

# LE LEGGI FONDAMENTALI DELLA NATURA: FRONTIERE E LIMITI

**Stefano Forte**

Dipartimento di Fisica dell'Università e INFN, Milano



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI MILANO

Le Frontiere ed I Confini della Scienza,  
LNGS, Assergi, 28-29/10/2014



# CHE COS'E' UNA PARTICELLA ELEMENTARE?

$D_{s3}^*(2860)^-$

TECHNOLOGY.ORG

SCIENCE AND TECHNOLOGY NEWS

DEVELOPMENT

## Discovery Of New Subatomic Particle Sheds Light On Fundamental Force Of Nature

Posted on October 10, 2014



The discovery of a new particle will "transform our understanding" of the fundamental force of nature that binds the nuclei of atoms, researchers argue.

Led by scientists from the University of Warwick, the discovery of the new particle will help provide greater understanding of the *strong interaction*, the fundamental force of nature found within the protons of an atom's nucleus.

Named  $D_{s3}^*(2860)^-$ , the particle, a new type of meson, [1] was discovered by analysing data collected with the LHCb detector at CERN's Large Hadron Collider (LHC)[2]. The LHCb experiment, which is run by a large international collaboration, is designed to study the properties of particles containing beauty and charm quarks and has unique capability for this kind of discovery.



Credit: Science and Technology Facilities Council

# CHE COSA VUOL DIRE “SCOPRIRE” UNA TEORIA? *The Telegraph*

Home Video **News** World Sport Finance Comment Culture Travel Life Women Fashion Luxury  
Politics | Investigations | Obits | Education | Earth **Science** Health | Defence | Scotland | Royal | Celebriti  
Science News | Space | Night Sky | Roger Highfield | Dinosaurs | Evolution | Steve Jones | Science Picture Ga

HOME » SCIENCE » **LARGE HADRON COLLIDER**

## Surfer dude stuns physicists with theory of everything



Garrett Lisi, 39, has a doctorate but no university affiliation and spends most of the year surfing in Hawaii

By **Roger Highfield, Science Editor**

6:02PM GMT 14 Nov 2007

4 Comments

An impoverished surfer has drawn up a new theory of the universe, seen by some as the Holy Grail of physics, which has received some reviews

Print this article

Share 2K

Facebook 2K

Twitter 75

Email

LinkedIn 0

g+1 0

**Large Hadron Collider**

Science News » Earth »

**EXTERNAL LINKS**

An Exceptionally Simple  
Theory of Everything -  
Garrett Lisi

Visualizing the E8 root

# LA COMUNITA' SCIENTIFICA SEMBRA SAPERLO...

## LISI

### 1. A geometric theory of everything

A.Garrett Lisi (Unlisted, US), James Owen Weatherall (UC, Irvine). 2010. 8 pp.  
Published in **Sci.Am.** 303N6 (2010) 30-37

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)  
[Electronic Version from a server](#)

[Detailed record](#)

### 2. An Exceptionally Simple Theory of Everything

A.Garrett Lisi (Unlisted). Nov 2007. 31 pp.  
e-Print: [arXiv:0711.0770](#) [hep-th] | [PDF](#)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)  
[CERN Document Server](#); [ADS Abstract Service](#)

[Detailed record](#) - [Cited by 33 records](#)

## WEINBERG

### 1. A Model of Leptons

Steven Weinberg (MIT, LNS). Nov 1967. 3 pp.  
Published in **Phys.Rev.Lett.** 19 (1967) 1264-1266  
DOI: [10.1103/PhysRevLett.19.1264](#)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)  
[ADS Abstract Service](#); [Phys. Rev. Lett. Server](#)

[Detailed record](#) - [Cited by 9108 records](#) 1000+

## QUARK TOP

### 1. Observation of the top quark

D0 Collaboration (S. Abachi *et al.*). Mar 1995. 12 pp.  
Published in **Phys.Rev.Lett.** 74 (1995) 2632-2637  
FERMILAB-PUB-95-028-E  
DOI: [10.1103/PhysRevLett.74.2632](#)  
e-Print: [hep-ex/9503003](#) | [PDF](#)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)  
[ADS Abstract Service](#); [Fermilab Library Server \(fulltext available\)](#); [Phys. Rev.](#)  
Data: [INSPIRE](#) | [HepData](#)

[Detailed record](#) - [Cited by 2319 records](#) 1000+

### 2. Observation of top quark production in $\bar{p}p$ collisions

CDF Collaboration (F. Abe (KEK, Tsukuba) *et al.*). Mar 1995. 18 pp.  
Published in **Phys.Rev.Lett.** 74 (1995) 2626-2631  
FERMILAB-PUB-95-022-E, CDF-PUB-TOP-PUBLIC-3040, ANL-HEP-PR-95-44  
DOI: [10.1103/PhysRevLett.74.2626](#)  
e-Print: [hep-ex/9503002](#) | [PDF](#)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)  
[ADS Abstract Service](#); [Fermilab Library Server \(fulltext available\)](#); [Phys. Rev.](#)  
Data: [INSPIRE](#) | [HepData](#)

[Detailed record](#) - [Cited by 2493 records](#) 1000+

## CON CHE CRITERI?

UNA TEORIA E' UN INSIEME DI RISPOSTE

QUALI SONO LE DOMANDE RILEVANTI?

# CHE COS'E' UNA PARTICELLA ELEMENTARE?

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

## LEPTONS

**e**

$$J = \frac{1}{2}$$

$$\text{Mass } m = (548.57990946 \pm 0.00000022) \times 10^{-6} \text{ u}$$

$$\text{Mass } m = 0.510998928 \pm 0.000000011 \text{ MeV}$$

- M è la **MASSA**
- J è lo **SPIN**  $\longrightarrow$  numero di gradi di libertà indipendenti

