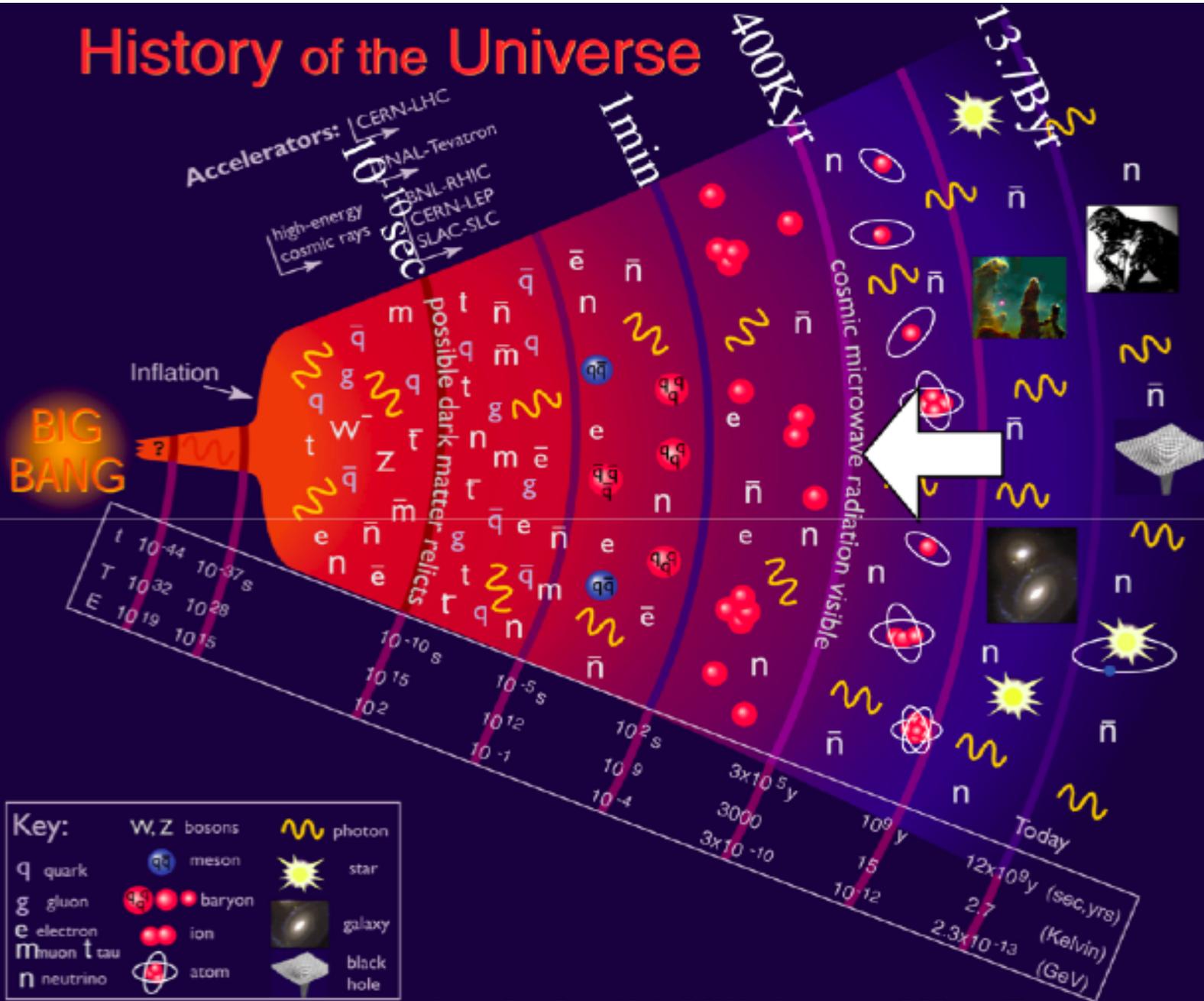


***OPENLABS 2015, LNF, 23 maggio 2015***

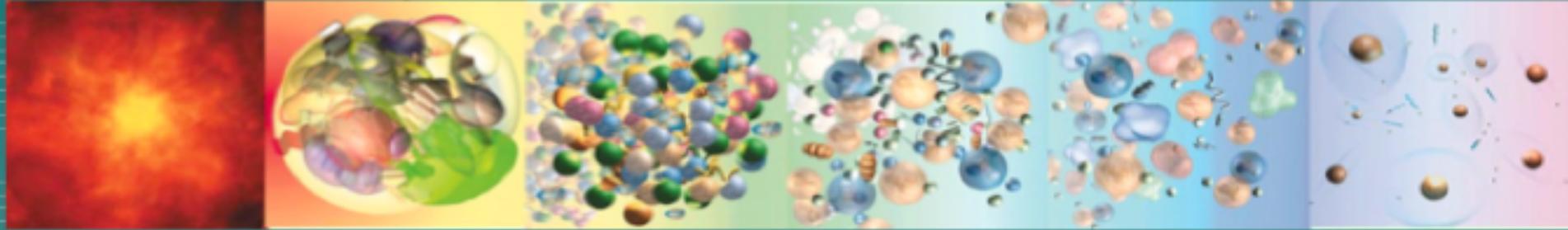
# ***UNIVERSO INSTABILE ?***

**Antonio Masiero  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
e  
Universita' di Padova**

# History of the Universe



Big Bang	Quark-Gluon Plasma	Protoni e neutroni	Protoni e Nuclei leggeri	Atomi →Galassie →Molecole→DNA
Gravità	Nucleare forte	Nucleare debole		

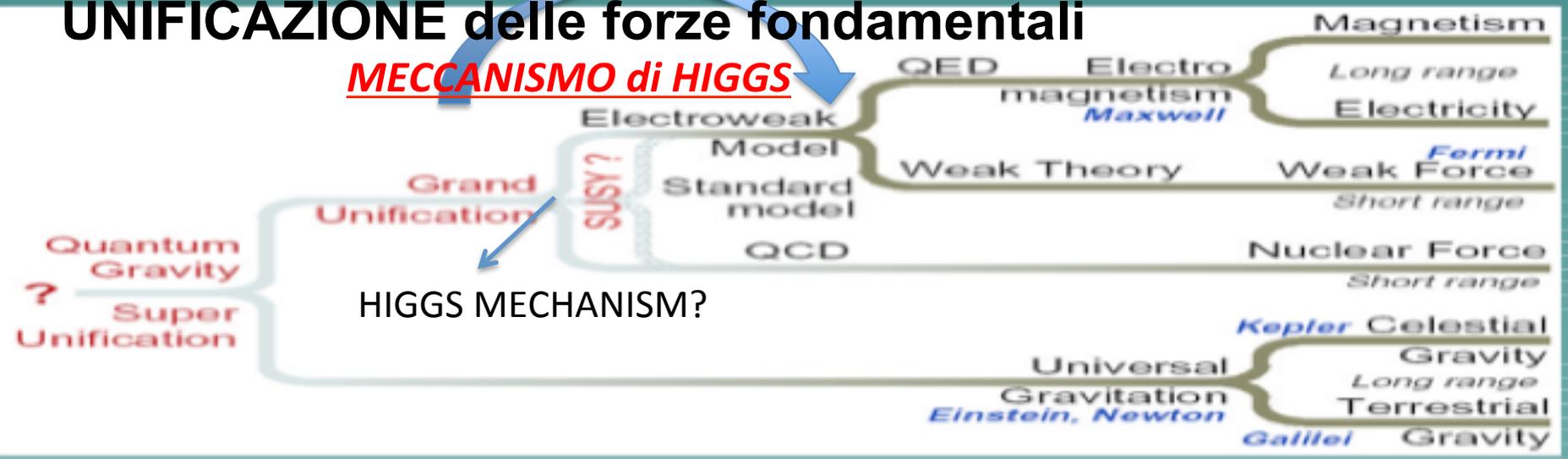


$10^{-43}$ sec	$10^{-32}$ sec	$10^{-10}$ sec	$10^{-4}$ sec	100 sec	300KY → 15GY
$10^{-35}$ m	$10^{-32}$ m	$10^{-18}$ m	$10^{-16}$ m	$10^{-15}$ m	$10^{-10}$ m
$10^{19}$ GeV	$10^{16}$ GeV	$10^2$ GeV	1 GeV	1 MeV	10 eV

???      LHC      LEP      Astronomia →

# UNIFICAZIONE delle forze fondamentali

MECCANISMO di HIGGS



HIGGS MECHANISM?

