

Cosa facciamo qui?

Mario Pelliccioni

Università degli Studi di Pavia

INFN: Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

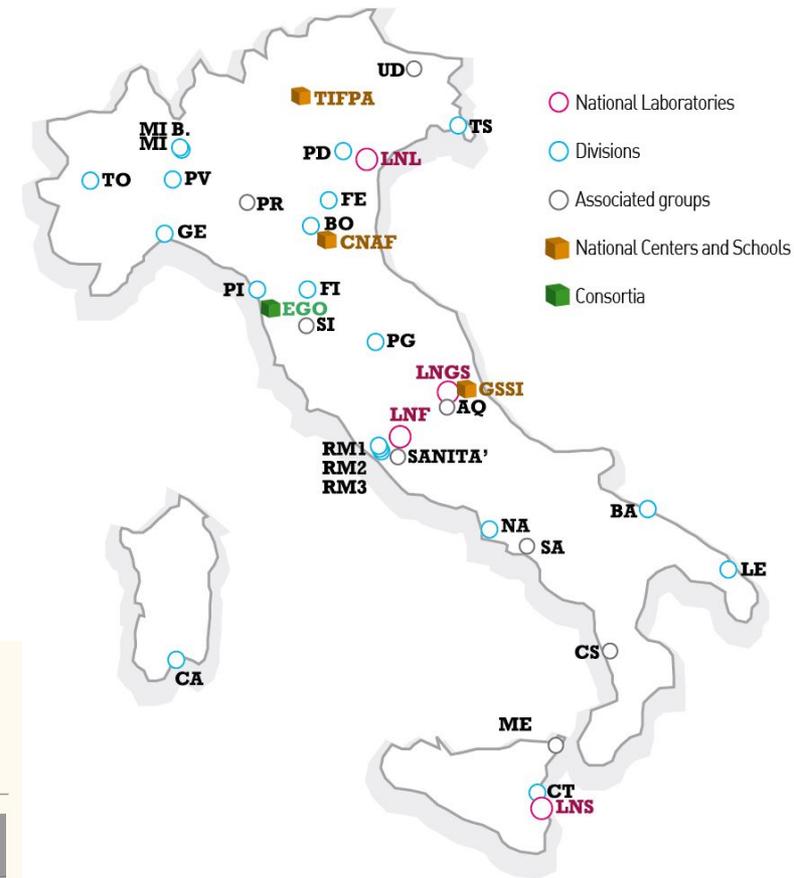


Table 1 - The Top 50 research Institutes in Italy.
 The Institutes are ranked according to the Sum of H-index of their affiliated TIS.
 Those fundamentally private or independent are highlighted in yellow.
 Please note, this table is updated in real-time, based on the TIS database.

Rank	Italian Institution	Sum of H-Index	N. of TIS	Average H-Index
1	INFN	10161	146	69.6
2	Bologna	8608	175	49.2
3	Roma	8289	180	46.0
4	Padova	7541	157	48.0
5	Milano	7347	158	46.5
6	CNR	5921	134	44.2
7	Firenze	5644	121	46.6
8	Torino	5410	116	46.6
9	INAF	4700	91	51.6
10	Napoli	4659	104	44.8

Problema: la complessità del mondo

Quello che ci circonda è estremamente complesso, la sovrapposizione di moltissime cose

In questa stanza: ci sono moltissime cose che capitano in questo momento e scrivere le leggi fisiche per descriverle è praticamente impossibile.

Soluzione: riduzionismo

Il **riduzionismo** è il processo fondamentale usato in fisica per la comprensione della realtà:

Le proprietà dei sistemi complessi si possono interpretare in termini delle proprietà delle parti più semplici che li compongono e delle forze che intervengono a comporli

Riduzionismo applicato



Immaginate di mangiare questi cibi, e di dover scoprire gli elementi di base

→ Uova, farina, zucchero, sale

Oggetti complessi fatti da elementi semplici
Ma non è facile capirlo dai prodotti finali

Riduzionismo applicato

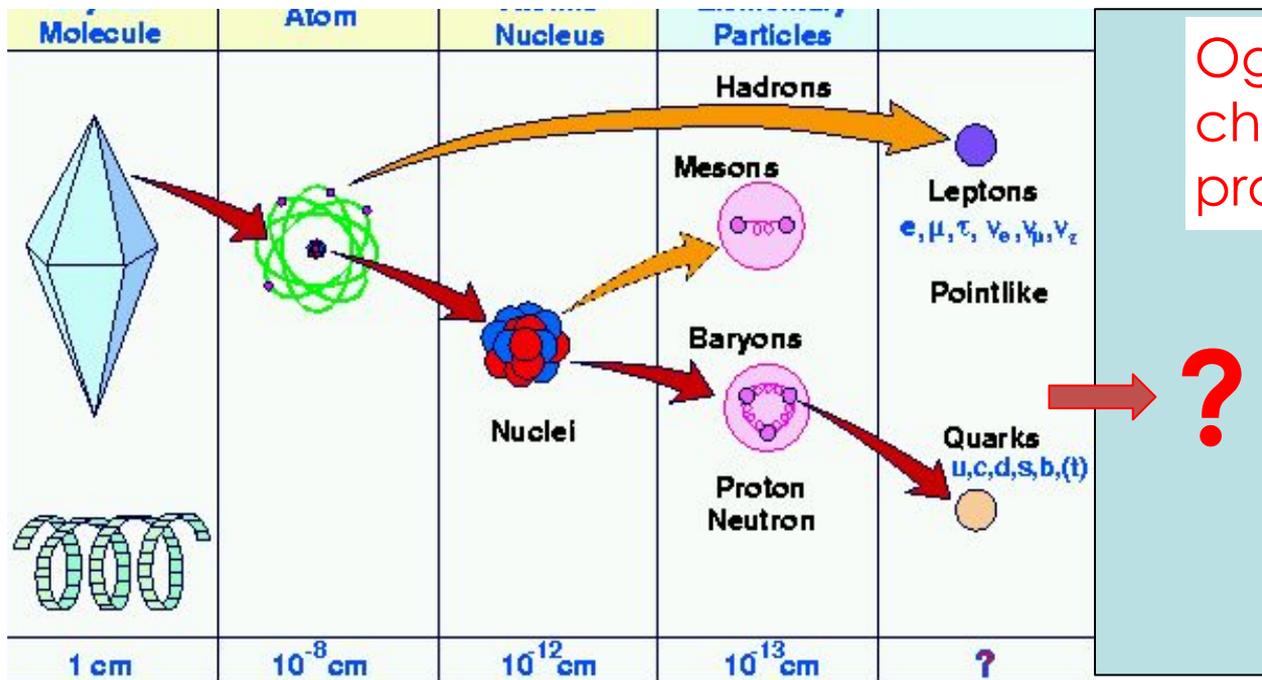
The image displays three musical scores side-by-side to illustrate the concept of reductionism in music. On the left is the score for 'Yesterday' by The Beatles, showing a simple chord progression. In the center is a score for 'La Traviata' by Giuseppe Verdi, showing a more complex melodic line. On the right is the score for 'Don Giovanni' by W.A. Mozart, showing a highly complex and dense musical texture. The scores are arranged to show how a simple idea can be expanded into a complex work.

Immaginate di sentire queste musiche, e di dover scoprire come sono composte

→ 7 note + ottave, diesis, bemolle

Fisica delle particelle

- Approccio riduzionista in fisica delle particelle ha portato a molti progressi
- Ogni ulteriore livello di “riduzione” porta con sé una grande quantità di informazioni
 - Passaggio al livello successivo attraverso studio di simmetrie che indicano presenza di sotto-struttura



Oggi parliamo di quello che non sappiamo... del prossimo livello

Chi lo scoprirà?



Your picture here



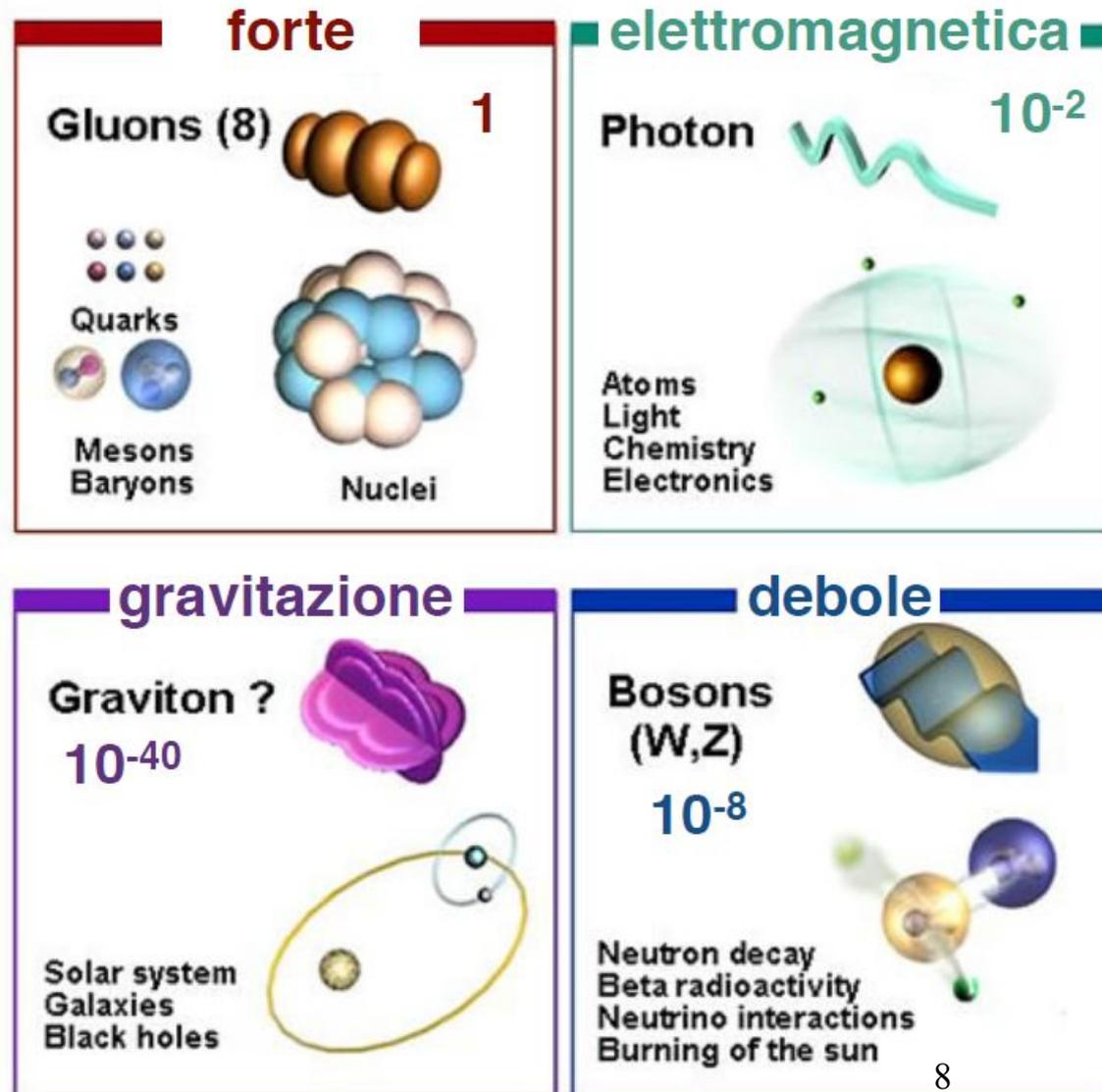
Cos'è una particella

- Definiamo una particella “elementare” se assumiamo che non abbia sottostruttura
- Vuol dire che non si può rompere in pezzi più piccoli
- Quali sono le caratteristiche di una particella?
- Le più comuni sono:
 - La carica elettrica
 - La massa
 - Lo spin
- Una particella può sembrare puntiforme ma non esserlo quando la si guarda meglio:
 - particelle che oggi riteniamo puntiformi possono in realtà essere composte
 - quello che conta e' sempre **l'evidenza sperimentale**

