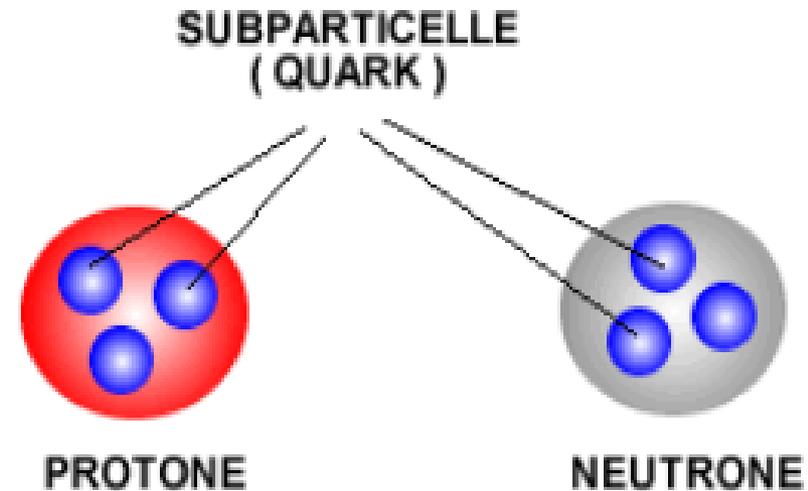


Particles of the Standard Model

Quarks :Particelle elementari?

Secondo Gell-Mann, il protone e il neutrone non sono più unità indivisibili della materia, in quanto sono a loro volta composti da subparticelle più piccole «quark», che costituiscono adesso gli elementi più piccoli della materia.



I quark non possono essere osservati singolarmente. Possiamo vederli soltanto quando si trovano all'interno di altre particelle elementari (es. nucleoni , [protoni e neutroni] che compongono il nucleo di un atomo).

Le prime conferme sperimentali arrivarono pochi anni dopo. Nel 1973 furono rilevati i primi quark (**up e down**).

Famiglie di particelle di quark e no.



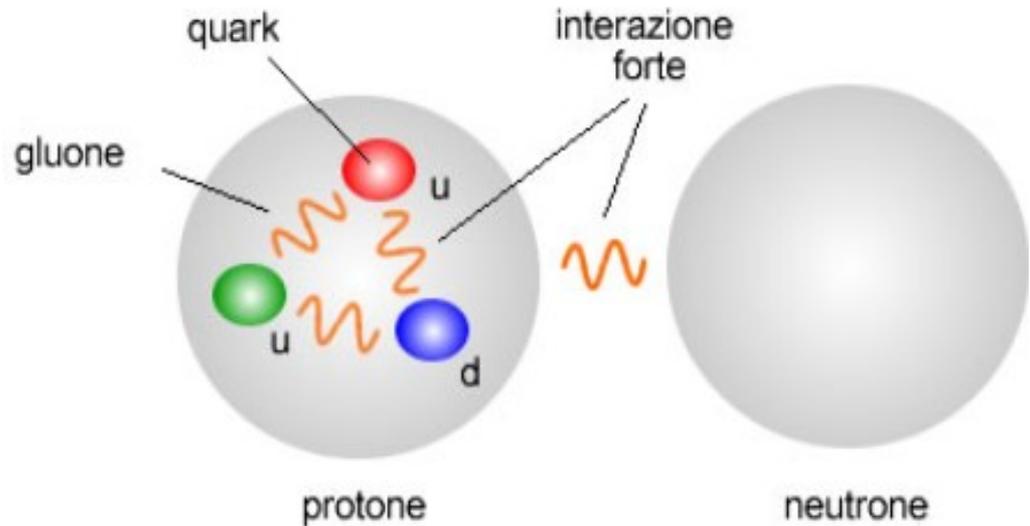
In un nucleo i quark sono tenuti insieme dalla forza di interazione forte.

Si tratta di una forza di tipo nucleare.

E' la stessa forza che mantiene uniti tra loro i nucleoni (neutroni e protoni) in un nucleo atomico.

Tutte le particelle elementari sono composte da quark?