Theories:

STRINGS?      RELATIVISTIC/QUANTUM      CLASSICAL

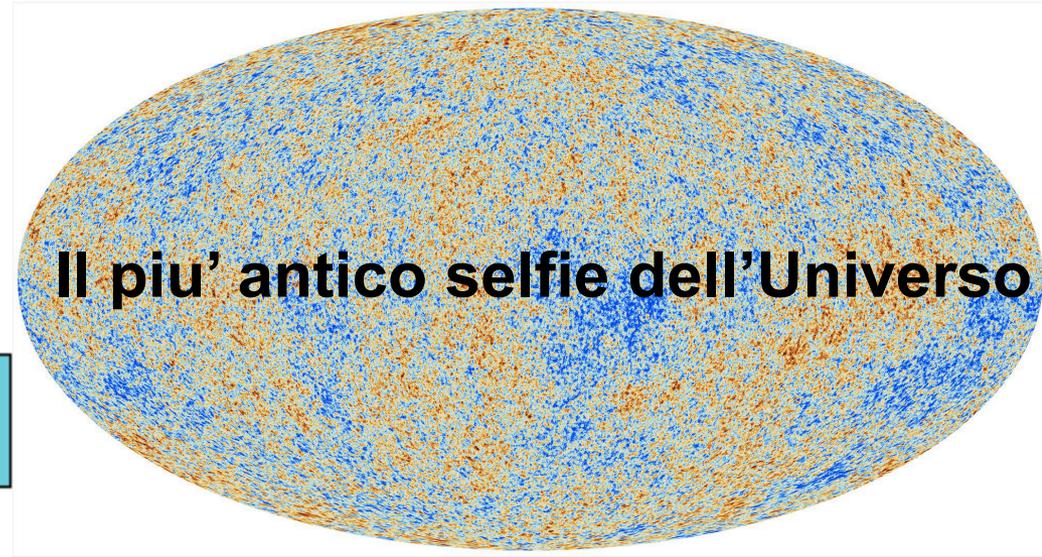
# MICROCOSMO

Three Generations of Matter (Fermions) spin  $\frac{1}{2}$

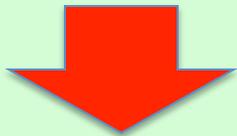
	I	II	III	
mass	2.4 MeV	1.27 GeV	173.2 GeV	0
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
name	u up	c charm	t top	g gluon
	Left Right	Left Right	Left Right	0
				$\gamma$ photon
Quarks	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ b bottom	91.2 GeV 0 Z <sup>0</sup> weak force
	Left Right	Left Right	Left Right	126 GeV 0 H Higgs boson
				spin 0
	$0$ e <sup>-</sup> electron neutrino	$0$ $\mu$ <sup>-</sup> muon neutrino	$0$ $\tau$ <sup>-</sup> tau neutrino	80.4 GeV $\pm 1$ W <sup>±</sup> weak force
Leptons	0.511 MeV -1 e electron	105.7 MeV -1 $\mu$ muon	1.777 GeV -1 $\tau$ tau	
	Left Right	Left Right	Left Right	

Bosons (Forces) spin 1

# MACROCOSMO



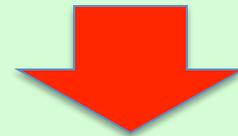
**COMPLESSO**



**ELEMENTARE**

**MODELLO STANDARD  
DELLE PARTICELLE E  
FORZE FONDAMENTALI**

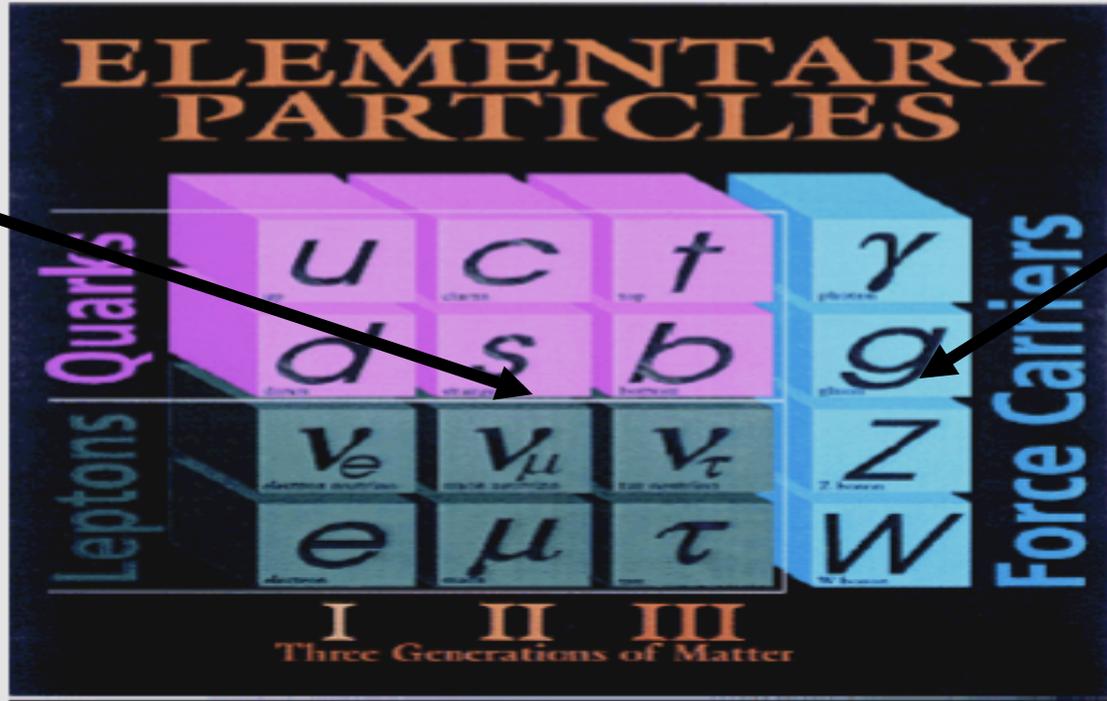
**SIMMETRICO**



**ASIMMETRICO**

**MODELLO STANDARD  
COSMOLOGICO**

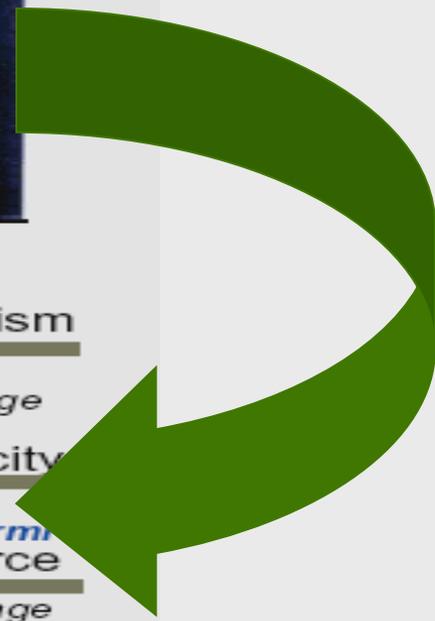
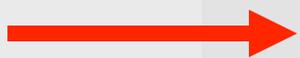
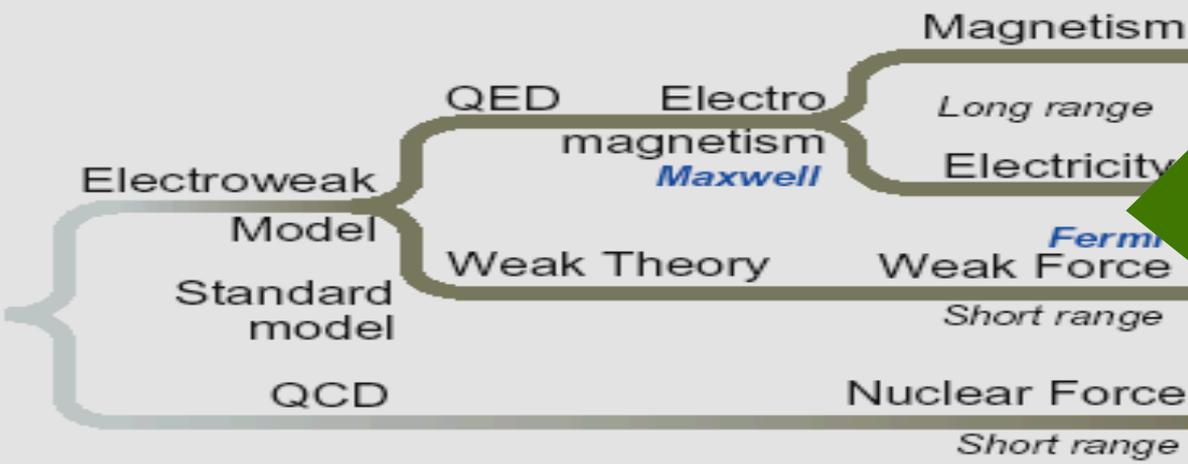
# MODELLO STANDARD delle Interaz. Fondam.



