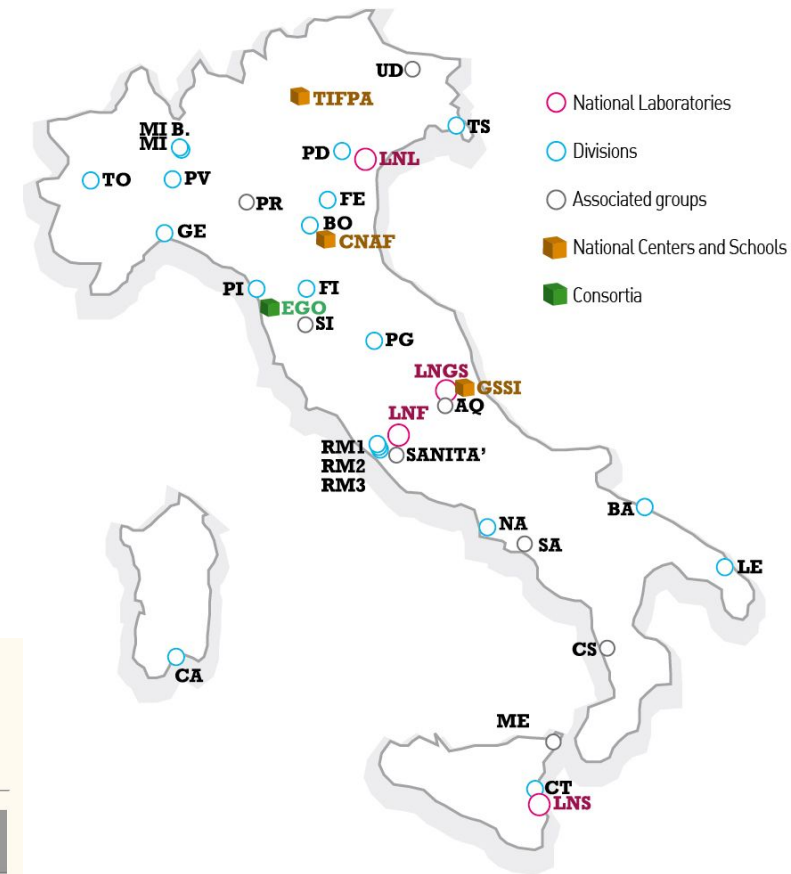


# Cosa facciamo qui?

Mario Pelliccioni

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Torino

# 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

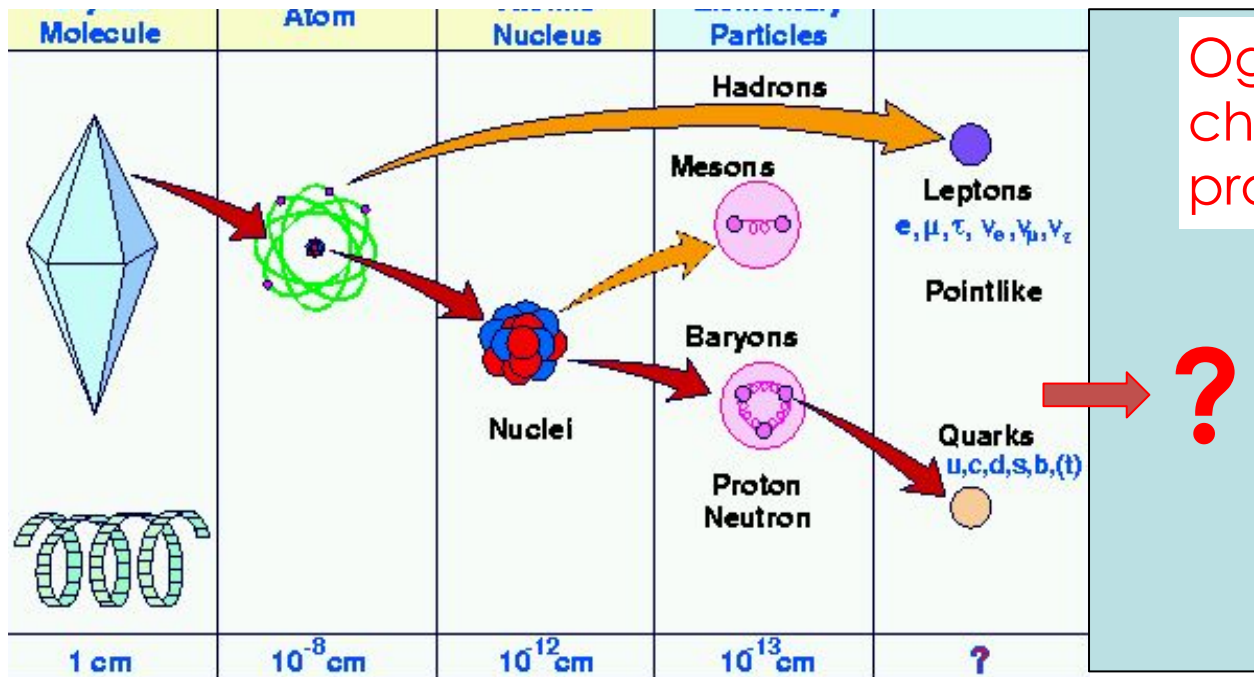
The image displays three musical scores side-by-side. On the left is the piano score for 'Yesterday' by John Lennon and Paul McCartney, featuring a 'HALO' watermark. In the center is the vocal score for 'La Traviata' by Giuseppe Verdi, featuring a 'MUSIC' watermark. On the right is the piano score for the 'Sinfonia' from 'Don Giovanni' by Wolfgang Amadeus Mozart, also featuring a 'MUSIC' watermark.

