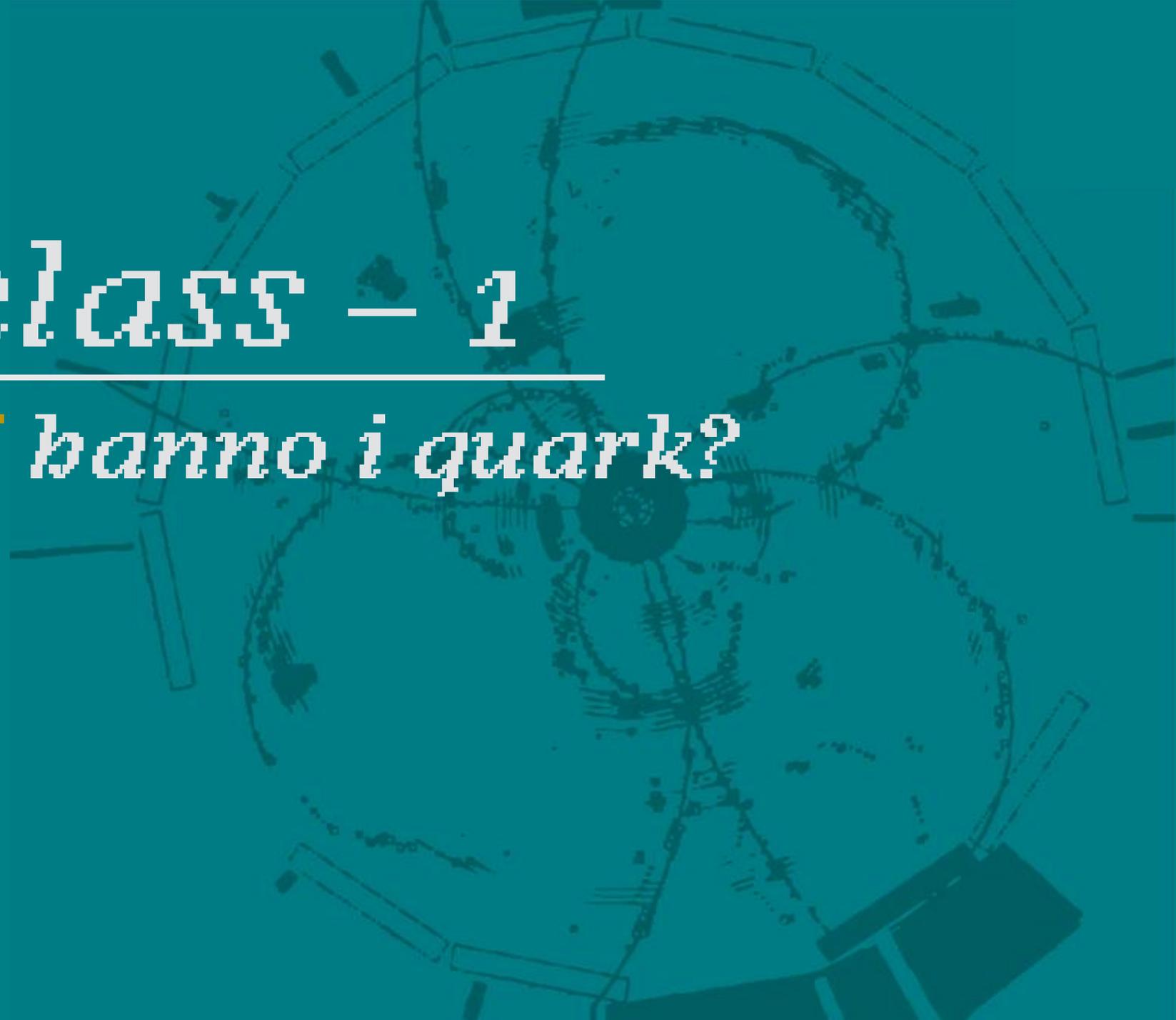
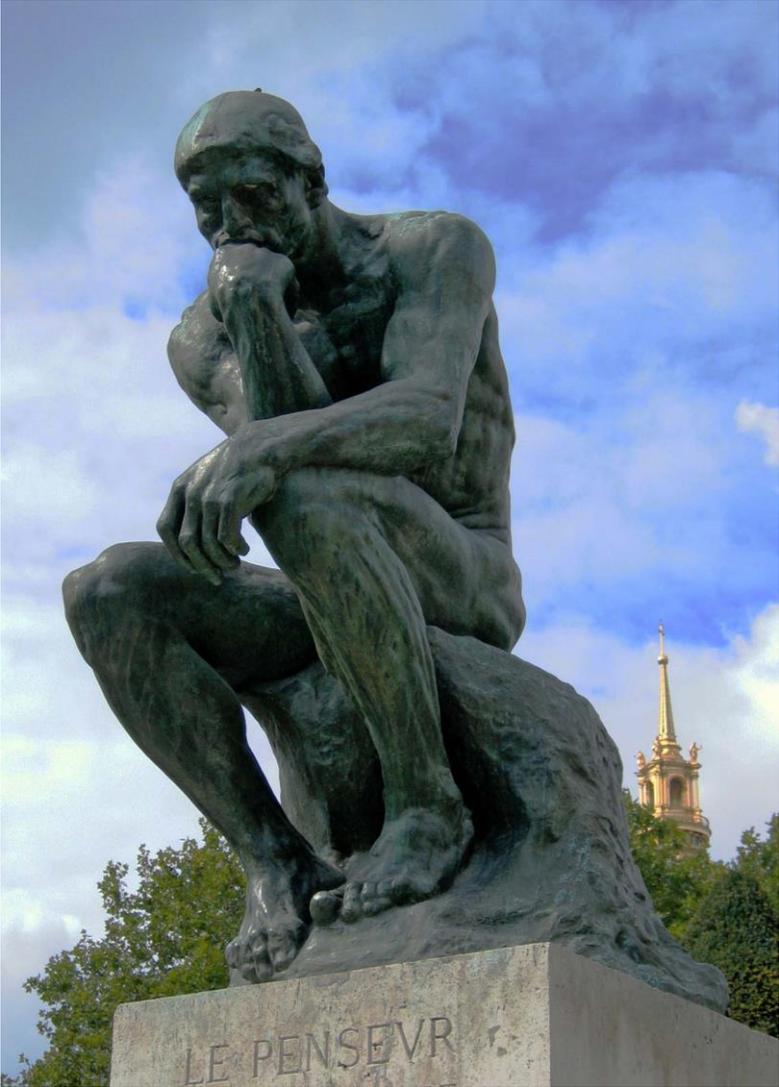


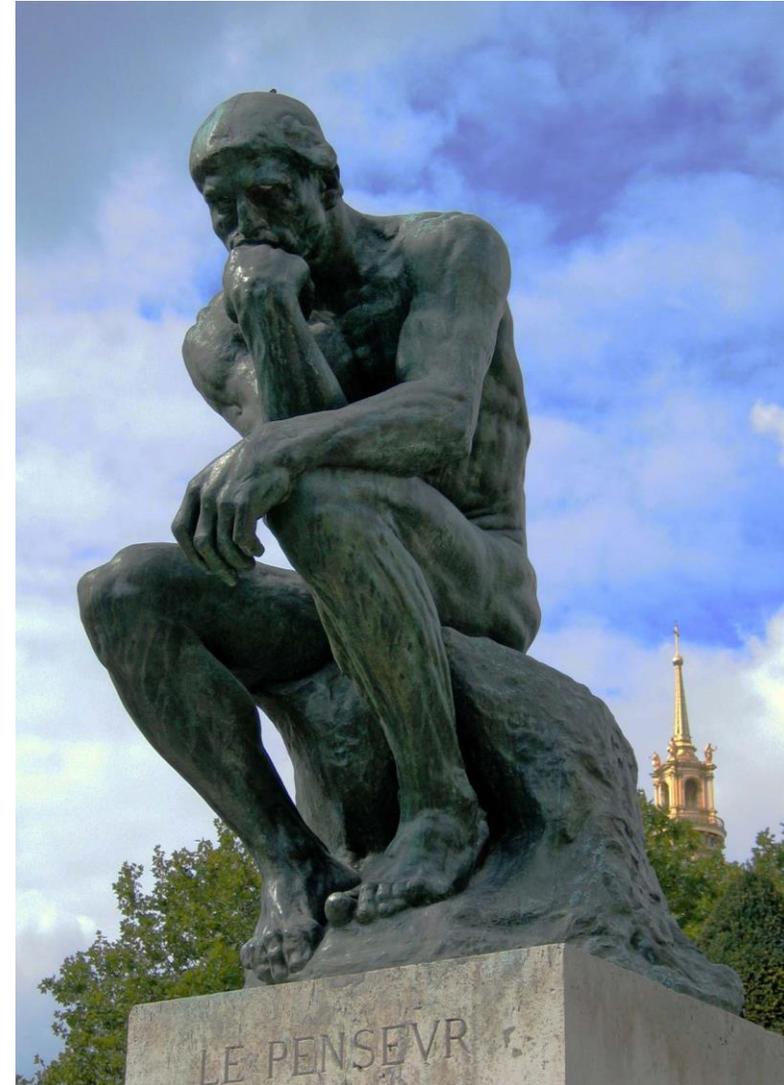
Masterclass – 1

Quanti colori hanno i quark?



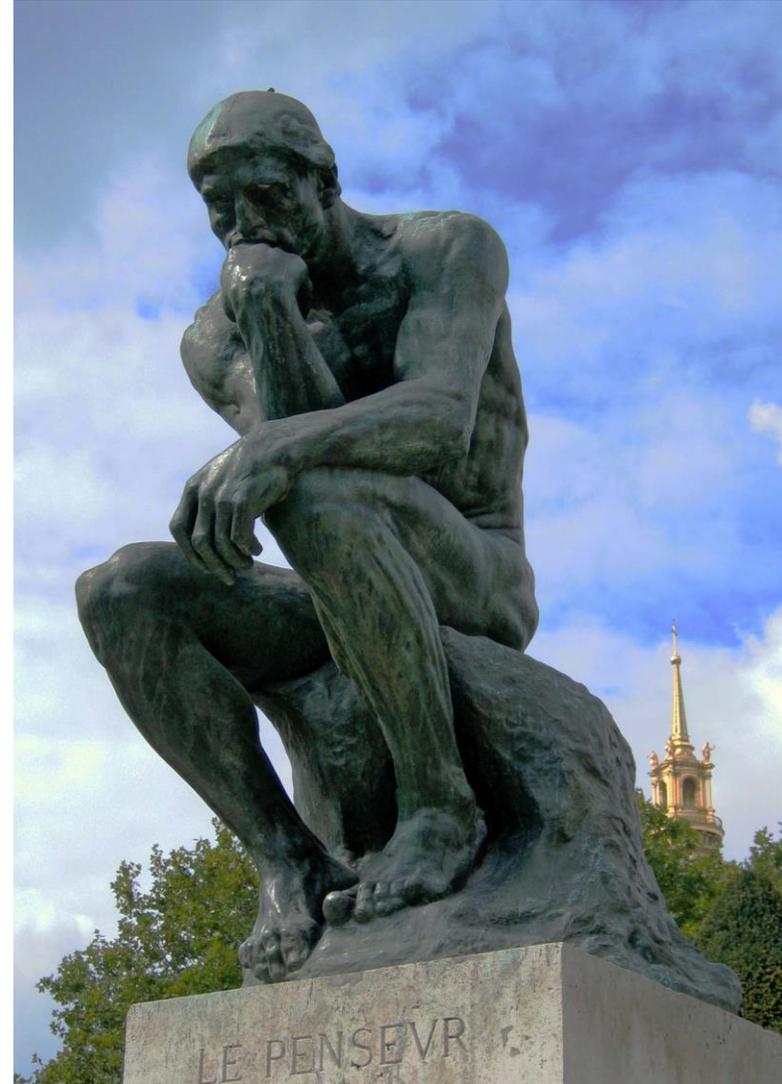


A cosa pensiamo di solito?



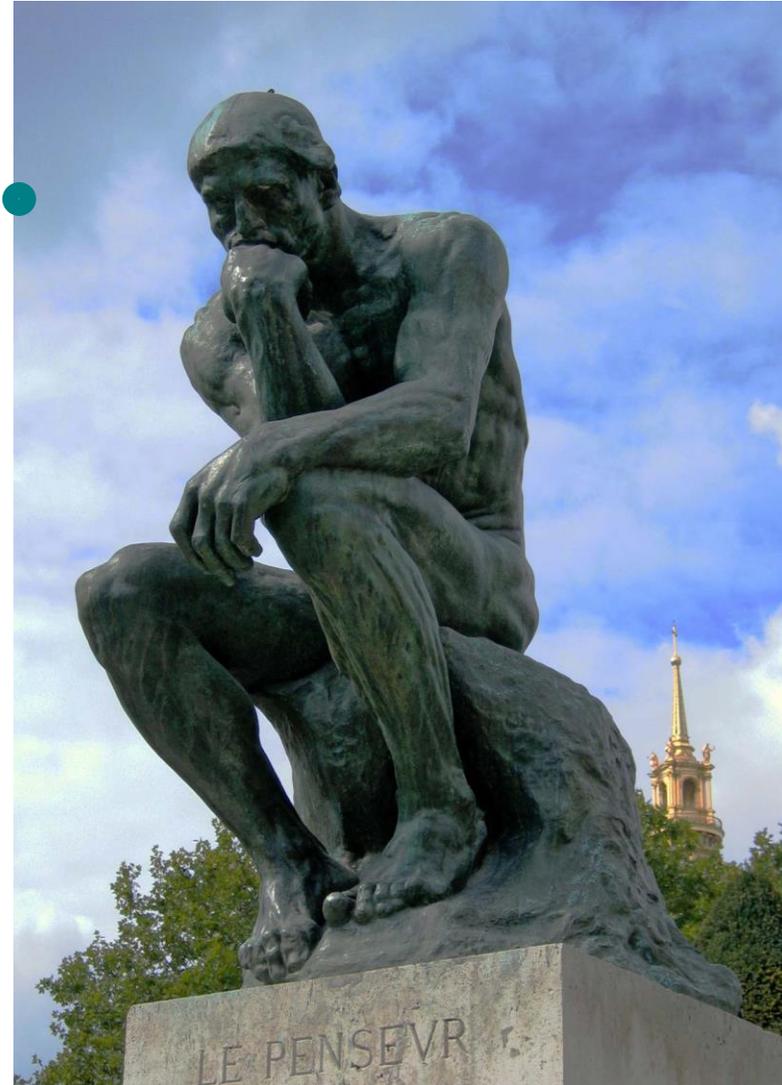
A cosa pensiamo di solito?

Che fame, dove
posso prendere del
cibo?



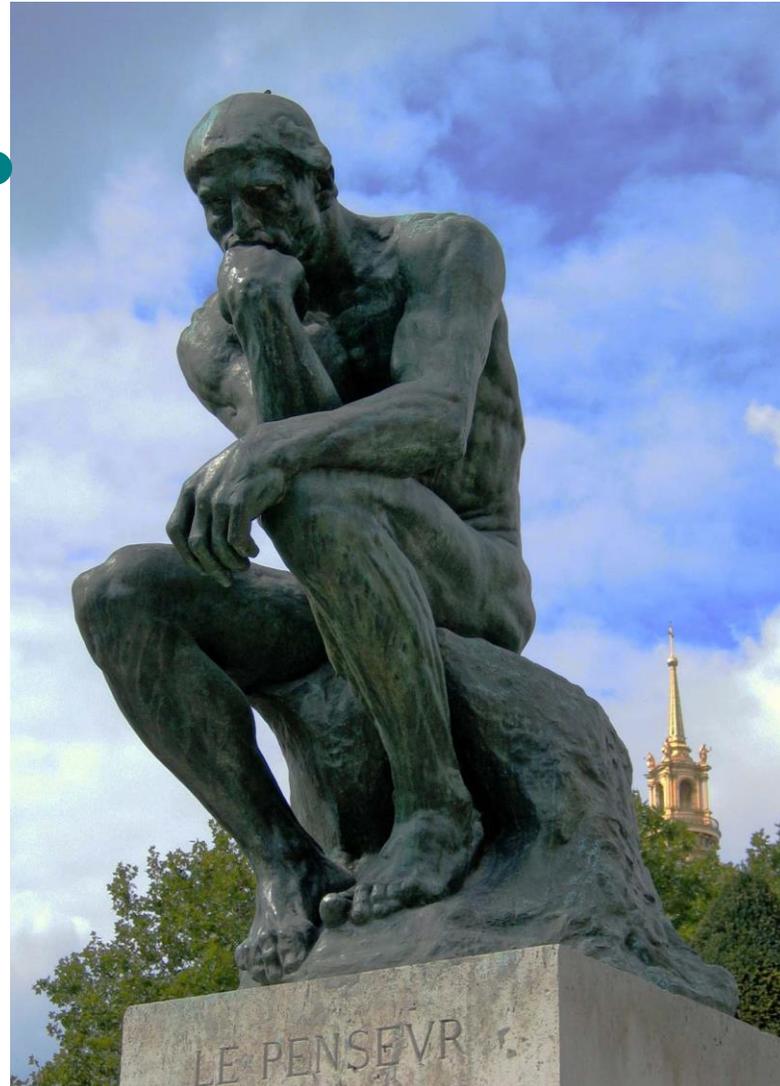
A cosa pensiamo di solito?

Sono sazio e annoiato –
Aspetta, quale parte di me
sta pensando?



A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

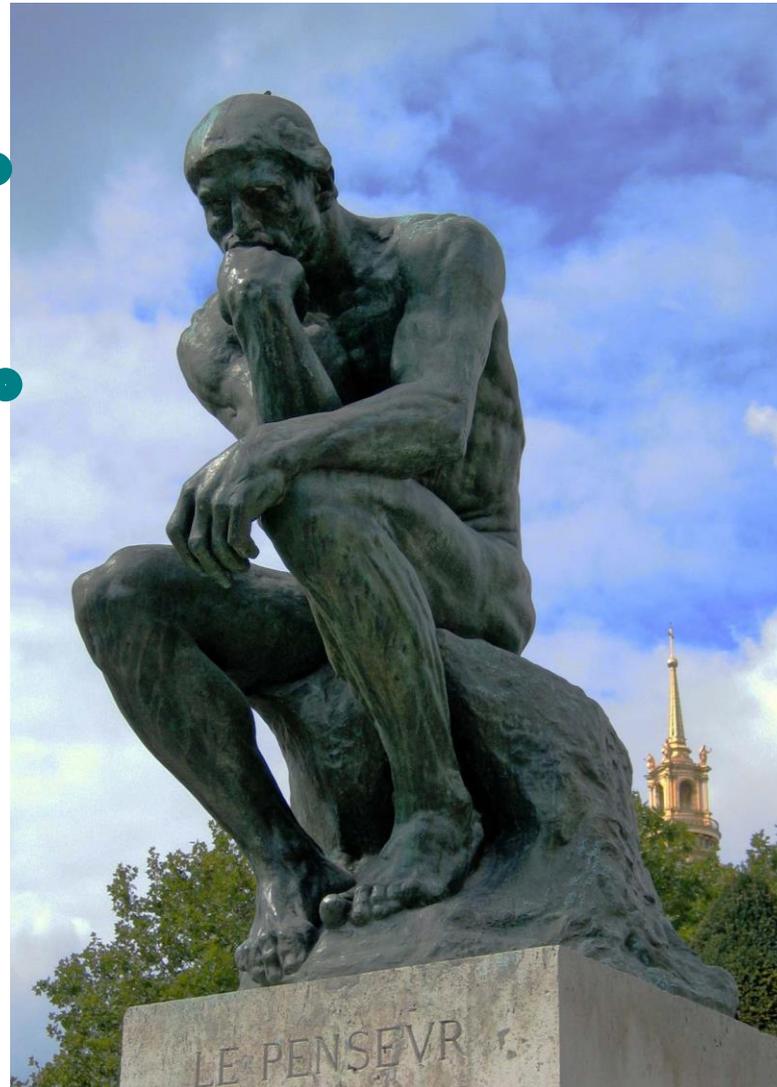
Di cosa sono
fatto?



A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono
fatto?

... e di cosa è
fatto
l'universo?

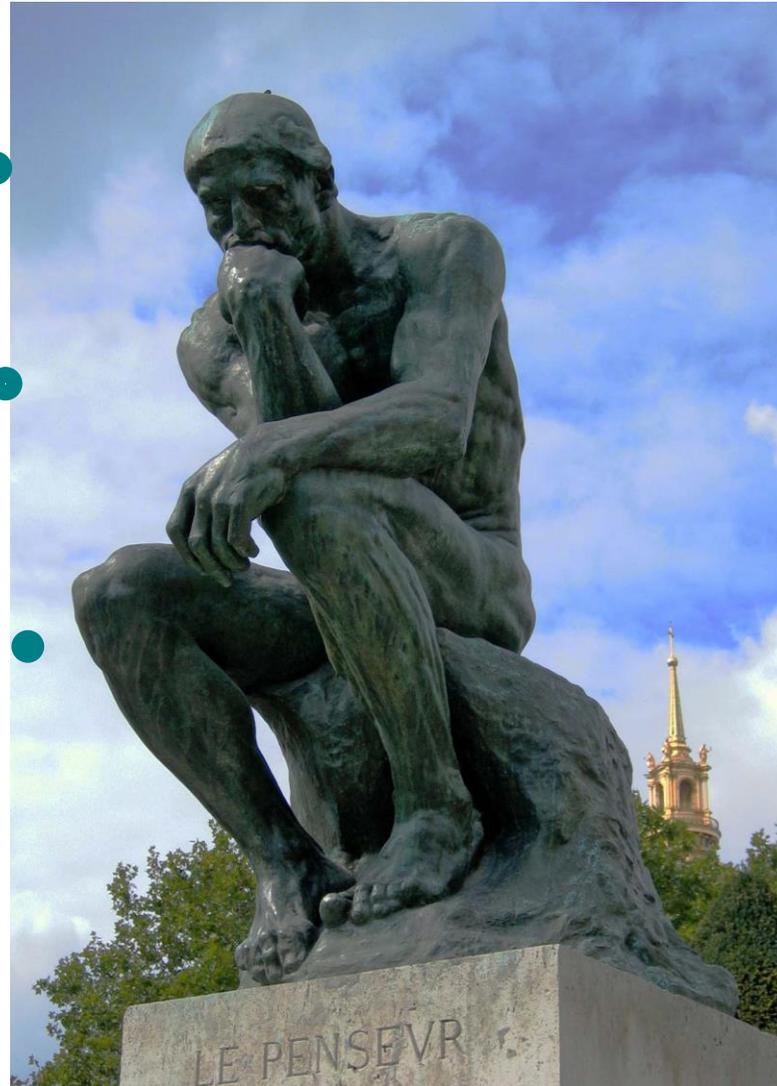


A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono
fatto?

... e di cosa è
fatto
l'universo?

... Cos'è
l'universo?

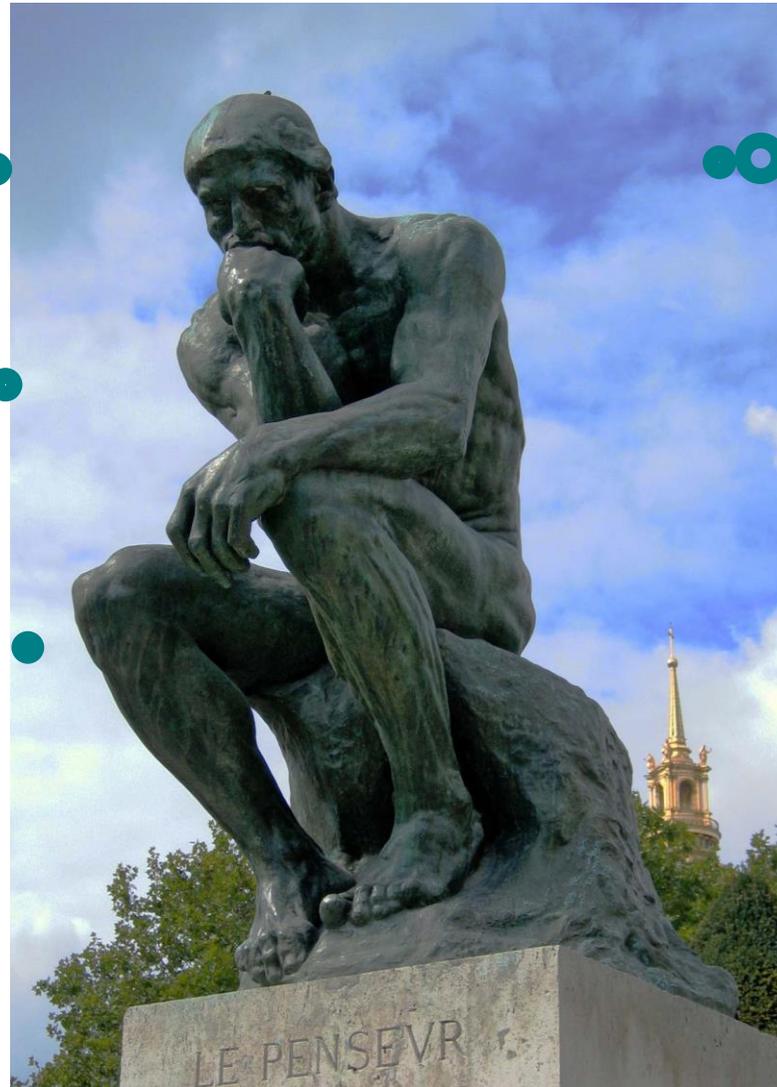


A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono
fatto?

... e di cosa è
fatto
l'universo?

... Cos'è
l'universo?