No, soltanto alcune famiglie di particelle elementari sono formate da quark: gli ADRONI (barioni e mesoni)



- Proprio come l'ordine della tavola periodica era dovuto ai tre componenti fondamentali, così Gell-Mann e Zweig proposero che tutti gli "ADRONI" fossero costituiti da tre "quarks"

UP

DOWN

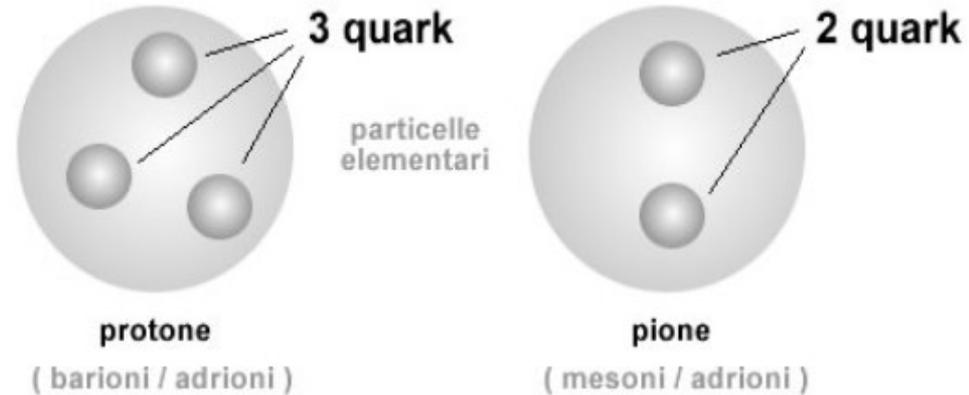
Strange

Con cariche elettriche rispettivamente pari a $2/3$, $-1/3$, $-1/3$ della carica dell'elettrone

p	uud	Δ^{++}	uuu	K^+	$u\bar{s}$
n	udd	Δ^+	uud	K^0	$d\bar{s}$
π^+	$u\bar{d}$	Δ^0	udd	K^-	$s\bar{u}$
π^0	$u\bar{u}$	Δ^-	ddd	K^0	$s\bar{d}$
π^-	$d\bar{u}$	Ω^-	sss		

Secondo il modello standard ,quindi:

I **barioni** (neutroni, protoni, lambda, sigma, xi) sono composti da **tre quark**, mentre i **mesoni** (pione e kaone) hanno soltanto **due quark**.

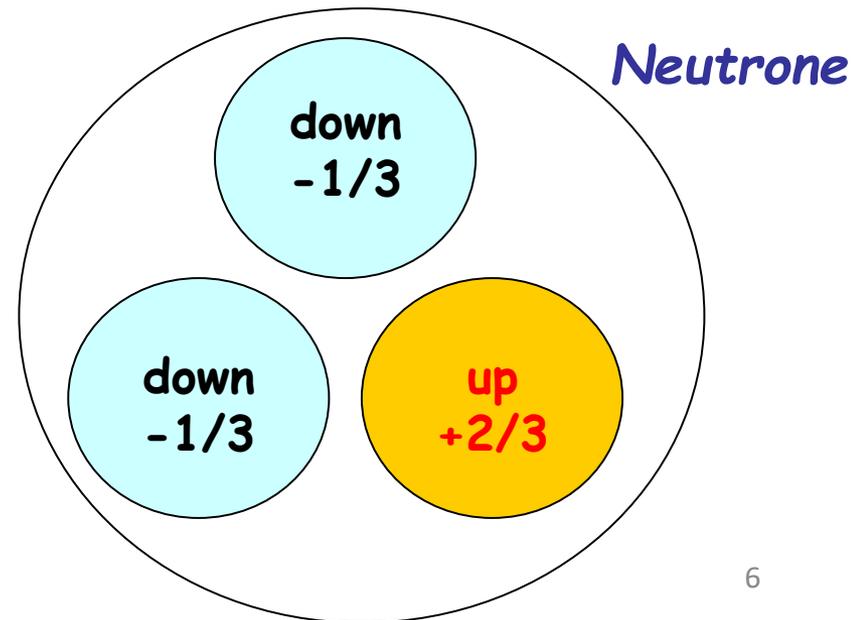
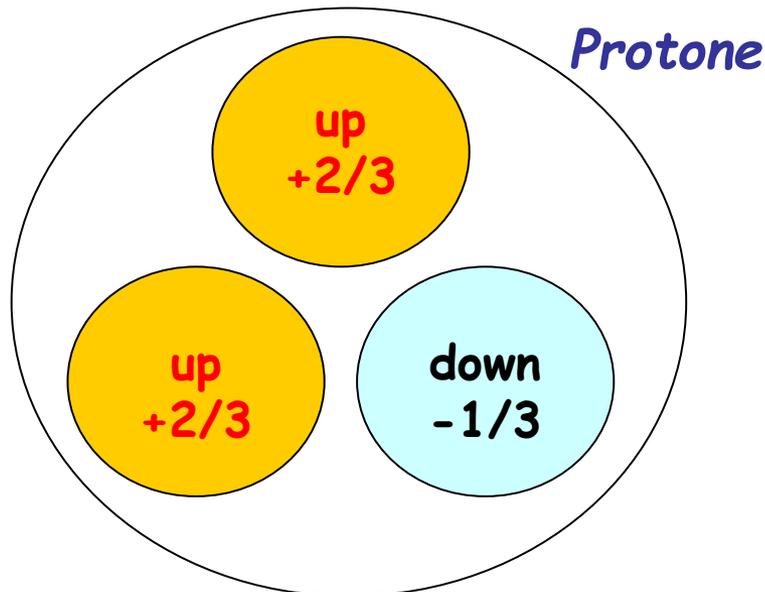