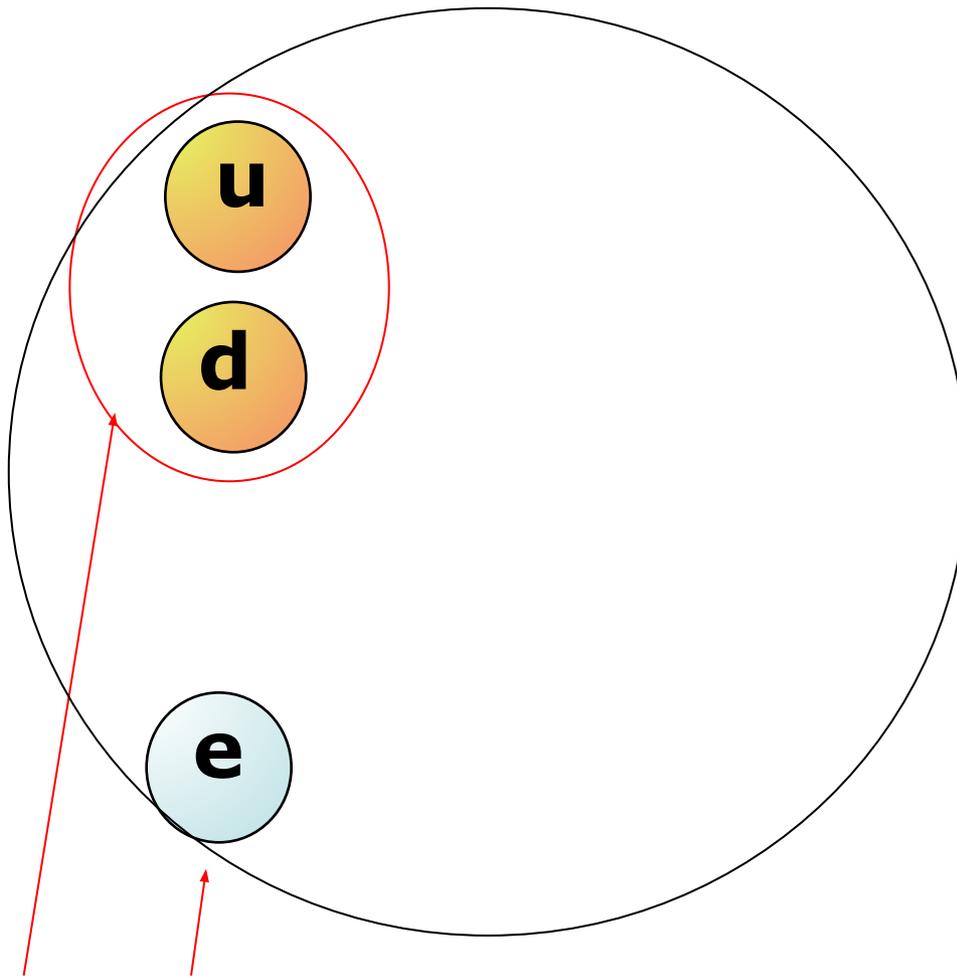


Le forze

- Particelle elementari interagiscono tra loro tramite **messaggeri**, che sono particelle, dette “particelle forza”

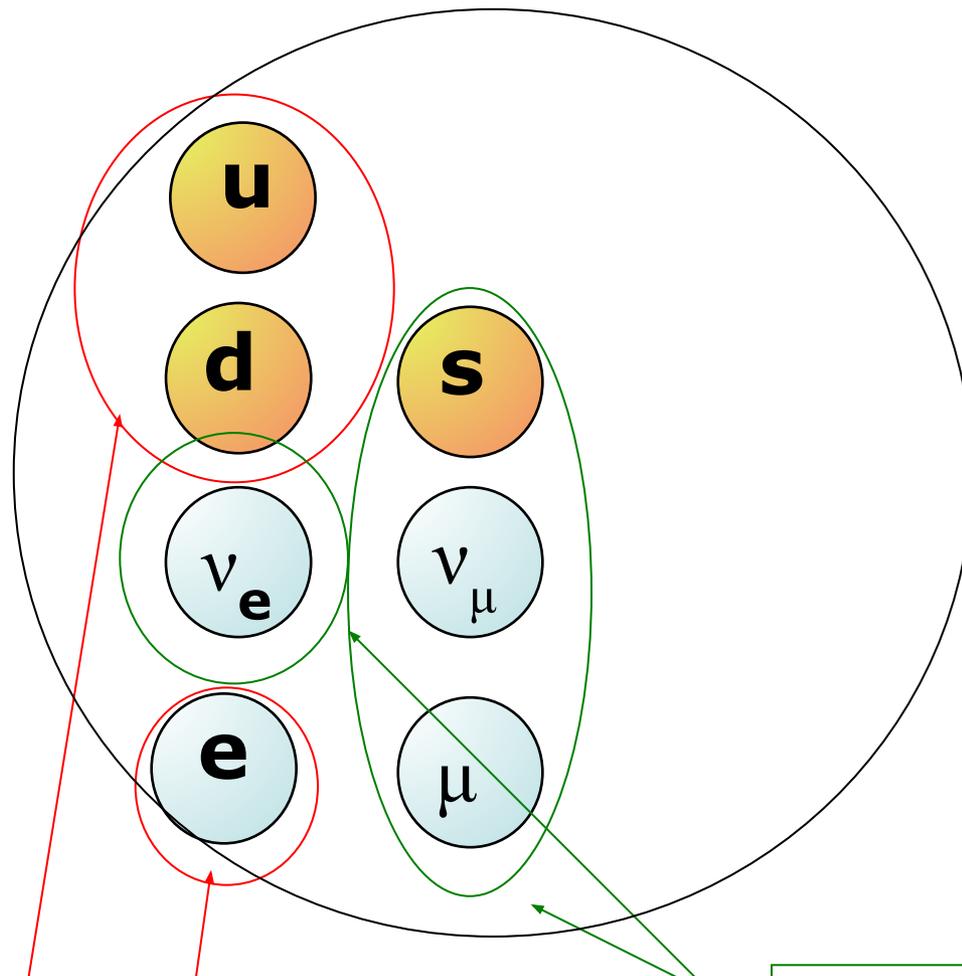


Particelle fondamentali



La materia di cui siamo fatti

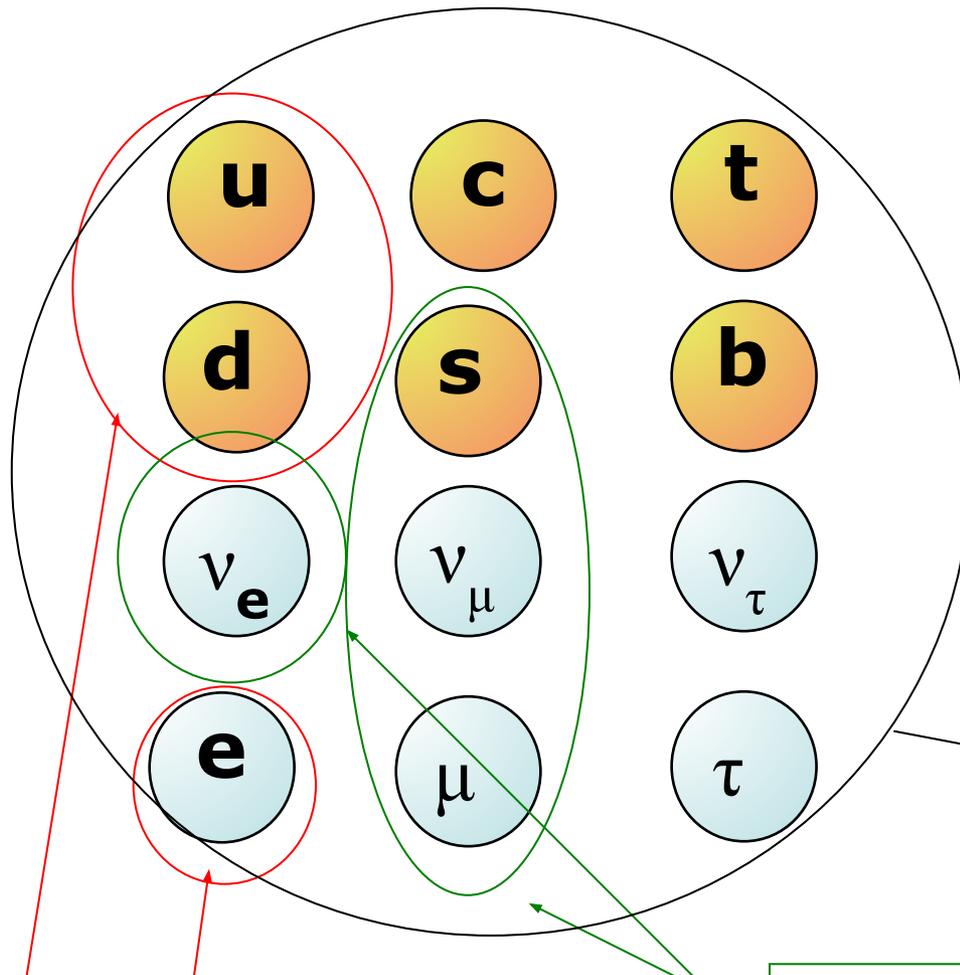
Particelle fondamentali



La materia di cui siamo fatti

Raggi cosmici

Particelle fondamentali



La materia di cui siamo fatti

Raggi cosmici

Si possono produrre in laboratorio

Particelle fondamentali

Elementari: queste particelle sono ritenute senza struttura interna (anche se non è esclusa)

Notate la simmetria!!!

Three generations of matter (fermions)

	I	II	III	
mass	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge	2/3	2/3	2/3	0
spin	1/2	1/2	1/2	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
				125 GeV/c ²
				0
				0
				1
				H Higgs boson
				0
				0
				1
				g gluon
				91.2 GeV/c ²
				0
				0
				1
				Z⁰ Z boson
				80.4 GeV/c ²
				±1
				1
				W[±] W boson

Quarks

Leptons

Gauge bosons

Queste particelle si dicono "materia", sono i costituenti della materia

La forza di Higgs è diversa dalle altre..

Queste particelle si dicono "messaggeri", sono quelli che trasmettono le forze

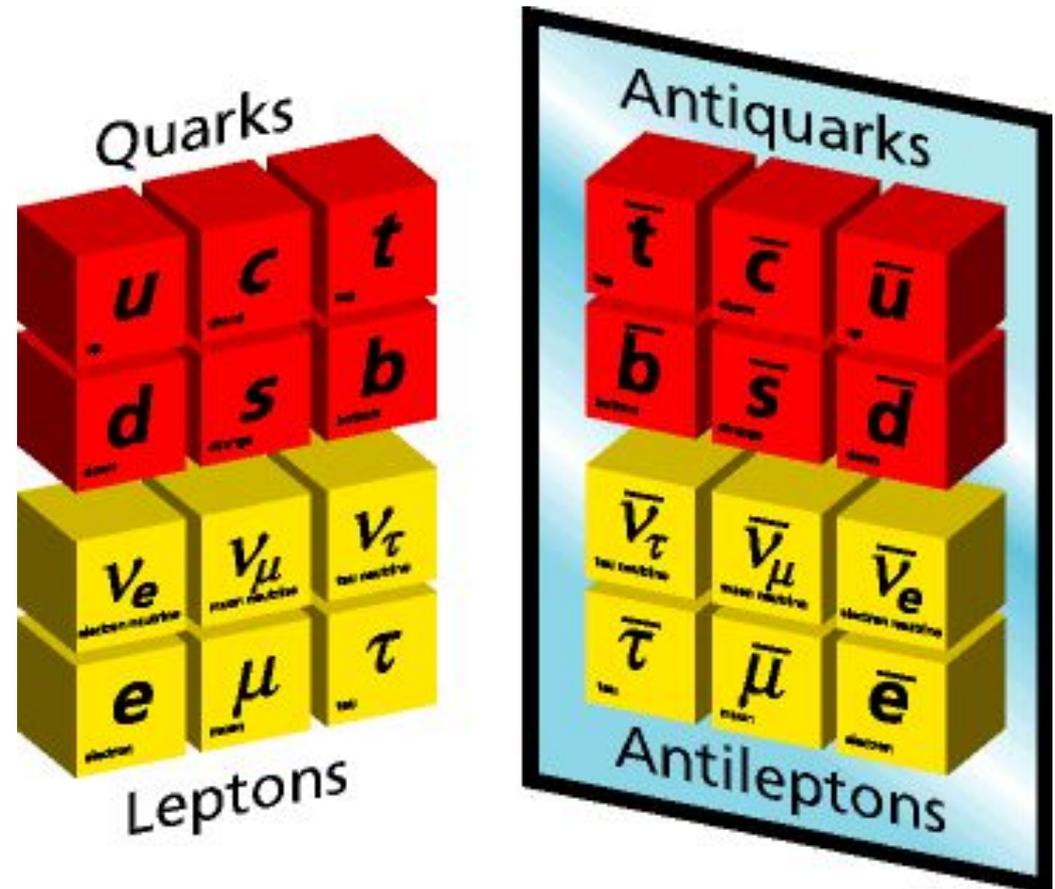
Materia e antimateria

Ogni particella di materia ha 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