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

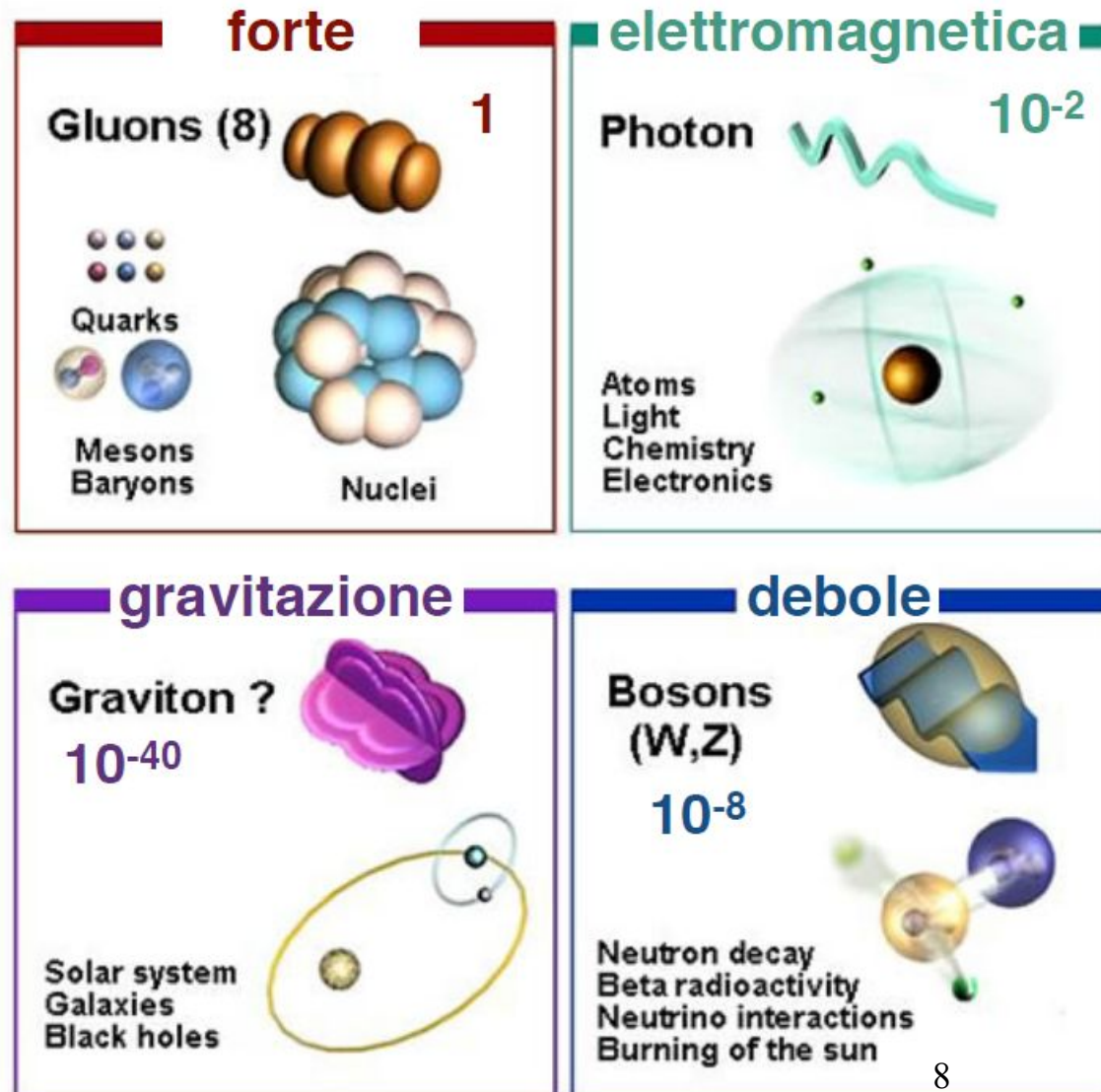
---

- 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

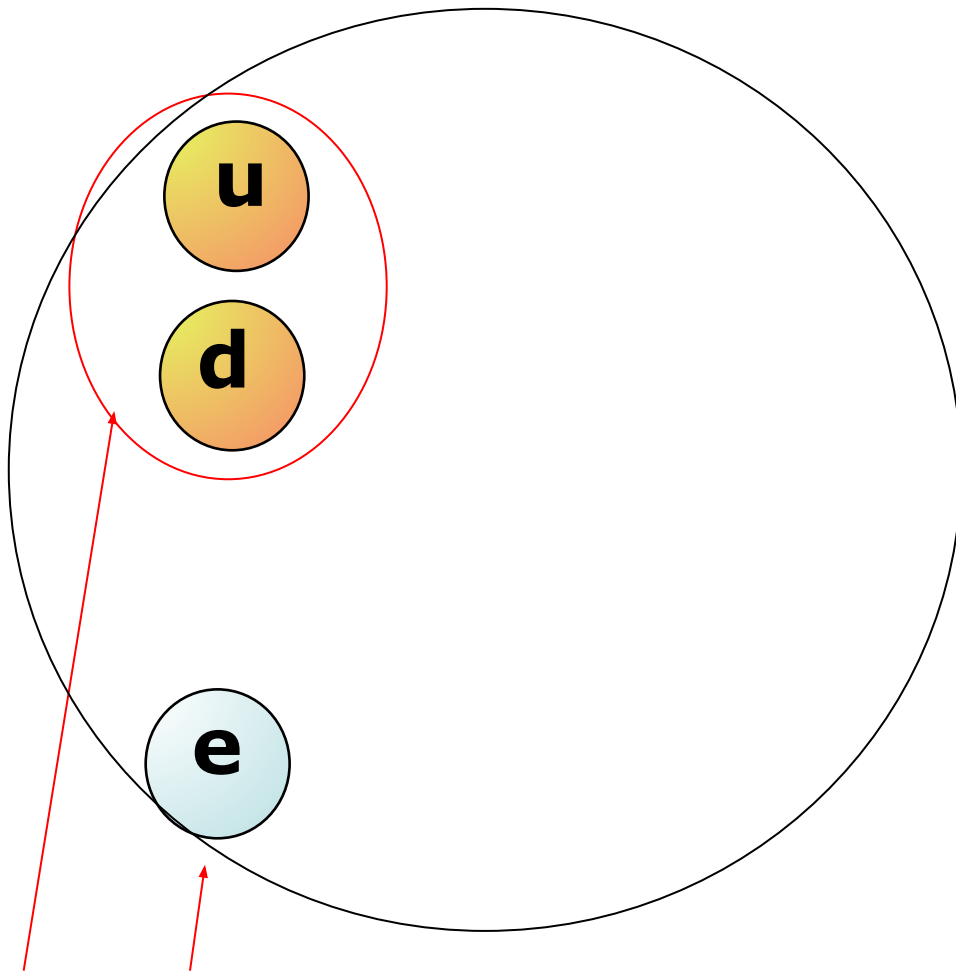
- Particelle elementari interagiscono tra loro tramite **messaggeri**, che sono particelle, dette “particelle forza”





# Particelle fondamentali

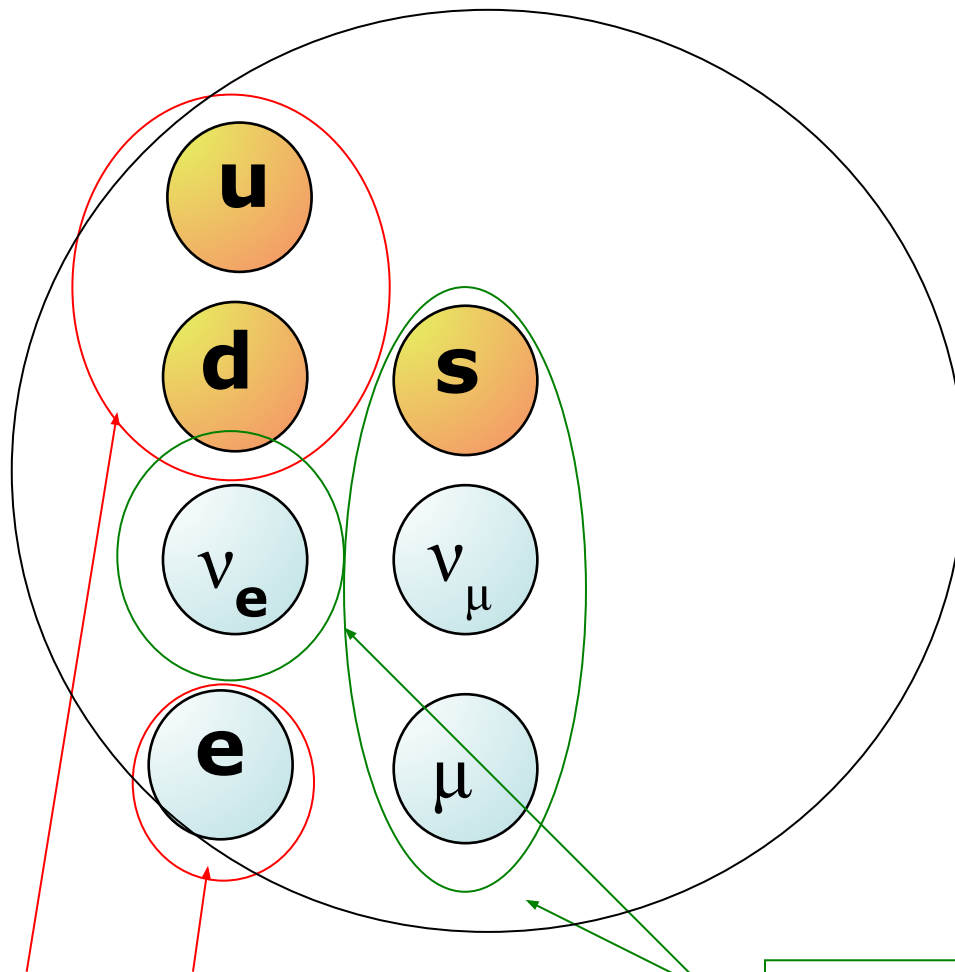
---



La materia di cui siamo fatti

# Particelle fondamentali

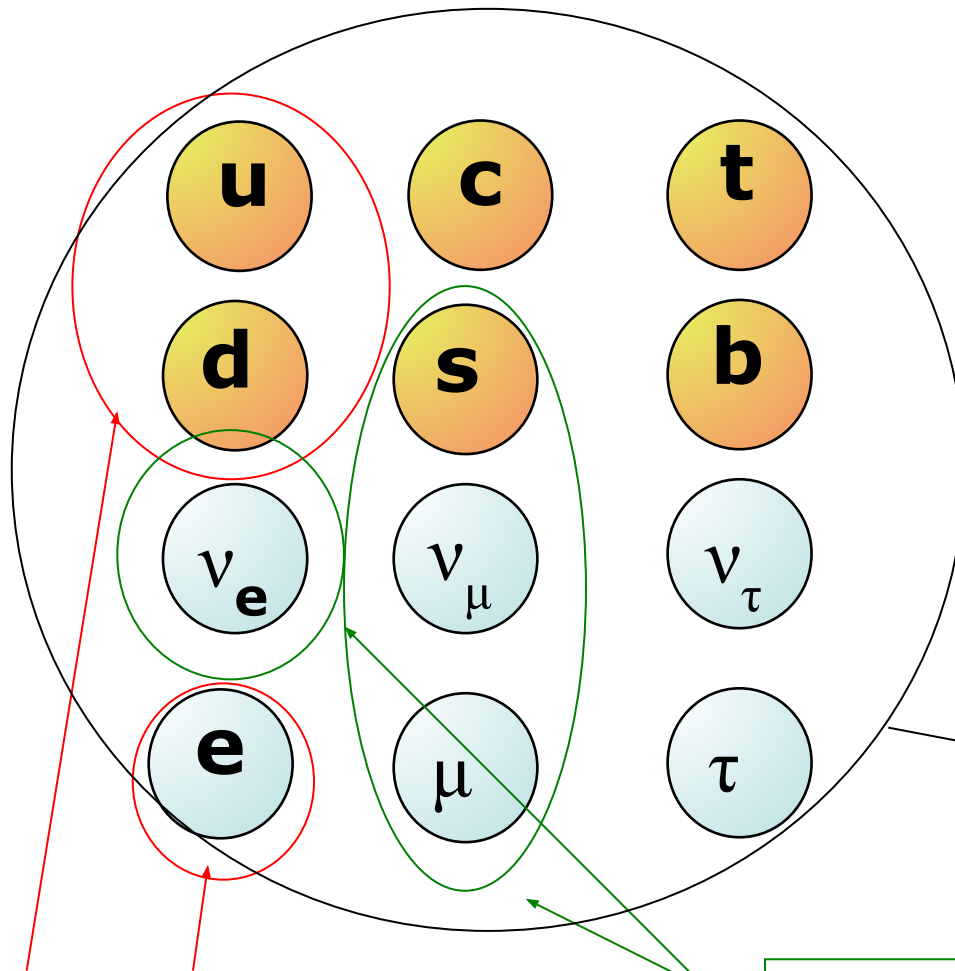
---



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 <sup>2</sup>	1.27 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
charge	2/3	2/3	2/3	0
spin	1/2	1/2	1/2	1
name	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon
				125 GeV/c <sup>2</sup>
				0
				0
				1
				<b>H</b> Higgs boson
				0
				0
				1
				<b>g</b> gluon
				91.2 GeV/c <sup>2</sup>
				0
				0
				1
				<b>Z<sup>0</sup></b> Z boson
				80.4 GeV/c <sup>2</sup>
				±1
				1
				<b>W<sup>±</sup></b> W boson

Quarks

La forza di Higgs è diversa dalle altre..

