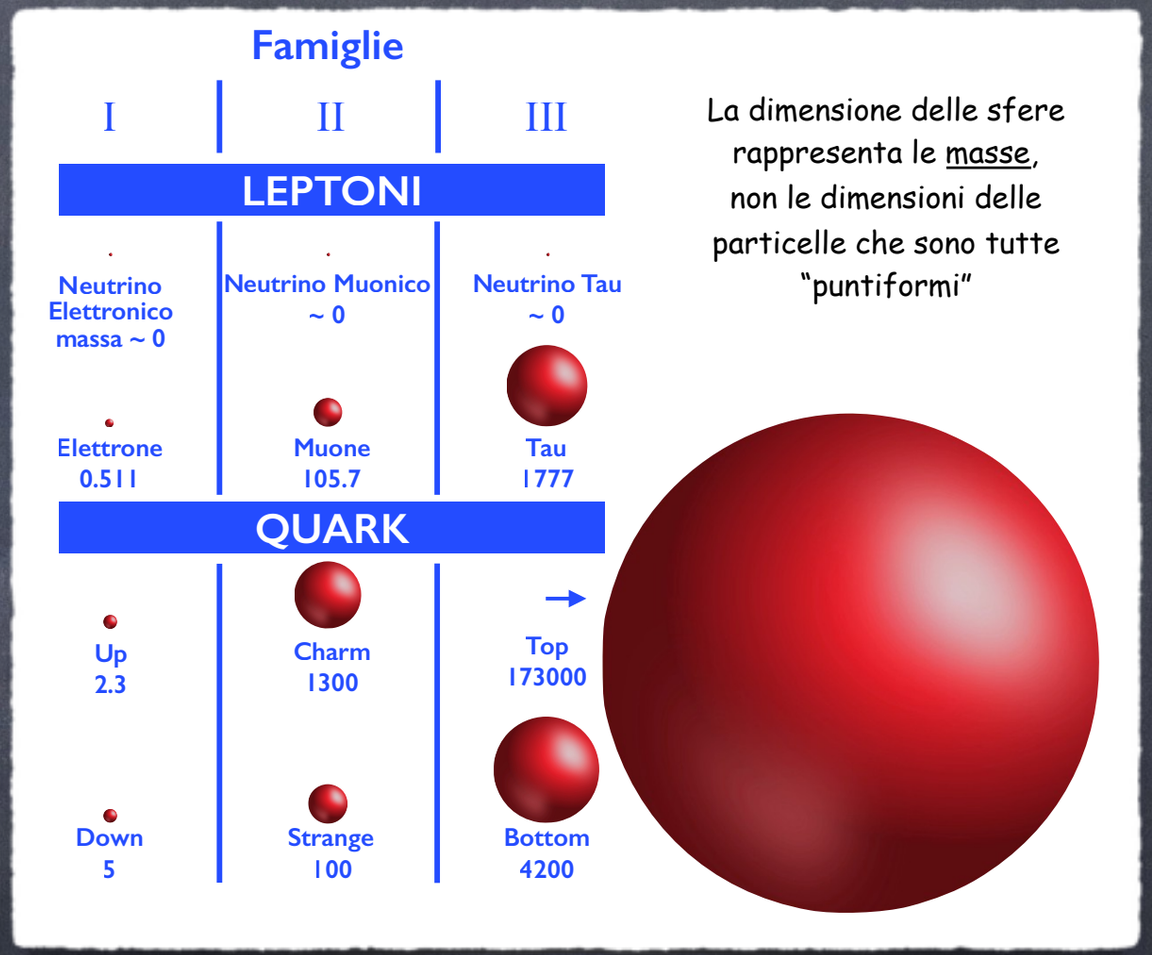
La caccia al Bosone di Higgs

Il problema delle Masse

Abbiamo visto che ogni fermione del Modello Standard esiste in 3 "copie", corrispondenti alle 3 "famiglie"

Le "copie" hanno esattamente le stesse proprietà ...

... ma masse diverse!



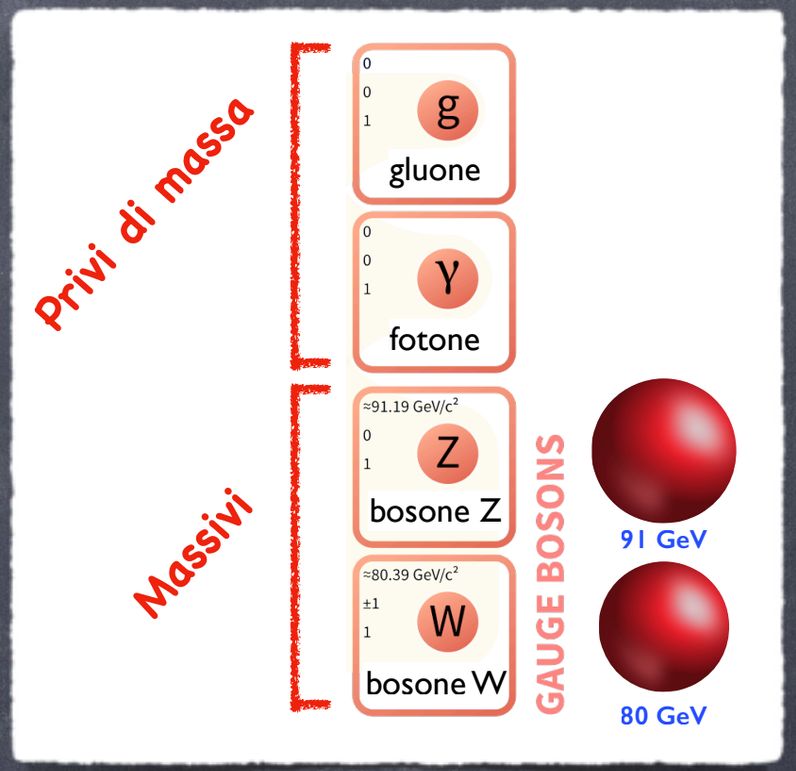
Le masse dei fermioni sono enormemente diverse ...

... il quark top è ~100000 volte più massivo del quark up!

Il problema delle Masse

Ancora più importanti sono le masse dei bosoni vettori

- bosoni privi di massa (fotone e gluone) mediano forze a lunga distanza
- bosoni massivi (bosoni W e Z) mediano forze a corta distanza

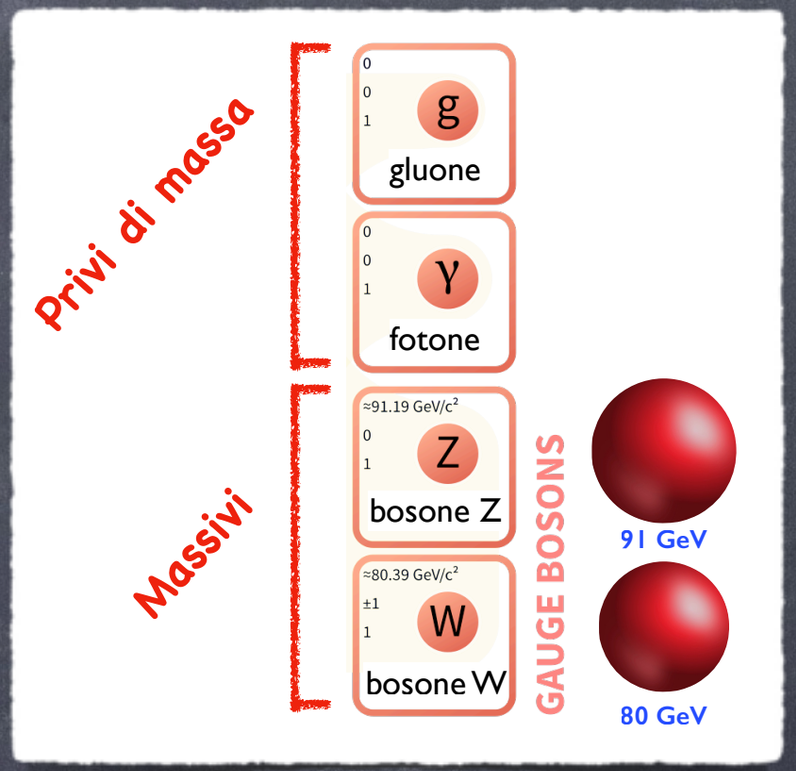


Se i bosoni W e Z non avessero massa esisterebbero in natura altre forze analoghe alla forza elettromagnetica