Alcune famiglie di particelle elementari non sono formate da quark.

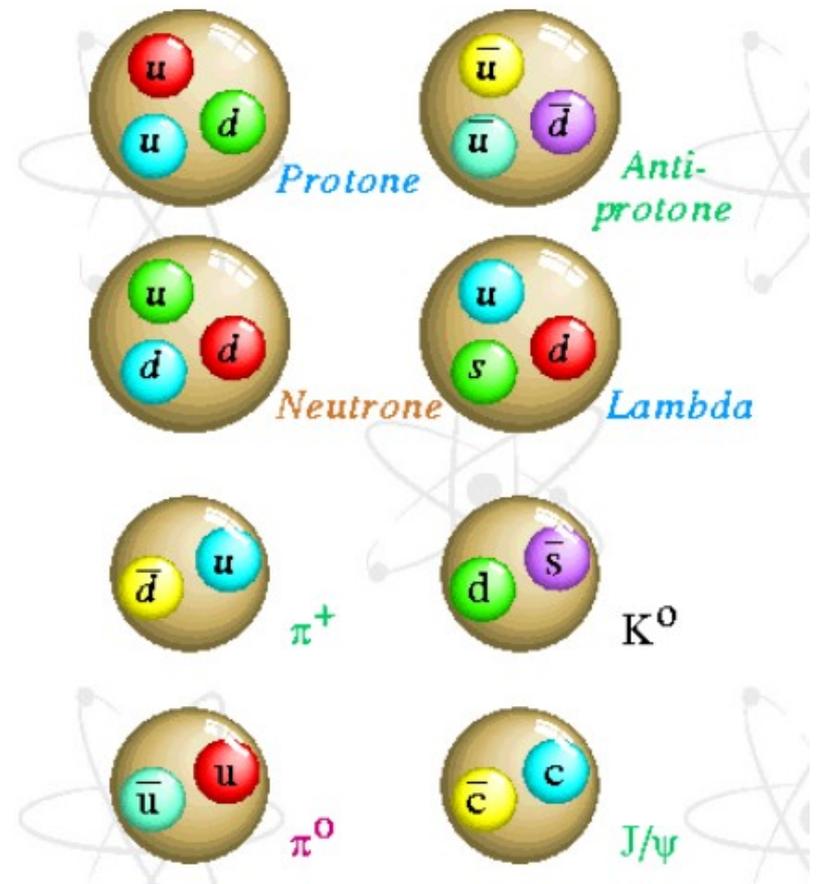
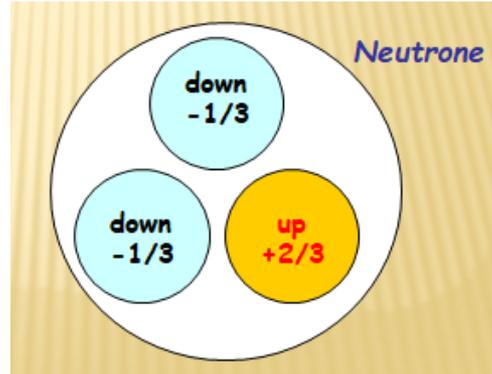
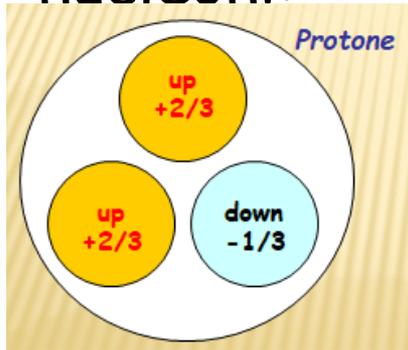
I **leptoni** (elettrone, neutrino, muone, tauone) e le particelle mediatrici (**fotone, gluone, bosone e gravitone**) non sono composte da quark.