# MASSA, SPIN E SPAZIOTEMPO I

Lo spazio-tempo è omogeneo e isotropo



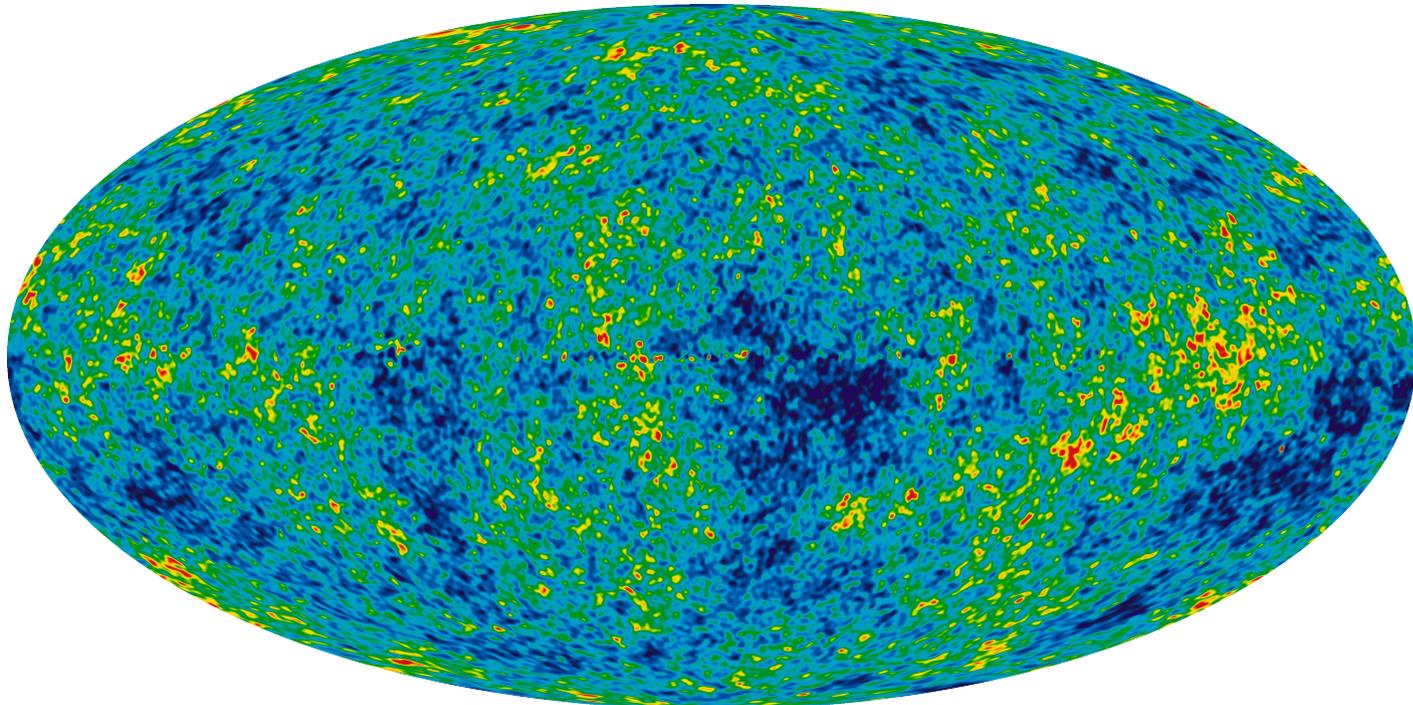
Non c'è un centro

Tutte le direzioni sono uguali

visto da qualunque sistema di riferimento in moto rettilineo uniforme (Lorentz)



**INVARIANZA DI POINCARÉ (relatività ristretta)**

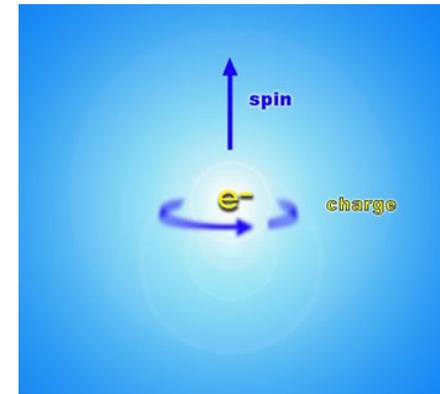


# MASSA, SPIN E SPAZIOTEMPO II

La massa e lo spin sono le uniche proprietà che restano invariate in ogni sistema di riferimento

PARTICELLA ELEMENTARE:

IN ASSENZA DI FORZE HA SOLO MASSA E SPIN



(niente struttura interna)

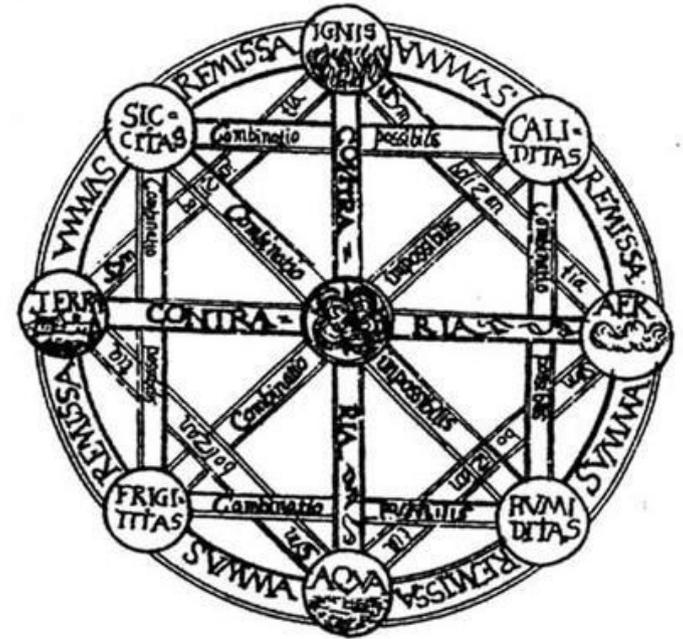


LA  $D_{s3}^{*}(2860)^{-}$  NON E' ELEMENTARE

**UNA PARTICELLA ELEMENTARE E' UN OGGETTO CHE HA SOLO MASSA E SPIN**

# ELEMENTI PER UNA TEORIA FONDAMENTALE

- **Come è fatto lo spaziotempo?**  
(quali ne sono le invarianze)
- **Che cosa esiste?**  
(quali sono le particelle elementari?)



