

**Alessandro Pluchino**

# **L'Enigma "Riccioli d'Oro"**

**Perchè viviamo in un Universo favorevole  
all'emergere della Complessità e della Vita?**

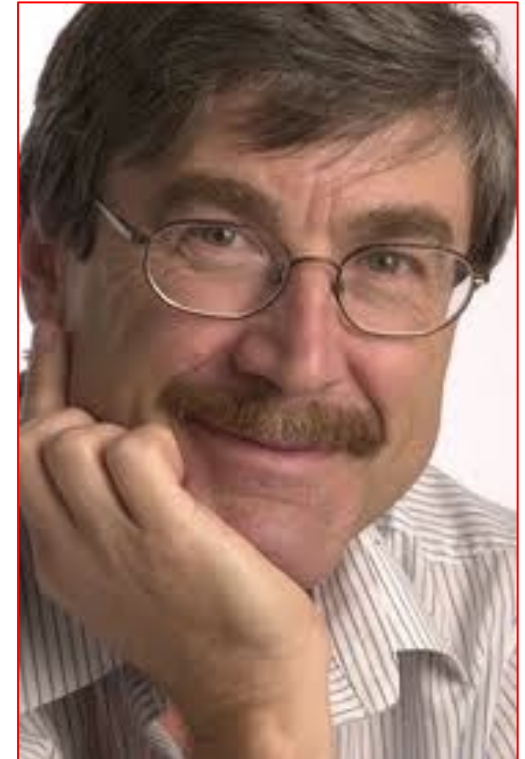


# Il fenomeno della vita nell'Universo

## Caso o Necessità?



“L’origine della vita è stato un **incredibile colpo di fortuna** chimico che può essere capitato **una sola volta** nell’Universo osservabile oppure è stato l’esito prevedibile di **leggi e parametri intrinsecamente favorevoli** alla vita che ne facilitano la comparsa quando prevalgano condizioni di tipo terrestre?”



# Il fenomeno della vita nell'Universo

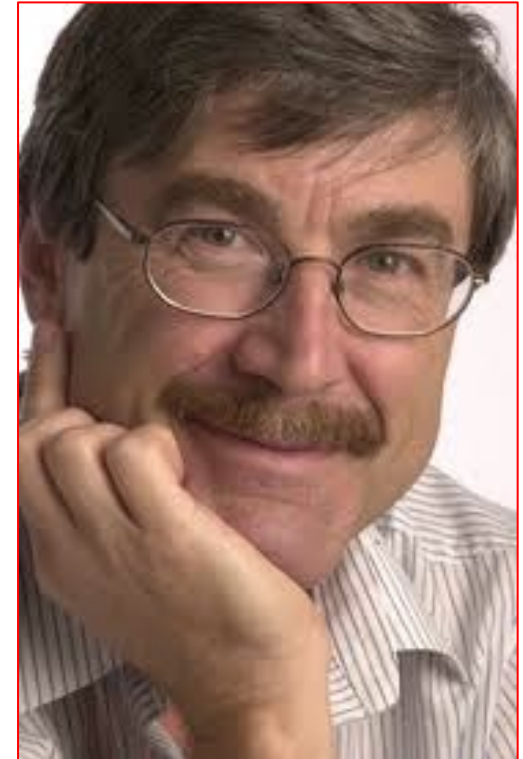
## Caso o Necessità?



“L’origine della vita è stato un **incredibile colpo di fortuna** chimico che può essere capitato **una sola volta** nell’Universo osservabile oppure è stato l’esito prevedibile di **leggi e parametri intrinsecamente favorevoli** alla vita che ne facilitano la comparsa quando prevalgano condizioni di tipo terrestre?”

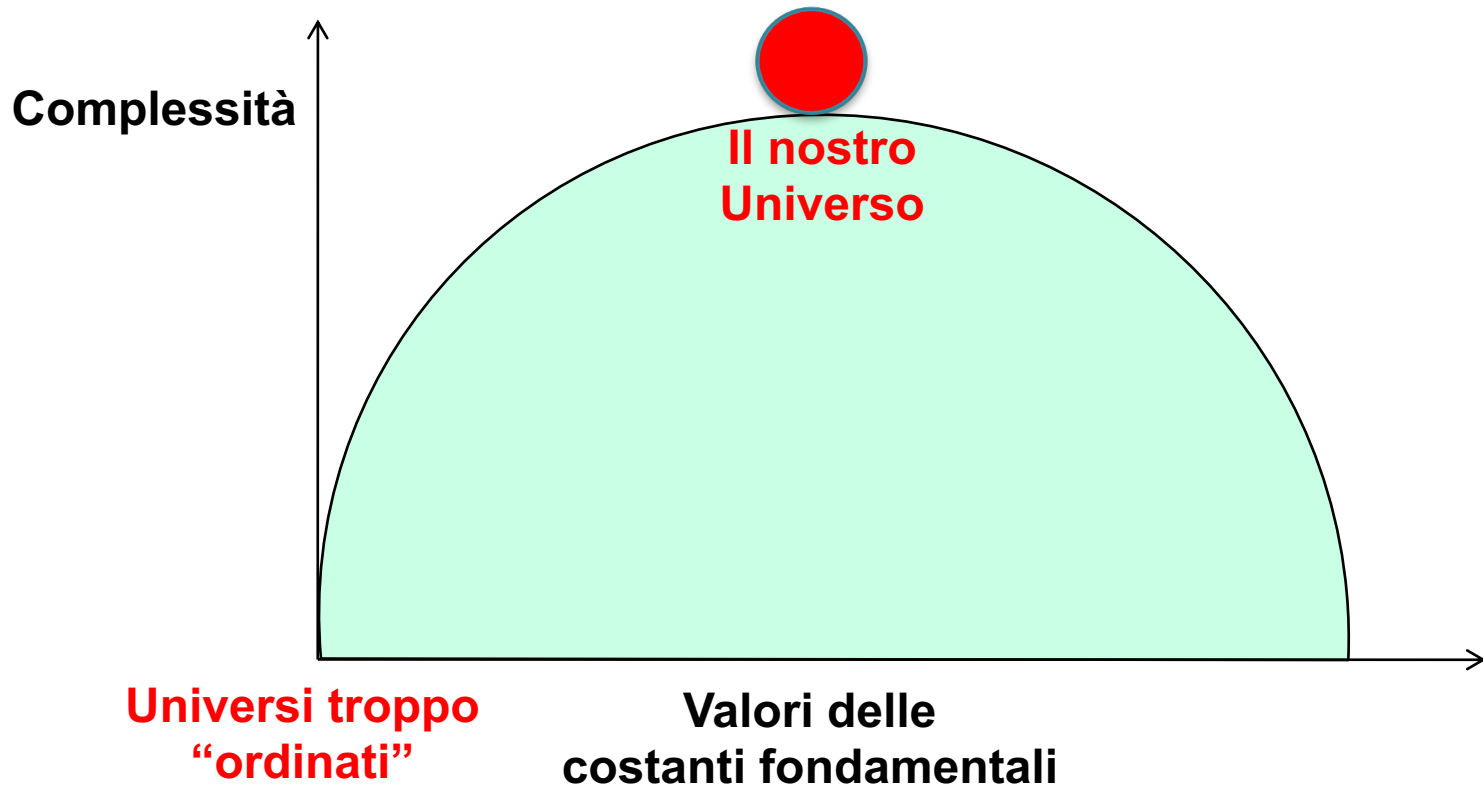
Secondo **Paul Davies**, perché sia possibile l’emergere di forme di vita nell’Universo, e **prima ancora che possa mettersi in moto qualunque meccanismo evolutivo o processo di auto-organizzazione**, devono essere soddisfatti **tre requisiti** assolutamente fondamentali (ovvero **NECESSARI** ma **NON SUFFICIENTI**):

- 1) Le leggi della fisica devono permettere la formazione di strutture complesse;**
- 2) L’Universo deve contenere degli elementi chimici pesanti, come il carbonio, di cui la biologia si avvale;**
- 3) Deve esistere un ambiente appropriato (stabile, con una fonte di energia tipo il Sole) in cui i componenti vitali possano unirsi nel modo appropriato.**



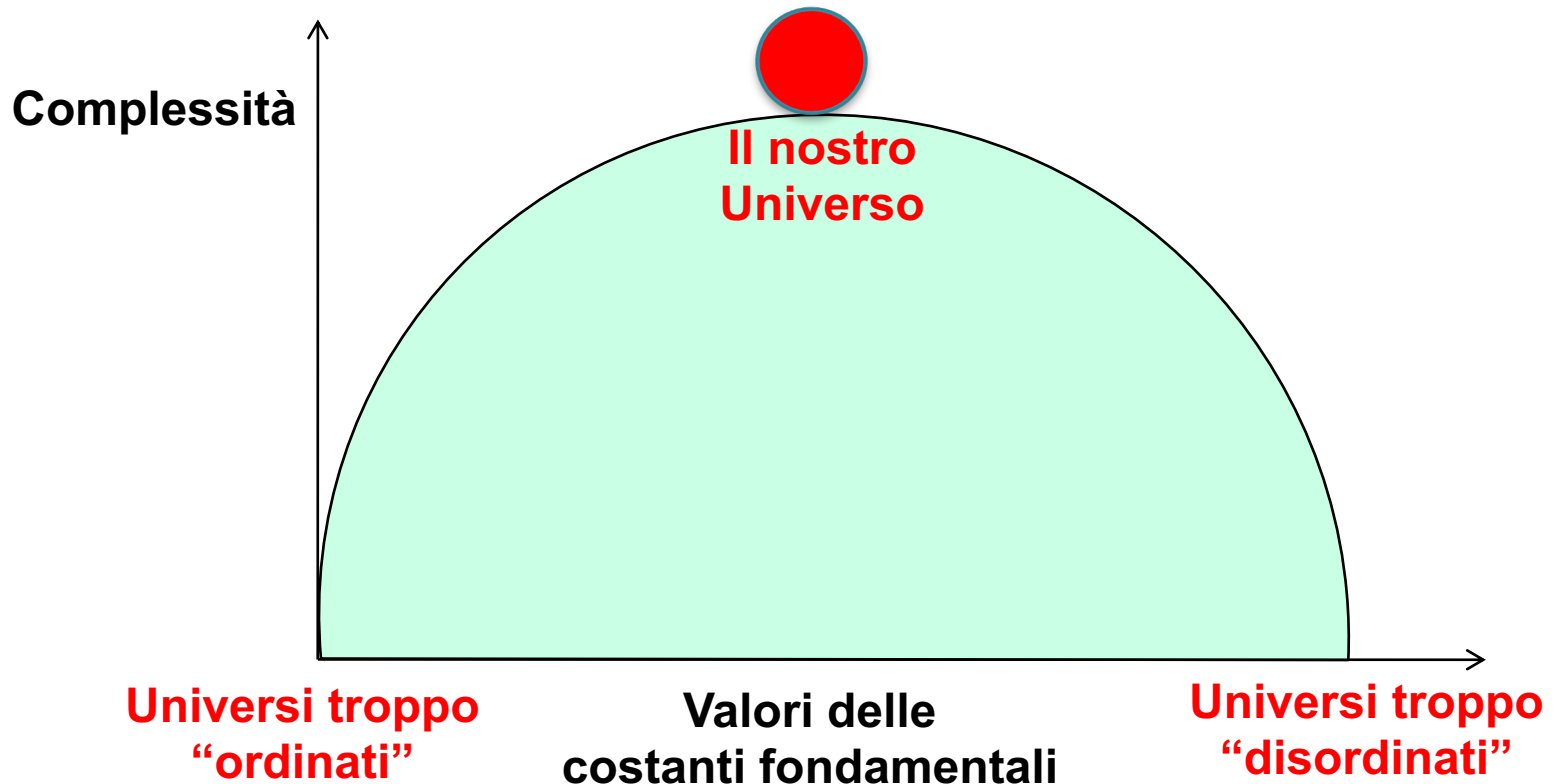
# Vita e complessità : un equilibrio instabile...

Le recenti scoperte scientifiche mettono in luce un fatto che lascia alquanto sconcertati: molte caratteristiche fondamentali del nostro universo sembrano calibrate in modo apparentemente **miracoloso** per permettere l'emergere della complessità e l'esistenza della vita. Ad es., spostamenti anche minimi dei valori delle **costanti fondamentali** potrebbero dare luogo a universi altrettanto fisicamente sensati del nostro, ma senza alcuna speranza di ospitare un qualunque tipo di struttura complessa...



# Vita e complessità : un equilibrio instabile...

Le recenti scoperte scientifiche mettono in luce un fatto che lascia alquanto sconcertati: molte caratteristiche fondamentali del nostro universo sembrano calibrate in modo apparentemente **miracoloso** per permettere l'emergere della complessità e l'esistenza della vita. Ad es., spostamenti anche minimi dei valori delle **costanti fondamentali** potrebbero dare luogo a universi altrettanto fisicamente sensati del nostro, ma senza alcuna speranza di ospitare un qualunque tipo di struttura complessa...



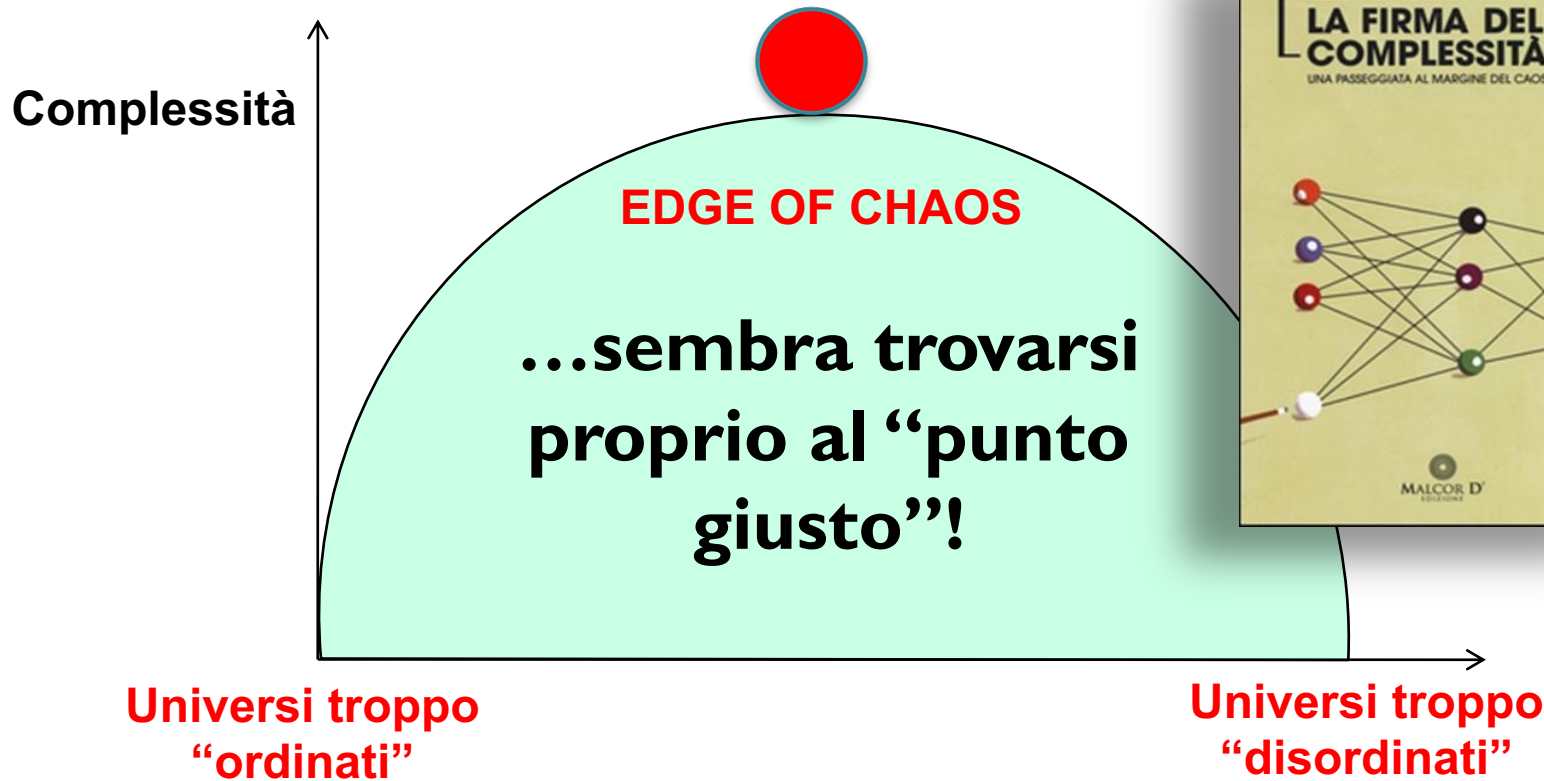
# Vita e complessità : un equilibrio instabile...