Regola: se si creano delle particelle in laboratorio si ottiene

**Tanta materia quanto anti-materia,
Tante cariche positive quante negative**



Lo zoo delle particelle

Negli urti si creano centinaia di particelle che sono in realtà stati legati:

Barioni (qqq): p,n
 Mesoni (q-anti q): π, K, ω, ρ, Y

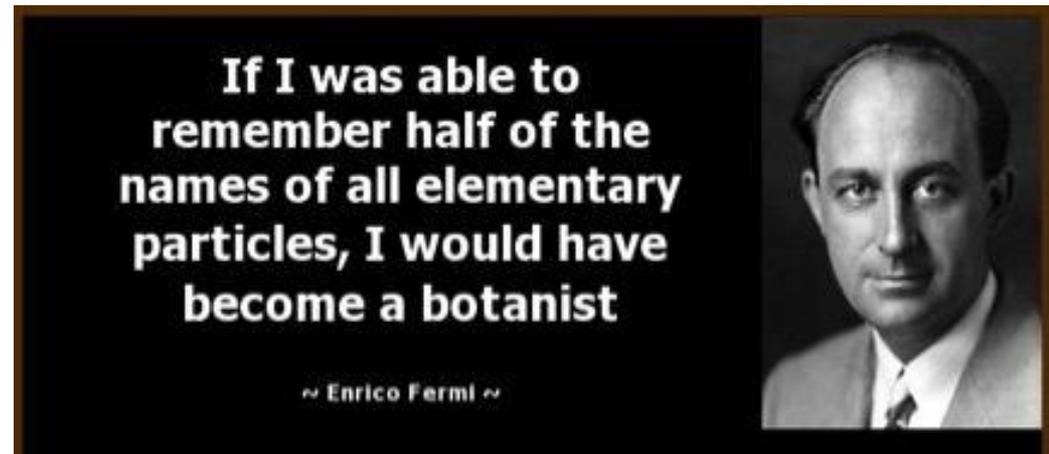
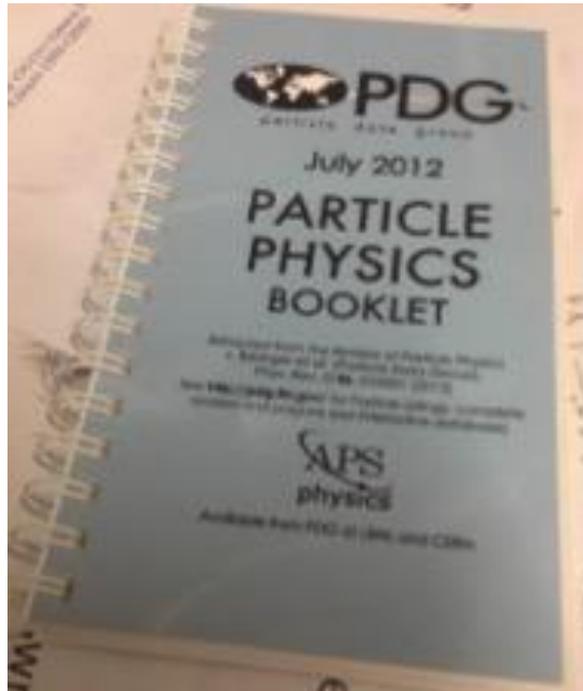
Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Lo zoo delle particelle

Come si fa a ricordare il nome di tutte le particelle?

Non lo si fa!!



Ma si può comprare un libro con tutti i nomi

Il libro delle particelle

$\omega(782)$ DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	Scale factor/ Confidence level	ρ (MeV/c)
$\pi^+\pi^-\pi^0$	(89.2 ± 0.7) %		327
$\pi^0\gamma$	(8.28±0.28) %	S=2.1	380
$\pi^+\pi^-$	(1.53 ^{+0.11} _{-0.13}) %	S=1.2	366
neutrals (excluding $\pi^0\gamma$)	(8 ⁺⁸ ₋₅) × 10 ⁻³	S=1.1	-
$\eta\gamma$	(4.6 ± 0.4) × 10 ⁻⁴	S=1.1	200
$\pi^0e^+e^-$	(7.7 ± 0.6) × 10 ⁻⁴		380
$\pi^0\mu^+\mu^-$	(1.3 ± 0.4) × 10 ⁻⁴	S=2.1	349
e^+e^-	(7.28±0.14) × 10 ⁻⁵	S=1.3	391
$\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	< 2 × 10 ⁻⁴	CL=90%	262
$\pi^+\pi^-\gamma$	< 3.6 × 10 ⁻³	CL=95%	366
$\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$	< 1 × 10 ⁻³	CL=90%	256
$\pi^0\pi^0\gamma$	(6.6 ± 1.1) × 10 ⁻⁵		367
$\eta\pi^0\gamma$	< 3.3 × 10 ⁻⁵	CL=90%	162
$\mu^+\mu^-$	(9.0 ± 3.1) × 10 ⁻⁵		377
3γ	< 1.9 × 10 ⁻⁴	CL=95%	391
Charge conjugation (C) violating modes			
$\eta\pi^0$	C < 2.1 × 10 ⁻⁴	CL=90%	162
$2\pi^0$	C < 2.1 × 10 ⁻⁴	CL=90%	367
$3\pi^0$	C < 2.3 × 10 ⁻⁴	CL=90%	330

$\eta'(958)$

$$I^G(J^{PC}) = 0^+(0^{-+})$$

Mass $m = 957.78 \pm 0.06$ MeV
Full width $\Gamma = 0.198 \pm 0.009$ MeV

$\eta'(958)$ DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	Confidence level	ρ (MeV/c)
$\pi^+\pi^-\eta$	(42.9 ± 0.7) %		232
$\rho^0\gamma$ (including non-resonant $\pi^+\pi^-\gamma$)	(29.1 ± 0.5) %		165
$\pi^0\pi^0\eta$	(22.2 ± 0.8) %		239
$\omega\gamma$	(2.75±0.23) %		159
$\gamma\gamma$	(2.20±0.08) %		479
$3\pi^0$	(2.14±0.20) × 10 ⁻³		430
$\mu^+\mu^-\gamma$	(1.08±0.27) × 10 ⁻⁴		467
$\pi^+\pi^-\mu^+\mu^-$	< 2.9 × 10 ⁻⁵	90%	401
$\pi^+\pi^-\pi^0$	(3.8 ± 0.4) × 10 ⁻³		428
$\pi^0\rho^0$	< 4 %	90%	111
$2(\pi^+\pi^-)$	< 2.4 × 10 ⁻⁴	90%	372

Citation: K.A. Olive et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. **C38**, 090001 (2014) (URL: <http://pdg.lbl.gov>)

$f_0(500)$ or σ [ϵ]
was $f_0(600)$

$$I^G(J^{PC}) = 0^+(0^{++})$$

Mass $m = (400-550)$ MeV
Full width $\Gamma = (400-700)$ MeV

$f_0(500)$ DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	ρ (MeV/c)
$\pi\pi$	dominant	-
$\gamma\gamma$	seen	-

$\rho(770)$ [h]

$$I^G(J^{PC}) = 1^+(1^{--})$$

Mass $m = 775.26 \pm 0.25$ MeV
Full width $\Gamma = 149.1 \pm 0.8$ MeV
 $\Gamma_{ee} = 7.04 \pm 0.06$ keV

$\rho(770)$ DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	Scale factor/ Confidence level	ρ (MeV/c)
$\pi\pi$	~ 100 %		363

$\rho(770)^\pm$ decays

$\pi^\pm\gamma$	(4.5 ± 0.5) × 10 ⁻⁴	S=2.2	375
$\pi^\pm\eta$	< 6 × 10 ⁻³	CL=84%	152
$\pi^\pm\pi^+\pi^-\pi^0$	< 2.0 × 10 ⁻³	CL=84%	254

$\rho(770)^0$ decays

$\pi^+\pi^-\gamma$	(9.9 ± 1.6) × 10 ⁻³		362
$\pi^0\gamma$	(6.0 ± 0.8) × 10 ⁻⁴		376
$\eta\gamma$	(3.00±0.20) × 10 ⁻⁴		194
$\pi^0\pi^0\gamma$	(4.5 ± 0.8) × 10 ⁻⁵		363
$\mu^+\mu^-\gamma$	[i] (4.55±0.28) × 10 ⁻⁵		373
e^+e^-	[i] (4.72±0.05) × 10 ⁻⁵		388
$\pi^+\pi^-\pi^0$	(1.01 ^{+0.54} _{-0.36} ±0.34) × 10 ⁻⁴		323
$\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$	(1.8 ± 0.9) × 10 ⁻⁵		251
$\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	(1.6 ± 0.8) × 10 ⁻⁵		257
$\pi^0e^+e^-$	< 1.2 × 10 ⁻⁵	CL=90%	376

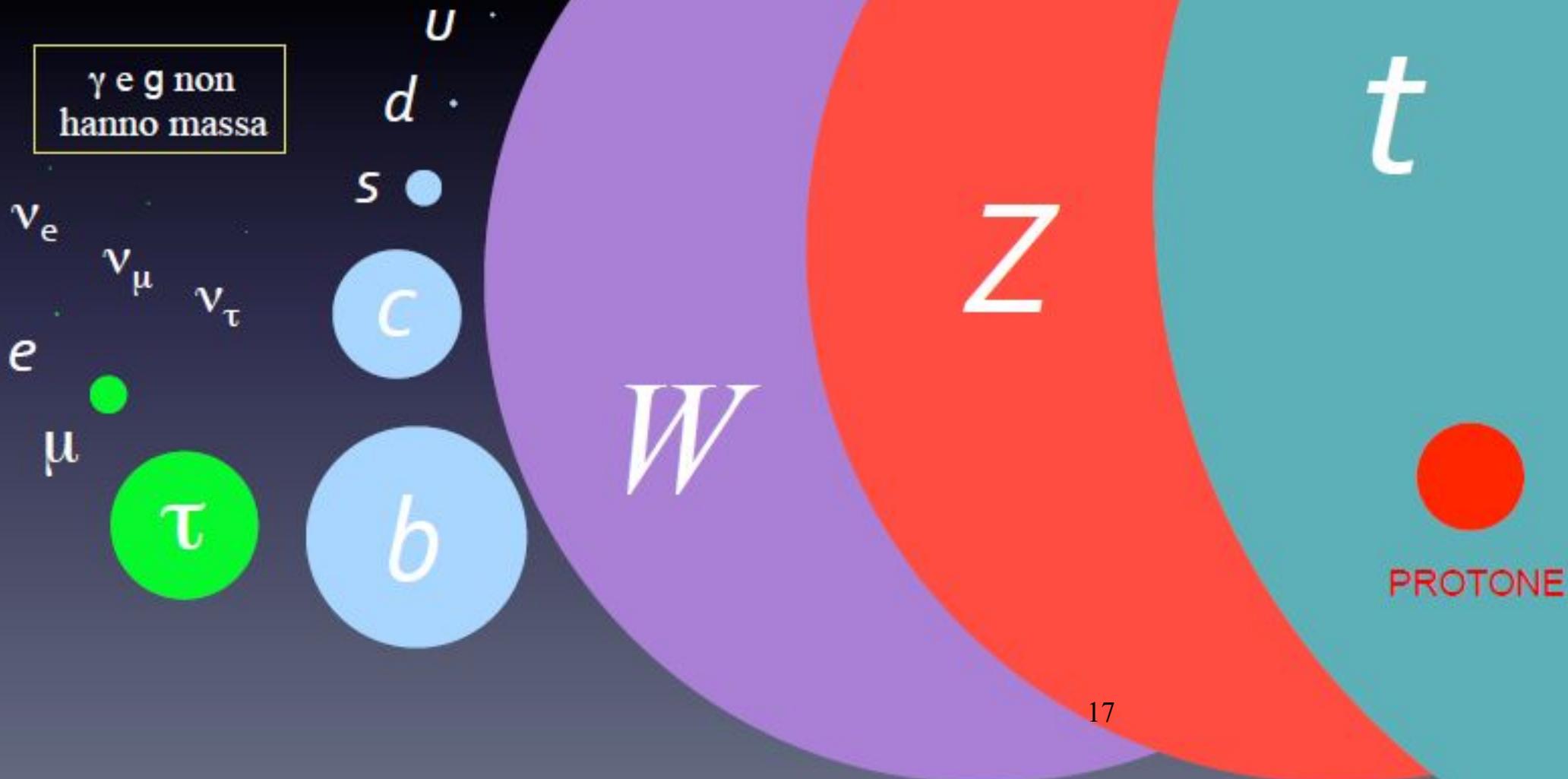
$\omega(782)$

$$I^G(J^{PC}) = 0^-(1^{--})$$

Mass $m = 782.65 \pm 0.12$ MeV (S = 1.9)
Full width $\Gamma = 8.49 \pm 0.08$ MeV
 $\Gamma_{ee} = 0.60 \pm 0.02$ keV

Il problema della massa

Non c'è una spiegazione della massa delle particelle.
Eppure le particelle hanno una massa, che è enormemente
diversa fra loro!