Il problema delle Masse

Ancora più importanti sono le masse dei bosoni vettori

- bosoni privi di massa (fotone e gluone) mediano forze a lunga distanza
- bosoni massivi (bosoni W e Z) mediano forze a corta distanza



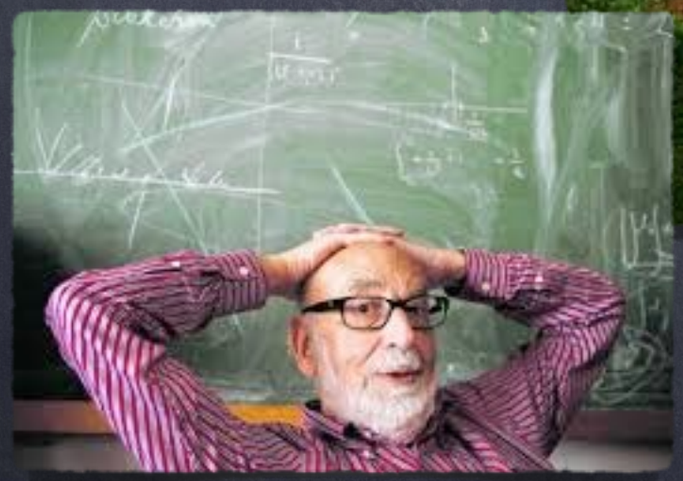
Se i bosoni W e Z non avessero massa esisterebbero in natura altre forze analoghe alla forza elettromagnetica

Quale è l'origine delle Masse?

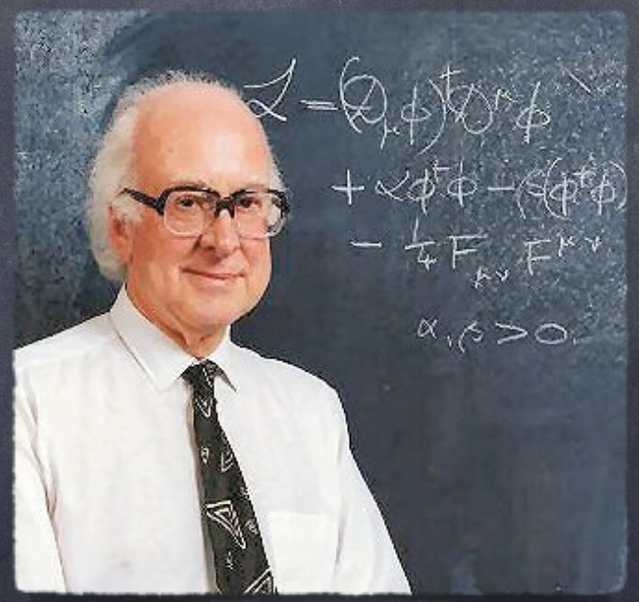
Il bosone di Higgs e l'origine delle Masse

Nel 1964 Peter Higgs e, indipendentemente, Robert Brout e Francois Englert
proposero l'esistenza del bosone di Higgs
per spiegare l'origine delle masse nel Modello Standard

Robert Brout



Francois Englert



Peter Higgs

Il bosone di Higgs e l'origine delle Masse

Il bosone di Higgs è associato ad un "campo" che permea tutto l'universo

L'interazione delle particelle con il campo di Higgs
crea una "resistenza" al movimento che corrisponde alla massa

Il bosone di Higgs e l'origine delle Masse

Il bosone di Higgs è associato ad un "campo" che permea tutto l'universo

L'interazione delle particelle con il campo di Higgs
crea una "resistenza" al movimento che corrisponde alla massa

Una semplice analogia ...
con una festa

- il campo di Higgs riempie lo spazio ... come gli invitati ad una festa

Il bosone di Higgs e l'origine delle Masse

Il bosone di Higgs è associato ad un "campo" che permea tutto l'universo

L'interazione delle particelle con il campo di Higgs
crea una "resistenza" al movimento che corrisponde alla massa

Una semplice analogia ...
con una festa

- il campo di Higgs riempie lo spazio ... come gli invitati ad una festa
- quando un VIP entra nella stanza ...

Il bosone di Higgs e l'origine delle Masse

Il bosone di Higgs è associato ad un "campo" che permea tutto l'universo

L'interazione delle particelle con il campo di Higgs
crea una "resistenza" al movimento che corrisponde alla massa

Una semplice analogia ...
con una festa

- il campo di Higgs riempie lo spazio ... come gli invitati ad una festa
- quando un VIP entra nella stanza ... la gente gli si accalca intorno frenandolo nel movimento ... come se avesse una massa

Il bosone di Higgs e l'origine delle Masse

Il bosone di Higgs è associato ad un "campo" che permea tutto l'universo

L'interazione delle particelle con il campo di Higgs
crea una "resistenza" al movimento che corrisponde alla massa

Una semplice analogia ...
con una festa

- il campo di Higgs riempie lo spazio ... come gli invitati ad una festa
- quando un VIP entra nella stanza ... la gente gli si accalca intorno frenandolo nel movimento ... come se avesse una massa
- quando una notizia si sparge nella sala ...

Il bosone di Higgs e l'origine delle Masse

Il bosone di Higgs è associato ad un "campo" che permea tutto l'universo

L'interazione delle particelle con il campo di Higgs
crea una "resistenza" al movimento che corrisponde alla massa

Una semplice analogia ...
con una festa

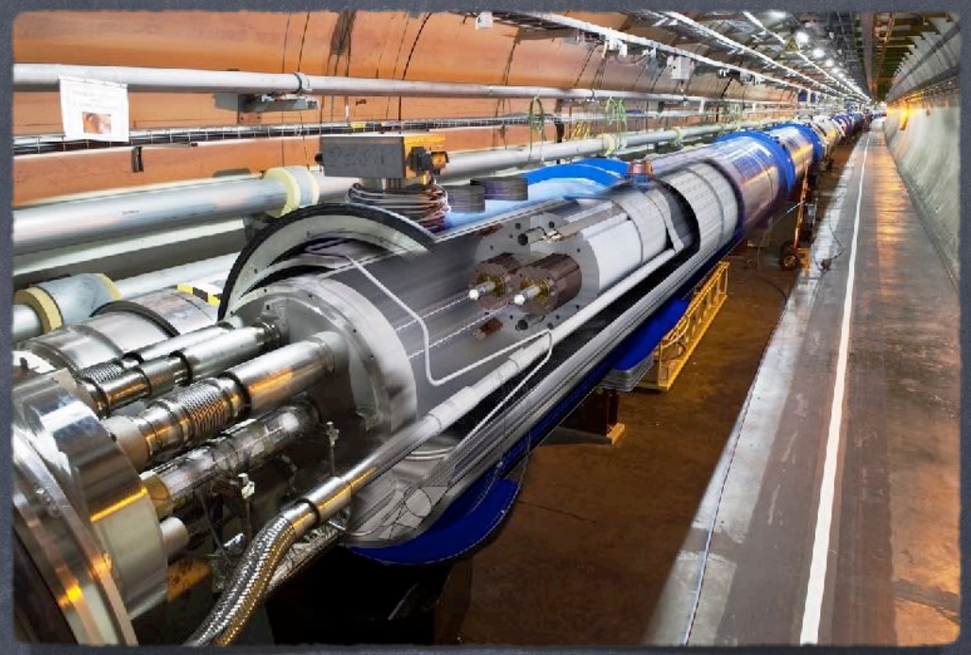
- il campo di Higgs riempie lo spazio ... come gli invitati ad una festa
- quando un VIP entra nella stanza ... la gente gli si accalca intorno frenandolo nel movimento ... come se avesse una massa
- quando una notizia si sparge nella sala ... si formano gruppi di persone che ne discutono ... questi gruppi sono analoghi alla particella di Higgs

La caccia al Bosone di Higgs

La caccia al bosone di Higgs ha impegnato gli scienziati di tutto il mondo per più di 40 anni !