Le recenti scoperte scientifiche mettono in luce un fatto che lascia alquanto sconcertati: molte caratteristiche fondamentali del nostro universo sembrano calibrate in modo apparentemente **miracoloso** per permettere l'emergere della complessità e l'esistenza della vita. Ad es., spostamenti anche minimi dei valori delle **costanti fondamentali** potrebbero dare luogo a universi altrettanto fisicamente sensati del nostro, ma senza alcuna speranza di ospitare un qualunque tipo di struttura complessa...



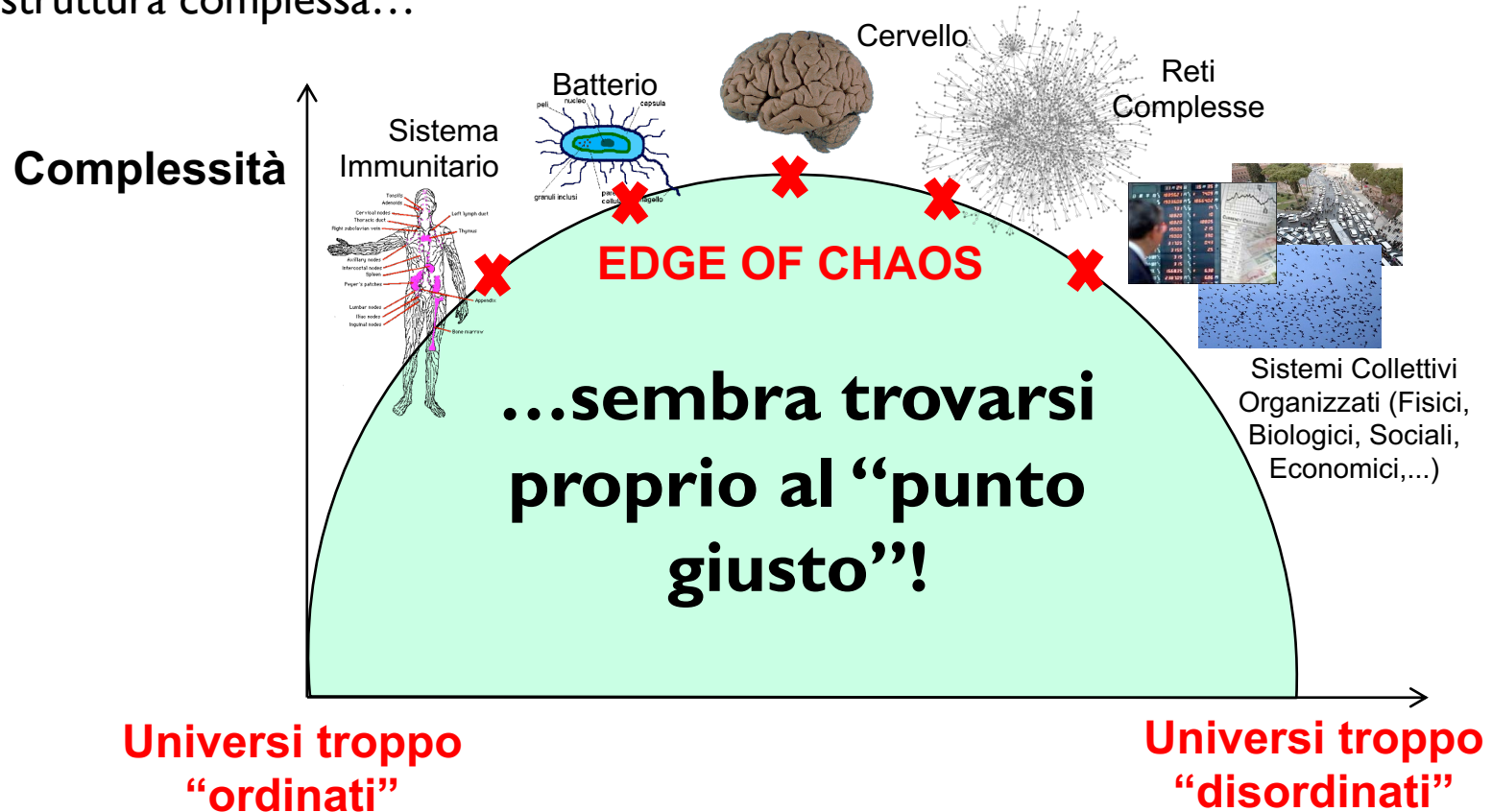
# Vita e complessità : un equilibrio instabile...

Le recenti scoperte scientifiche mettono in luce un fatto che lascia alquanto sconcertati: molte caratteristiche fondamentali del nostro universo sembrano calibrate in modo apparentemente **miracoloso** per permettere l'emergere della complessità e l'esistenza della vita. Ad es., spostamenti anche minimi dei valori delle **costanti fondamentali** potrebbero dare luogo a universi altrettanto fisicamente sensati del nostro, ma senza alcuna speranza di ospitare un qualunque tipo di struttura complessa...



# Vita e complessità : un equilibrio instabile...

Le recenti scoperte scientifiche mettono in luce un fatto che lascia alquanto sconcertati: molte caratteristiche fondamentali del nostro universo sembrano calibrate in modo apparentemente **miracoloso** per permettere l'emergere della complessità e l'esistenza della vita. Ad es., spostamenti anche minimi dei valori delle **costanti fondamentali** potrebbero dare luogo a universi altrettanto fisicamente sensati del nostro, ma senza alcuna speranza di ospitare un qualunque tipo di struttura complessa...



# La favola di Riccioli d'Oro e i tre orsi

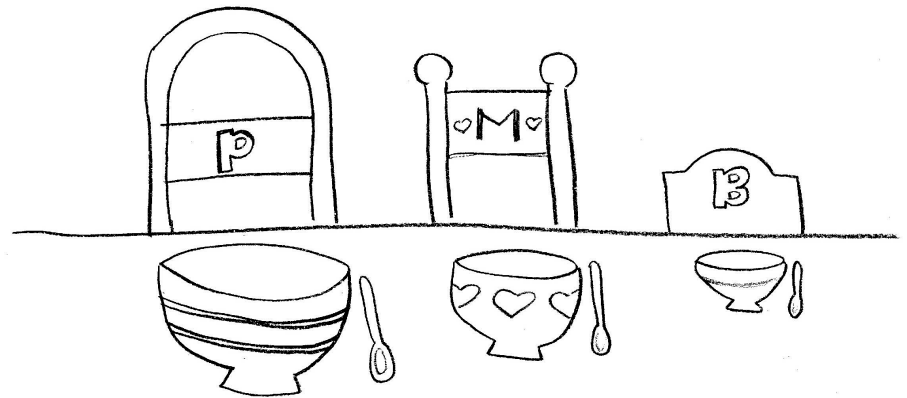
"[...] Una mattina, dopo aver preparato il latte e averlo versato nelle ciotole, i **tre Orsi** andarono a fare una passeggiata nel bosco; aspettavano che il latte si raffreddasse, perché non volevano scottarsi la bocca.

Mentre camminavano nel bosco, una bambina che si chiamava **Riccioli d'Oro** giunse alla loro casa.

Guardò prima dalla finestra, poi dal buco della serratura e, non vedendo nessuno nella casa, fece scorrere il catenaccio ed entrò. Vide allora la colazione pronta sul tavolo. Prima assaggiò il latte del Papà Orso ma era **troppo caldo**. Poi assaggiò il latte della Mamma Orso ma questo era **troppo freddo**. Si avvicinò poi alla ciotola dell'Orso Baby e qui trovò che il latte non era né caldo né freddo ma era **al punto giusto**, così lo bevve tutto..."



Papa Bear, Mama Bear and Baby Bear have gone out for a walk.  
What do you think Goldilocks finds in their bowls?



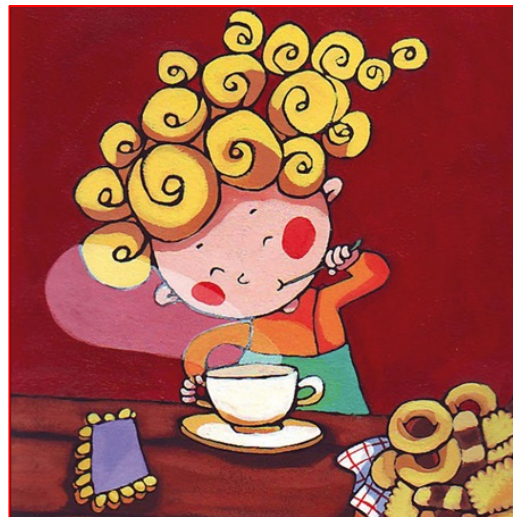
## PARTE PRIMA

# L'effetto "Riccioli d'Oro" in un Universo Giocattolo



*“Le analogie non dimostrano nulla, questo è vero, ma aiutano a capire”.*

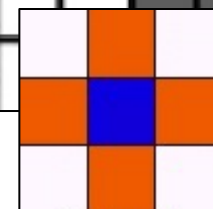
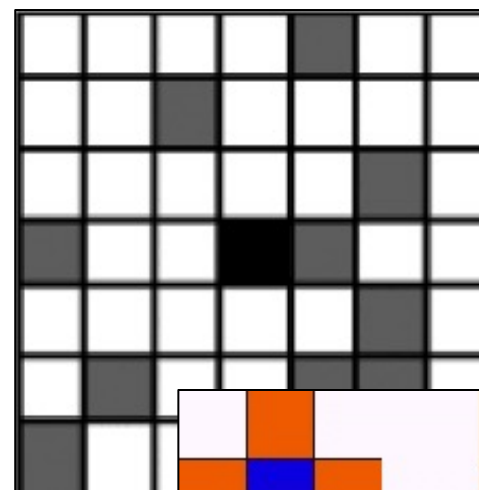
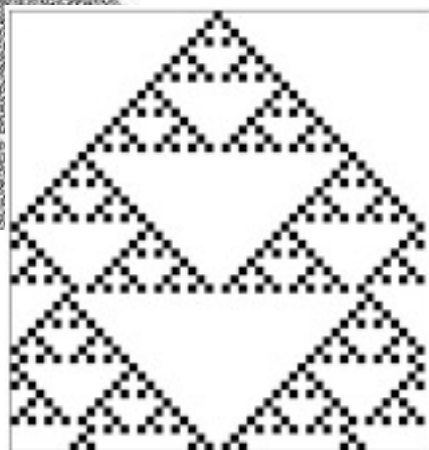
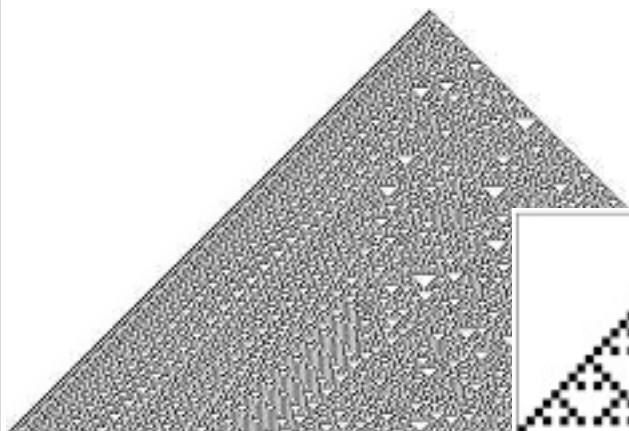
**Sigmund Freud**



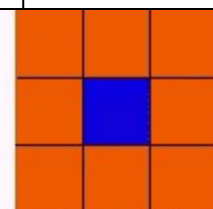
# L'Universo Giocattolo: del 'GIOCO DELLA VITA'



Il “gioco della vita” (*Game of Life*) è un **automa cellulare bidimensionale** sviluppato dal matematico inglese **John Conway** sul finire degli anni Sessanta del secolo scorso ed è probabilmente l'esempio più famoso nel suo genere: il suo scopo è quello di mostrare come **comportamenti collettivi piuttosto complessi possano emergere da semplici regole e interazioni locali deterministiche.**



Intorno di  
von Neumann



Intorno di  
Moore

# L'Universo Giocattolo: del 'GIOCO DELLA VITA'



Il “gioco della vita” (*Game of Life*) è un **automa cellulare bidimensionale** sviluppato dal matematico inglese **John Conway** sul finire degli anni Sessanta del secolo scorso ed è probabilmente l'esempio più famoso nel suo genere: il suo scopo è quello di mostrare come **comportamenti collettivi piuttosto complessi possano emergere da semplici regole e interazioni locali deterministiche.**

**Gli ingredienti per costruire il nostro universo giocattolo sono 4:**

**1. Lo Spazio Fisico**

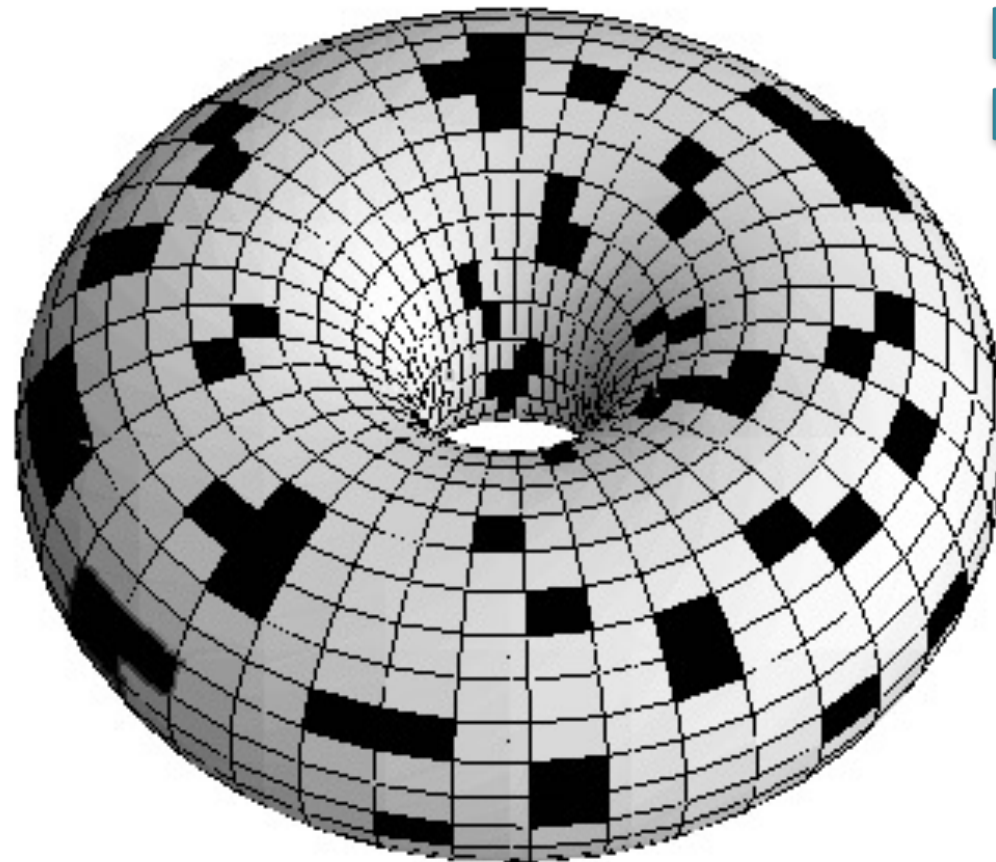
**2. Le Condizioni Iniziali**

**3. Le Leggi Fisiche**

**4. Le Costanti di Natura**

# 1. Lo Spazio Fisico

La topologia della griglia-universo è quella di una  
**SUPERFICIE TOROIDALE:**  
un esempio di Universo 2D finito ma illimitato...



