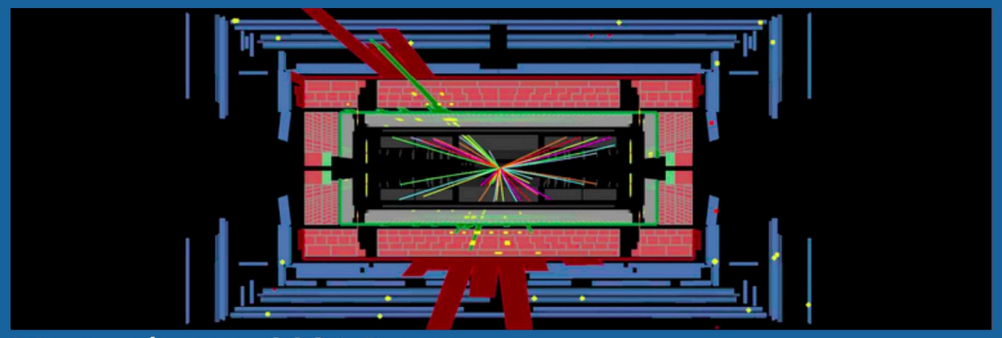


Masterclasses 2022 Parma
hands on particle physics
25 marzo 2022

Di cosa sono fatte le cose?

Il modello standard delle particelle elementari

Francesco Di Renzo
Dipartimento di Scienze Matematiche, Fisiche e Informatiche - UNIPR

UNIVERSITÀ DI PARMA

EuroPLEx

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Ma avremmo dato una risposta diversa per altre "cose" di cui ci fossimo chiesti "di cosa è fatto …?"

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Ma avremmo dato una risposta diversa per altre "cose" di cui ci fossimo chiesti "di cosa è fatto …?"

Di cosa sono fatte le molecole?

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Ma avremmo dato una risposta diversa per altre "cose" di cui ci fossimo chiesti "di cosa è fatto …?"

Di cosa sono fatte le molecole?

Le molecole sono fatte di atomi!

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Ma avremmo dato una risposta diversa per altre "cose" di cui ci fossimo chiesti "di cosa è fatto …?"

Di cosa sono fatte le molecole?

Le molecole sono fatte di atomi!

Di cosa sono fatti gli atomi?

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Ma avremmo dato una risposta diversa per altre "cose" di cui ci fossimo chiesti "di cosa è fatto …?"

Di cosa sono fatte le molecole?

Le molecole sono fatte di atomi!

Di cosa sono fatti gli atomi?

Gli atomi sono fatti di nuclei ed elettroni!

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto ...
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? ...

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Ma avremmo dato una risposta diversa per altre "cose" di cui ci fossimo chiesti "di cosa è fatto ...?"

Di cosa sono fatte le molecole?

Le molecole sono fatte di atomi!

Di cosa sono fatti gli atomi?

Gli atomi sono fatti di nuclei ed elettroni!

Di cosa sono fatti gli elettroni?

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Ma avremmo dato una risposta diversa per altre "cose" di cui ci fossimo chiesti "di cosa è fatto …?"

Di cosa sono fatte le molecole?

Le molecole sono fatte di atomi!

Di cosa sono fatti gli atomi?

Gli atomi sono fatti di nuclei ed elettroni!

Di cosa sono fatti gli elettroni?

Gli elettroni sono elettroni…

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Ma avremmo dato una risposta diversa per altre "cose" di cui ci fossimo chiesti "di cosa è fatto …?"

Di cosa sono fatte le molecole?

Le molecole sono fatte di atomi!

Di cosa sono fatti gli atomi?

Gli atomi sono fatti di nuclei ed elettroni!

Di cosa sono fatti gli elettroni?

Gli elettroni sono elettroni…

Di cosa sono fatti i nuclei?

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Ma avremmo dato una risposta diversa per altre "cose" di cui ci fossimo chiesti "di cosa è fatto …?"

Di cosa sono fatte le molecole?

Le molecole sono fatte di atomi!

Di cosa sono fatti gli atomi?

Gli atomi sono fatti di nuclei ed elettroni!

Di cosa sono fatti gli elettroni?

Gli elettroni sono elettroni…

Di cosa sono fatti i nuclei?

I nuclei sono fatti di protoni e neutroni!

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Ma avremmo dato una risposta diversa per altre "cose" di cui ci fossimo chiesti "di cosa è fatto …?"

Di cosa sono fatte le molecole?

Le molecole sono fatte di atomi!

Di cosa sono fatti gli atomi?

Gli atomi sono fatti di nuclei ed elettroni!

Di cosa sono fatti gli elettroni?

Gli elettroni sono elettroni…

Di cosa sono fatti i nuclei?

I nuclei sono fatti di protoni e neutroni!

Di cosa sono fatti i protoni e i neutroni?

Di cosa sono fatte le cose?

Vorrei indicarvi qualcosa e chiedervi di che cosa sia fatto …
Cosa potrei scegliere per avere considerazioni semplici, ma universali? …

Idea: l'ARIA!

Di cosa è fatta l'aria?

È un GAS .. l'aria è fatta di molecole!

Ma avremmo dato una risposta diversa per altre "cose" di cui ci fossimo chiesti "di cosa è fatto …?"

Di cosa sono fatte le molecole?

Le molecole sono fatte di atomi!

Di cosa sono fatti gli atomi?

Gli atomi sono fatti di nuclei ed elettroni!

Di cosa sono fatti gli elettroni?

Gli elettroni sono elettroni…

Di cosa sono fatti i nuclei?

I nuclei sono fatti di protoni e neutroni!

Di cosa sono fatti i protoni e i neutroni?

I protoni e i neutroni sono fatti di QUARKS!

Prendete un bastoncino lungo un piede e ogni giorno dimezzatelo: non lo esaurirete in un milione di anni.

Prendete un bastoncino lungo un piede e ogni giorno dimezzatelo: non lo esaurirete in un milione di anni.

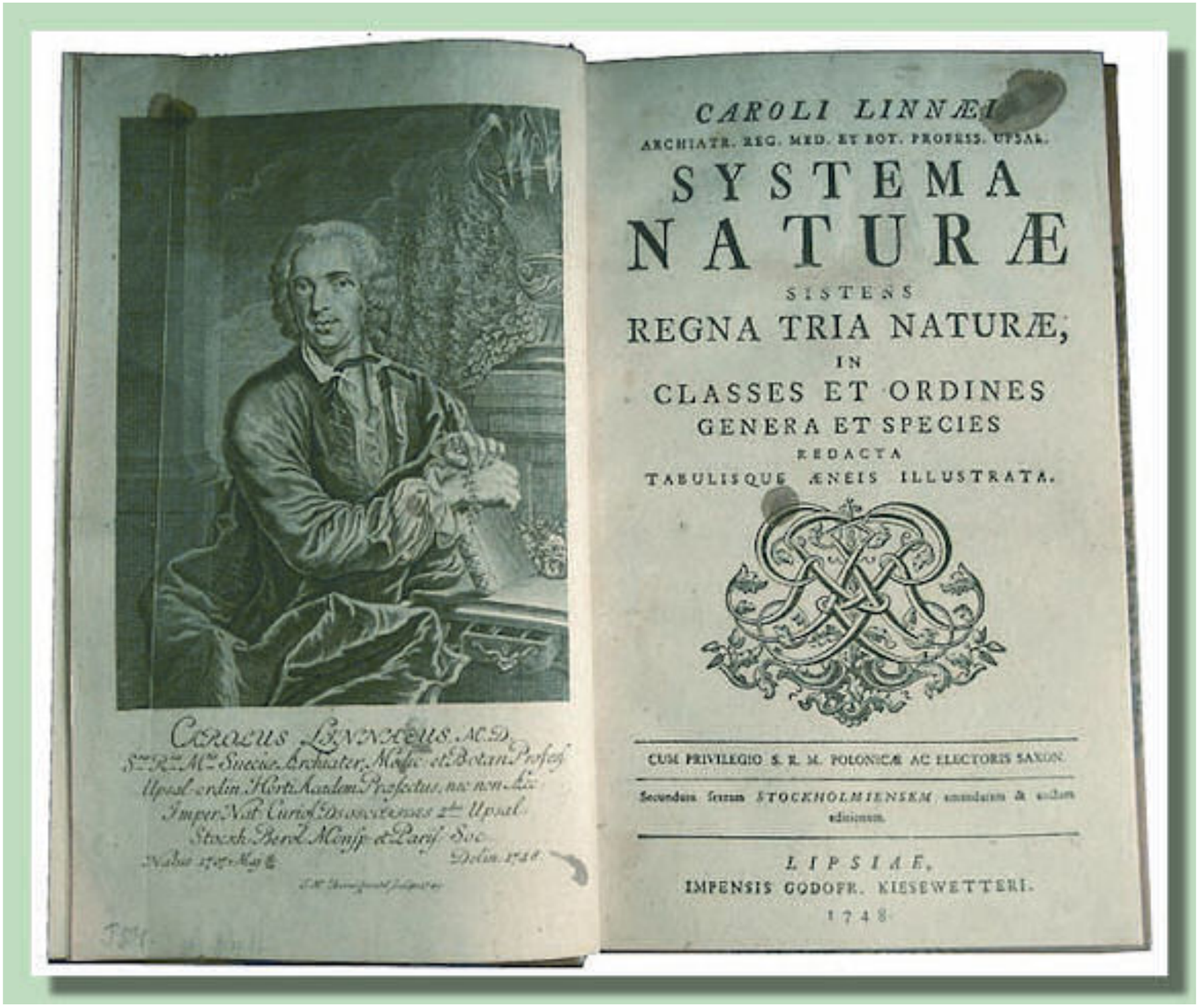
SFIDA: sapreste indovinare la citazione?

Prendete un bastoncino lungo un piede e ogni giorno dimezzatelo: non lo esaurirete in un milione di anni.

SFIDA: sapreste indovinare la citazione?

Gongsun (Kungsun) Lung (ca 300 AC)

Ora prendiamo un'altra strada? … *ma è davvero così?*



CAROLI LINNÆI
ARCHIATR. REG. MED. ET BOT. PROFESS. UPSAL.

SYSTEMA
NATURÆ
SISTENS
REGNA TRIA NATURÆ,
IN
CLASSES ET ORDINES
GENERA ET SPECIES
REDACTA
TABULISQUE ÆNEIS ILLUSTRATA.