RADIAZIONE

MATERIA

Grand Unified Theory  
**GUT**



# L' ATOMO DI DEMOCRITO

**Democrito** di Abdera (Tracia) 25 secoli fa:

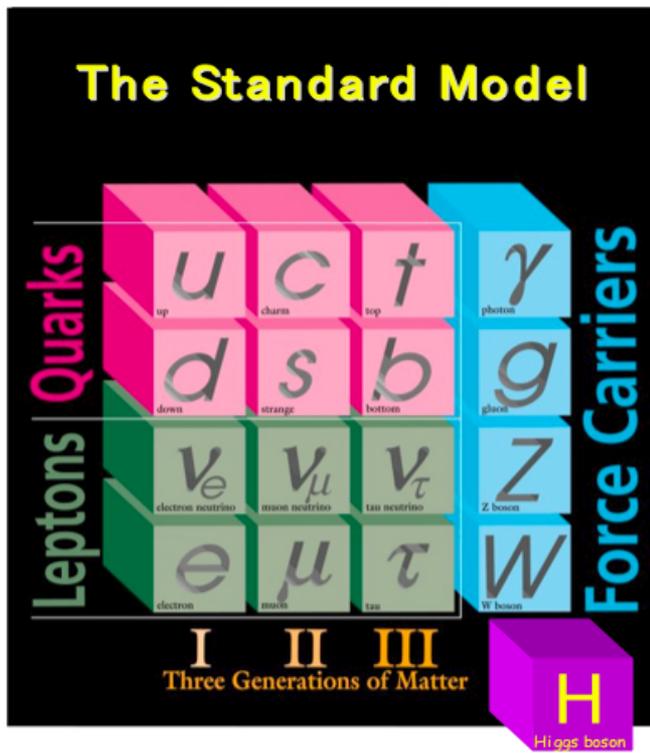
Spezzettando la materia in frammenti sempre più piccoli si arriva ad una particella fondamentale, indistruttibile (**ATOMOS**: indivisibile in greco antico)

Gli atomi sono eterni e immutabili, esistono in varie forme e sono animati da un continuo movimento nello **SPAZIO VUOTO**

Gli atomi si incontrano **CASUALMENTE** vagando nel vuoto e costituiscono gli oggetti che vediamo



**Colui che  
il mondo  
A CASO pone  
(Dante)**



**H clandestino?**

E' o non e' una particella

**ELEMENTARE?**

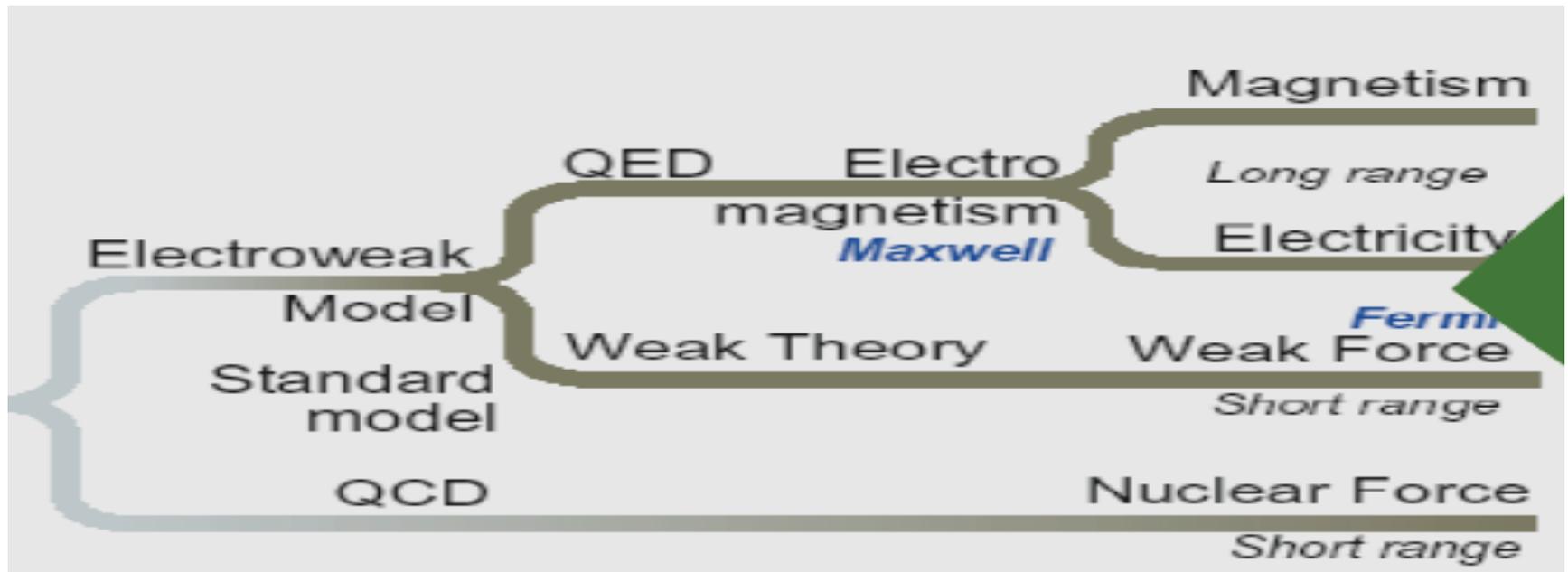
Quanto vale il campo di Higgs H nel VUOTO  
QUANTISTICO?