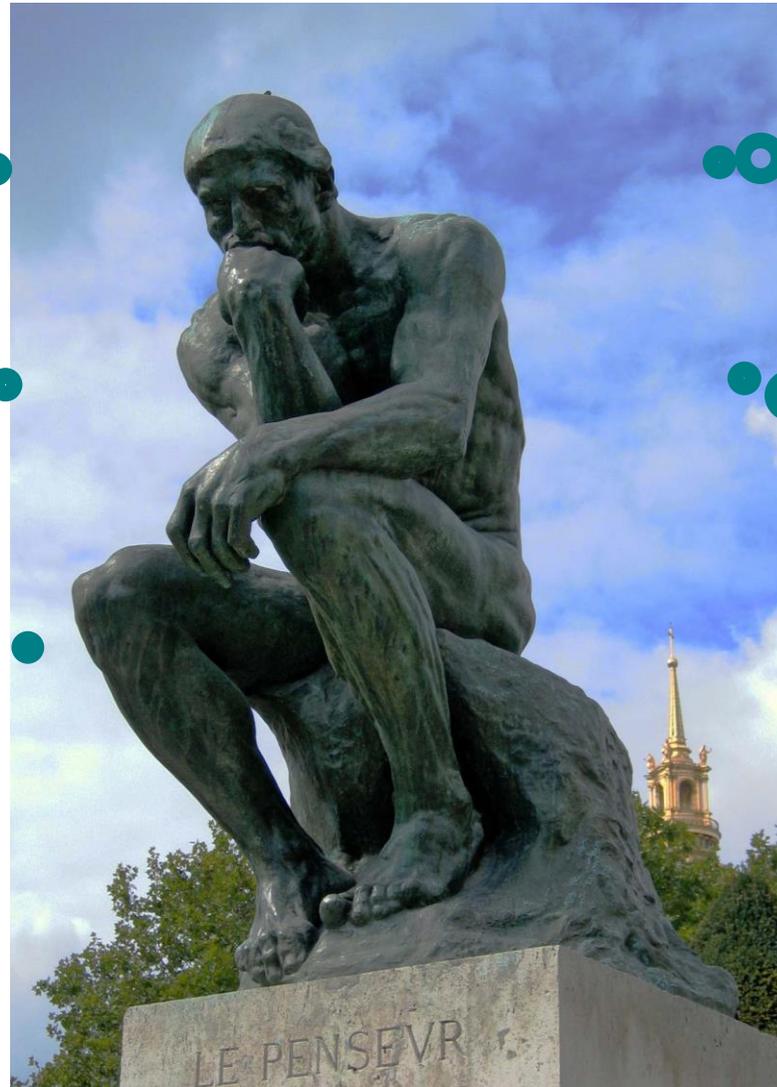
... E come è
nato tutto
questo?

A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono fatto?

... e di cosa è fatto l'universo?

... Cos'è l'universo?



... E come è nato tutto questo?

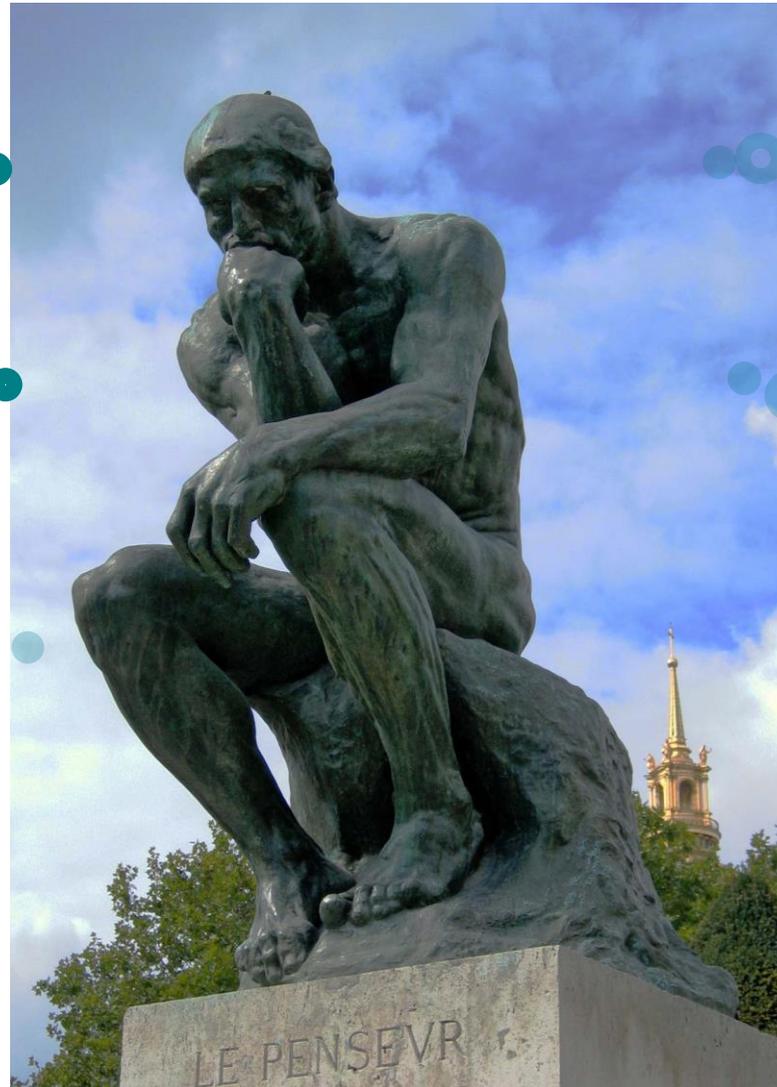
... Come e perché funziona?

A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono fatto?

... e di cosa è fatto l'universo?

... Cos'è l'universo?



... E come è nato tutto questo?

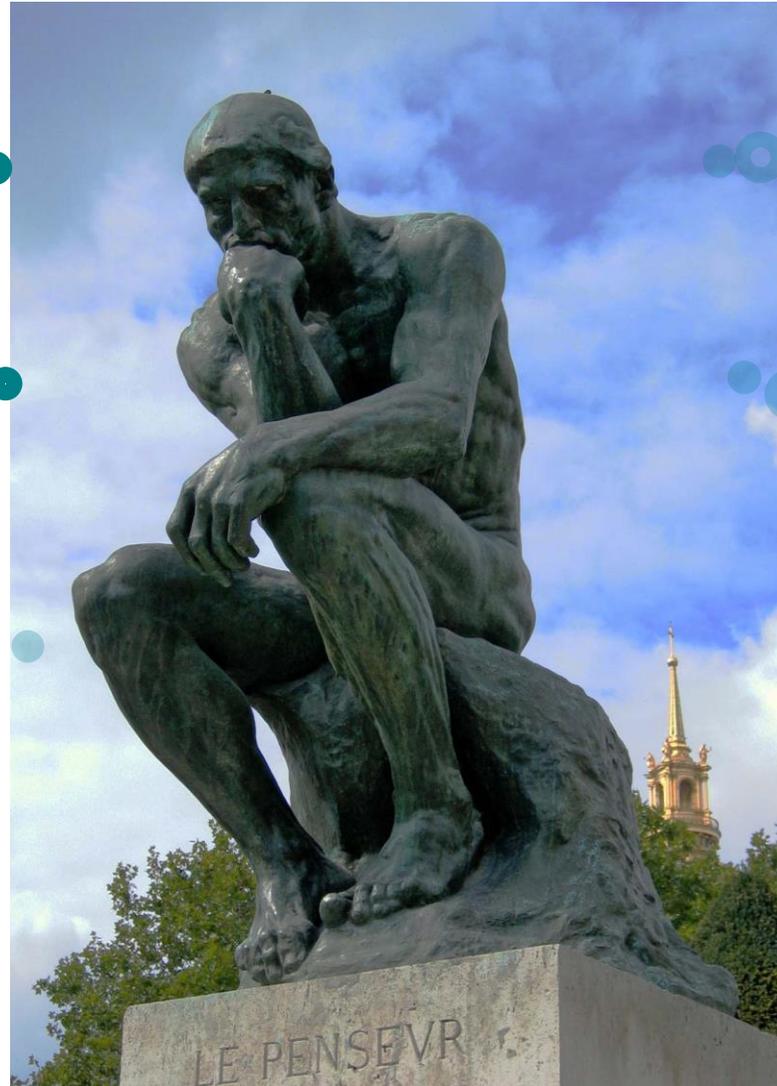
... Come e perché funziona?

A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono fatto?

... e di cosa è fatto l'universo?

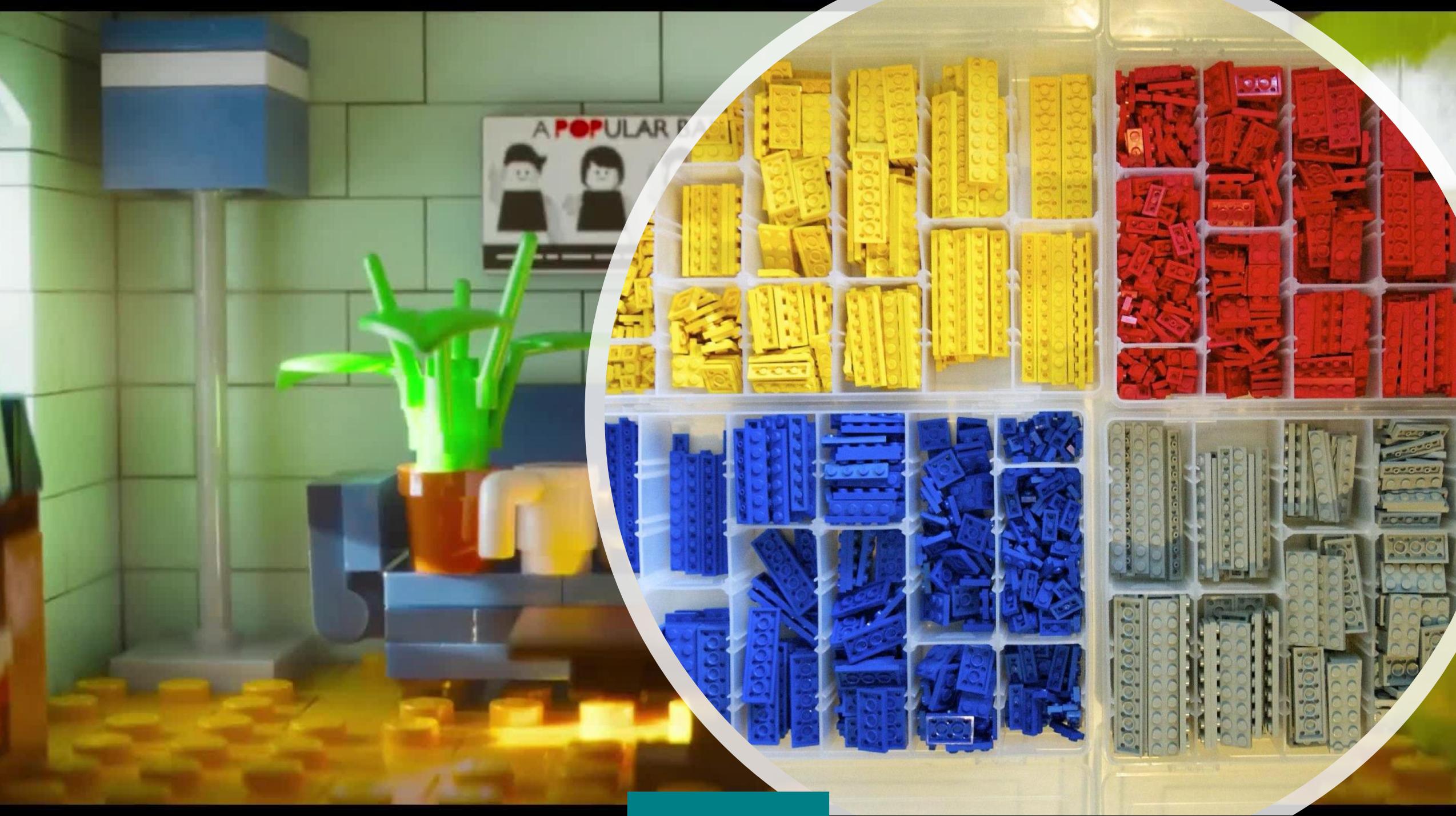
... Cos'è l'universo?



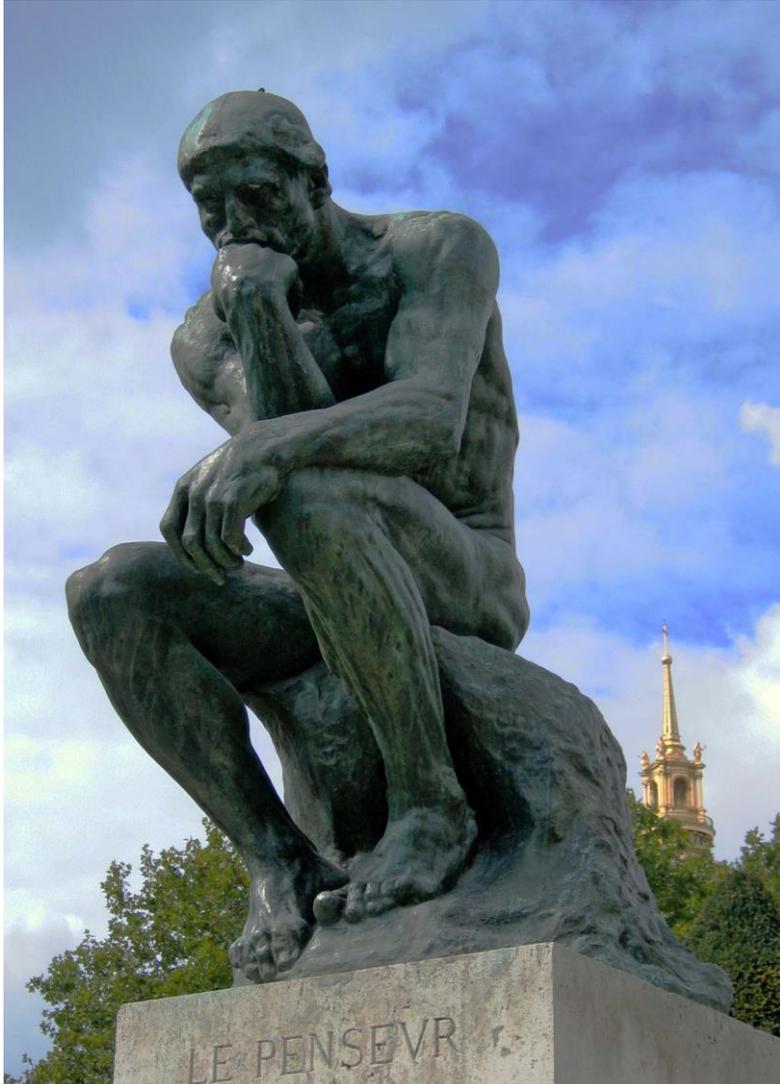
... E come è nato tutto questo?

... Come e perché funziona?





Quali sono i blocchi fondamentali dell'universo?



Iniziamo a cercare cose sempre più piccole, per vedere da cosa sono composte

Blocchi fondamentali: sempre più piccoli

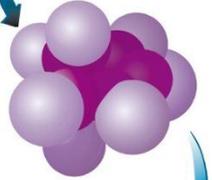
- **Chimica:** Composizione dei cristalli/molecole (unità fondamentale: atomi)

≈ 0,01 m
Kristall
Crystal



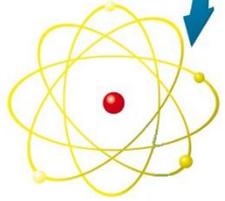
1/10.000.000

10⁻⁹ m
Molekül
Molecule



1/10

10⁻¹⁰ m
Atom
Atom



Il «Modello Standard» della Chimica

- Tutta la materia è composta da **atomi**.
- Possiamo metterli in una **tavola periodica** per poterli studiare.
 - Righe e colonne differenziano le proprietà degli elementi.

Il «Modello Standard» della Chimica

Tavola periodica degli elementi

1																		18																	
I																		VIII																	
1 H Idrogeno 1.008 2.2																	2 He Elio 4.00																		
3 Li Litio 6.941 0.98	4 Be Berillio 9.012 1.57																	5 B Boro 10.81 2.04	6 C Carbonio 12.01 2.55	7 N Azoto 14.01 3.04	8 O Ossigeno 16.00 3.44	9 F Fluoro 19.00 3.98	10 Ne Neon 20.18												
11 Na Sodio 22.10 0.93	12 Mg Magnesio 24.31 1.31																	13 Al Alluminio 26.98 1.61	14 Si Silicio 28.09 1.90	15 P Fosforo 30.97 2.19	16 S Zolfo 32.06 2.58	17 Cl Cloro 35.45 3.16	18 Ar Argon 39.95												
19 K Potassio 39.10 0.82	20 Ca Calcio 40.08 1.0	21 Sc Scandio 44.97 1.36	22 Ti Titanio 47.87 1.54	23 V Vanadio 50.94 1.63	24 Cr Cromo 51.10 1.66	25 Mn Manganese 54.94 1.55	26 Fe Ferro 55.85 1.83	27 Co Cobalto 58.93 1.88	28 Ni Nichel 58.7 1.91	29 Cu Rame 63.55 1.90	30 Zn Zinco 65.38 1.65	31 Ga Gallio 69.72 1.81	32 Ge Germanio 72.59 2.01	33 As Arsenico 74.92 2.18	34 Se Selenio 78.96 2.55	35 Br Bromo 79.90 2.96	36 Kr Krypton 83.8																		
37 Rb Rubidio 84.47 0.82	38 Sr Stronzio 87.62 0.95	39 Y Yttrio 88.91 1.22	40 Zr Zirconio 91.22 1.33	41 Nb Niobio 92.91 1.6	42 Mo Molibdeno 95.95 2.16	43 Tc Tecnezio [98] 1.90	44 Ru Rutenio 101.1 2.20	45 Rh Rodio 102.91 2.28	46 Pd Palladio 106.4 2.2	47 Ag Argento 107.9 1.93	48 Cd Cadmio 112.4 1.69	49 In Indio 114.8 1.78	50 Sn Stagno 118.7 1.80	51 Sb Antimonio 121.8 2.05	52 Te Tellurio 127.6 2.10	53 I Iodio 127.0 2.66	54 Xe Xenon 131.3																		
55 Cs Cesio 132.91 0.79	56 Ba Bario 137.33 0.89	57 La Lantanio 138.91 1.10	72 Hf Afnio 178.49 1.30	73 Ta Tantalio 180.95 1.50	74 W Tungsteno 183.84 2.36	75 Re Renio 186.2 1.90	76 Os Osmio 190.2 2.20	77 Ir Iridio 192.2 2.20	78 Pt Platino 195.1 2.28	79 Au Oro 196.9 2.54	80 Hg Mercurio 201.0 2.00	81 Tl Tallio 204.3 2.04	82 Pb Piombo 207.2 2.33	83 Bi Bismuto 209.0 2.02	84 Po Polonio [209] 2.00	85 At Astatio [210] 2.20	86 Rn Radon [222]																		
87 Fr Francio 223.02 0.70	88 Ra Radon 226.03 0.90	89 Ac Attinio 227.03 1.10	104 Rf Rutherfordio [261]	105 Db Dubnio [262]	106 Sg Seaborgio [266]	107 Bh Bohrio [264]	108 Hs Hassio --	109 Mt Meitnerio --	110 Ds Darmstadtio [271]	111 Rg Roentgenio [272]	112 Cn Copernicio [285]	113 Nh Nihonio --	114 Fl Flerovio --	115 Mc Moscovio --	116 Lv Livermorio --	117 Ts Tennesso --	118 Og Oganesson --																		
																		58 Ce Cerio 140 1.12	59 Pr Praseodimio 141 1.13	60 Nd Neodimio 144 1.14	61 Pm Promezio [145] --	62 Sm Samario 150 1.17	63 Eu Europio 152 --	64 Gd Gadolinio 157 1.20	65 Tb Terbio 159 --	66 Dy Disprosio 163 1.22	67 Ho Olmio 165 1.23	68 Er Erbio 167 1.24	69 Tm Tullio 169 1.25	70 Yb Itterbio 173 --	71 Lu Lutezio 175 1.27				
																		90 Th Torio 232 1.30	91 Pa Protoattinio [209] 1.50	92 U Uranio 238 1.38	93 Np Nettunio 237 1.36	94 Pu Plutonio [244] 1.28	95 Am Americio [243] 1.30	96 Cm Curio [247] 1.30	97 Bk Berkelio [247] 1.30	98 Cf Californio [247] 1.30	99 Es Einstenio [252] 1.30	100 Fm Fermio [257] 1.30	101 Md Mendelevio [258] 1.30	102 No Nobelio [259] 1.30	103 La Laurenzio [260] --				

Z = numero atomico

numeri di ossidazione

massa atomica

elettronegatività



Blocchi fondamentali: sempre più piccoli

- **Chimica:** Composizione dei cristalli/molecole (unità fondamentale: atomi)
- **Fisica degli Atomi:** Composizioni di atomi (nuclei, elettroni)



$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

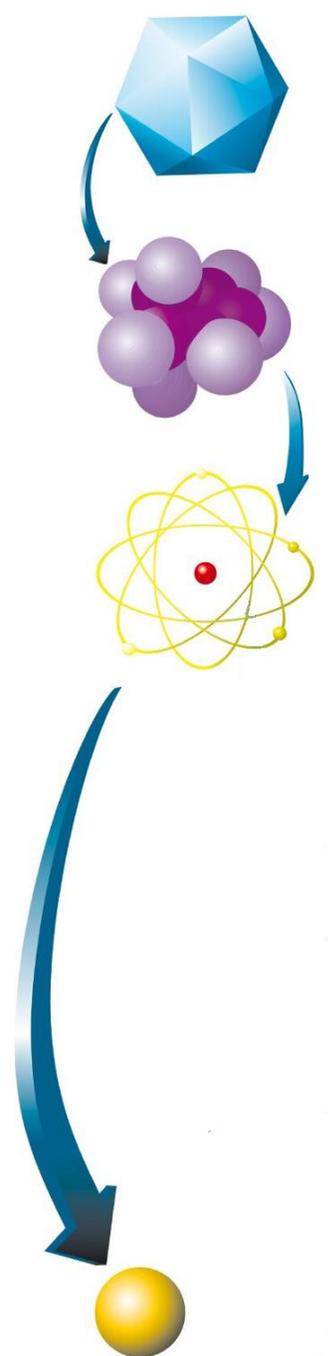
1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

10^{-10} m
Atom
Atom

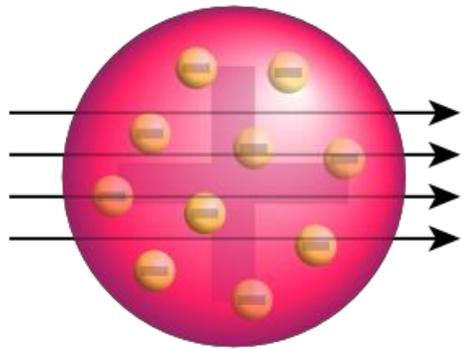
$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



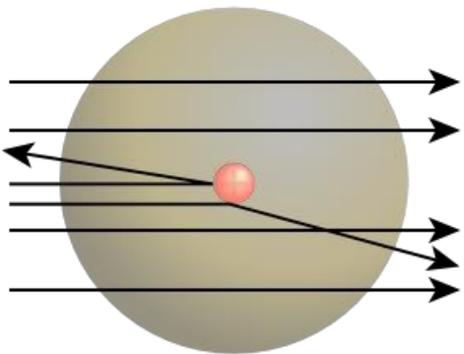
Come puoi studiare particelle così piccole?

Facendo molte collisioni

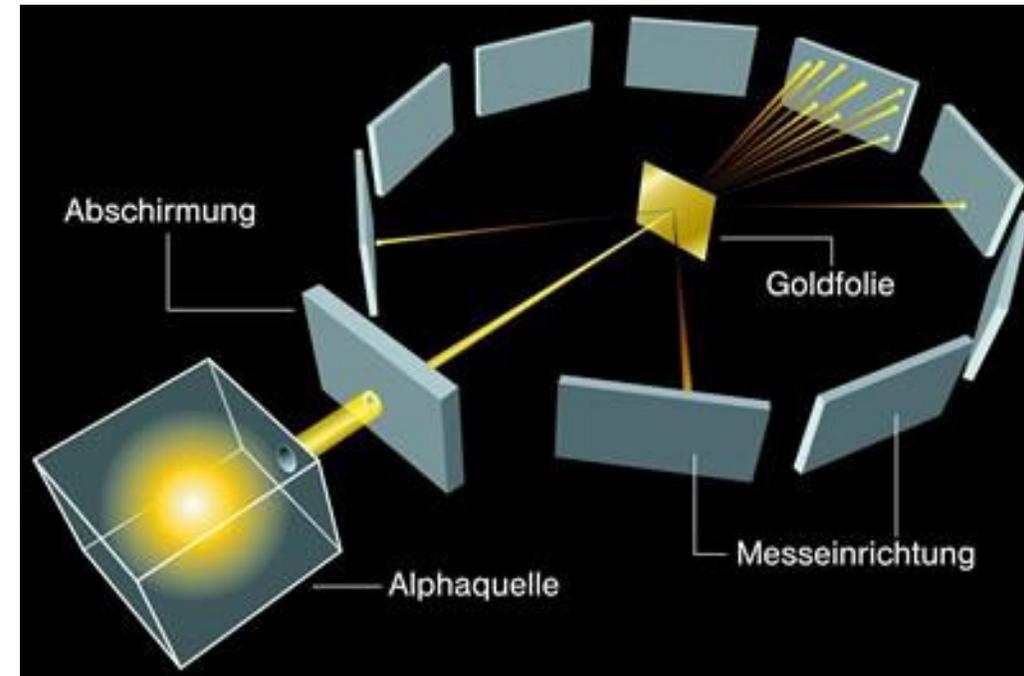
Rutherford 1910: particelle α contro fogli di oro



➤ **Gli atomi non sono elementari**, ma hanno una struttura interna.