- celle "vive"
- celle "morte"

# 2. Le Condizioni Iniziali

## Condizioni iniziali casuali a densità variabile

Le **condizioni iniziali** dell'universo giocattolo del “gioco della vita” sono di solito rappresentate da una griglia con una **configurazione casuale di cellette vive o morte** (cioè nere o bianche). Un parametro **D** regola la **densità iniziale** delle celle vive (cioè la percentuale di celle vive rispetto al totale). Ponendo **D=35(%)**, al **tempo t=0** il nostro universo bidimensionale si presenta ad esempio così:

**t=0**

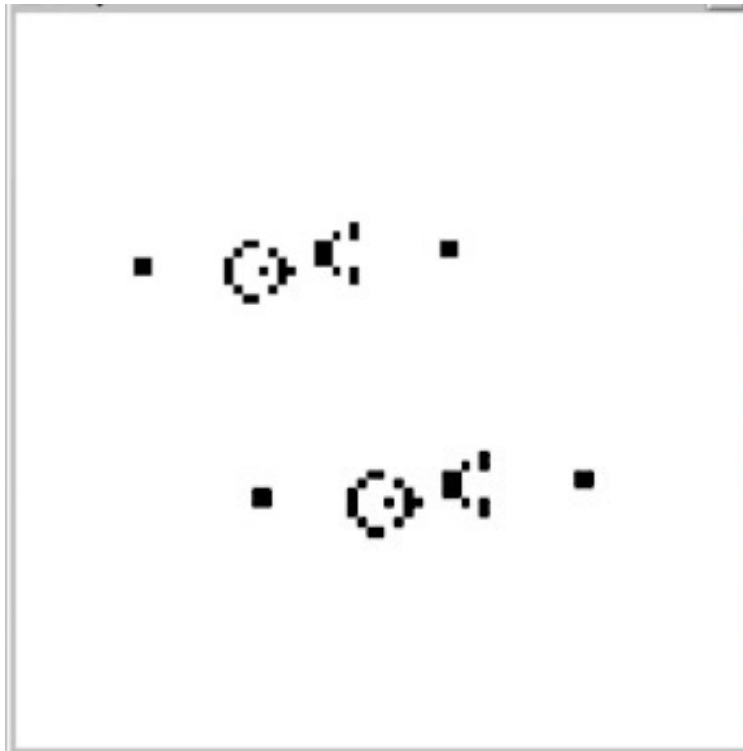


# 2. Le Condizioni Iniziali

## Condizioni iniziali particolari

Ovviamente nulla vieta di adottare **condizioni iniziali particolari**, cioè con una disposizione ben precisa delle celle vive o morte, scelta da un “**Progettista Cosmico**” (in questo caso l'utente del gioco Life) magari allo scopo di generare **strutture complesse** di un certo tipo...

**t=0**



il  
**Progettista  
Cosmico**

# 3. Le Leggi Fisiche

Le **leggi fisiche** (regole del gioco) che determinano l'**evoluzione dinamica** dello stato delle cellette nel tempo, a partire da un certo **stato iniziale a  $t=0$**  (che come abbiamo detto è di solito rappresentato da una **configurazione casuale** di celle vive e morte), sono solo **due**:

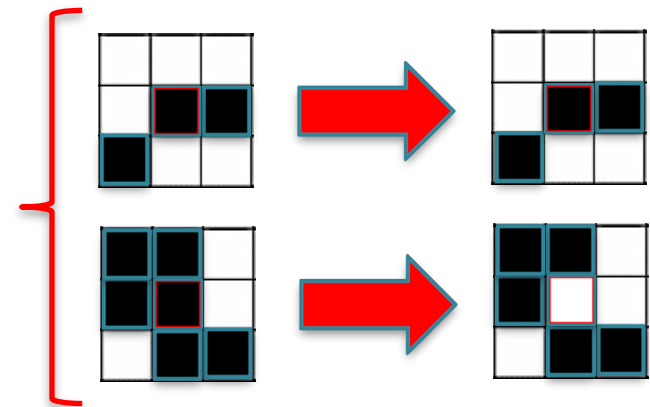
**1) Legge della Nascita:** una cella morta (bianca, al centro) con esattamente **N** vicini vivi *nasce*, diventando *viva* (nera)

Ad es.  
se  $N=3$ :



**2) Legge della Sopravvivenza o della Morte:** una cella viva (nera, al centro) con esattamente **M** vicini vivi *sopravvive*; altrimenti *muore* (per *isolamento* o *sovraffollamento*)

Ad es.  
se  $M=2$



# 4. Le Costanti di Natura

Le **costanti di natura** sono i cosiddetti “**parametri liberi**” che determinano le condizioni iniziali dell’universo o che compaiono nelle leggi fisiche. In questo caso, come si è già visto, abbiamo solo **tre** parametri liberi:

**D:** definisce la densità iniziale di celle vive nel nostro universo giocattolo.

**N:** rappresenta il numero di celle vicine vive necessarie a far nascere una cella morta (parametro di nascita).

**M:** rappresenta il numero di celle vicine vive necessarie a far sopravvivere una cella viva (parametro di sopravvivenza).



**EBBENE, E' FACILE VERIFICARE COME  
NELL'UNIVERSO GIOCATTOLO  
DEL 'GIOCO DELLA VITA'  
SIA PRESENTE UN  
«EFFETTO RICCIOLI D'ORO»...**

# Un Universo “al punto giusto”



Infatti, sembra che esista un'unica combinazione di parametri liberi che conduce ad universi che **non** siano **troppo ordinati o troppo disordinati**, ma che siano invece “**al punto giusto**”, ovvero adatti all'emergere di strutture **complesse**, e che siano quelli (non a caso) scelti originariamente da John Conway, ovvero: **N=3, M=2 o 3 e D compresa tra il 5% e l'80%**.

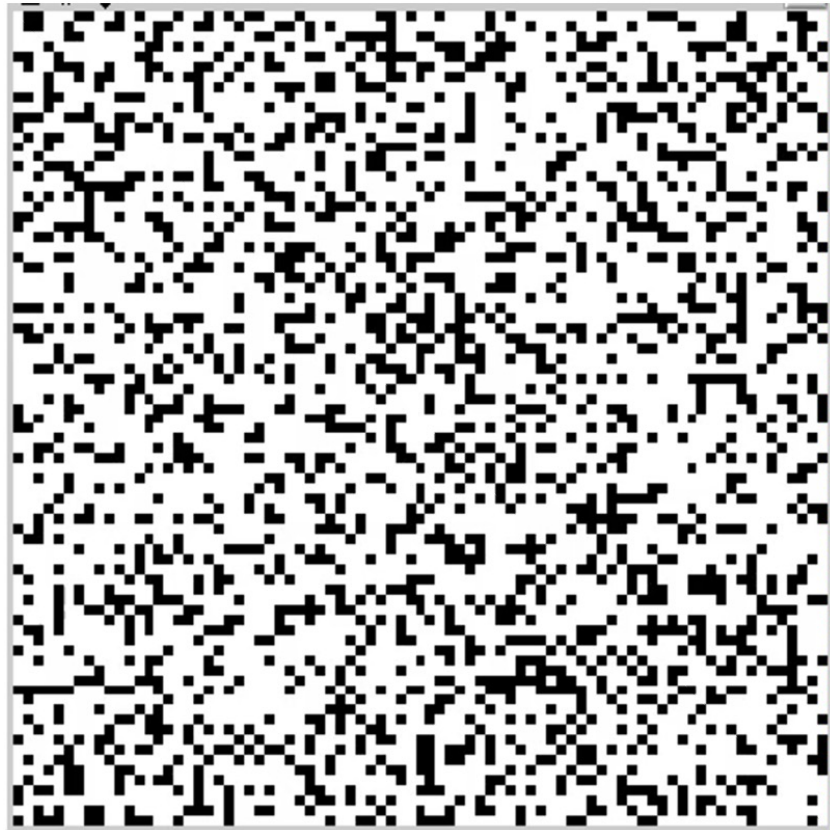
**D=30%**

**N=3**

**M=2 o 3**



Qui è  
J.Conway  
il  
Progettista  
Cosmico



# Un Universo “al punto giusto”



Infatti, sembra che esista un'unica combinazione di parametri liberi che conduce ad universi che **non** siano **troppo ordinati o troppo disordinati**, ma che siano invece “**al punto giusto**”, ovvero adatti all'emergere di strutture **complesse**, e che siano quelli (non a caso) scelti originariamente da John Conway, ovvero: **N=3, M=2 o 3 e D compresa tra il 5% e l'80%**.

**D=30%**

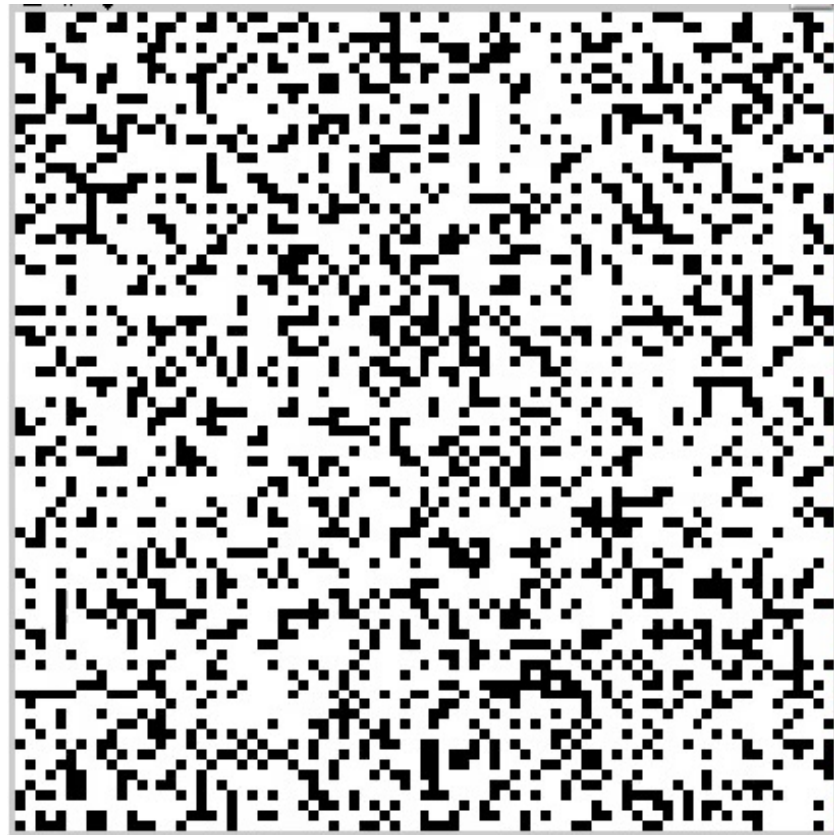
Universi  
troppo  
ordinati

**N≠3**

**M≠2 o 3**



Qui è  
J.Conway  
il  
Progettista  
Cosmico



# Un Universo “al punto giusto”



Infatti, sembra che esista un'unica combinazione di parametri liberi che conduce ad universi che **non** siano **troppo ordinati o troppo disordinati**, ma che siano invece “**al punto giusto**”, ovvero adatti all'emergere di strutture **complesse**, e che siano quelli (non a caso) scelti originariamente da John Conway, ovvero: **N=3, M=2 o 3 e D compresa tra il 5% e l'80%**.

**D=30%**

Universi  
troppo  
disordinati

**N≠3**

**M≠2 o 3**



Qui è  
J.Conway  
il  
Progettista  
Cosmico



# Un Universo “al punto giusto”



Infatti, sembra che esista un'unica combinazione di parametri liberi che conduce ad universi che **non** siano **troppo ordinati o troppo disordinati**, ma che siano invece “**al punto giusto**”, ovvero adatti all'emergere di strutture **complesse**, e che siano quelli (non a caso) scelti originariamente da John Conway, ovvero: **N=3, M=2 o 3 e D compresa tra il 5% e l'80%**.

**D=30%**

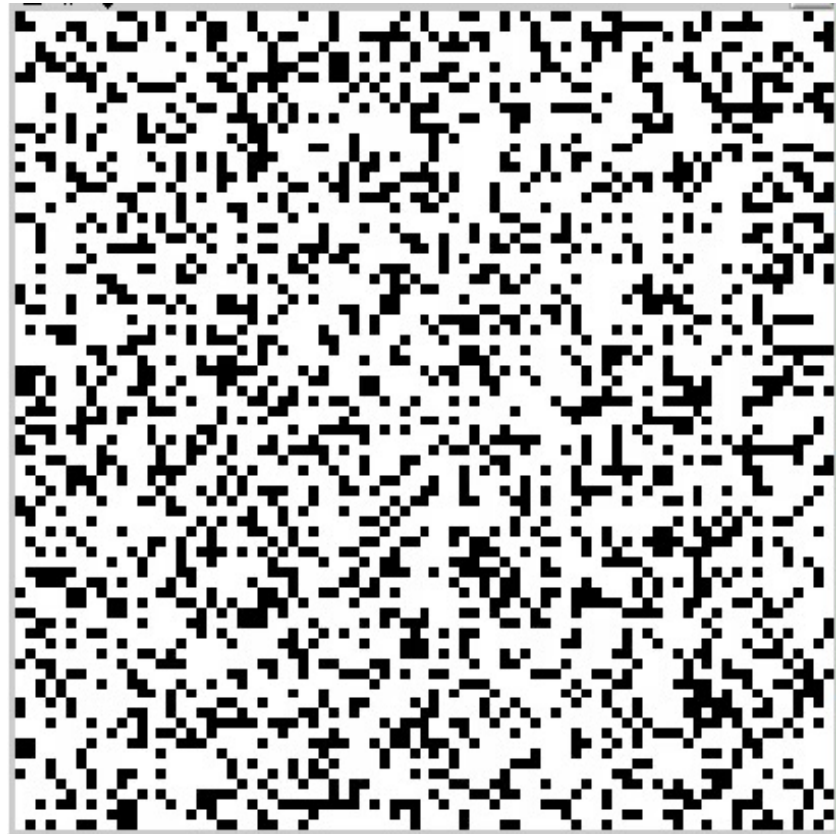
**N=3**

**M=2 o 3**

Universi  
al «punto  
giusto»:  
nasce la  
Vita!



Qui è  
J.Conway  
il  
Progettista  
Cosmico



# Un Universo “al punto giusto”



Infatti, sembra che esista un'unica **combinazione** di parametri liberi che conduce ad universi che **non** siano **troppo ordinati o troppo disordinati**, ma che siano invece “**al punto giusto**”, ovvero adatti all'emergere di strutture **complesse**, e che siano quelli (non a caso) scelti originariamente da John Conway, ovvero: **N=3, M=2 o 3 e D compresa tra il 5% e l'80%**.

**D=30%**

**N=3**

**M=2 o 3**

Universi  
al «punto  
giusto»:  
nasce la  
Vita!