Ramon Llull, Ars Magna (1305)

**ENTRAMBI SONO DATI SPERIMENTALI**

# LE PARTICELLE ELEMENTARI

		3 generazioni di fermioni			12 bosoni di gauge
		I	II	III	
massa →		2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
carica →		$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome →		u up	c charm	t top	$\gamma$ fotone
	Quark	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
		$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
		d down	s strange	b bottom	g gluone
	Leptoni	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV <sup>0</sup>
		0	0	0	0
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
		$\nu_e$ neutrino elettronico	$\nu_\mu$ neutrino muonico	$\nu_\tau$ neutrino tauonico	Z <sup>0</sup> forza debole
		0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
		-1	-1	-1	$\neq 1$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
		e elettrone	$\mu$ muone	$\tau$ tauone	W <sup>±</sup> forza debole
					Bosoni (Forze)

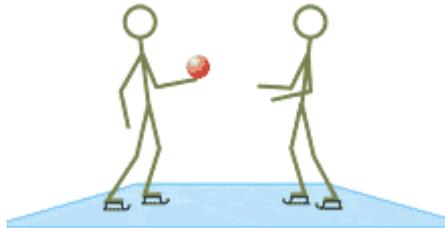
- Perché queste, con questi valori di massa e spin?
- Perché tre generazioni?

**LIMITE DELLA NOSTRA CONOSCENZA ATTUALE**

**Sappiamo che sono tutte, e tutte elementari, con una risoluzione di  $10^{-19}$  m**  
 (un decimo di milionesimo di milionesimo di milionesimo di metro)  
 (un decimillesimo del raggio del protone)  
 (un millesimo di milionesimo del raggio di un atomo di idrogeno)

# PARTICELLE E INTERAZIONI I

DUE PATTINATORI  
SI SCAMBIANO UNA PALLA



DUE ELETTRONI  
SI SCAMBIANO UN FOTONE



**QUALI SONO GLI “SCAMBI” PERMESSI?**

**TUTTI QUELLI CHE NON SONO VIETATI!**

# TUTTO CIO' CHE NON E' VIETATO ACCADE

1\* Die Welt ist alles, was der Fall ist.  
1.1 Die Welt ist die Gesamtheit der Tatsachen, nicht der Dinge.  
1.11 Die Welt ist durch die Tatsachen bestimmt und dadurch, dass es alle Tatsachen sind.  
1.12 Denn, die Gesamtheit der Tatsachen bestimmt, was der Fall ist und auch, was alles nicht der Fall ist.  
1.13 Die Tatsachen im logischen Raum sind die Welt.  
1.2 Die Welt zerfällt in Tatsachen.  
1.21 Eines kann der Fall sein oder nicht der Fall sein und alles übrige gleich bleiben.  
2 Was der Fall ist, die Tatsache, ist das Bestehen von Sachverhalten.  
2.01 Der Sachverhalt ist eine Verbindung von Gegenständen. (Sachen, Dingen.)  
2.011 Es ist dem Ding wesentlich, der Bestandteil eines Sachverhaltes sein zu können.  
2.012 In der Logik ist nichts zufällig: Wenn das Ding im Sachverhalt vorkommen kann, so muss die Möglichkeit des Sachverhaltes im Ding bereits präjudiziert sein.  
2.0121 Es erschiene gleichsam als Zufall, wenn dem Ding, das allein für sich bestehen könnte, nachträglich eine Sachlage passen würde.  
Wenn die Dinge in Sachverhalten vorkommen können, so muss dies schon in ihnen liegen.  
(Etwas Logisches kann nicht nur-möglich sein.  
Die Logik handelt von jeder Möglichkeit und alle Möglichkeiten sind ihre Tatsachen.)

\* Die Decimalzahlen als Nummern der einzelnen Sätze deuten das logische Gewicht der Sätze an, den Nachdruck, der auf ihnen in meiner Darstellung liegt, Die Sätze n. 1, n. 2, n. 3, etc., sind Bemerkungen zum Sätze No. n; die Sätze n.m1, n.m2, etc. Bemerkungen zum Sätze No. n.m; und so weiter.

## LE LEGGI DI CONSERVAZIONE:

- Tutto ciò che non è vietato accade
- Le leggi fisiche sono un insieme di divieti  
(leggi di conservazione)
- I “divieti” sono fatti sperimentali

# ESEMPIO: CONSERVAZIONE DELLA CARICA ELETTRICA

Non può accadere un processo fisico in cui la carica elettrica totale cambia

## PARTICLE DATA BOOK, Ed. 2014 TABLE OF CONSERVATION LAWS

Citation: J. Beringer et al. (Particle Data Group), PR D86, 010001 (2012) and 2013 partial update for the 2014 edition (URL: <http://pdg.lbl>)

### ELECTRIC CHARGE (Q)

$e \rightarrow \nu_e \gamma$ and astrophysical limits	[x] $> 4.6 \times 10^{26}$ yr, CL = 90%
$\Gamma(n \rightarrow p \nu_e \bar{\nu}_e) / \Gamma_{\text{total}}$	$< 8 \times 10^{-27}$ , CL = 68%

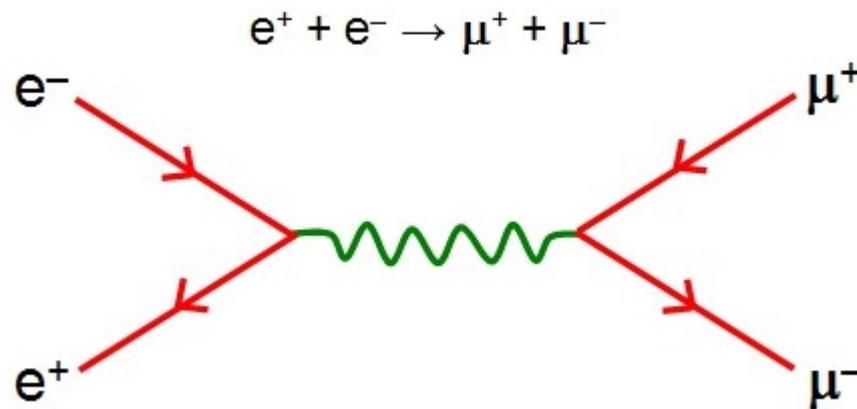
### $\Delta S = \Delta Q$ RULE

Violations allowed in second-order weak interactions.