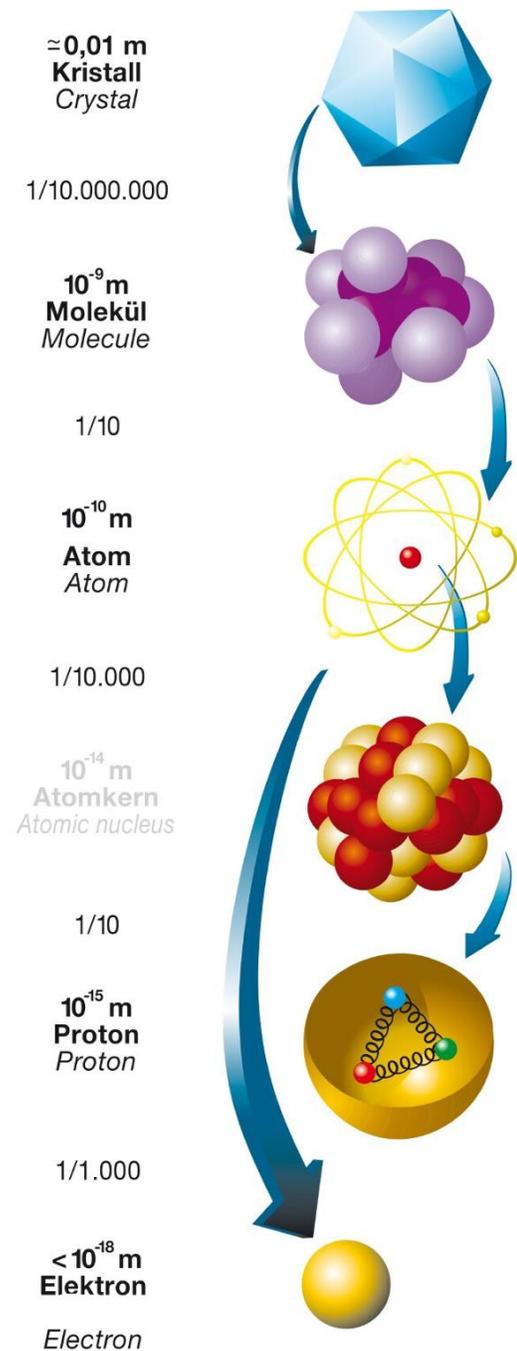


➤ Sono composti da un piccolo, pesante e carico positivamente nucleo e da un guscio vuoto in cui ci sono gli elettroni



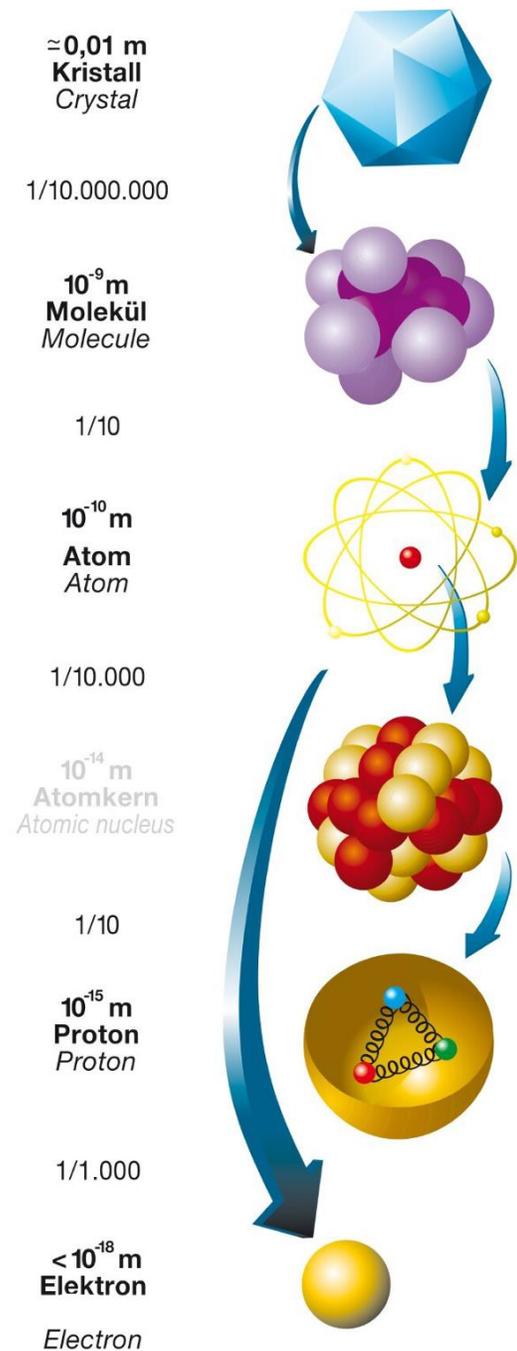
Blocchi fondamentali: sempre più piccoli

- **Chimica:** Composizione dei cristalli/molecole (unità fondamentale: atomi)
- **Fisica degli Atomi:** Composizioni di atomi (nuclei, elettroni)
- **Fisica Nucleare:** Composizione dei nuclei (protoni e neutroni)



Blocchi fondamentali: sempre più piccoli

- **Chimica:** Composizione dei cristalli/molecole (unità fondamentale: atomi)
- **Fisica degli Atomi:** Composizioni di atomi (nuclei, elettroni)
- **Fisica Nucleare:** Composizione dei nuclei (protoni e neutroni)
- **Fisica delle particelle:** Composizione di protoni, neutroni: quarks, che sono particelle elementari come l'elettrone.



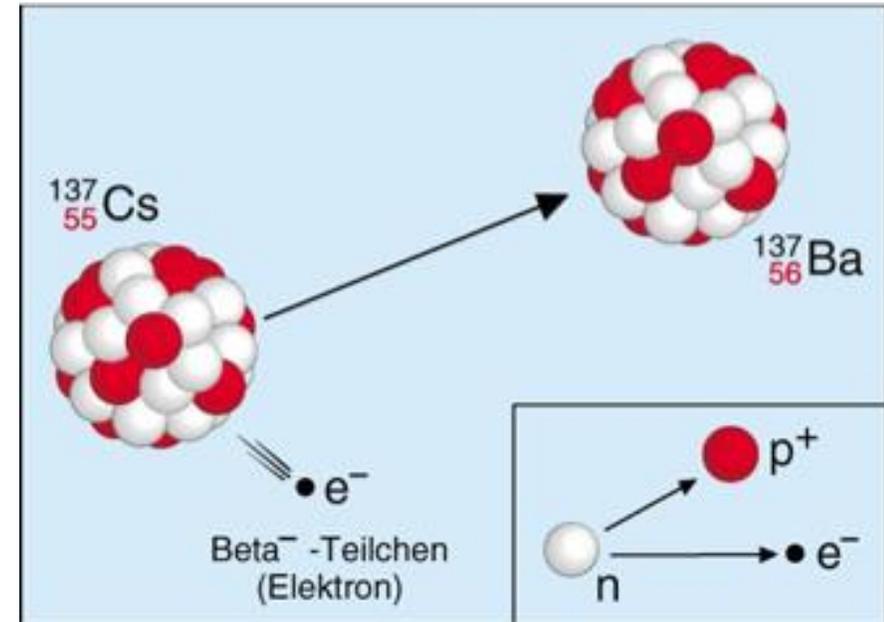
Ci sono altre particelle elementari?

Nel 1930 Pauli scoprì un'altra particella che poteva spiegare il decadimento β dei nuclei atomici.

Neutrino



- Carica Elettrica: 0
- Interagisce pochissimo



Il Modello Standard della Fisica delle Particelle

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Nucleoni



$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

$1/10.000.000$

10^{-9} m
Molekül
Molecule

$1/10$

10^{-10} m
Atom
Atom

$1/10.000$

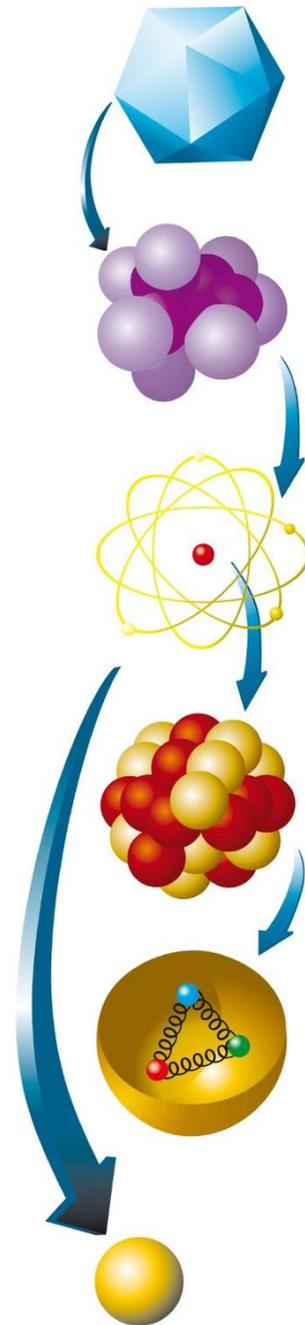
10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus

$1/10$

10^{-15} m
Proton
Proton

$1/1.000$

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron

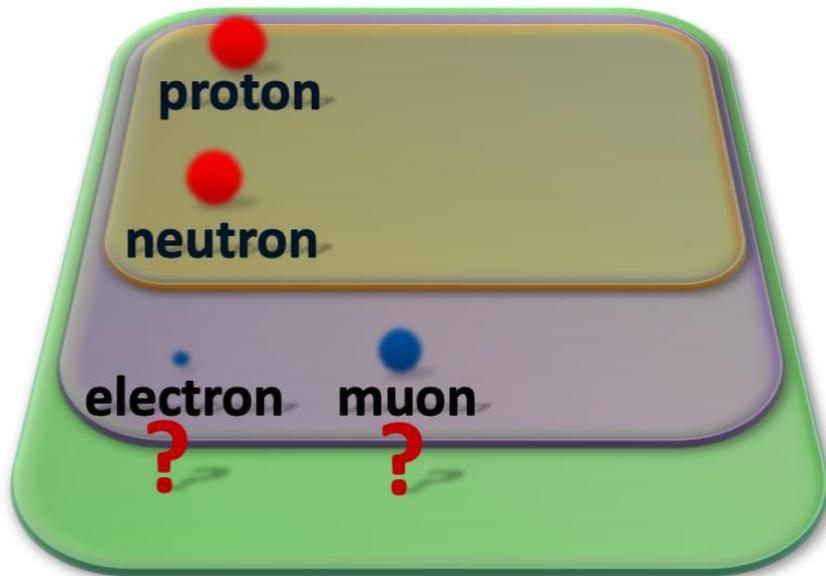


Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Nucleoni

Leptoni



Dai Raggi Cosmici provengono tante altre particelle!!

$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

$1/10.000.000$

10^{-9} m
Molekül
Molecule

$1/10$

10^{-10} m
Atom
Atom

$1/10.000$

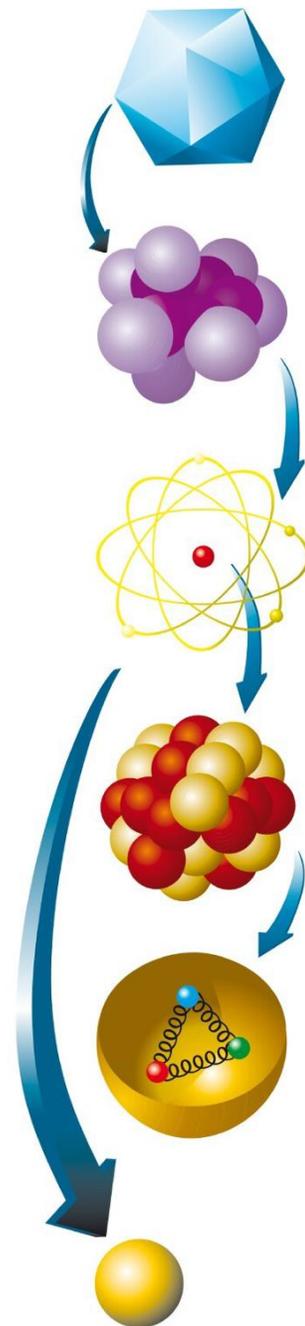
10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus

$1/10$

10^{-15} m
Proton
Proton

$1/1.000$

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



Blu: Elettroni/Positroni

Ciano: Fotoni

Rosso: Neutroni

Arancio: Protoni

Grigio: Mesoni

Verde: Muoni

1000 particelle per m^2
al secondo!!



Blu: Elettroni/Positroni

Ciano: Fotoni

Rosso: Neutroni

Arancio: Protoni

Grigio: Mesoni

Verde: Muoni



Blu: Elettroni/Positroni

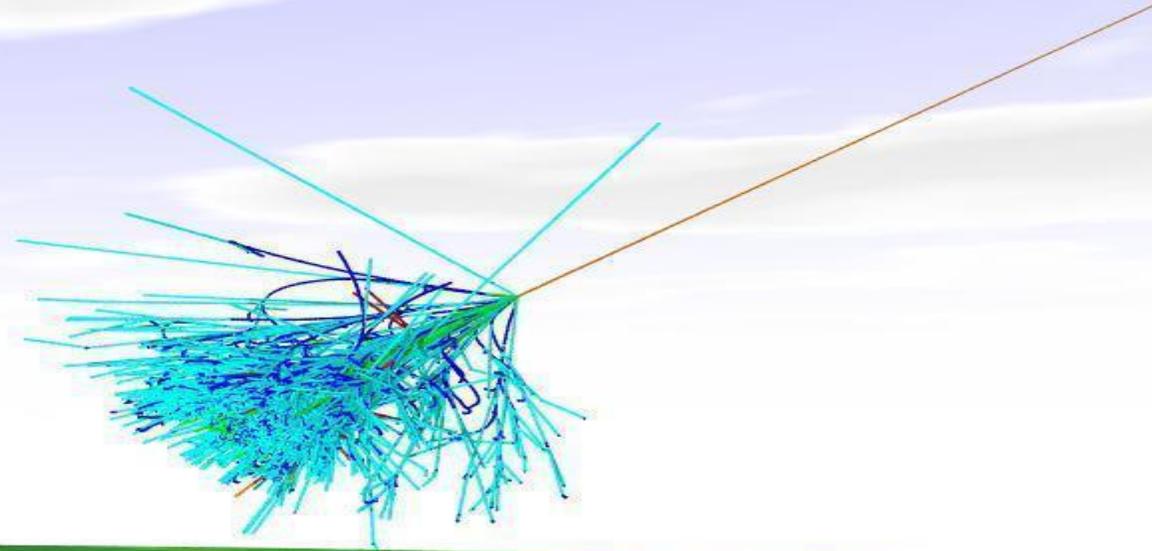
Ciano: Fotoni

Rosso: Neutroni

Arancio: Protoni

Grigio: Mesoni

Verde: Muoni



Blu: Elettroni/Positroni

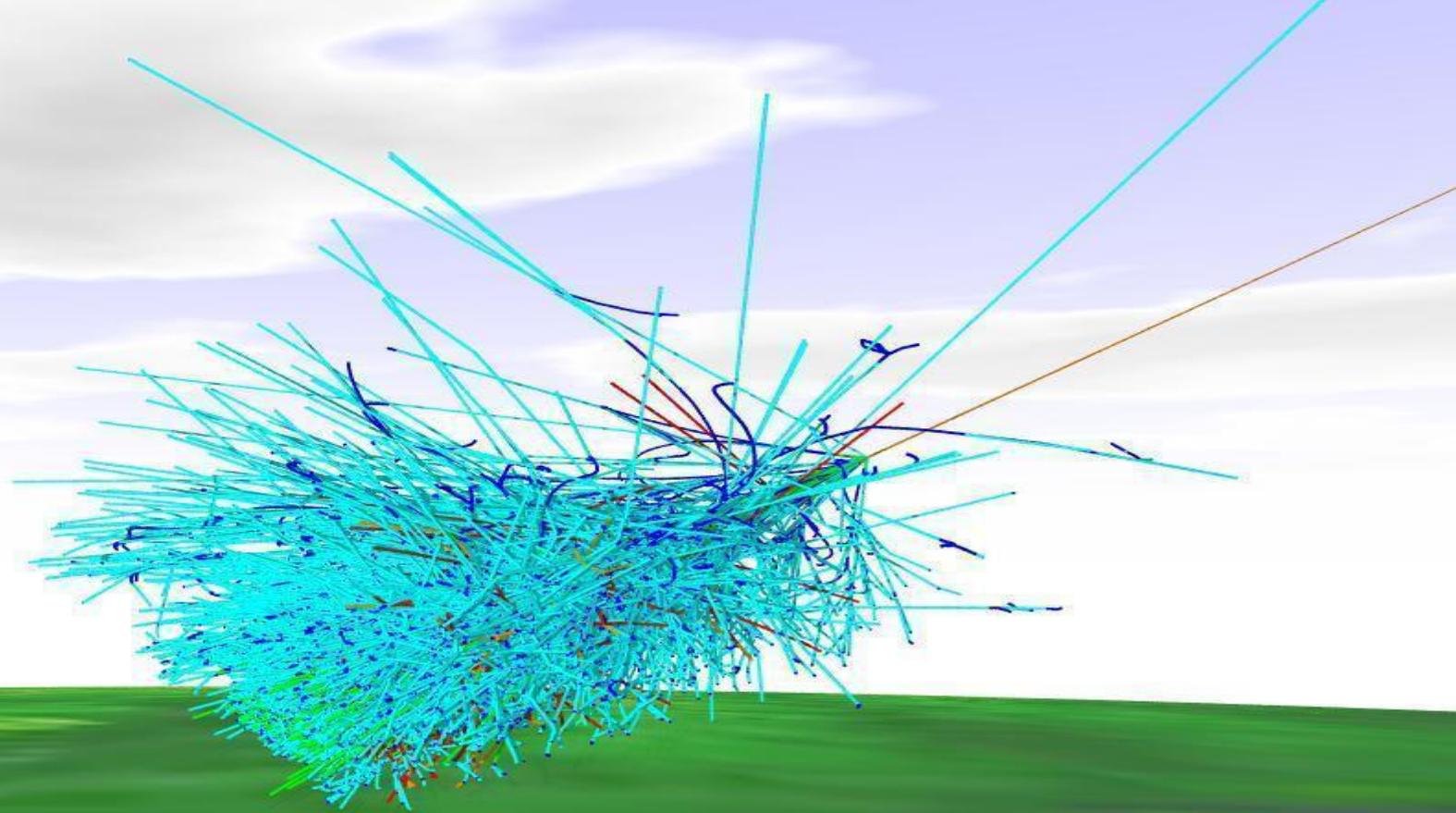
Ciano: Fotoni

Rosso: Neutroni

Arancio: Protoni

Grigio: Mesoni

Verde: Muoni



Blu: Elettroni/Positroni

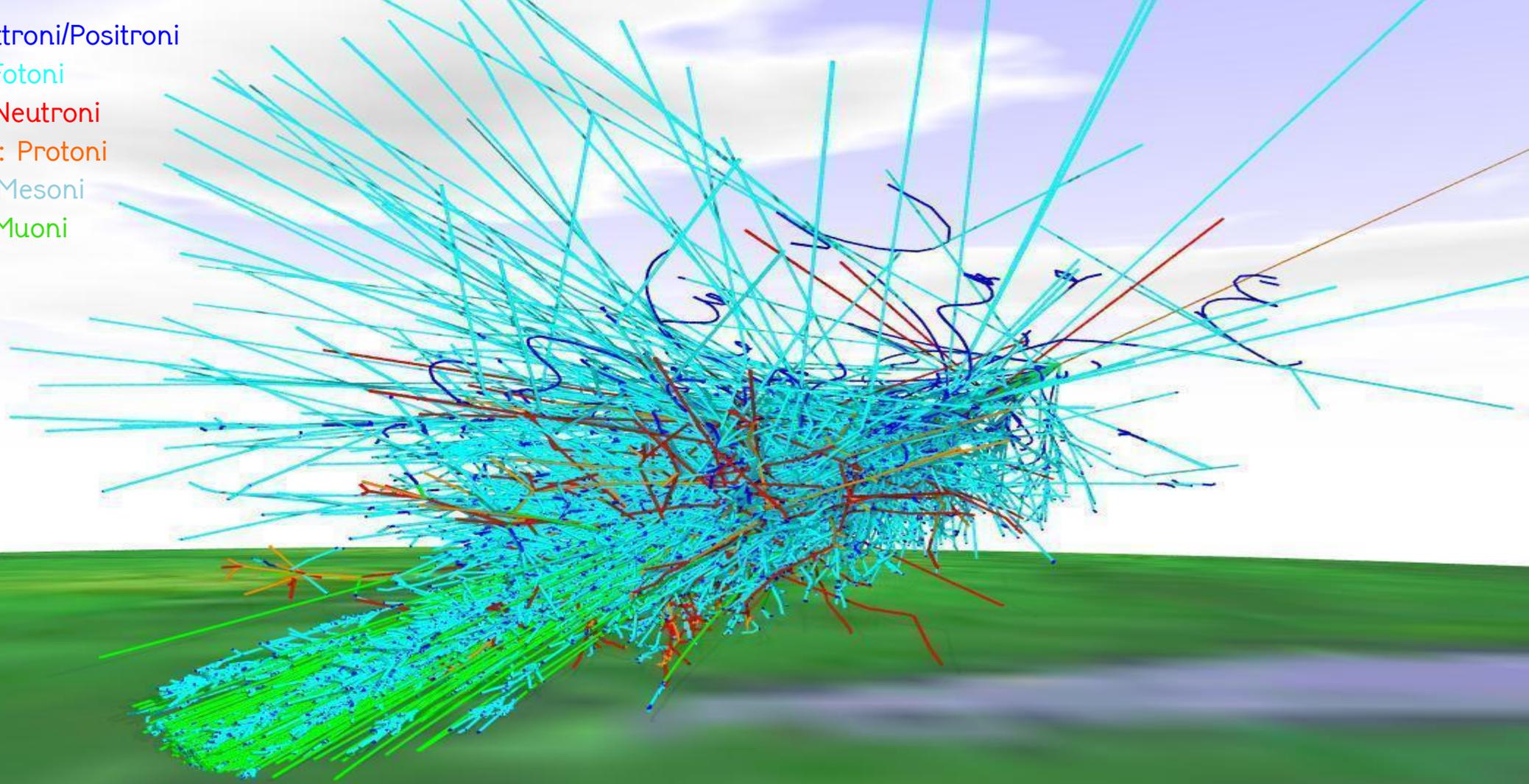
Ciano: Fotoni

Rosso: Neutroni

Arancio: Protoni

Grigio: Mesoni

Verde: Muoni



Blu: Elettroni/Positroni

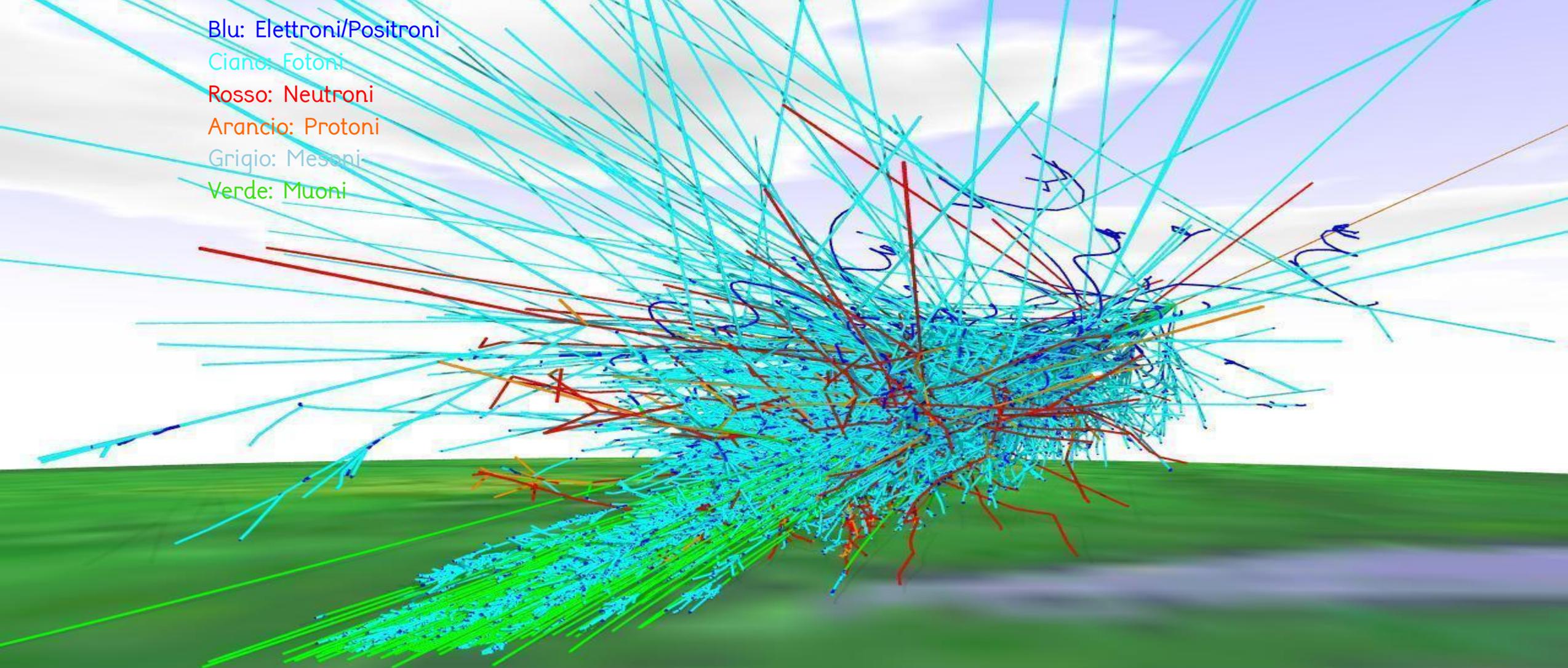
Ciano: Fotoni

Rosso: Neutroni

Arancio: Protoni

Grigio: Mesoni

Verde: Muoni



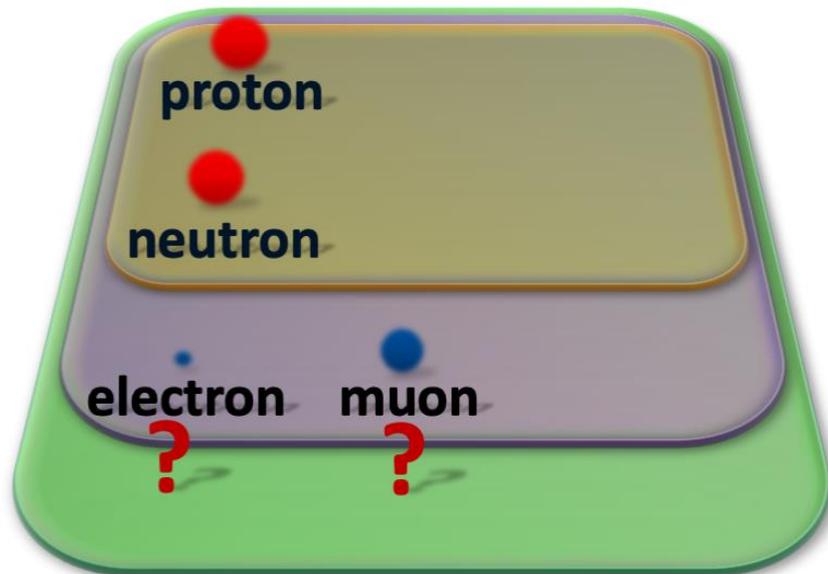
200 Muoni per m^2
Per secondo!