Simmetrie nascoste

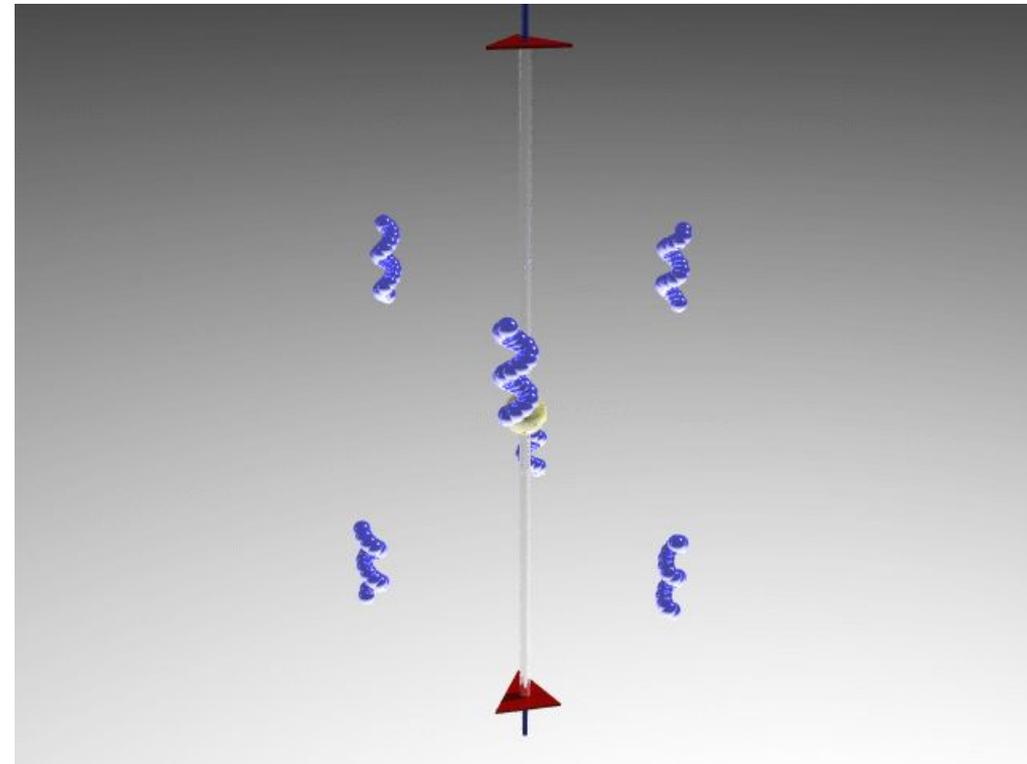
Le simmetrie della natura sono spesso “nascoste”, “rotte” da effetti che si sovrappongono.

Esempio: le leggi della fisica sono simmetriche per rotazione. Sulla terra invece, questo non è vero.

Si dice allora che la simmetria è nascosta (o rotta)

La simmetria esiste, ma non si vede più

La ricerca di simmetria nascoste è il mestiere dei fisici teorici...



Simmetrie in fisica delle particelle

Le simmetrie sono

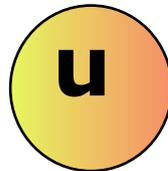
Una guida nella ricerca di nuove scoperte

La scoperta dei quark è un esempio:

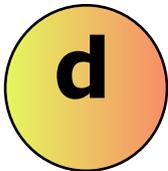
Condizioni iniziali:

Carica

$2/3$



$-1/3$



Simmetrie in fisica delle particelle

Le simmetrie sono

Una guida nella ricerca di nuove scoperte

La scoperta dei quark è un esempio:

Condizioni iniziali:

1974

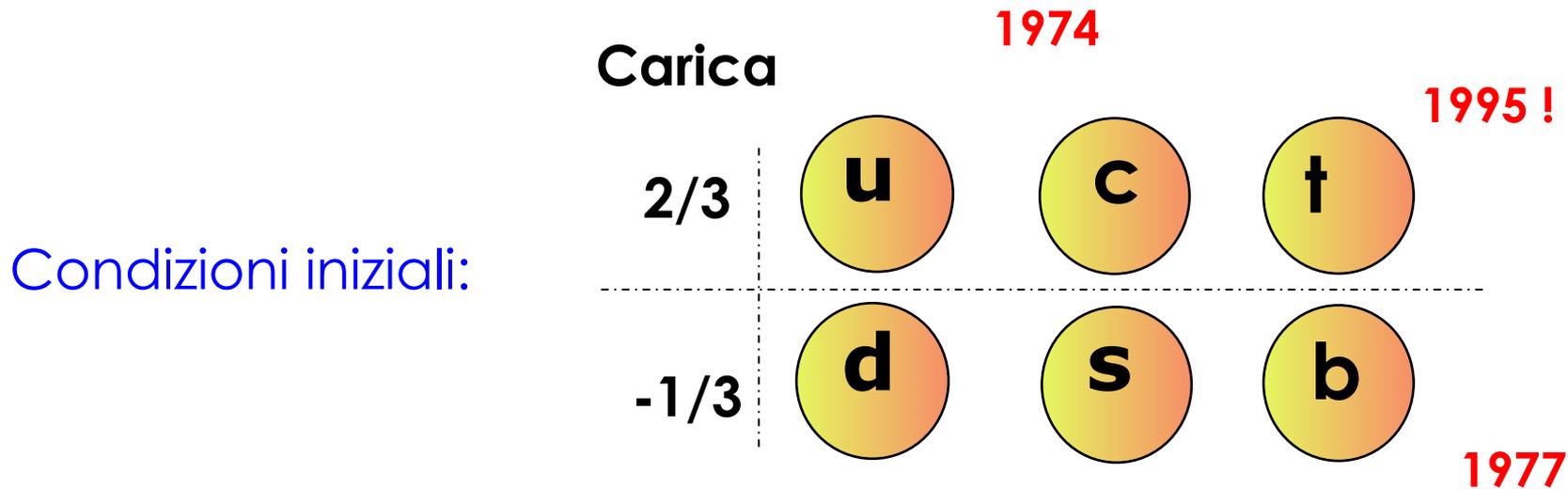
Carica		
$2/3$	u	c
$-1/3$	d	s

Simmetrie in fisica delle particelle

Le simmetrie sono

Una guida nella ricerca di nuove scoperte

La scoperta dei quark è un esempio:



L'idea di Mr. Higgs

Le particelle non hanno massa, e sono simmetriche tra loro
Questa simmetria è “nascosta” (rotta) dal fatto che il bosone di Higgs, interagendo con le particelle, le rende massive

BROKEN SYMMETRIES, MASSLESS PARTICLES AND GAUGE FIELDS

P. W. HIGGS

Tait Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh, Scotland

Received 27 July 1964

Recently a number of people have discussed the Goldstone theorem ^{1,2)}: that any solution of a Lorentz-invariant theory which violates an internal symmetry operation of that theory must contain a massless scalar particle. Klein and Lee ³⁾ showed that this theorem does not necessarily apply in non-relativistic theories and implied that their considerations would apply equally well to Lorentz-invariant field theories. Gilbert ⁴⁾, how-

ever, gave a proof that the failure of the Goldstone theorem in the nonrelativistic case is of a type which cannot exist when Lorentz invariance is imposed on a theory. The purpose of this note is to show that Gilbert's argument fails for an important class of field theories, that in which the conserved currents are coupled to gauge fields.

Following the procedure used by Gilbert ⁴⁾, let us consider a theory of two hermitian scalar fields

L'idea di Mr. Higgs

Questa idea apre la porta alla descrizione matematica delle interazioni tra particelle, chiamata il MODELLO STANDARD, che è possibile SOLO SE:

Tutte le particelle hanno massa nulla

C'è una particella assolutamente speciale che spiega perché le particelle sono massive:

Il bosone di Higgs

Il bosone di Higgs ed il campo di Higgs

Le forze agiscono tra due particelle e si scambiano un mediatore

La particella di Higgs invece è scambiata tra il campo di Higgs e la particella.



Un'analogia

Se cammini e improvvisamente entri in una piscina, rallenti.

Se non vedessi l'acqua, penseresti di essere improvvisamente diventato pesante.

Acquisti "massa" perché interagisci con un mezzo che è tutto attorno a te

Il campo di Higgs è l'equivalente dell'acqua che ti sta attorno

Un'altra analogia

Possiamo pensare alla particella di Higgs (il messaggero del campo di Higgs) come ad un fiocco di neve



Possiamo pensare al “vuoto” come un mezzo denso che offre una “resistenza” ad una forza e quindi é equivalente a dare una massa:



quark top



elettrone

Caccia al bosone di Higgs



Dal 1964, anno di pubblicazione dell'articolo di Mr. Higgs che lo proponeva, la particella di Higgs è stato il sacro Graal della fisica, su cui si sono riversati fiumi di articoli, soldi, notti insonni, matrimoni falliti, adrenalina, speranze e delusioni.

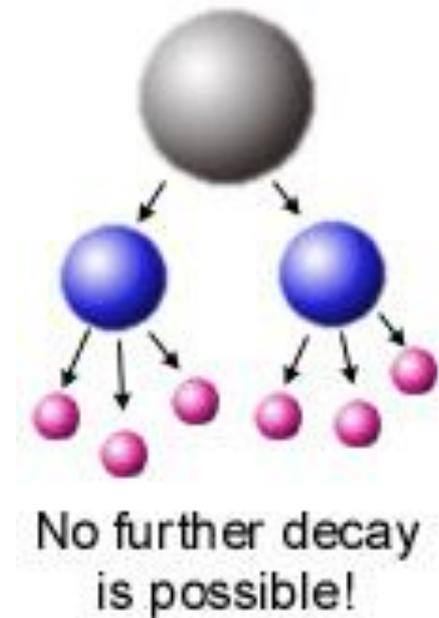
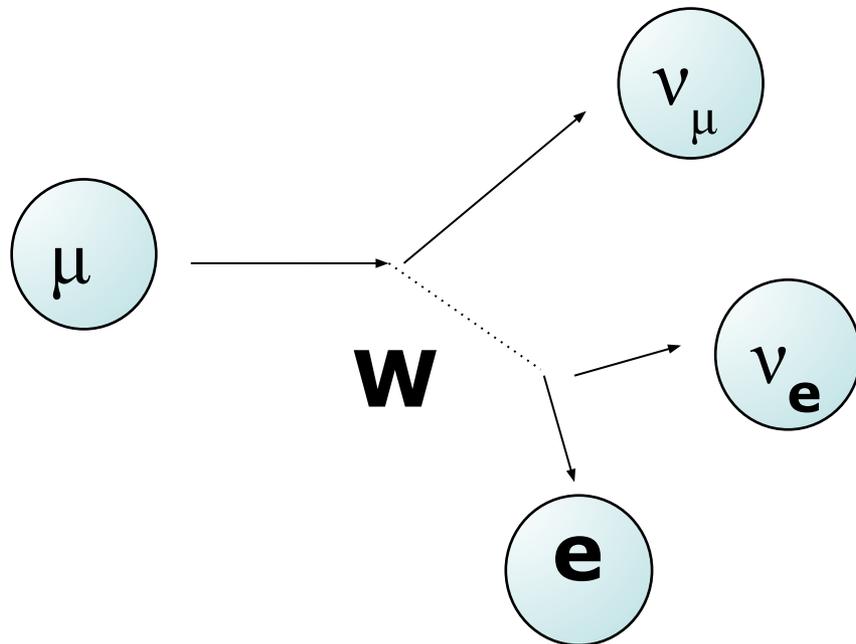
Tutto è cambiato il 4 luglio 2012....