Qui è  
J.Conway  
il  
Progettista  
Cosmico

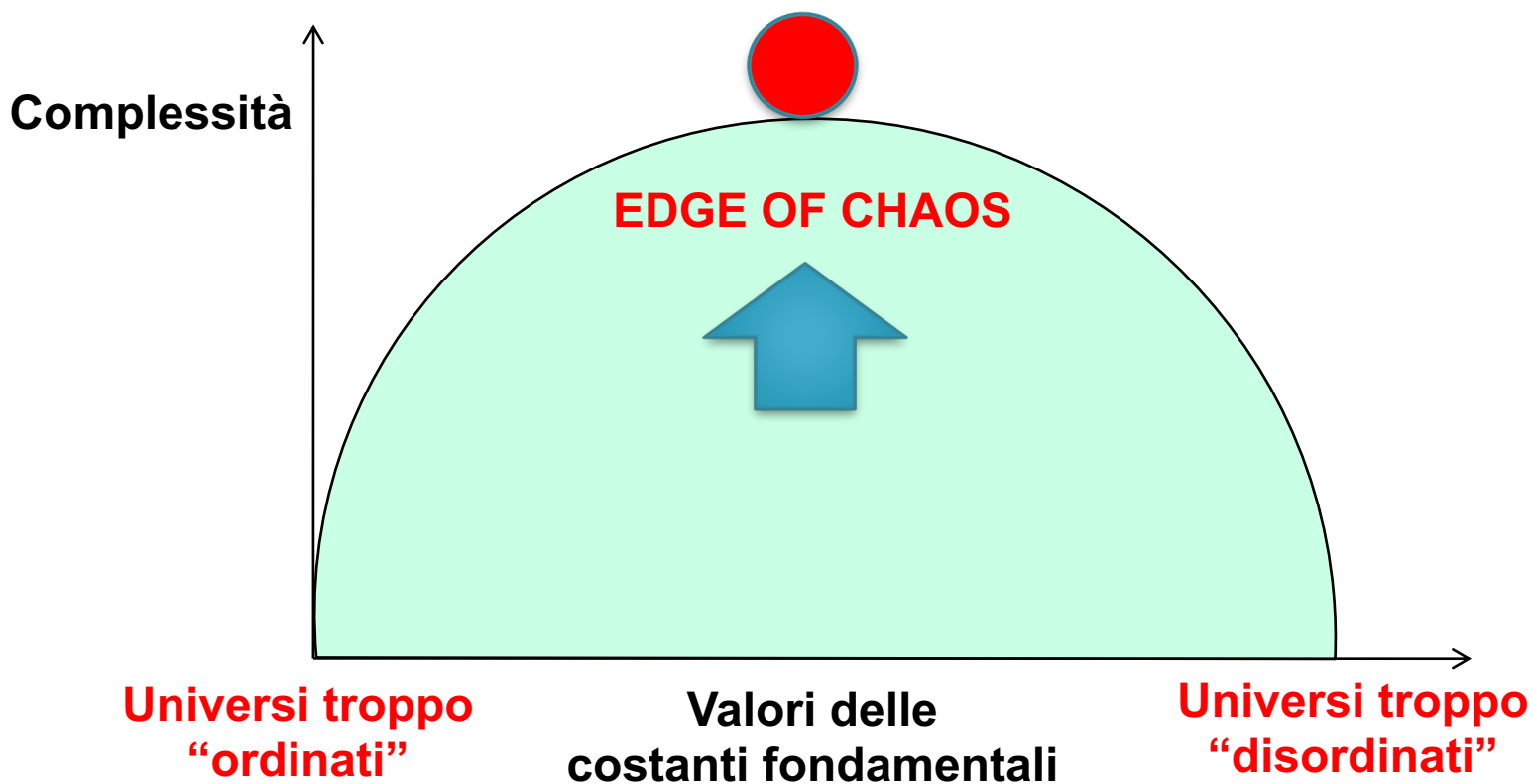
Condizioni iniziali speciali...





# Un Universo “al punto giusto”

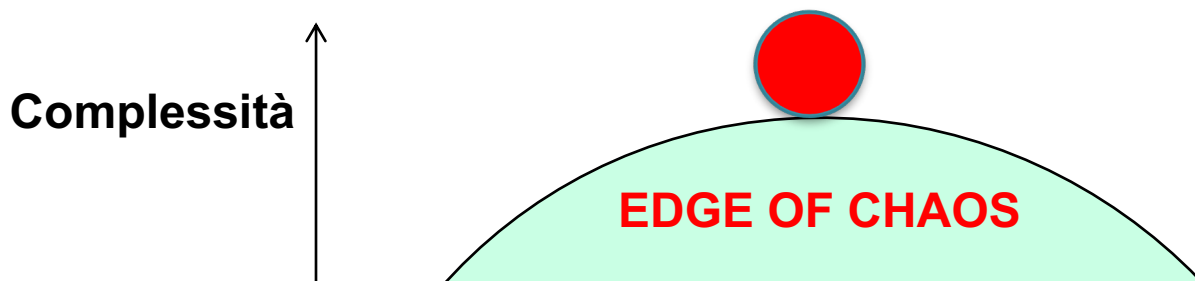
- Infatti, sembra che esista un'unica **combinazione** di parametri liberi che conduce ad universi che **non** siano **troppo ordinati** o **troppo disordinati**, ma che siano invece “**al punto giusto**”, ovvero adatti all'emergere di strutture **complesse**, e che siano quelli (non a caso) scelti originariamente da John Conway, ovvero: **N=3**, **M=2** o **3** e **D** compresa tra il **5%** e l'**80%**.





# Un Universo “al punto giusto”

- Infatti, sembra che esista un'unica **combinazione** di parametri liberi che conduce ad universi che **non** siano **troppo ordinati o troppo disordinati**, ma che siano invece “**al punto giusto**”, ovvero adatti all'emergere di strutture **complesse**, e che siano quelli (non a caso) scelti originariamente da John Conway, ovvero: **N=3, M=2 o 3 e D compresa tra il 5% e l'80%**.



Revisiting the Edge of Chaos:  
Evolving Cellular Automata to Perform  
Computations



Melanie Mitchell<sup>1</sup>, Peter T. Hraber<sup>1</sup>, and James P. Crutchfield<sup>2</sup>

Santa Fe Institute Working Paper 93-03-014

1993



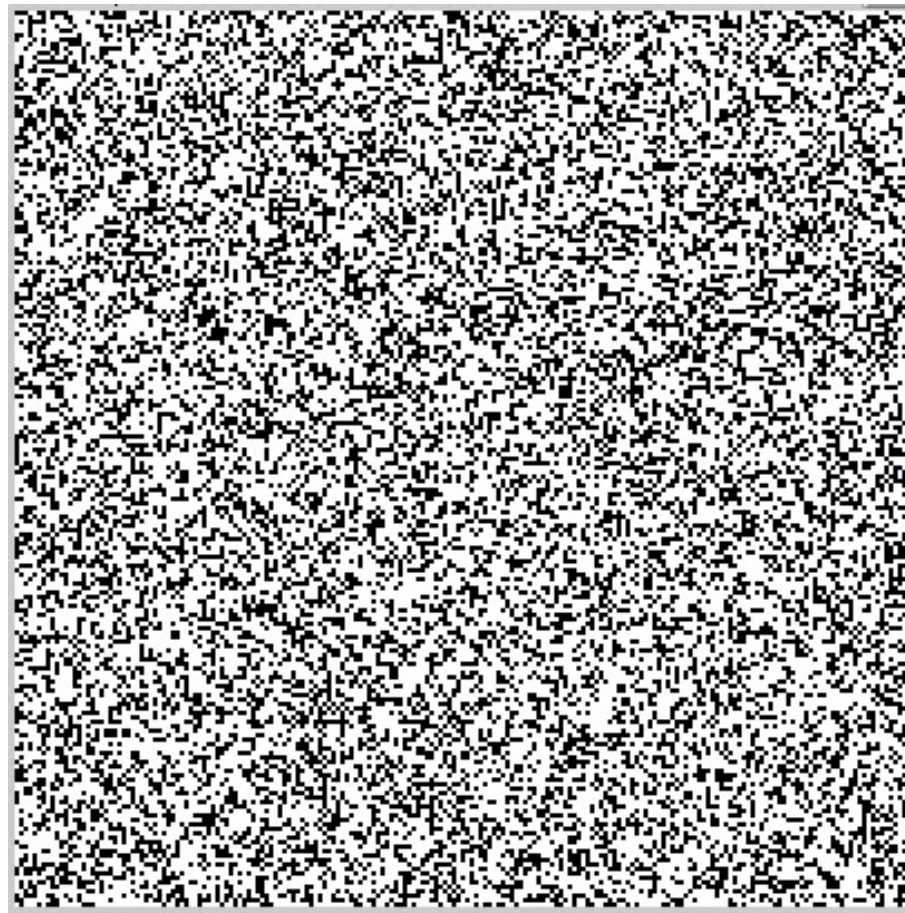
# Tempo e dimensioni dell'Universo

Va sottolineato che le **strutture complesse** hanno bisogno di **tempo** per emergere dalla dinamica del gioco Life a partire da condizioni casuali, ma anche di **spazio** per assicurare una certa varietà nelle strutture stesse. Se infatti **passiamo da una griglia 40x40 (come le precedenti) ad una 100x100**, aumentano le probabilità che strutture complesse interessanti nascano e non si estinguano dopo breve tempo.

**D=30%**

**N=3**

**M=2 o 3**





# Tempo e dimensioni dell'Universo

Va sottolineato che le **strutture complesse** hanno bisogno di **tempo** per emergere dalla dinamica del gioco Life a partire da condizioni casuali, ma anche di **spazio** per assicurare una certa varietà nelle strutture stesse. Se infatti **passiamo da una griglia 40x40 (come le precedenti) ad una 100x100**, aumentano le probabilità che strutture complesse interessanti nascano e non si estinguano dopo breve tempo.

**D=30%**

**N=3**

**M=2 o 3**



“E’ probabile che, riempiendo una parte sufficientemente grande del piano infinito del Gioco della Vita per mezzo di una configurazione aleatoria, dopo un lungo periodo di tempo emergeranno degli esseri autoriproduttori intelligenti che popoleranno lo spazio...”

John Conway

## PARTE SECONDA

# Tracce e indizi dell'effetto “Riccioli d'Oro” nel nostro Universo



In che misura il fenomeno della vita è sensibile alle caratteristiche del nostro Universo? Ovvero: in che misura il nostro Universo si trova “**al punto giusto**” rispetto alla possibilità che in esso nascano forme di vita?

# L'effetto “Riccioli d'Oro” nel nostro Universo



Come abbiamo visto accadere per il “gioco della vita”, anche per quanto riguarda il nostro Universo fisico possiamo raggruppare in **quattro** categorie gli **ingredienti principali** che ne determinano lo sviluppo e le caratteristiche, molte delle quali – come vedremo – sono **indispensabili** per l'emergere della complessità e della vita.

**1. Lo Spazio Fisico**

**2. Le Condizioni Iniziali**

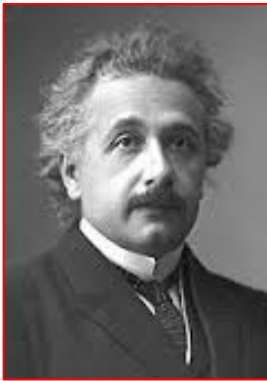
**3. Le Leggi Fisiche**

**4. Le Costanti di Natura**

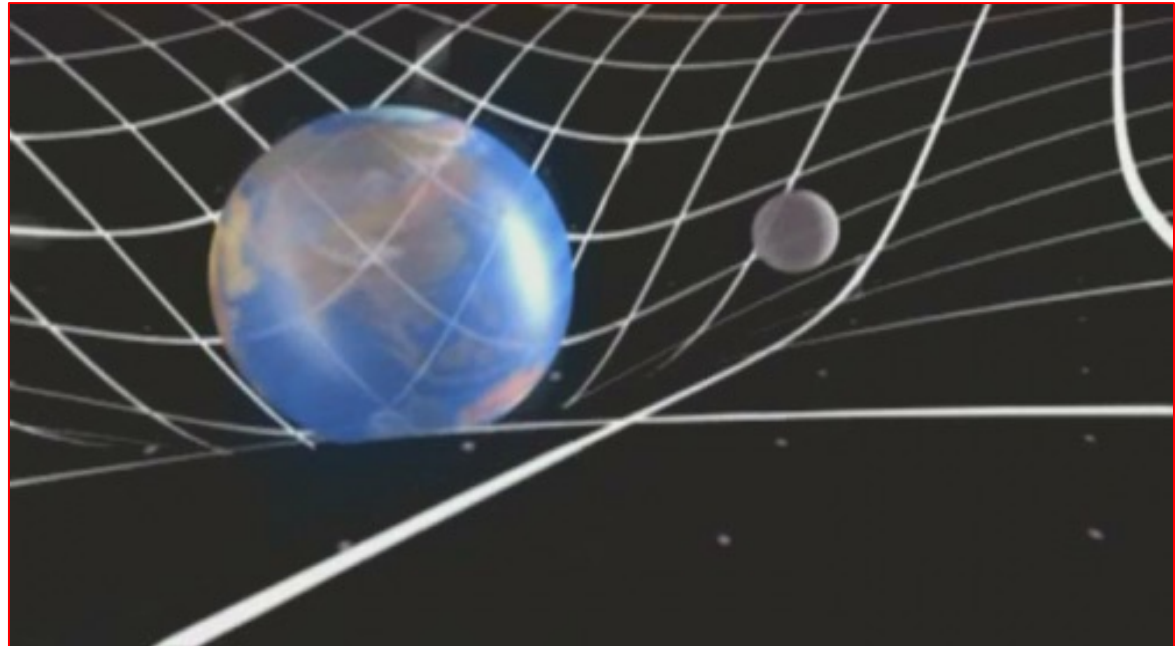
# 1. Lo Spazio Fisico

Qual è la “forma” del nostro Universo?

L'universo osservabile contiene all'incirca  $10^{50}$  tonnellate di materia visibile sotto forma di stelle, gas, polveri interstellari e pianeti (eventuali esseri viventi compresi;-) che concorrono tutti a generare un potente campo gravitazionale. Poiché per la **Teoria della Relatività Generale** di Einstein (1916) la materia incurva la geometria dello spazio, è lecito domandarsi quale sia la **forma globale dell'universo...**



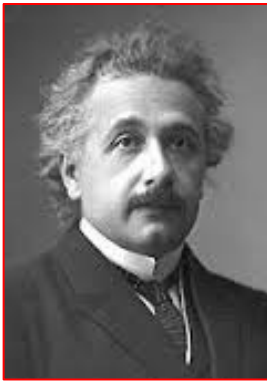
A.Einstein



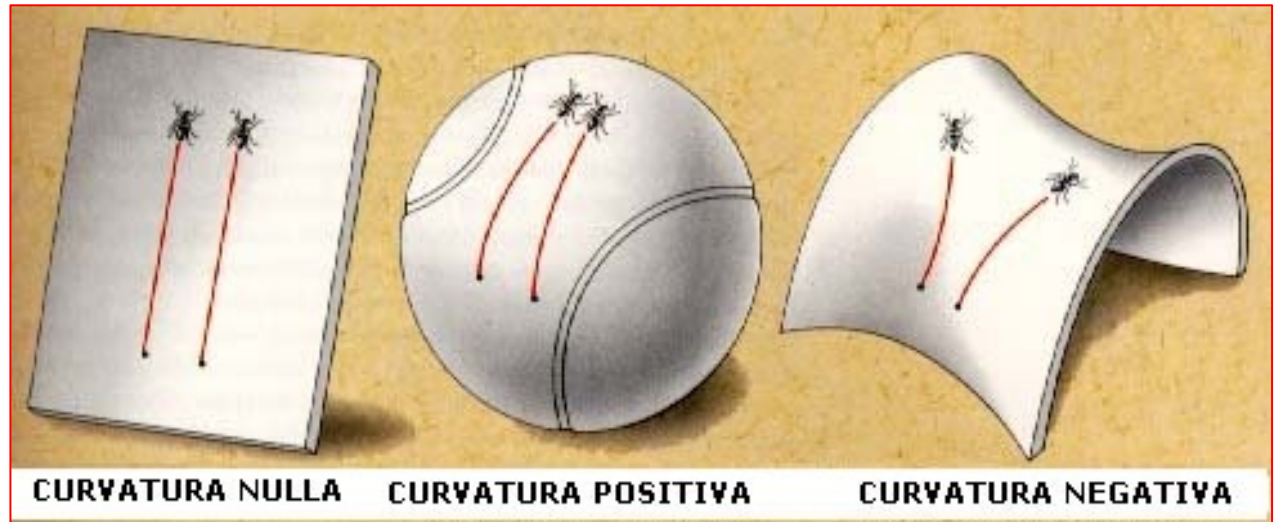
# 1. Lo Spazio Fisico

Qual è la “forma” del nostro Universo?