I tre quark **up** (u), **down** (d) e **strange** (s).

La cosa più strana consiste nel fatto che la carica dei quark è pari a una frazione di quella dell'elettrone, in apparente contrasto con la famosa Esperienza di Millikan, secondo cui tutte le cariche esistenti dovrebbero essere multiple di quella dell'elettrone, considerata la più piccola di tutte; per 70 anni si era ritenuto che questa carica fosse elementare,



Il quark **up** ha una carica positiva pari a $+2/3$ di quella dell'elettrone, mentre il quark **down** ha una carica negativa pari a $-1/3$. In tal modo è facile costruire i due nucleoni:



p	uud
n	udd
π^+	$u\bar{d}$
π^0	$u\bar{u}$
π^-	$d\bar{u}$

Δ^{++}
Δ^+
Δ^0
Δ^-
Ω^-

uuu
uud
udd
ddd
sss

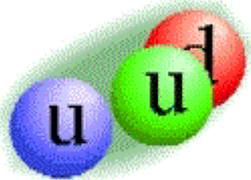
K^+
K^0
K^-
K^0

$u\bar{s}$
$d\bar{s}$
$s\bar{u}$
$s\bar{d}$

Infatti $2/3 + 2/3 - 1/3 = 3/3 = +1$ (la carica del protone è pari a quella dell'elettrone, a parte il segno)

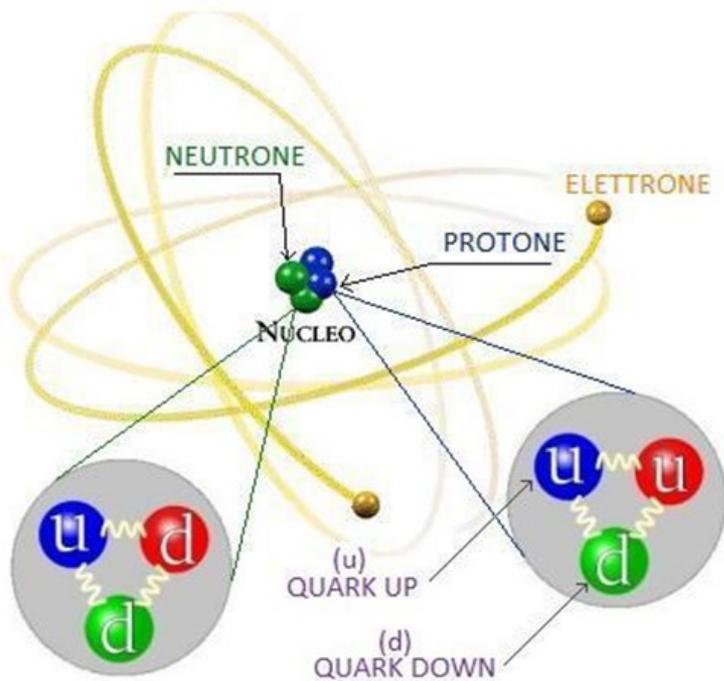
E $1/3 + 1/3 - 2/3 = 0$ (il neutrone non ha carica elettrica)

Il quark **strange** serve per costruire tutta una categoria di particelle chiamate "strane". Più tardi vennero scoperte nuove particelle che richiesero altri tre quark: **c** (**charm**), **t** (**top** o truth), **b** (**bottom** o beauty). Il quark **top** fu scoperto solo nel 1995.



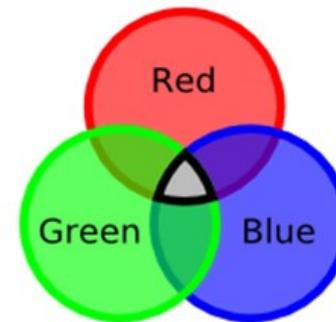
Con questi sei quark è possibile costruire tutti i **barioni** e i **mesoni** conosciuti; come detto, per i barioni servono 3 quark, per i mesoni ne bastano 2.

Invece i **leptoni** come l'elettrone non hanno finora rivelato alcuna struttura interna, e vanno considerati particelle elementari.