$\Gamma(K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ e^- \bar{\nu}_e) / \Gamma_{\text{total}}$	$< 1.3 \times 10^{-8}$ , CL = 90%
$\Gamma(K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \mu^- \bar{\nu}_\mu) / \Gamma_{\text{total}}$	$< 3.0 \times 10^{-6}$ , CL = 95%
Re( $x_+$ ), $K_{e3}$ parameter	$(-0.9 \pm 3.0) \times 10^{-3}$
$x = A(\bar{K}^0 \rightarrow \pi^- \ell^+ \nu) / A(K^0 \rightarrow \pi^- \ell^+ \nu) = A(\Delta S = -\Delta Q) / A(\Delta S = \Delta Q)$	
real part of $x$	$-0.002 \pm 0.006$
imaginary part of $x$	$0.0012 \pm 0.0021$
$\Gamma(\Sigma^+ \rightarrow n \ell^+ \nu) / \Gamma(\Sigma^- \rightarrow n \ell^- \bar{\nu})$	$< 0.043$
$\Gamma(\Sigma^+ \rightarrow n e^+ \nu_e) / \Gamma_{\text{total}}$	$< 5 \times 10^{-6}$ , CL = 90%
$\Gamma(\Sigma^+ \rightarrow n \mu^+ \nu_\mu) / \Gamma_{\text{total}}$	$< 3.0 \times 10^{-5}$ , CL = 90%
$\Gamma(\Xi^0 \rightarrow \Sigma^- e^+ \nu_e) / \Gamma_{\text{total}}$	$< 9 \times 10^{-4}$ , CL = 90%
$\Gamma(\Xi^0 \rightarrow \Sigma^- \mu^+ \nu_\mu) / \Gamma_{\text{total}}$	$< 9 \times 10^{-4}$ , CL = 90%

## ...MA TUTTO IL RESTO PUO' ACCADERE

per esempio, un processo in cui una coppia elettrone-antielettrone scompare...



...ed appare una coppia muone-antimuone

# LE SIMMETRIE

## IL TEOREMA DI NOETHER (1918)

Ad ogni divieto (legge di conservazione)  
è associata una simmetria



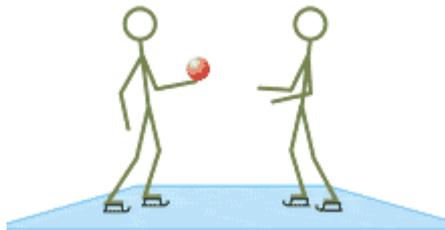
Emmy Noether (1882-1935)

## UNA TEORIA DI INTERAZIONE FONDAMENTALE E':

- Una lista di particelle elementari
- Un elenco di simmetrie

# PARTICELLE E INTERAZIONI II

DUE PATTINATORI  
SI SCAMBIANO UNA PALLA



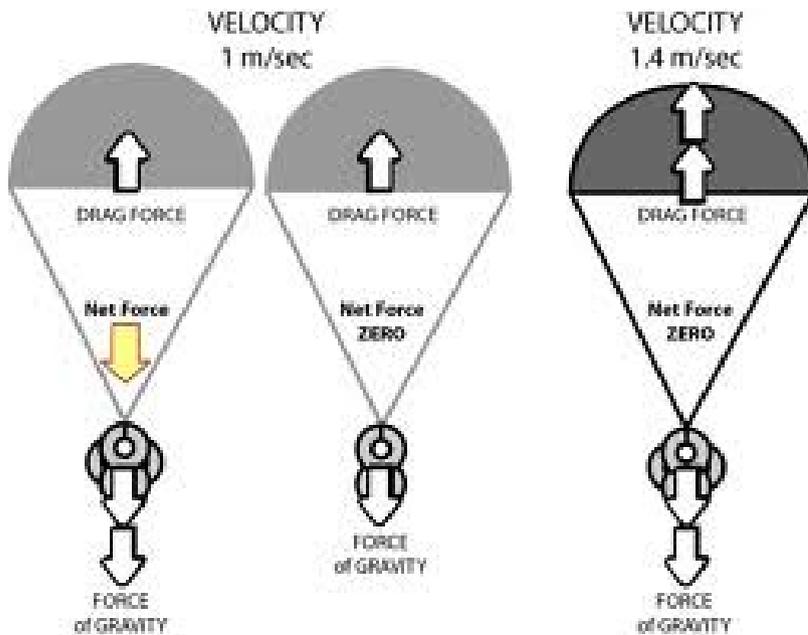
DUE ELETTRONI  
SI SCAMBIANO UN FOTONE



**COME E' LA NATURA DELLO SCAMBIO (INTERAZIONE)?**

- **Dipende dalla distanza dei pattinatori?**
- **E dalla loro velocità?**
- **E' diversa se il pattinatore ruota su se stesso?**

# ESEMPIO DI FORZA CHE DIPENDE DALLA VELOCITA'



La resistenza dell'aria esercita sul paracadute una forza che cresce al crescere della velocità

Il paracadutista rallenta finché la resistenza e la gravità si bilanciano, poi scende a velocità costante

Se il paracadutista pesa di più la velocità costante di discesa è maggiore

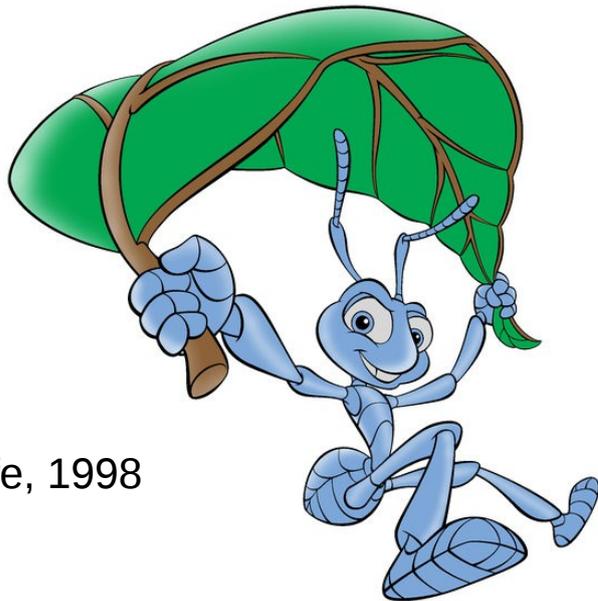
**UN MODELLINO IN SCALA SCENDE AD UNA VELOCITA' DIVERSA!**

Se raddoppio le dimensioni di tutto il paracadute scende molto più veloce!