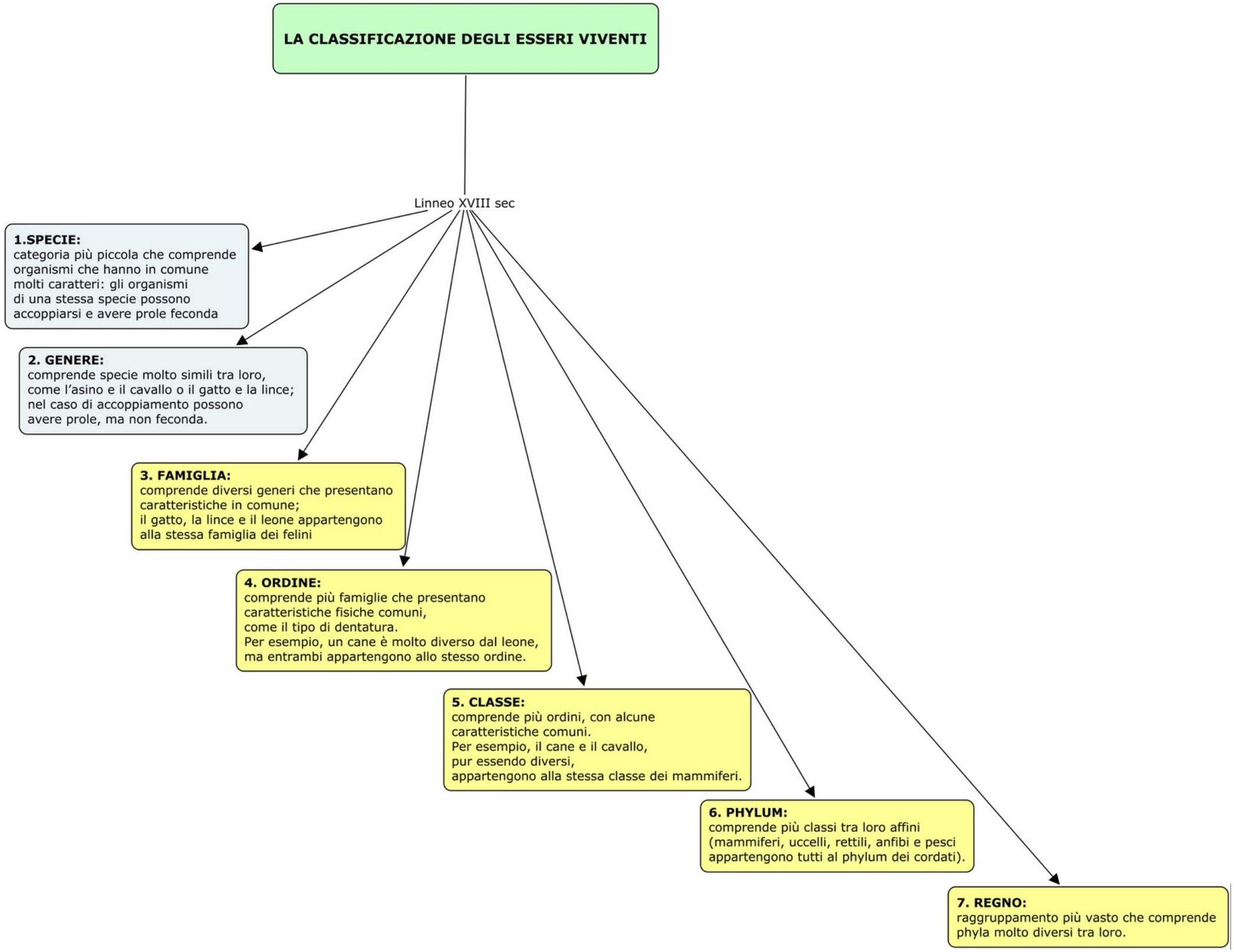
CUM PRIVILEGIO S. R. M. POLONIÆ AC ELECTORIS SAXON.

Secundum Sexum STOCKHOLMIENSEM emendatum & auctum editionem.

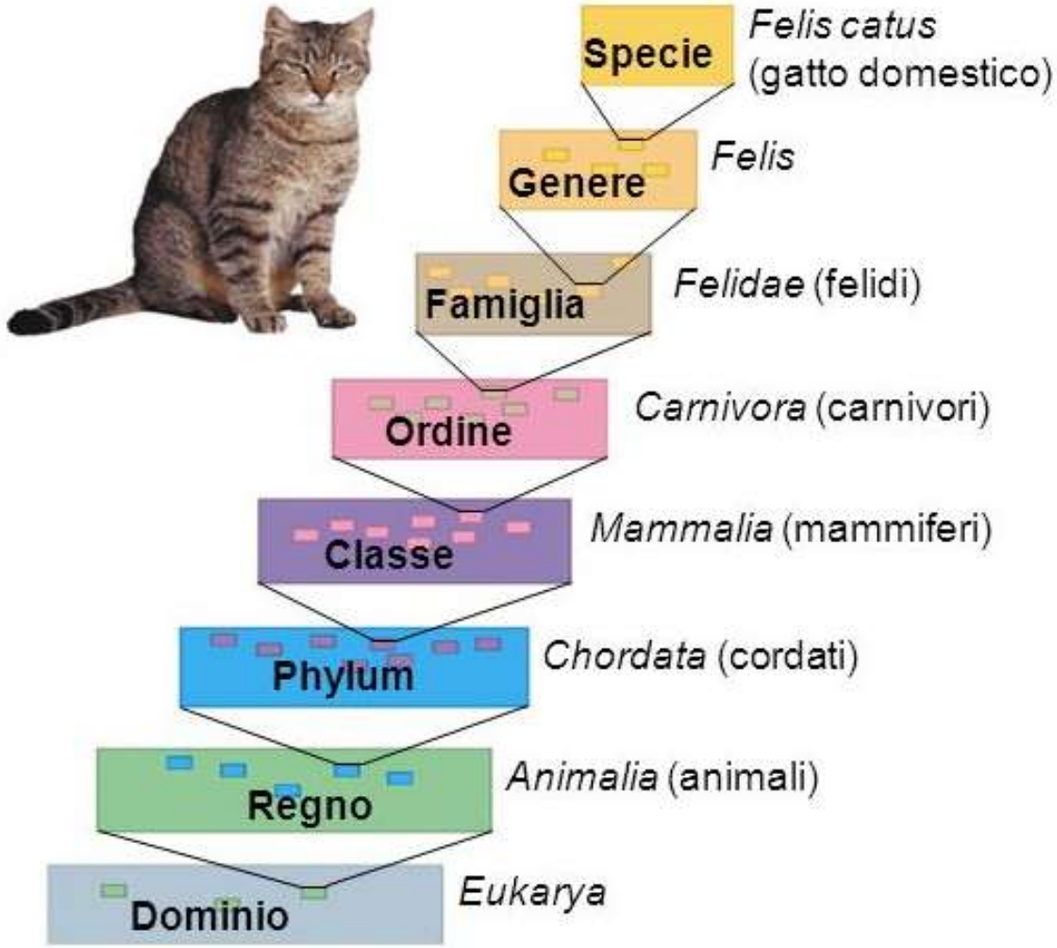
LIPSIAE,
IMPENSIS GODOFR. KIESEWETTERI.
1748.

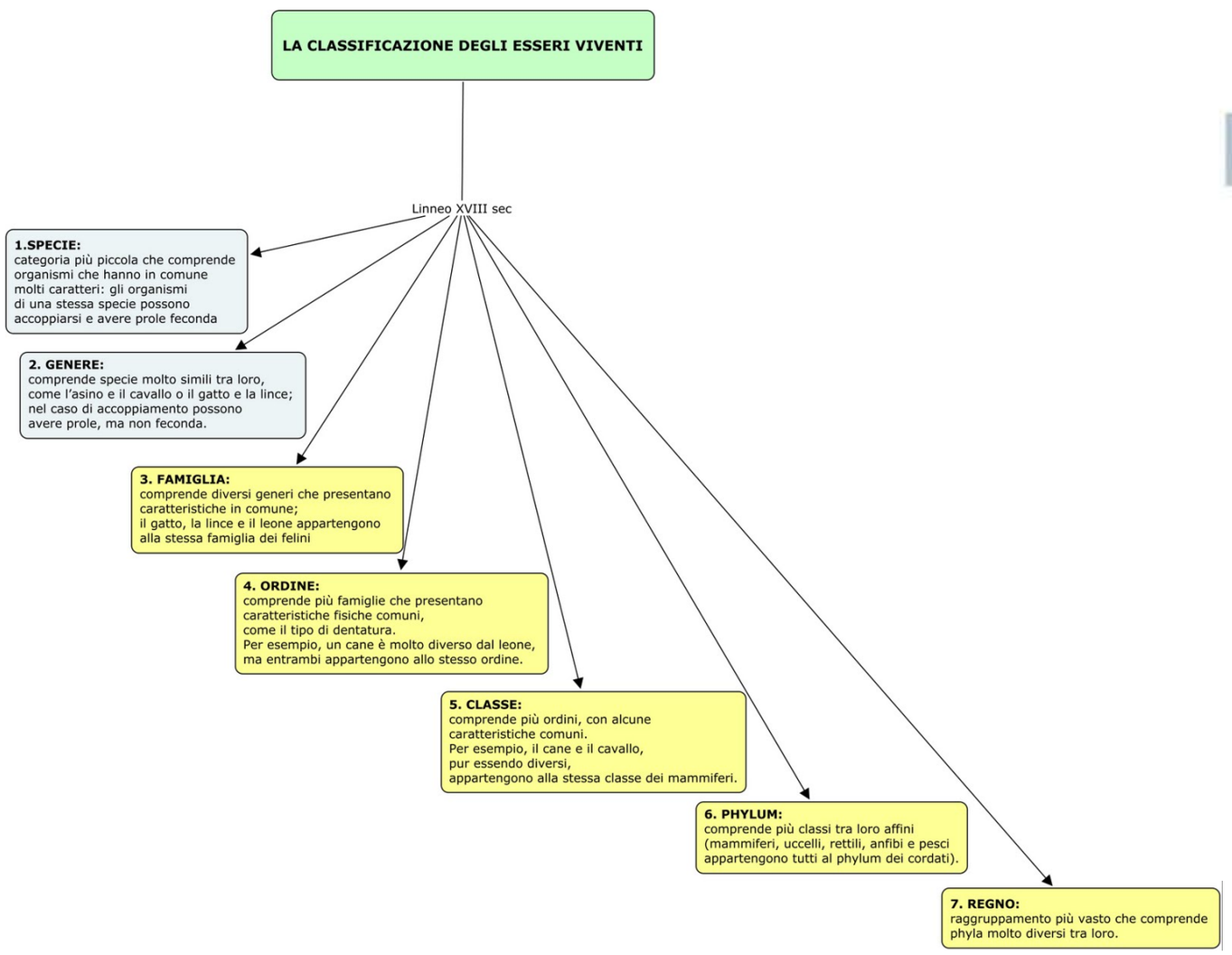
CAROLUS LINNÆUS. M.D.
S.R.M. Suecie Archiater, Medic. et Botan. Profess.
Upsal. ordin. Horti Academ. Praefectus, nec non Acad.
Imper. Nat. Curiosorum Bononiensis et Upsal.
Stockh. Berol. Monsp. et Paris. Soc.
Natus 1707. Mai. Obiit 1778.