L'universo osservabile contiene all'incirca  $10^{50}$  tonnellate di materia visibile sotto forma di stelle, gas, polveri interstellari e pianeti (eventuali esseri viventi compresi;-) che concorrono tutti a generare un potente campo gravitazionale. Poiché per la **Teoria della Relatività Generale** di Einstein (1916) la materia incurva la geometria dello spazio, è lecito domandarsi quale sia la **forma globale dell'universo...**



A.Einstein



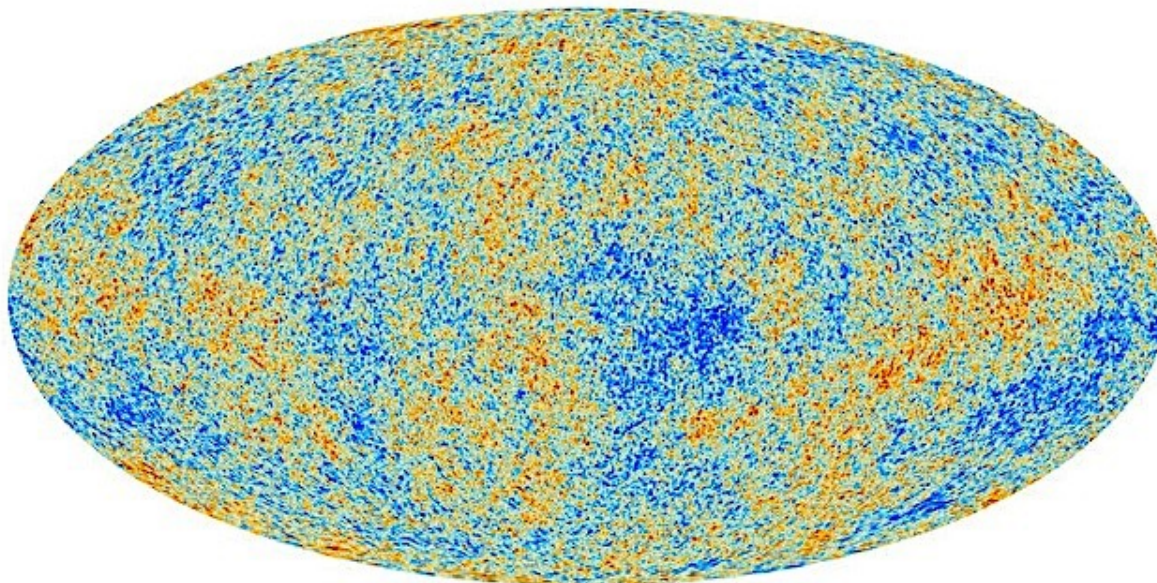
# 1. Lo Spazio Fisico



Penzias e Wilson

## Indizi dalla radiazione cosmica di fondo (CMB 1964)

Questa **mappa termica del cielo** alle frequenze delle microonde (corrispondente a una temperatura di circa 2,7 gradi Kelvin) fornisce un'istantanea dell'Universo a circa **380.000** anni dalla sua nascita, svelando la sua **omogeneità** ed **isotropia** su larga scala. Le macchie e i puntini rappresentano piccole variazioni di temperatura impresse nella radiazione da **fluttuazioni di densità nell'Universo primordiale**. Studiando i particolari di queste variazioni i cosmologi possono comprendere molte cose sull'origine, la storia e il probabile destino dell'universo, ma anche sulla sua **costituzione fisica** e **geometria globale**.



**Principali missioni scientifiche (satelliti sonda):**

**COBE** (NASA 1989)

**WMAP** (NASA 2001)

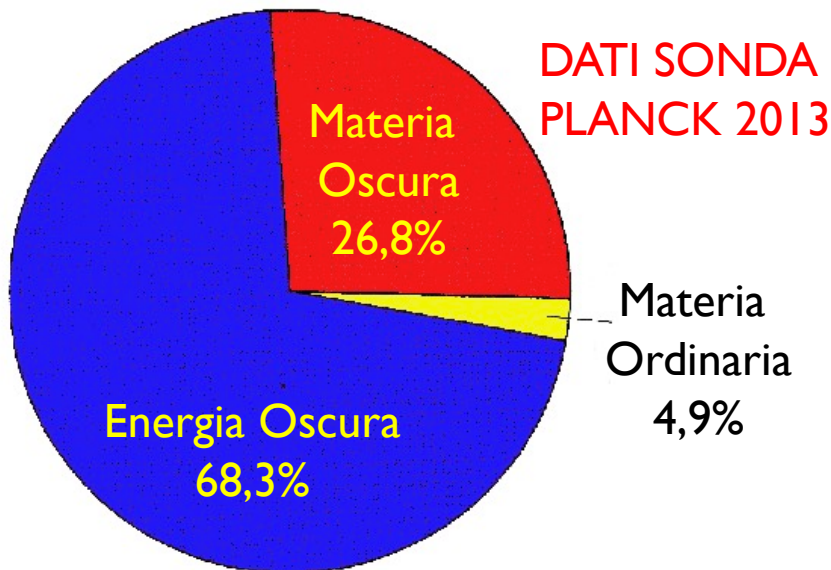
**PLANCK** (ESA 2009)

# 1. Lo Spazio Fisico

## Energia e Materia Oscura

Tra le principali scoperte rese possibili dallo studio della radiazione cosmica di fondo c'è il “**censimento**” delle forme di materia-energia presenti nell'Universo. La **materia ordinaria**, che forma atomi, stelle e galassie (quark + leptoni) rappresenta meno del 5% del totale!

Ma la forma geometrica e il destino ultimo dell'Universo sono strettamente legati alla sua **quantità totale di materia-energia** (comprese quelle oscure)...



LEPTONI			
	carica elettrica		carica elettrica
elettrone	-1	neutrino elettronico	0
muone	-1	neutrino muonico	0
tauone	-1	neutrino tauonico	0

---

QUARK			
	carica elettrica		carica elettrica
down	-1/3	up	+2/3
strange	-1/3	charm	+2/3
bottom	-1/3	top	+2/3

particelle

# 2. Le Condizioni Iniziali

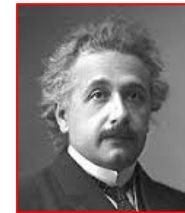
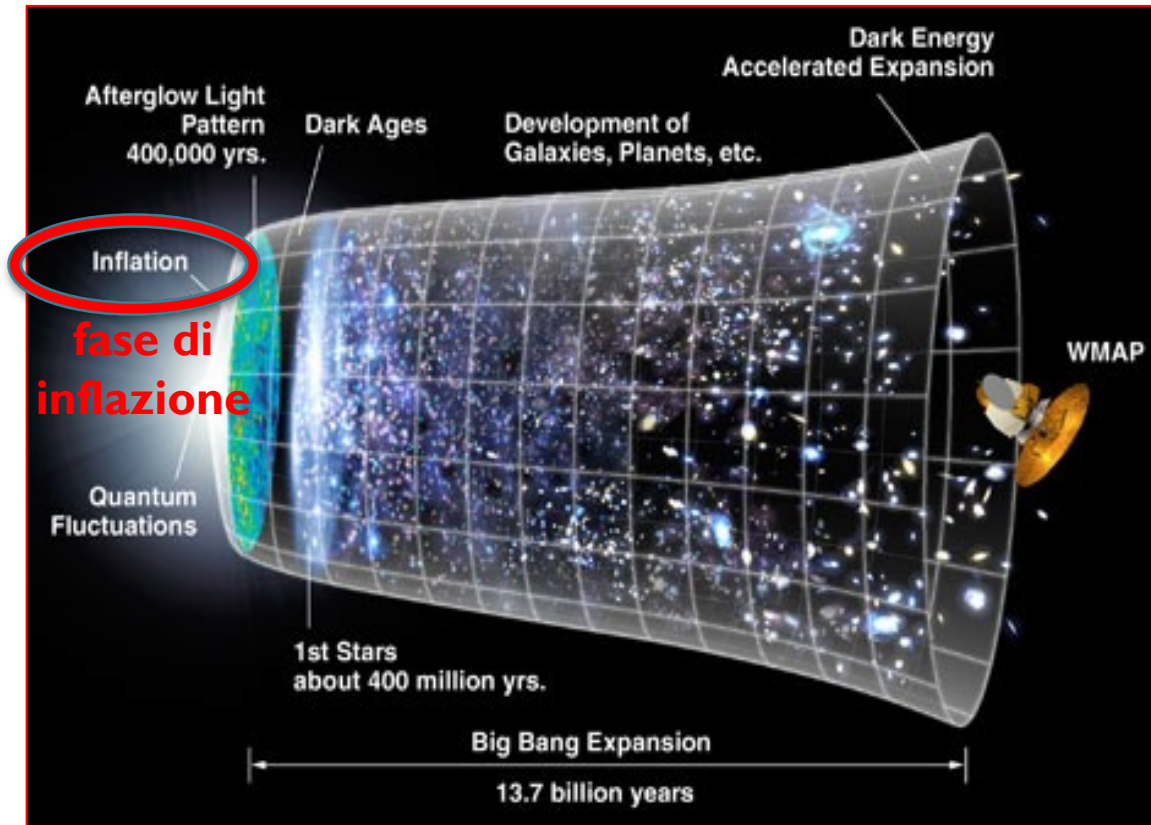
Questo ci porta al problema delle **condizioni iniziali** dell'Universo, cioè al momento del **Big-Bang**...



# 2. Le Condizioni Iniziali

La CMB è la “pistola fumante” del Big Bang!

Infatti le proprietà della radiazione cosmica di fondo sono la prova indiscutibile del fatto che l'Universo ha avuto inizio 13,82 miliardi di anni fa (stima Planck 2013) in uno stato **caldissimo, denso e uniforme**, muovendo dal quale si è dilatato e raffreddato fino a raggiungere la sua forma attuale.



A.Einstein 1916



A.Fridman 1922



G.Lemaitre 1927



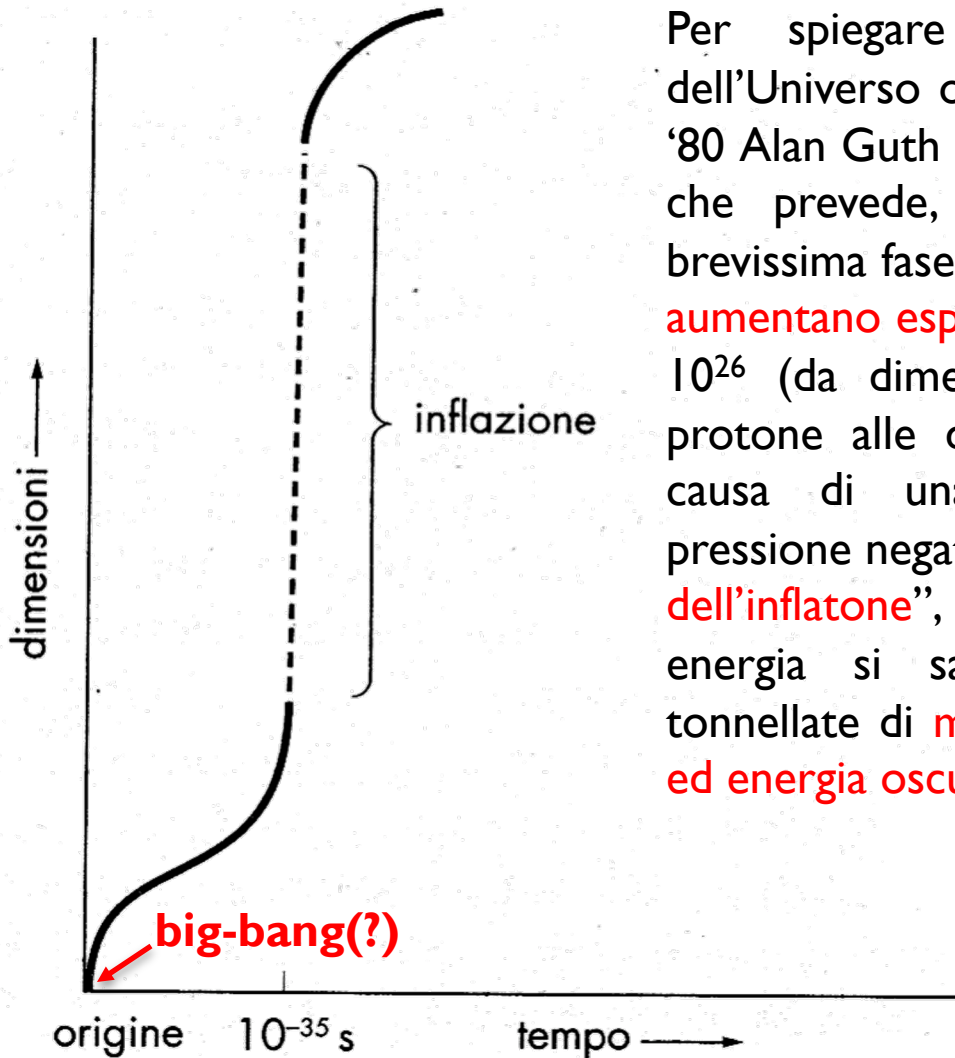
E.Hubble 1929



G.Gamow, 1948

# 2. Le Condizioni Iniziali

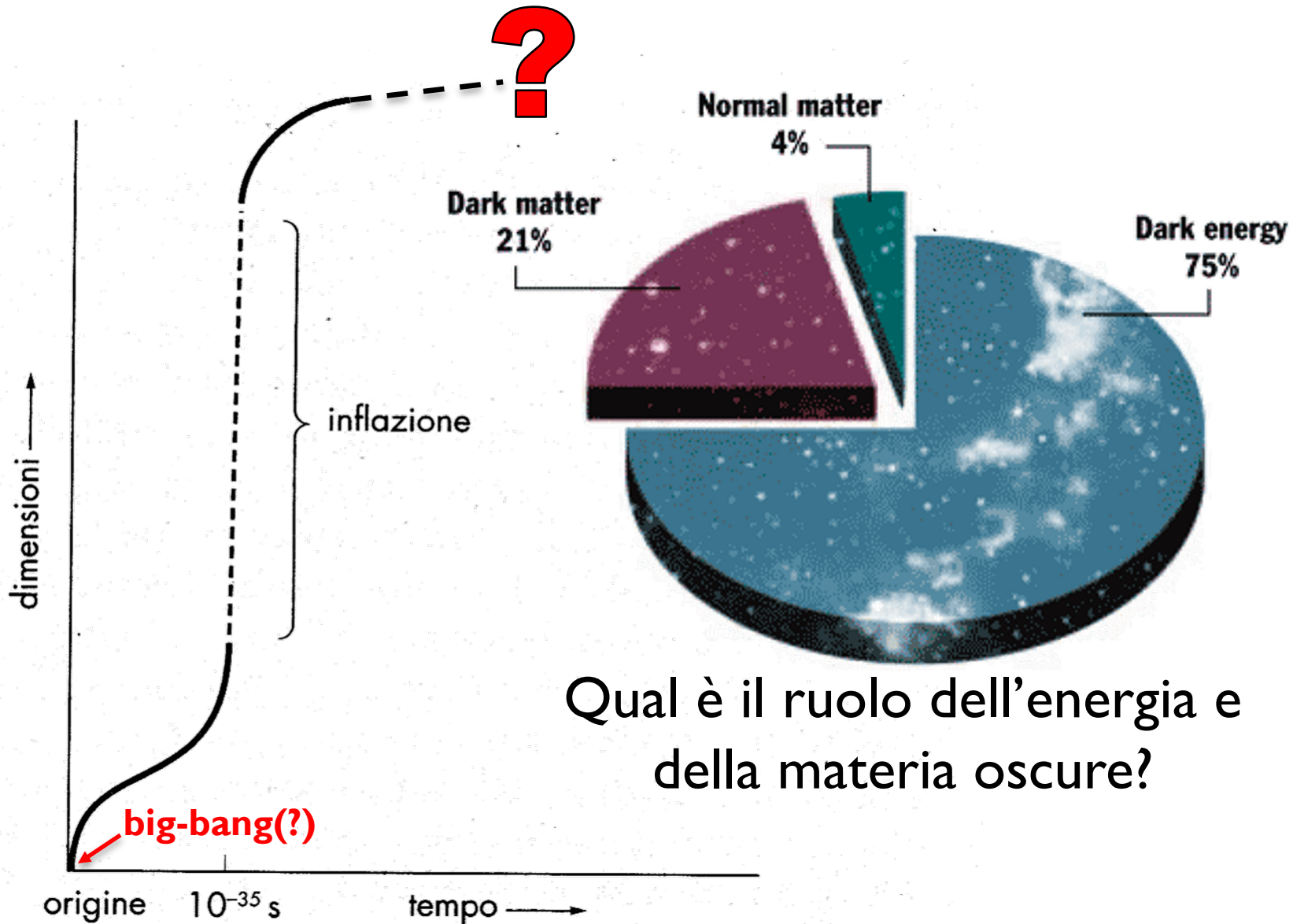
## La fase inflazionaria



Per spiegare l'uniformità e l'omogeneità dell'Universo osservato oggi, all'inizio degli anni '80 Alan Guth propose la **"teoria dell'inflazione"** che prevede, subito dopo il big-bang, una brevissima fase in cui **le dimensioni dell'universo aumentano esponenzialmente** di circa un fattore  $10^{26}$  (da dimensioni inferiori a quelle di un protone alle dimensioni di un pompelmo!) a causa di una forza repulsiva (antigravità, pressione negativa) dovuta al cosiddetto **"campo dell'inflatone"**, un campo scalare dalla cui energia si sarebbero poi create le  $10^{50}$  tonnellate di **materia visibile**, ma anche **materia ed energia oscure...**