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Nucleoni

Leptoni



$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal



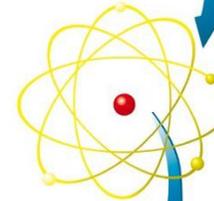
1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule



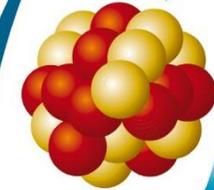
1/10

10^{-10} m
Atom
Atom



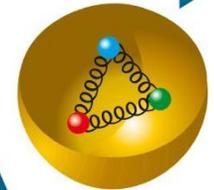
1/10.000

10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus



1/10

10^{-15} m
Proton
Proton



1/1.000

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



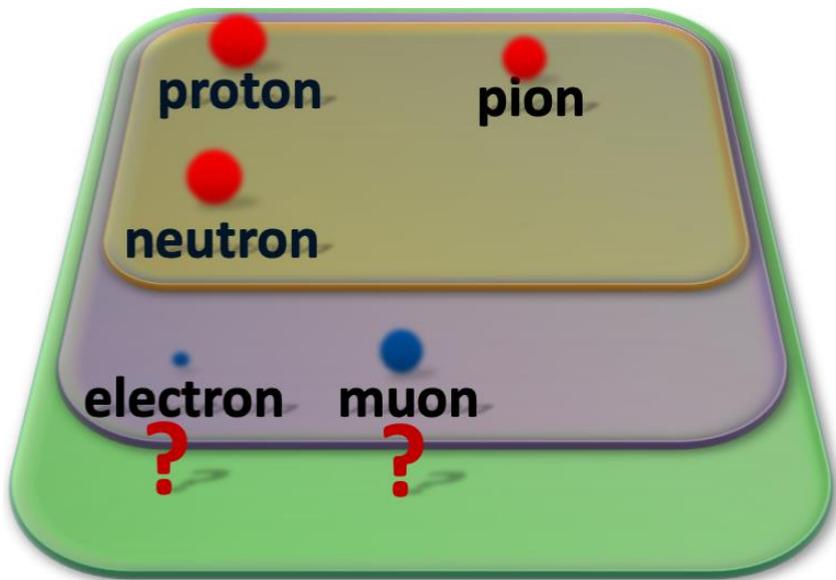
Electron

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Barioni, mesoni

Leptoni



$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal



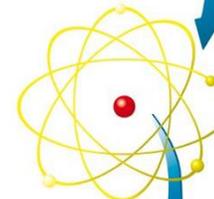
1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule



1/10

10^{-10} m
Atom
Atom



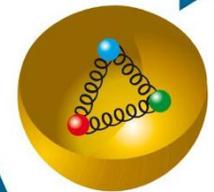
1/10.000

10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus



1/10

10^{-15} m
Proton
Proton



1/1.000

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



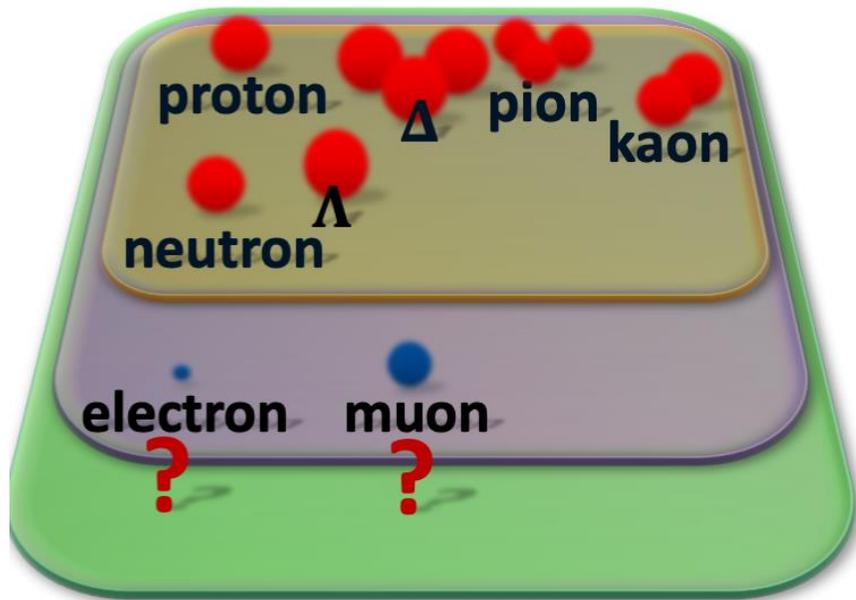
Electron

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Barioni, mesoni

Leptoni



$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

$1/10.000.000$

10^{-9} m
Molekül
Molecule

$1/10$

10^{-10} m
Atom
Atom

$1/10.000$

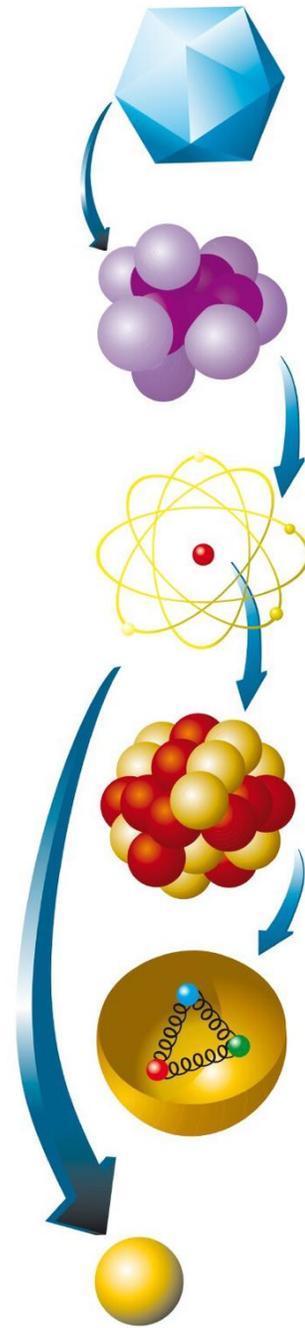
10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus

$1/10$

10^{-15} m
Proton
Proton

$1/1.000$

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron

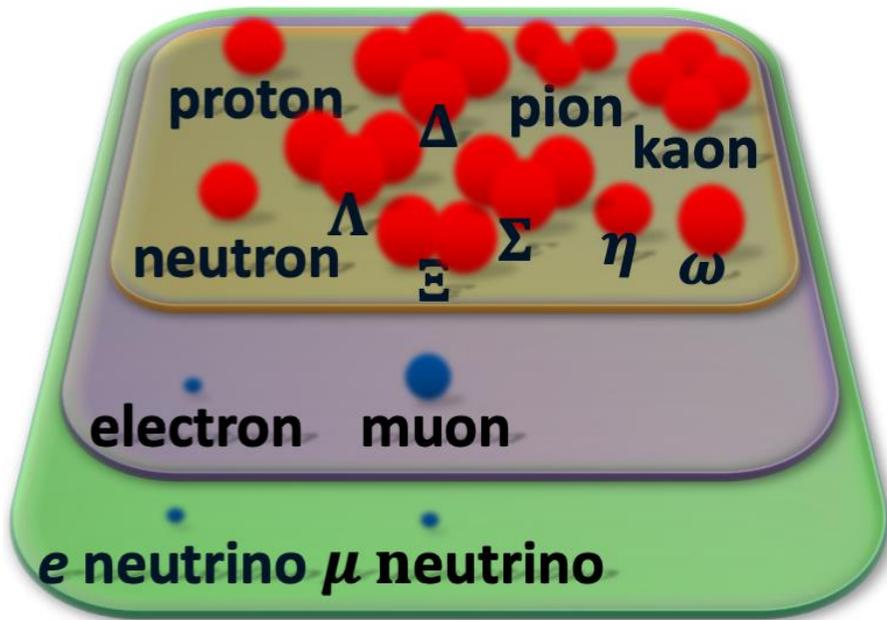


Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Barioni, mesoni

Leptoni



$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal



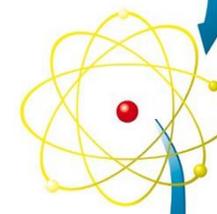
1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule



1/10

10^{-10} m
Atom
Atom



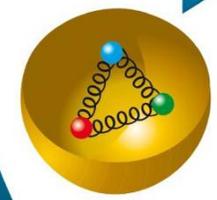
1/10.000

10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus



1/10

10^{-15} m
Proton
Proton



1/1.000

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron

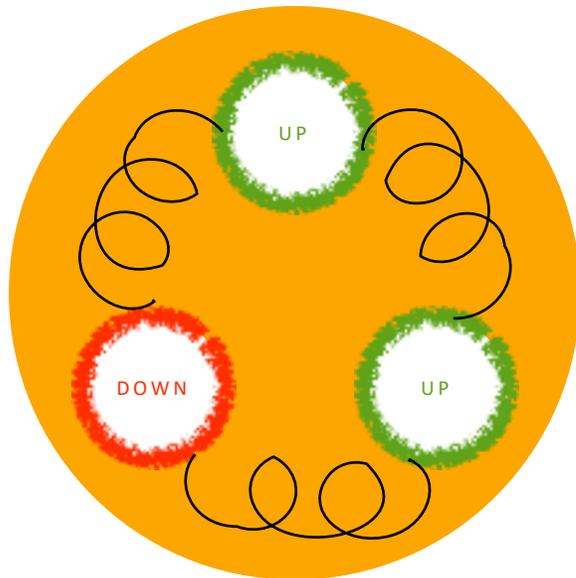


Electron

Il Protone

Il protone è composto da tre quark (di valenza, principali), che definiscono le proprietà del protone come la sua carica.

In più, nel protone ci sono particelle chiamate gluoni (glue = colla) che tengono i quark assieme.



Charge

+ 2/3



- 1/3



0

Gluon

Protone

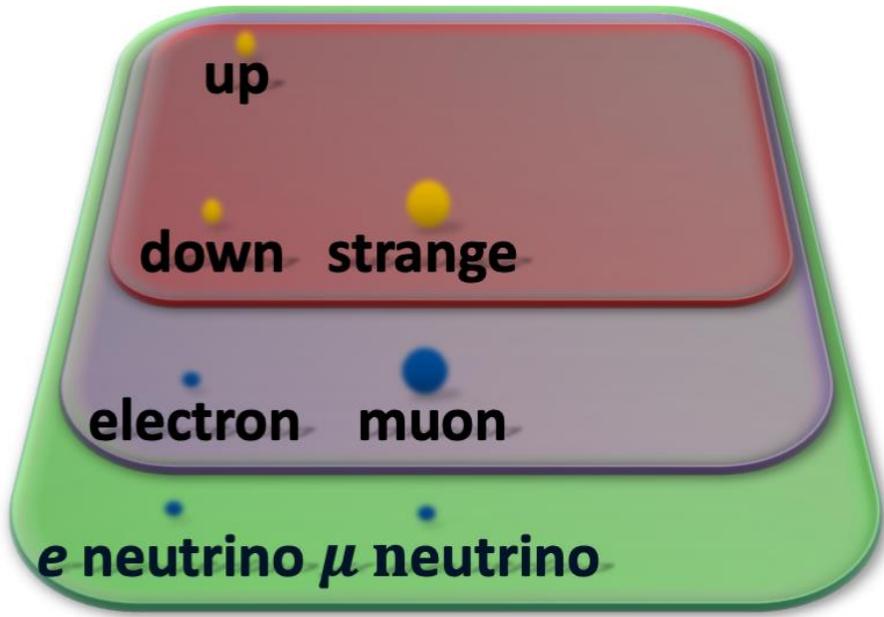
+ 1

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Quark

Leptoni



$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal



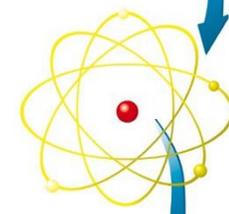
1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule



1/10

10^{-10} m
Atom
Atom



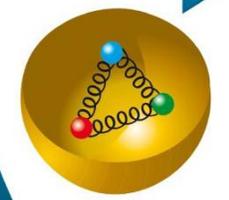
1/10.000

10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus



1/10

10^{-15} m
Proton
Proton



1/1.000

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



Electron

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Quark

Leptoni



≈ 0,01 m
Kristall
Crystal



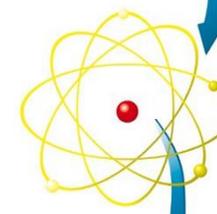
1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule



1/10

10^{-10} m
Atom
Atom



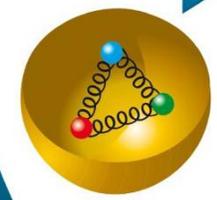
1/10.000

10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus



1/10

10^{-15} m
Proton
Proton



1/1.000

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



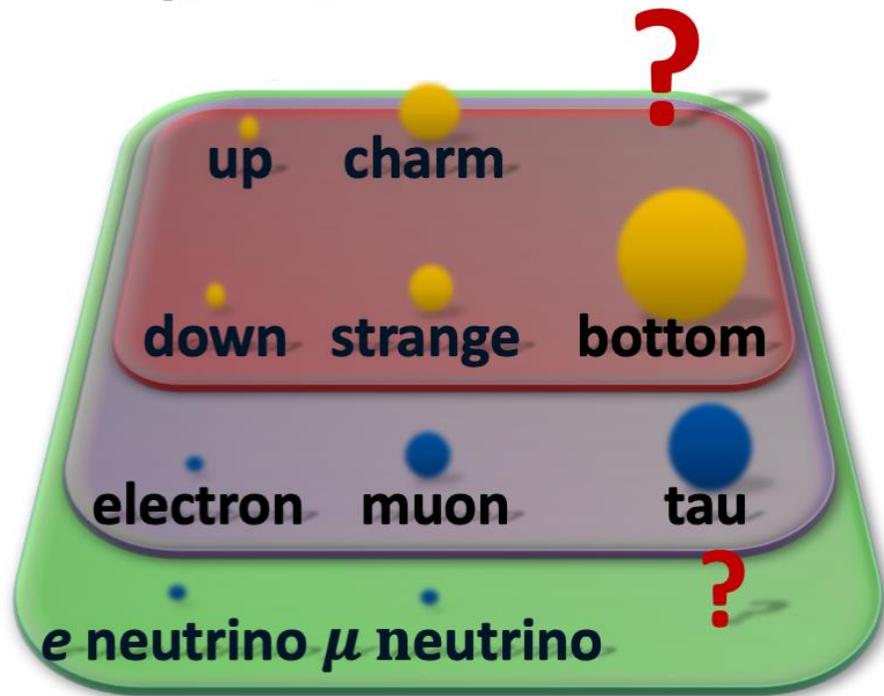
Electron

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Quark

Leptoni



$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal



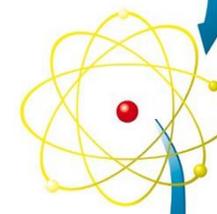
1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule



1/10

10^{-10} m
Atom
Atom



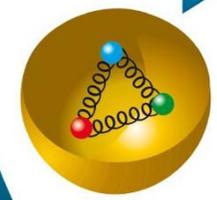
1/10.000

10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus



1/10

10^{-15} m
Proton
Proton



1/1.000

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



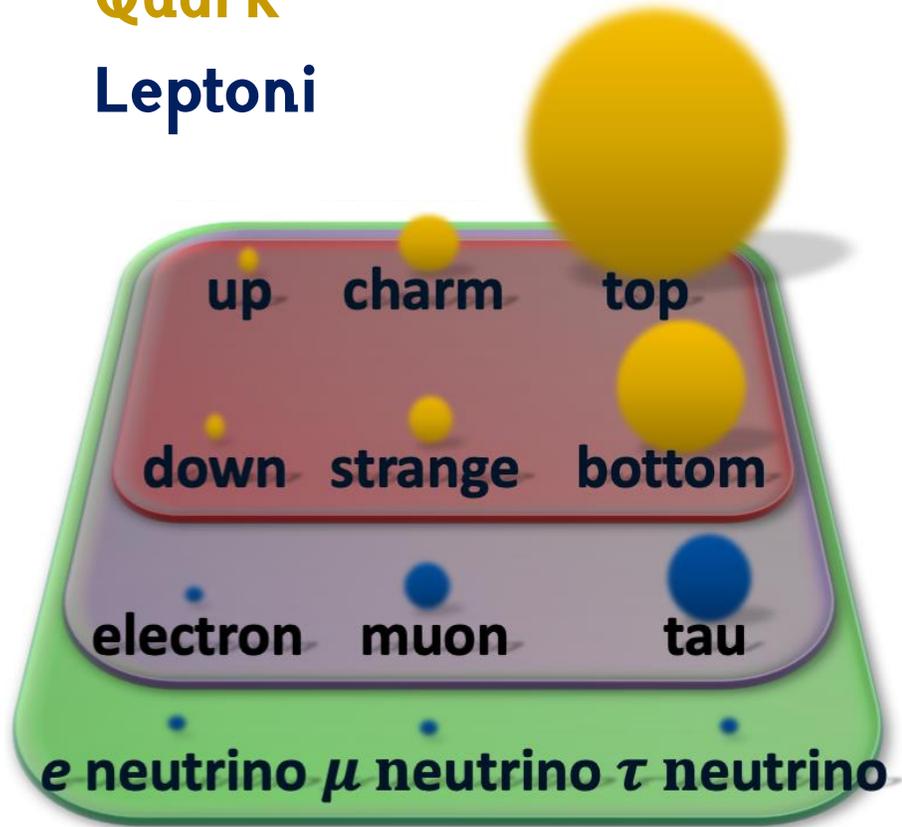
Electron

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Quark

Leptoni



$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal



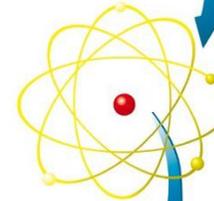
1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule



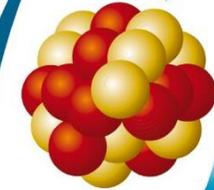
1/10

10^{-10} m
Atom
Atom



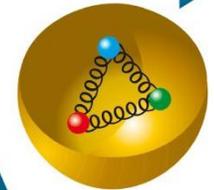
1/10.000

10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus



1/10

10^{-15} m
Proton
Proton



1/1.000

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



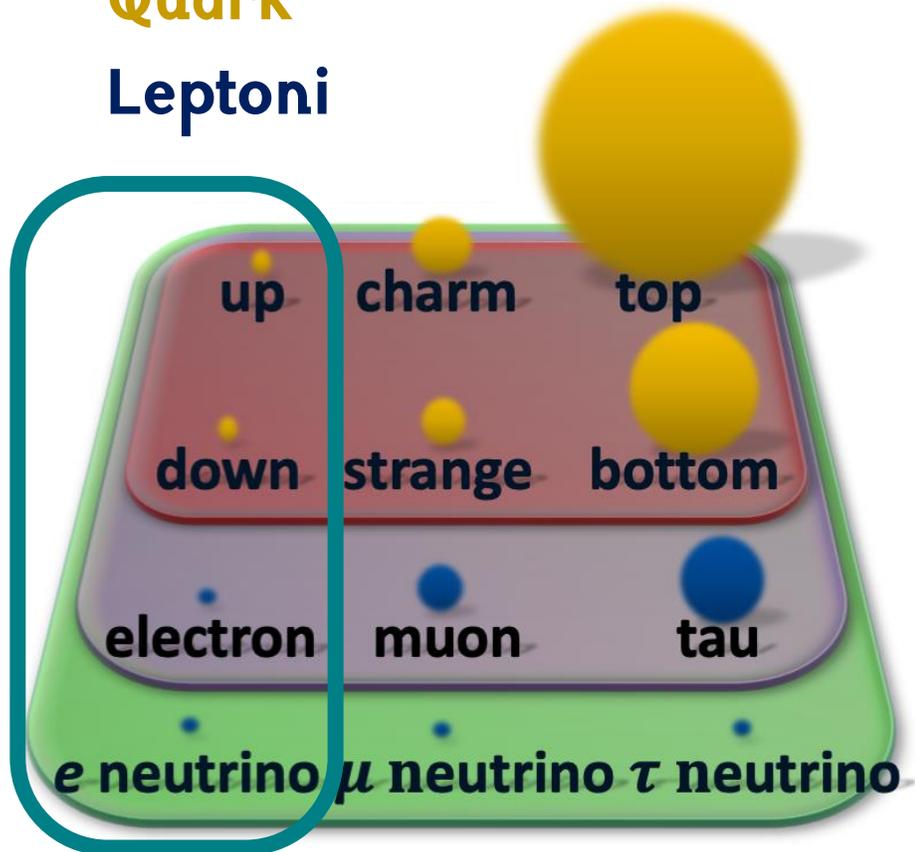
Electron

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Quark

Leptoni

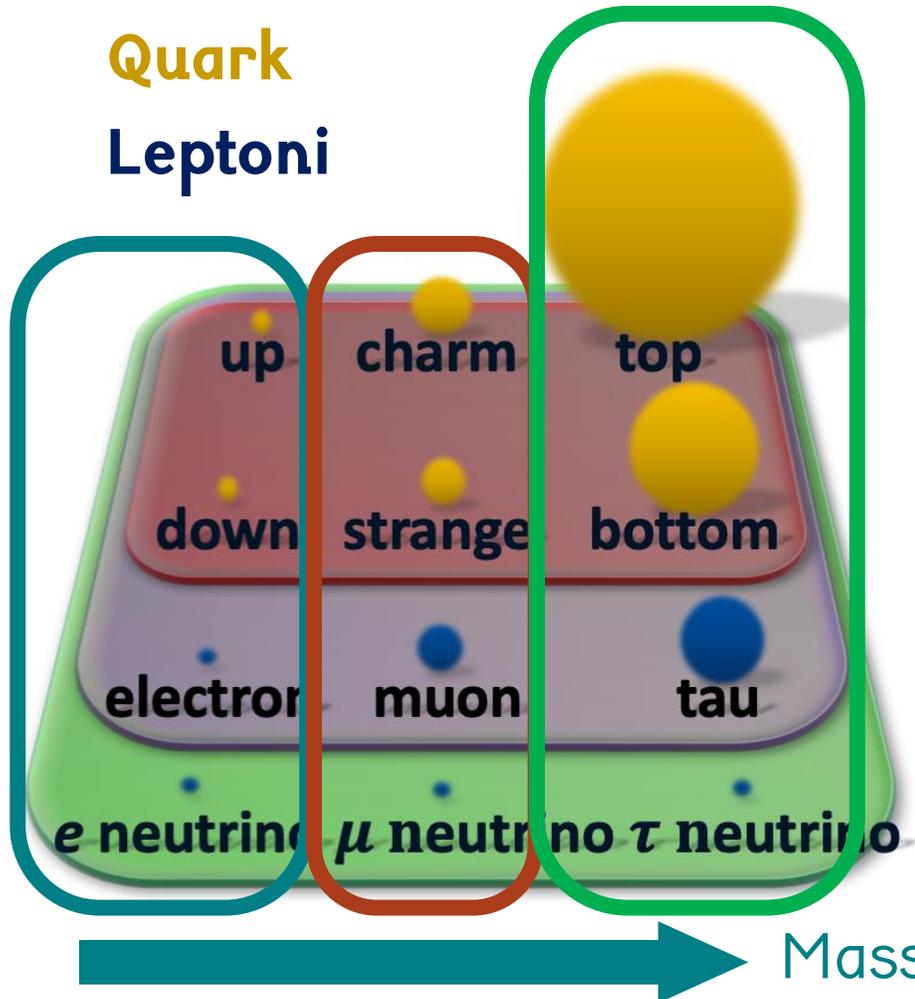


1. Passo dopo passo sono state scoperte sempre più particelle elementari
2. La nostra materia stabile consiste solamente nella prima colonna
3. La seconda e la terza colonna sono copie più pesanti della prima colonna

Tutto ciò che c'è di stabile nell'universo

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica



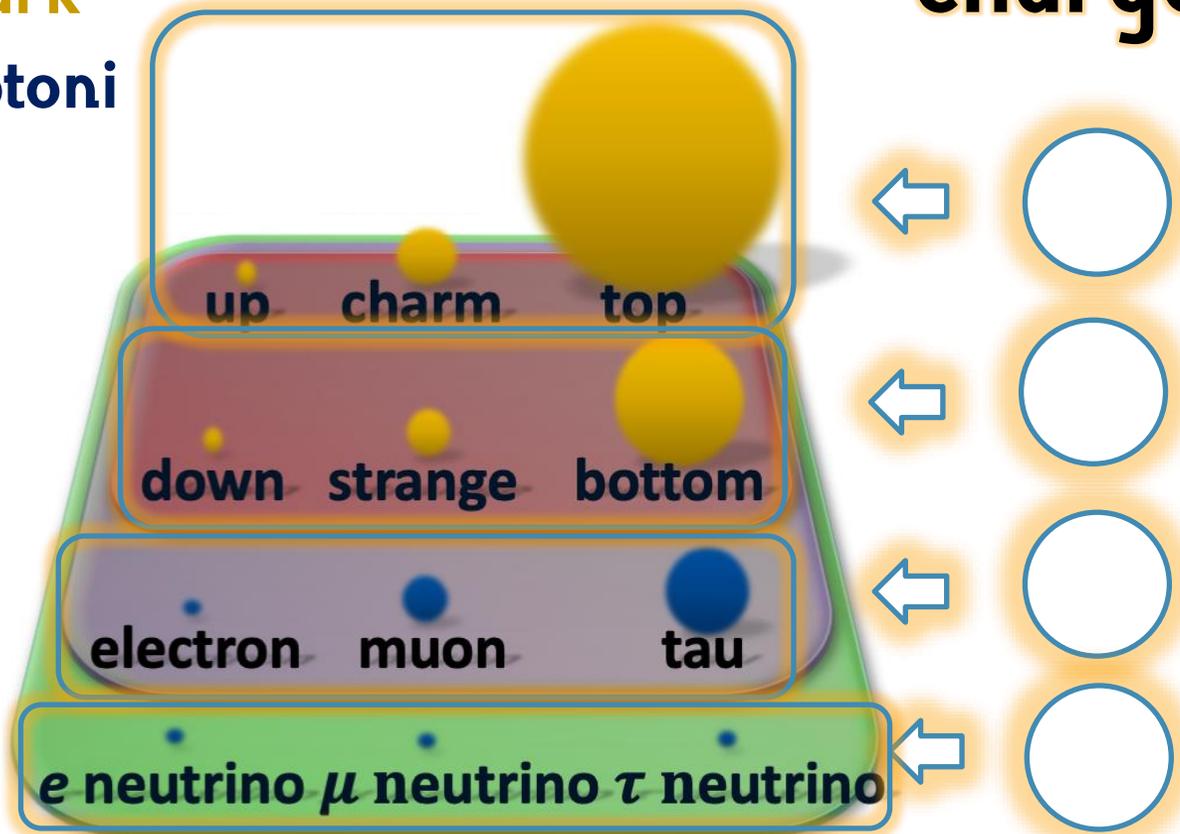
1. Passo dopo passo sono state scoperte sempre più particelle elementari
2. La **nostra materia stabile** consiste solamente nella **prima colonna**
3. La **seconda** e la **terza** colonna sono copie più pesanti della prima colonna