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

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

Gauge bosons

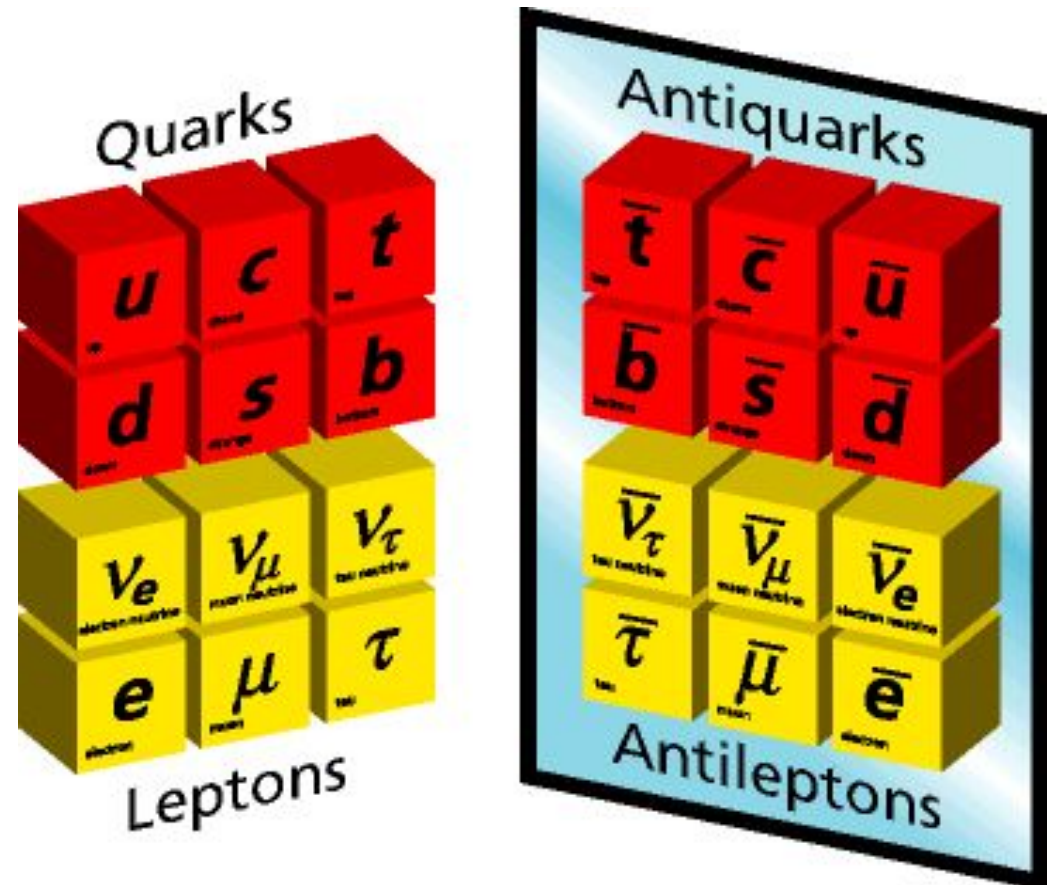
# Materia e antimateria

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):  $\pi, K, \omega, \rho, Y$

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 <sup>2</sup>	Spin
<b>p</b>	proton	<b>uud</b>	1	0.938	1/2
<b><math>\bar{p}</math></b>	anti-proton	<b><math>\bar{u}\bar{u}\bar{d}</math></b>	-1	0.938	1/2
<b>n</b>	neutron	<b>udd</b>	0	0.940	1/2
<b><math>\Lambda</math></b>	lambda	<b>uds</b>	0	1.116	1/2
<b><math>\Omega^-</math></b>	omega	<b>sss</b>	-1	1.672	3/2

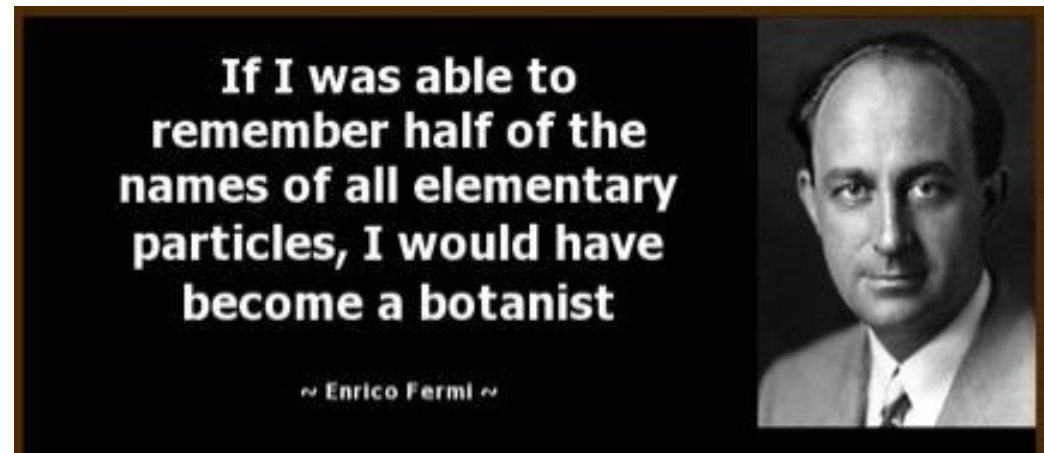
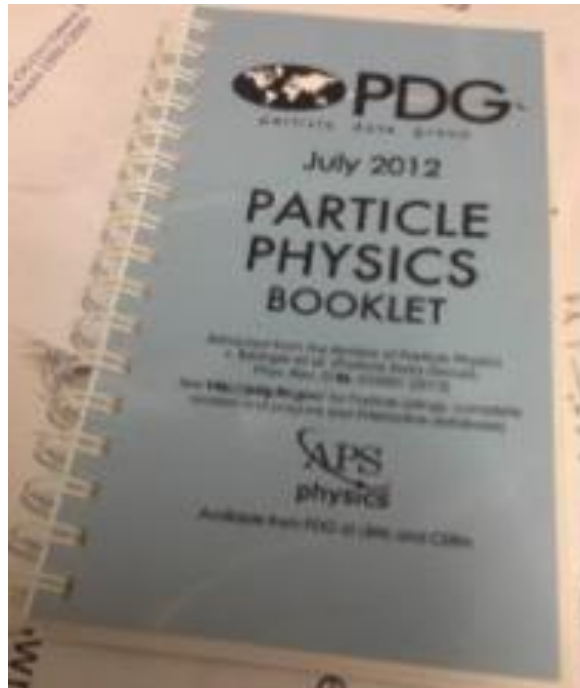
Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Spin
<b><math>\pi^+</math></b>	pion	<b><math>u\bar{d}</math></b>	+1	0.140	0
<b><math>K^-</math></b>	kaon	<b><math>s\bar{u}</math></b>	-1	0.494	0
<b><math>\rho^+</math></b>	rho	<b><math>u\bar{d}</math></b>	+1	0.770	1
<b><math>B^0</math></b>	B-zero	<b><math>d\bar{b}</math></b>	0	5.279	0
<b><math>\eta_c</math></b>	eta-c	<b><math>c\bar{c}</math></b>	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 ( $\Gamma_i/\Gamma$ )	Scale factor/ Confidence level	$\rho$ (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 <sup>+0.11</sup> <sub>-0.13</sub> ) %	S=1.2	366
neutrals (excluding $\pi^0\gamma$ )	( 8 <sup>+8</sup> <sub>-5</sub> ) × 10 <sup>-3</sup>	S=1.1	-
$\eta\gamma$	( 4.6 ± 0.4 ) × 10 <sup>-4</sup>	S=1.1	200
$\pi^0e^+e^-$	( 7.7 ± 0.6 ) × 10 <sup>-4</sup>		380
$\pi^0\mu^+\mu^-$	( 1.3 ± 0.4 ) × 10 <sup>-4</sup>	S=2.1	349
$e^+e^-$	( 7.28±0.14) × 10 <sup>-5</sup>	S=1.3	391
$\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	< 2 × 10 <sup>-4</sup>	CL=90%	262
$\pi^+\pi^-\gamma$	< 3.6 × 10 <sup>-3</sup>	CL=95%	366
$\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$	< 1 × 10 <sup>-3</sup>	CL=90%	256
$\pi^0\pi^0\gamma$	( 6.6 ± 1.1 ) × 10 <sup>-5</sup>		367
$\eta\pi^0\gamma$	< 3.3 × 10 <sup>-5</sup>	CL=90%	162
$\mu^+\mu^-$	( 9.0 ± 3.1 ) × 10 <sup>-5</sup>		377
$3\gamma$	< 1.9 × 10 <sup>-4</sup>	CL=95%	391
<b>Charge conjugation (C) violating modes</b>			
$\eta\pi^0$	C < 2.1 × 10 <sup>-4</sup>	CL=90%	162
$2\pi^0$	C < 2.1 × 10 <sup>-4</sup>	CL=90%	367
$3\pi^0$	C < 2.3 × 10 <sup>-4</sup>	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 ( $\Gamma_i/\Gamma$ )	Confidence level	$\rho$ (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 <sup>-3</sup>		430
$\mu^+\mu^-\gamma$	( 1.08±0.27) × 10 <sup>-4</sup>		467
$\pi^+\pi^-\mu^+\mu^-$	< 2.9 × 10 <sup>-5</sup>	90%	401
$\pi^+\pi^-\pi^0$	( 3.8 ± 0.4 ) × 10 <sup>-3</sup>		428
$\pi^0\rho^0$	< 4 %	90%	111
$2(\pi^+\pi^-)$	< 2.4 × 10 <sup>-4</sup>	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  $\sigma$  [ $\epsilon$ ]**  
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 ( $\Gamma_i/\Gamma$ )	$\rho$ (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 ( $\Gamma_i/\Gamma$ )	Scale factor/ Confidence level	$\rho$ (MeV/c)
$\pi\pi$	~ 100 %		363