Decadimenti

Le particelle più pesanti (sia elementari che composte)
decadono in particelle più leggere

I decadimenti avvengono seguendo le
regole (per esempio le
conservazione della carica)
descritte dal Modello Standard



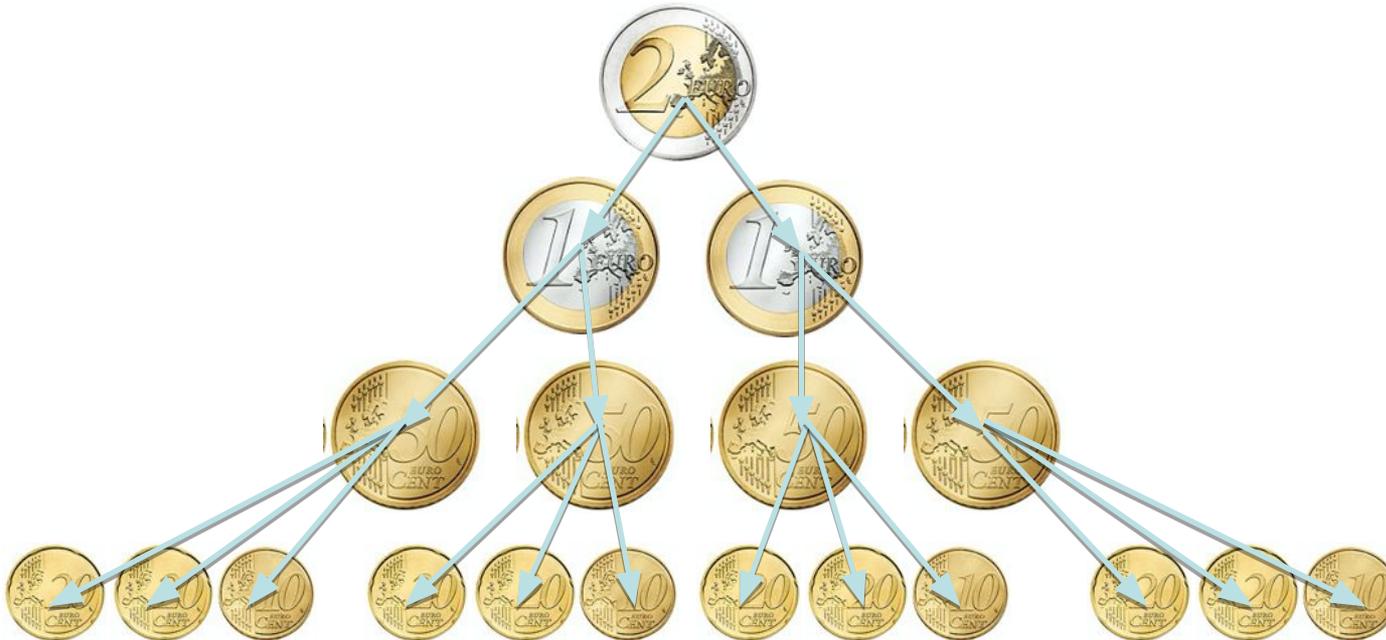
Decadimenti

Molte delle proprietà della particella madre vengono trasmesse alle particelle figlie:

→ Conservazione della energia totale, carica....

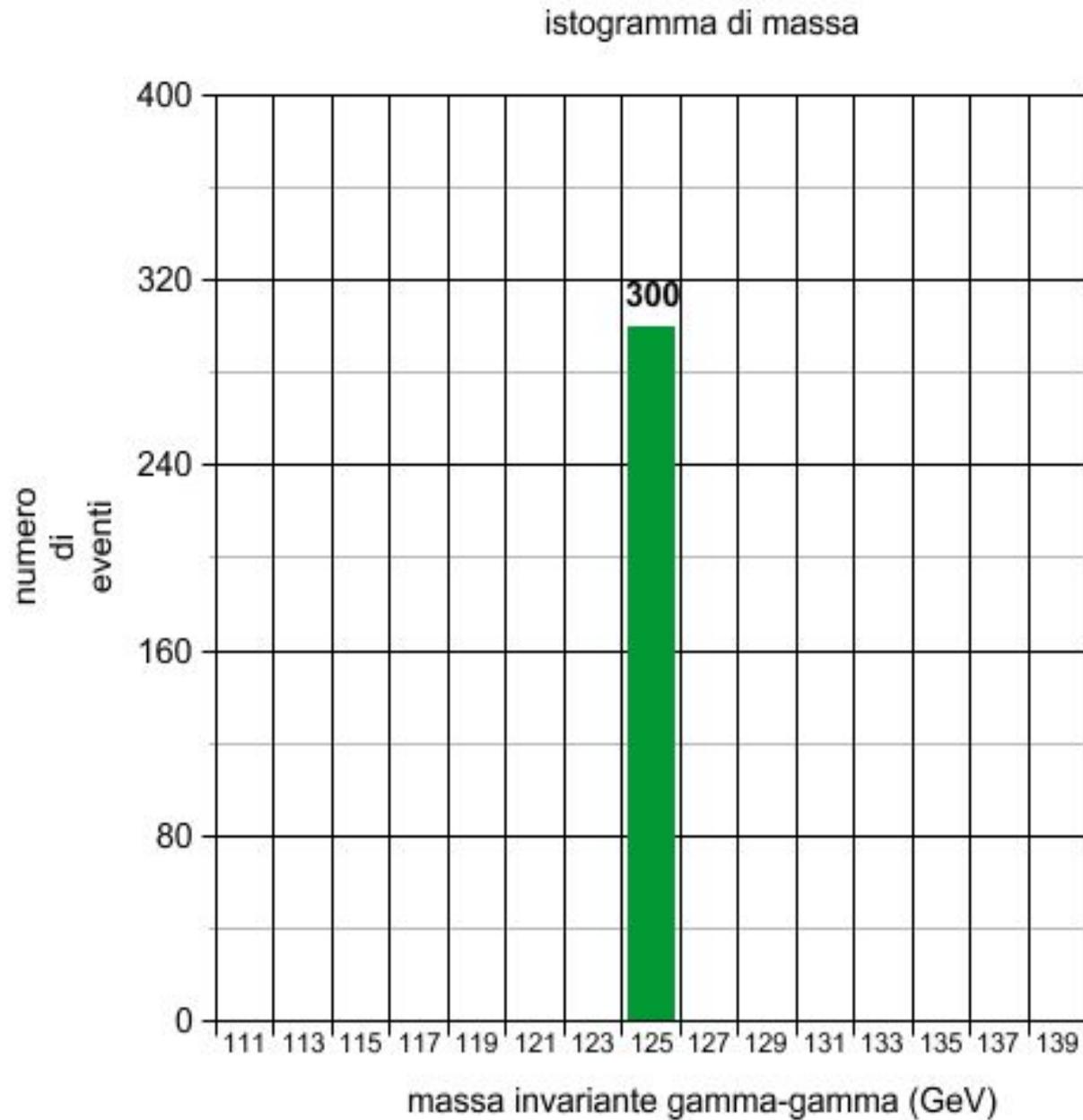
Alcune proprietà non sono conservate:

→ Non conservazione della massa, etc..

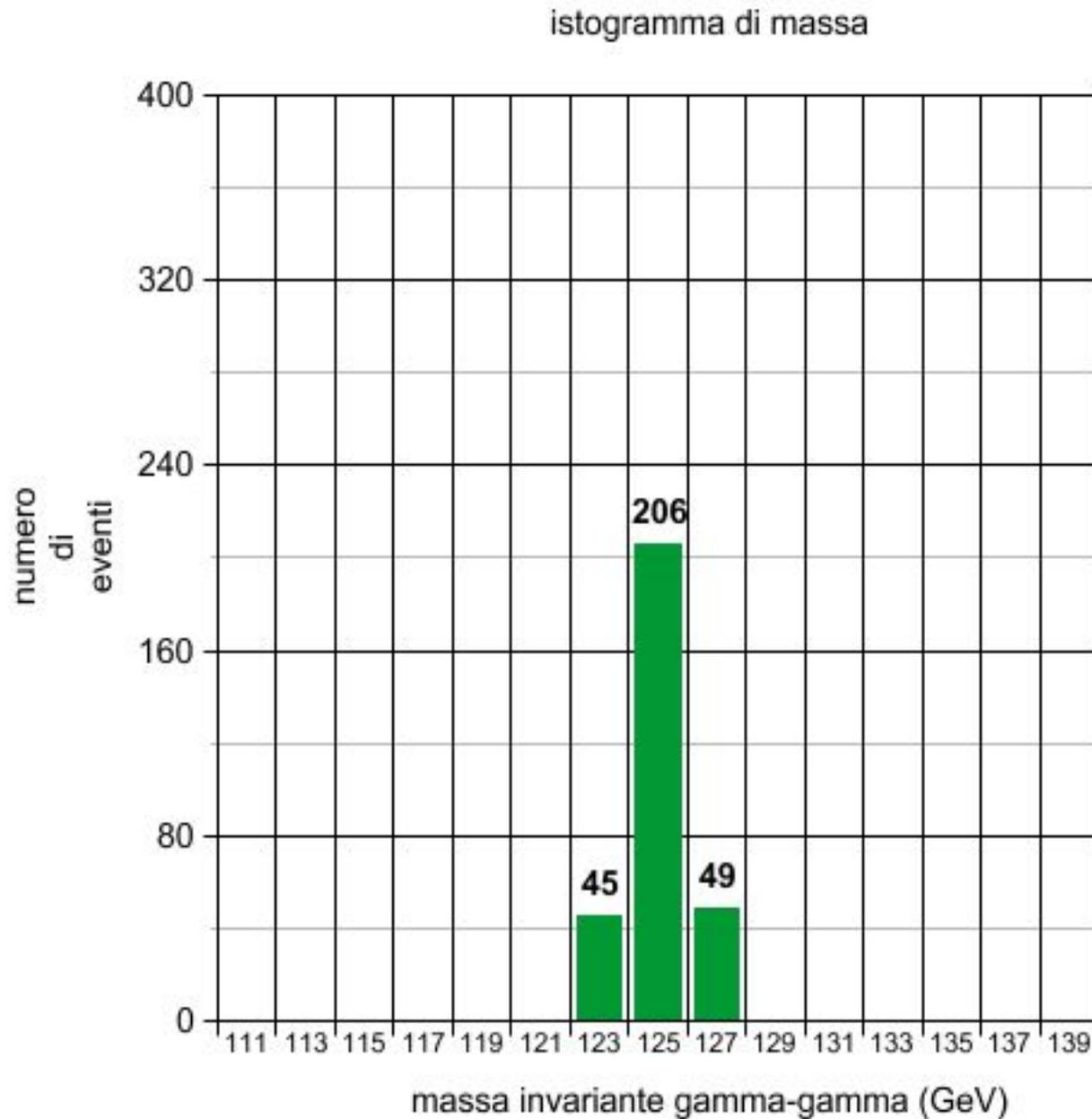


Conservazione del valore, non conservazione del peso

Decadimento di una particella di $m = 125$ GeV



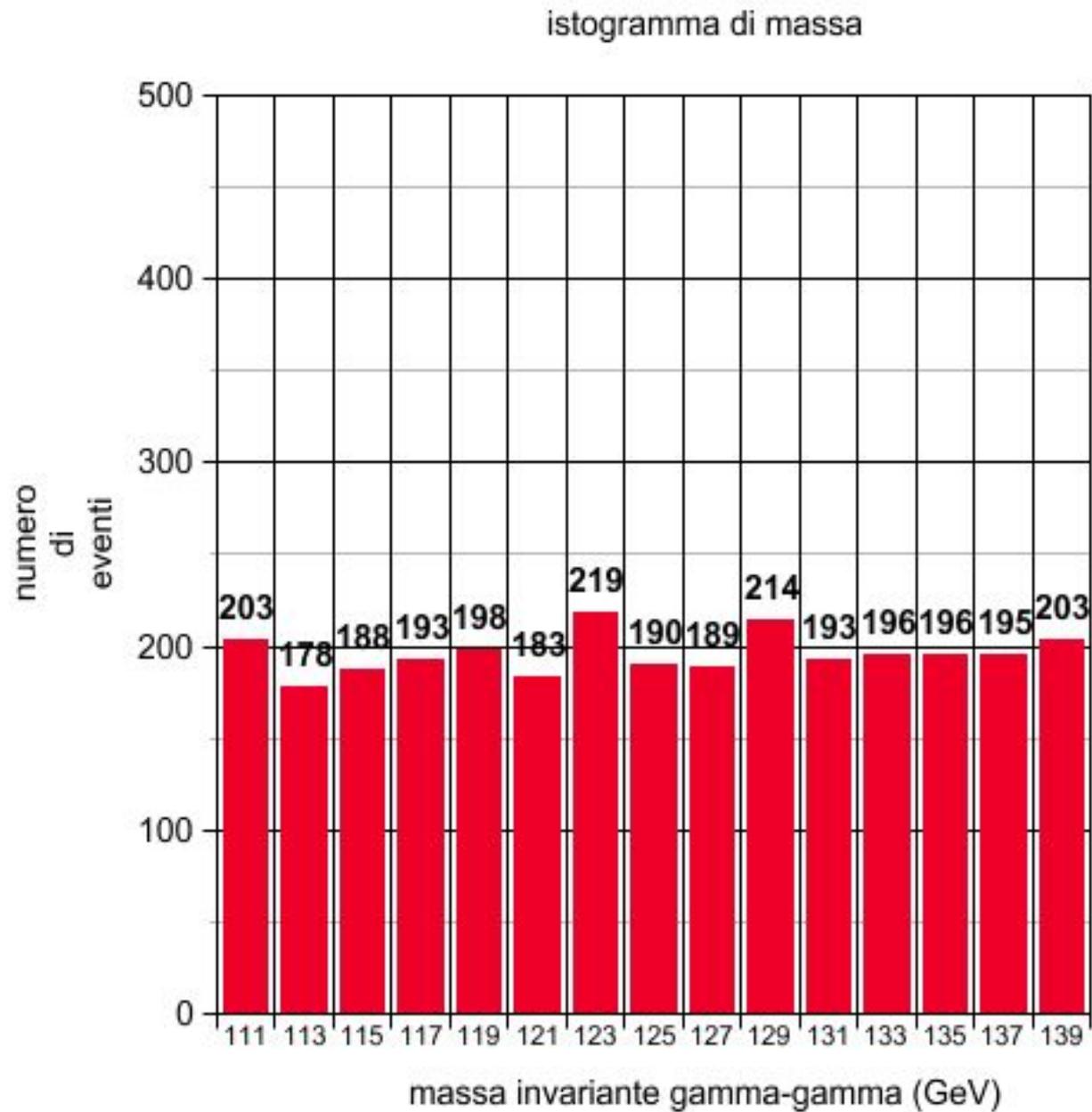
Decadimento di una particella di $m = 125$ GeV