$$\langle H \rangle ?$$

$\langle H \rangle \neq 0 \rightarrow$  e la **MASSA** (delle

particelle del Modello Standard) **fu !**

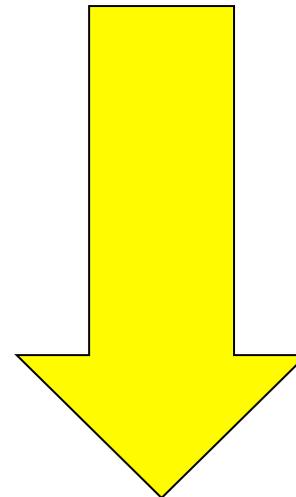
filmato



**Forza ELETTRODEBOLE → SIMMETRIA ELETTRODEBOLE**

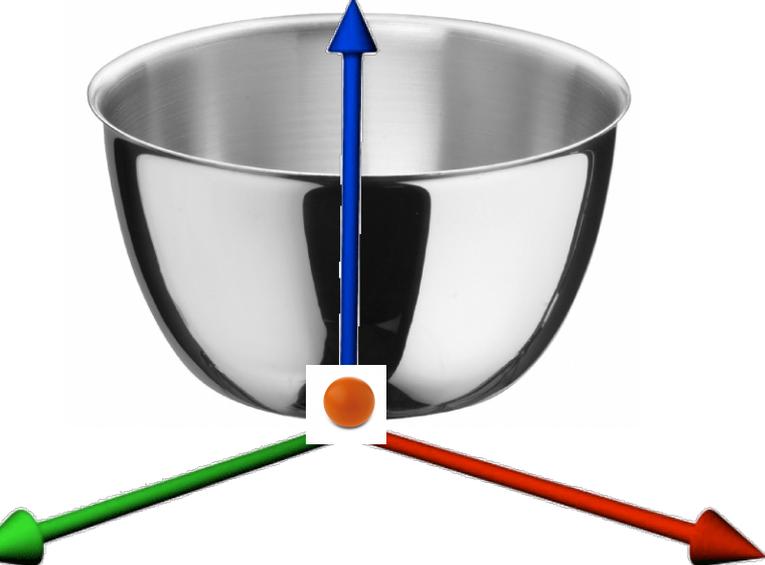
**TRANSIZIONE DI FASE**

**ELETTRODEBOLE:** dalla forza elettrodebole **unificata** alle forze **separate** elettromagnetica + nucleare debole



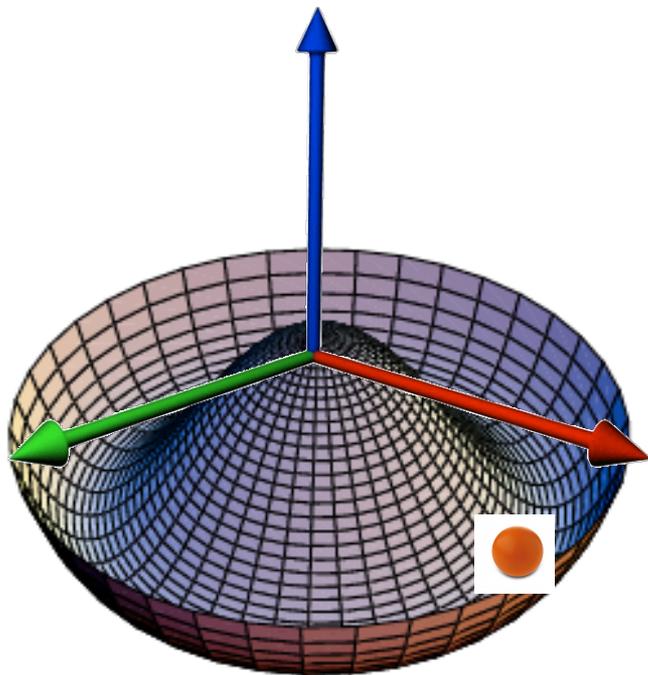
**ROTTURA DELLA SIMMETRIA**

**Forza ELM. + Forza DEBOLE**



Il punto piu' basso e' l'origine degli assi → la pallina finisce in un punto che rimane lo stesso se ruoto gli assi → **fase SIMMETRICA**

## TRANSIZIONE DI FASE

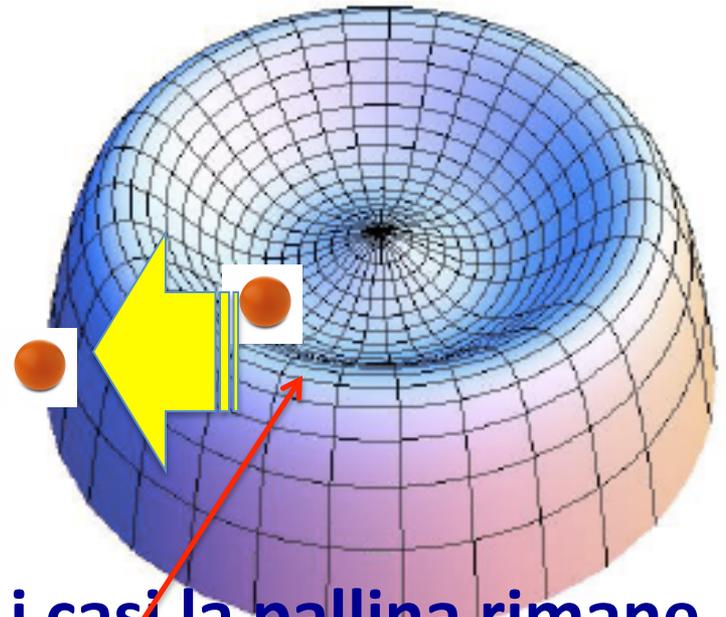
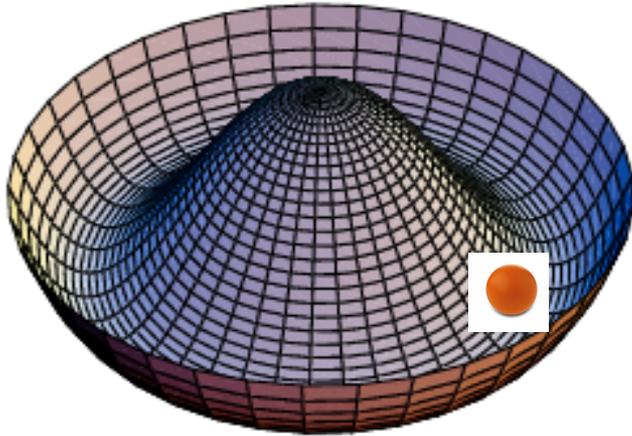


**fase ASIMMETRICA** → la pallina finisce in uno degli infiniti punti che toccano il pavimento; ovunque si fermi, ha pero' **scelto una direzione** → **non c'e' piu' la simmetria** di prima