# ANALISI DIMENSIONALE

La resistenza dell'aria è una forza che dipende dalla scala!

**L'intensità della forza ha una dimensione caratteristica**



A bug's life, 1998

**La forza è rilevante**

**solo per oggetti**

**di una certa dimensione**

**PICCOLE DIMENSIONI**

**MOLTE FORZE**

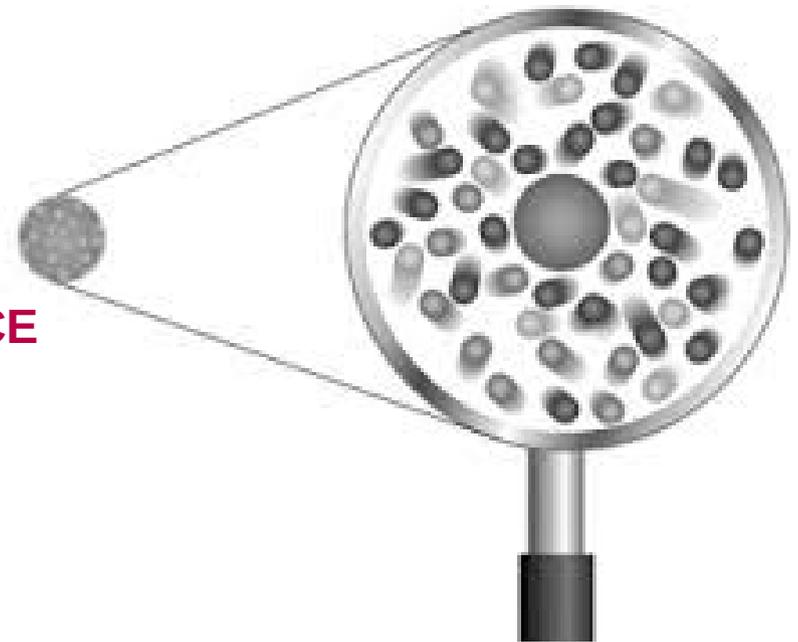
# INDETERMINAZIONE

**Una particella quantistica è circondata da una nuvola di particelle “virtuali”**

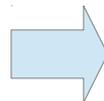
la cui creazione e scomparsa effimera è compatibile con tutti i divieti

Esempio: la loro carica elettrica totale è nulla

**ALL'AUMENTARE DELLA RISOLUZIONE  
LA DENSITA' DI PARTICELLE VIRTUALI CRESCE**

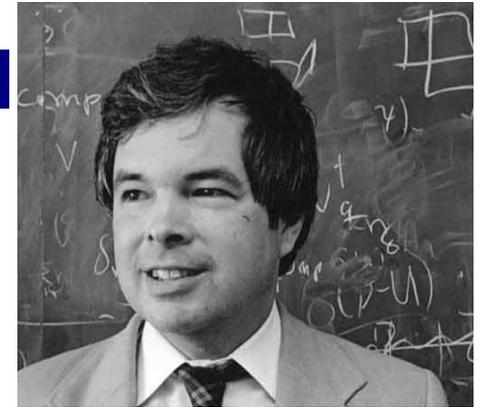


**PIU' PARTICELLE VIRTUALI**



**PIU' FORZE**

# LA RINORMALIZZAZIONE DI WILSON



Kennet G. Wilson (1936-2013)

FORZA CHE DIPENDE DALLA SCALA

+

NUBE DI PARTICELLE VIRTUALI

IL NUMERO DI FORZE INDIPENDENTI

AUMENTA INDEFINITAMENTE A CORTA DISTANZA



# PRINCIPIO DI RINORMALIZZABILITA' I

LE FORZE DIPENDENTI DALLA SCALA SONO VIETATE

NON E' UN FATTO SPERIMENTALE, MA

UN'IPOTESI TEORICA

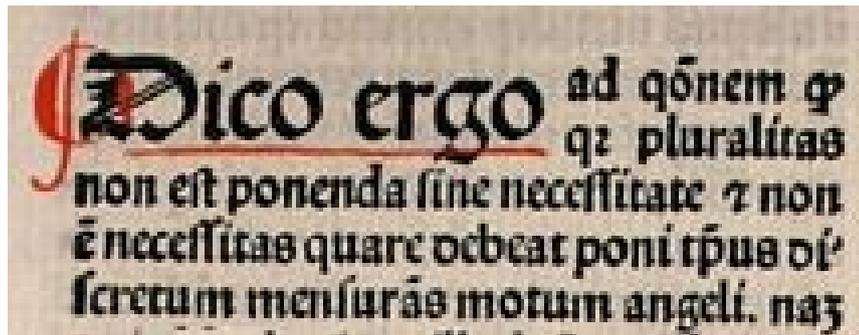
UN PREGIUDIZIO FILOSOFICO

**RASOIO DI OCCAM**



# PRINCIPIO DI RINORMALIZZABILITA' II

Se una forza appare dipendere dalla scala vuol dire che la teoria è incompleta:  
si postula l'esistenza di particelle e forze mancanti  
fino a descrivere quello che si osserva