# Qual è il Destino dell'Universo?



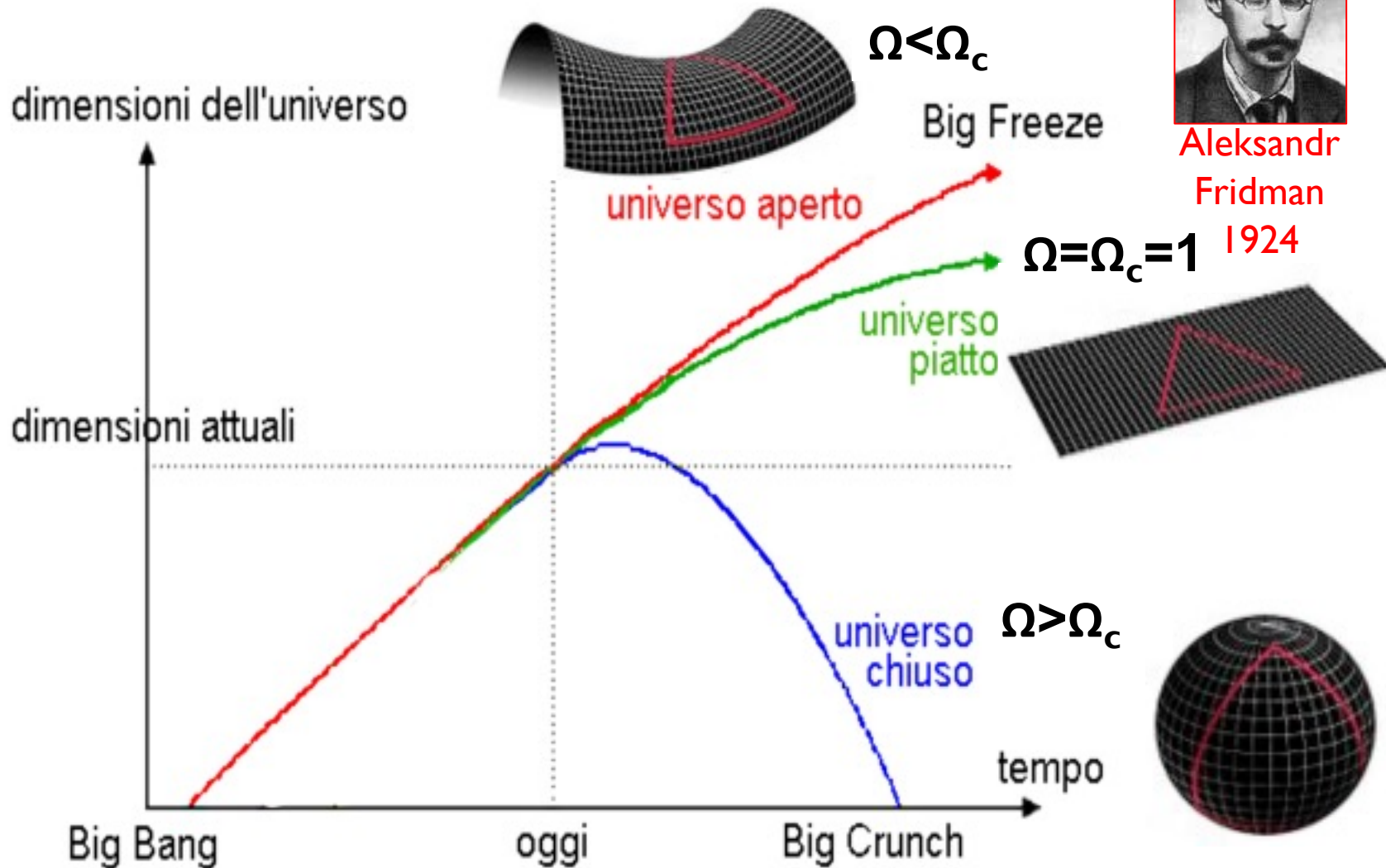
Qual è il ruolo dell'energia e della materia oscura?

# Qual è il Destino dell'Universo?

La geometria dello spazio dipende dalla densità  $\Omega$  **TOTALE** di materia-energia



Aleksandr  
Fridman  
1924



## Nobel per la Fisica all'Universo che accelera

**"Per la scoperta dell'espansione accelerata dell'Universo a partire dall'osservazione di supernovae lontane" è con questa motivazione che Saul Perlmutter, Brian Schmidt e Adam Reiss vincono quest'anno il prestigioso premio. I commenti di Enrico Cappellaro e Massimo Della Valle.**

di Elena Lazzaretto

04/10/2011 18:20



I tre vincitori del Nobel per la Fisica 2011. Da sinistra: Adam Reiss, Brian Schmidt e Saul Perlmutter

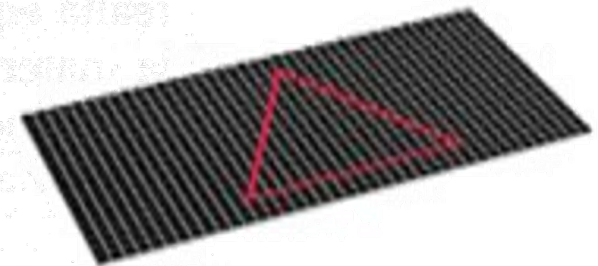
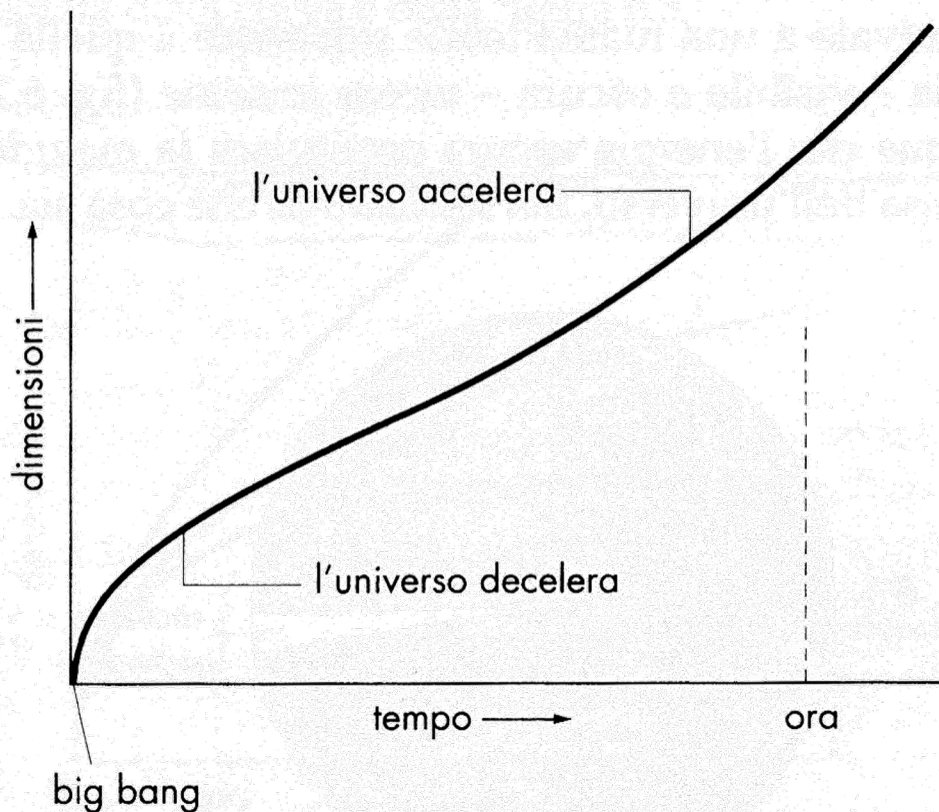
Non sappiamo quale sarà il suo destino, ma sappiamo che per corrergli incontro, l'Universo, ha premuto sull'acceleratore. Un comportamento inaspettato, che ha rivoluzionato la cosmologia moderna e che sorprese anche gli astrofisici che per primi lo riscontrarono: era il 1998 quando due gruppi di ricerca giunsero indipendentemente alle medesime conclusioni. Oggi, gli autori di quella rivoluzionaria scoperta vengono premiati con il più prestigioso dei riconoscimenti, il Nobel. **Saul Perlmutter**, a capo di uno dei due gruppi di ricerca, **Brian Schmidt** leader dell'altro gruppo e **Adam Reiss**, che in questo secondo team ha svolto un ruolo cruciale, sono gli scienziati che passeranno alla storia per aver vinto il Premio Nobel per la Fisica 2011. Oltre a loro, un riconoscimento, una menzione speciale, andrebbe data anche a una particolare classe di stelle, che esplodono in modo estremamente appariscente, le **supernovae di**

**tipo Ia.** È stato a partire dall'osservazione di questi "fari cosmici" che si è giunti alla conclusione che **l'espansione dell'Universo non avviene a un ritmo costante e nemmeno rallenta nel tempo ma al contrario, e al di là di ogni aspettativa, lo fa in maniera accelerata.**

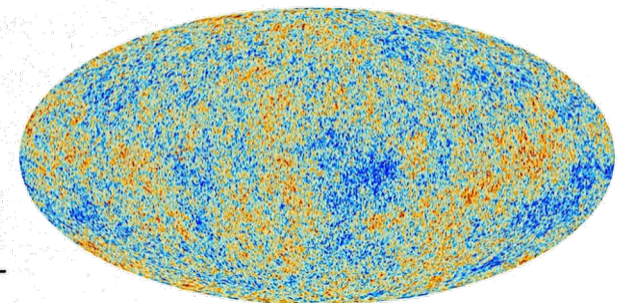
"Questa scoperta ha due caratteristiche che la rendono particolarmente interessante" commenta **Enrico Cappellaro**, direttore dell'**INAF-Osservatorio di Padova** nonché astrofisico esperto di supernovae. "La prima è **la scoperta dell'inaspettato**". L'idea, infatti, era di capire se l'Universo si espandesse sempre con la stessa velocità, o se invece stesse rallentando: queste erano le sole due opzioni che ci si aspettava di riscontrare. Si scoprì invece che l'Universo accelera. Un fatto inaspettato che è stato capito e riconosciuto, una capacità che rappresenta uno degli aspetti più interessanti di questa scoperta. La seconda caratteristica, che penso sia la ragione vera del premio, è che ha aperto un mondo: il dato di fatto è che l'Universo accelera, ma non abbiamo idea del perché. Abbiamo tutto un mondo nuovo da scoprire, che non coinvolge solo l'astrofisica ma anche la fisica di base."

# 2. Le Condizioni Iniziali

Una misteriosa **forza repulsiva** (forse la cosiddetta “costante cosmologica”, ipotizzata nel 1917 da Einstein per spiegare un universo che si riteneva statico) agisce effettivamente nel nostro universo in espansione, trasformando la decelerazione iniziale in una **accelerazione** che ha **esattamente il valore che serve per ottenere uno spazio “piatto”** (come confermano con un errore del 2% i dati della radiazione cosmica di fondo!).



$$\text{densità } \Omega = 1,02 \pm 0,02$$

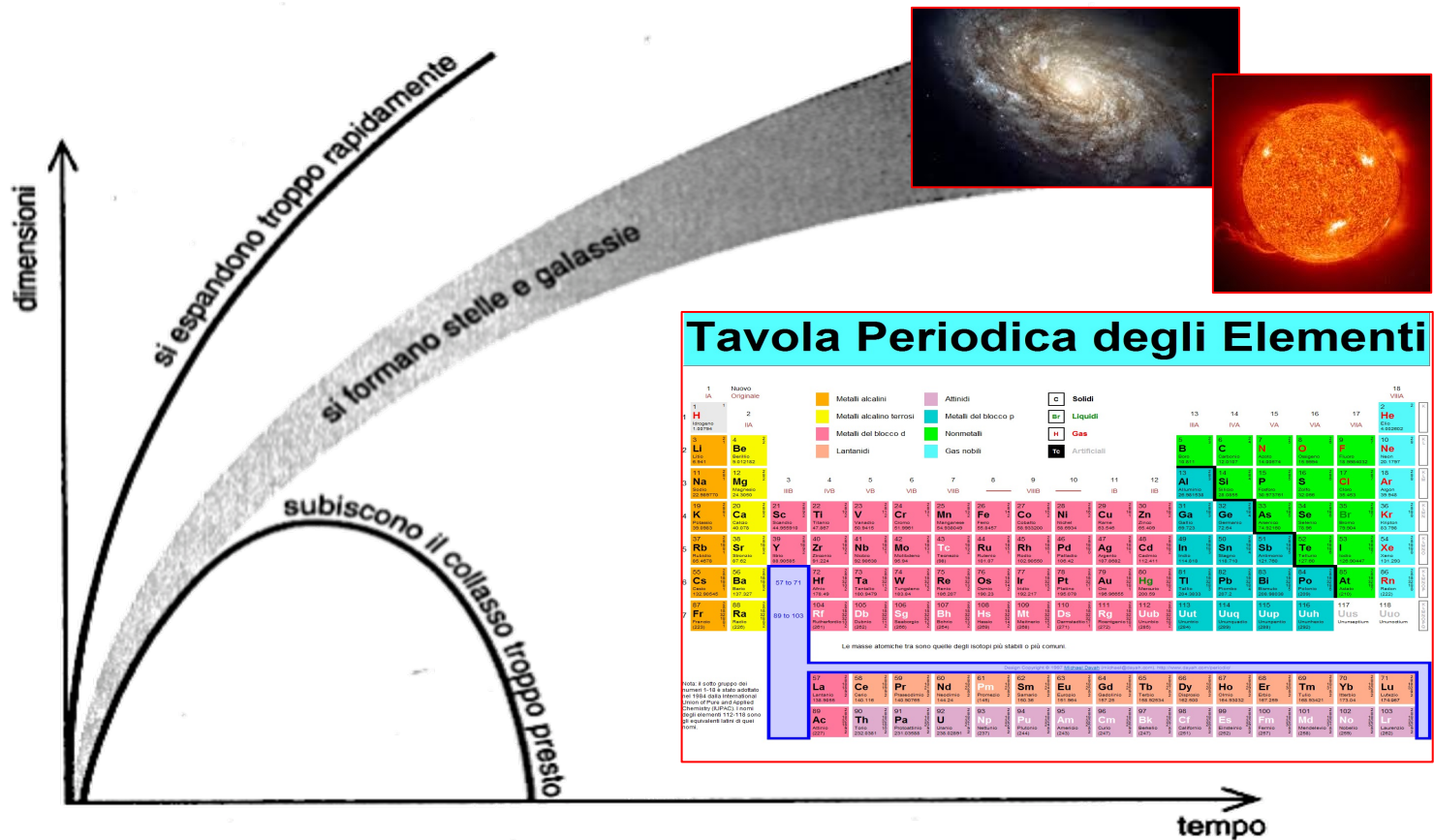




# 2. Le Condizioni Iniziali

## Un primo effetto Riccioli d'Oro...

- Un universo "piatto" si mantiene in **equilibrio** tra il big-crunch e il big-freeze (o il big-rip, il "grande strappo") abbastanza a lungo per assicurare il processo di **nascita→vita→morte delle stelle**, necessario alla formazione degli elementi pesanti (**nucleosintesi**) e quindi dei "mattoni" della complessità e della vita...