**STABILITA'**



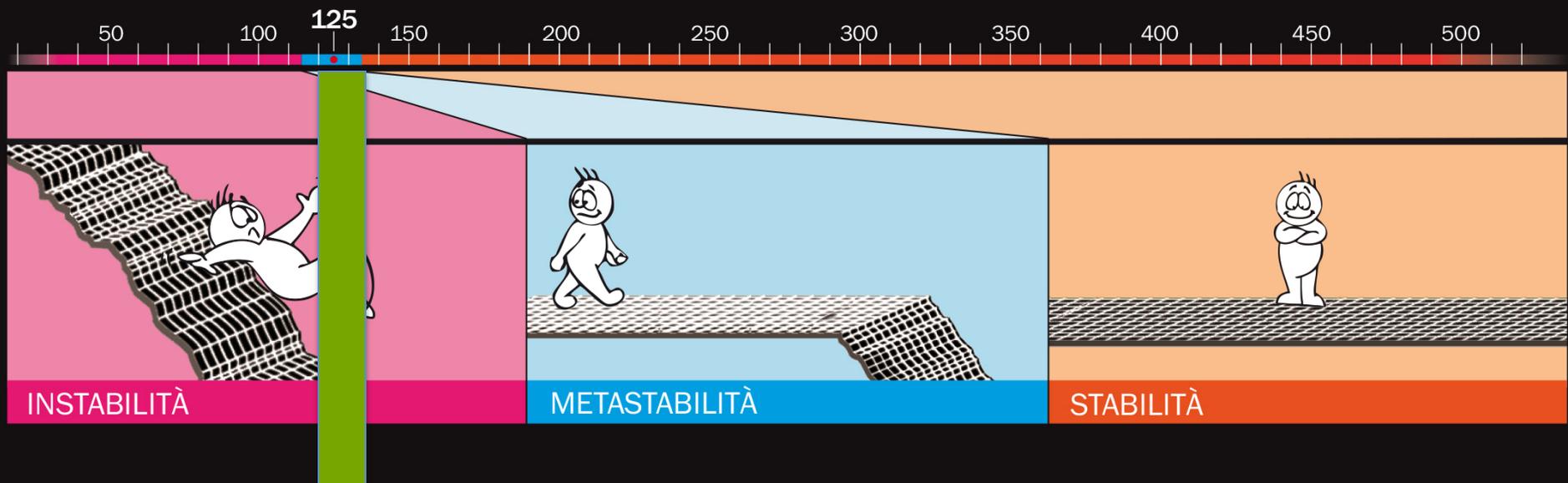
**INSTABILITA'**



**Fisica classica** → in entrambi i casi la pallina rimane all'interno della ciotola

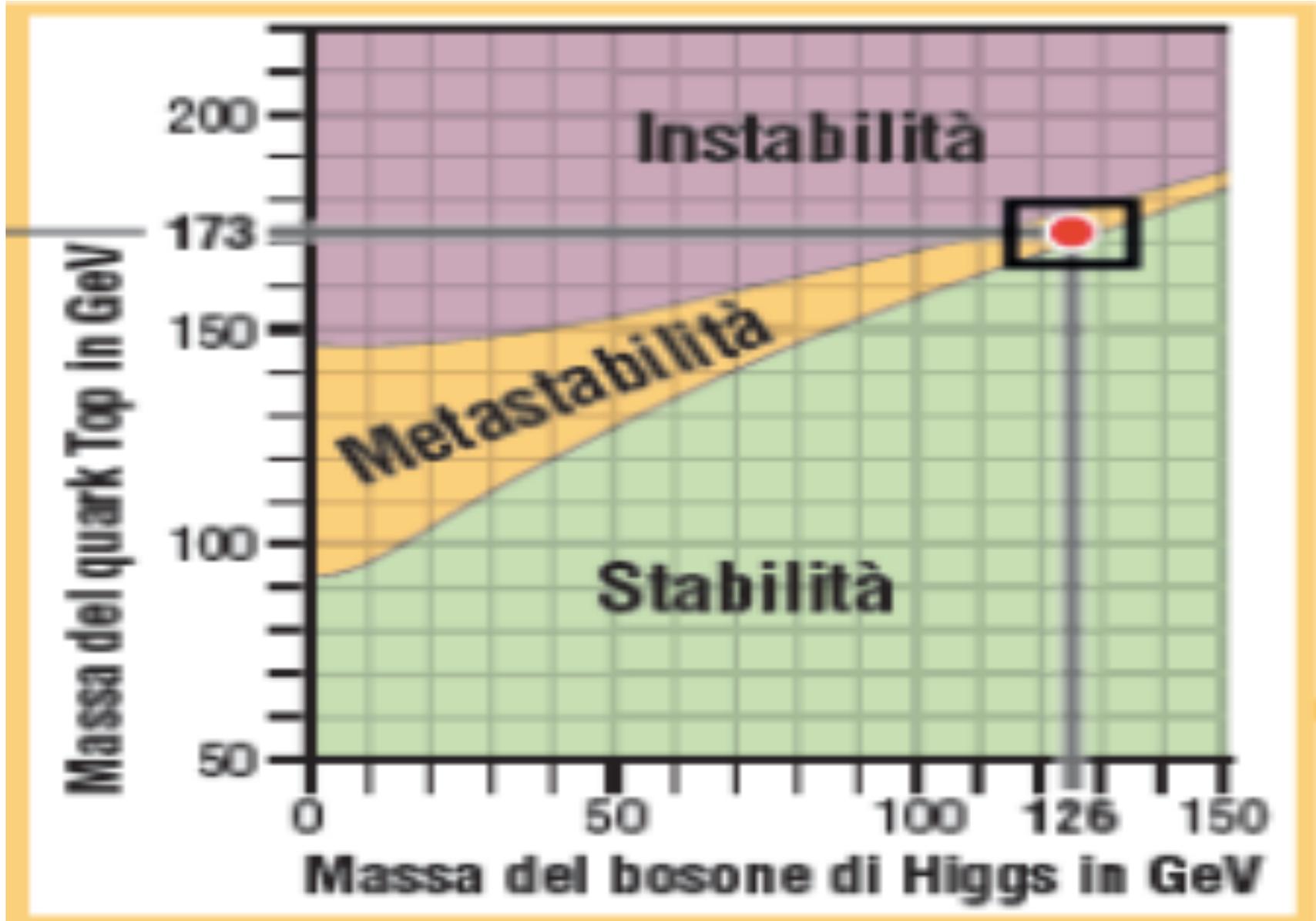
**Fisica quantistica** → nel secondo caso, dopo un certo tempo (piu' lungo quanto piu' alte le pareti della ciotola) la pallina puo' fare un **tunnel** e cadere fuori lungo le pareti della ciotola

# $M_H$ e il destino dell'Universo



La massa del bosone di Higgs e' circa 125 volte piu' grande di quella che ha un protone  $\rightarrow$  quel **"circa"** puo' decidere tra **STABILITA'** e **METASTABILITA'** dell'Universo  $\rightarrow$  cioe' se l'Universo rimarra' per sempre nel vuoto quantistico in cui noi ci troviamo o, nell'altro caso, per quanti miliardi di anni ci potra' ancora rimanere

# il CASO e la NECESSITA'



# La massa del bosone di Higgs e' determinante per la nostra esistenza:

## CASO o NECESSITA' ?

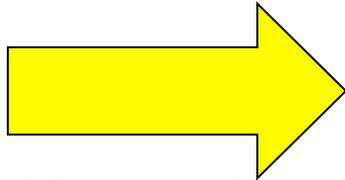
- Anche ammettendo di **fissare a mano**, cioe', di scegliere i parametri per avere la massa "corretta" del bosone di Higgs, poi questa e' soggetta a **correzioni quantistiche** che tendono a portarla a valori molto piu' grandi → necessita' di un **insopportabile aggiustamento** ("fine-tuning") **dei parametri** con una precisione di molte (troppe) cifre dopo la virgola... oppure

- $A \cdot 1000000000 + B \cdot 1000000000 = 1$

$$A - B = 0.000000001$$

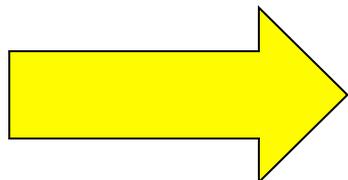
**Aggiustamento** (fine – tuning)?

o **teoria** che spiega perche' A e B hanno valori cosi' "speciali" ?



**SIMMETRIA**

o **miliardi di universi** in cui A e B hanno valori diversi per cui in uno succedera' che A e B hanno proprio questi valori "speciali" ?