Per cacciare il bosone di Higgs servono:

1. Acceleratore: una macchina potente per accelerare i protoni e farli collidere

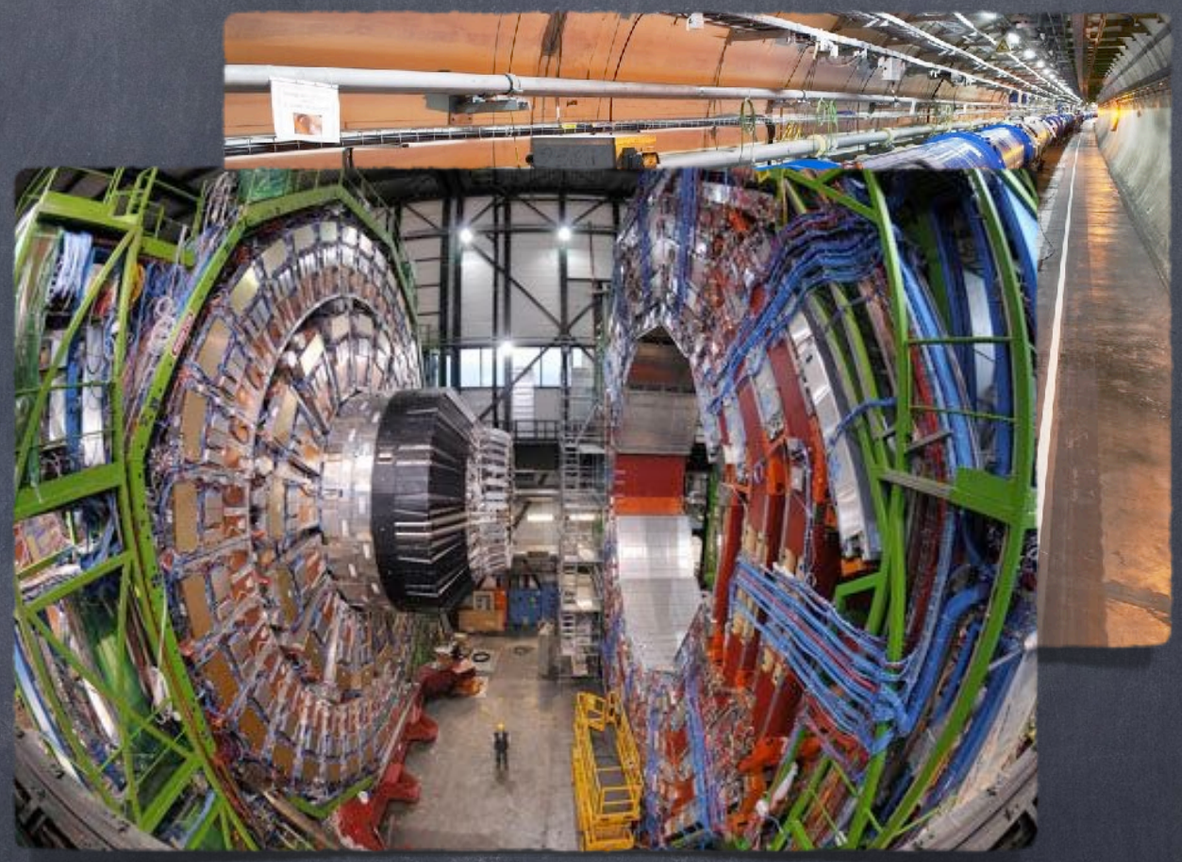


La caccia al Bosone di Higgs

La caccia al bosone di Higgs ha impegnato gli scienziati di tutto il mondo per più di 40 anni !

Per cacciare il bosone di Higgs servono:

1. Acceleratore: una macchina potente per accelerare i protoni e farli collidere
2. Rivelatori: gigantesche macchine "fotografiche" che registrano le particelle prodotte dalle collisioni

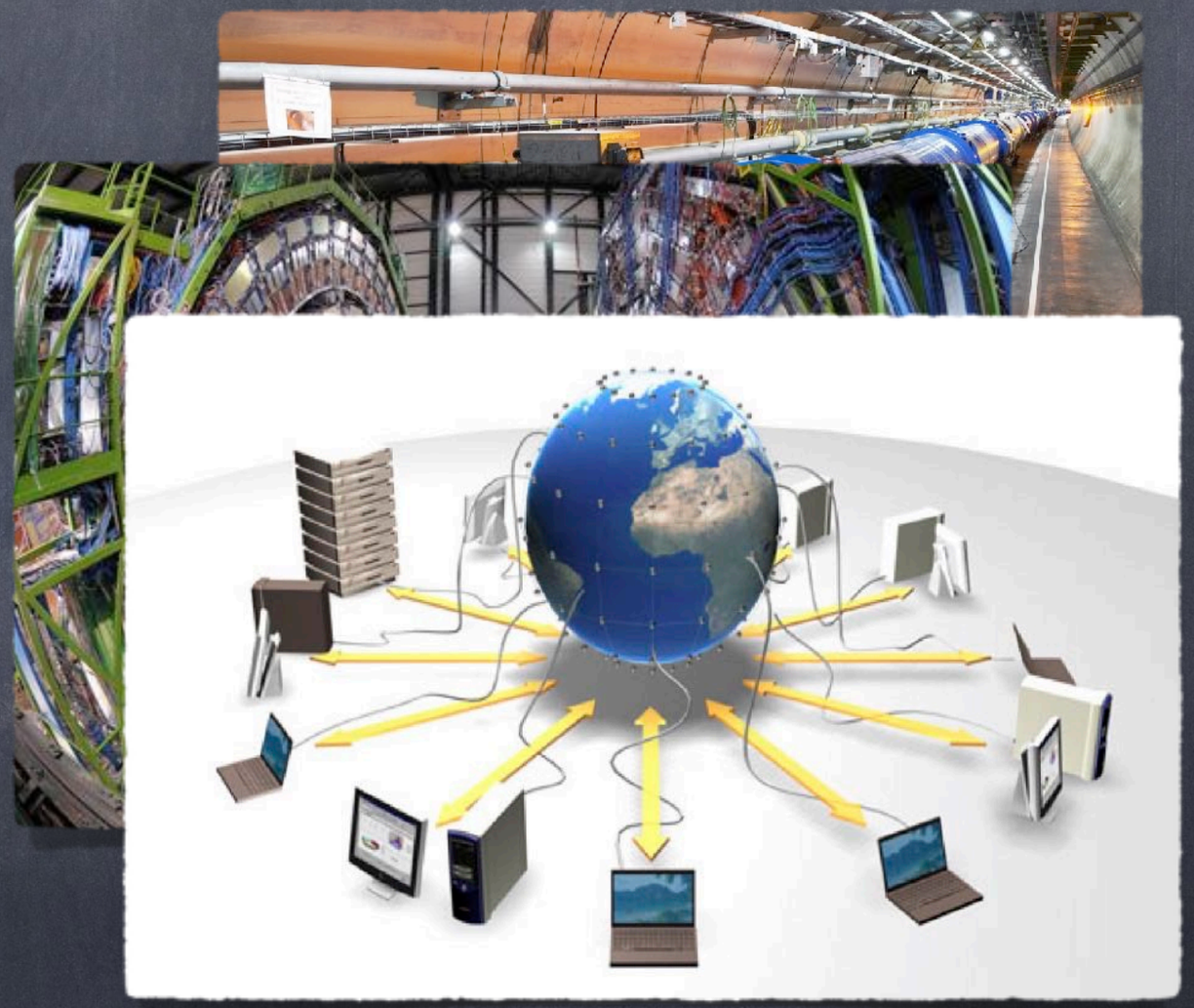


La caccia al Bosone di Higgs

La caccia al bosone di Higgs ha impegnato gli scienziati di tutto il mondo per più di 40 anni !