Ora prendiamo un'altra strada? … *ma è davvero così?*

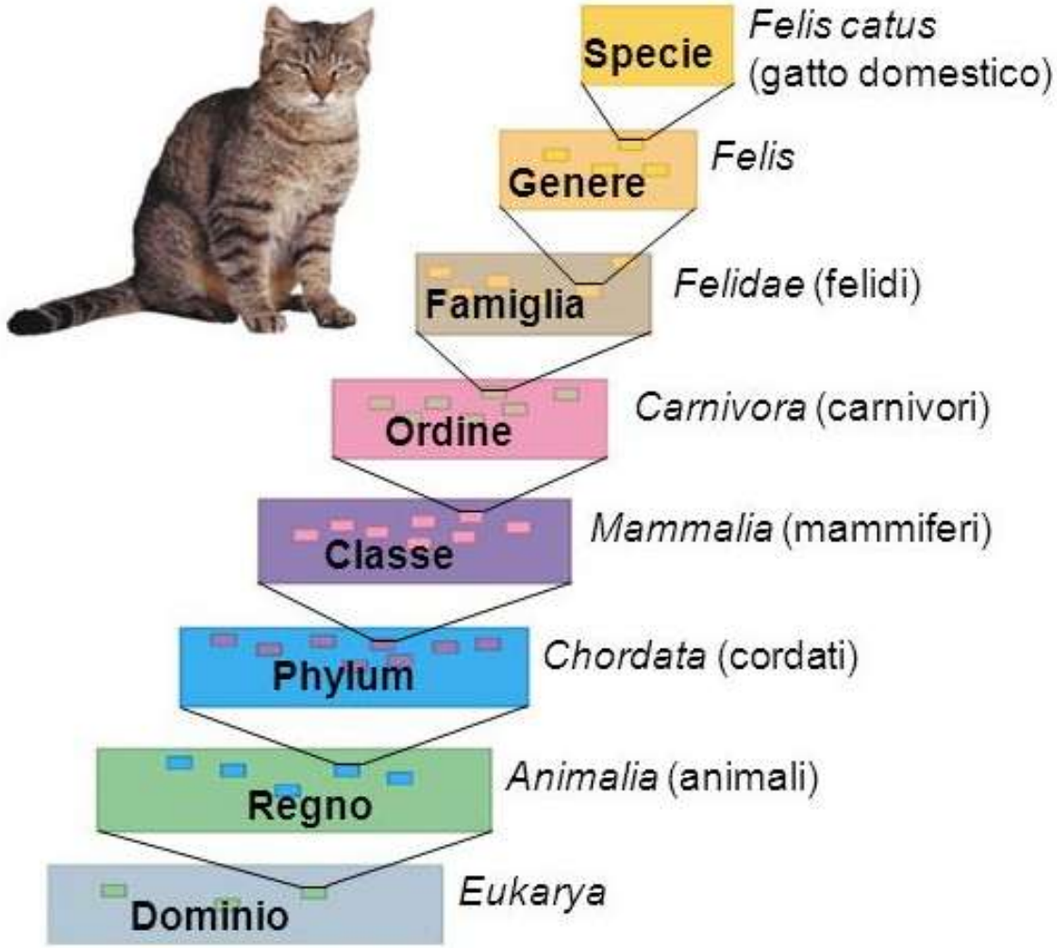


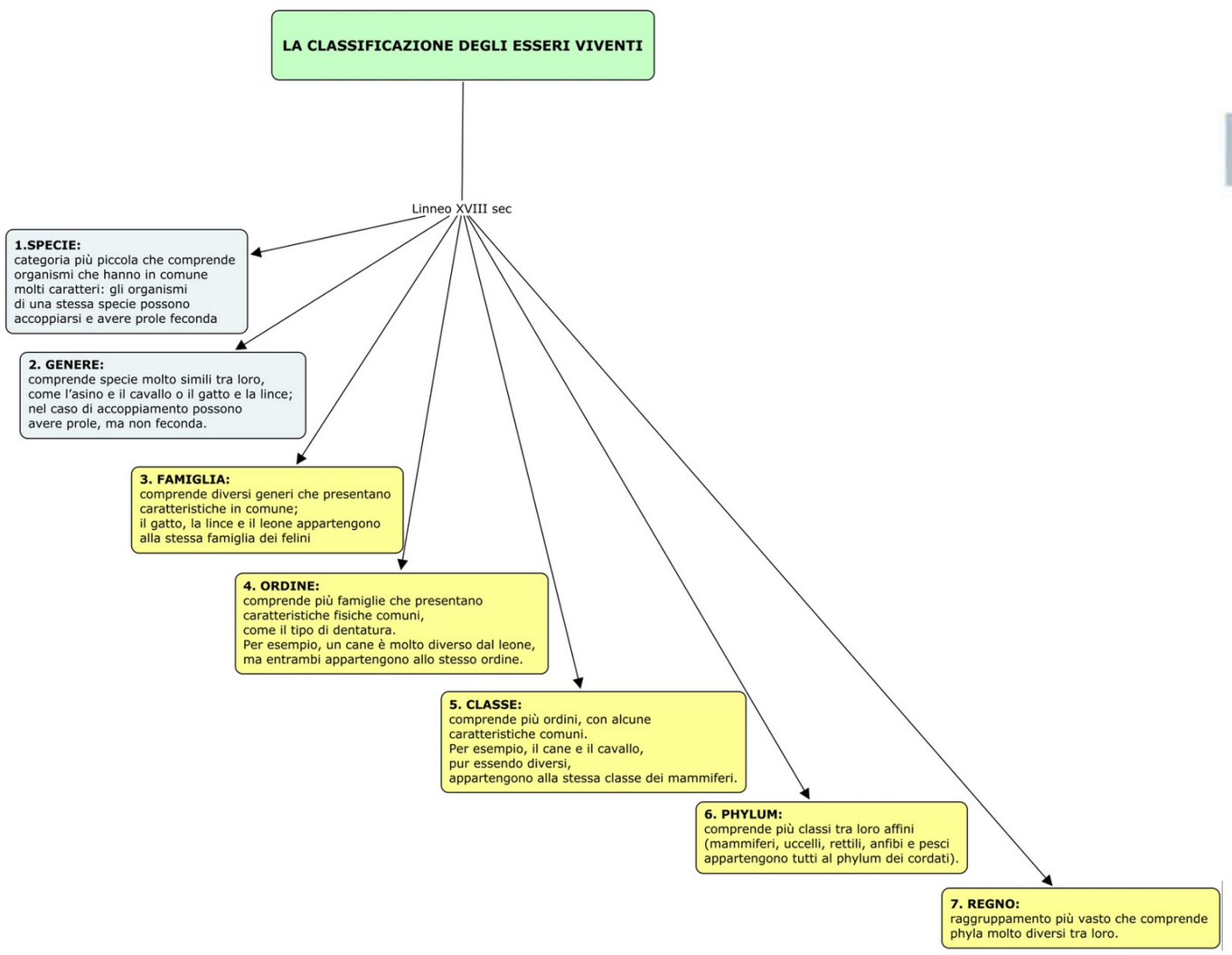
Questo è un GATTO … *ma è davvero così?*





Questo è un GATTO … *ma è davvero così?*





Cosa ho davvero fatto?
Ho descritto il gatto?
Ho classificato il gatto?

Siamo nell'ambito concettuale della
TASSONOMIA

Vediamo se siete d’accordo che ora facciamo un passo in avanti…

Vediamo se siete d'accordo che ora facciamo un passo in avanti…

Tavola periodica degli elementi

1 I	2 II	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 III	14 IV	15 V	16 VI	17 VII	18 VIII
1 H Idrogeno 1.008 2.2 (+1, 1)																	2 He Elio 4.00 --
3 Li Litio 6.941 0.98 (+1)	4 Be Berillio 9.012 1.57 (+2)											5 B Boro 10.81 2.04 (3)	6 C Carbonio 12.01 2.55 (4,2,-4,-2)	7 N Azoto 14.01 3.04 (5,4,3,2,-3)	8 O Ossigeno 16.00 3.44 (-2,-1)	9 F Fluoro 19.00 3.98 (-1)	10 Ne Neon 20.18 --
11 Na Sodio 22.10 0.93 (+1)	12 Mg Magnesio 24.31 1.31 (+2)											13 Al Alluminio 26.98 1.61 (3)	14 Si Silicio 28.09 1.90 (4,-4)	15 P Fosforo 30.97 2.19 (5,3,-3)	16 S Zolfo 32.06 2.58 (6,4,2,-2)	17 Cl Cloro 35.45 3.16 (7,5,3,1,-1)	18 Ar Argon 39.95 --
19 K Potassio 39.10 0.82 (+1)	20 Ca Calcio 40.08 1.0 (+2)	21 Sc Scandio 44.97 1.36 (+3)	22 Ti Titanio 47.87 1.54 (+4)	23 V Vanadio 50.94 1.63 (+5,+4,+3)	24 Cr Cromo 51.10 1.66 (+6,+3,+2)	25 Mn Manganese 54.94 1.55 (7,6,4,3,2,1,-1)	26 Fe Ferro 55.85 1.83 (6,3,2,-2)	27 Co Cobalto 58.93 1.88 (3,2,-1)	28 Ni Nichel 58,7 1.91 (3,2)	29 Cu Rame 63.55 1.90 (2,1)	30 Zn Zinco 65.38 1.65 (2)	31 Ga Gallio 69.72 1.81 (3,2)	32 Ge Germanio 72.59 2.01 (4,3)	33 As Arsenico 74.92 2.18 (5,3,-3)	34 Se Selenio 78.96 2.55 (6,4,-2)	35 Br Bromo 79.90 2.96 (7,5,3,1,-1)	36 Kr Krypton 83.8 --
37 Rb Rubidio 84.47 0.82 (+1)	38 Sr Stronzio 87.62 0.95 (+2)	39 Y Yttrio 88.91 1.22 (+3)	40 Zr Zirconio 91.22 1.33 (+4)	41 Nb Niobio 92.91 1.6 (+5)	42 Mo Molibdeno 95.95 2.16 (+6,+4)	43 TC Tecnezio [98] 1.90 (+7)	44 Ru Rutenio 101.1 2.20 (8,6,4,3,2,-2)	45 Rh Rodio 102.91 2.28 (5,4,3,2,1)	46 Pd Palladio 106.4 2.2 (4.2)	47 Ag Argento 107.9 1.93 (2,1)	48 Cd Cadmio 112.4 1.69 (2)	49 In Indio 114.8 1.78 (3)	50 Sn Stagno 118.7 1.80 (4,2)	51 Sb Antimonio 121.8 2.05 (5,3,-3)	52 Te Tellurio 127.6 2.10 (6,4,-2)	53 I Iodio 127.0 2.66 (7,5,1,-1)	54 Xe Xenon 131.3 --
55 Cs Cesio 132.91 0.79 (+1)	56 Ba Bario 137.33 0.89 (+2)	57 La Lantanio 138.91 1.10 (+3)	72 Hf Afnio 178.49 1.30 (+4)	73 Ta Tantalio 180.95 1.50 (+5)	74 W Tungsteno 183.84 2.36 (+6,+4)	75 Re Renio 186.2 1.90 (7,6,4,2,1,-1)	76 Os Osmio 190.2 2.20 (8,6,4,3,2,-2)	77 Ir Iridio 192.2 2.20 (6,4,3,2,1,-1)	78 Pt Platino 195.1 2.28 (4,2)	79 Au Oro 196.9 2.54 (3,1)	80 Hg Mercurio 201.0 2.00 (2.1)	81 Tl Tallio 204.3 2.04 (3,1)	82 Pb Piombo 207.2 2.33 (4,2)	83 Bi Bismuto 209.0 2.02 (5,3)	84 Po Polonio [209] 2.00 (6,4,2)	85 At Astato [210] 2.20 (7,5,3,1,-1)	86 Rn Radon [222] --
87 Fr Francio 223.02 0.70 (+1)	88 Ra Radon 226.03 0.90 (+2)	89 Ac Attinio 227.03 1.10 (+3)	104 Rf Rutherfordio [261] -- (+4)	105 Db Dubnio [262] -- (--)	106 Sg Seaborgio [266] -- (--)	107 Bh Bohrio [264] -- (--)	108 Hs Hassio -- -- (--)	109 Mt Meitnerio 268 -- (--)	110 Ds Darmstadtio [271] -- (--)	111 Rg Roentgenio [272] -- (--)	112 Cn Copernicio [285] -- (--)	113 Nh Nihonio -- -- (--)	114 Fl Flerovio -- 2.2 (--)	115 Mc Moscovio -- -- (--)	116 Lv Livermorio - 2.2 (--)	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 -- (+1)	64 Gd Gadolinio 157 1.20 (+1)	65 Tb Terbio 159 -- (+1)	66 Dy Disprosio 163 1.22 (--)	671 Ho Olmio 165 1.23 (--)	68 Er Erbio 167 1.24 (--)	69 Tm Tullio 169 1.25 (--)	70 Yb Itterbio 173 -- (+1)	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 (+1)	96 Cm Curio [247] 1.30 (+1)	97 Bk Berkelio [247] 1.30 (+1)	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

By AGeremia - Own work, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=100663313

In che senso abbiamo fatto un passo in avanti…

Saremo penso tutti d'accordo che siamo passati ad una descrizione decisamente più QUANTITATIVA.