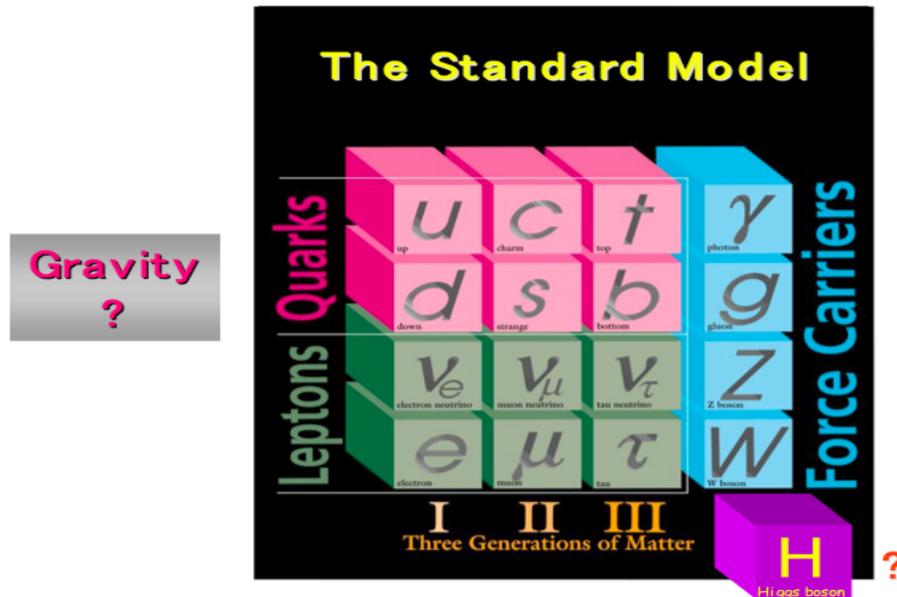


**MULTI VERSO**

# ***NUOVA FISICA a LHC o in nuove macchine post-LHC ?***

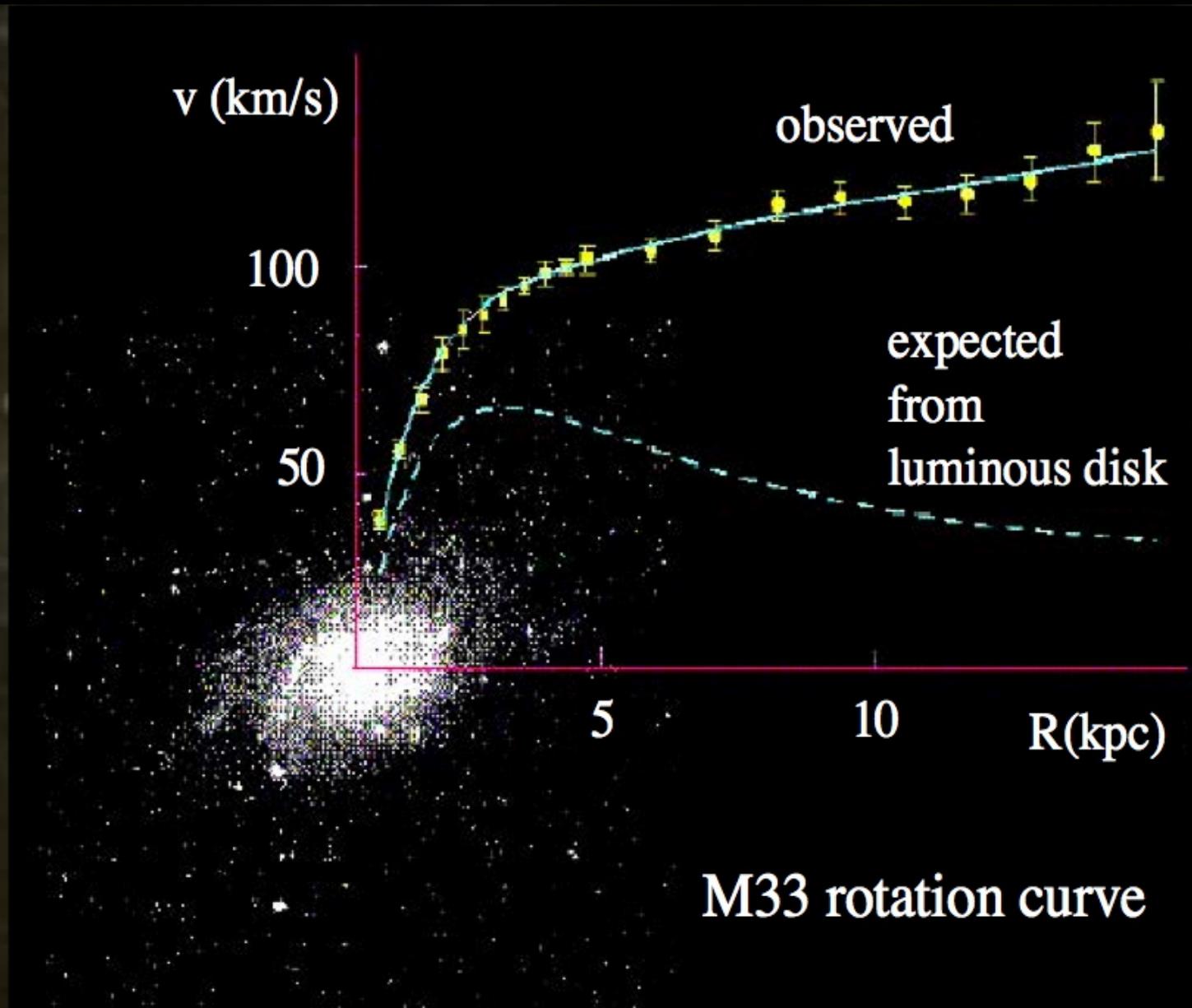
- **SUPERSIMMETRIA**: OGNI PARTICELLA “ORDINARIA” E’ ACCOMPAGNATA DA UNA PARTICELLA PARTNER SUPERSIMMETRICA.
- **TEORIE CON NUOVE DIMENSIONI SPAZIALI**: OLTRE ALLE USUALI 3 DIMENSIONI SPAZIALI , NE ESISTONO ALTRE . IN QUESTO CASO OGNI PARTICELLA ORDINARIA E’ ACCOMPAGNATA DA UNA “TORRE” DI PARTICELLE PARTNER, STATI DI KALUZA-KLEIN, KK, CON LE STESSO CARATTERISTICHE TRANNE CHE AVERE MASSA PIU’ GRANDE.

Se **tutta** la materia e' costituita da questi moderni 24  
“atomi di Democrito” → tutte le particelle elementari  
prendono massa attraverso il **MECCANISMO di HIGGS**



Ma siamo sicuri che **tutta** la materia presente  
nell'universo sia fatta da queste 24 particelle  
elementari?

# Di cosa è fatto l'Universo?



**L' AMMASSO DI GALASSIE ABELL 2218: il cluster ha una massa così grande da **piegare e focalizzare la luce** proveniente da galassie che si trovano dietro ad esso**

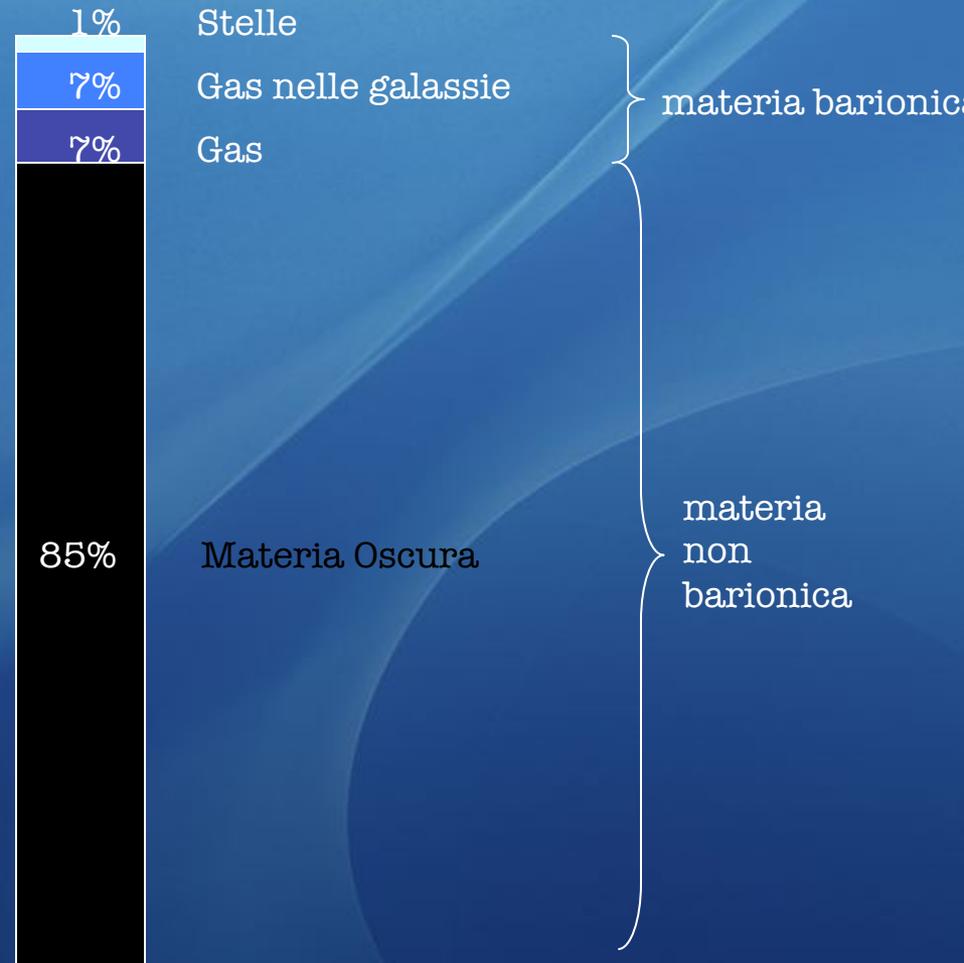
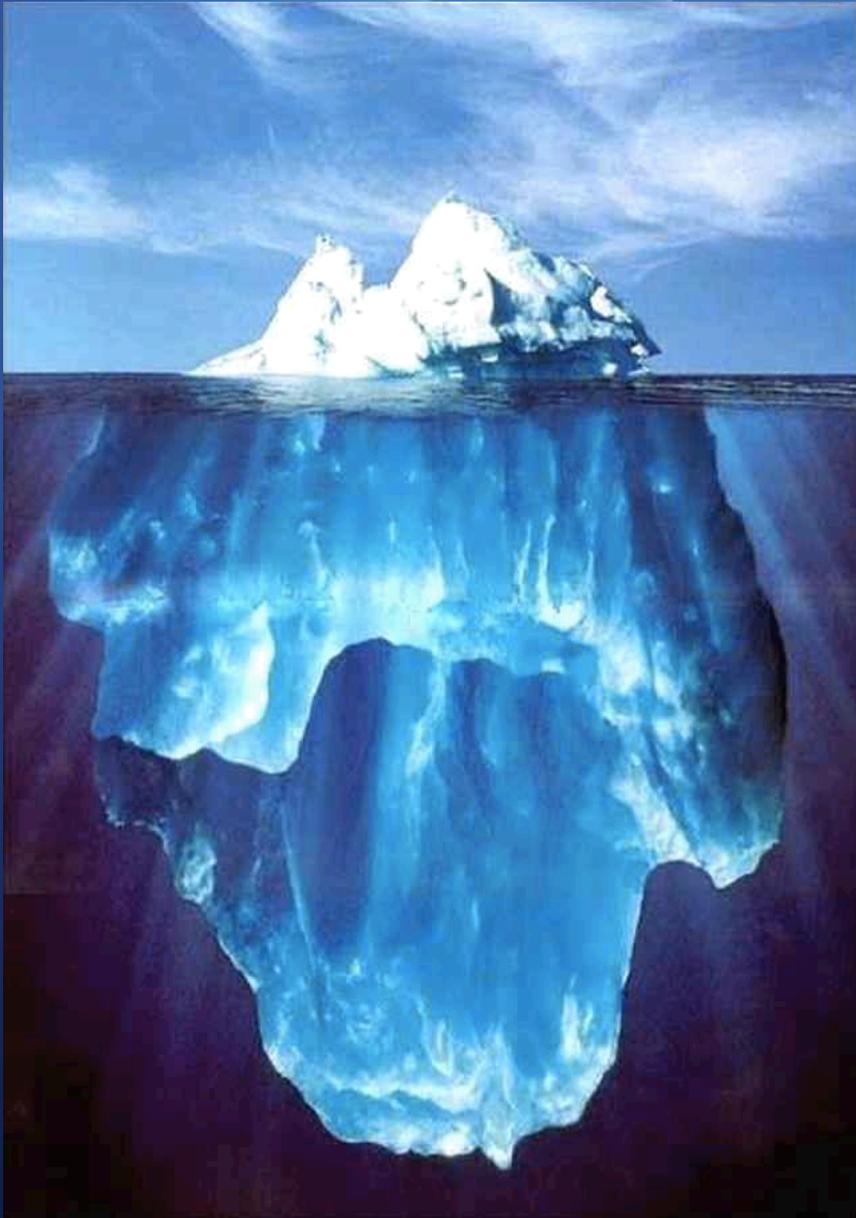