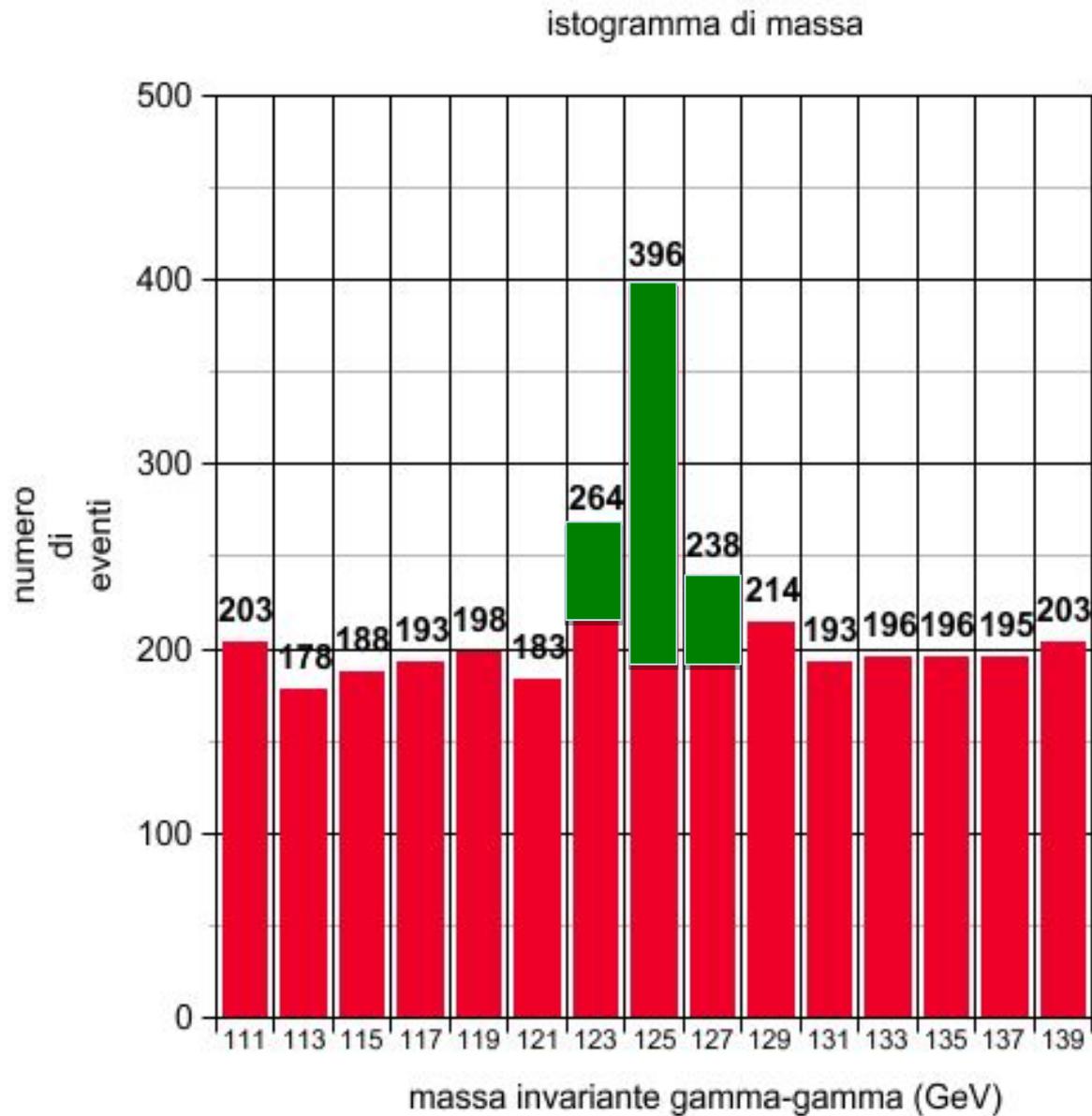
Misura sperimentale

→ incertezza!

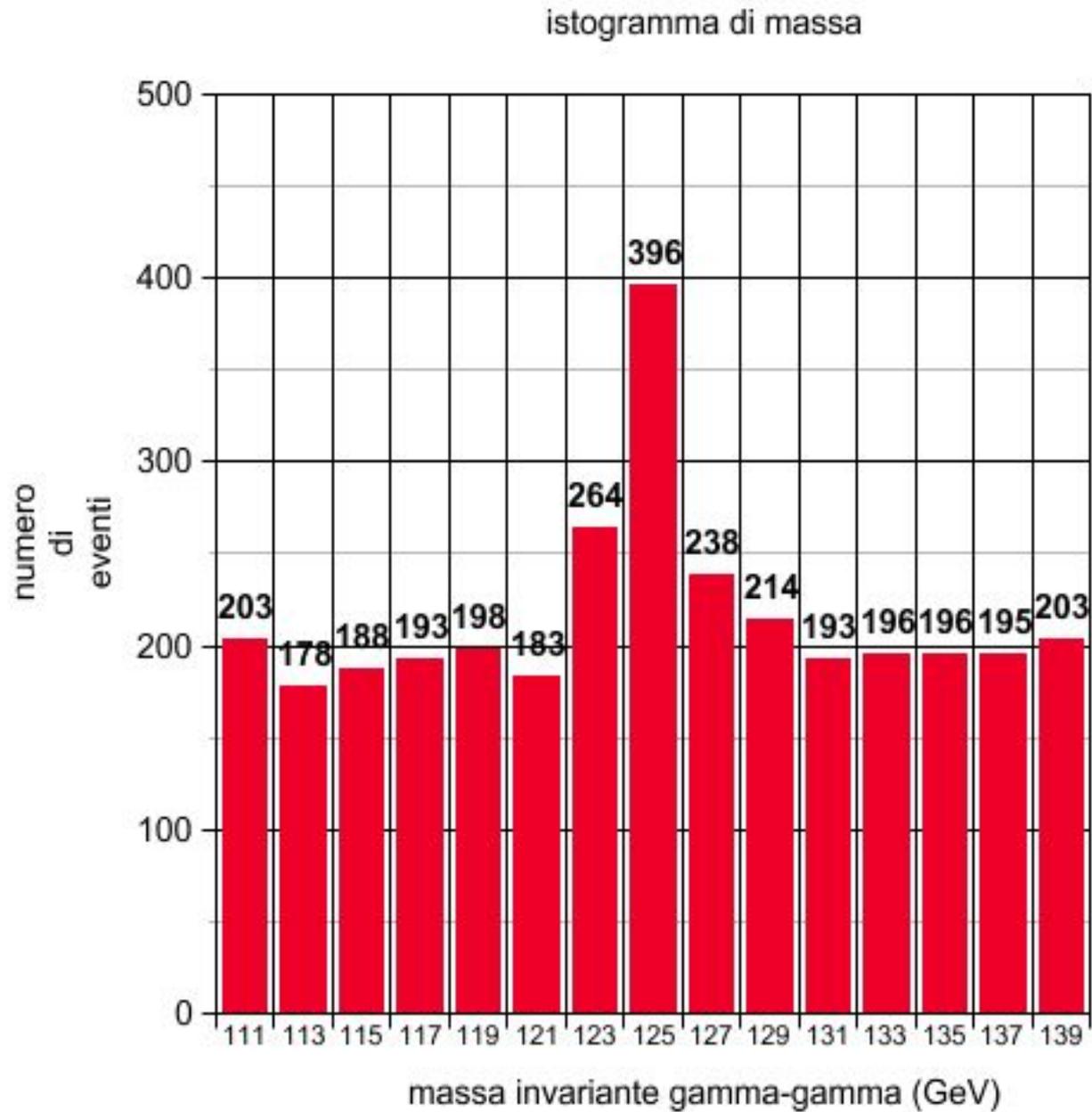
Massa di particelle scorrelate



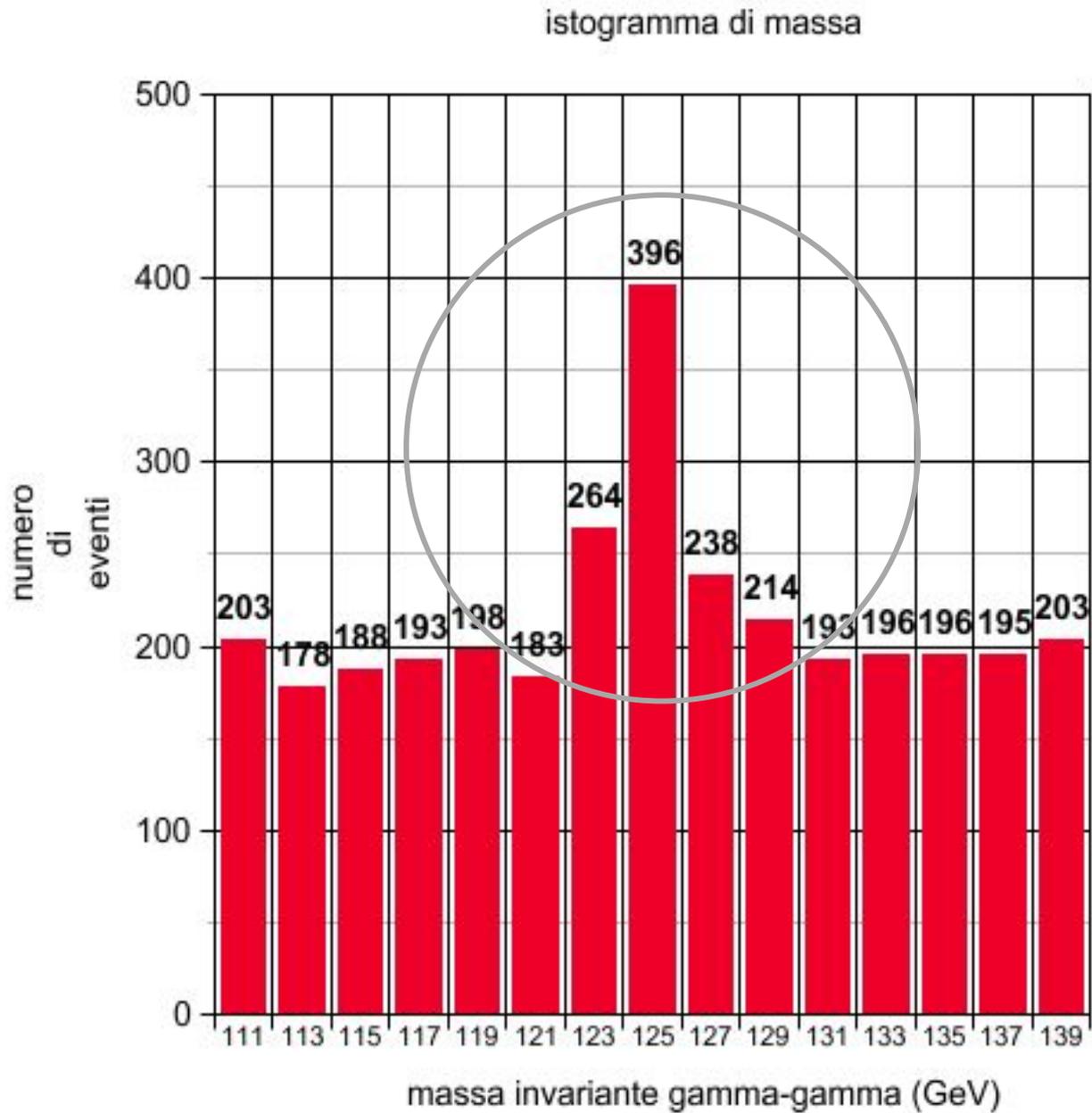
Segnale + fondo



Nella realta'