**$\rho(770)^\pm$  decays**

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

**$\rho(770)^0$  decays**

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

**$\omega(782)$**

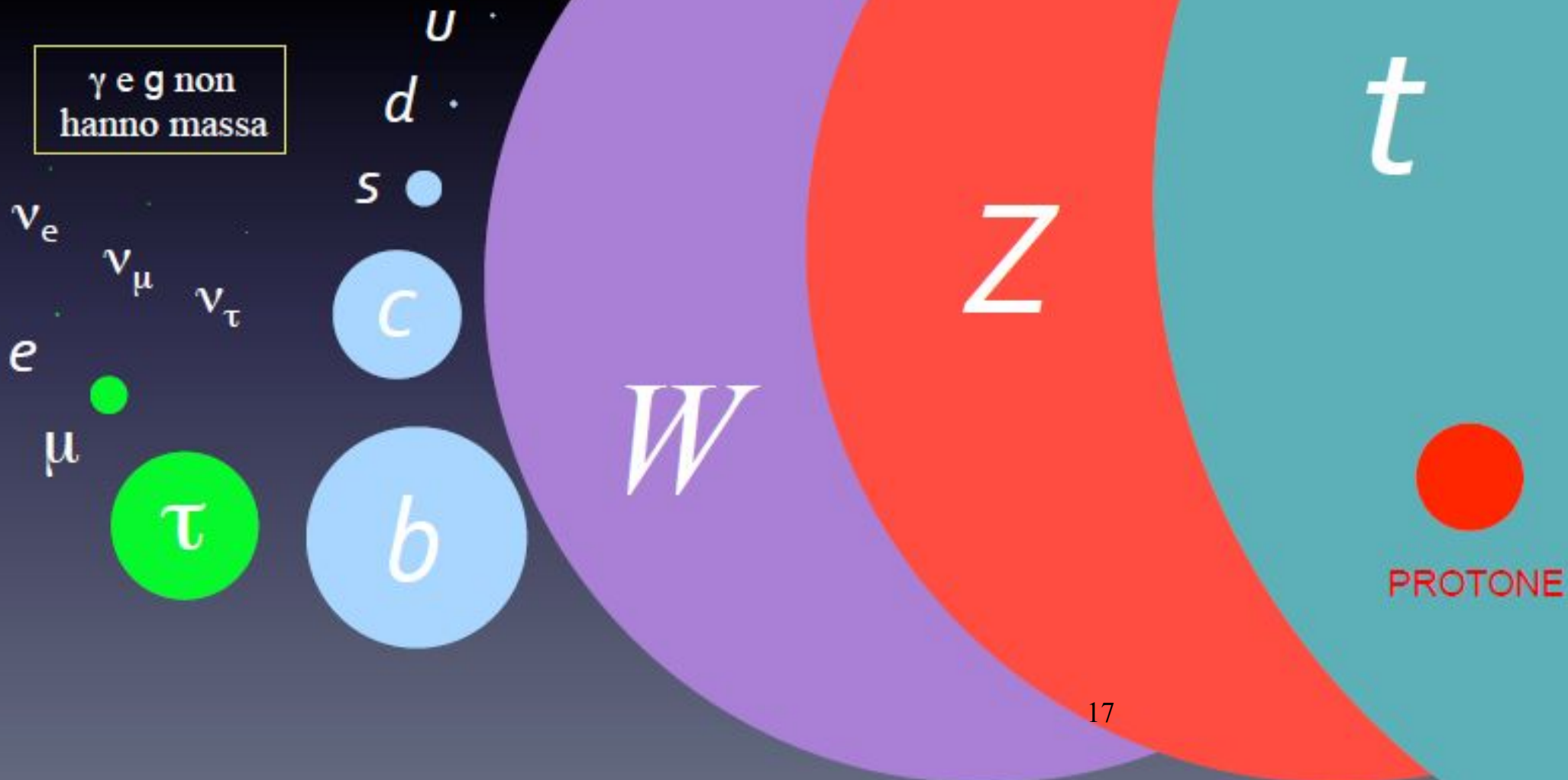
$$I^G(J^{PC}) = 0^-(1^{--})$$

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

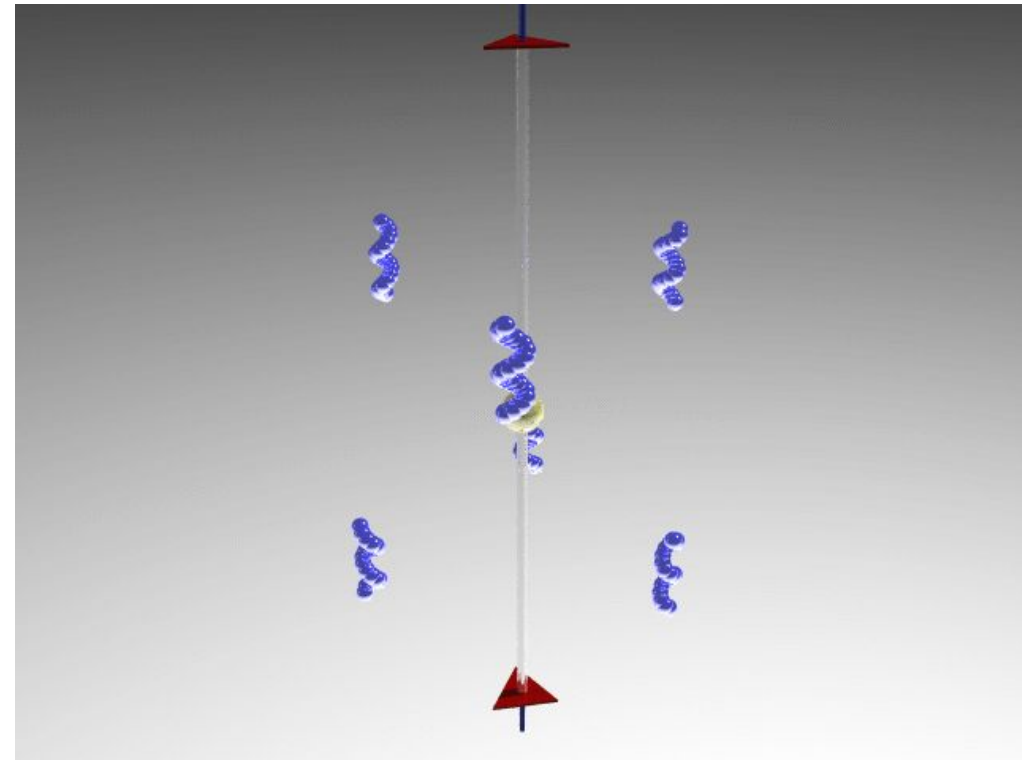
Le simmetrie della natura sono spesso “nascoste”, “rotte” da effetti che si sovrappongono.

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

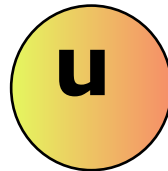
Una guida nella ricerca di nuove scoperte

La scoperta dei quark è un esempio:

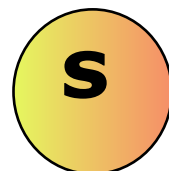
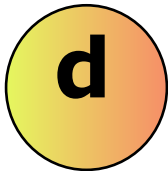
Condizioni iniziali:

Carica

$2/3$



$-1/3$



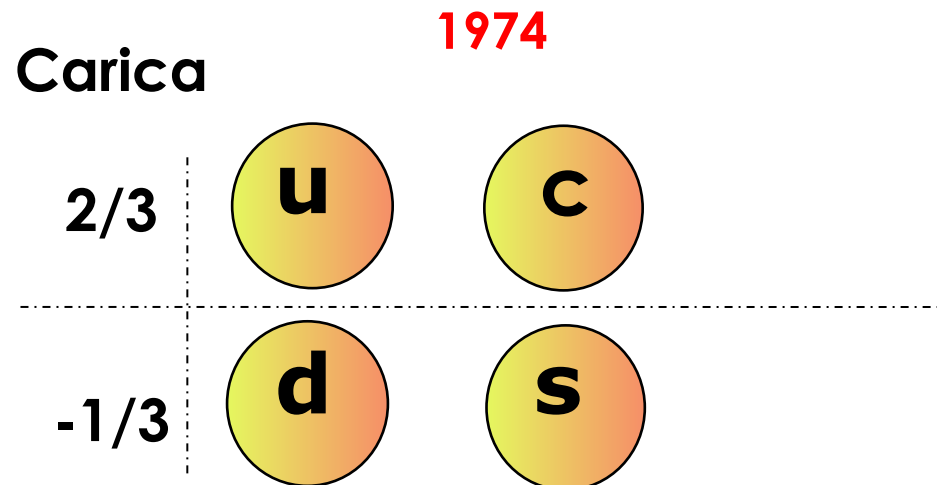
# Simmetrie in fisica delle particelle

Le simmetrie sono

Una guida nella ricerca di nuove scoperte

La scoperta dei quark è un esempio:

Condizioni iniziali:

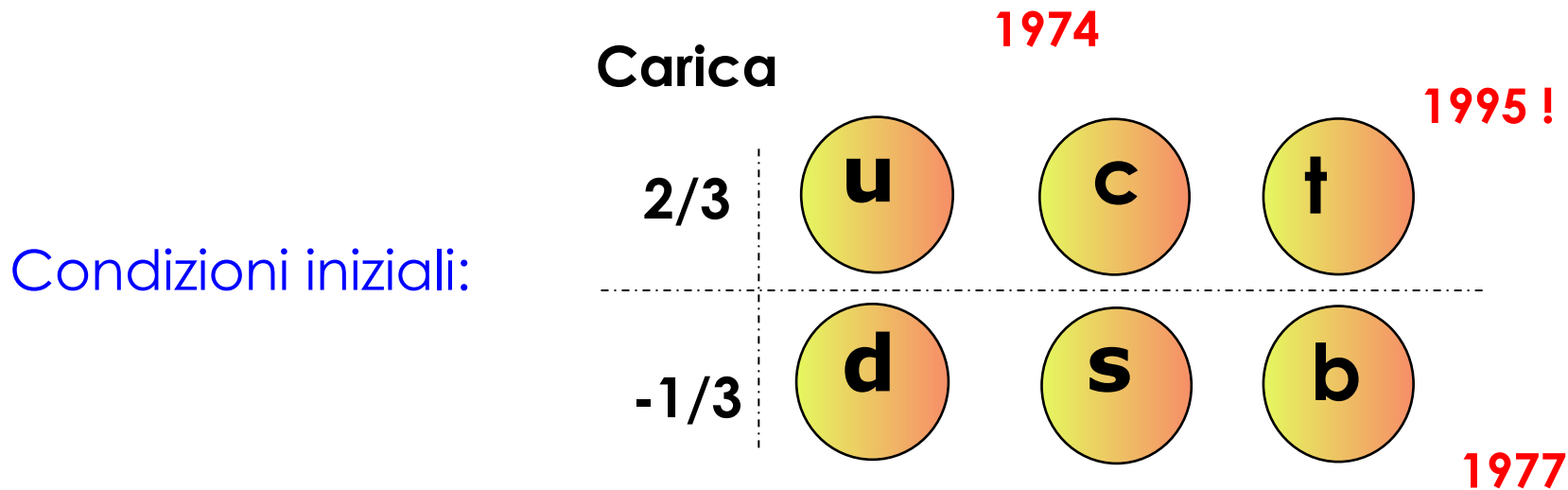


# Simmetrie in fisica delle particelle

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 <sup>1,2)</sup>: 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 <sup>3)</sup> 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 <sup>4)</sup>, 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 <sup>4)</sup>, 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 (fermioni) e si scambiano un mediatore (bosone)

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.