Secondo Murray Gell-Mann, la dizione del nome *quark* (che egli aveva già in mente) gli è stata suggerita da una frase senza senso contenuta nel romanzo *Finnegans Wake* di [James Joyce](#), che egli stava leggendo al tempo della scoperta:

*Three quarks for Muster Mark!
 Sure he has not got much of a bark
 And sure any he has it's all beside the mark.*
 James Joyce, *Finnegans Wake*^[5]



Sapori e colori!

Nella fisica delle particelle la **carica di colore** è una proprietà dei quark e dei gluoni che è in relazione con la loro interazione forte nel contesto della cromodinamica quantistica (QCD: quantum chromodynamics). È analoga alla nozione di carica elettrica delle particelle.

IL MODELLO STANDARD :le caratteristiche dei QUARK

- I quarks devono esistere a coppie: quarto quark.
- Ciascun tipo di quark costituisce un **SAPORE** (u, d, s, c, t, b) (.... già, sono 6!!!). Il sapore è un numero quantico.
- Ogni sapore di quark si presenta in 3 diverse varietà (**COLORE**). Il colore è un numero quantico.
- I quarks possono essere rossi, verdi e blu.
- Gli antiquarks saranno allora anti-rossi, anti-verdi e anti-blu.

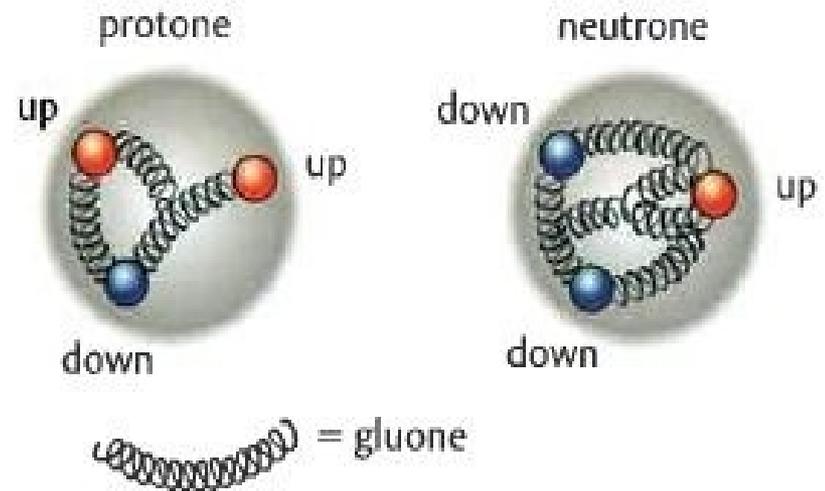
			Color Quarks
			Anti-Quarks Anti-Color

Quantum Chromodynamics

Ogni quark possiede una proprietà che i fisici chiamano «**colore**»: è per questo che la teoria che associa la forza forte ai quark è detta «cromodinamica quantistica», o **Q.C.D** (dall'inglese **Quantum Chromodynamics**).

Secondo la QCD, la forza forte tiene uniti i quark attraverso un'interazione che non diminuisce all'aumentare della distanza, diversamente da quanto accade con la forza elettromagnetica e con la forza di gravità.

La forza forte aumenta all'aumentare della distanza di separazione tra i quark, come se fossero collegati da una molla.



La combinazione di una terna di colori (rgb) o anticolori (anti-r anti-g anti-b) ha carica netta di colore nulla, e così pure le combinazioni (r anti-r), (b anti-b), (g anti-g).

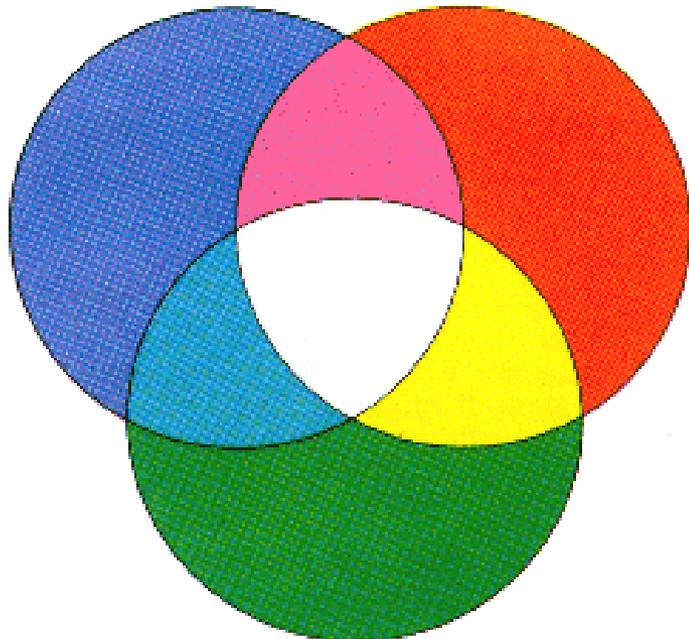
Solo gli stati senza colore si osservano in natura.