Per cacciare il bosone di Higgs servono:

1. Acceleratore: una macchina potente per accelerare i protoni e farli collidere
2. Rivelatori: gigantesche macchine "fotografiche" che registrano le particelle prodotte dalle collisioni
3. Supercomputing: per registrare ed analizzare l'immensa mole di dati prodotti dai rivelatori

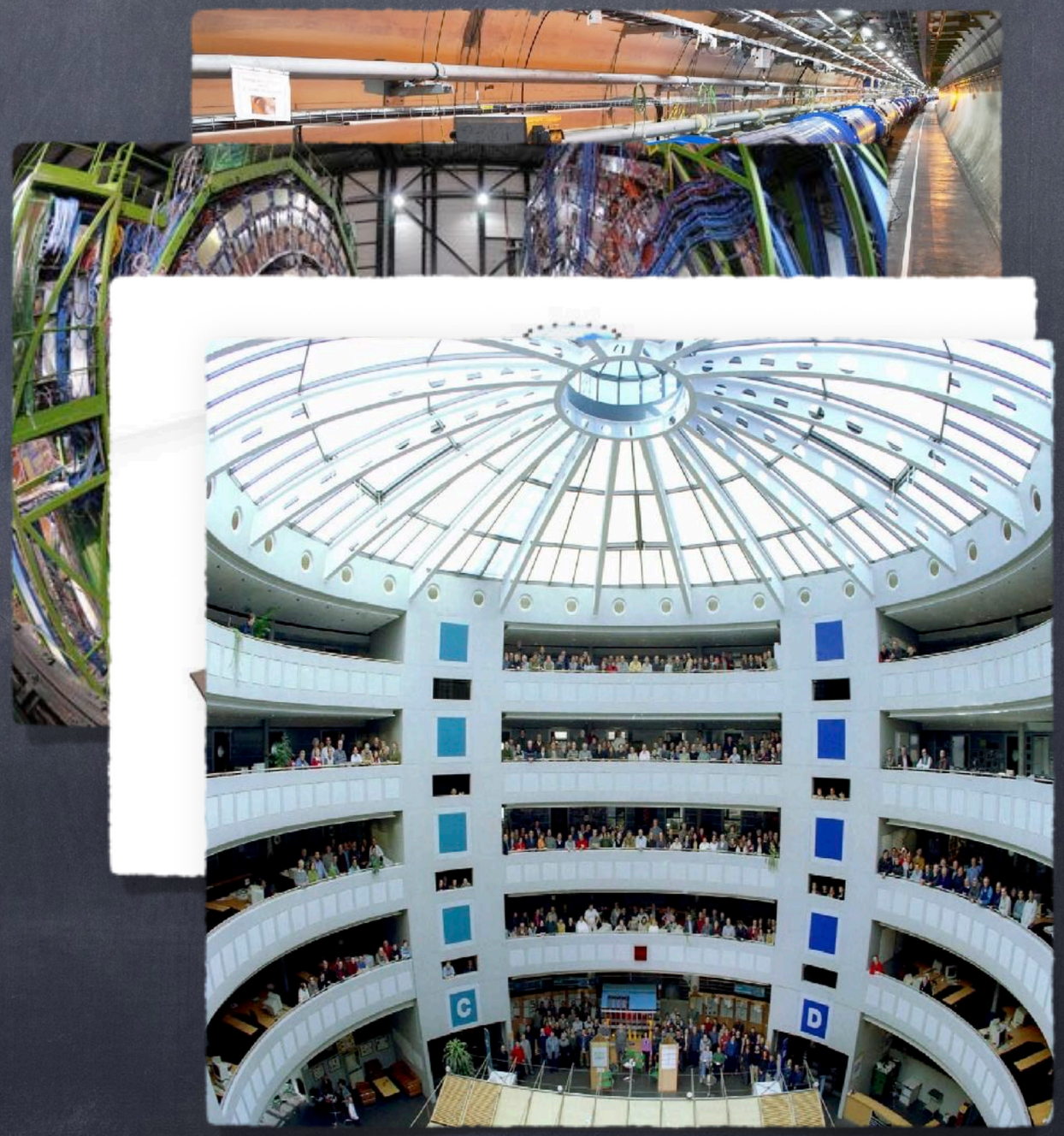


La caccia al Bosone di Higgs

La caccia al bosone di Higgs ha impegnato gli scienziati di tutto il mondo per più di 40 anni !

Per cacciare il bosone di Higgs servono:

1. Acceleratore: una macchina potente per accelerare i protoni e farli collidere
2. Rivelatori: gigantesche macchine "fotografiche" che registrano le particelle prodotte dalle collisioni
3. Supercomputing: per registrare ed analizzare l'immensa mole di dati prodotti dai rivelatori
4. Scienza collaborativa su scala mondiale: migliaia di ingegneri e fisici per disegnare, realizzare e far funzionare queste macchine complesse



Perché scoprire il bosone di Higgs è così complesso?

600 milioni di collisioni ----→ 1 bosone di Higgs

- La massa del bosone di Higgs non era nota (non è predetta dal Modello Standard)
- I decadimenti dell'Higgs vanno distinti tra tantissimi altri processi già noti con proprietà simili

Perché scoprire il bosone di Higgs è così complesso?

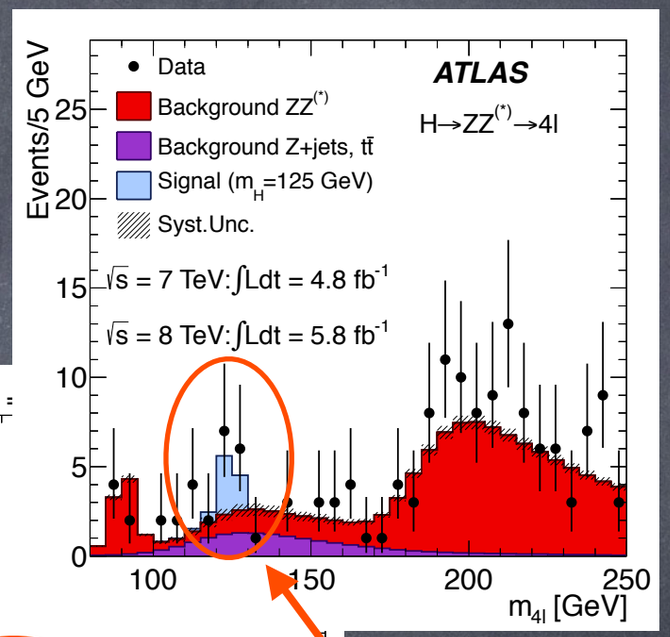
600 milioni di collisioni ----→ 1 bosone di Higgs

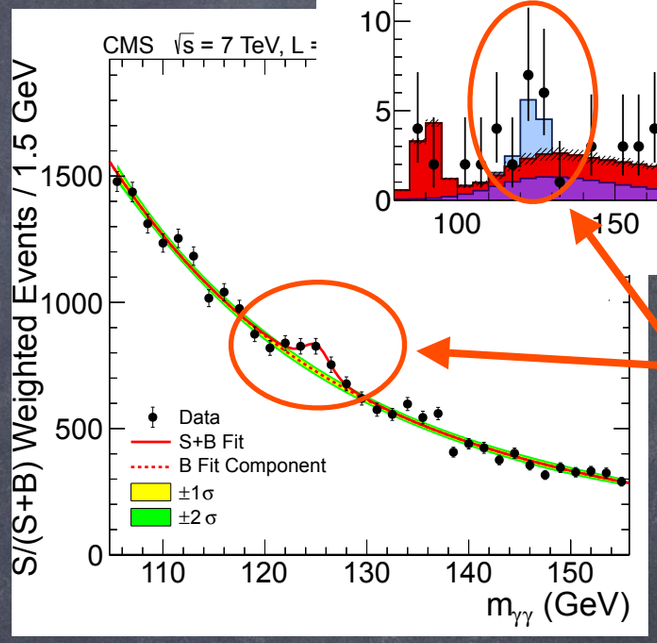
- La massa del bosone di Higgs non era nota (non è predetta dal Modello Standard)
- I decadimenti dell'Higgs vanno distinti tra tantissimi altri processi già noti con proprietà simili

E' come cercare una persona nascosta tra la folla senza conoscerne l'identikit !