Nella realta'

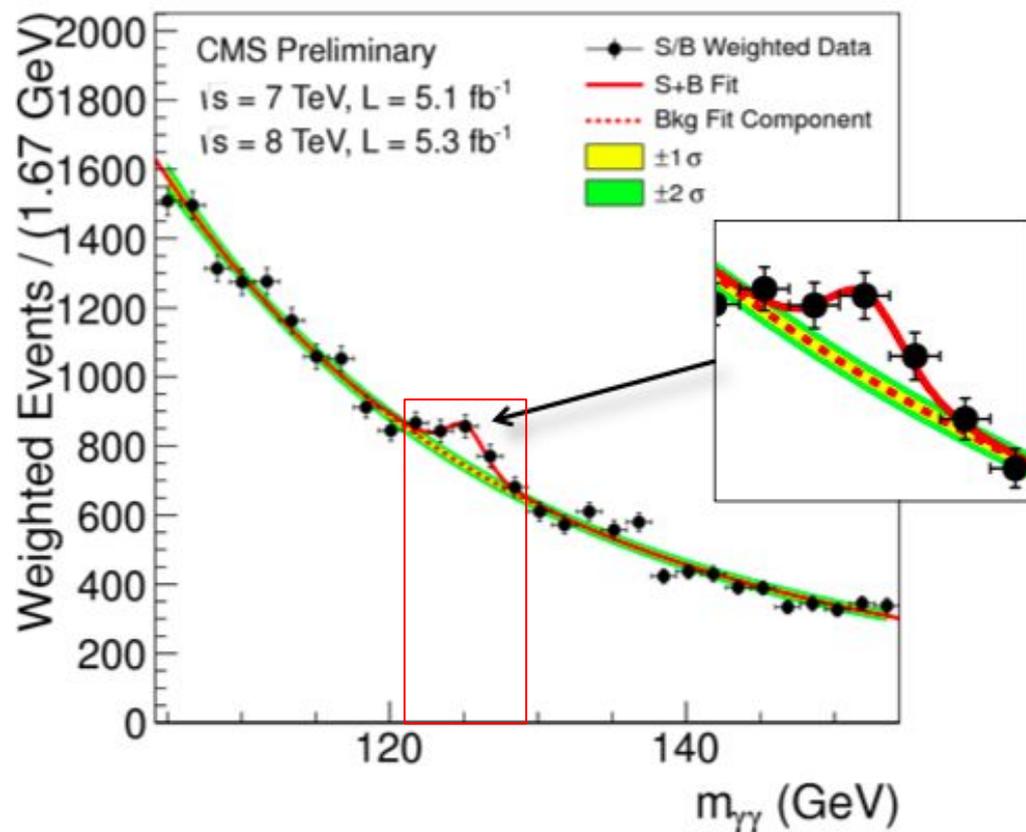


H \rightarrow $\gamma\gamma$

In questo grafico si vede:

Riga verde: somma di tutti i processi di fisica noti

Riga rossa: eccesso di eventi



Quello che si vede è che in un certo intervallo di massa ci sono più eventi

di quelli attesi dalla somma di tutti i processi noti escludendo il bosone di Higgs.

Tuttavia: non si riesce a sapere se il singolo evento sia un bosone di Higgs: è un processo statistico.

In definitiva, tutto semplice

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{H}}^{\text{I}}(\text{pp} \rightarrow \text{H}) &= \sum_{ab} \int_{\tau}^1 dx_a \int_{\nu x_a}^1 dx_b \int \frac{d\omega_1}{2\pi} \int \frac{d\omega_2}{2\pi} \int dz \delta\left(x_a x_b - \frac{M_{\text{BH}}^2}{s}\right) 2\pi\delta(zM_{\text{BH}} - \omega_1 - \omega_2) 2\pi\delta(M_{\text{H}} - \omega_1 - \omega_2) \\
 &\quad \times f_{a/A}(x_a, \mu^2) f_{b/B}(x_b, \mu^2) L^{ab \rightarrow \text{BH} \rightarrow \text{H}}(\omega_1, \omega_2) p_g(\omega_1) p_g(\omega_2) L^{\text{BH} \rightarrow \text{H}}(\omega_1, \omega_2) \\
 &= \sum_{ab} \int_{\tau}^1 dx_a \int_{\nu x_a}^1 dx_b \int \frac{d\omega_1}{2\pi} \int \frac{d\omega_2}{2\pi} \int dz \delta\left(x_a x_b - \frac{M_{\text{BH}}^2}{s}\right) 2\pi\delta(zM_{\text{BH}} - \omega_1 - \omega_2) 2\pi\delta(M_{\text{H}} - \omega_1 - \omega_2) \\
 &\quad \times f_{a/A}(x_a, \mu^2) f_{b/B}(x_b, \mu^2) \frac{e^{-8\pi M_{\text{BH}} \omega_1}}{1 - e^{-8\pi M_{\text{BH}} \omega_1}} \frac{e^{-8\pi M_{\text{BH}} \omega_2}}{1 - e^{-8\pi M_{\text{BH}} \omega_2}} \frac{1}{M_{\text{P}}^2} \left\{ \frac{\omega_1 + \omega_2}{zM_{\text{P}}} \left[\frac{4\Gamma(7/2)}{3} \right] \right\}^{2/5} \frac{1}{\omega_1^2} \frac{1}{\omega_2^2} \\
 &\quad \times \sum_{C=1}^8 (T^C T^C)_{mn} \left(\frac{\alpha_S}{\pi} \right)^2 \frac{\pi}{288\sqrt{2}} \left(\frac{6M_{\text{t}}^2}{(\omega_1 + \omega_2)^2} \left\{ 1 + \left[1 - \frac{4M_{\text{t}}^2}{(\omega_1 + \omega_2)^2} \right] \arcsin^2 \left[\sqrt{\frac{(\omega_1 + \omega_2)^2}{4M_{\text{t}}^2}} \right] \right\} \right)^2 \\
 &\approx C_{\text{F}} \delta_{mn} \left(\frac{s}{M_{\text{BH}}^2} \right)^{1,2} \left[1 + 3 \frac{M_{\text{BH}}^2}{s} \ln \left(\frac{s}{M_{\text{BH}}^2} \right) \right] \left(\frac{\alpha_S}{\pi} \right)^2 \frac{\pi}{288\sqrt{2}} \left\{ \frac{6M_{\text{t}}^2}{M_{\text{H}}^2} \left[1 + \left(1 - \frac{4M_{\text{t}}^2}{M_{\text{H}}^2} \right) \arcsin^2 \left(\sqrt{\frac{M_{\text{H}}^2}{4M_{\text{t}}^2}} \right) \right] \right\}^2 \\
 &\quad \times \frac{1}{M_{\text{P}}^2} \left\{ \frac{M_{\text{BH}}}{M_{\text{P}}} \left[\frac{4\Gamma(7/2)}{3} \right] \right\}^{2/5} \frac{e^{-8\pi M_{\text{BH}}^2}}{1 - e^{-8\pi M_{\text{BH}}^2}} \left[\frac{1}{M_{\text{t}}^2} - \frac{1}{M_{\text{H}}^2} + \ln \left(\frac{M_{\text{t}}}{M_{\text{H}}} \right) \right]
 \end{aligned}$$

Ancora più semplice

campo
elettromagnetico,
interazioni fra
bosoni vettori

$$f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c - \frac{1}{4} g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e +$$
$$\partial^2 G^a + g_s f^{abc} \partial_\mu \bar{G}^a G^b g_\mu^c - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- -$$
$$-\frac{1}{2} M^2 Z^0 Z^0 - \frac{1}{2} \partial_\mu A^0 \partial_\mu A^0$$

azione delle forze
sui fermioni

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$
$$+ i \bar{\psi} \not{D} \psi + \text{h.c.}$$
$$+ \bar{\psi}_i \gamma_5 \psi_j \phi + \text{h.c.}$$
$$+ |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

campo di Higgs,
sua interazione con
bosoni vettori

massa dei fermioni,
loro interazione con
il campo di Higgs

Appunti finali: la massa dell'Higgs

Siamo così bravi che possiamo anche calcolare la massa del bosone di Higgs:

1) Risultato del calcolo:

Teoria: Higgs Mass = 10^{16} GeV ~ infinito

2) Misura:

Misura: Higgs Mass = 125 GeV (~125 protons)

C'e' qualcosa di sbagliato...

Magari l'Higgs non è una particella elementare, oppure la teoria è incompleta..

Materia oscura

Ci sono indicazioni da molti fenomeni cosmologici che nell'universo c'è più materia di quella visibile.

Questo vuol dire che oltre alle stelle ed ai pianeti, ci sono nuvole di particelle invisibili distribuite in tutto l'universo

Queste particelle invisibili interagiscono molto poco con quelle che conosciamo noi, per cui non riusciamo a farle in laboratorio.

Modelli matematici che usano la gravità ed il moto delle stelle/galassie per determinare quanta materia ci sia nell'universo predicono che:

Materia oscura = 500% materia visibile !!!

Velocità di espansione dell'universo

Consideriamo una macchina dei pompieri con la sirena accesa. Guardando ed ascoltando possiamo imparare due cose:

- Sapendo la sua dimensione reale, dalla sua dimensione apparente possiamo capire la **distanza**
- Sapendo la sua frequenza reale, dalla frequenza apparente possiamo calcolarne **la velocità** (effetto doppler)



Nell'universo le macchine dei pompieri sono le **supernova 1A**: se ne conosce la luminosità e frequenza molto bene (perché esplodono sempre con la stessa massa)

Dalla luminosità e frequenza apparente, possiamo ricavare la **posizione e velocità delle supernovae**.



supernovae lontane hanno velocità minore di quelle vicine

Energia oscura

L'universo si espande dal momento della sua nascita: per effetto della gravità l'espansione dovrebbe rallentare nel tempo

Invece: è stato misurato che la velocità di espansione nel passato era più lenta di quella di adesso

→ l'universo sta accelerando.
(premio Nobel per la fisica 2011).

Scaldando un oggetto, questo si dilata → Per l'universo è lo stesso

Cosa sta scaldando l'universo? Non abbiamo assolutamente idea cosa sia. La chiamiamo: **Dark Energy**



Di cosa è fatto l'universo?

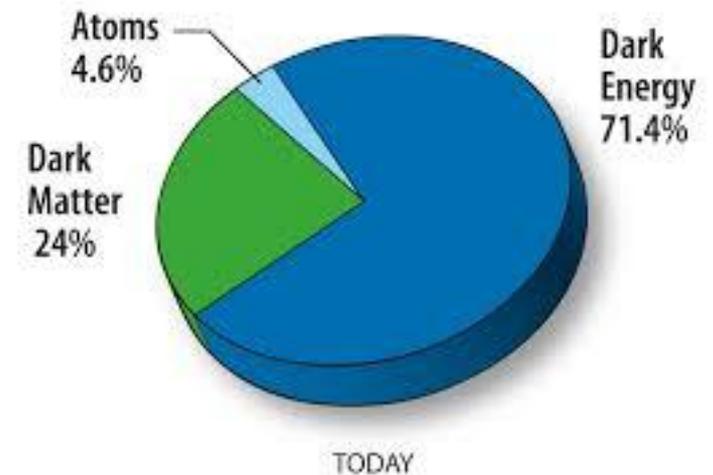
Il 4-5 % è costituito dalla materia che conosciamo

Il 22-25% è costituito da 'Dark Matter':

- I. Non emette nessun tipo di radiazione elettromagnetica.
- II. Fa ruotare le galassie più velocemente
- III. Una possibilità è che contenga 'particelle super-simmetriche'

Il 70 - 73% è composto da 'Dark Energy'

1. Riempie uniformemente tutto lo spazio
2. Aumenta la velocità di espansione dell'universo



Cosa capita adesso?

Abbiamo scoperto l'Higgs...tuttavia:

I modelli teorici prevedono che assieme alla particella Higgs si debbano trovare altre particelle per spiegare la massa del bosone di Higgs, la materia oscura e la energia oscura

i bosoni di Higgs non vengono mai soli...