La Cromodinamica quantistica studia le combinazioni dei quark

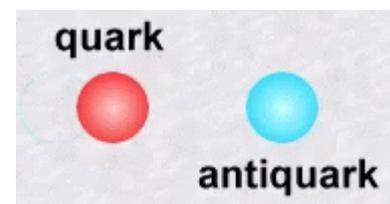
I quark si combinano mediante una particella di scambio, **GLUONE** (ne esistono 8) che serve a tenerli insieme.

Anche i gluoni hanno carica colore (questo complica tutto...) e possono saldarsi assieme formando glueballs

La proprietà intrinseca associata ad ogni quark , detta **COLORE**, però non ha nulla a che vedere con i "colori" visibili dai nostri occhi. In effetti, ogni quark può avere tre colori: **rosso**, **verde** e **blu**. Sommando tre particelle ciascuna di ogni colore si ha complessivamente una particella priva di colore, esattamente come, sommando i tre colori fondamentali, si ottiene il bianco (vedi figura).



Da quest'analogia viene il nome di questa proprietà. I nucleoni sono complessivamente privi di colore, per cui essi devono essere formati da tre quark di colori diversi. La dinamica dei quark viene perciò detta anche **CROMODINAMICA QUANTISTICA** (dal greco chróma = colore)

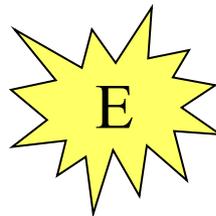


Antimateria

- Per ogni particella (**materia**) c'è la corrispondente antiparticella (**antimateria**).
 - Un'antiparticella è identica alla sua particella sotto ogni aspetto, tranne che per la carica, che è opposta.
 - Per esempio: il protone ha carica elettrica positiva, e l'antiprotone ha carica elettrica negativa; ma hanno la stessa identica massa, perciò sono soggetti alla gravità nella stessa identica maniera.



- Quando una particella e la sua antiparticella si incontrano, si annichilano in energia pura.



SI TROVANO QUARKS ISOLATI IN NATURA?

In realtà, i quark non sono mai stati osservati liberi.

Il motivo è da ricercarsi nel fatto che l'energia necessaria per separare i quark tra di loro è così grande che, invece di rompere l'elettrone, si **MATERIALIZZA** in nuove particelle, secondo la legge di Einstein $E = m c^2$.

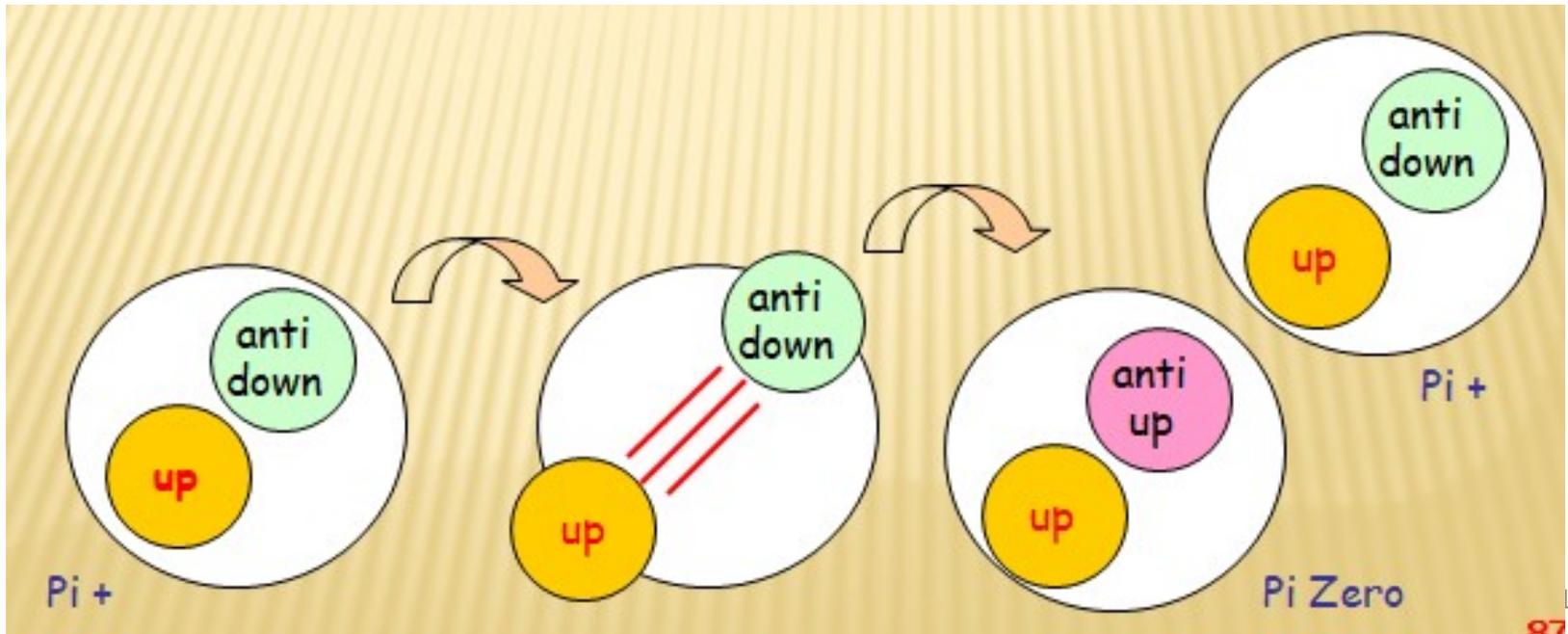
Ciò dà vita a reazioni nucleari ma impedisce ai quark di liberarsi: tale loro proprietà è detta **LIBERTÀ ASINTOTICA**.