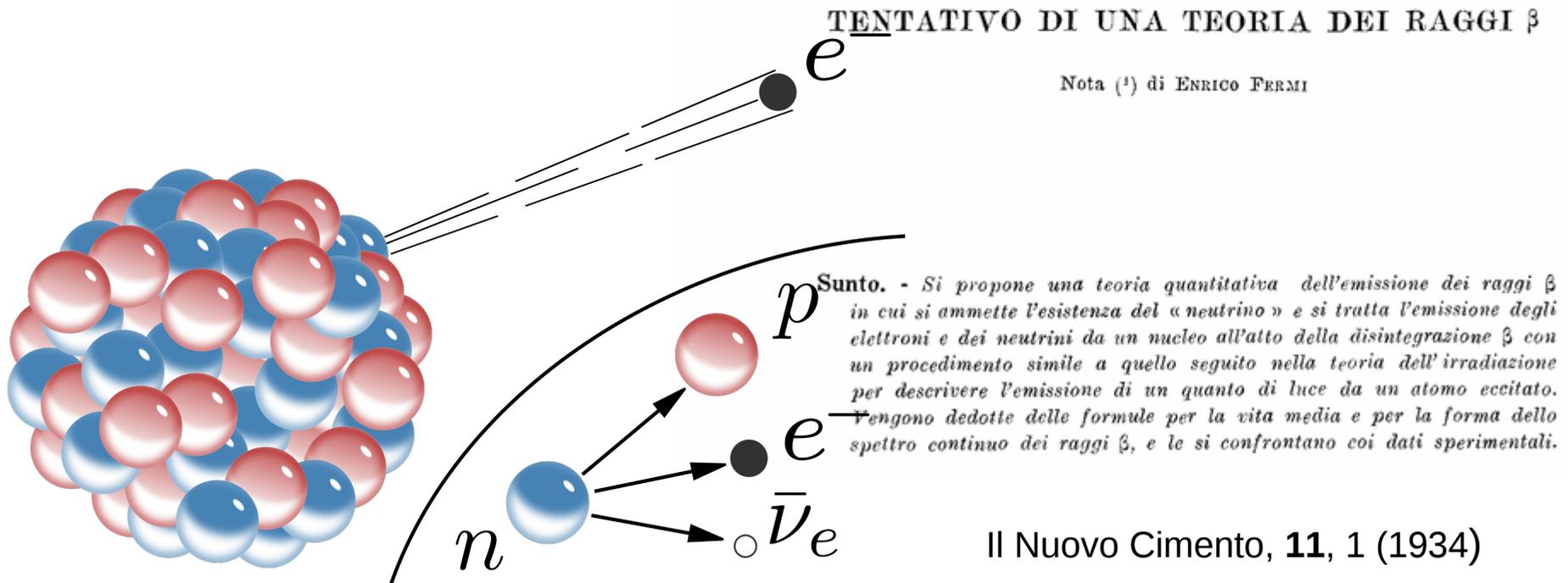


(Duns Scotus, 1266-1308)

**UN NUMERO FINITO DI FORZE E PARTICELLE SCONOSCIUTE ANZICHE'**

**UN REGRESSO INFINITO DI FORZE GENERATE DA QUELLO CHE SI OSSERVA**

# ESEMPIO: LA TEORIA DI FERMÌ DEL DECADIMENTO $\beta$



DESCRIVE IL PROCESSO DI TRASFORMAZIONE DI UN NEUTRONE IN UN PROTONE, UN ELETTRONE ED UN NEUTRINO

**RICHIEDE UNA NUOVA “FORZA DEBOLE” LA CUI INTENSITA' E' FISSATA DALLA**

**COSTANTE DI FERMÌ**

(dimensionale)

$$\frac{G_F}{(\hbar c)^3} = \frac{\sqrt{2}}{8} \frac{g^2}{m_W^2} = 1.16637(1) \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2} .$$

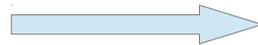
# LA TEORIA ELETTRODEBOLE (MODELLO STANDARD)

LA FORZA DEBOLE DI FERMÌ E' DOVUTA ALLO SCAMBIO DI UNA NUOVA PARTICELLA  
(bosone W)

IL VALORE DELLA COSTANTE DI FERMÌ E' LEGATO ALLA MASSA DEL BOSONE W

LE FORZE DOVUTE ALLO SCAMBIO DEL BOSONE W SONO INVARIANTI DI SCALA

Rinormalizzabili



Costante g adimensionale

**IPOSTESI TEORICA:**

Weinberg 1967

**VERIFICA SPERIMENTALE:**

UA1-UA2 (Rubbia, Darrilat) 1983

**COSTANTE DI  
FERMÌ**  
(dimensionale)

$$\frac{G_F}{(\hbar c)^3} = \frac{\sqrt{2}}{8} \frac{g^2}{m_W^2} = 1.16637(1) \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2} .$$

# CHE COS'E' UNA TEORIA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

- Una lista di particelle elementari osservate
- Una lista di divieti  $\longrightarrow$  una lista di simmetrie

L'INTENSITA' DI TUTTE LE FORZE INVARIANTI DI SCALA COMPATIBILI CON ESSE

	3 generazioni di fermioni			12 bosoni di gauge
	I	II	III	
massa $\rightarrow$	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
carica $\rightarrow$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin $\rightarrow$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome $\rightarrow$	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	$\gamma$ fotone
Quark	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluone
Leptoni	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV <sup>0</sup>
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b><math>\nu_e</math></b> neutrino elettronico	<b><math>\nu_\mu</math></b> neutrino muonico	<b><math>\nu_\tau</math></b> neutrino tauonico	<b>Z</b> forza debole
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>e</b> elettrone	<b><math>\mu</math></b> muone	<b><math>\tau</math></b> tauone	<b>W<sup><math>\pm</math></sup></b> forza debole
				Bosoni (Forze)

## IL MODELLO STANDARD

Simmetria SU(3) X  
SU(2) X U(1) (esatta)

Alcune simmetrie "accidentali"

ESEMPIO: masse di alcune particelle quasi uguali

# IL MODELLO STANDARD

3 generazioni di fermioni			12 bosoni di gauge	
	I	II	III	
massa →	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0
carica →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nome →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	$\gamma$ fotone
Quark	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluone
Leptoni	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	91,2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b><math>\nu_e</math></b> neutrino elettronico	<b><math>\nu_\mu</math></b> neutrino muonico	<b><math>\nu_\tau</math></b> neutrino tauonico	<b>Z</b> forza debole
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>e</b> elettrone	<b><math>\mu</math></b> muone	<b><math>\tau</math></b> tauone	<b>W<math>^\pm</math></b> forza debole
				Bosoni (Forze)

Simmetria SU(3) X  
SU(2) X U(1) (esatta)

Alcune simmetrie “accidentali”

ESEMPIO: masse di alcune particelle quasi uguali

- **PERCHE' QUESTE PARTICELLE?**  
(comprese le simmetrie accidentali)
- **PERCHE' QUESTE SIMMETRIE?**