Il 4 Luglio 2012 le collaborazioni ATLAS e CMS presso l'LHC hanno finalmente annunciato la scoperta del bosone di Higgs!

… ben 48 anni dopo la sua previsione teorica (1964)





Englert e Higgs hanno ricevuto il premio Nobel 2013 per la Fisica

" … 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 … "

Le domande aperte

La scoperta del bosone di Higgs ha aggiunto l'ultimo tassello per completare il Modello Standard ...

ora abbiamo una teoria matematicamente consistente che descrive (con successo, finora) ogni tipo di processo

La scoperta del bosone di Higgs ha aggiunto l'ultimo tassello per completare il Modello Standard ...

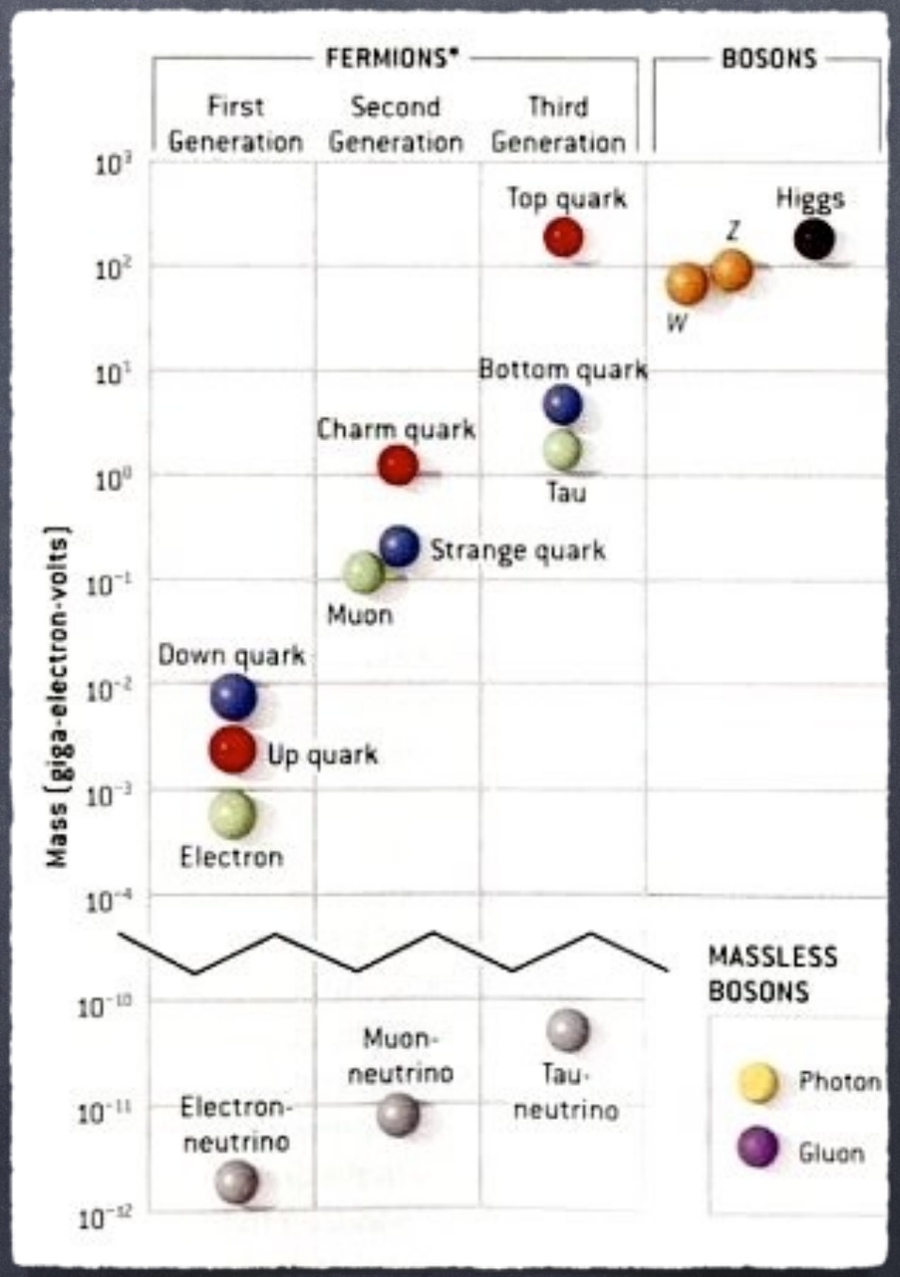
ora abbiamo una teoria matematicamente consistente che descrive (con successo, finora) ogni tipo di processo

ma molte domande rimangono ancora aperte !

Ancora le masse ...

Le masse delle particelle elementari sono distribuite su diversi ordini di grandezza ... senza un ordine apparente

la massa dei neutrini è un milione di miliardi di volte (10^{15}) minore di quella del quark top!



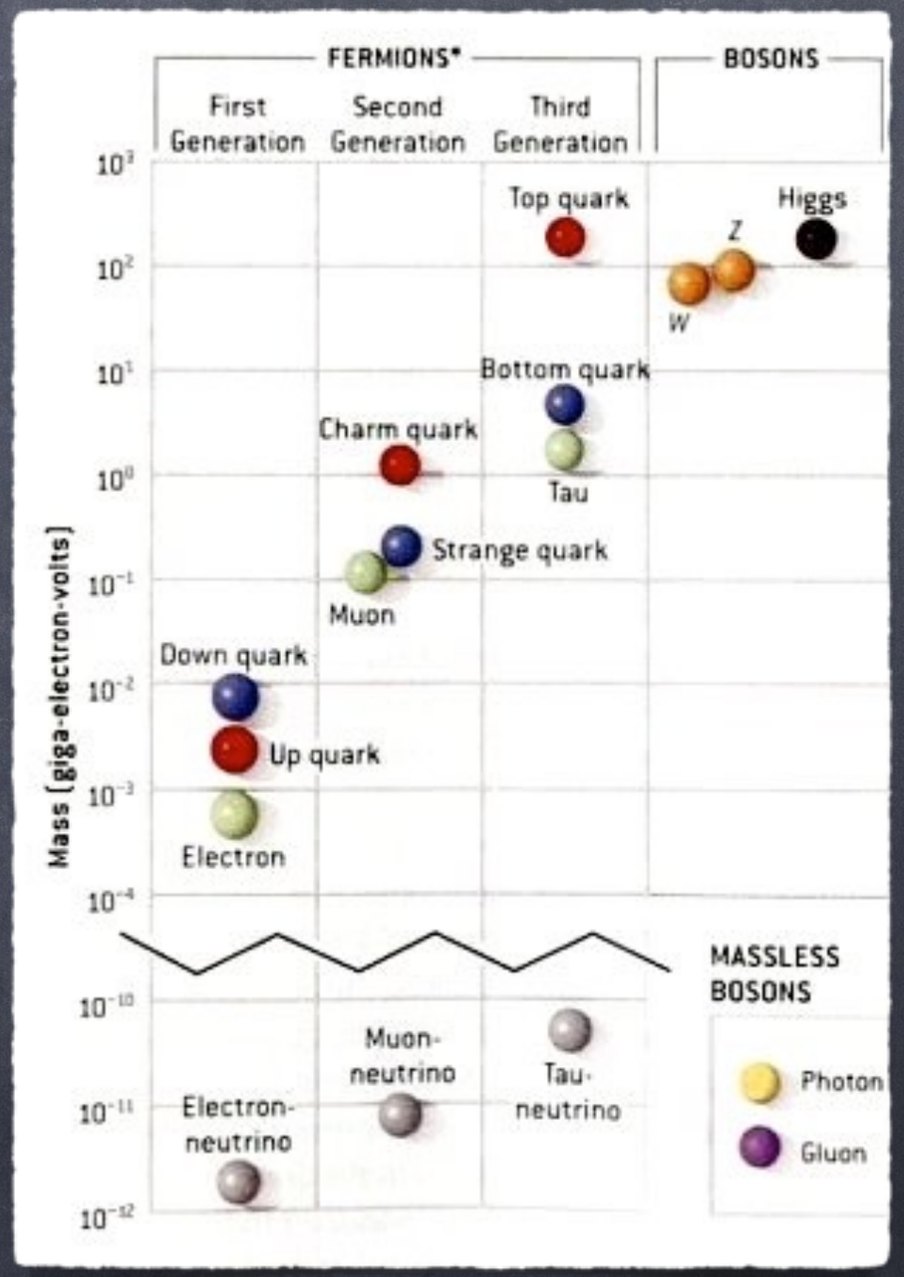
Ancora le masse ...