1968-69 All'acceleratore lineare di Stanford, in un esperimento elettroni/protoni, l'elettrone pare rimbalzare contro piccoli oggetti dentro al protone. James Bjorken e Richard Feynman analizzano questi dati con un modello che prevede particelle costituenti interne al protone: anche se non parlano di "quark", questo esperimento è la prova dell'esistenza dei quark.

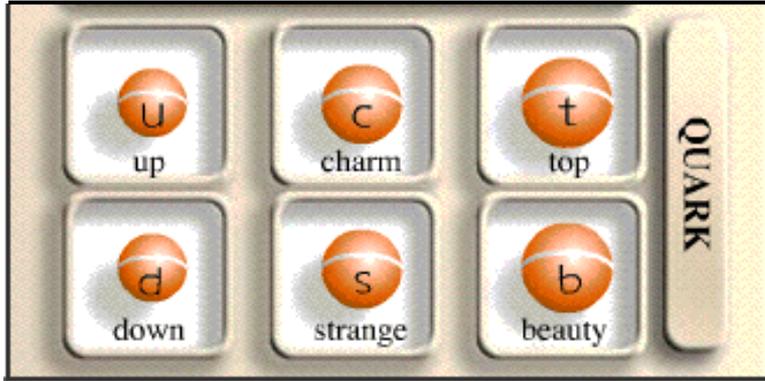
Es. .:Se cerco di separare i due quark che formano una particella Pi^+ che succede?

Il mesone Pi^+ è formato da un quark **up** e da un **antidown**.

Se cerco di allontanare i due quark, l'energia necessaria crea una coppia **up - antiup**; **up** e **antiup** danno vita ad una nuova particella dalla vita effimera chiamata Pi^0 , mentre **up** e **antidown** riformano un Pi^+ . Conclusione: io non vedo quark liberi, ma la nascita di un nuovo mesone.



Riassumendo :Gli adroni



I Quark sono 6 (+ 6 antiquark)
 possono assumere 3 stati quantici chiamati colore, hanno carica $+2/3$ (u, c, t) e $-1/3$ (d, s, b)

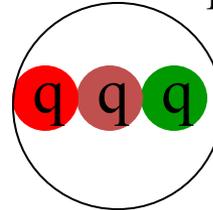
Adroni:

Mesoni

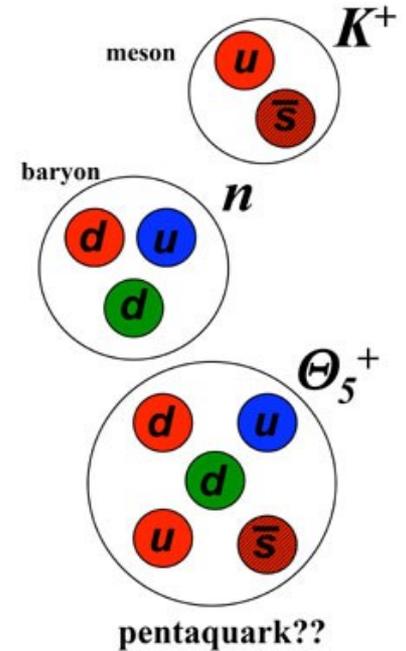
Barioni

(spin intero)

(spin semidispari)



sono privi di colore



I quark



Fig. 6.35 Murray Gell-Mann (b.1929).