Siamo nell'ambito della CHIMICA.

Ma è davvero solo chimica?

Chimica e Fisica non necessariamente trattano cose diverse…

Sicuramente è vera una cosa: nel nostro cammino riduzionista delle primissime slides, siamo ancora al livello di atomi e molecole.

Vogliamo ora andare oltre: scendere a scale di distanza più piccole!

E ricordiamoci … vogliamo FARE FISICA

Prendete un bastoncino lungo un piede e ogni giorno dimezzatelo: non lo esaurirete in un milione di anni.

E ricordiamoci … vogliamo FARE FISICA

<u>Cosa vuol dire FARE FISICA?</u>

Le teorie fisiche sono quelle che

(1) danno risposte quantitative

(2) e sperimentalmente verificabili

(3) a domande formalizzabili in linguaggio matematico.

E ricordiamoci … vogliamo FARE FISICA

<u>Cosa vuol dire FARE FISICA?</u>

Le teorie fisiche sono quelle che

(1) danno risposte quantitative

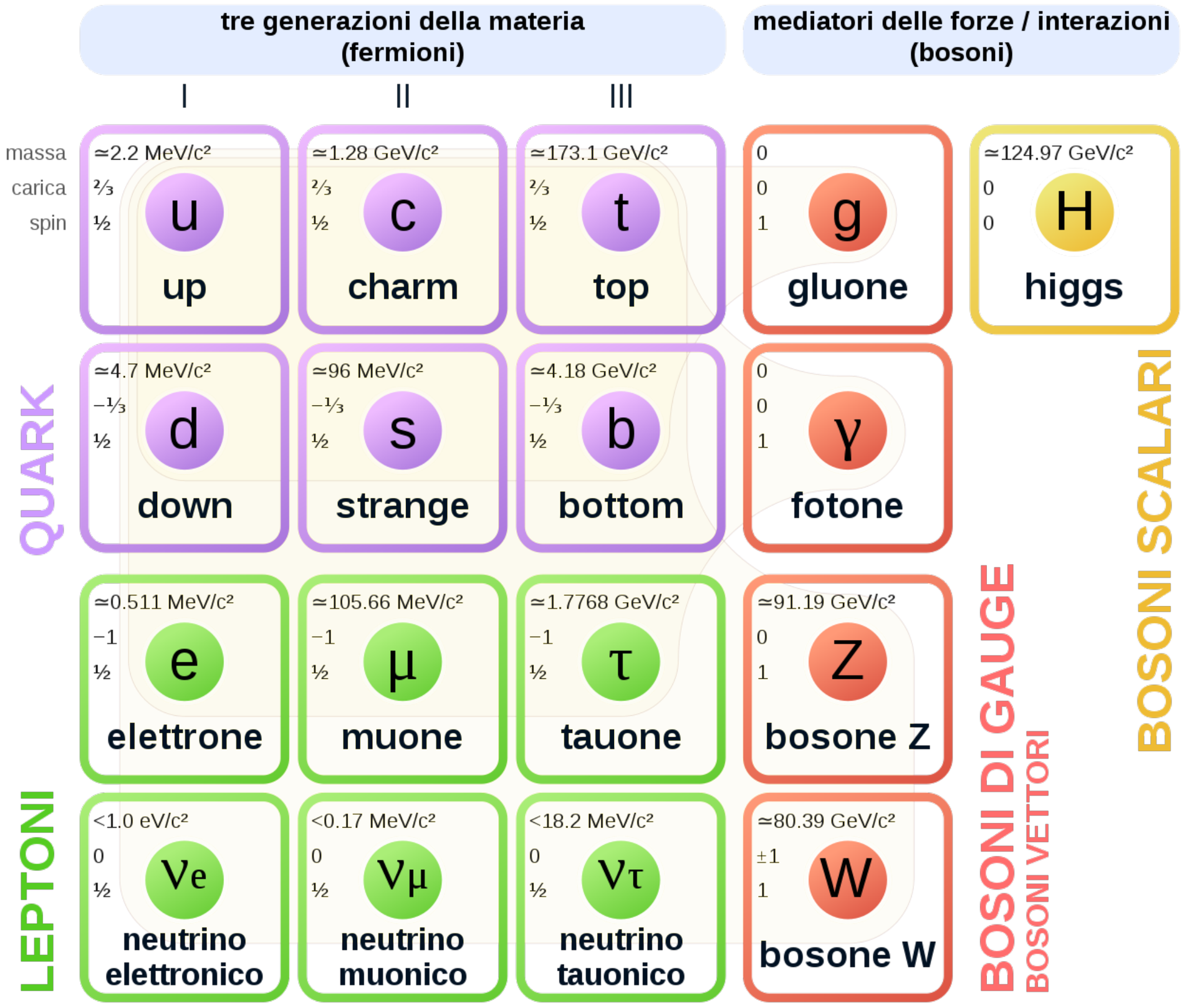
(2) e sperimentalmente verificabili

(3) a domande formalizzabili in linguaggio matematico.

Vogliamo prendere una scorciatoia? Dobbiamo saper fare i conti e condurre esperimenti…

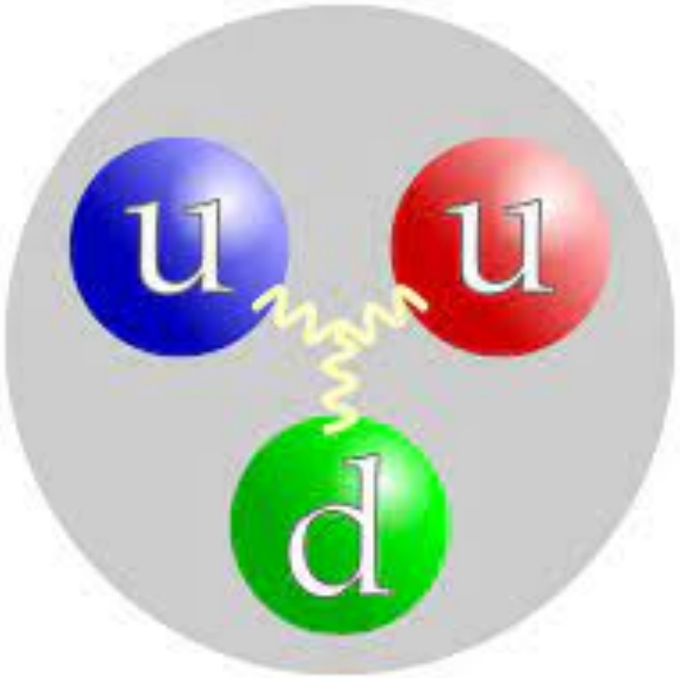
$$(i\not{\partial} + m)\psi = 0$$

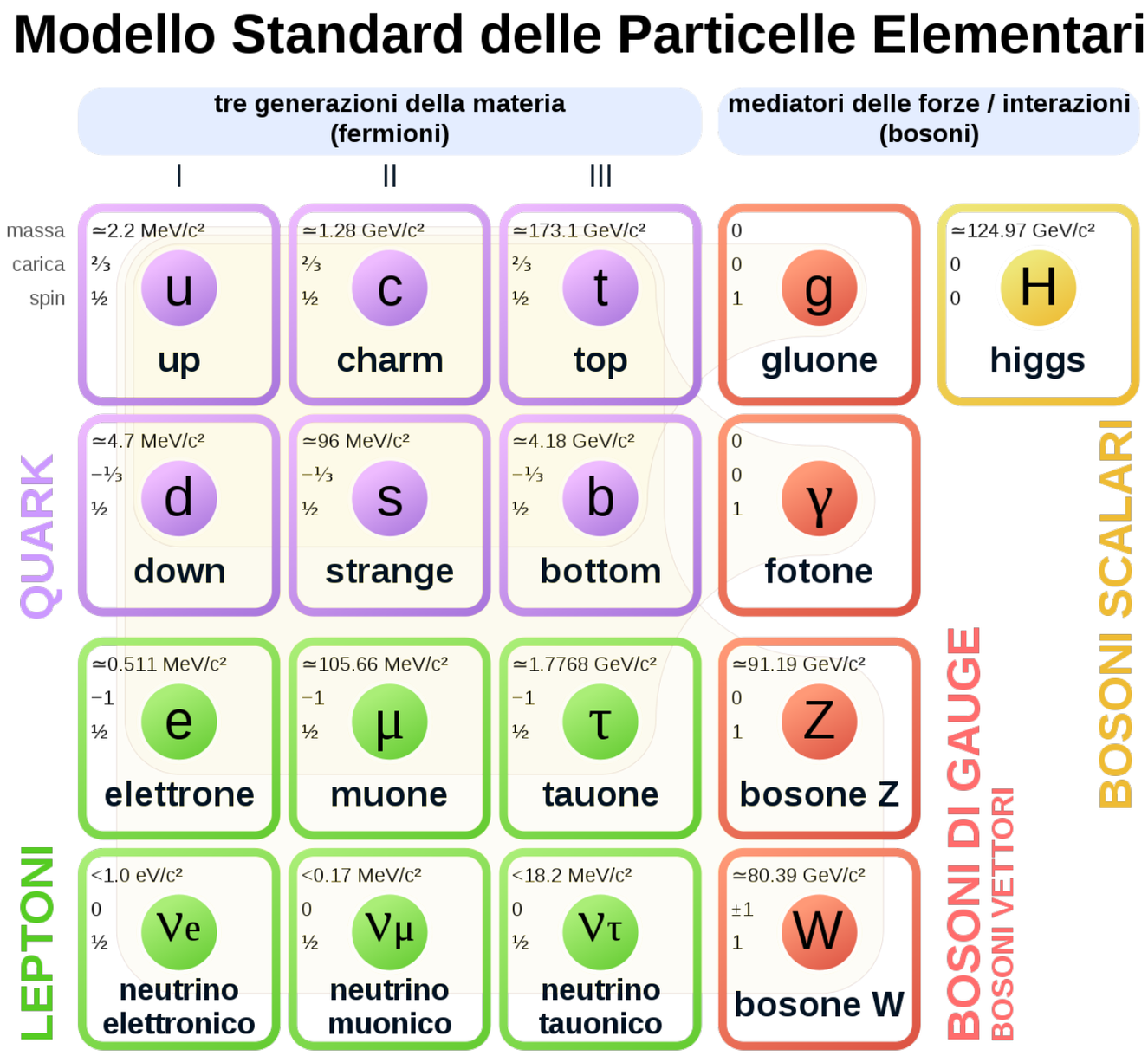
Modello Standard delle Particelle Elementari



By MissMJtranslation by: Datolo12 - Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=83005464

Torniamo a bomba... ecco *di cosa è fatto un protone* ...