Le masse delle particelle elementari sono distribuite su diversi ordini di grandezza ... senza un ordine apparente

la massa dei neutrini è un milione di miliardi di volte (10^{15}) minore di quella del quark top!

Esiste un criterio o una dinamica fondamentale ancora da scoprire che spiega i valori delle masse?

Perché i neutrini sono molto più leggeri delle altre particelle di materia?



Il bosone di Higgs

Quali sono le proprietà del bosone di Higgs?

Cosa determina la sua massa?

È veramente elementare, o potrebbe essere composto da particelle più "piccole"?

Lo zoo delle particelle elementari è veramente completo?

Il Modello Standard potrebbe essere solo una descrizione parziale della natura

... e far parte di una teoria più ampia che si manifesta ad energie più elevate di quelle esplorate sino ad ora

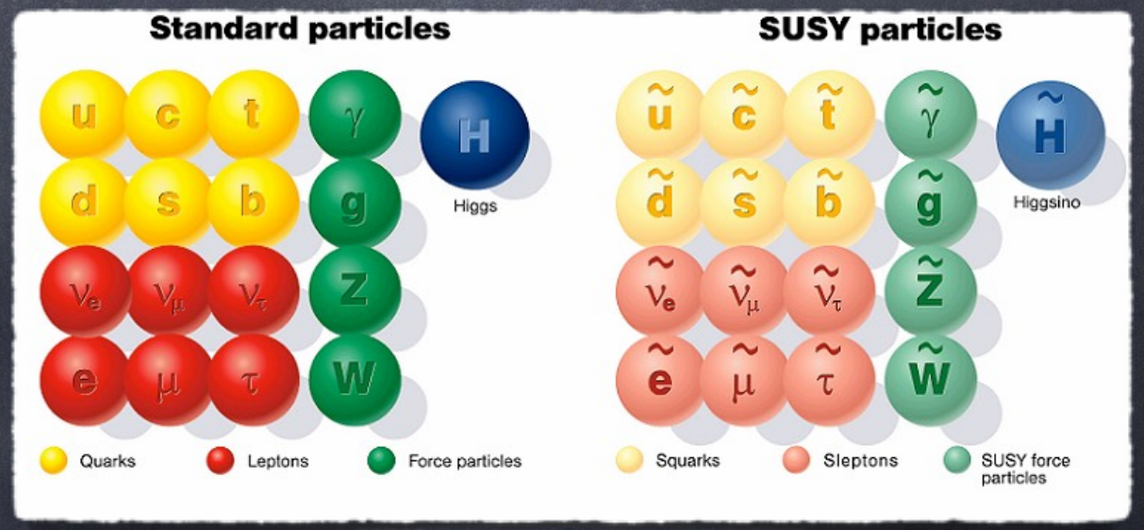
Lo zoo delle particelle elementari è veramente completo?

Il Modello Standard potrebbe essere solo una descrizione parziale della natura

… e far parte di una teoria più ampia che si manifesta ad energie più elevate di quelle esplorate sino ad ora

Molte estensioni del Modello Standard prevedono nuove particelle elementari

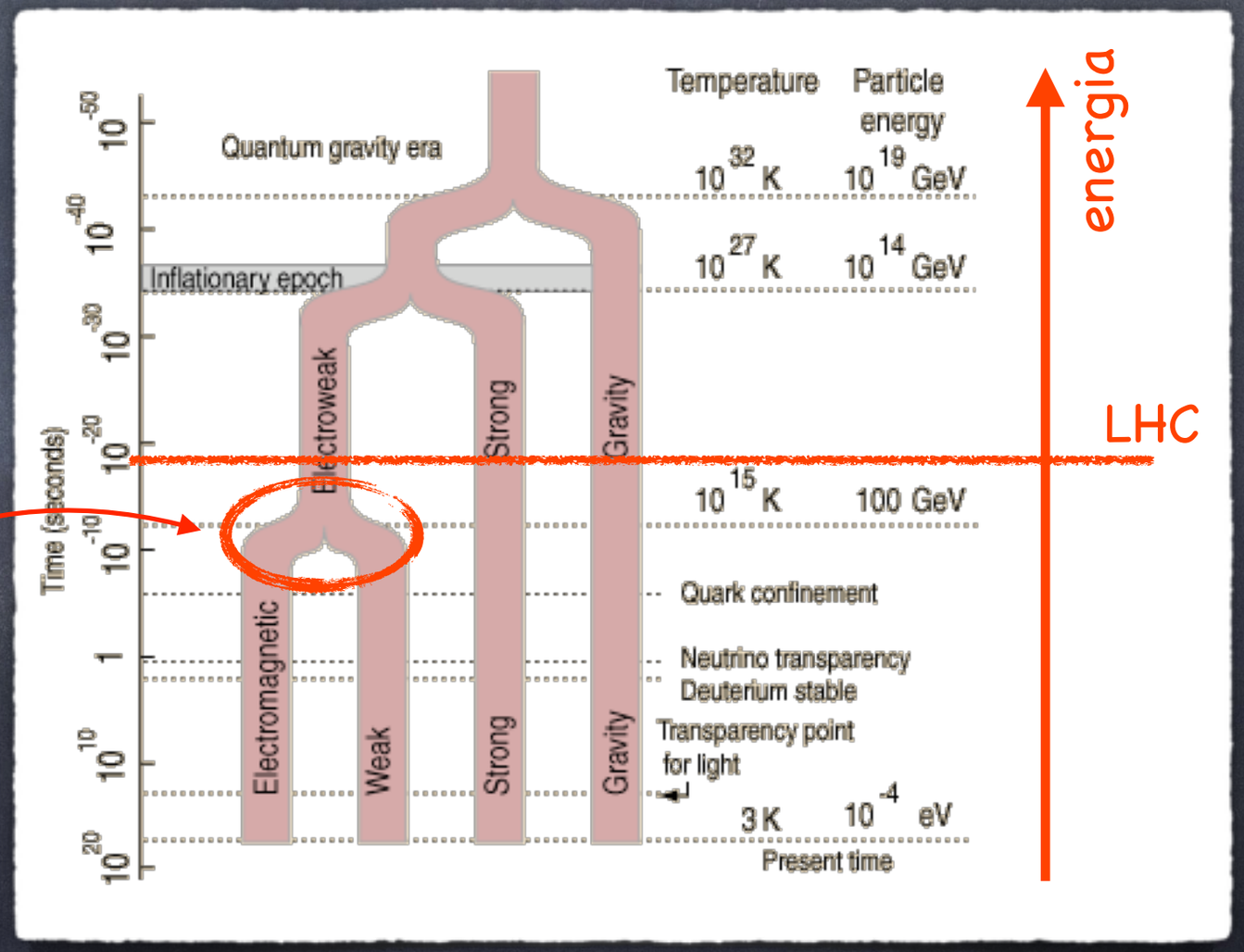
… la Supersimmetria associa ad ogni particella del Modello Standard un partner di massa più elevata



Una o più forze?