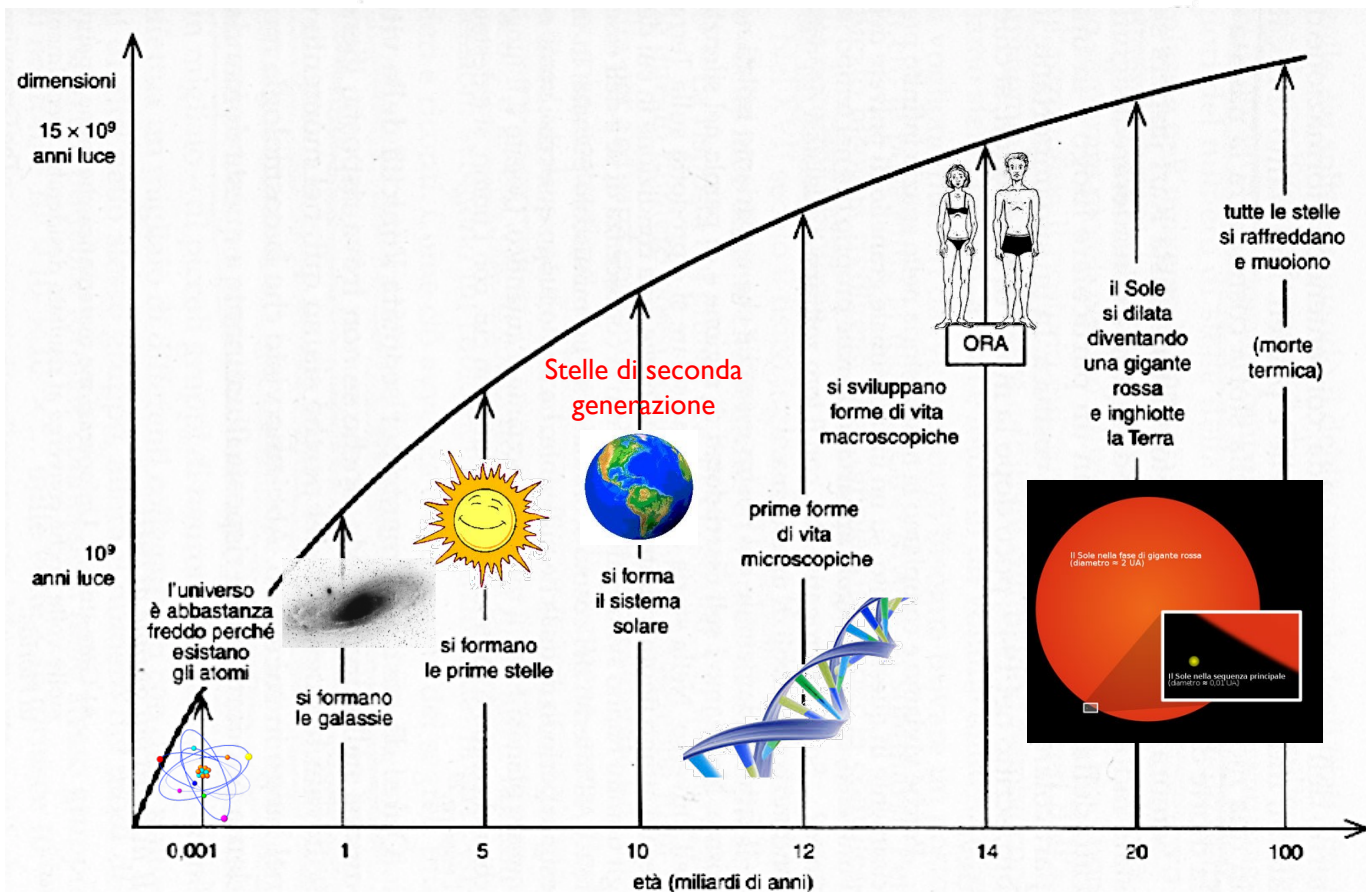




# 2. Le Condizioni Iniziali

## Dimensioni ed Età dell'universo

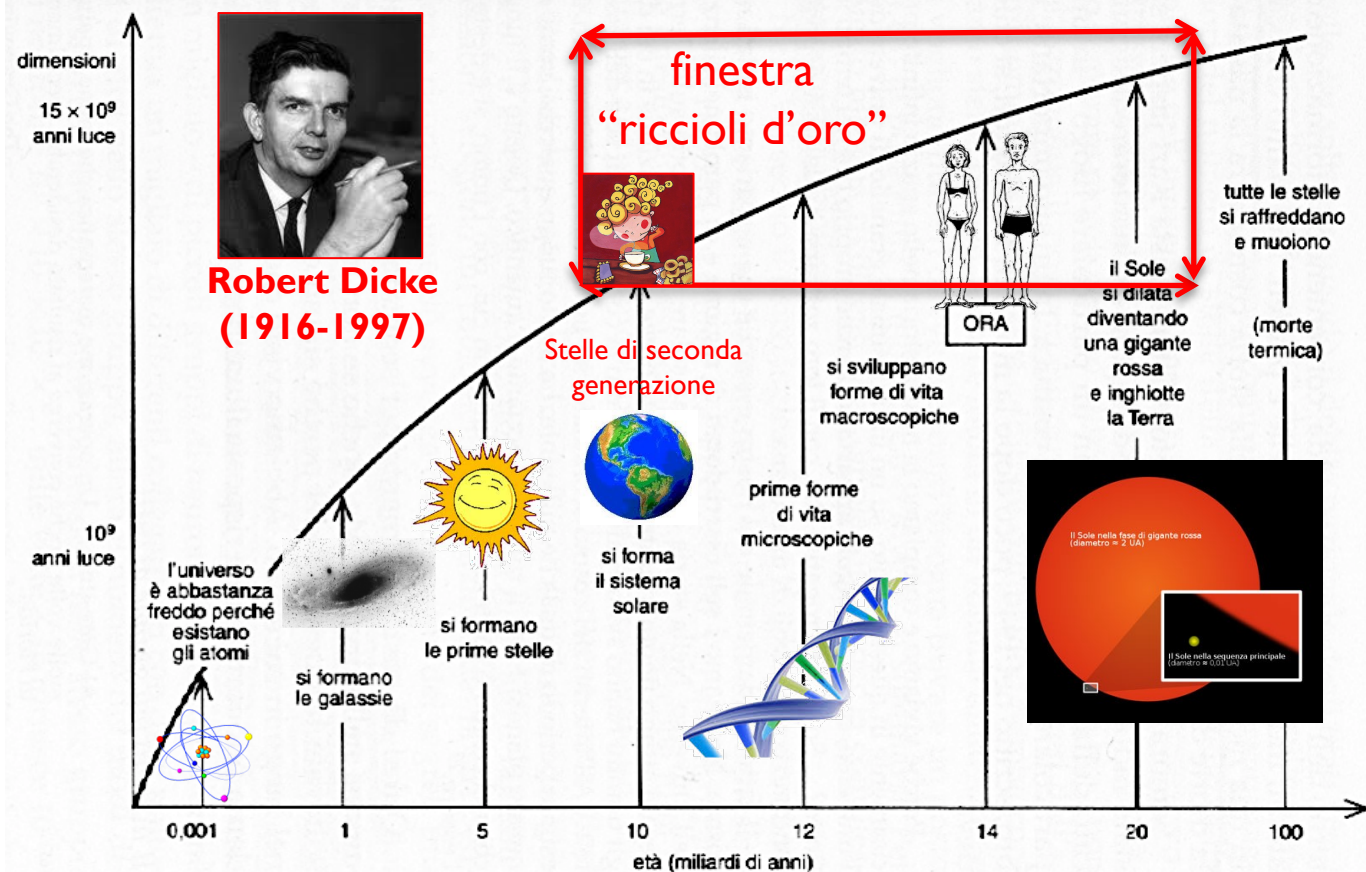
Un universo “piatto” si mantiene in **equilibrio** tra il big-crunch e il big-freeze (o il big-rip, il “grande strappo”) abbastanza a lungo per assicurare il processo di **nascita→vita→morte delle stelle**, necessario alla formazione degli elementi pesanti (**nucleosintesi**) e quindi dei “mattoni” della complessità e della vita...



# La Finestra “Riccioli d’Oro”

## L’importanza del ‘dove’ e del ‘quando’

Il fisico americano **Robert Dicke** fu il primo a rendersi conto che i momenti del tempo non sono tutti uguali e che **dovremmo essere consapevoli del fatto che stiamo guardando l’universo in un momento speciale**, ovvero quando esso è **abbastanza vecchio** (ma non **troppo**... in pratica, quando è **al punto giusto!**) perché in esso esistano esseri viventi...



# Il Principio Antropico



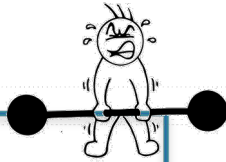
Brandon Carter

Il termine "**principio antropico**" venne coniato nel 1973 dal fisico australiano **Brandon Carter** durante il simposio "**Confronto delle teorie cosmologiche con i dati delle osservazioni**" in occasione delle celebrazioni svoltesi a Cracovia per il 500° anniversario della nascita di **Niccolò Copernico**.

## Principio Antropico "Debole"

*"Dobbiamo tenere presente il fatto che la nostra posizione [nello spazio e nel tempo] è necessariamente privilegiata, in quanto compatibile con la nostra esistenza di osservatori."*

*In altre parole: **se** l'universo non fosse così com'è, noi non saremmo qui a parlarne!*



## Principio Antropico "Forte"

*"L'universo (e di conseguenza i parametri fondamentali che lo caratterizzano) dev'essere tale da permettere la creazione di osservatori all'interno di esso ad un dato stadio [della sua esistenza]."*

*In altre parole: l'universo **deve** essere così com'è per permetterci di essere qui a parlarne!*



# Il Principio Antropico



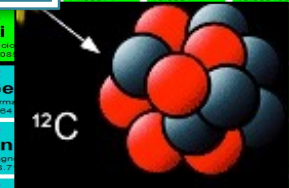
**Fred Hoyle  
(1915-2001)**

Il fisico e astronomo britannico **Fred Hoyle** utilizzò un ragionamento di tipo antropico negli anni '50 per effettuare una predizione molto importante, in grado di spiegare la **sovraproduzione del carbonio** all'interno delle stelle e dunque la sua relativa abbondanza nell'universo, essenziale per la formazione della vita come noi la conosciamo.

## Tavola Periodica degli Elementi

1 IA Nuovo Originale		2 IIA										3 IIIB										4 IVB										5 VB										6 VIB										7 VIIB										8 VIIIB										9 VIIIB										10 IIB										11 IB										12 IIB										13 IIIA										14 IVA										15 VA										16 VIA										17 VIIA										18 VIIIA	
1 <b>H</b> Idrogeno 1.00794	2 <b>He</b> Elio 4.002602	3 <b>Li</b> Litio 6.941	4 <b>Be</b> Berillio 9.012182	5 <b>B</b> Boro 10.811	6 <b>C</b> Carbonio 12.0107	7 <b>N</b> Azoto 14.00644	8 <b>O</b> Ossigeno 15.999	9 <b>F</b> Fluoro 18.9984032	10 <b>Ne</b> Neon 20.1797	11 <b>Na</b> Sodio 22.989770	12 <b>Mg</b> Magnesio 24.3050	13 <b>Al</b> Alluminio 26.981538	14 <b>Si</b> Silicio 28.0855	15 <b>P</b> Fosforo 30.97376	16 <b>S</b> Zolfo 32.06	17 <b>Cl</b> Cloro 35.453	18 <b>Ar</b> Argon 39.948	19 <b>K</b> Potassio 39.0983	20 <b>Ca</b> Calcio 40.078	21 <b>Sc</b> Scandio 44.955910	22 <b>Ti</b> Titanio 47.887	23 <b>V</b> Vanadio 50.9415	24 <b>Cr</b> Cromo 51.9961	25 <b>Mn</b> Manganese 54.938049	26 <b>Fe</b> Ferro 55.845	27 <b>Co</b> Cobalto 58.933200	28 <b>Ni</b> Nichel 58.6934	29 <b>Cu</b> Rame 63.546	30 <b>Zn</b> Zinco 65.408	31 <b>Ga</b> Gallio 69.723	32 <b>Ge</b> Germanio 72.64	33 <b>As</b> Arsenico 74.9216	34 <b>Se</b> Selenio 78.96	35 <b>Br</b> Bromo 79.904	36 <b>Kr</b> Kriptone 83.798	37 <b>Rb</b> Rubidio 85.4678	38 <b>Sr</b> Stronzio 87.62	39 <b>Y</b> Ittrio 88.90585	40 <b>Zr</b> Zirconio 91.224	41 <b>Nb</b> Niobio 92.90638	42 <b>Mo</b> Molibdeno 95.94	43 <b>Tc</b> Tecnecio (98)	44 <b>Ru</b> Rutenio 101.07	45 <b>Rh</b> Rodio 102.90550	46 <b>Pd</b> Palladio 106.42	47 <b>Ag</b> Argento 107.8682	48 <b>Cd</b> Cadmio 112.411	49 <b>In</b> Indio 114.818	50 <b>Sn</b> Stagno 118.710	51 <b>Sb</b> Stibio 121.757	52 <b>Te</b> Tellurio 127.603	53 <b>I</b> Iodio 126.90547	54 <b>Xe</b> Xenone 131.29	55 <b>Cs</b> Cesio 132.90545	56 <b>Ba</b> Bario 137.327	57 to 71 Lantanidi	72 <b>Hf</b> Hafnio 178.49	73 <b>Ta</b> Tantalio 180.9479	74 <b>W</b> Tungsteno 183.84	75 <b>Re</b> Renio 186.207	76 <b>Os</b> Osmio 190.23	77 <b>Ir</b> Iridio 192.217	78 <b>Pt</b> Platino 195.078	79 <b>Au</b> Oro 196.96655	80 <b>Hg</b> Mercurio 200.59	81 <b>Tl</b> Tallio 204.3833	82 <b>Pb</b> Piombo 208.98038	83 <b>Bi</b> Bismuto 208.98038	84 <b>Po</b> Polonio (209)	85 <b>At</b> Astatio (210)	86 <b>Rn</b> Radone (222)	87 <b>Fr</b> Francio (223)	88 <b>Ra</b> Raffaello (226)	89 to 103 Attinidi	104 <b>Rf</b> Rutherfordio (261)	105 <b>Db</b> Dubnio (262)	106 <b>Sg</b> Seaborgio (266)	107 <b>Bh</b> Bohrio (264)	108 <b>Hs</b> Hassium (269)	109 <b>Mt</b> Meitnerio (270)	110 <b>Ds</b> Darmstadtio (271)	111 <b>Rg</b> Roentgenio (272)	112 <b>Uub</b> Ununbium (285)	113 <b>Uut</b> Ununtrio (284)	114 <b>Uuq</b> Ununquadio (289)	115 <b>Uup</b> Ununpentio (288)	116 <b>Uuh</b> Ununsextio (292)	117 <b>Uus</b> Ununseptium (293)	118 <b>Uuo</b> Ununoctium (294)																																																																										

Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.



Nota: il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1994 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti latini di quei nomi.

# Il Principio Antropico

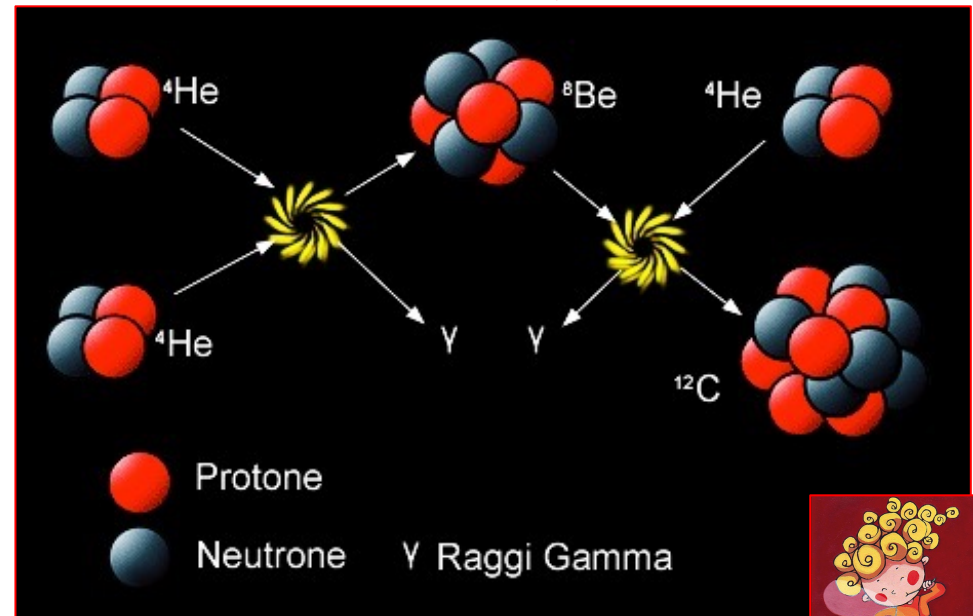


**Fred Hoyle**  
(1915-2001)

Il fisico e astronomo britannico **Fred Hoyle** utilizzò un ragionamento di tipo antropico negli anni '50 per effettuare una predizione molto importante, in grado di spiegare la **sovraproduzione del carbonio** all'interno delle stelle e dunque la sua relativa abbondanza nell'universo, essenziale per la formazione della vita come noi la conosciamo.