**LIMITE DELLA NOSTRA CONOSCENZA**

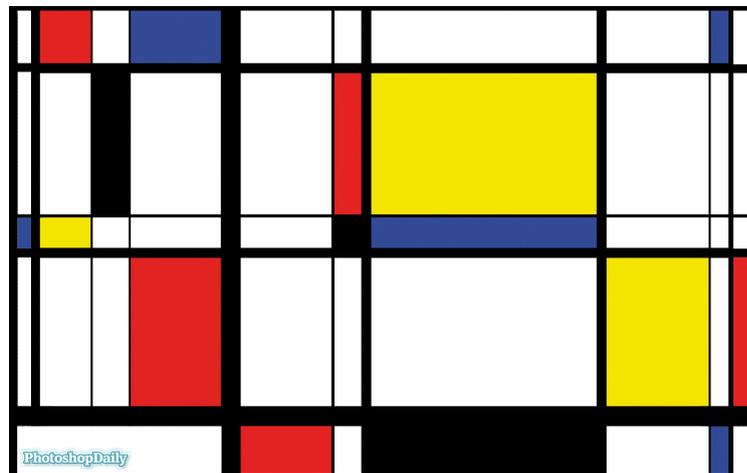
# IL PROBLEMA DELLA NATURALEZZA

## LA TEORIA OSSERVATA HA DIVERSI PARAMETRI LIBERI:

masse delle particelle, intensità delle forze....

## IPOTESI DI NATURALEZZA:

- **I PARAMETRI LIBERI ADIMENSIONALI SONO DI ORDINE UNO**  
(non un milione, o un milionesimo)
- **SE I PARAMETRI SONO VARIATI LEGGERMENTE, LA TEORIA RESTA SENSATA**  
(se variati di un fattore due magari no, ma se di una parte su un milione sì)

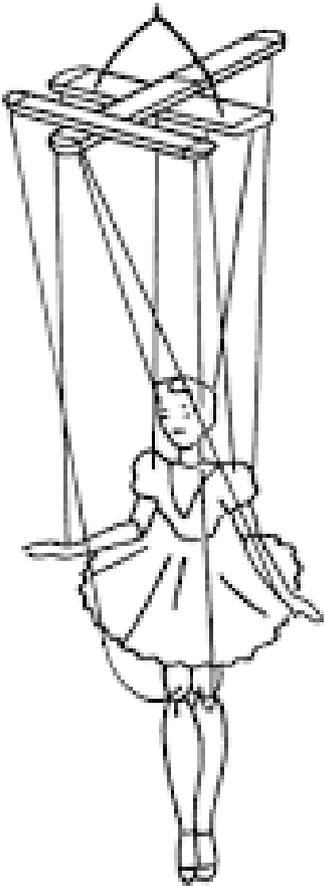


P. Mondrian (1877-1944)

# IL SENSO DELLA NATURALIZZAZIONE

**ABBIAMO BISOGNO DI CONOSCERE LA STRUTTURA DEL PROTONE  
PER PROGETTARE UN'AUTOMOBILE?**

**SCALE DIVERSE SONO SEPARATE E NON SI INFLUENZANO!**



Lo abbiamo implicitamente supposto  
quando abbiamo formulato il principio di rinormalizzabilità:  
le tartarughe microscopiche importano solo a scale microscopiche!

**GERARCHIE INNATURALI TRA PARAMETRI  
POSSONO LEGARE SCALE MOLTO DIVERSE**

# **IL BOSONE DI HIGGS E LA NATURALIZZAZIONE**

**LE PARTICELLE DI SPIN 0 (un solo grado di libertà) SONO SPECIALI:**

**LA NUBE DI PARTICELLE VIRTUALI NE SPINGE LA MASSA**

**ALLE PIU' ALTE ENERGIE ACCESSIBILI**

(infinito? Dove la teoria perde senso?)

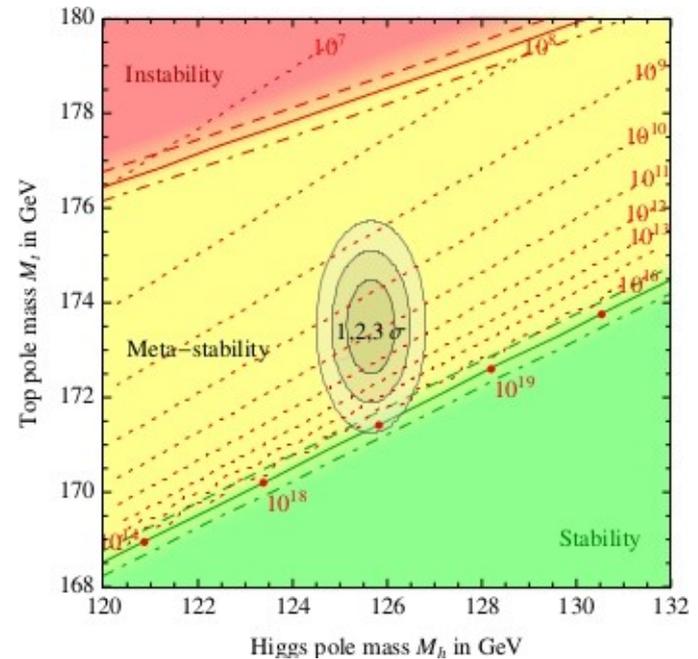
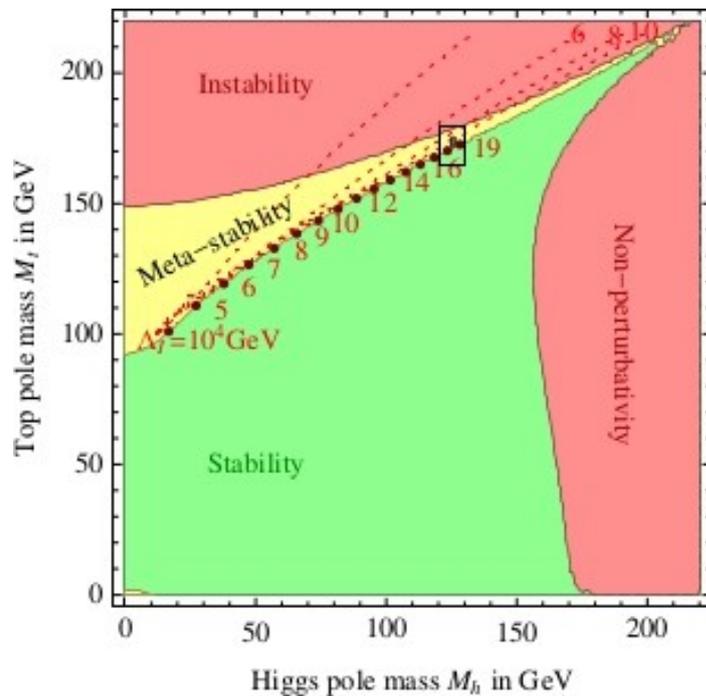
**Il bosone di Higgs non ha massa infinita!**