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Quark

Leptoni



electric charge:

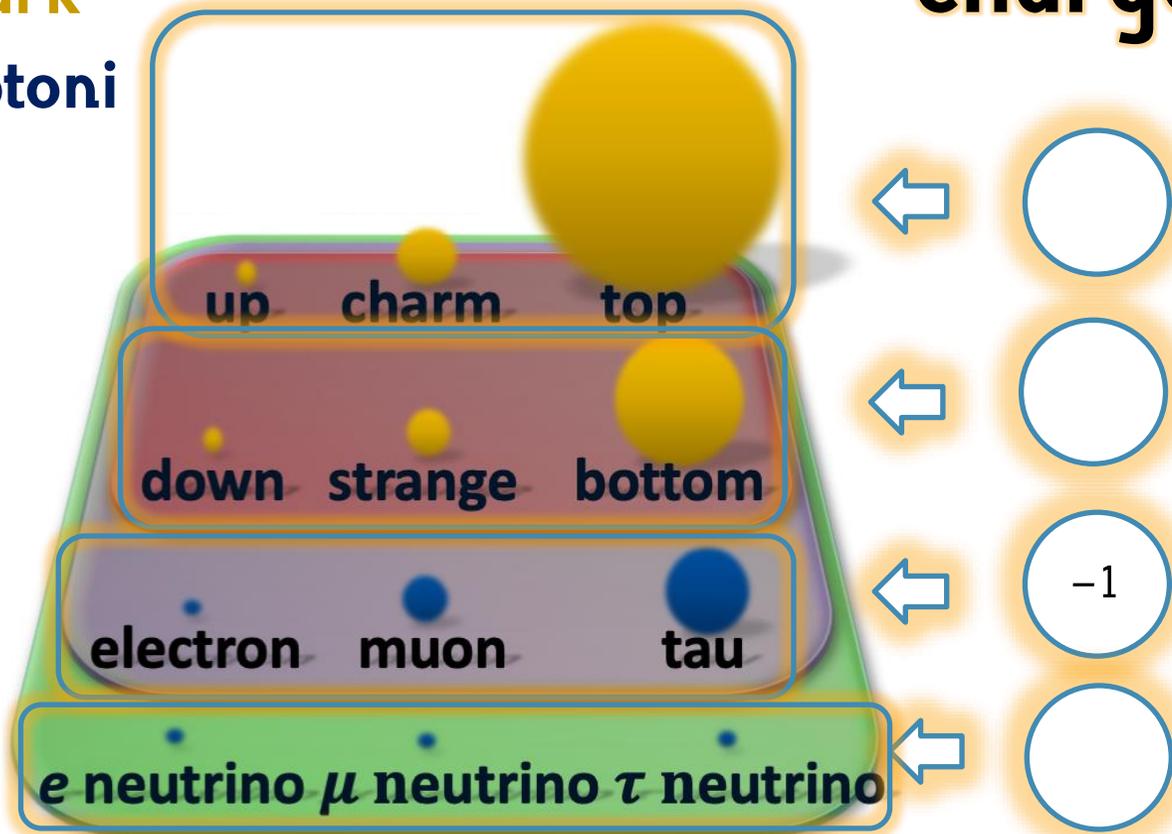
1. Passo dopo passo sono state scoperte sempre più particelle elementari
2. La nostra materia stabile consiste solamente nella prima colonna
3. La seconda e la terza colonna sono copie più pesanti della prima colonna
4. Le particelle della stessa riga hanno la stessa carica elettrica

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Quark

Leptoni



electric charge:

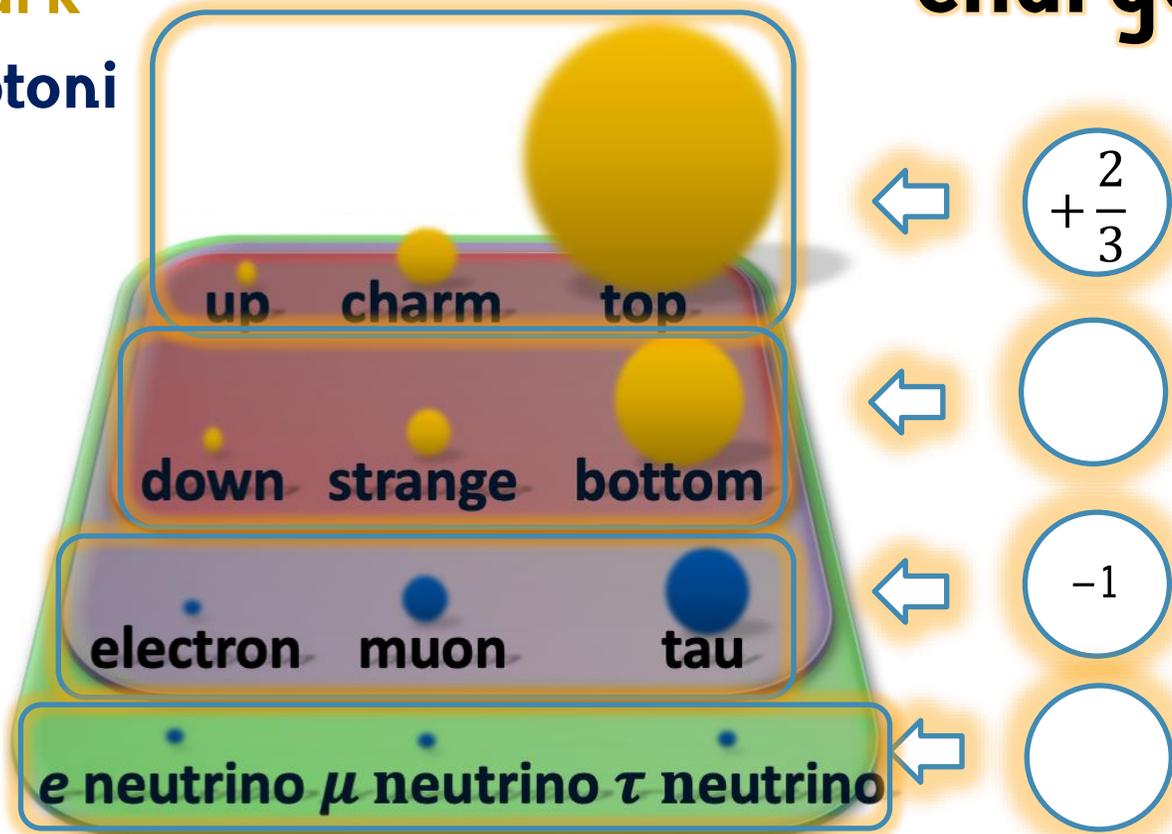
1. Passo dopo passo sono state scoperte sempre più particelle elementari
2. La nostra materia stabile consiste solamente nella prima colonna
3. La seconda e la terza colonna sono copie più pesanti della prima colonna
4. Le particelle della stessa riga hanno la stessa carica elettrica

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Quark

Leptoni



electric charge:

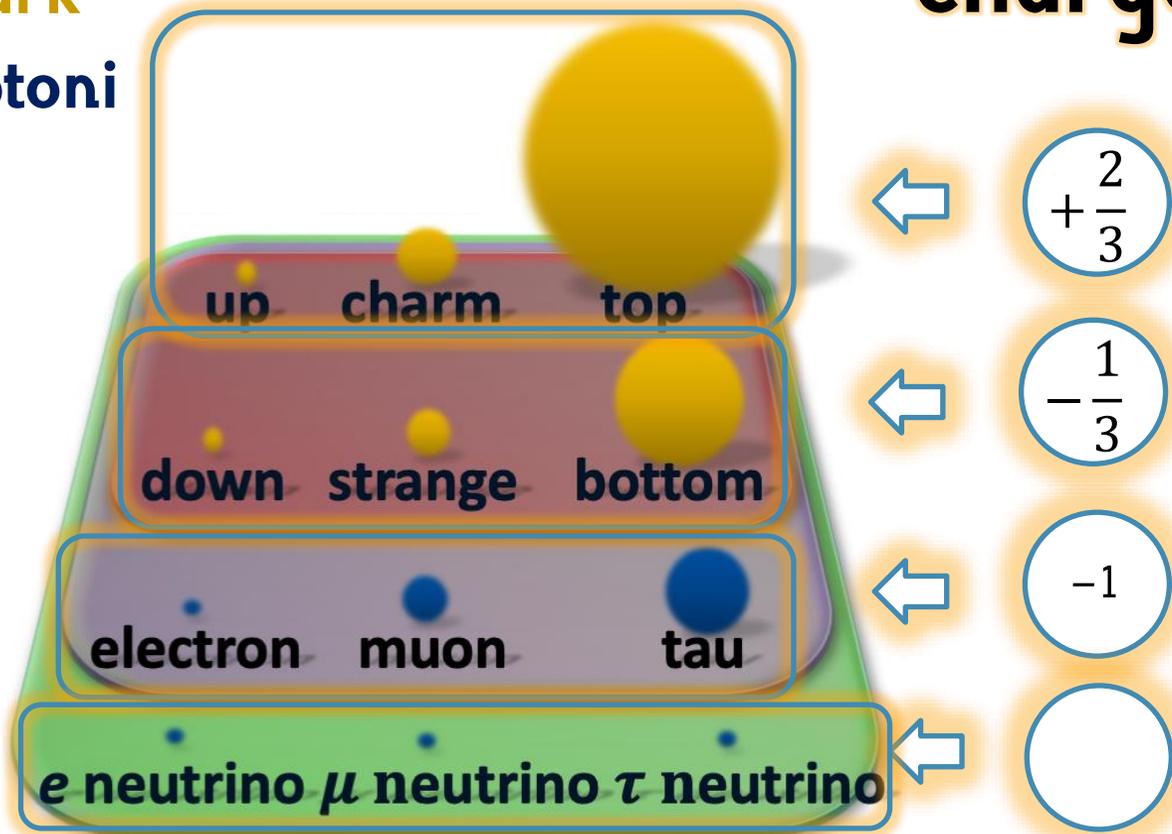
1. Passo dopo passo sono state scoperte sempre più particelle elementari
2. La nostra materia stabile consiste solamente nella prima colonna
3. La seconda e la terza colonna sono copie più pesanti della prima colonna
4. Le particelle della stessa riga hanno la stessa carica elettrica

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Quark

Leptoni



electric charge:

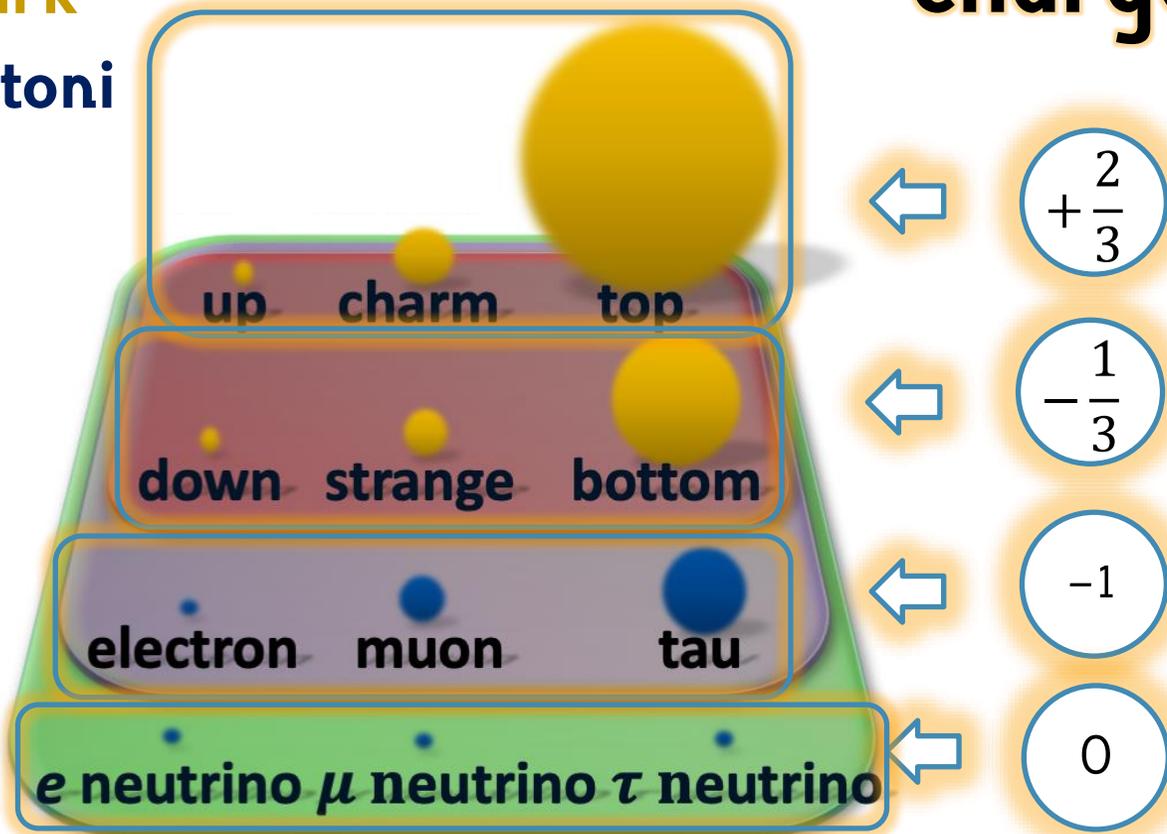
1. Passo dopo passo sempre più particelle elementari furono scoperte
2. La nostra materia stabile consiste solamente nella prima colonna
3. La seconda e la terza colonna sono copie più pesanti della prima colonna
4. Le particelle della stessa riga hanno la stessa carica elettrica

Modello Standard delle Particelle

La nostra tavola periodica

Quark

Leptoni

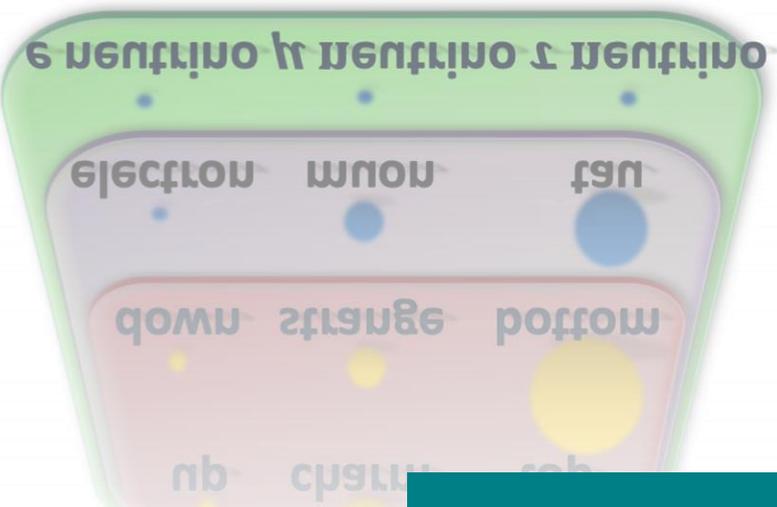
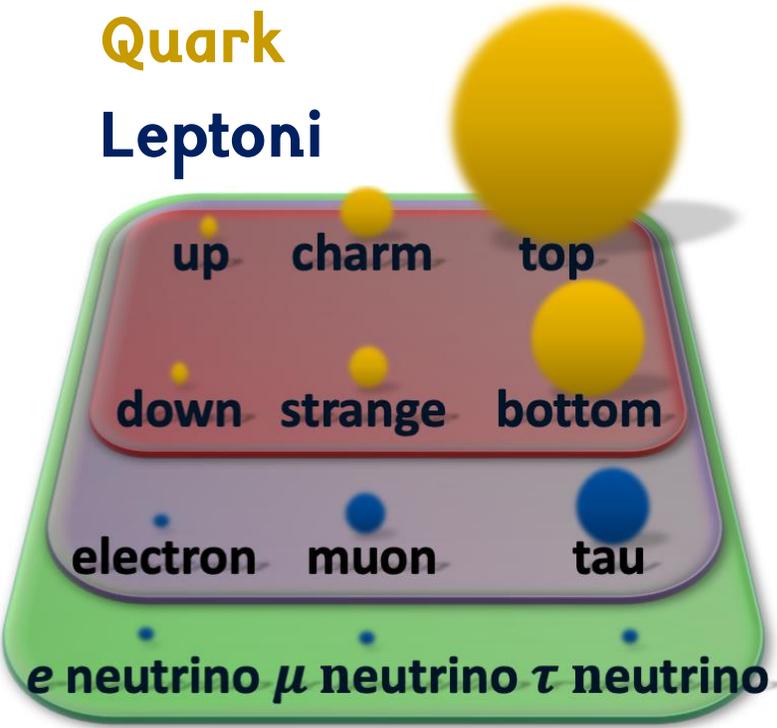


electric charge:

1. Passo dopo passo sempre più particelle elementari furono scoperte
2. La **nostra materia stabile** consiste solamente nella **prima colonna**
3. La **seconda** e la **terza** colonna sono copie più pesanti della prima colonna
4. Le particelle della stessa riga hanno la stessa carica elettrica

Quark

Leptoni

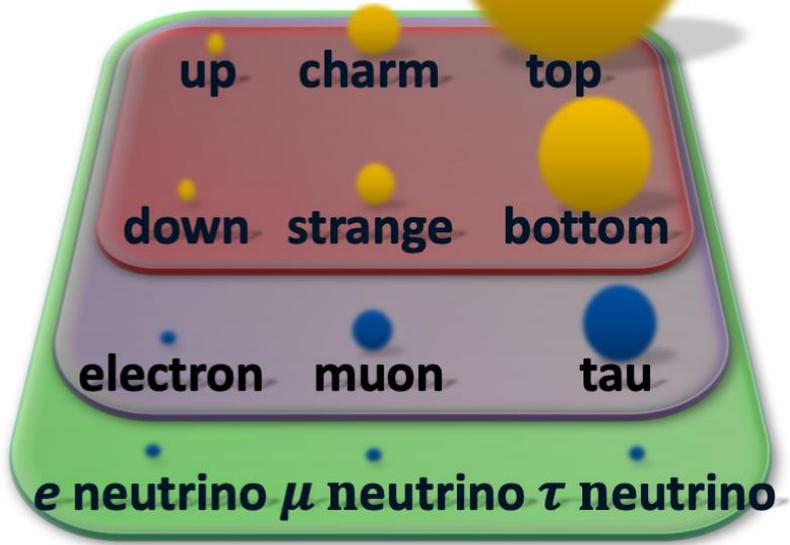


Ogni particella ha una immagine speculare

L'antimateria ha esattamente le stesse proprietà ma con carica opposta

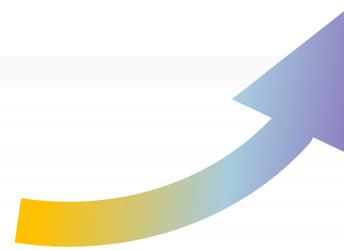
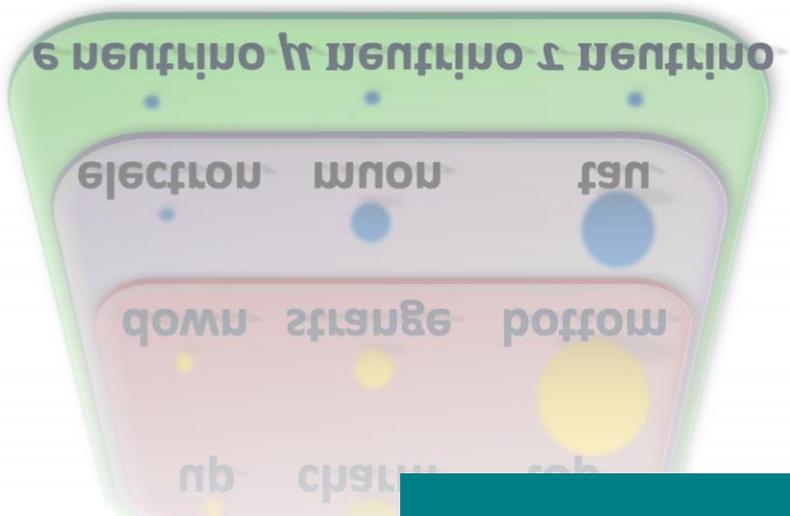
Quark

Leptoni



Anti-Quark

Anti-Leptoni

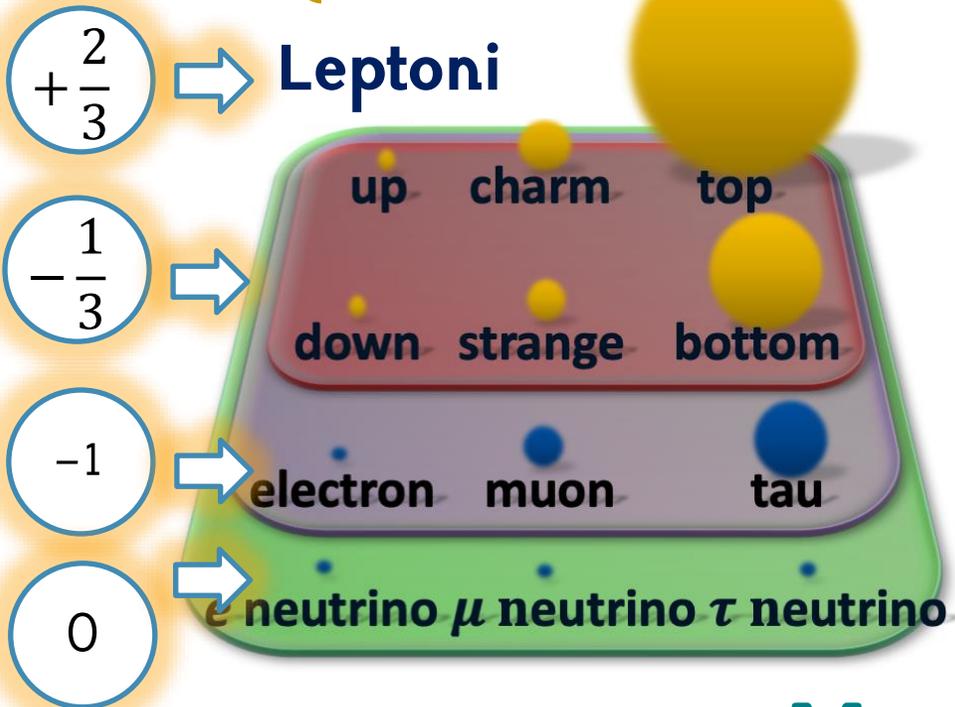


Ogni particella ha una immagine speculare

L'antimateria ha esattamente le stesse proprietà ma con carica opposta

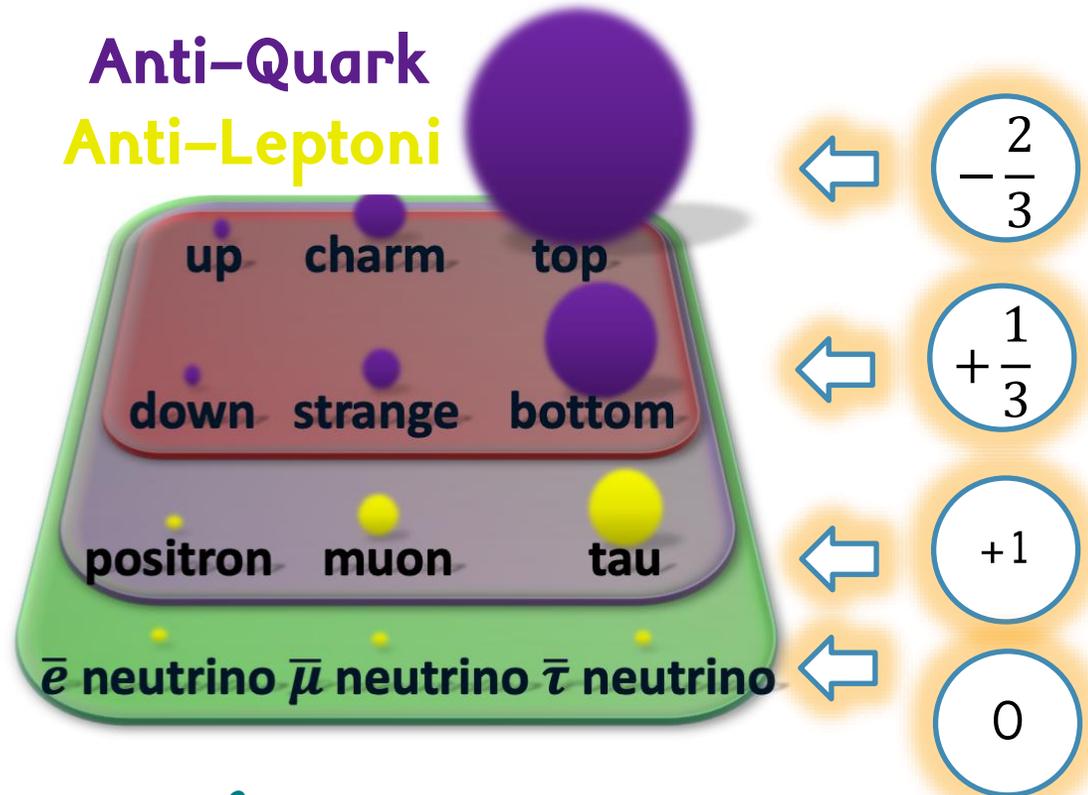
Quark

Leptoni



Anti-Quark

Anti-Leptoni



Materia e Antimateria

Ogni particella ha una immagine speculare

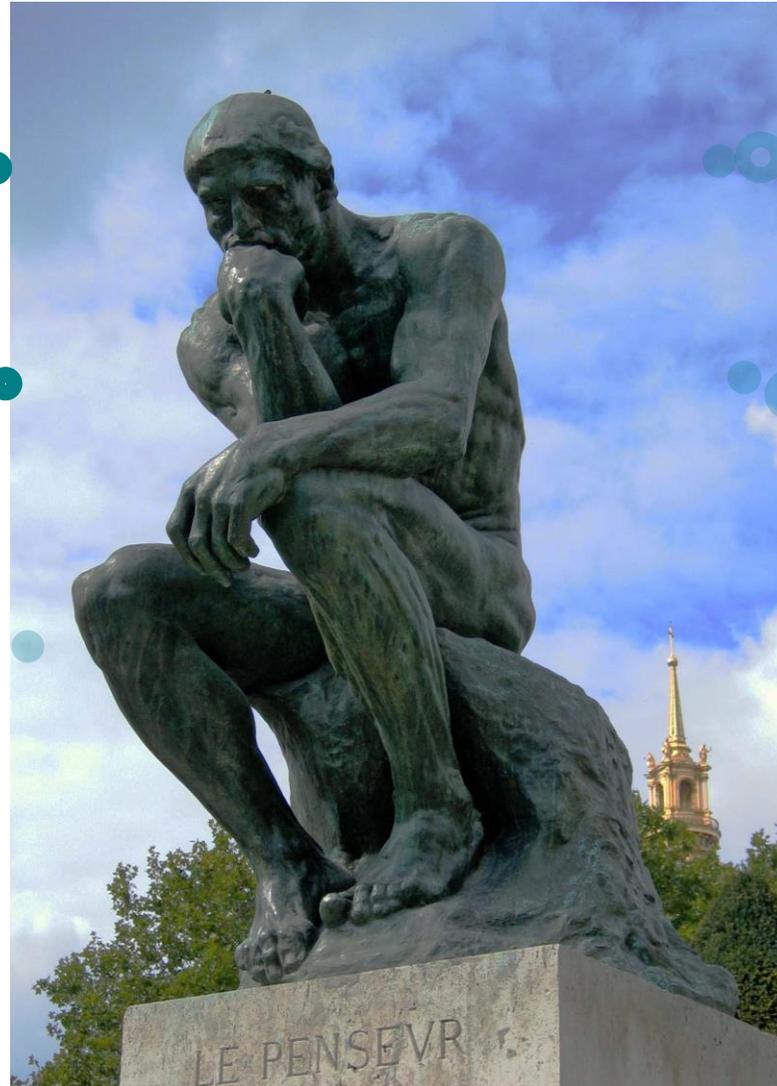
L'antimateria ha esattamente le stesse proprietà ma con carica opposta

A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono fatto?