Gli esperimenti hanno dimostrato che la forza elettromegnetica e la forza debole si "unificano" ad alta energia:

sono entrambe parte di un'unica forza, la forza "elettrodebole"



unificazione nella forza elettrodebole

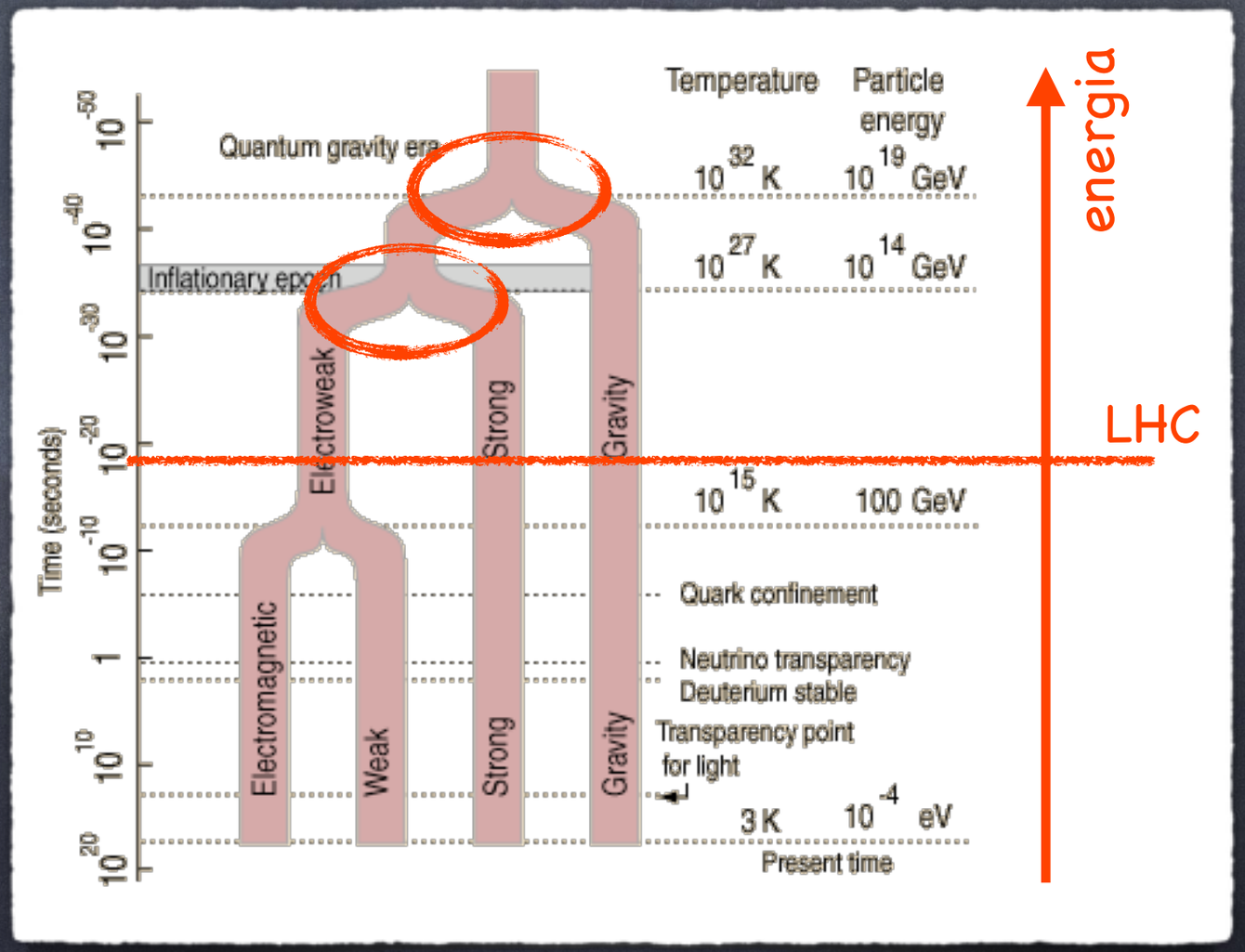
Una o più forze?

Gli esperimenti hanno dimostrato che la forza elettromegnetica e la forza debole si "unificano" ad alta energia:

sono entrambe parte di un'unica forza, la forza "elettrodebole"

Può accadere qualcosa di analogo per le altre forze?

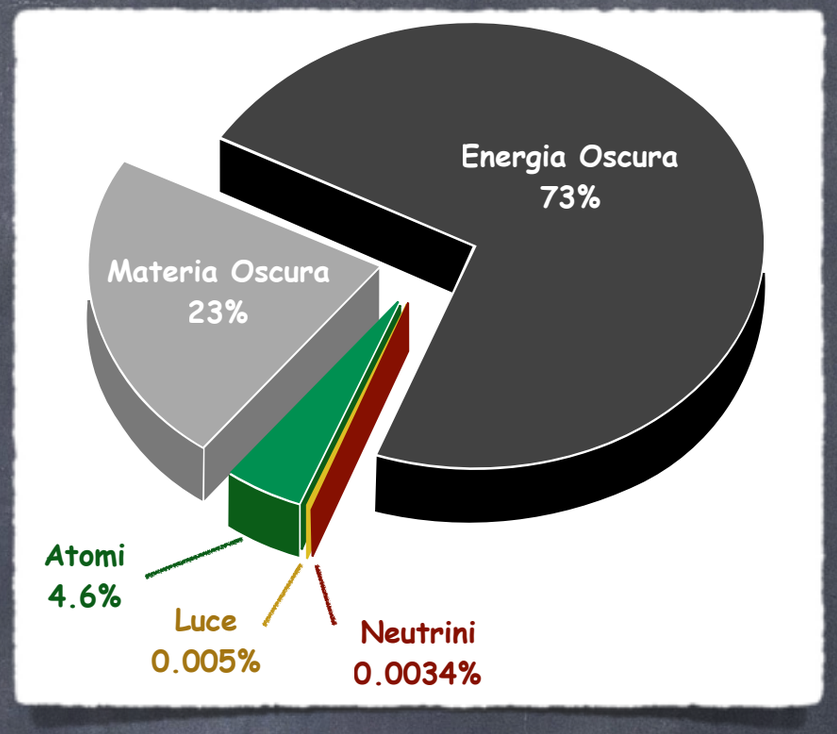
Ad altissime energie tutte le forze potrebbero essere descritte da un'unica interazione!