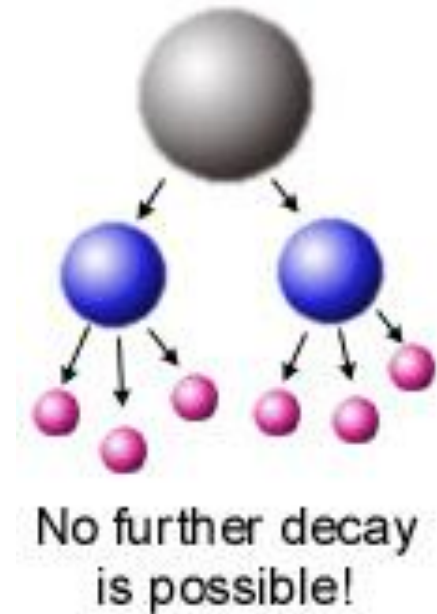
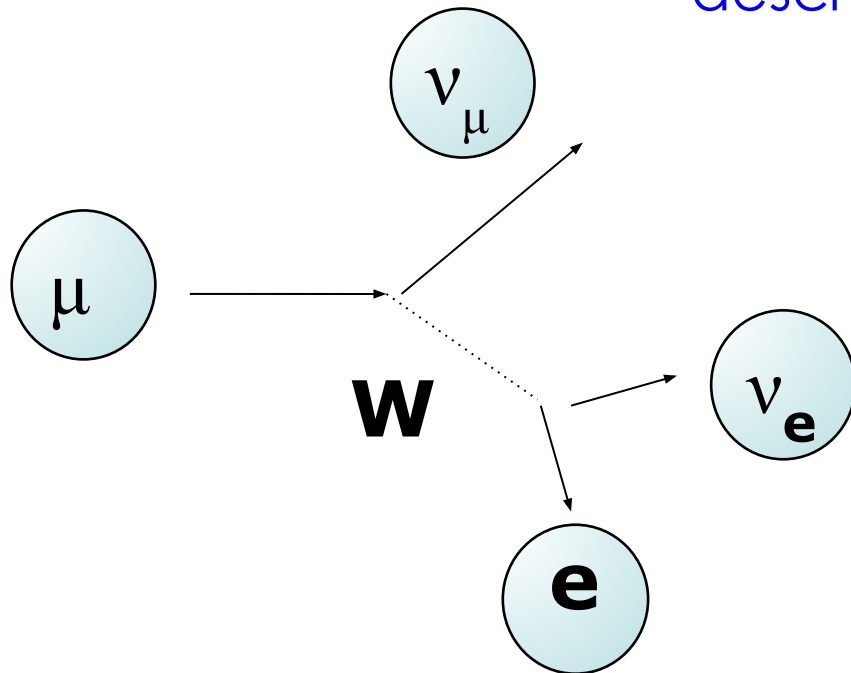
Tutto è cambiato il 4 luglio 2012....



# 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

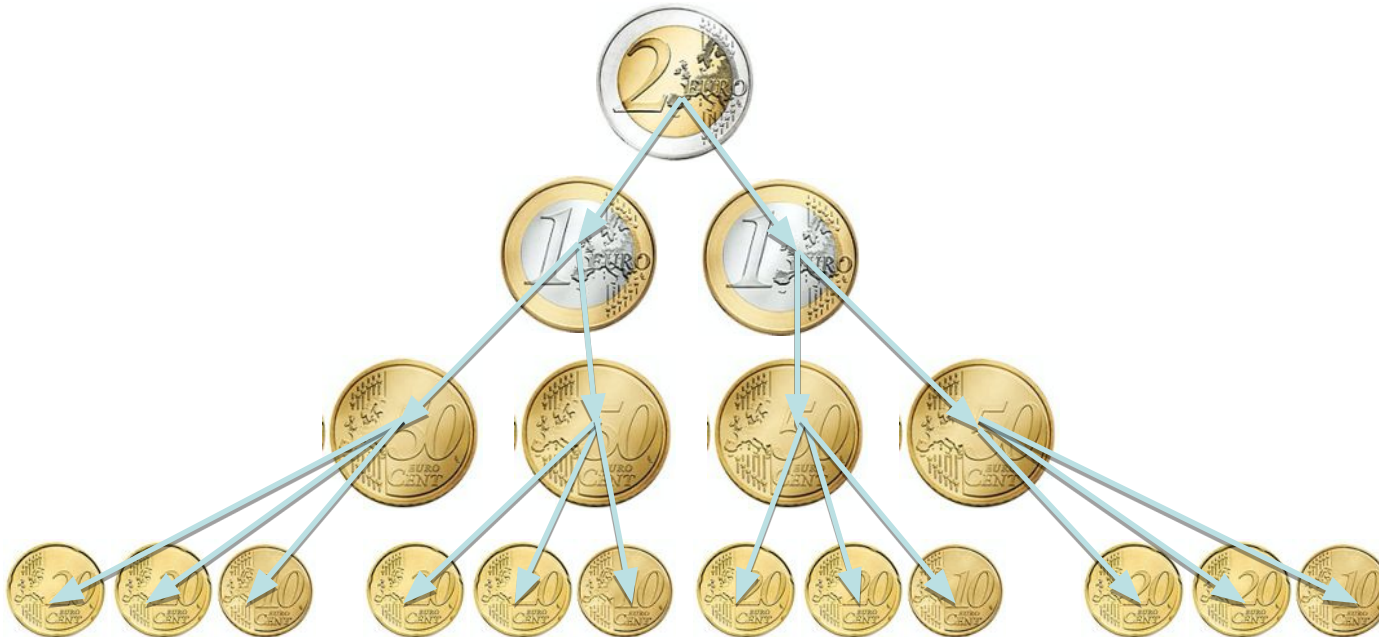
---

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

→ Conservazione della energia totale, carica....

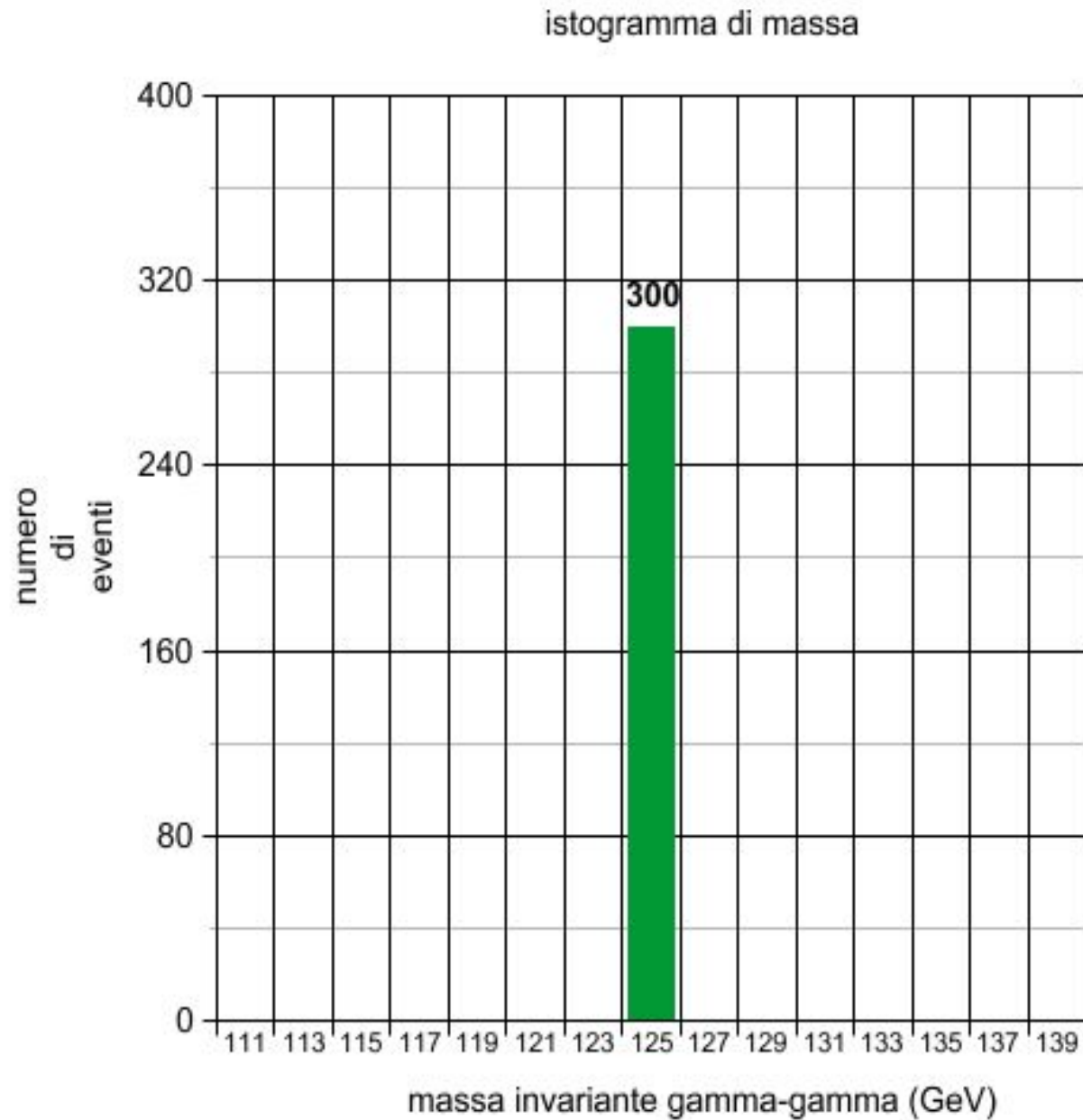
Alcune proprietà non sono conservate:

→ Non conservazione della massa, etc..