La materia oscura e' l' evidenza  
piu' impressionante che abbiamo  
dell' esistenza di nuova fisica oltre il  
MODELLO STANDARD DELLE  
PARTICELLE



**ESISTENZA DI UN NUOVO  
TIPO DI MATERIA**

# Inventario della materia nell' Universo



# ***DI CHE COSA E' FATTA LA MATERIA OSCURA?***

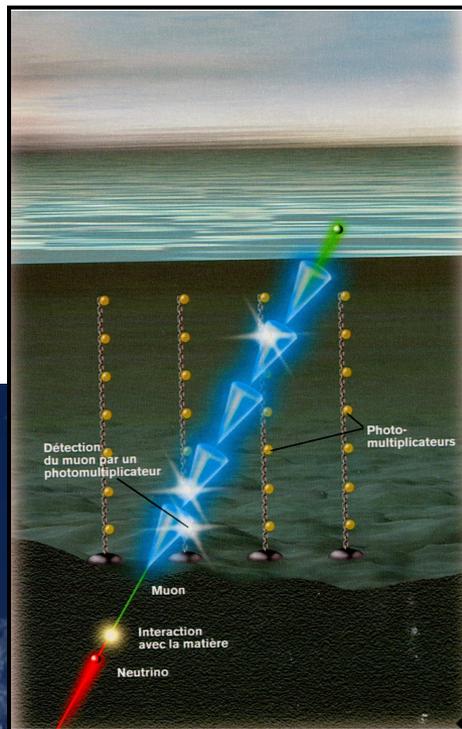
- Se il mondo e' ***SUPERSIMMETRICO*** → la particella supersimmetrica piu' leggera (il **NEUTRALINO**?) e' un buon candidato di materia oscura
- Se il mondo ha ***NUOVE DIMENSIONI*** spazio-temporali → la **particella di Kaluza-Klein** piu' leggera potrebbe costituire la materia oscura

# TELESCOPI IN ORBITA, LABORATORI SOTTERRANEI E SOTTOMARINI

## Telescopio HUBBLE



## KM3 Sicilia



## Lab. INFN: Gran Sasso





***FERMI  
GAMMA-RAY  
TELESCOPE***

***LA GRANDE AMBIZIONE:  
POSSIAMO PRODURRE NOI STESSI  
LA MATERIA OSCURA NEGLI URTI  
AD ALTISSIMA ENERGIA DI LHC?***

**I have a dream** ...: in questa decade potremmo avere la possibilità di

**produrre “artificialmente” la materia oscura a LHC**

**e trovare quella “primordiale” di 14 miliardi anni fa in esperimenti del tipo di quelli che si svolgono al laboratorio INFN del Gran Sasso**

# Universo chiuso o aperto?

*Pensate all'Universo come ad una bomba che esplode*

*Se esplosione è **debole** → frammenti si allontanano e poi si riavvicinano per la forza di gravità*

*Universo chiuso → si espande fino ad una dimensione massima per poi ricollassare con un processo opposto al big bang (**BIG CRUNCH**)*

contrazione

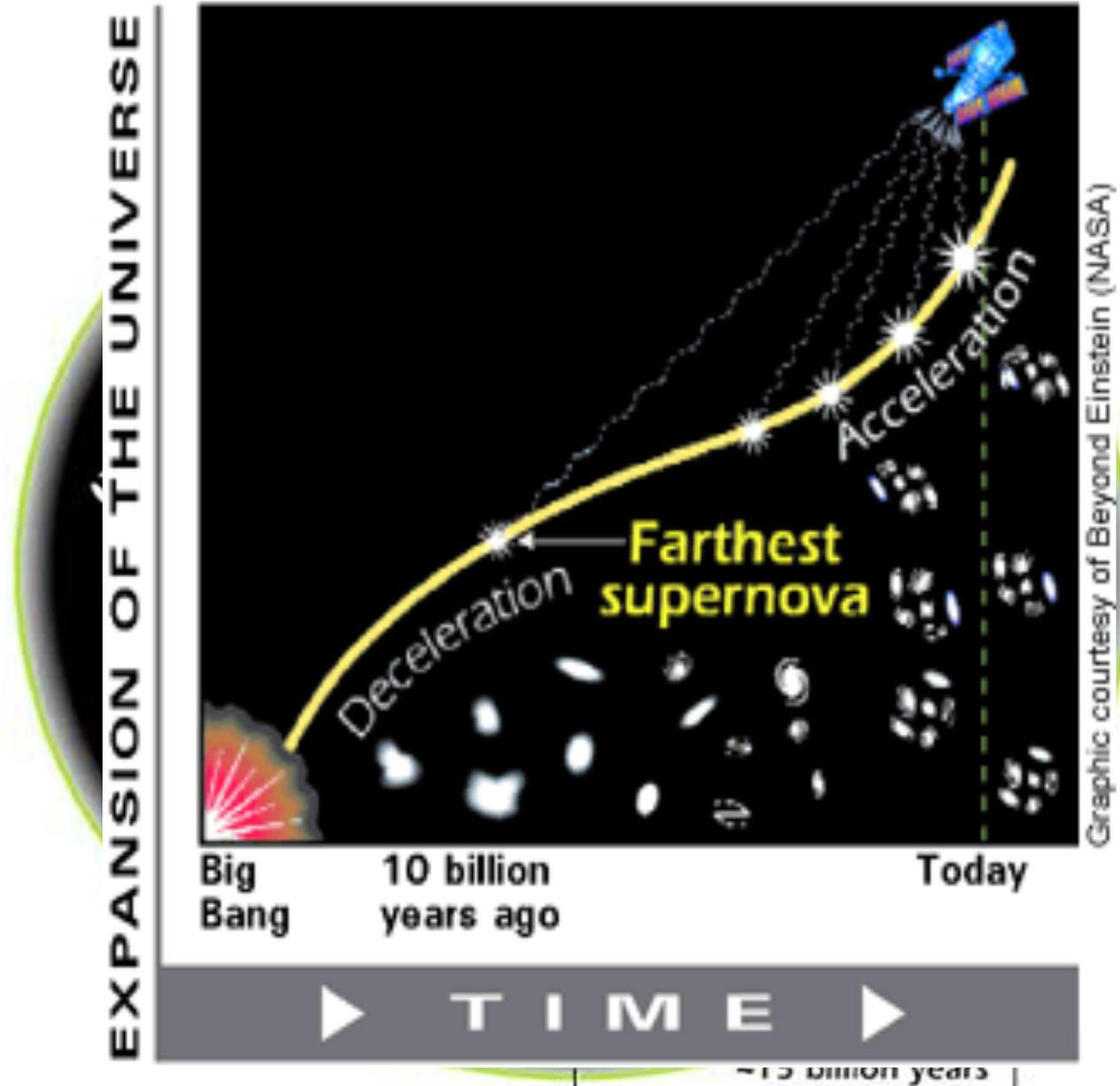
Big Crunch

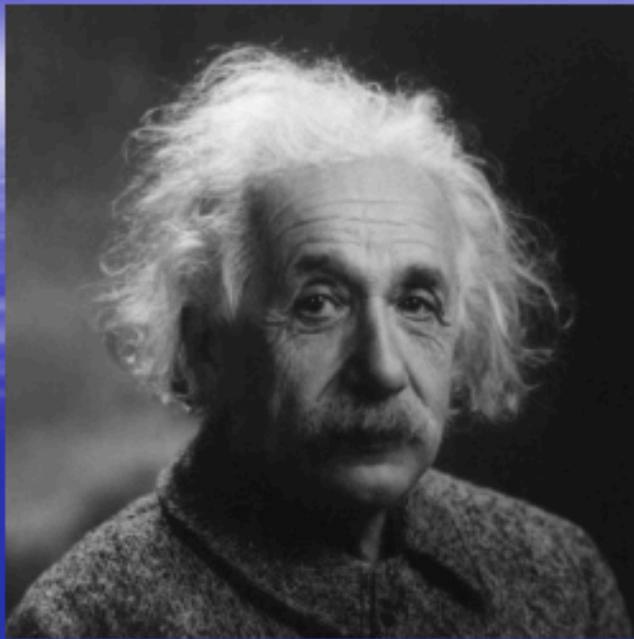
*Se esplosione è **forte** → frammenti si allontanano indefinitamente*