... e di cosa è fatto l'universo?

... Cos'è l'universo?



... E come è nato tutto questo?

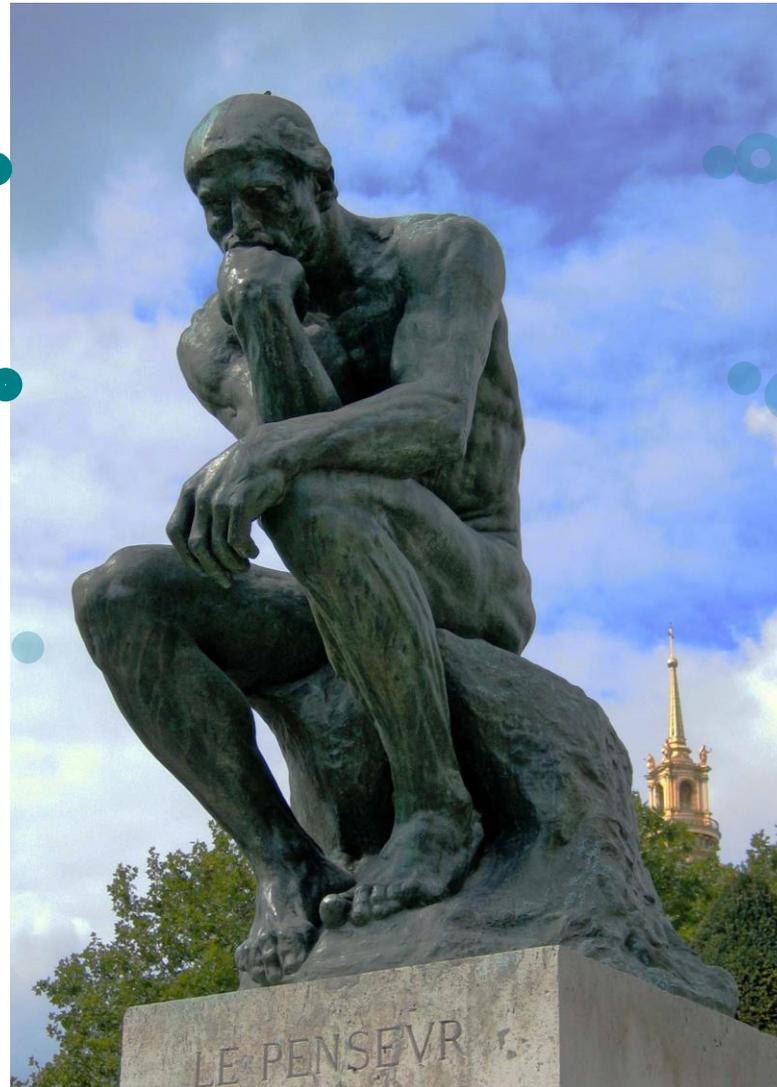
... Come e perché funziona?

A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono fatto?

... e di cosa è fatto l'universo?

... Cos'è l'universo?



... E come è nato tutto questo?

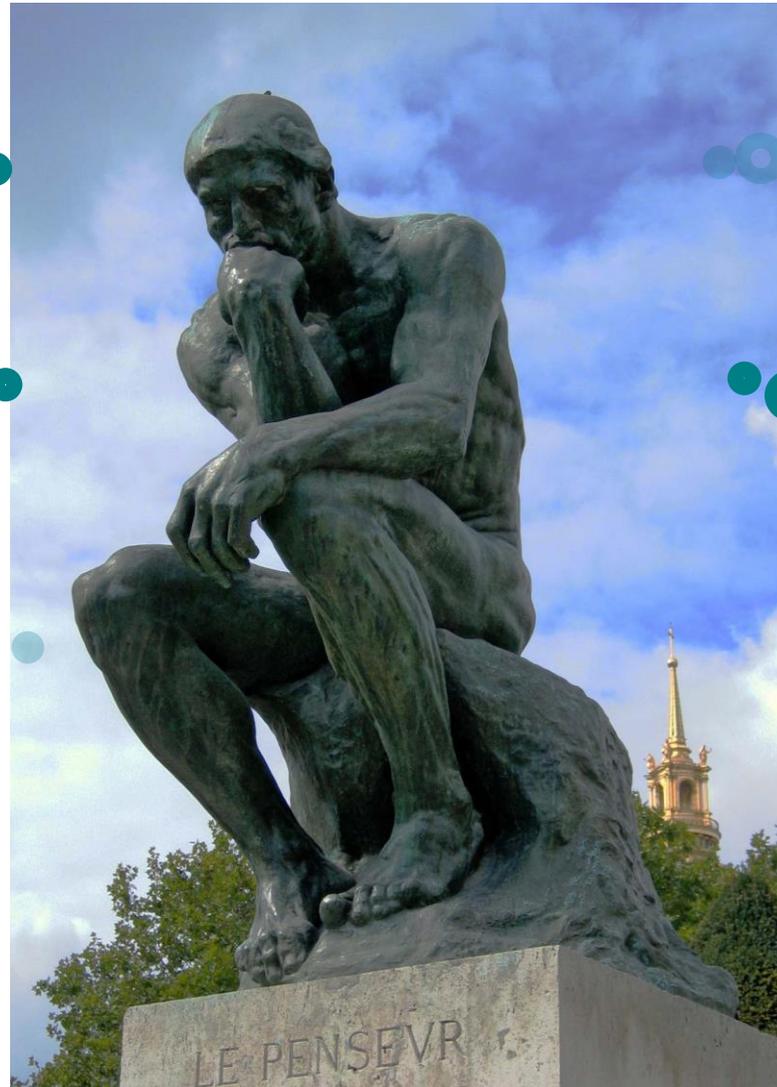
... Come e perché funziona?

A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono fatto?

... e di cosa è fatto l'universo?

... Cos'è l'universo?



... E come è nato tutto questo?

... Come e perché funziona?

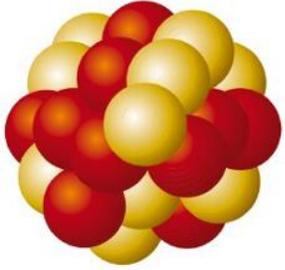
Le Interazioni

Modello Standard delle Particelle: le Interazioni

- Interazione Forte
- Interazione Elettromagnetica
- Interazione Debole
- Interazione Gravitazionale



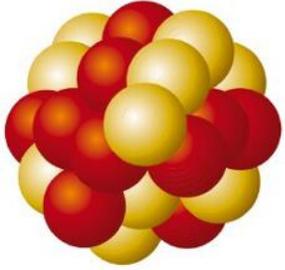
Modello Standard delle Particelle: le Interazioni



- Interazione Forte: tiene uniti i nuclei atomici (incolla i quark)
- Interazione Elettromagnetica
- Interazione Debole
- Interazione Gravitazionale



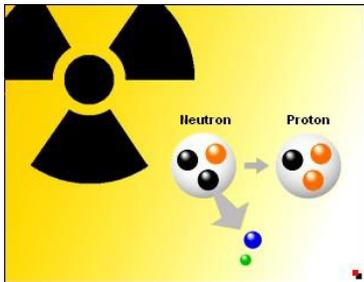
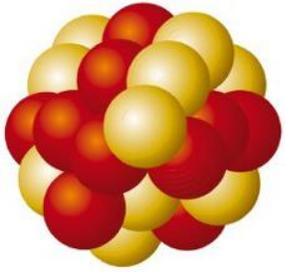
Modello Standard delle Particelle: le Interazioni



- Interazione Forte: tiene uniti i nuclei atomici (incolla i quark)
- Interazione Elettromagnetica: tiene gli atomi e le molecole uniti (agisce sulla carica elettrica)
- Interazione Debole
- Interazione Gravitazionale



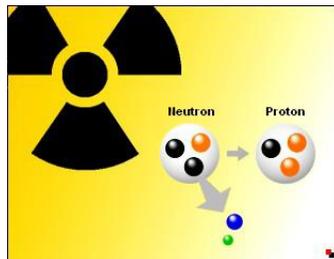
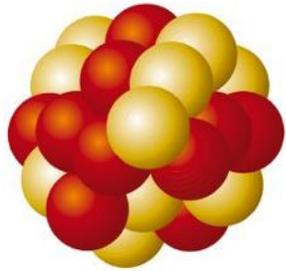
Modello Standard delle Particelle: le Interazioni



- Interazione Forte: tiene uniti i nuclei atomici (incolla i quark)
- Interazione Elettromagnetica: tiene gli atomi e le molecole uniti (agisce sulla carica elettrica)
- Interazione Debole: responsabile dei decadimenti radioattivi di alcuni nuclei (converte neutrone in protone e viceversa)
- Interazione Gravitazionale



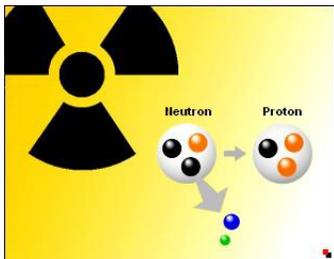
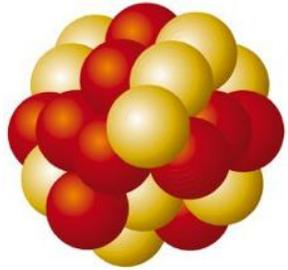
Modello Standard delle Particelle: le Interazioni



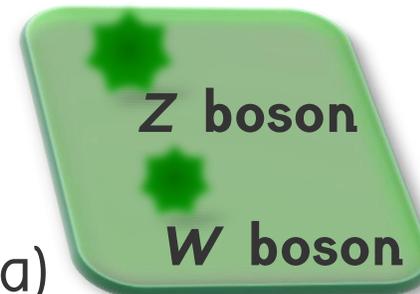
- Interazione Forte: tiene uniti i nuclei atomici (incolla i quark)
- Interazione Elettromagnetica: tiene gli atomi e le molecole uniti (agisce sulla carica elettrica)
- Interazione Debole: responsabile dei decadimenti radioattivi di alcuni nuclei (converte neutrone in protone e viceversa)
- Interazione Gravitazionale: tiene uniti pianeti e galassie



Modello Standard delle Particelle: le Interazioni

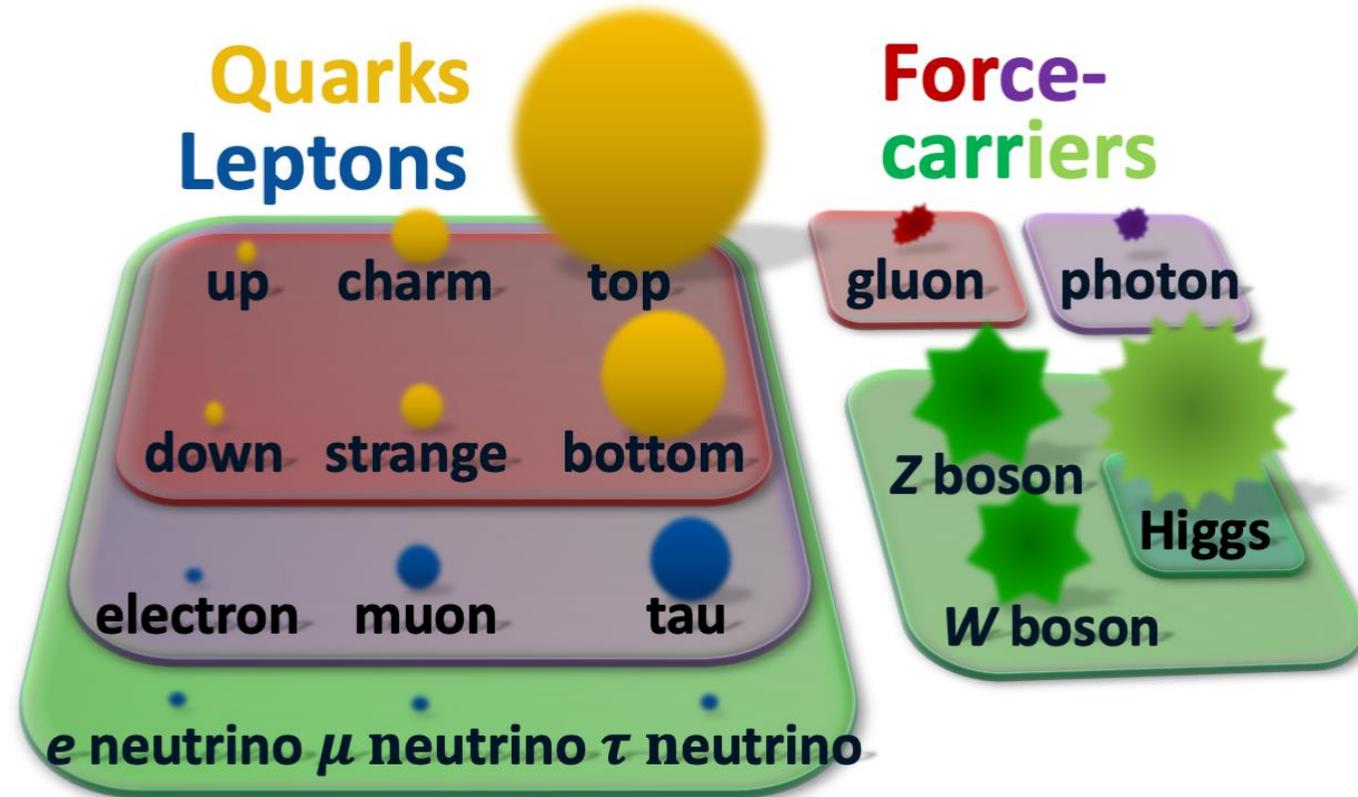


- Interazione Forte: tiene uniti i nuclei atomici (incolla i quark)
- Interazione Elettromagnetica: tiene gli atomi e le molecole uniti (agisce sulla carica elettrica)
- Interazione Debole: responsabile dei decadimenti radioattivi di alcuni nuclei (converte neutrone in protone e viceversa)
- Interazione Gravitazionale: tiene uniti pianeti e galassie



Modello Standard delle Particelle: le Interazioni

- Le forze tra particelle sono mediate da speciali particelle di scambio

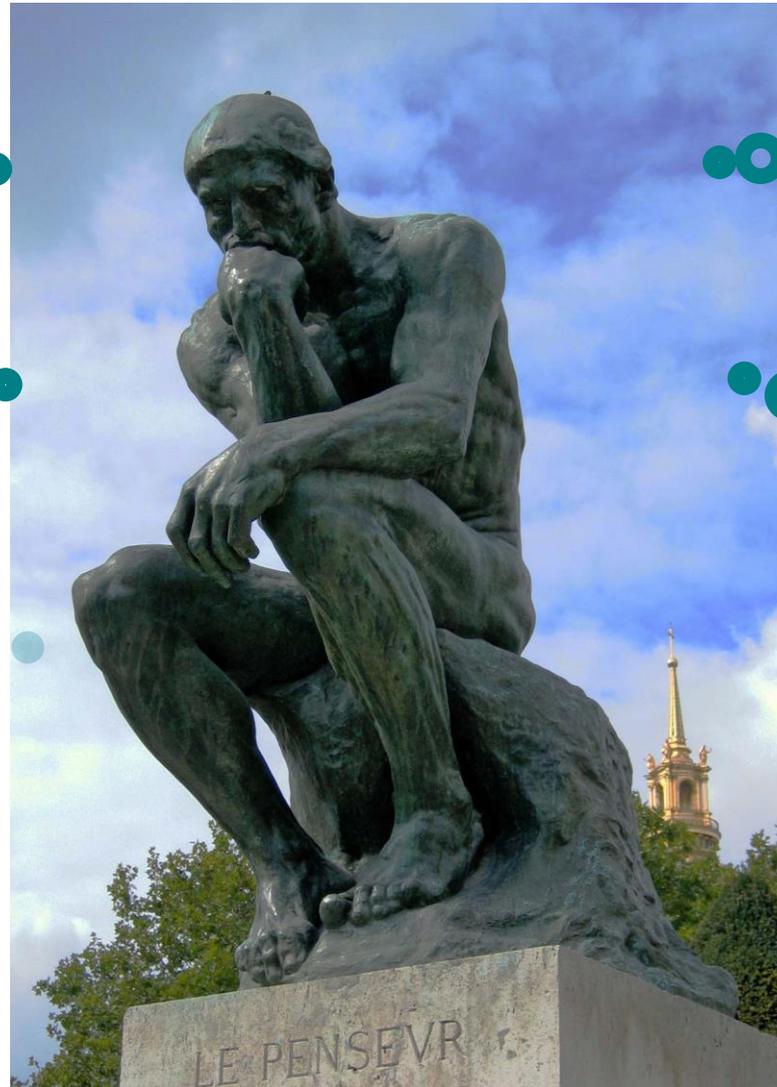


A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono fatto?

... e di cosa è fatto l'universo?

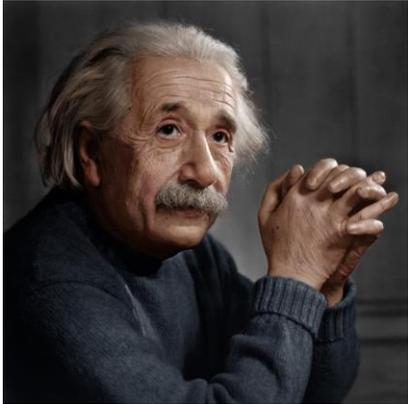
... Cos'è l'universo?



... E come è nato tutto questo?

... Come e perché funziona?

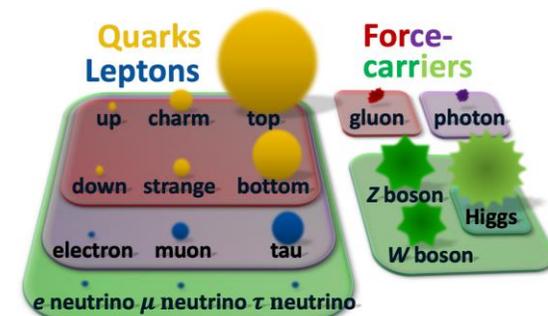
Cosa puoi fare avendo a disposizione tanta energia?



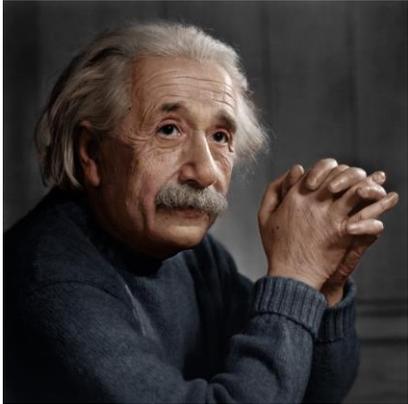
$$E = mc^2$$

Energia Massa Costante

Creare
materia!



Cosa puoi fare avendo a disposizione tanta energia?



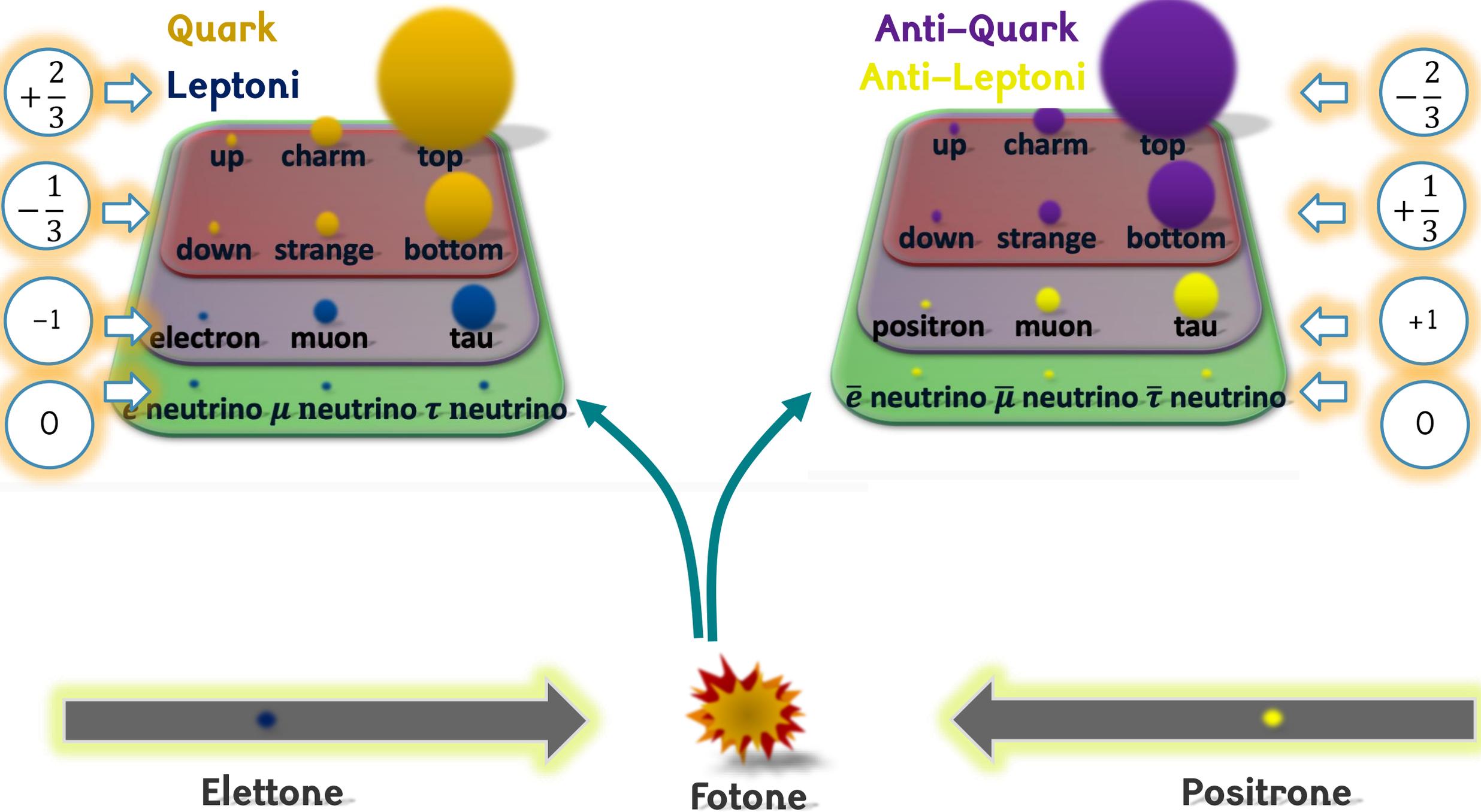
$$E = mc^2$$

Energia Massa Costante

L'**energia** e l'**impulso** delle particelle che riescono ad arrivare nel rivelatore viene usata per misurare la **Massa** iniziale (cioè l'energia dei fasci di particelle iniziali)

Acceleratore di Particelle: moltissima energia in un singolo punto





Quark

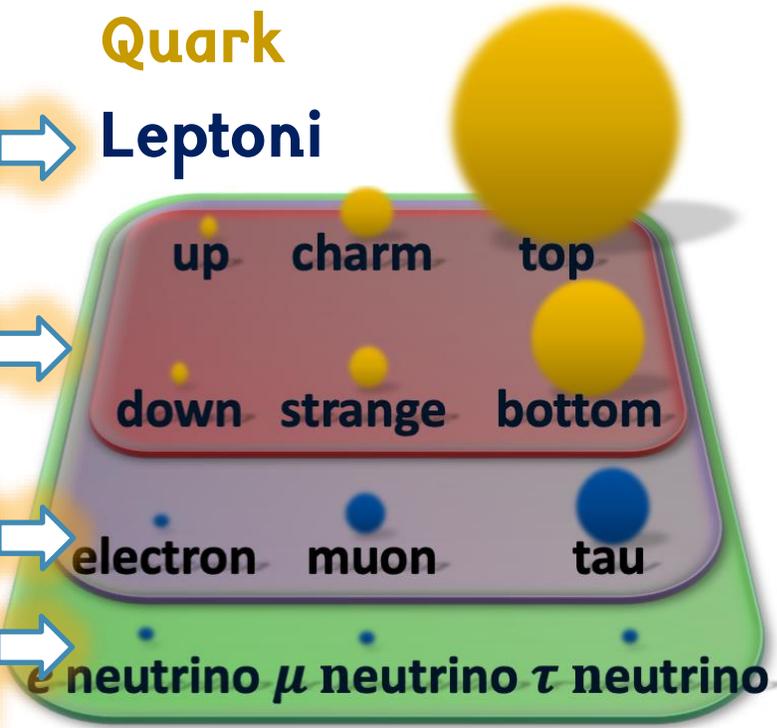
Leptoni

$$+\frac{2}{3}$$

$$-\frac{1}{3}$$

$$-1$$

$$0$$



Anti-Quark

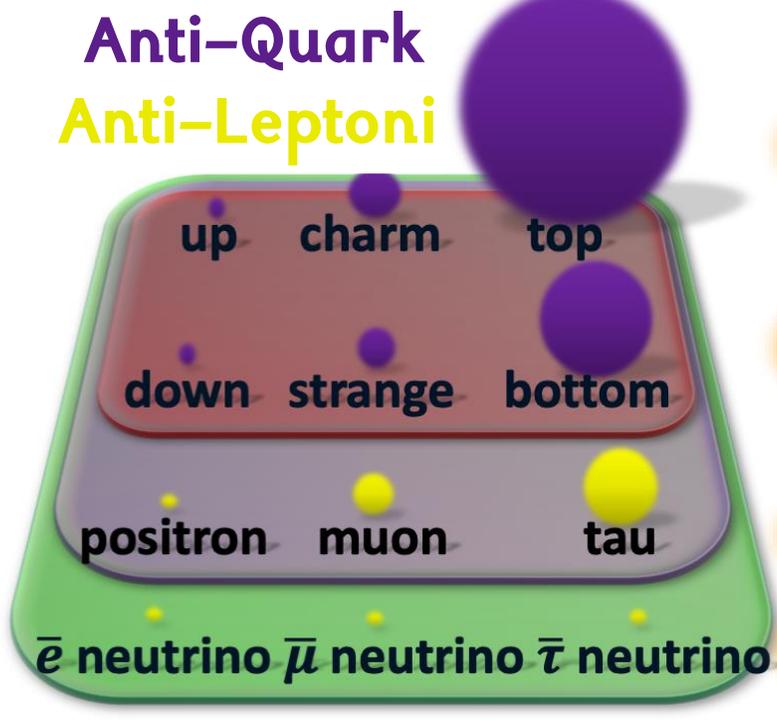
Anti-Leptoni

$$-\frac{2}{3}$$

$$+\frac{1}{3}$$

$$+1$$

$$0$$



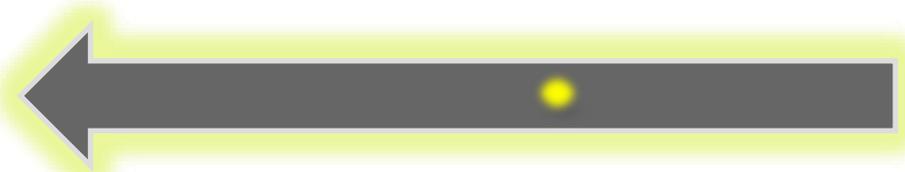
Per creare il positrone si fanno **collidere** elettroni **con materiali pesanti**