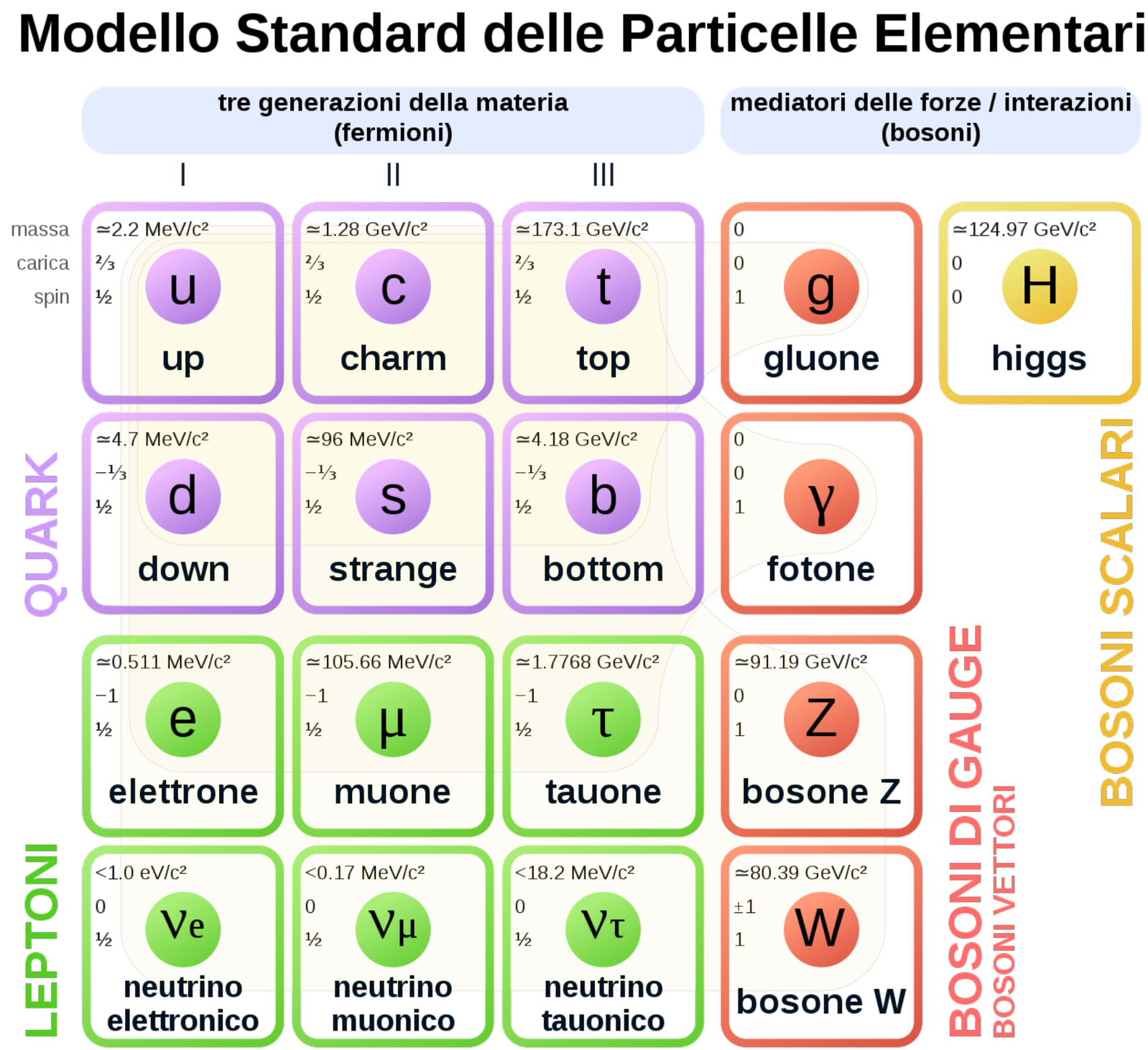
È fatto di QUARKS ... e GLUONI!

OCCHIO ALLA MASSA:
la massa del protone (nella stessa unità di misura usata nella tabella) è di

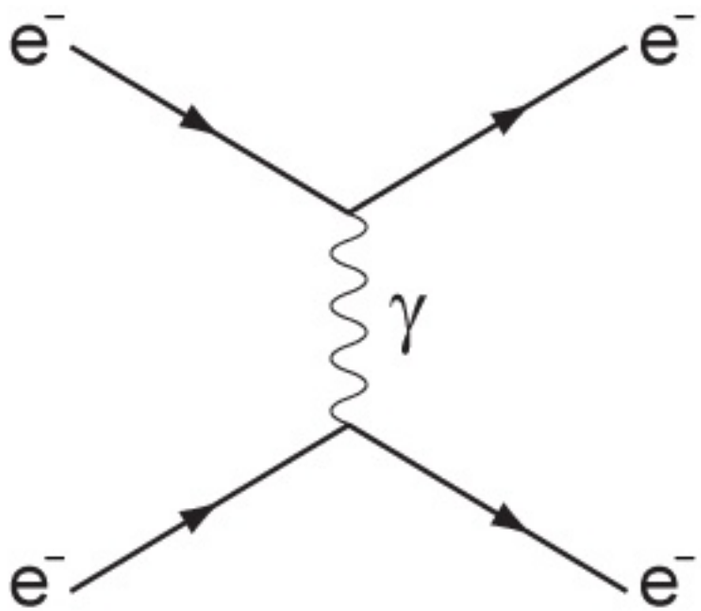
938 MeV/c²

UN MUCCHIO DI
ENERGIA DI LEGAME!
Ricordate la
equivalenza fra massa ed energia!
La **interazione FORTE** è
MEDIATA DAI GLUONI

In modo sintetico, abbiamo una visione di
<u>MATERIA</u> e **<u>INTERAZIONI</u>** (**FORTE**, **ELETTROMAGNETICA**, **DEBOLE**; non è inclusa la GRAVITÀ)



By MissMJtranslation by: Datolo12 - Standard_Model_of_Elementary_Particles.svg, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=83005464



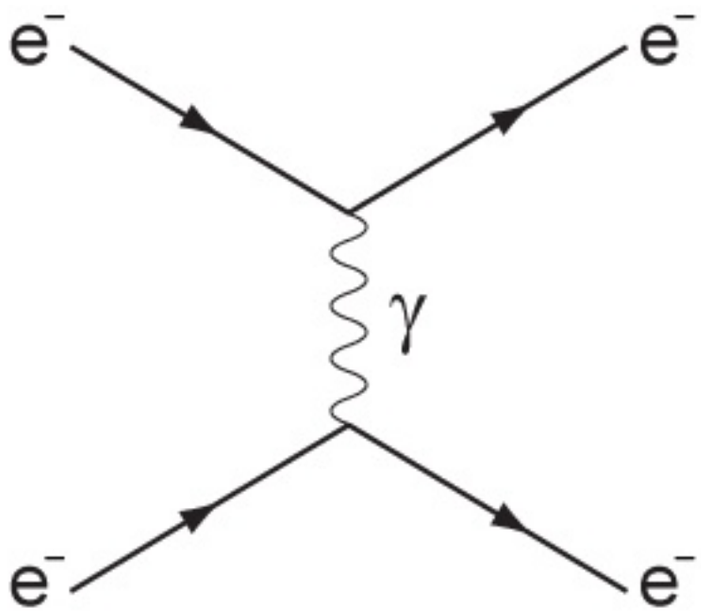
Sappiamo CALCOLARE interazioni e descrivere processi di urto (scattering, qui fra due elettroni)

Una descrizione efficace (attenzione! non ci evita di fare i conti, ci aiuta a scriverli!) è quella dei

GRAFICI DI FEYNMAN

Dovete interpretare che il tempo scorre da sinistra verso destra.

Capite perché il FOTONE è MEDIATORE della **INTERAZIONE ELETTROMAGNETICA**?



Sappiamo CALCOLARE interazioni e descrivere processi di urto (scattering, qui fra due elettroni)

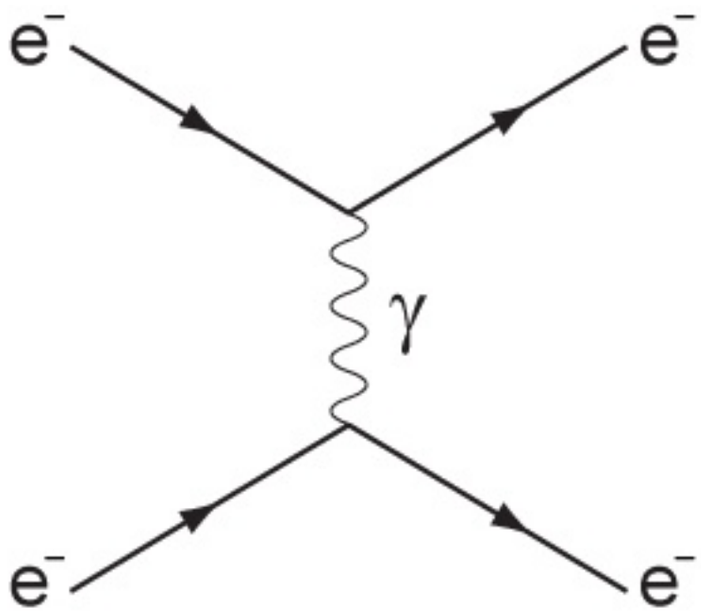
Una descrizione efficace (attenzione! non ci evita di fare i conti, ci aiuta a scriverli!) è quella dei

GRAFICI DI FEYNMAN

Dovete interpretare che il tempo scorre da sinistra verso destra.

Capite perché il FOTONE è MEDIATORE della **INTERAZIONE ELETTROMAGNETICA**?

In un processo come quello in figura si conservano energia, momento e carica ... un po' come negli urti fra le biglie di un biliardo: certe LEGGI DI CONSERVAZIONE sono UNIVERSALI!