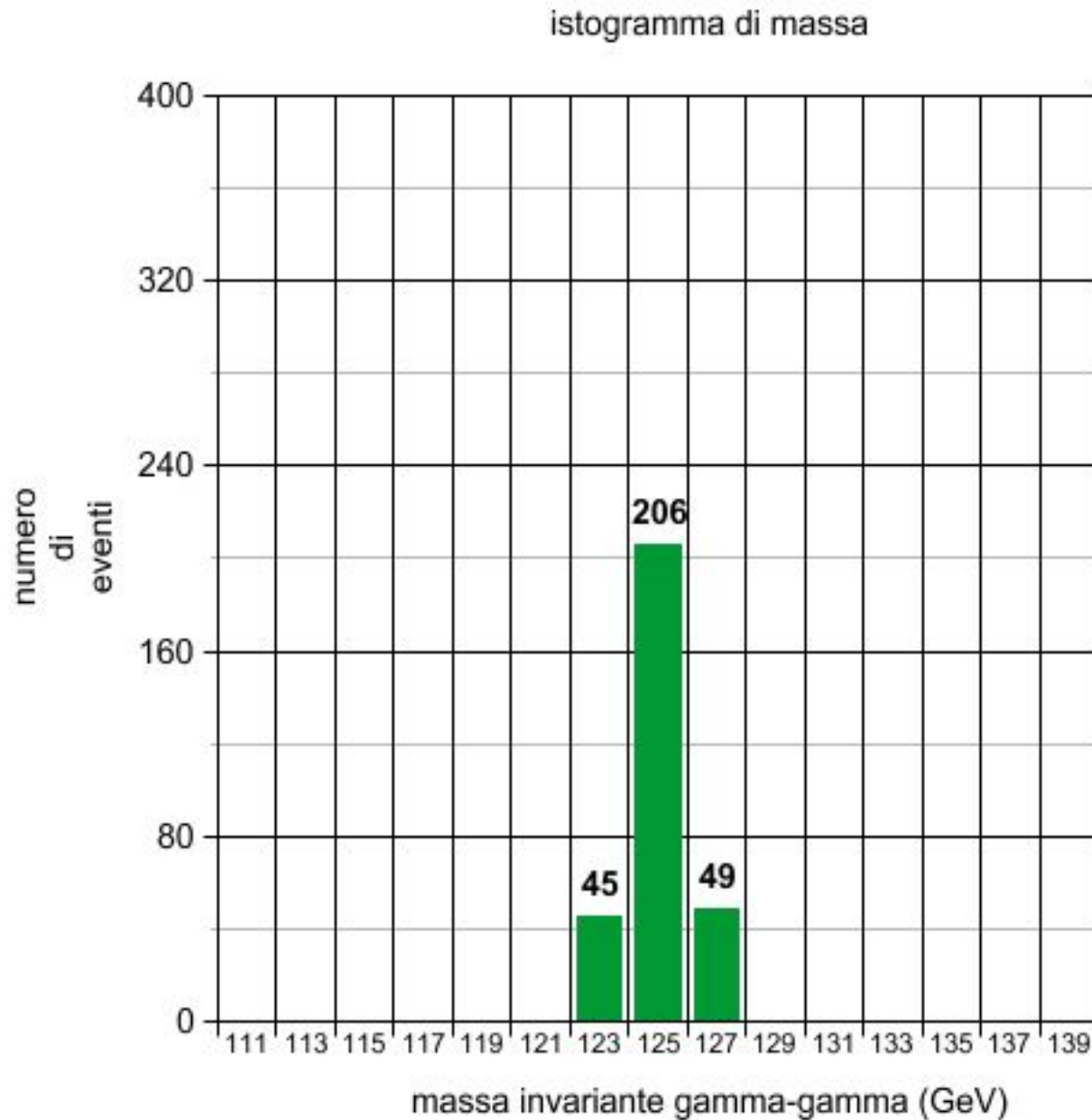


Conservazione del valore, non conservazione del peso

# Decadimento di una particella di $m = 125$ GeV



# Decadimento di una particella di $m = 125$ GeV

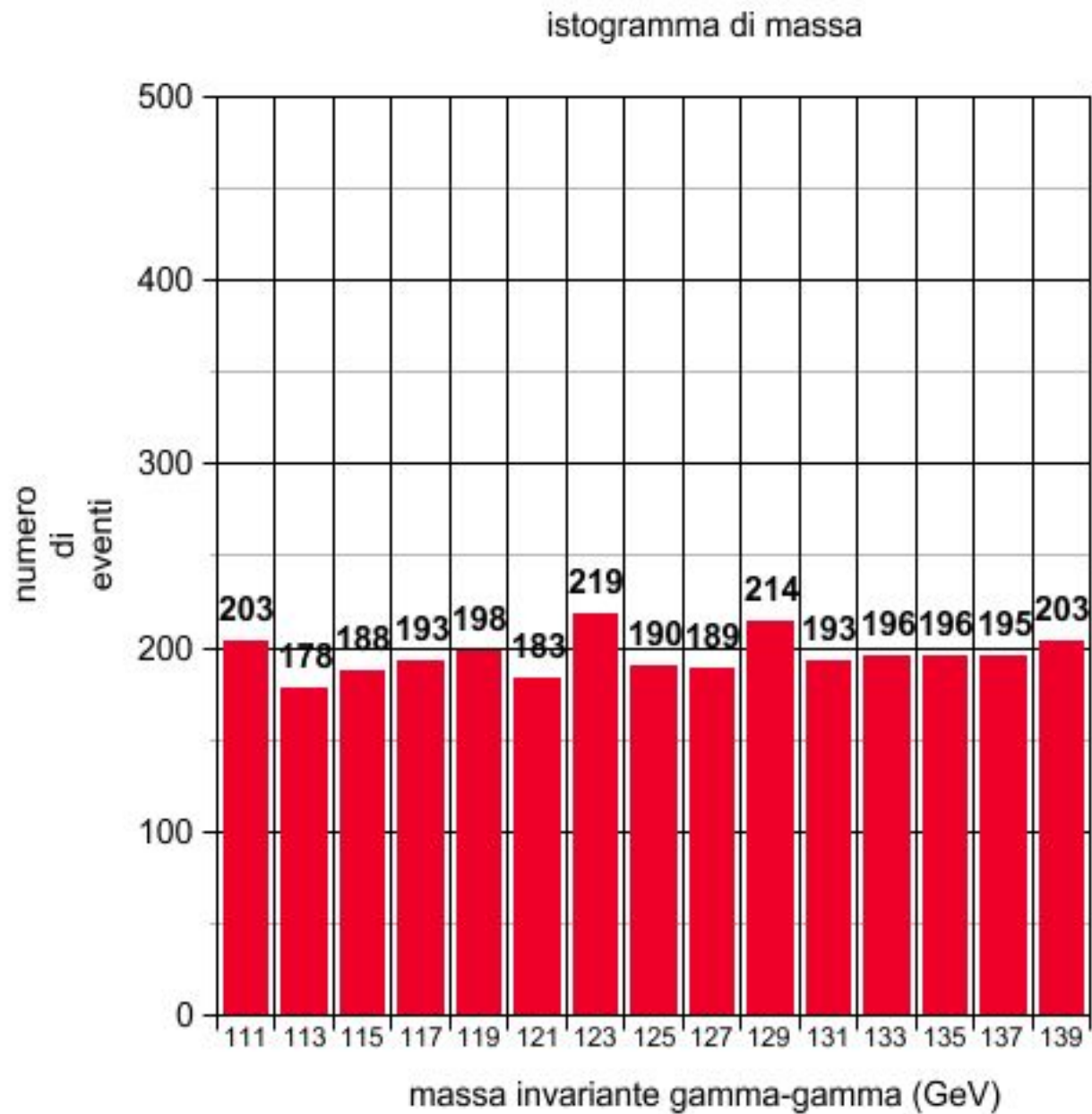


Misura sperimentale

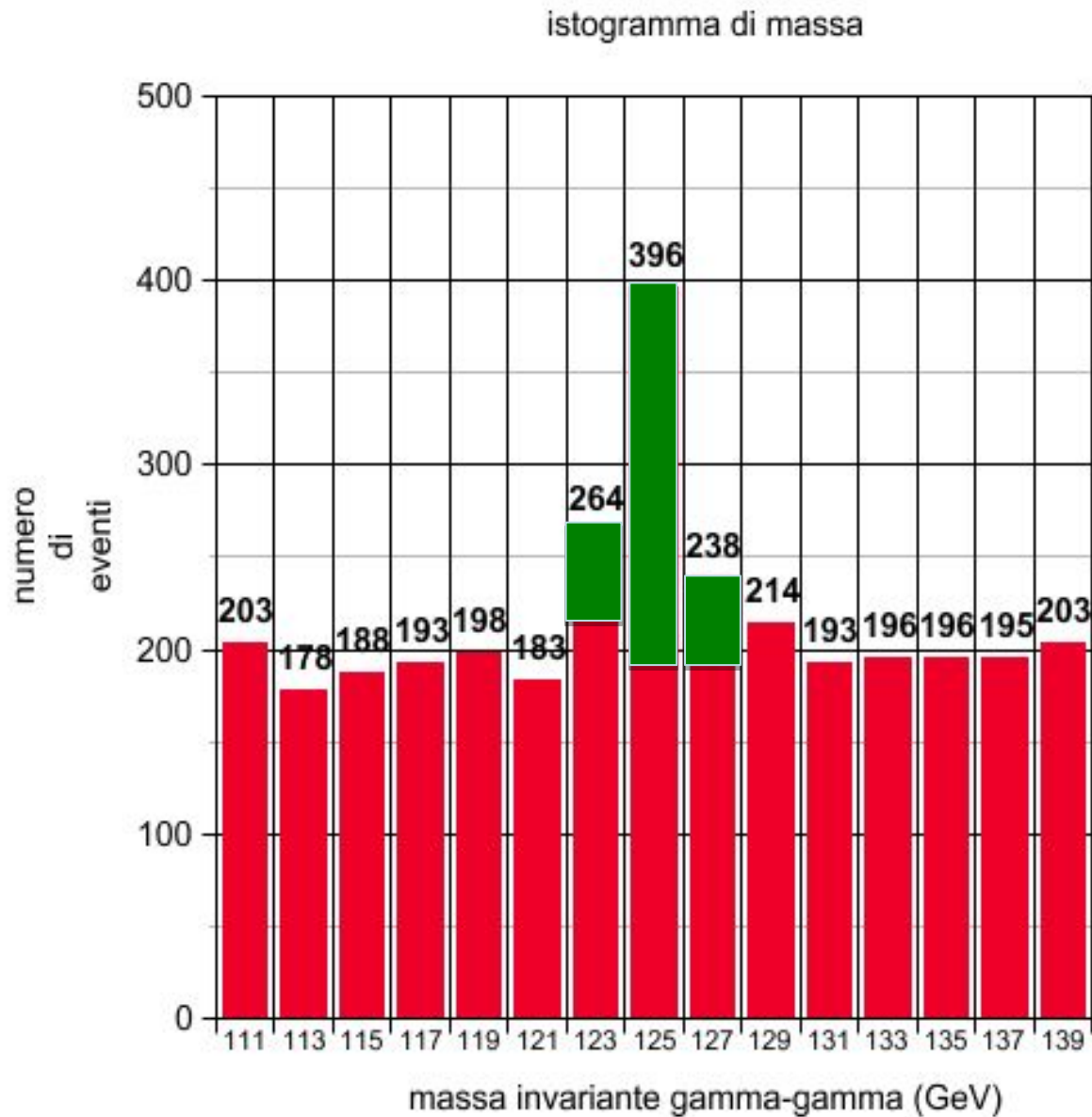
→ incertezza!