*Universo aperto → si espande per sempre*

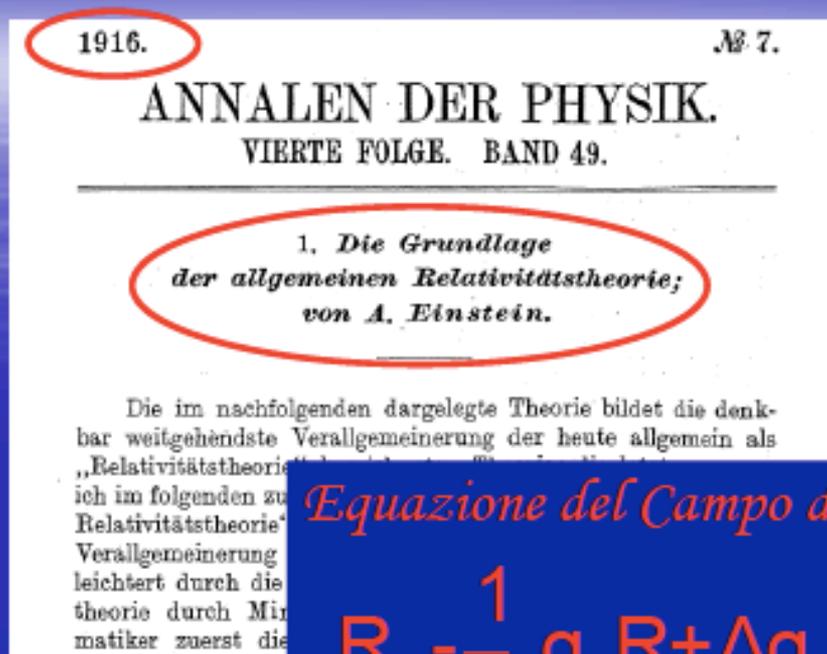
**MA IN OGNI CASO CI ASPETTIAMO CHE  
L'ESPANSIONE DELL'UNIVERSO NON POSSA  
ACCELERARE!**

# ...E INVECE ...





*Albert Einstein (1879-1955)*



*Equazione del Campo di Gravitazione*

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ij} R + \Lambda g_{ik} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik}$$

*Costante Cosmologica*

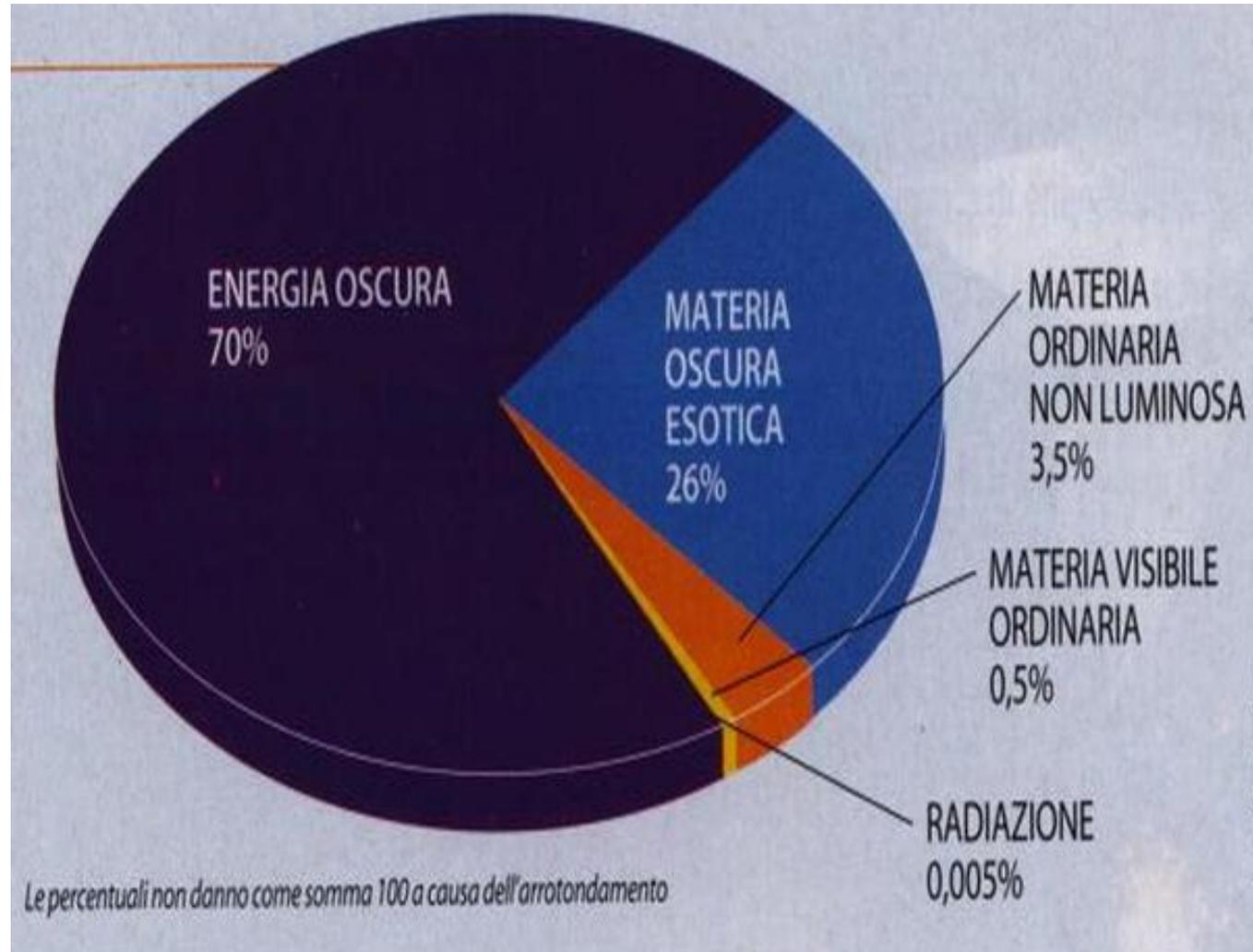
**LA COSTANTE COSMOLOGICA SORGENTE DELL'ENERGIA OSCURA DELL'UNIVERSO E CAUSA DELLA SUA ESPANSIONE ACCELERATA?**

# IL PROBLEMA DELLA *COSTANTE COSMOLOGICA*

- Se il campo  $H$  ha un valore nel vuoto quantistico di  $\sim 100$  volte la massa del protone  
→ **puo' essere  $H$  nel vuoto a dare l'energia oscura?**
- **NO:**  $\langle H \rangle \neq 0$  produrrebbe un'energia del vuoto quantistico che e'  **$10^{60}$  piu' grande dell'energia oscura osservata**
- Altro problema di **cancellazione ultra-fine** dei parametri: caso o necessita', **multi-verso** o **nuove ignote simmetrie** della Natura

# Bilancio energetico dell' Universo

MATERIA  
OSCURA:  
NON E'  
FATTA DI  
PROTONI E  
NEUTRONI  
COME LA  
MATERIA  
ORDINARIA



NON SAPPIAMO  
CHE COSA  
COSTITUISCA IL  
**95%**  
DELL' UNIVERSO