Elettone



Fotone



Positrone

Quark

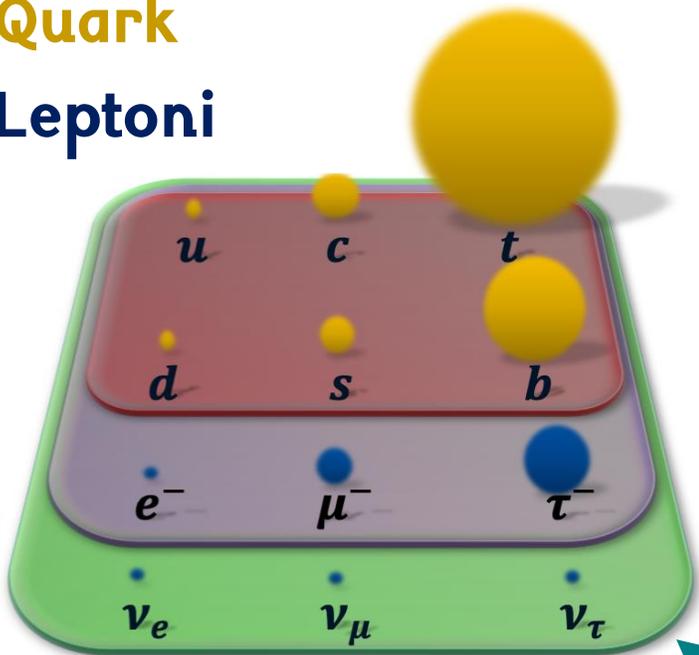
Leptoni

$$+\frac{2}{3}$$

$$-\frac{1}{3}$$

$$-1$$

$$0$$



Anti-Quark

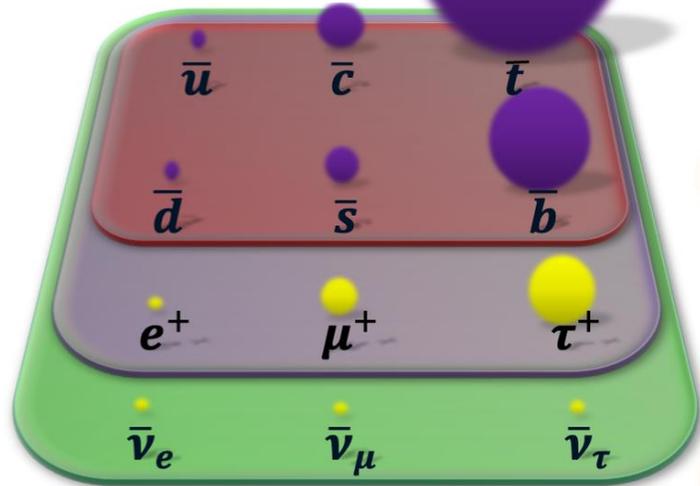
Anti-Leptoni

$$-\frac{2}{3}$$

$$+\frac{1}{3}$$

$$+1$$

$$0$$



Possiamo produrre particelle solo in coppia: **particella-antiparticella**

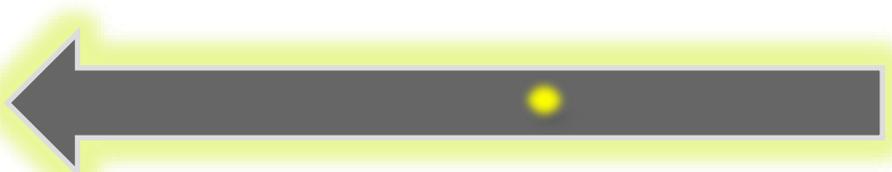
La probabilità di produrre una particella è proporzionale alla **carica della particella**



Elettone



Fotone



Positrone

Quark

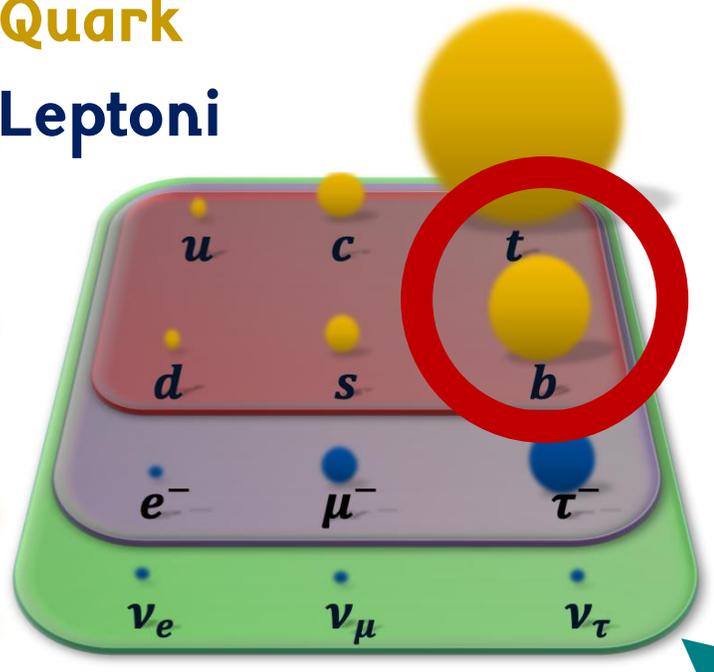
Leptoni

$\left(\frac{2}{3}\right)$

$\left(-\frac{1}{3}\right)$

(-1)

(0)



Anti-Quark

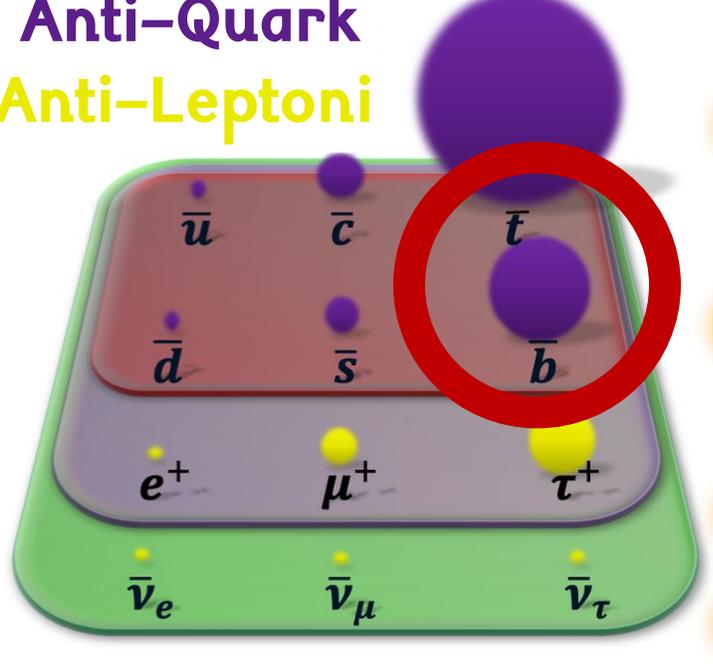
Anti-Leptoni

$\left(-\frac{2}{3}\right)$

$\left(+\frac{1}{3}\right)$

$(+1)$

(0)



$$e^+ e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{b} b: \left(-\frac{1}{3}\right)^2 \cdot Const$$



Elettone



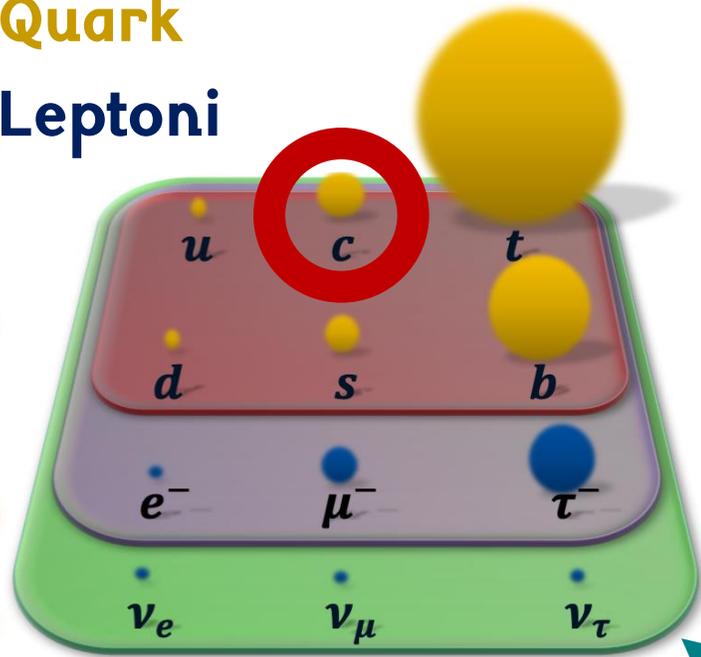
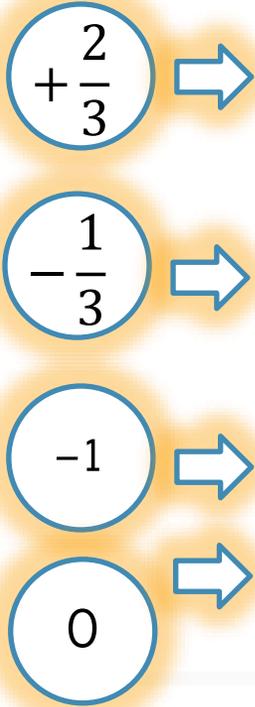
Fotone



Positrone

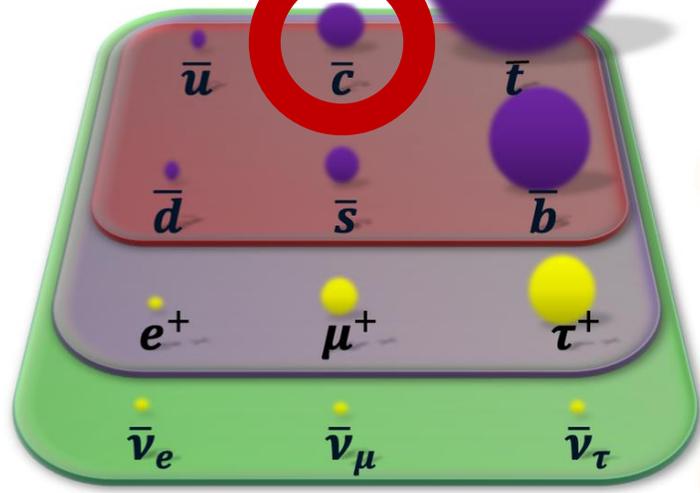
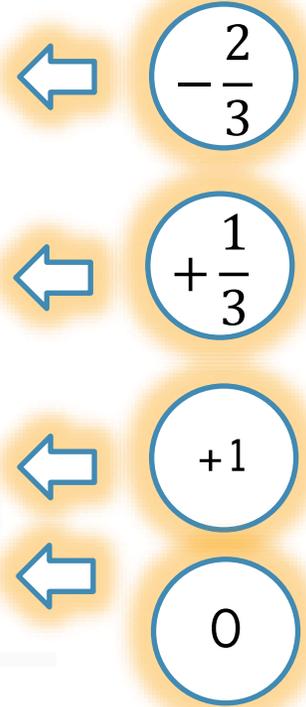
Quark

Leptoni



Anti-Quark

Anti-Leptoni



Elettone



Fotone



Positrone

$$e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{b}b: \left(-\frac{1}{3}\right)^2 \cdot Const$$

$$e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{c}c: \left(+\frac{2}{3}\right)^2 \cdot Const$$

Quark

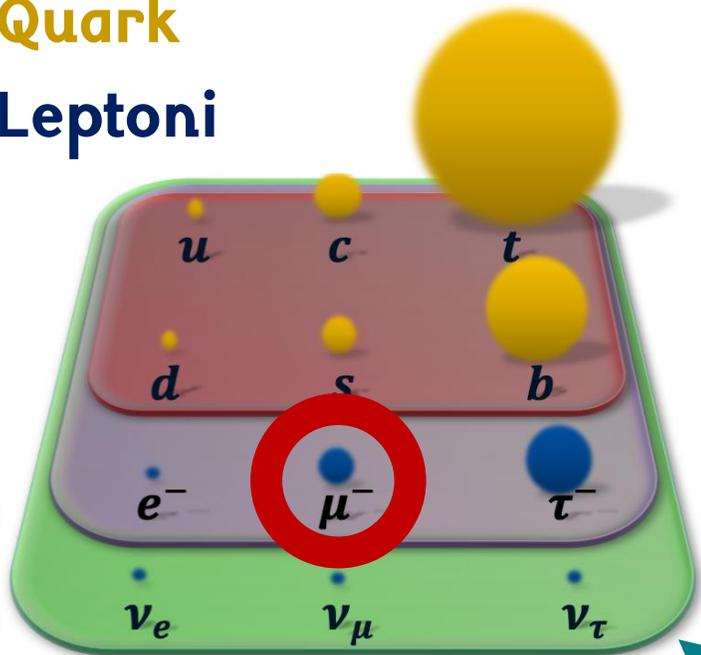
Leptoni

$\left(\frac{2}{3}\right)$

$\left(-\frac{1}{3}\right)$

(-1)

(0)



Anti-Quark

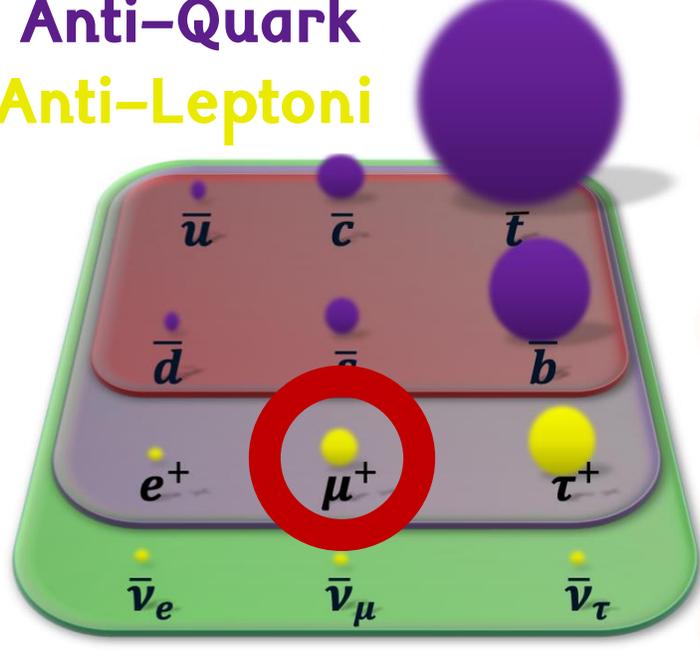
Anti-Leptoni

$\left(-\frac{2}{3}\right)$

$\left(+\frac{1}{3}\right)$

$(+1)$

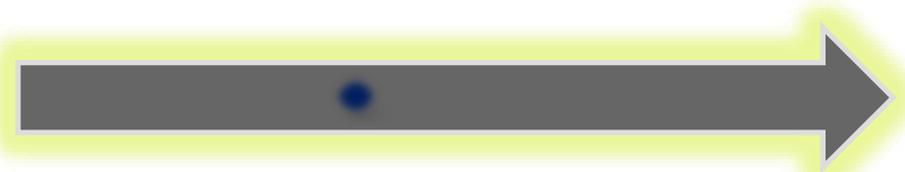
(0)



$e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-: (-1)^2 \cdot Const$

$e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{b}b: \left(-\frac{1}{3}\right)^2 \cdot Const$

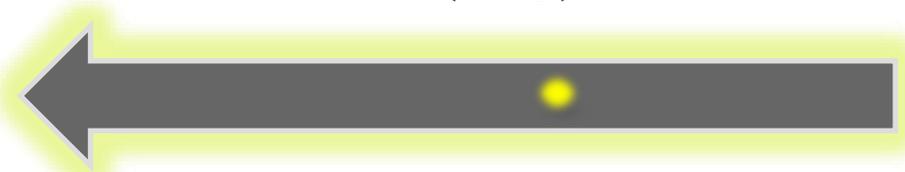
$e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{c}c: \left(+\frac{2}{3}\right)^2 \cdot Const$



Elettone



Fotone



Positrone

**Worksheet: Cosa accade nei
collisori elettrone-positrone?**

Tocca a te!

Dove eravamo
rimasti?

It becomes *colorful!*

Potresti esserti chiesto: "Ma che diavolo! Cosa c'entra tutto ciò con i colori dei quark?" Bene, è giunto il momento di svelare il mistero.

It becomes colorful!

Potresti esserti chiesto: "Ma che diavolo! Cosa c'entra tutto ciò con i colori dei quark?" Bene, è giunto il momento di svelare il mistero.

Avete visto questa formula?

$$N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow P\bar{P}) = Q_P^2 * const.$$

It becomes *colorful!*

Potresti esserti chiesto: "Ma che diavolo! Cosa c'entra tutto ciò con i colori dei quark?" Bene, è giunto il momento di svelare il mistero.

Avete visto questa formula?

$$N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow P\bar{P}) = Q_P^2 * const.$$

Avete sbagliato a fidarvi di me... è *falsa!!!*



It becomes *colorful!*

Qual è la differenza principale tra quark e leptoni?

It becomes *colorful*!

Qual è la differenza principale tra quark e leptoni?

I quark si uniscono insieme e formano i protoni, neutroni e molte altre particelle, grazie alla forza forte.

Possiedono un'altra *carica*!

$$N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow P\bar{P}) = "Q_P^{(forte)}" * Q_P^2 * const.$$

It becomes *colorful*!

Qual è la differenza principale tra quark e leptoni?

I quark si uniscono insieme e formano i protoni, neutroni e molte altre particelle, grazie alla forza forte.

Possiedono un'altra *carica*!

$$N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow P\bar{P}) = "Q_P^{(forte)}" * Q_P^2 * const.$$

Questa carica viene chiamata *colore* (semplicemente uno stato quantistico) ed è proprio qui che entra in gioco il numero di colori che noi vogliamo scoprire.

$$N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow q\bar{q}) = N_C * Q_P^2 * const.$$

$$N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \ell^+\ell^-) = Q_P^2 * const.$$

It becomes colorful!

Facciamo 2 ipotesi su N_C

1. $N_C = 5$

$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow u\bar{u}/d\bar{d}/s\bar{s}/c\bar{c})}{\frac{1}{2} [N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \tau^+\tau^-) + N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-)]} = \frac{\boxed{} * const.}{\boxed{} * const.} = \boxed{}$$

It becomes colorful!

Facciamo 2 ipotesi su N_C

1. $N_C = 5$

$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow u\bar{u}/d\bar{d}/s\bar{s}/c\bar{c})}{\frac{1}{2}[N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \tau^+\tau^-) + N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-)]} = \frac{\boxed{} * const.}{\boxed{} * const.} = \boxed{}$$

2. $N_C = 3$

$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow u\bar{u}/d\bar{d}/s\bar{s}/c\bar{c})}{\frac{1}{2}[N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \tau^+\tau^-) + N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-)]} = \frac{\boxed{} * const.}{\boxed{} * const.} = \boxed{}$$

It becomes colorful!

Facciamo 2 ipotesi su N_C

1. $N_C = 5$

$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow u\bar{u}/d\bar{d}/s\bar{s}/c\bar{c})}{\frac{1}{2}[N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \tau^+\tau^-) + N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-)]} = \frac{\boxed{50/9} * const.}{\boxed{1} * const.} = \boxed{\frac{50}{9}}$$

2. $N_C = 3$

$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow u\bar{u}/d\bar{d}/s\bar{s}/c\bar{c})}{\frac{1}{2}[N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \tau^+\tau^-) + N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-)]} = \frac{\boxed{} * const.}{\boxed{} * const.} = \boxed{\phantom{\frac{50}{9}}}$$

It becomes colorful!

Facciamo 2 ipotesi su N_C

1. $N_C = 5$

$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow u\bar{u}/d\bar{d}/s\bar{s}/c\bar{c})}{\frac{1}{2}[N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \tau^+\tau^-) + N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-)]} = \frac{\boxed{50/9} * const.}{\boxed{1} * const.} = \boxed{\frac{50}{9}}$$

2. $N_C = 3$

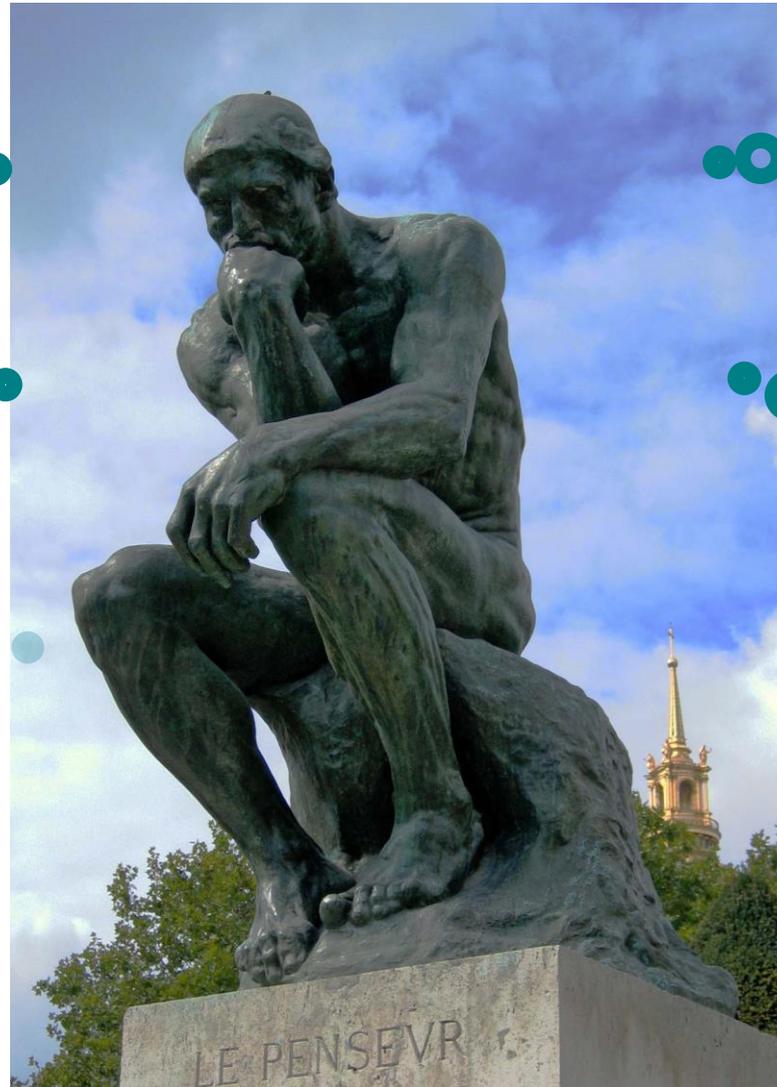
$$R = \frac{N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow u\bar{u}/d\bar{d}/s\bar{s}/c\bar{c})}{\frac{1}{2}[N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \tau^+\tau^-) + N(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+\mu^-)]} = \frac{\boxed{30/9} * const.}{\boxed{1} * const.} = \boxed{\frac{10}{3}}$$

A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono fatto?

... e di cosa è fatto l'universo?

... Cos'è l'universo?



... E come è nato tutto questo?

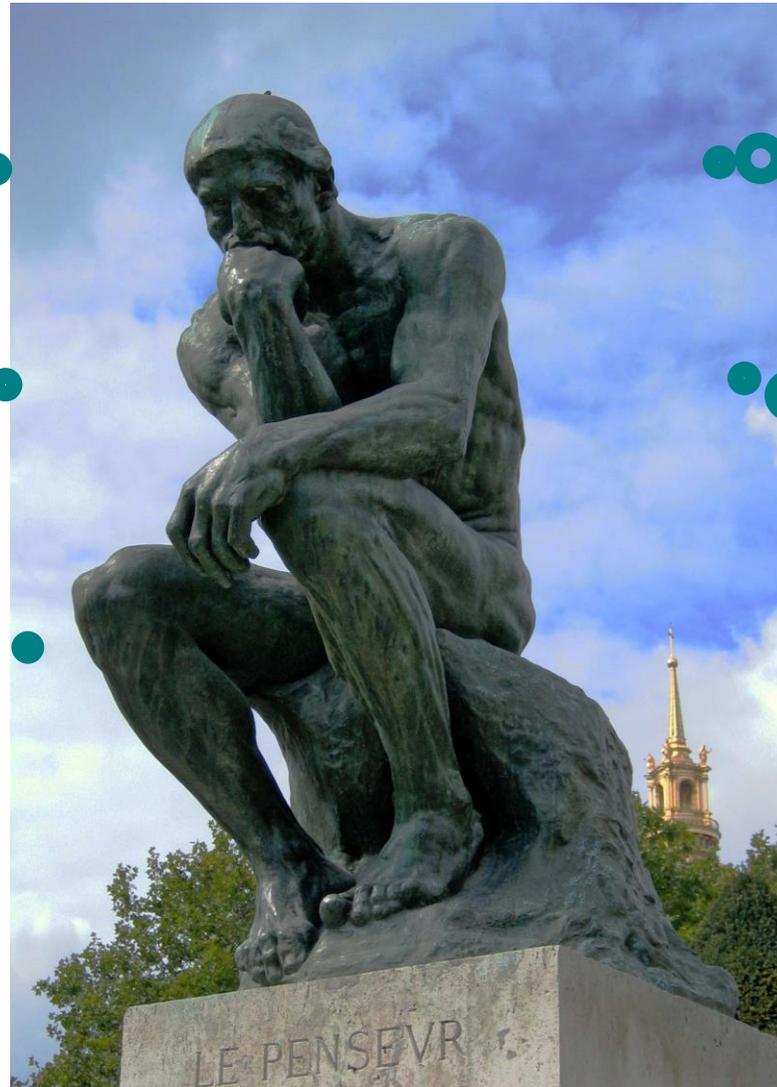
... Come e perché funziona?