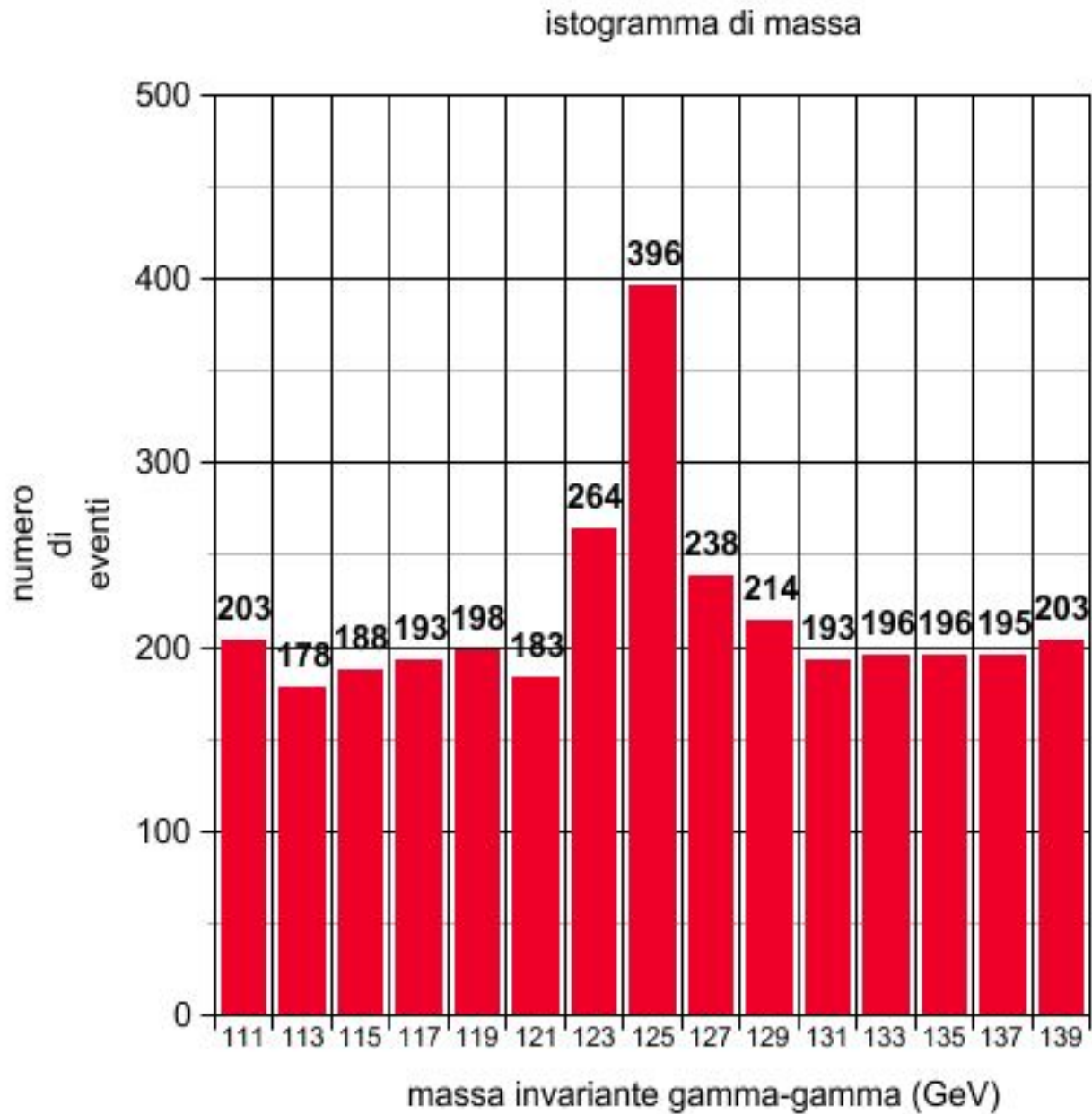
# Massa di particelle scorrelate



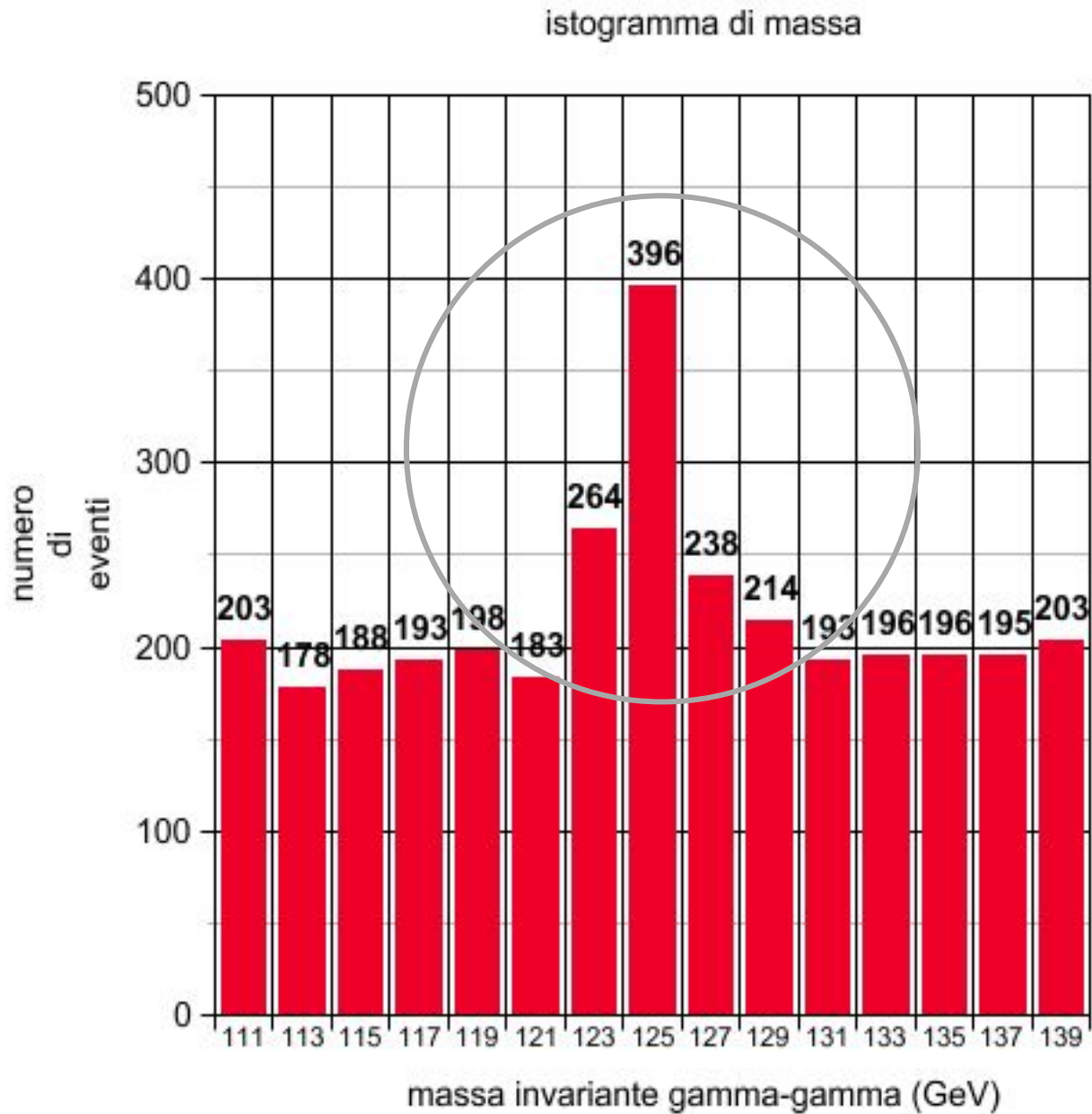
# Segnale + fondo



# Nella realta'



# Nella realta'

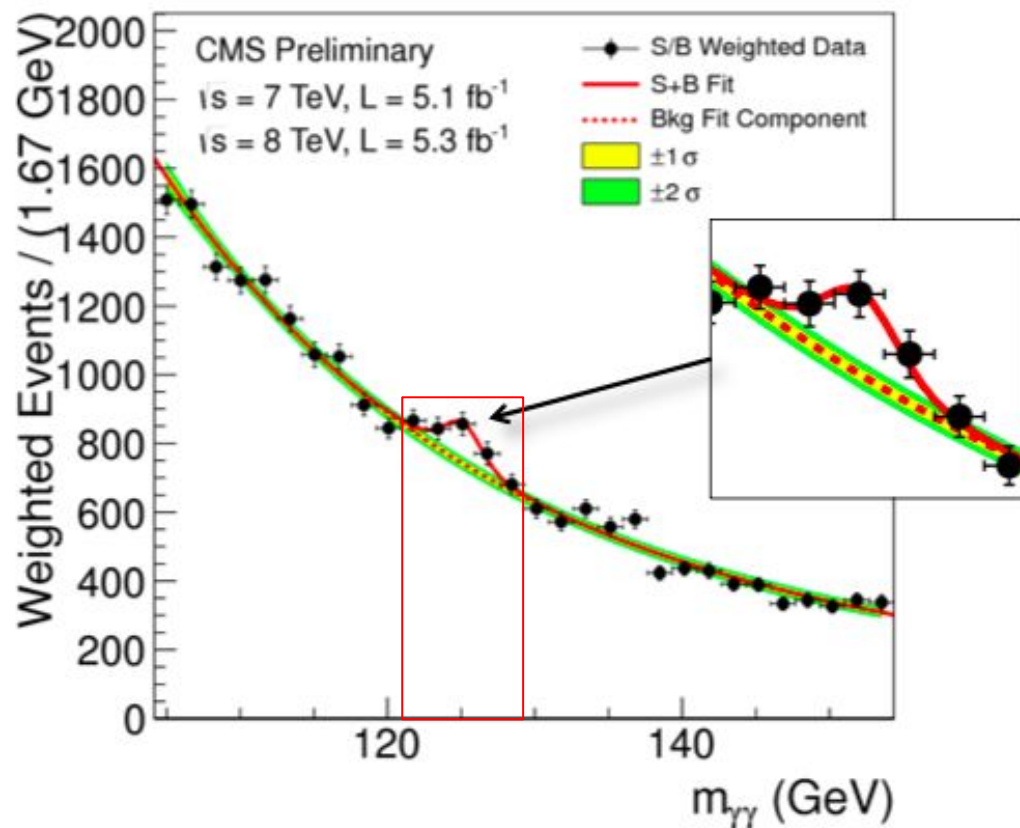


# H $\rightarrow$ $\gamma\gamma$

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

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

azione delle forze  
sui fermioni

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

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?