La materia oscura

Gli atomi costituiscono meno del 5% della materia nell'universo

La maggior parte della materia è costituita da particelle sconosciute: la Materia Oscura

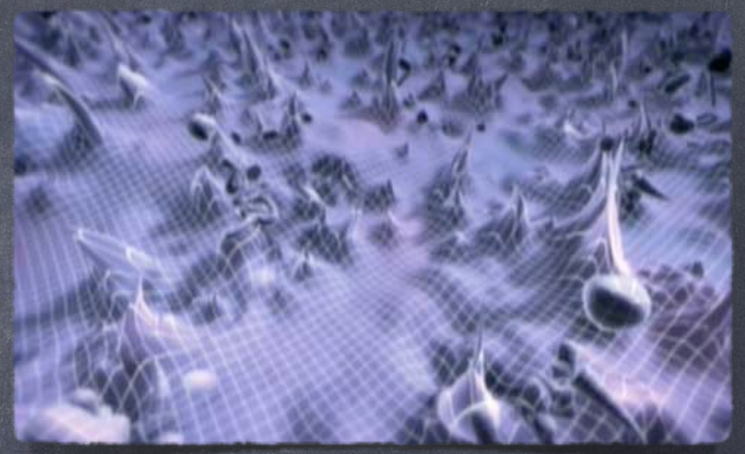


Il Modello Standard non riesce a spiegare la Materia Oscura …

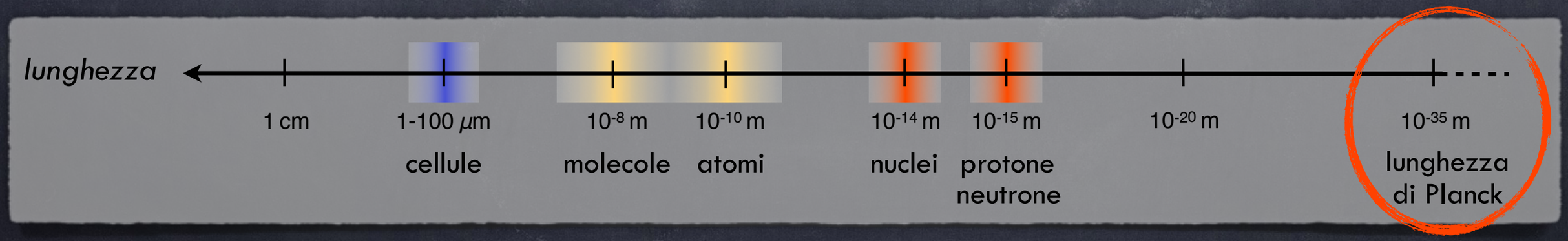
... e la gravità ?

Il Modello Standard non contiene una descrizione della gravità

A distanze molto piccole (lunghezza di Planck) ed energie molto elevate gli effetti quantistici della gravità diventano importanti...



... ma ancora non sappiamo come conciliare la gravità con la meccanica quantistica !

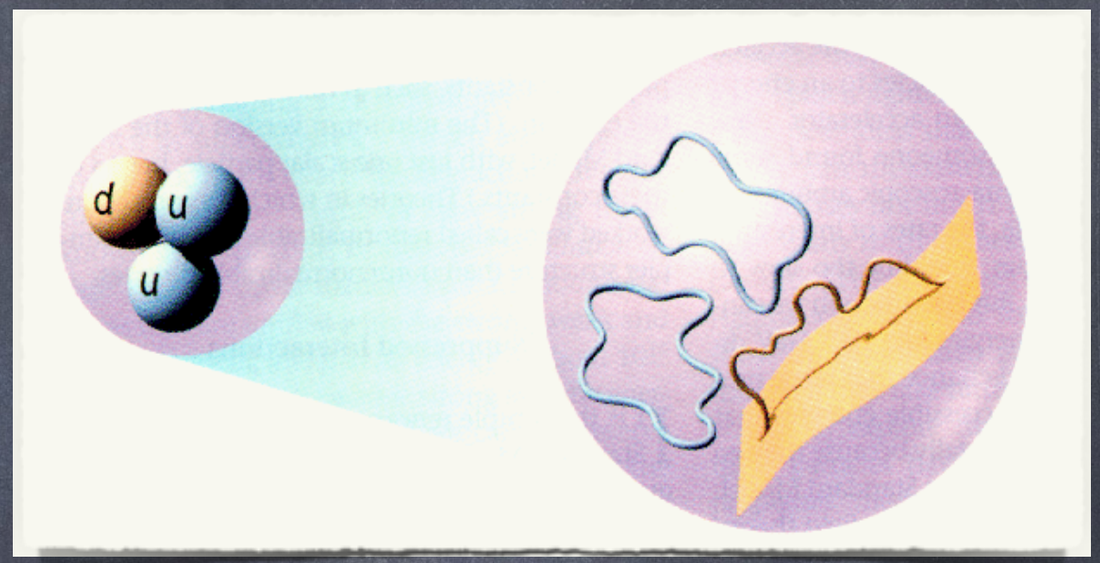


La teoria delle Stringhe

Una possibilità per descrivere la gravità quantistica potrebbe essere offerta dalla teoria delle Stringhe

Le particelle potrebbero non essere puntiformi ...

... a piccolissime distanze potrebbero avere la struttura di microscopiche stringhe

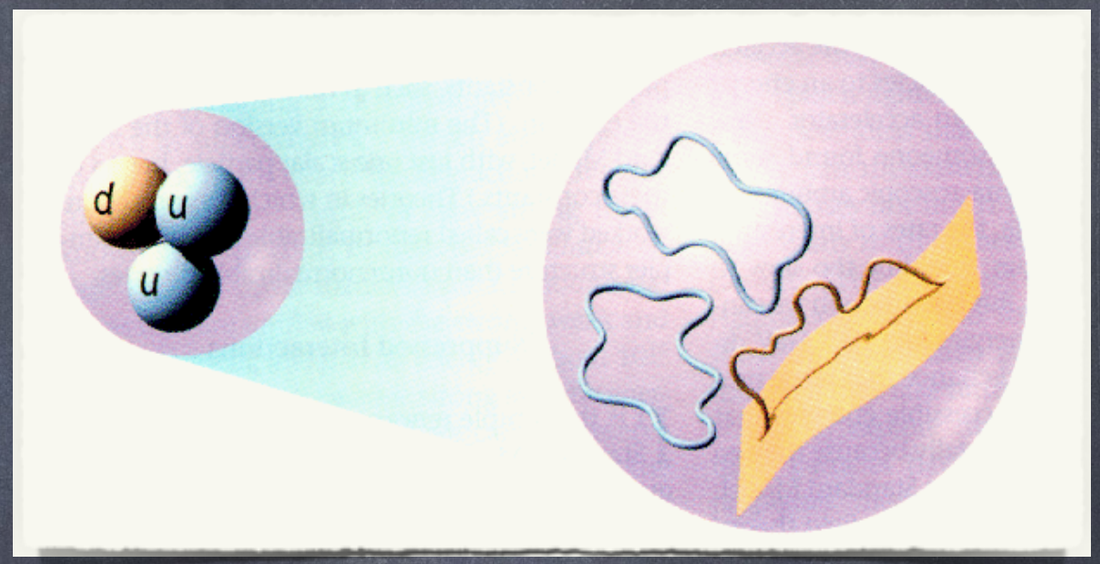


La teoria delle Stringhe

Una possibilità per descrivere la gravità quantistica potrebbe essere offerta dalla teoria delle Stringhe

Le particelle potrebbero non essere puntiformi ...

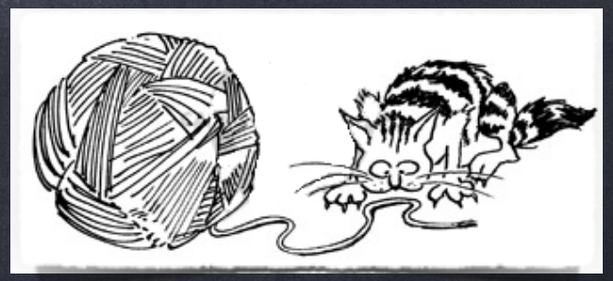
... a piccolissime distanze potrebbero avere la struttura di microscopiche stringhe



Diverse particelle potrebbero corrispondere ai diversi modi di vibrazione di una sola stringa

↓

la "teoria del tutto":
una sola "entità" fondamentale e una sola forza fondamentale



Grazie per la vostra attenzione