Sappiamo CALCOLARE interazioni e descrivere processi di urto (scattering, qui fra due elettroni)

Una descrizione efficace (attenzione! non ci evita di fare i conti, ci aiuta a scriverli!) è quella dei

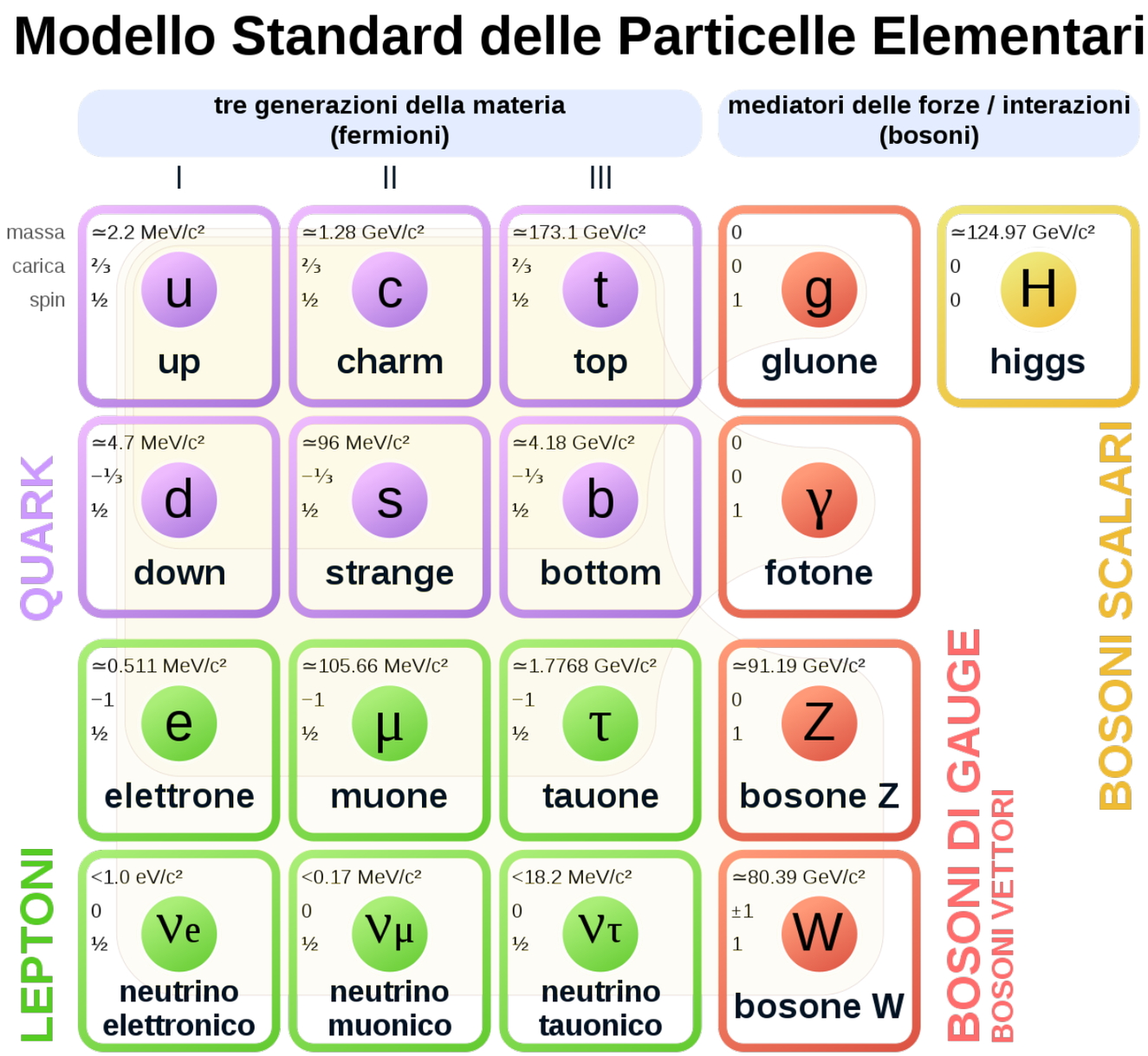
GRAFICI DI FEYNMAN

Dovete interpretare che il tempo scorre da sinistra verso destra.

Capite perché il FOTONE è MEDIATORE della **INTERAZIONE ELETTROMAGNETICA**?

In un processo come quello in figura si conservano energia, momento e carica ... un po' come negli urti fra le biglie di un biliardo: certe LEGGI DI CONSERVAZIONE sono UNIVERSALI!

Non possiamo certo qui entrare nei dettagli matematici, ma una cosa dobbiamo sottolinearla con forza: la COSTRUZIONE della TEORIA È FORTEMENTE VINCOLATA da proprietà di SIMMETRIA e CONSERVAZIONE.

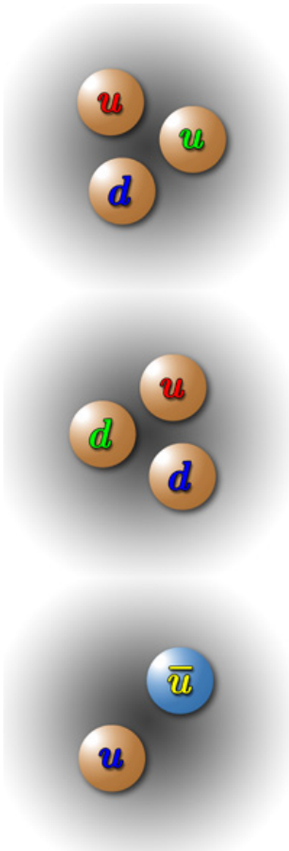


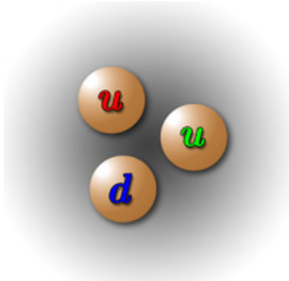
Ci sarebbero tantissime cose da dire (neanche a dirlo…)

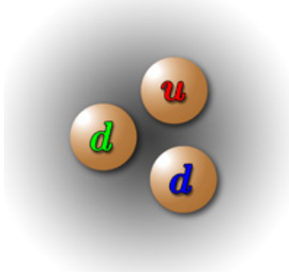
Fissate anche solo velocemente l'attenzione sui COLORI e sulla DISPOSIZIONE RELATIVA

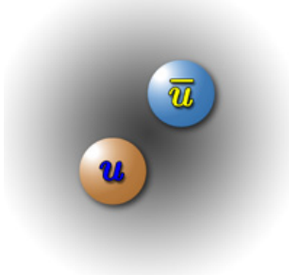
Tre generazioni della **MATERIA** (una generazione molto parente dell'altra, ma forte GERARCHIA DI MASSE)

I QUARKS sono costituenti degli **adroni** (barioni e mesoni), tenuti insieme dalla **INTERAZIONE FORTE**