**UNA PARTICELLA DI SPIN 0 E' INTRINSECAMENTE INNATURALE**

# ALTRI MISTERI

I PARAMETRI DEL MODELLO STANDARD SONO ESATTAMENTE  
NEL PUNTO CHE SEPARA LA STABILITA' DALL'INSTABILITA'

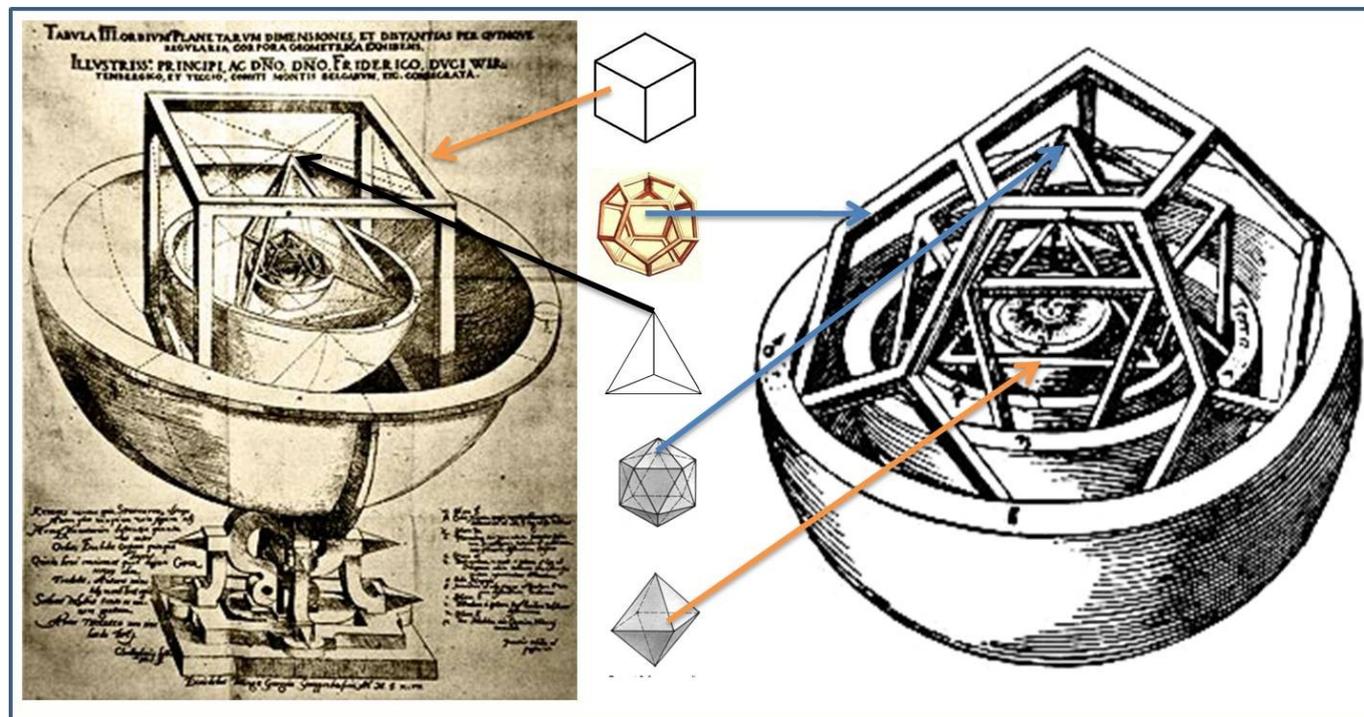
E' UN CASO?



# QUALI SONO LE DOMANDE GIUSTE?

CHE COSA E' UN MISTERO E CHE COSA E' UN CASO  
E' UN PREGIUDIZIO FILOSOFICO

Keplero: I RAGGI DELLE ORBITE DEI  
PIANETI DEL SISTEMA SOLARE  
SPIEGATE IN TERMINI DI  
SOLIDI PLATONICI



Johannes Kepler, *Mysterium  
Cosmographicum*, 1596

# COME SCOPRIRLO

**ANCHE IL METODO SPERIMENTALE E' UN SCELTA FILOSOFICA**

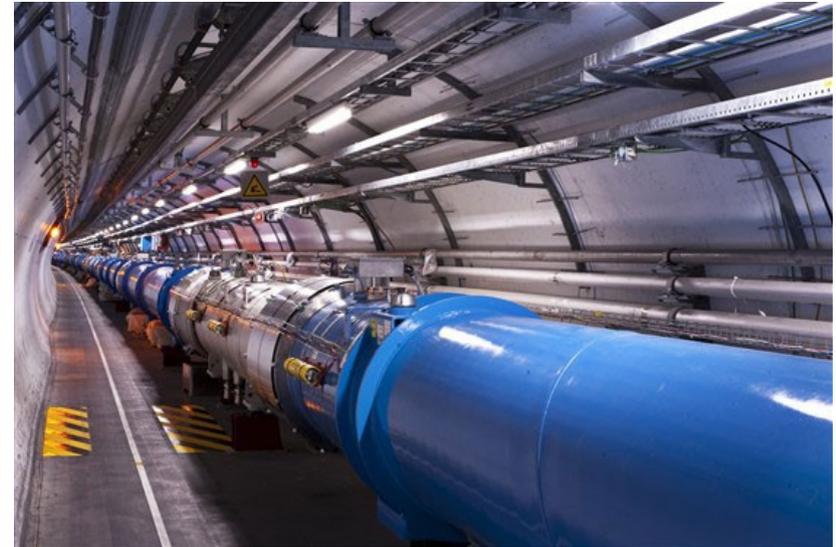
La scelta di un criterio di razionalità

è un atto umano

(P.K.Feyerabend, Wissenschaft als Kunst, 1984)

**FINORA SI E' RIVELATA MOLTO EFFICACE**

LHC



PLANCK



BOREXINO