A cosa pensiamo di solito? Domande di fisica delle particelle

Di cosa sono
fatto?

... e di cosa è
fatto
l'universo?

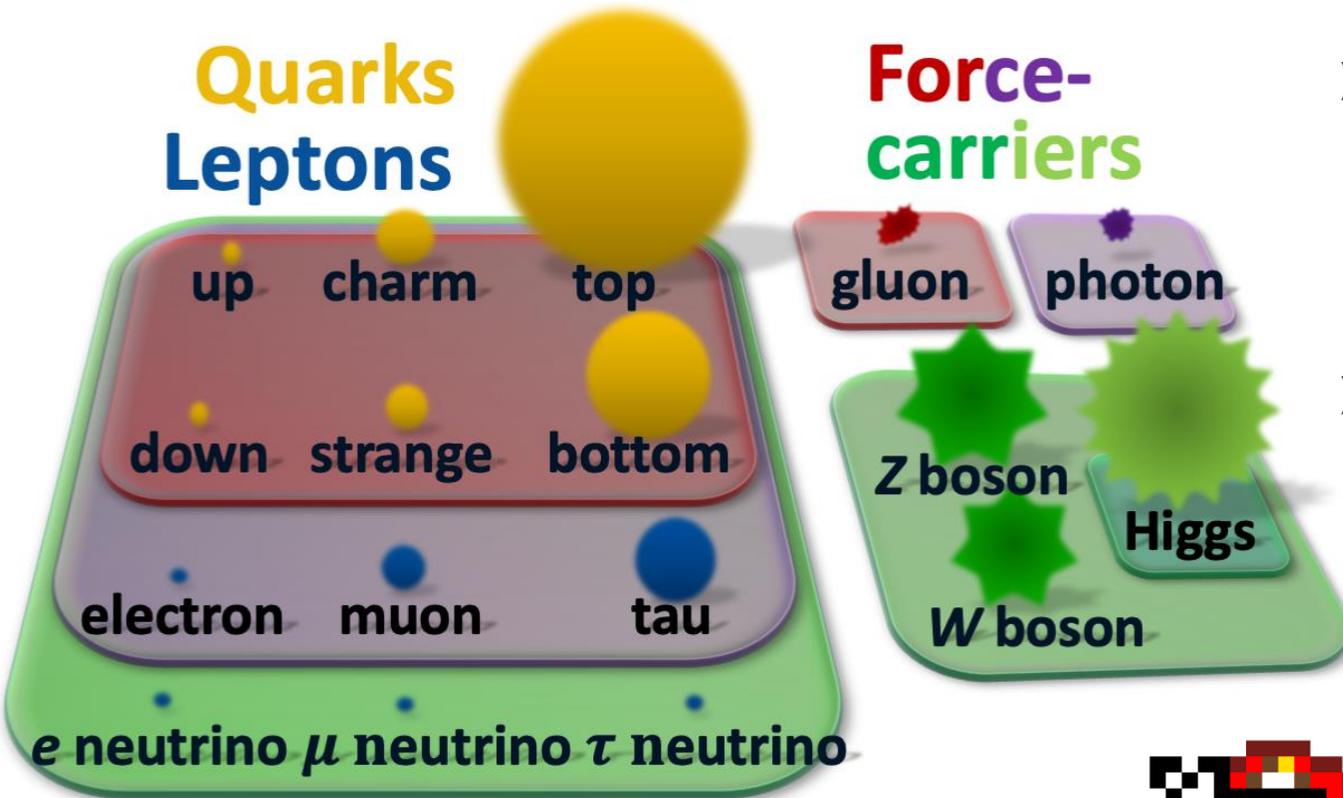
... Cos'è
l'universo?



... E come è
nato tutto
questo?

... Come e
perché
funziona?

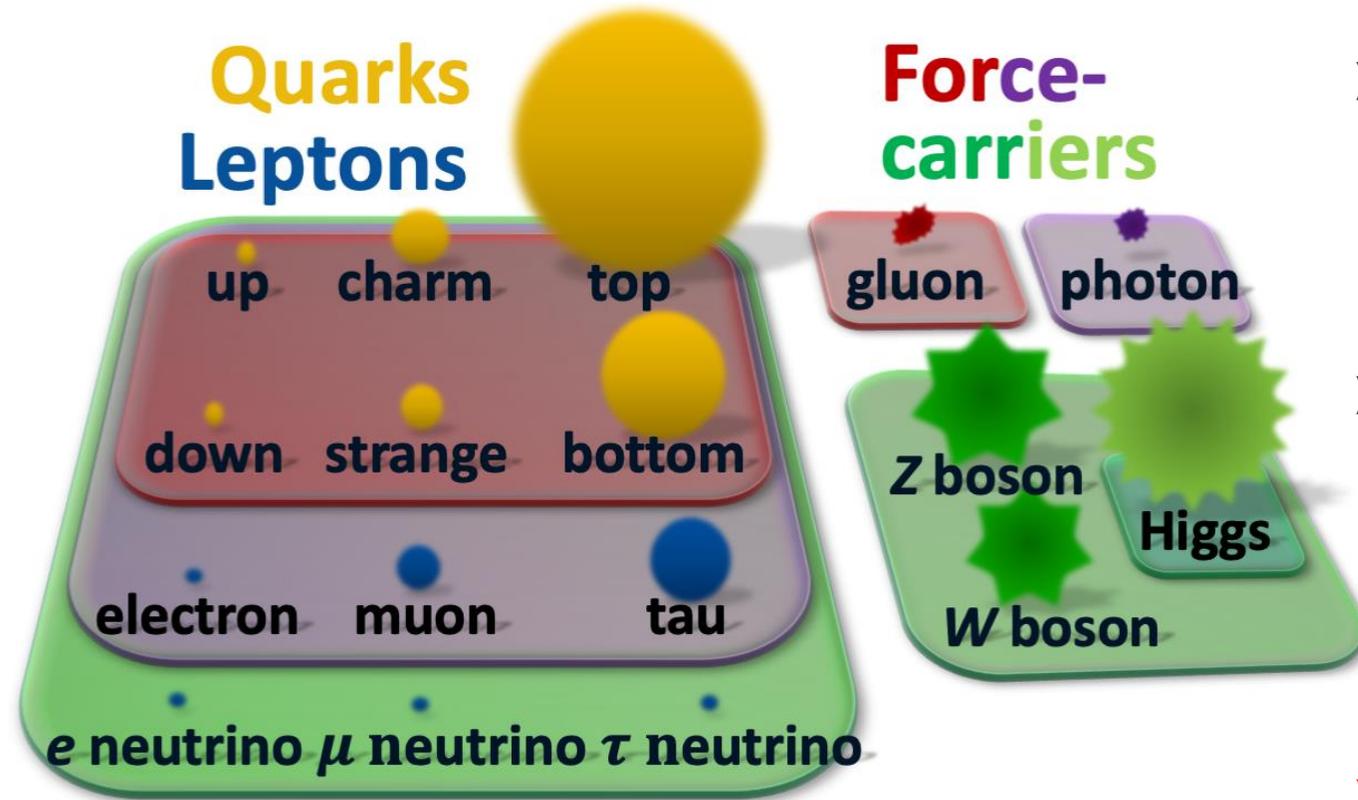
Standard Model: tutto finito adesso?



- Tutte le particelle elementari predette sono state scoperte. Il quadro sembra completo.
- Il nostro modello descrive tutte le particelle che vediamo con i relativi risultati fenomenologici in maniera estremamente accurata.



Standard Model: tutto finito adesso?



- Tutte le particelle elementari predette sono state scoperte. Il quadro sembra completo.
- Il nostro modello descrive tutte le particelle che vediamo con i relativi risultati fenomenologici in maniera estremamente accurata.
- Siamo lontanissimi dalla fine della storia



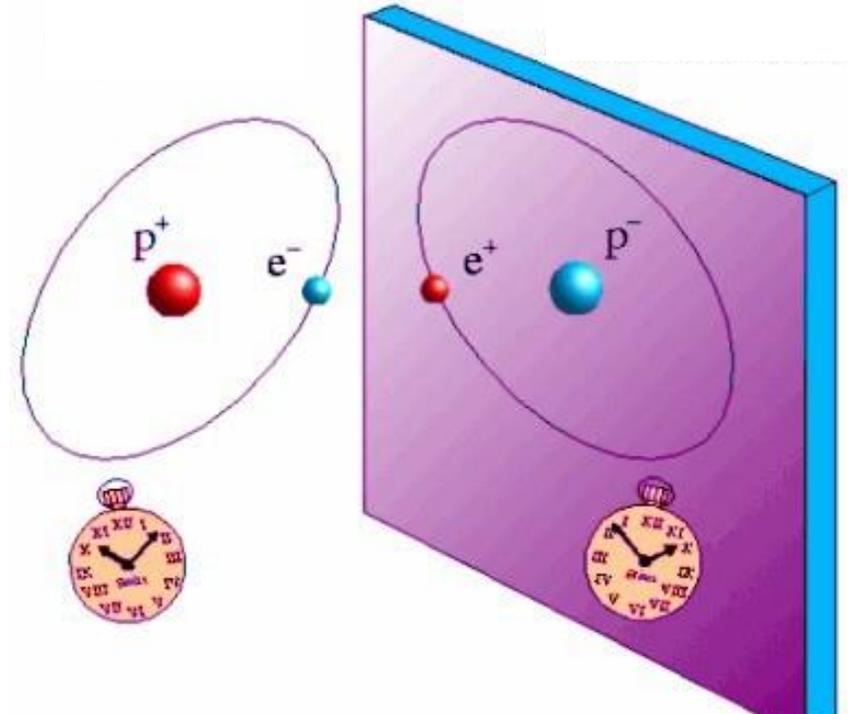
Gravitazione

- Attrazione tra particelle con massa
- La gravità è molto più debole delle altre 3 forze fondamentali
- Su scale grandi come quelle cosmiche, la gravità è molto più forte
- La gravità è descritta dalla teoria di Einstein sulla Relatività Generale nel 1915
- Ad oggi non esiste nessuna teoria che unisce la forza di gravità con le leggi quantistiche che regolano il mondo microscopico



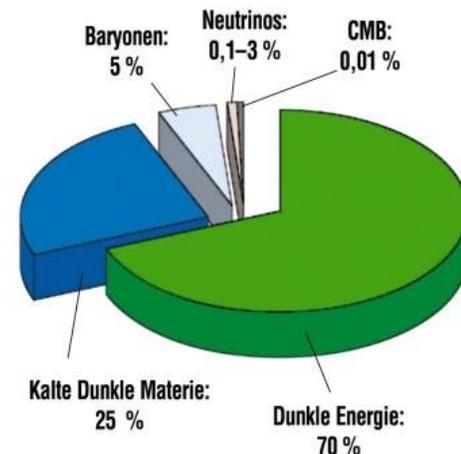
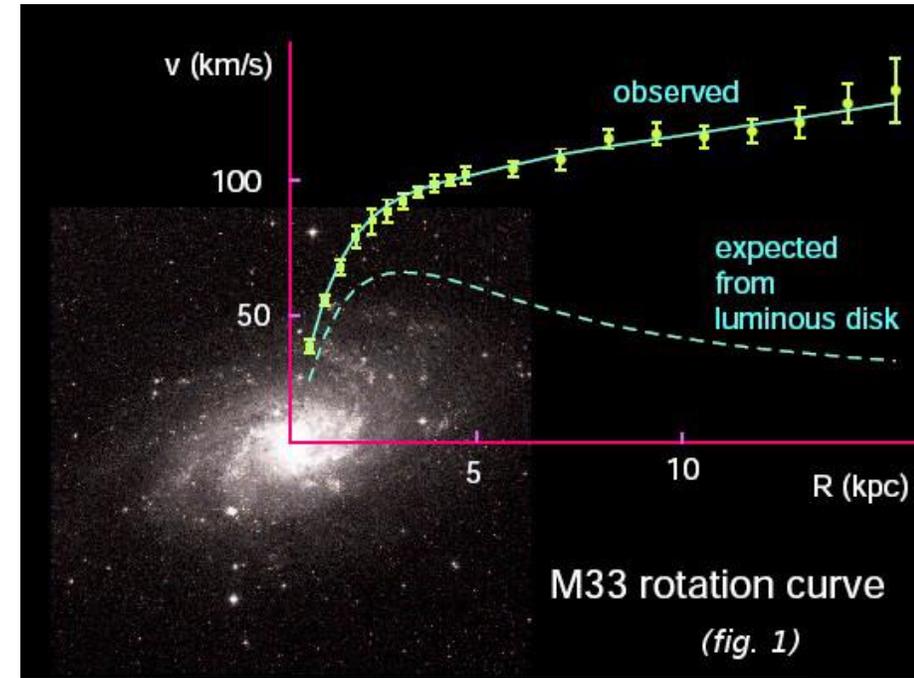
Perché esiste l'universo come lo conosciamo?

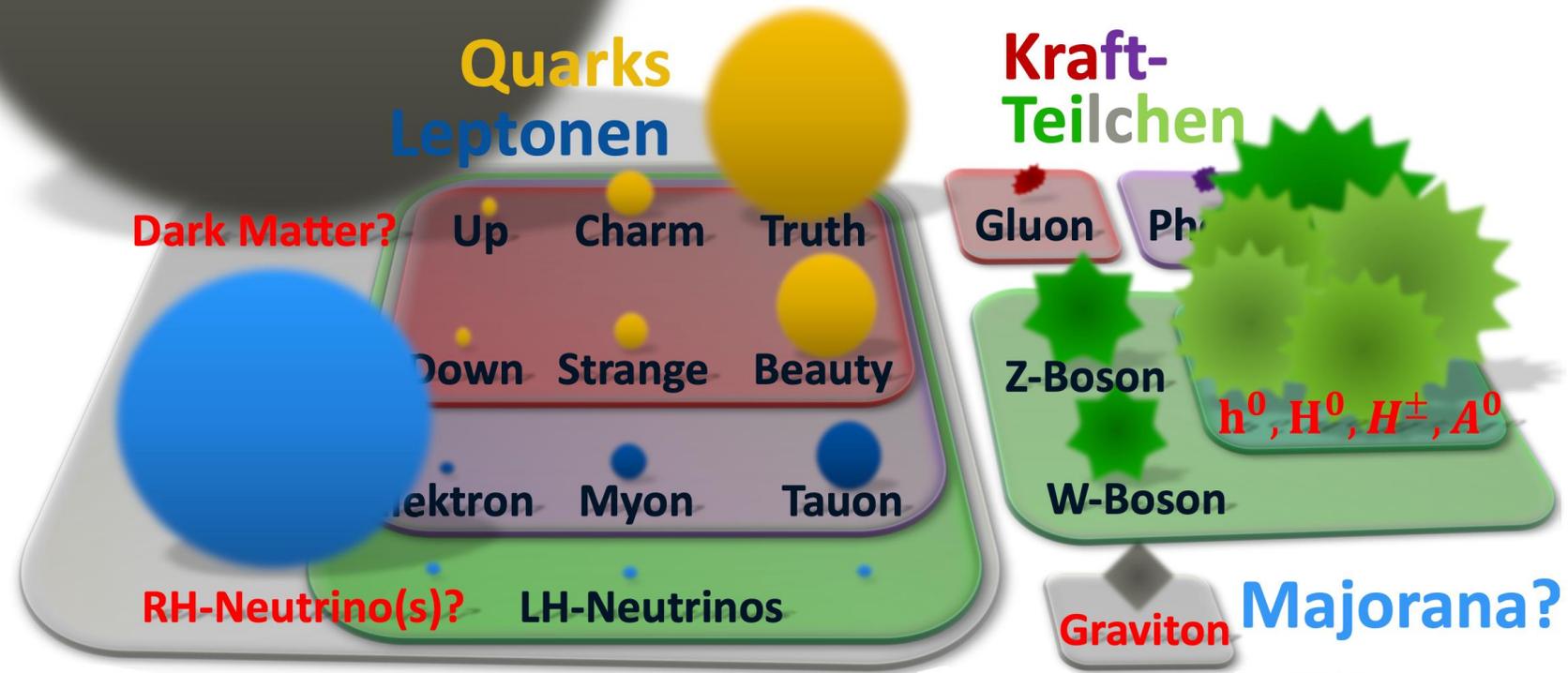
- Il nostro universo è composto di materia
- La materia può solo essere creata insieme all'antimateria
- Quindi, noi ci aspettiamo tanta materia quanta antimateria (simmetria esatta)
- Ma quindi, dove va tutta questa antimateria?
- È possibile che questa simmetria tra materia e antimateria sia rotta?



Cos'è la materia oscura? E l'energia oscura?

- Le galassie ruotano più veloci di quanto ci aspettiamo in base ai componenti luminosi (come stelle e centri galattici)
- Ci deve quindi essere qualche materia addizionale invisibile (**Non** deve avere carica **forte**, di forza **debole** o **elettromagnetica**)
- L'universo poi si espande a velocità sempre più grande
- Deve essere qualche altra forza che spinge tutto lontano (energia oscura)

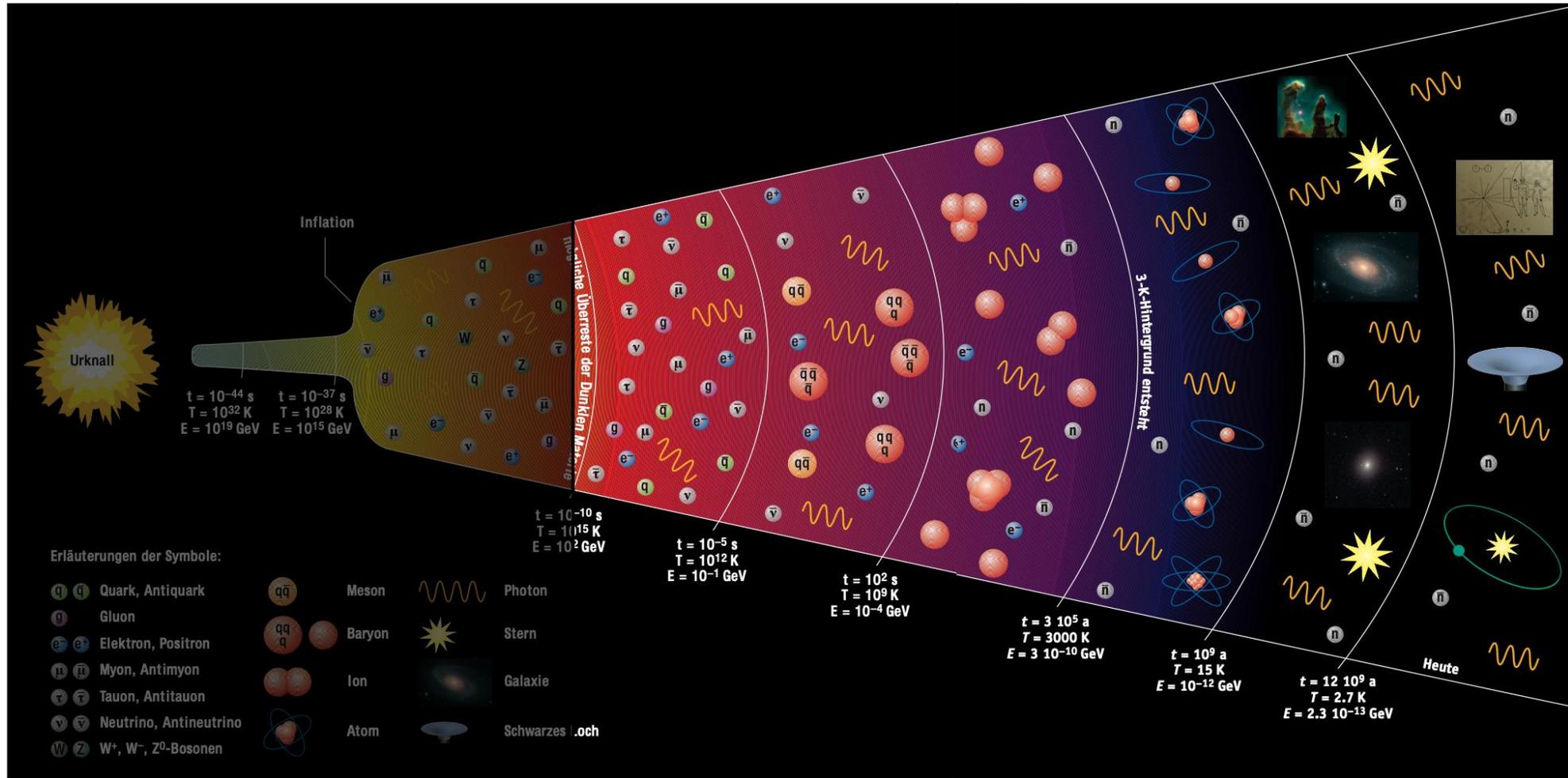




Cos'è la materia oscura? E l'energia oscura?

- Come possiamo includere la gravità nel Modello Standard?
- Come è possibile che la simmetria tra materia e antimateria è rotta?
- In cosa consiste la materia oscura?

Storia dell'universo

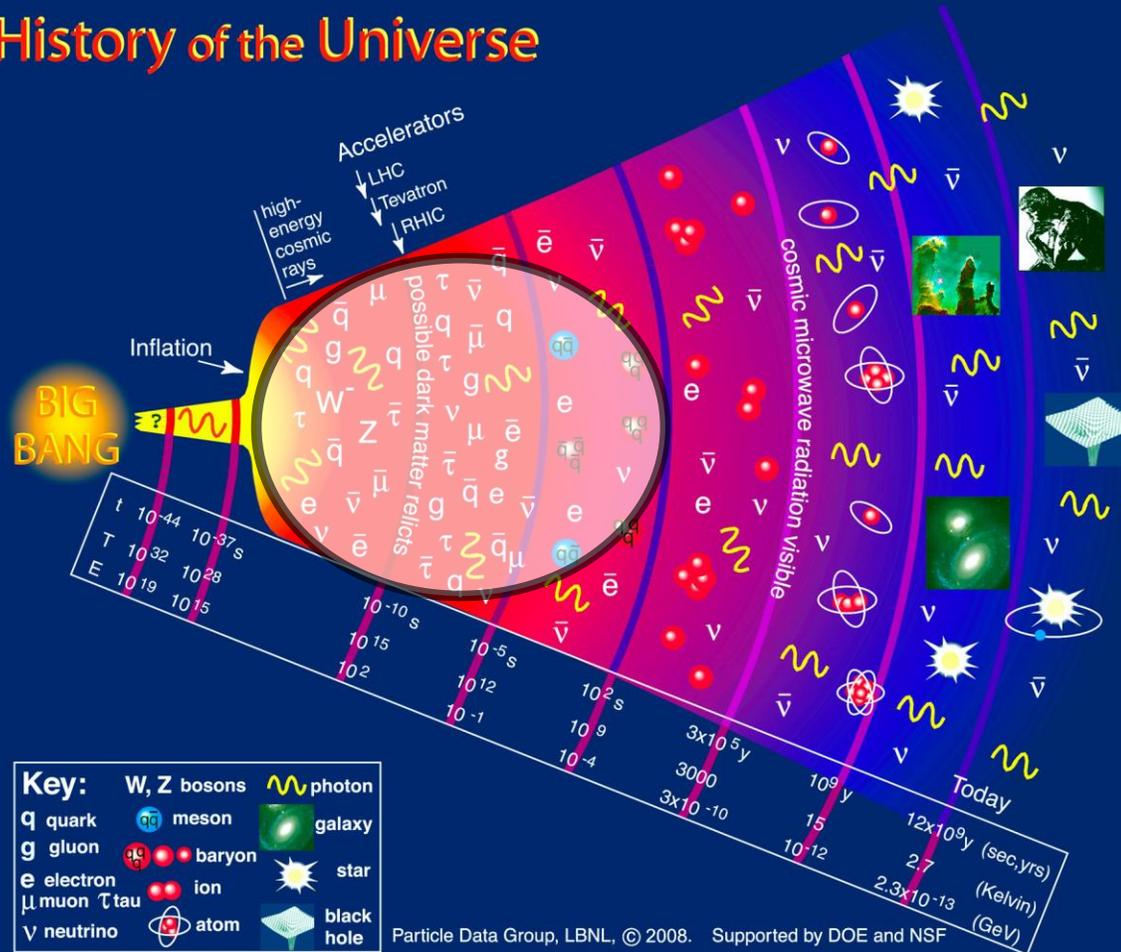


theory

experiment

Dov'è la connessione tra la storia dell'universo e il Modello Standard

History of the Universe



- In un minuscolo puntino, creiamo un ambiente simile a quello del primo universo, poco dopo il Big Bang, utilizzando potenti acceleratori di particelle.
- Con questo, vogliamo fare luce sulla domanda "Cosa tiene insieme la Terra nei suoi elementi più profondi?"

Sommario – Parte 1

- Il Modello Standard descrive ogni esperimento con straordinaria precisione fino ad ora. È composto da 3 famiglie di leptoni e quark. A causa delle loro proprietà, possono essere disposti in una tabella.
- Le forze tra le particelle vengono trasmesse tramite particelle di scambio. Anche esse sono particelle elementari.
- Restano aperte domande come:
 - Cos'è la materia oscura?
 - Cos'è l'energia oscura?
 - Perché dopo il big bang è rimasta solo la materia?

Abbiamo bisogno di ulteriori ricerche per trovare risposte! → Parte 2