I nostri colleghi teorici, in discussioni pre-LHC erano molto sicuri di se:
“Abbiamo capito tutto: ad LHC troverete sia l'Higgs che altre cose”.

Abbiamo trovato l'Higgs, ma niente d'altro!!

Prima e dopo LHC

pre - LHC



Fisico teorico

Fisico sperimentale

post - LHC



Fisico
teorico

Fisico sperimentale

Sommario

Abbiamo trovato l'Higgs, grande successo, ci abbiamo messo solo 48 anni.

Non abbiamo trovato altre particelle, quindi la nostra teoria principale, lo "Standard Model", non sa come spiegare alcuni aspetti della fisica che vediamo ad LHC.

Non sappiamo tra le altre cose:

1. perché l'anti-materia sia sparita
2. cosa sia la materia oscura che fa girare le galassie
3. cosa sia l'energia oscura che fa accelerare l'universo
4. come calcolare la massa dell'Higgs

Abbiamo un'arma segreta: voi! Venite ad aiutarci

STEAM SUMMER CAMP

Dal 13-17 luglio 2025
presso il Centro Residenziale Universitario
di Bertinoro (Ce.U.B.) - Forlì

2025



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

DALLA FISICA DELLE PARTICELLE ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Un campo estivo, organizzato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, per le studentesse, gli studenti e i docenti delle scuole secondarie di II grado italiane.

Nel Summer Camp saranno affrontati dei temi che fanno parte delle discipline **STEAM** (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics), sia con attività seminariali che con laboratori.

15 luglio: visita del **Tecnopolo di Bologna**, con particolare attenzione al mondo del computing e delle tecnologia presente e futura (AI e Quantum Computing).

STEAM SUMMER CAMP

Dal 13-17 luglio 2025
presso il Centro Residenziale Universitario
di Bertinoro (Ce.U.B.) - Forlì

2025

INFN

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Il Summer Camp 2025 ha **104 posti per studentesse e studenti e 20 per i docenti**, così suddivisi:

- 59 studentesse e studenti selezionati dai progetti di divulgazione scientifica dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
 - **6 riservati ai partecipanti alle masterclass**
- **45 posti per le studentesse e gli studenti messi a bando #27537 con scadenza 31 marzo 2025 - <https://reclutamento.dsi.infn.it>**
- 20 docenti di Matematica, Fisica e Scienze delle scuole secondarie di II grado italiane selezionati dall'INFN (**form per la richiesta di partecipazione dal 24 febbraio 2025**)
- 10 ricercatrici e ricercatori dell'INFN.

STEAM SUMMER CAMP

2025

INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Se vuoi partecipare alla selezione degli studenti partecipanti ai progetti di divulgazione scientifica dell'INFN:

- modifica il form di iscrizione alla masterclass selezionando «sì»

STEAM Summer Camp

Summer Camp INFN su materie STEAM (Scienza, Tecnologia, Ingegneria, Arti e Matematica)

Si

No

Saresti disponibile a partecipare allo STEAM Summer Camp organizzato dall'INFN a Bertinoro (FC) dal 13 al 17 Luglio 2025 presso il Centro Residenziale Universitario?

- Se non riesci a modificare il form o non trovi più l'email con la conferma dell'iscrizione, scrivi a masterclasses.pavia@gmail.com

STEAM SUMMER CAMP

2025



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

- A seconda della masterclass a cui stai partecipando, dovrai collegarti ad un link zoom, che riceverai via email, nelle seguenti giornate:
 - **ATLAS** **sabato 12 aprile, ore 15**
 - **CMS** **sabato 5 aprile, ore 15**
 - **PARTICLE THERAPY** **sabato 5 aprile, ore 15:30**
- Durante la videochiamata, ti verrà fornito un link ad un quiz su Kahoot:
 - durerà 15 min max
 - verterà sulle tematiche discusse durante la masterclass
- Gli studenti selezionati con i quiz verranno poi invitati ad una seconda selezione, che si effettuerà i primi di maggio (sempre in videochiamata), per un colloquio motivazionale.

STEAM SUMMER CAMP

Dal 13-17 luglio 2025
presso il Centro Residenziale Universitario
di Bertinoro (Ce.U.B.) - Forlì

2025

INFN

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

I 6 vincitori avranno vitto, alloggio ed attività didattiche a **spese dell'INFN** e dovranno sostenere solo le spese del viaggio.

Il programma del camp e ulteriori dettagli sono disponibili a questo link:
<https://agenda.infn.it/event/44348/>

Speriamo di vedervi numerosi su ZOOM!!

Backup

Bosoni e fermioni

Particelle elementari di materia hanno tutte spin $\frac{1}{2}$: **FERMIONI**

Messaggeri elementari delle forze (tranne 1, forse..) hanno tutti spin intero (1): **BOSONI**

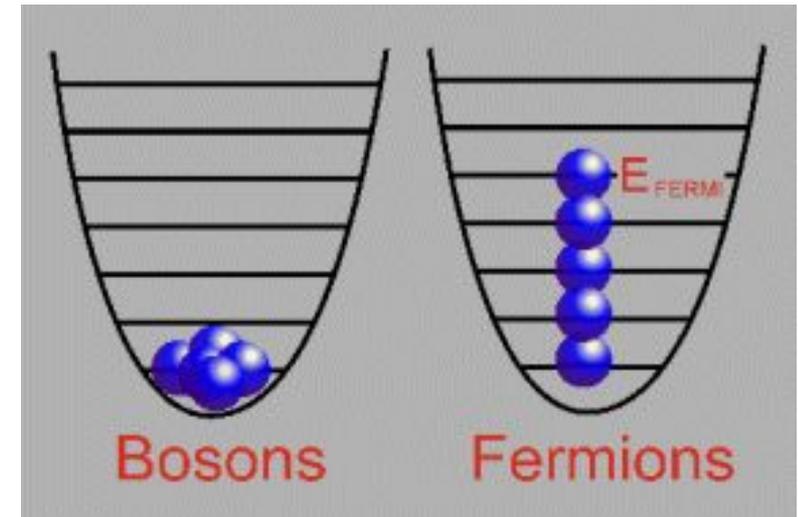
Fermioni interagiscono tra di loro scambiandosi bosoni



Le particelle bosoniche possono stare tutte nelle stesso posto:

- In una classe di studenti bosonici, serve una sola sedia
- Un posteggio infinito di macchine bosoniche ha un solo posto

Effetti di coerenza come la superconduttività ed il laser sono dovuti a questo fatto

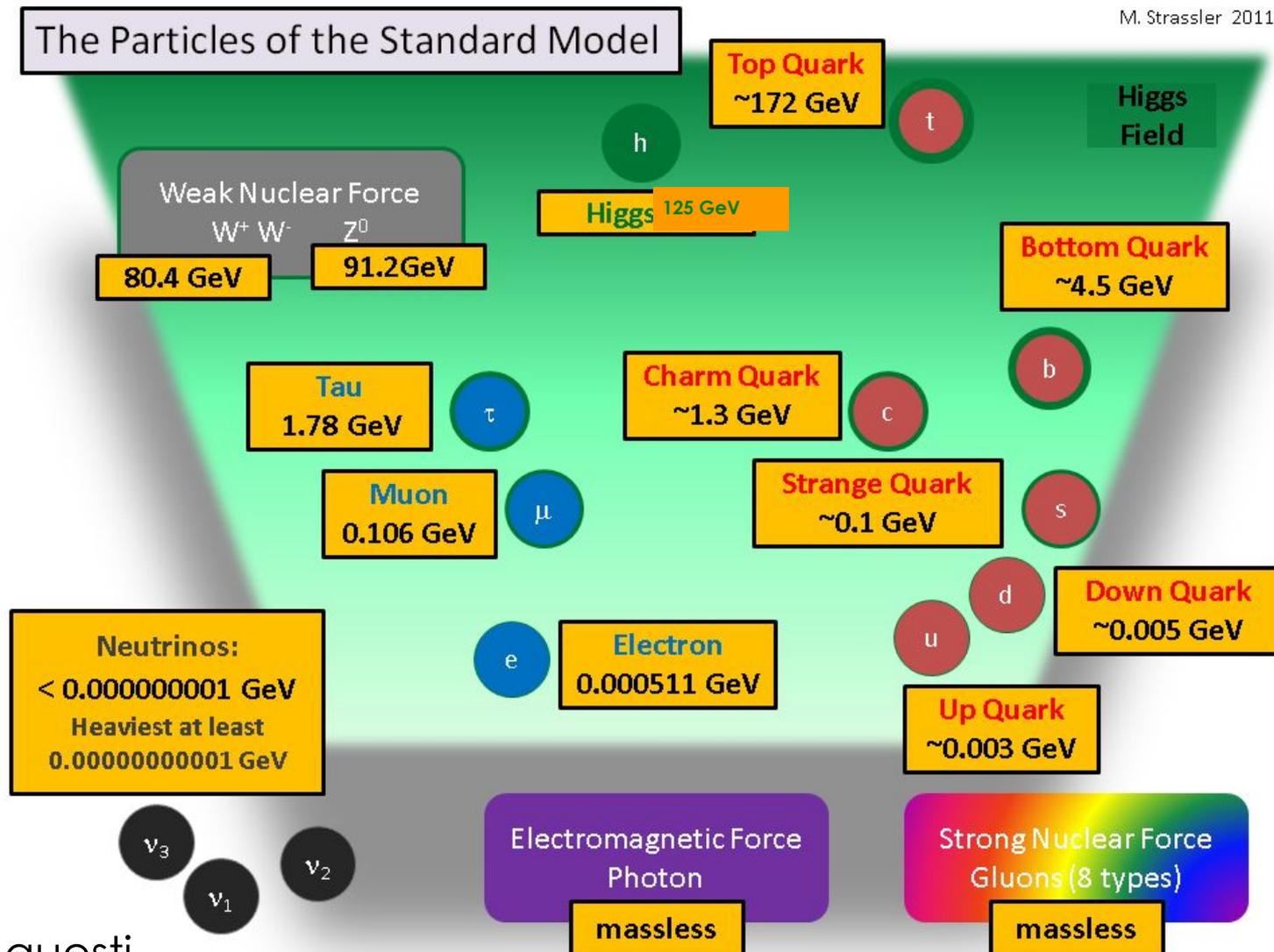


Le macchine non sono bosoniche



La massa delle particelle elementari

Qual è la simmetria tra le masse particelle elementari?



Cosa ci dicono questi valori di massa?

Come si fanno le particelle?

Le banane fanno antimateria...:

Rilasciano un positrone, l'equivalente di un elettrone per l'antimateria, ogni 75 minuti...

Questo capita perché la banana contiene un isotopo del potassio, il potassio-40

Quando il potassio-40 decade può emettere un positrone



Ci sono anche altri modi di produrre antimateria....

Come si crea una particella?

Attraverso urti tra particelle si possono creare altre particelle:
l'energia delle particelle viene trasformata in materia!



Einstein: $E=mc^2$
la massa si può trasformare
in energia e viceversa

**Si crea sempre materia ed antimateria
in quantità uguali**

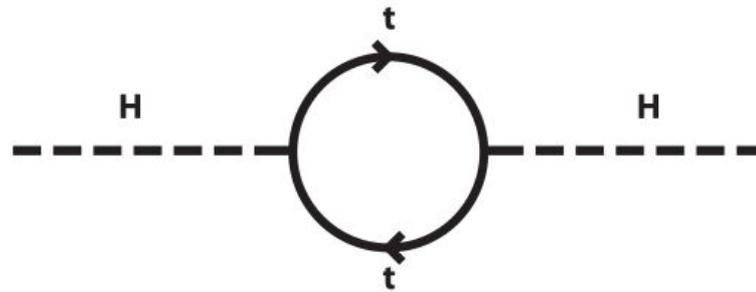
Loop corrections (per fisici teorici...)

La massa dell'Higgs è formato dalla sua proprio massa, più quella che ottiene quando fluttua in altri stati.

Se fosse un uomo:



Il problema che si ha nel calcolo della massa dell'Higgs è che ci sono le 'loop corrections': la massa aumenta perché l'Higgs può fluttuare, per poco tempo, in coppie di fermioni:



I fermioni fanno aumentare la massa dell'Higgs fino a \sim infinito

Lontano = indietro nel tempo

Ci serve un concetto fondamentale, usato sempre in astrofisica:

Guardare lontano vuole dire guardare indietro nel tempo.

La luce di una galassia lontanissima ci ha messo tantissimo tempo ad arrivare, e quindi ci racconta come era la galassia quando è partita.

1. Noi vediamo la luna com'era 1.3 secondi fa
2. Noi vediamo il sole com'era 500 secondi fa
3. Le stelle al limite della nostra galassia com'erano 100,000 anni fa