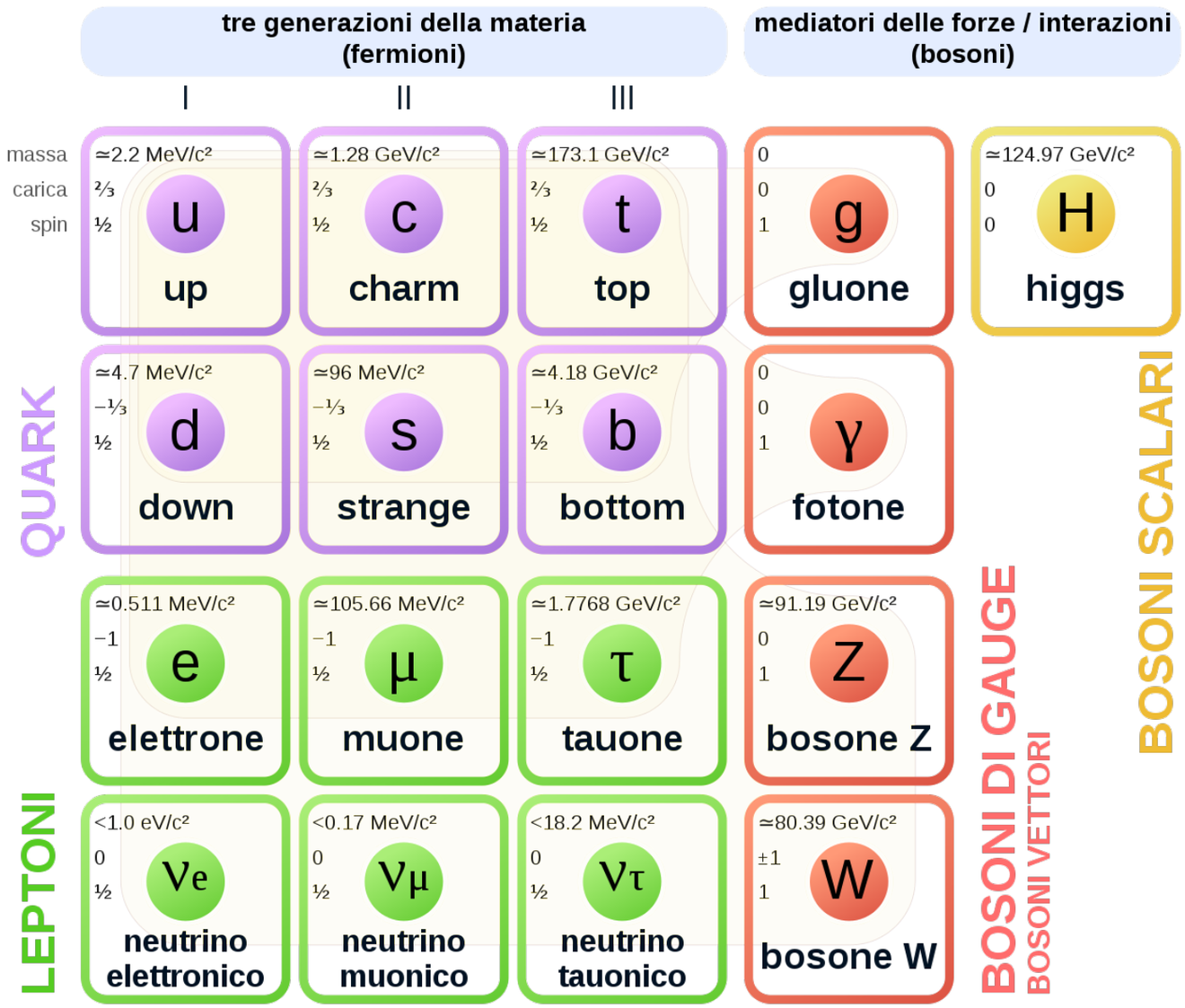






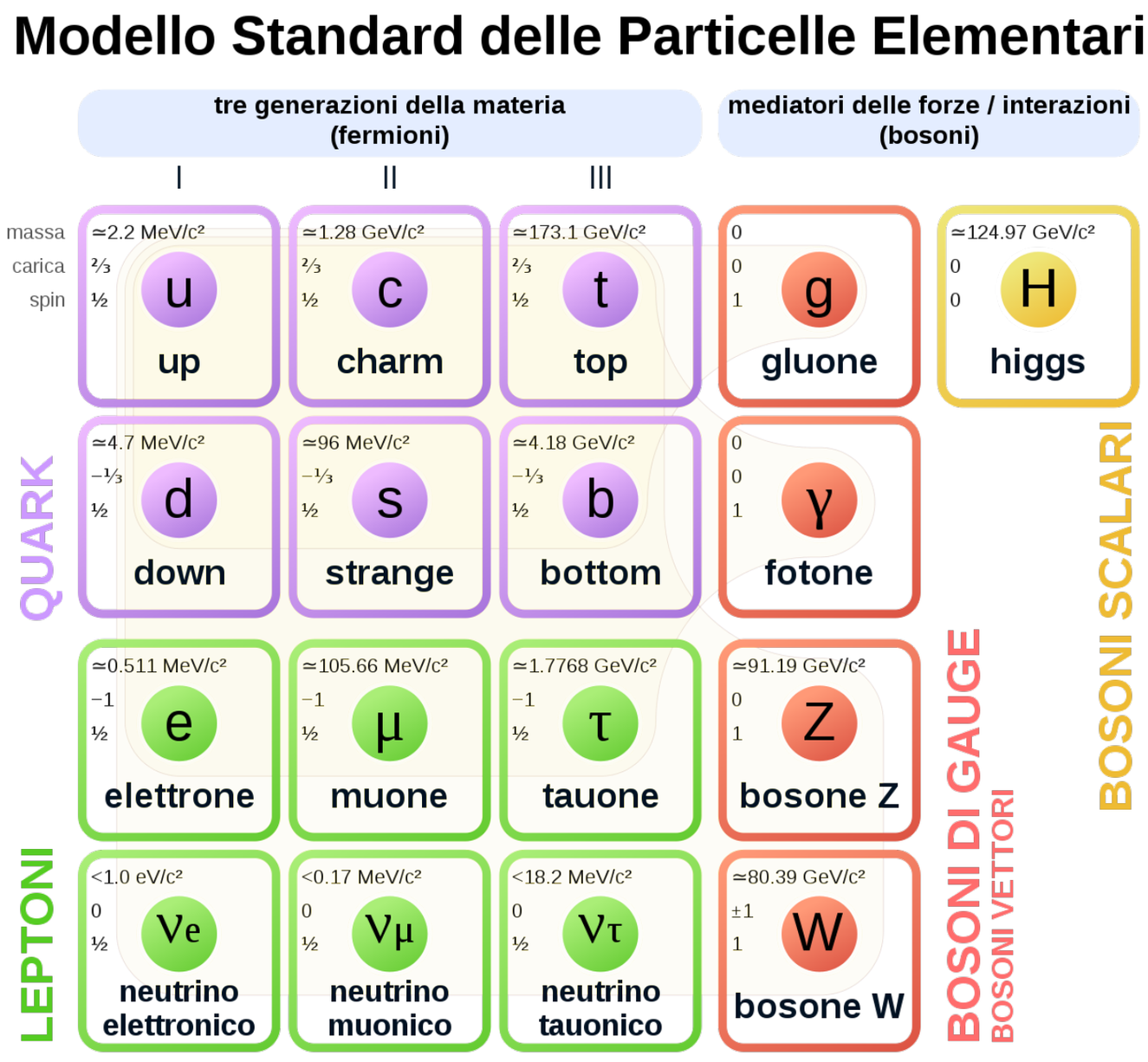


Modello Standard delle Particelle Elementari



Ad ogni particella corrisponde una ANTIPARTICELLA (che ha carica opposta)

Ecco il significato della barra nello stato legato a due quark che vedete sopra (si tratta di un PIONE NEUTRO)



Ci sarebbero tantissime cose da dire (neanche a dirlo...)

Fissate anche solo velocemente l'attenzione sui COLORI e sulla DISPOSIZIONE RELATIVA

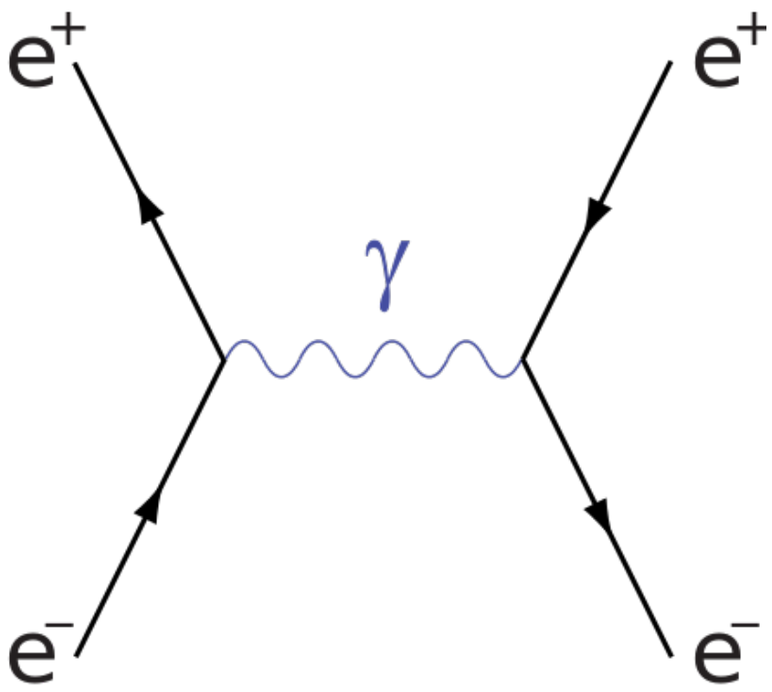
Tre generazioni della **MATERIA** (una generazione molto parente dell'altra, ma forte GERARCHIA DI MASSE)

I QUARKS sono costituenti degli **adroni** (barioni e mesoni), tenuti insieme dalla **INTERAZIONE FORTE**

I LEPTONI viceversa non sono costituenti di stati legati: sono direttamente le particelle che *vediamo*.

Notate che in condizioni ordinarie i QUARKS sono CONFINATI negli **adroni**. Le particelle che *vediamo* sono gli stati legati, non i costituenti elementari. Il meccanismo del confinamento è ancora largamente incompreso...

ANTIPARTICELLE, dicevamo prima …



La conseguenza più intrigante dell'esistenza delle antiparticelle è la possibilità di avere processi di ANNICHILAZIONE e CREAZIONE di COPPIE particella-antiparticella.

In un processo come quello in figura un elettrone e un positrone si annichilano in un fotone, che poi decade nuovamente in una coppia elettrone-positrone.

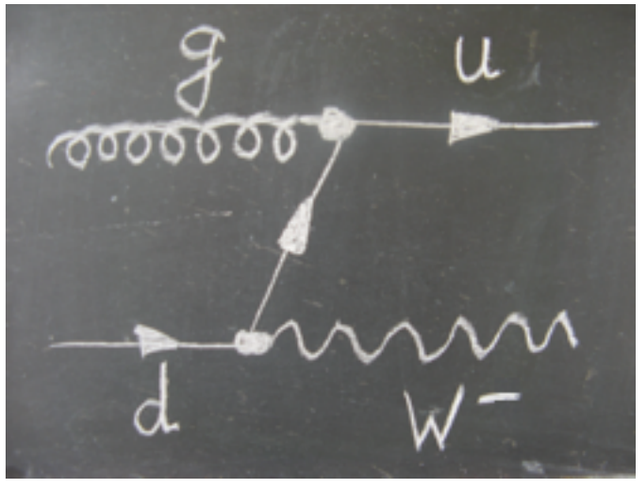
Anche in questo caso, ci sono vincoli energetici: c'é una soglia in energia perché sia possibile una creazione di coppia. Notare come la conservazione della carica è sempre assicurata in questi casi (nel caso in figura, la carica netta è sempre nulla…)

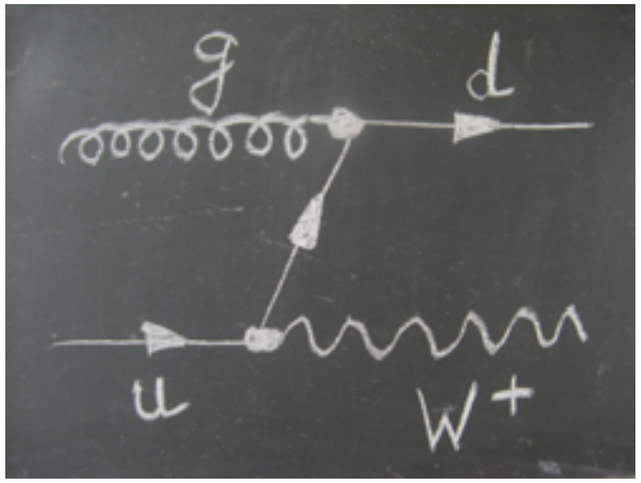
Nota bene: non abbiamo cambiato convenzione sulla direzione del tempo (che scorre da sinistra verso destra). Nella figura (cioè nel nostro modo di disegnare) il positrone (**antiparticella**) va indietro nello spazio-tempo!

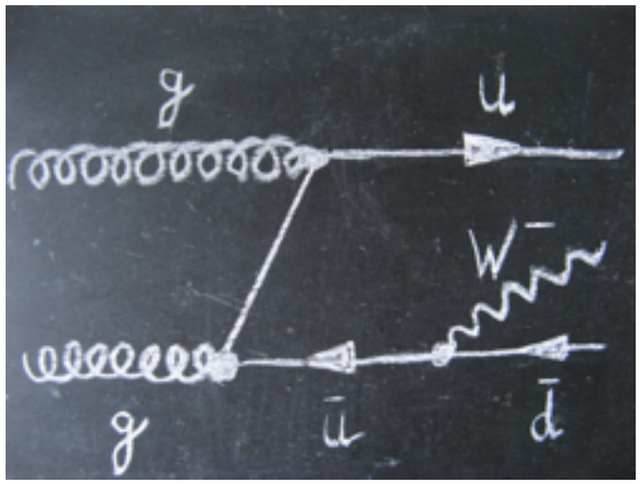
Tipici processi che sappiamo descrivere sono processi di PRODUZIONE e DECADIMENTO. Saranno alla fine i grandi protagonisti del vostro esperimento numerico. Ora conta la **INTERAZIONE DEBOLE**

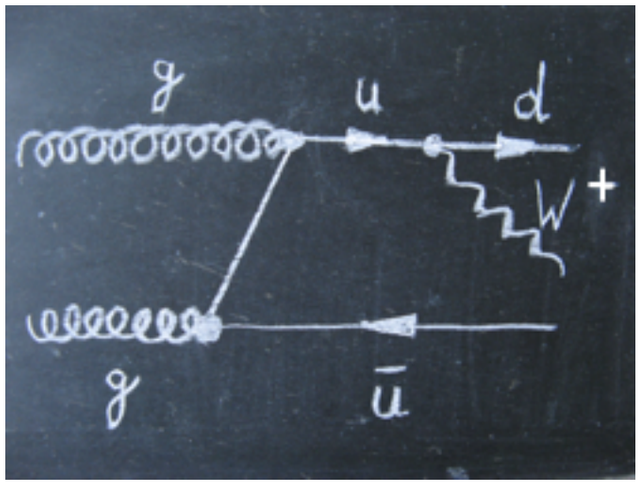
Tipici processi che sappiamo descrivere sono processi di PRODUZIONE e DECADIMENTO. Saranno alla fine i grandi protagonisti del vostro esperimento numerico. Ora conta la **INTERAZIONE DEBOLE**

PRODUZIONE del bosone W: nel tunnel di LHC fasci di PROTONI si SCONTRANO e può essere prodotto il bosone W (interazione quark-gluone o gluone-gluone). Si producono bosoni W carichi + o - !