---

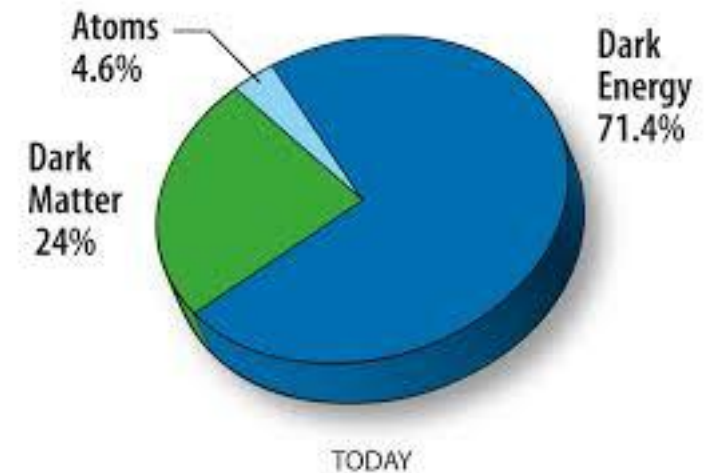
Il 4-5 % è costituito dalla materia che conosciamo

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

**Regola: 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

---

# Backup

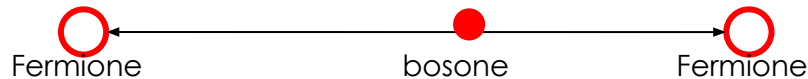


# Bosoni e fermioni

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

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

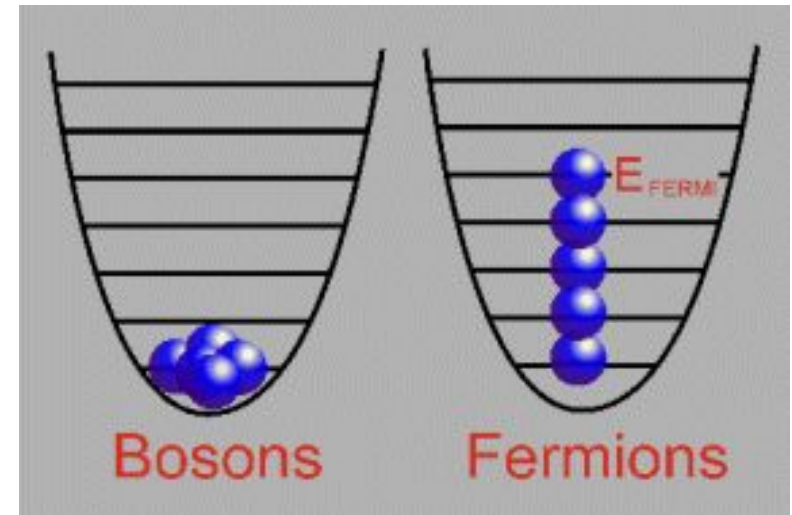
Fermioni interagiscono tra di loro scambiandosi bosoni



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

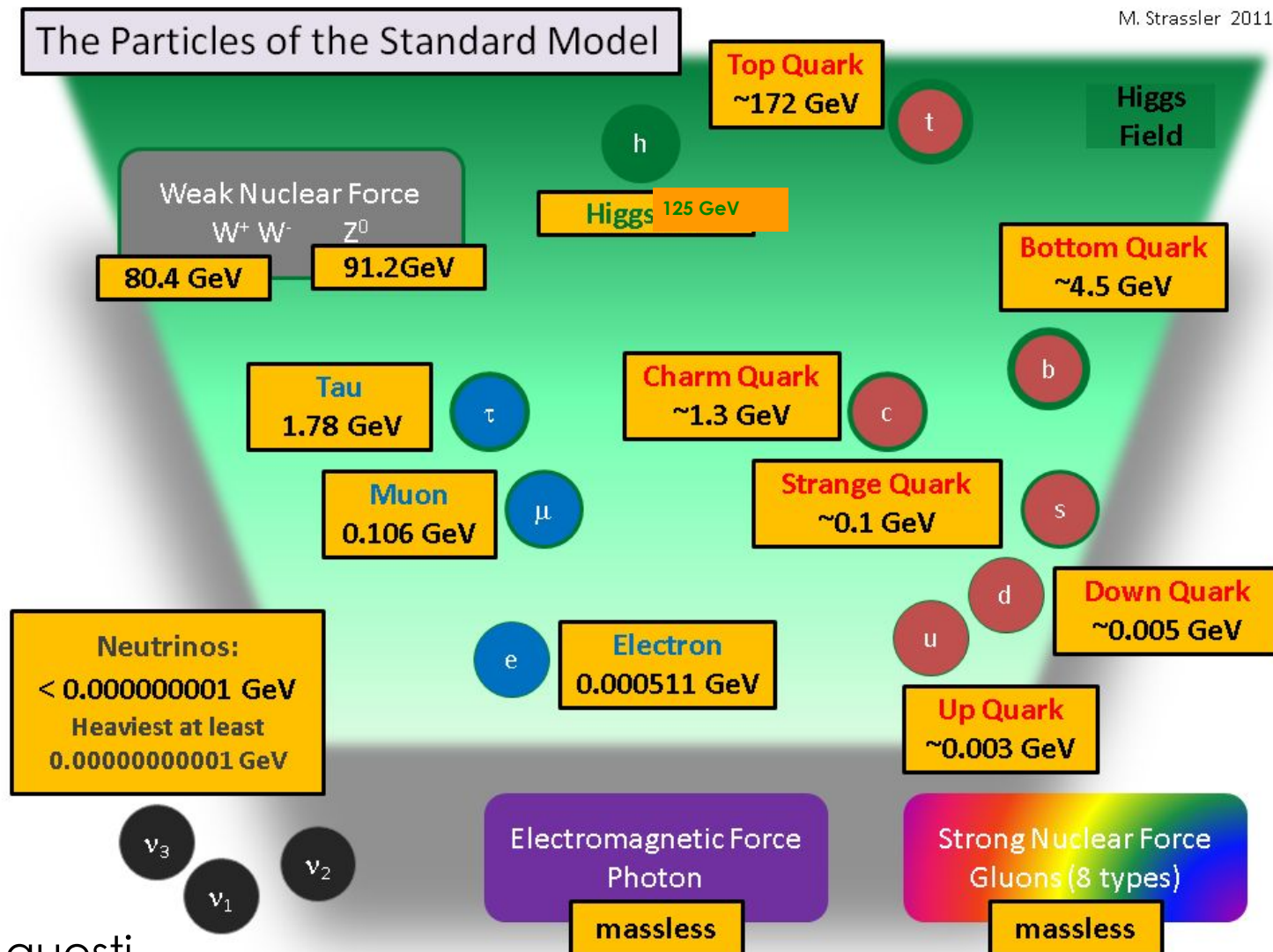


Le macchine non sono bosoniche



# 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?

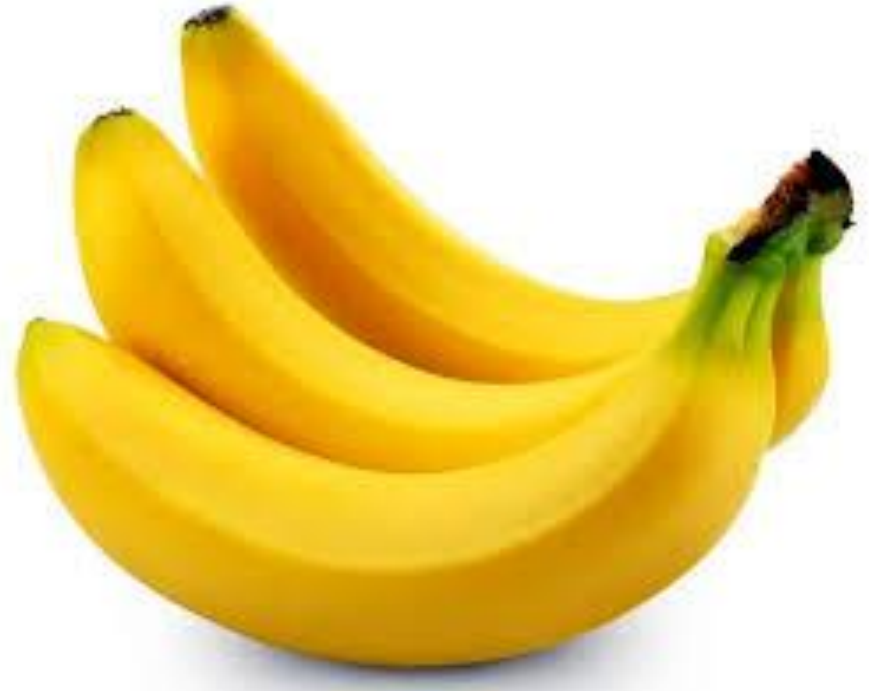
---

## **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**

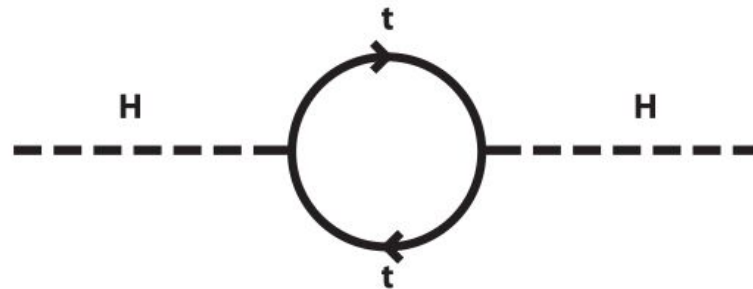
# Loop corrections (per fisici teorici...)

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