Murray Gell-Mann

Quarks	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom

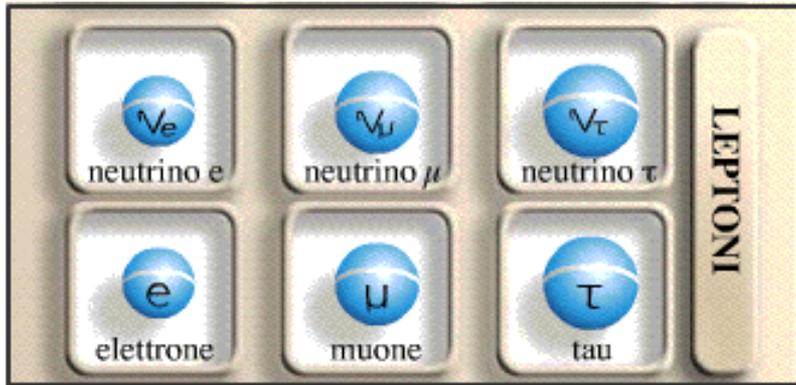


WWW.ANDREAMININI.ORG

Up e down costituiscono la materia ordinaria ($p = uud$, $n = udd$)

Gli altri ("Ma chi li ha chiesti?") compongono tutte le altre particelle osservate: materia non 'ordinaria'. 19

ed i leptoni

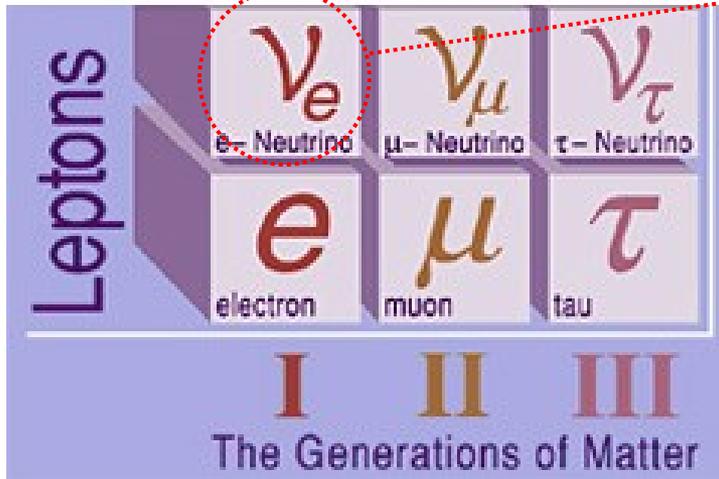


I Leptoni sono 6 (+ 6 antileptoni)

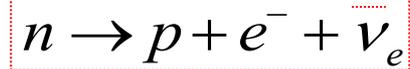
sono privi di colore, hanno carica

0 (ν_e, ν_μ, ν_τ) e -1 (e, μ, τ)

- Il leptone carico più conosciuto è l'elettrone (e). Gli altri due leptoni carichi sono il muone (μ) e il tau (τ)
 - Muone e tau sono repliche dell'elettrone con massa più grande
- I leptoni neutri si chiamano neutrini:
 - c'è un neutrino corrispondente a ogni leptone carico
 - hanno massa molto piccola (ma non nulla)



Neutrino: introdotto da Wolfgang Pauli ed Enrico Fermi (1930) per preservare la conservazione dell'energia nel decadimento beta dei nuclei



Tre famiglie, ognuna contenente un "elettrone" e un neutrino

I leptoni non subiscono l'interazione forte...
...vi ricordate del muone??

Non costituiscono nessuna particella: sono solo loro stessi.

Il Modello Standard: materia ed antimateria

Il Modello Standard prevede che per ogni particella di materia ci sia la sua anti-particella.

- i mediatori non hanno le antiparticelle: non esistono gli anti-gluoni o gli anti-fotoni!
- le anti-particelle hanno cariche opposte a quelle delle particelle
- se una particella e la sua anti-particella si incontrano si annichilano