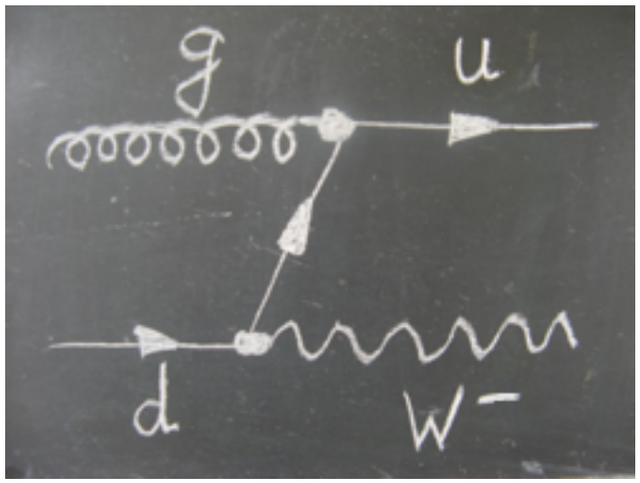


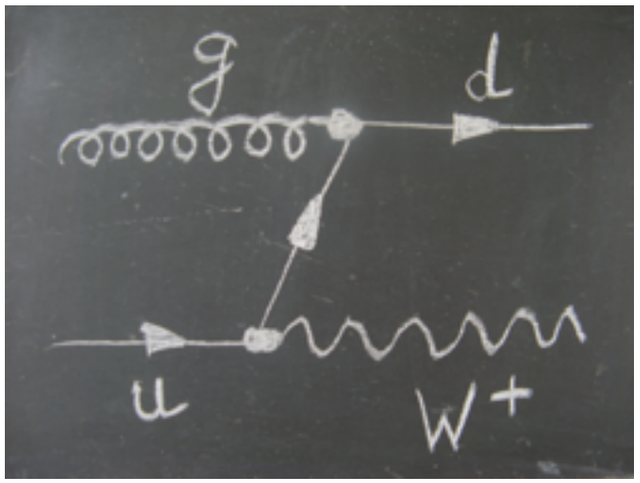




Tipici processi che sappiamo descrivere sono processi di PRODUZIONE e DECADIMENTO. Saranno alla fine i grandi protagonisti del vostro esperimento numerico. Ora conta la **INTERAZIONE DEBOLE**

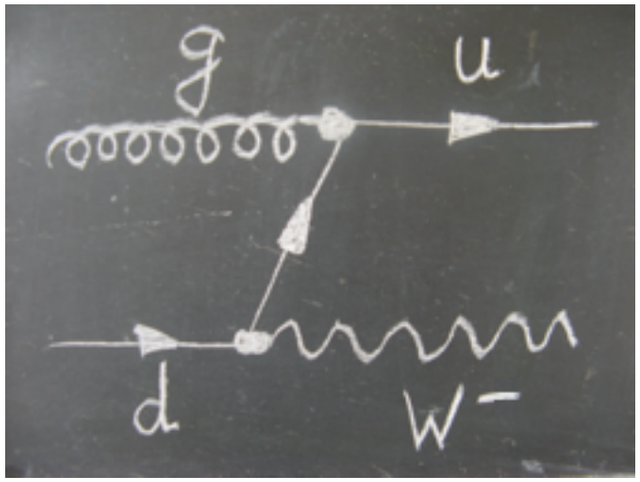
PRODUZIONE del bosone W: nel tunnel di LHC fasci di PROTONI si SCONTRANO e può essere prodotto il bosone W (interazione quark-gluone o gluone-gluone). Si producono bosoni W carichi + o - !

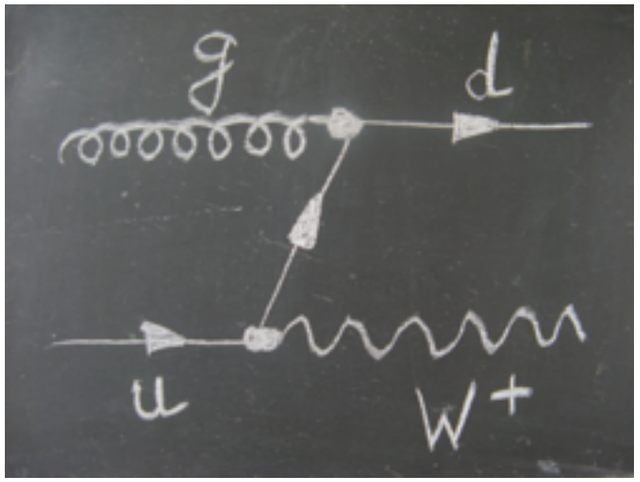




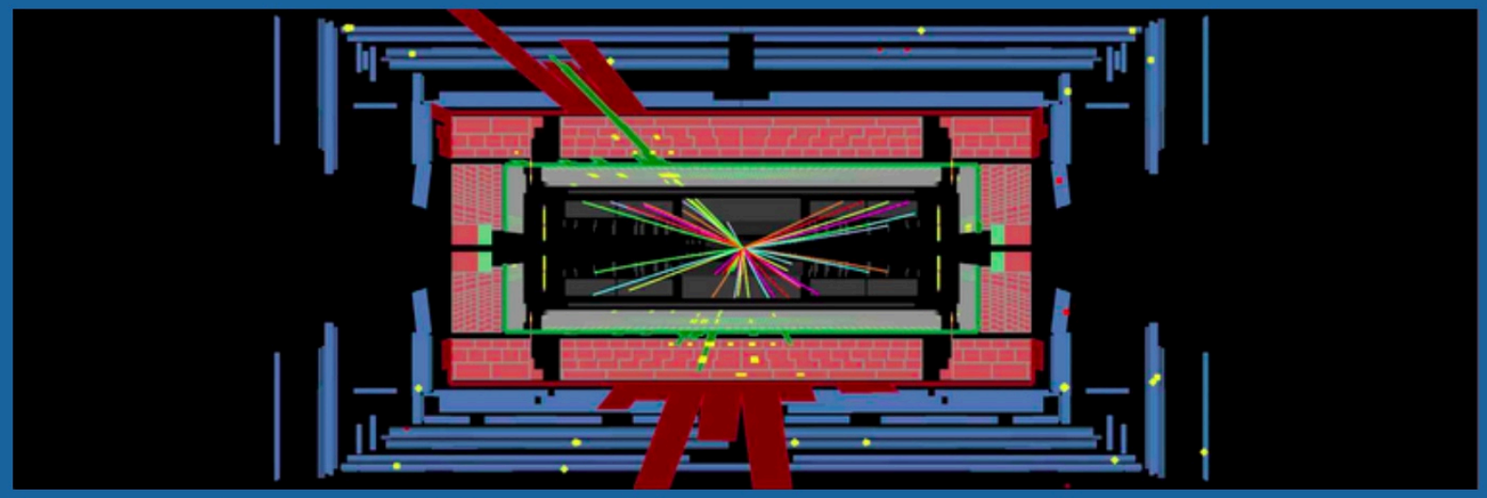
DECADIMENTO del bosone W; appena prodotto, il bosone W decade; W è un **mediatore delle interazioni (elettro)deboli**. Sia i quarks sia i leptoni si accoppiano al W. Fra i possibili decadimenti, ci sono quelli in coppie leptone-neutrino.

Nell'analisi di tutti questi processi siamo sempre guidati dalla conservazione di energia, momento e carica...

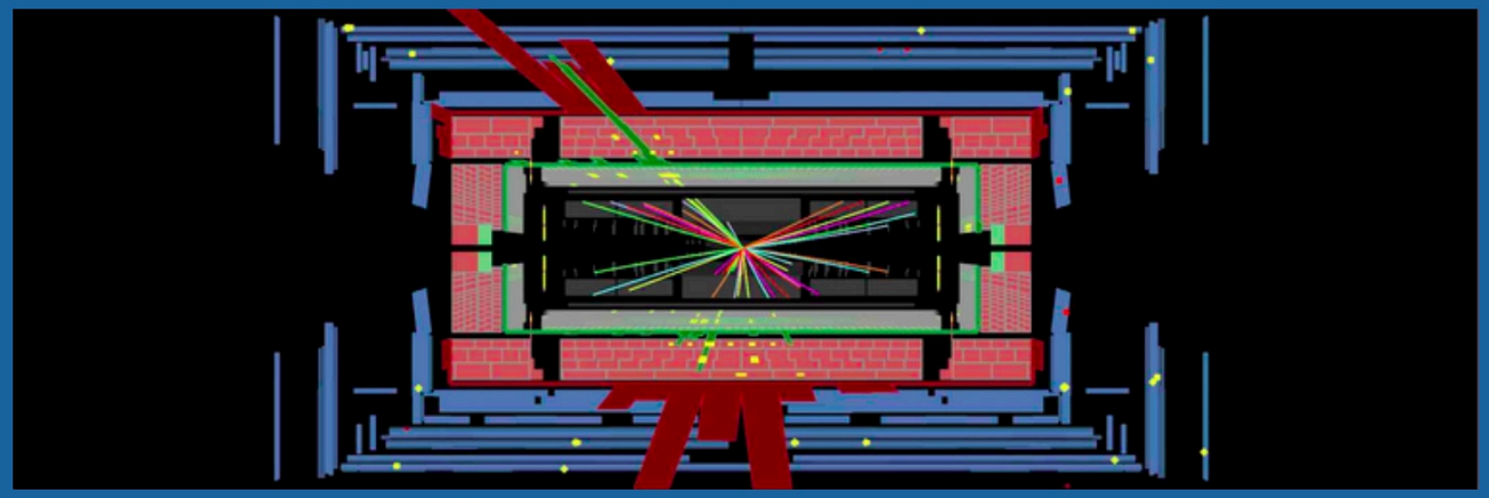




ATTENZIONE! Il neutrino, non avendo carica, non interagisce con gli apparati di misura! Mentre vediamo TRACCE delle altre particelle, non vediamo tracce dei neutrini! Ricostruiamo la loro **presenza** da ciò che sembra **MANCARE** nel bilancio energetico del processo!



Già … le tracce delle particelle … Sono proprio quelle che vedete nell'immagine che fa da "logo" alla nostra iniziativa … Imparerete a riconoscerle, e a capire che cosa è successo a partire dalla loro analisi.



Masterclasses 2021 Parma

Già … le tracce delle particelle … Sono proprio quelle che vedete nell'immagine che fa da "logo" alla nostra iniziativa … Imparerete a riconoscerle, e a capire che cosa è successo a partire dalla loro analisi.

Non pretendiamo di fare di voi dei fisici delle particelle in una giornata di lavoro (che peraltro vorremmo fosse per voi anche occasione di divertimento!). Vorremmo farvi assaporare un poco del gusto di queste cose … e (ricordate?) invitarvi ad essere **SCIENTISTS FOR A DAY!**