**Lo «stato di Hoyle»:  
una risonanza a 7,656 MeV**

Hoyle intuì che la presenza di una quantità significativa di carbonio sarebbe stata possibile soltanto se il nucleo di questo elemento avesse posseduto un **livello energetico naturale (risonanza) di circa 7,65 MeV** sopra il livello fondamentale. Il fisico nucleare Willy Fowler dimostrò che Hoyle aveva ragione: **quel livello, oggi noto come «stato di Hoyle», esisteva davvero!**

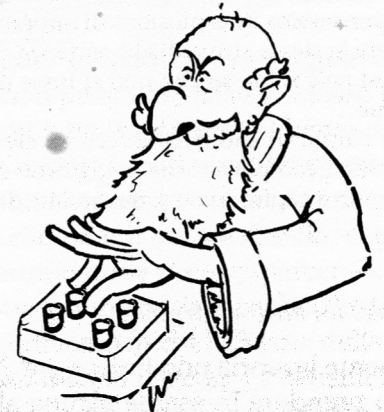


**Effetto Riccioli d'Oro!**



# L'ipotesi del Progettista Cosmico

Il successo della predizione di Hoyle risvegliò l'interesse per il cosiddetto “**argomento teleologico**” dell'esistenza di Dio: il nostro universo, con le sue leggi fisiche, sembra in effetti progettato per uno scopo, e se esiste un progetto deve esistere un **Progettista Cosmico** (il Grande Architetto o il Grande Legislatore) che, girando le sue manopole, può modificare a piacimento parametri come la **forma matematica delle leggi fisiche**, le **masse delle particelle** o le **intensità delle forze** in modo da consentire l'esistenza della vita (è il cosiddetto “**fine tuning**” o “**regolazione fine**”).



**Il Progettista Cosmico  
(DIO?)**

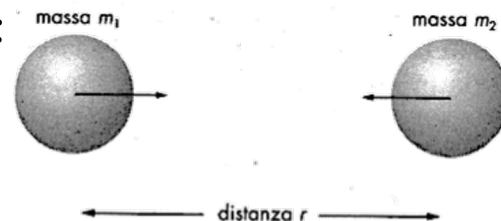
# 3. Le Leggi Fisiche

Le **leggi di natura** sono rappresentate da equazioni matematiche che, descrivendo il comportamento dei corpi soggetti all'azione di certe forze, ci permettono di ricavare informazioni circa il futuro sulla base del presente. Un aspetto importante delle leggi fisiche è la loro forma matematica, ad esempio la **dipendenza dall'inverso del quadrato della distanza**:

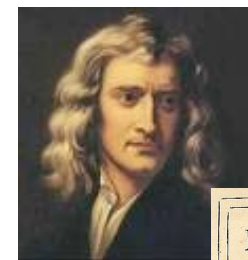
## La Legge di Gravitazione Universale

*Ogni corpo dell'Universo attrae ogni altro corpo con una forza, agente lungo la linea che congiunge i centri dei due corpi, la cui intensità è direttamente proporzionale al prodotto delle rispettive masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra di esse:*

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

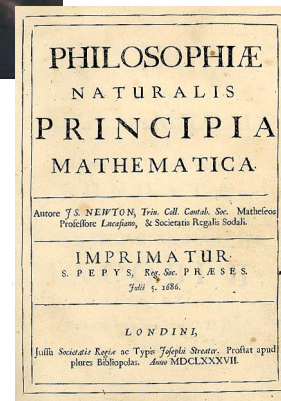
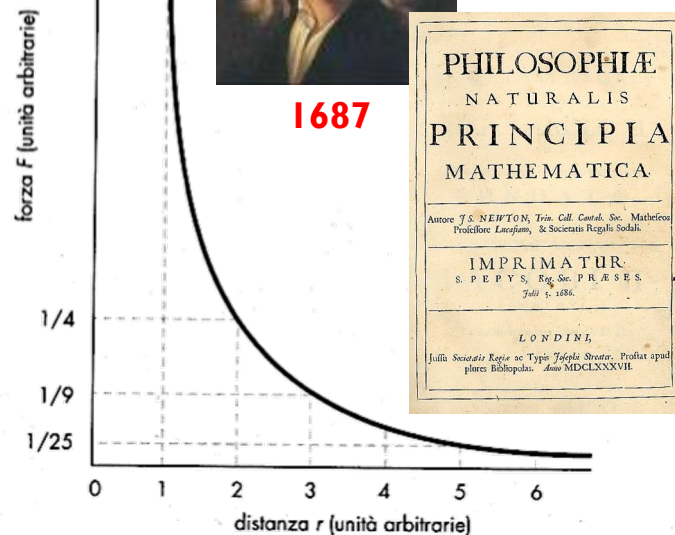


Isaac Newton



1687

$$F = ma$$



# 3. Le Leggi Fisiche

Già il grande filosofo tedesco **Immanuel Kant** si era reso conto che la dipendenza della forza di gravità dall'inverso del quadrato della distanza era intimamente collegato alle **3 dimensioni dello spazio fisico** in cui viviamo. In un universo con N dimensioni spaziali, la forza di gravità diminuirebbe come l'inverso della (N – 1)-esima potenza della distanza.

## La Legge di Gravitazione Universale

*Ogni corpo dell'Universo attrae ogni altro corpo con una forza, agente lungo la linea che congiunge i centri dei due corpi, la cui intensità è direttamente proporzionale al prodotto delle rispettive masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra di esse:*

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



**Immanuel Kant**  
(1724-1804)

# 3. Le Leggi Fisiche

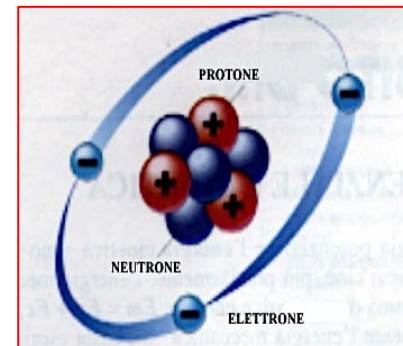
## L'importanza di un Universo a 3 dimensioni



Paul Ehrenfest

Nel 1917 il fisico austriaco **Paul Ehrenfest** dimostrò che i pianeti potevano girare intorno a una massa centrale (come il Sole) su **orbite stabili** soltanto se la forza di gravità dipende dall'inverso del quadrato della distanza, cioè **soltanto in uno spazio a 3 dimensioni**.

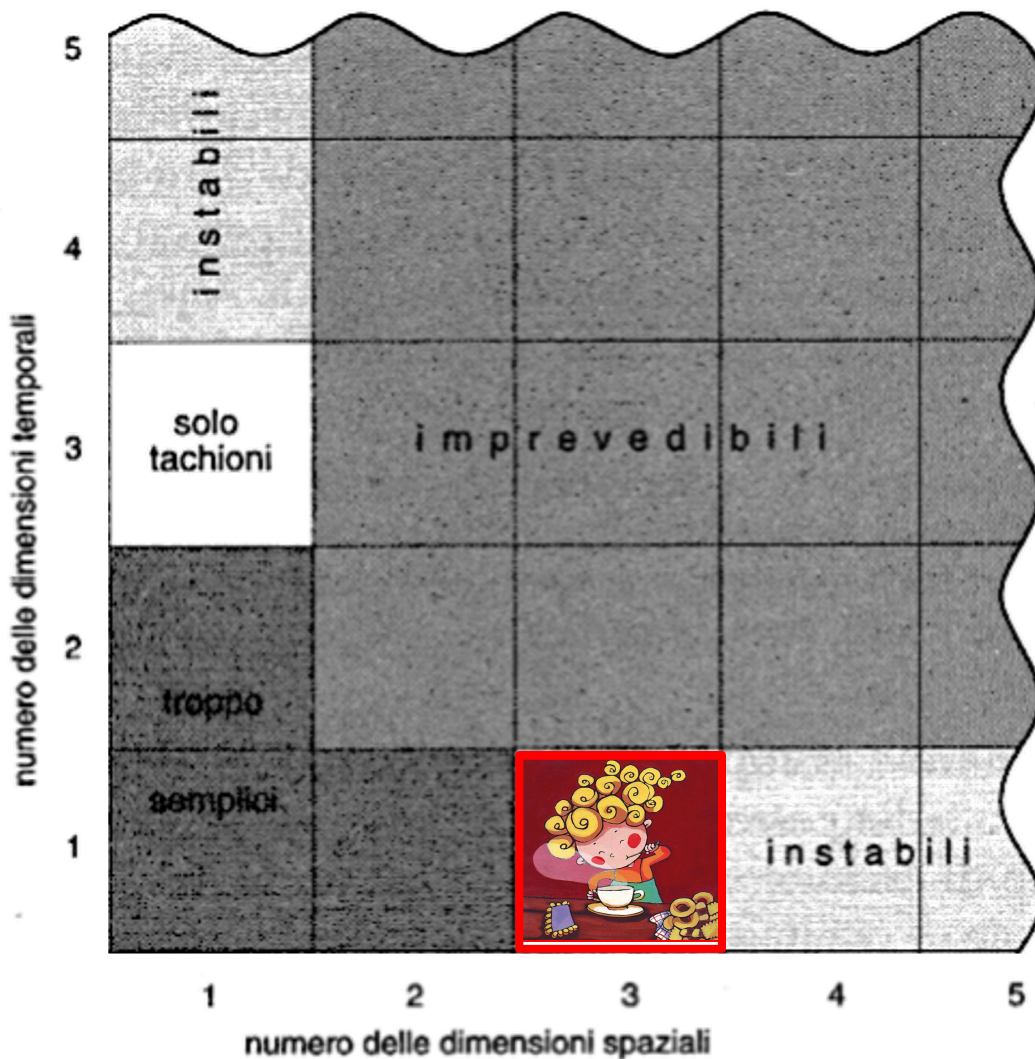
Ma questo vale anche su scala atomica, dove la **legge di Coulomb**, che è responsabile della forza elettrica attrattiva tra gli elettroni e i protoni, dipende anch'essa dall'inverso del quadrato della distanza. Ehrenfest dimostrò che **in mondi con più di 3 dimensioni spaziali non potrebbero esistere atomi stabili**: gli elettroni cadrebbero sui nuclei lungo traiettorie a spirale oppure verrebbero dispersi!



Ehrenfest comprese anche che solo in 3 dimensioni le **perturbazioni ondose** possono propagarsi nello spazio senza distorsioni ne riverberi.

# 3. Le Leggi Fisiche

L'importanza di un Universo a 3 + 1 dimensioni



Gerald Whitrow

Nel 1955 il cosmologo inglese **Gerald Withrow** anticipò il principio antropico sostenendo che **osservatori pensanti** dotati di reti neurali complesse **possono esistere solo in 3 dimensioni**: riecco ancora una volta **l'effetto "Riccioli d'Oro"!**

# 4. Le Costanti di Natura

E veniamo infine alle **costanti di natura**, che compaiono nelle principali leggi fisiche (classiche, quantistiche e relativistiche) e che sono i cosiddetti “**parametri liberi**” delle teorie che descrivono il nostro universo, in quanto **il loro valore è misurabile solo sperimentalmente**. La costante di gravitazione **G**, la velocità della luce **c**, la costante di Planck **h** e la costante di Boltzmann **k** sono quattro delle principali costanti che governano la struttura delle teorie fisiche:



**Newton**

## GRAVITAZIONE

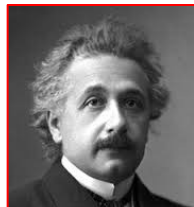
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

## MECCANICA QUANTISTICA

$$E = h\nu$$



**Planck**



**Einstein**

## RELATIVITA'

$$E = mc^2$$



**Boltzmann**

## TERMODINAMICA E MECCANICA STATISTICA

$$S = k \log \omega$$

$$G = 6.67384 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$$

$$h = 6.62606957(29) \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m / s}$$

$$k = 1.3806488(24) \cdot 10^{-23} \text{ J / K}$$



# 4. Le Costanti di Natura

E veniamo infine alle **costanti di natura**, che compaiono nelle principali leggi fisiche (classiche, quantistiche e relativistiche) e che sono i cosiddetti “**parametri liberi**” delle teorie che descrivono il nostro universo, in quanto **il loro valore è misurabile solo sperimentalmente**. La costante di gravitazione **G**, la velocità della luce **c**, la costante di Planck **h** e la costante di Boltzmann **k** sono quattro delle principali costanti che governano la struttura delle teorie fisiche:



**Newton**

## GRAVITAZIONE

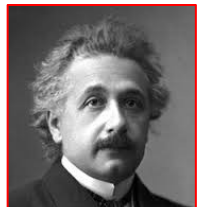
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

## MECCANICA QUANTISTICA

$$E = h\nu$$



**Planck**



**Einstein**

## RELATIVITA'

$$E = mc^2$$



**Boltzmann**

## TERMODINAMICA E MECCANICA STATISTICA

$$S = k \log \omega$$

## Unità di misura di Planck:

$$m_{pl} = (hc / G)^{1/2} = 5,56 \cdot 10^{-5} g$$

$$l_{pl} = (Gh / c^3)^{1/2} = 4,13 \cdot 10^{-33} cm$$

$$t_{pl} = (Gh / c^5)^{1/2} = 1,38 \cdot 10^{-43} s$$

$$T_{pl} = k^{-1} (hc^5 / G)^{1/2} = 3,5 \cdot 10^{32} K$$

Quando l'Universo ha dimensioni inferiori alla lunghezza di Planck, età inferiore al tempo di Planck e temperatura superiore alla temperatura di Planck, la sua **lunghezza d'onda quantistica** supera le sue dimensioni fisiche!

# 4. Le Costanti di Natura

E veniamo infine alle **costanti di natura**, che compaiono nelle principali leggi fisiche (classiche, quantistiche e relativistiche) e che sono i cosiddetti “**parametri liberi**” delle teorie che descrivono il nostro universo, in quanto **il loro valore è misurabile solo sperimentalmente**. La costante di gravitazione **G**, la velocità della luce **c**, la costante di Planck **h** e la costante di Boltzmann **k** sono quattro delle principali costanti che governano la struttura delle teorie fisiche:



**Newton**

**GRAVITAZIONE**

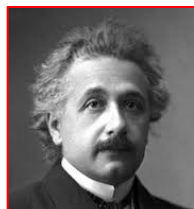
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

**MECCANICA  
QUANTISTICA**

$$E = h\nu$$



**Planck**



**Einstein**

**RELATIVITA'**

$$E = mc^2$$



**Boltzmann**

**TERMODINAMICA  
E MECCANICA  
STATISTICA**

$$S = k \log \omega$$



**Unità di misura di Planck:**

$$m_{pl} = (hc / G)^{1/2} = 5,56 \cdot 10^{-5} g$$

$$l_{pl} = (Gh / c^3)^{1/2} = 4,13 \cdot 10^{-33} cm$$

$$t_{pl} = (Gh / c^5)^{1/2} = 1,38 \cdot 10^{-43} s$$

$$T_{pl} = k^{-1} (hc^5 / G)^{1/2} = 3,5 \cdot 10^{32} K$$

**Entropia dei buchi neri**



**S.Hawking**

$$S_{BH} = \frac{A kc^3}{4 G\hbar}$$

# 4. Le Costanti di Natura



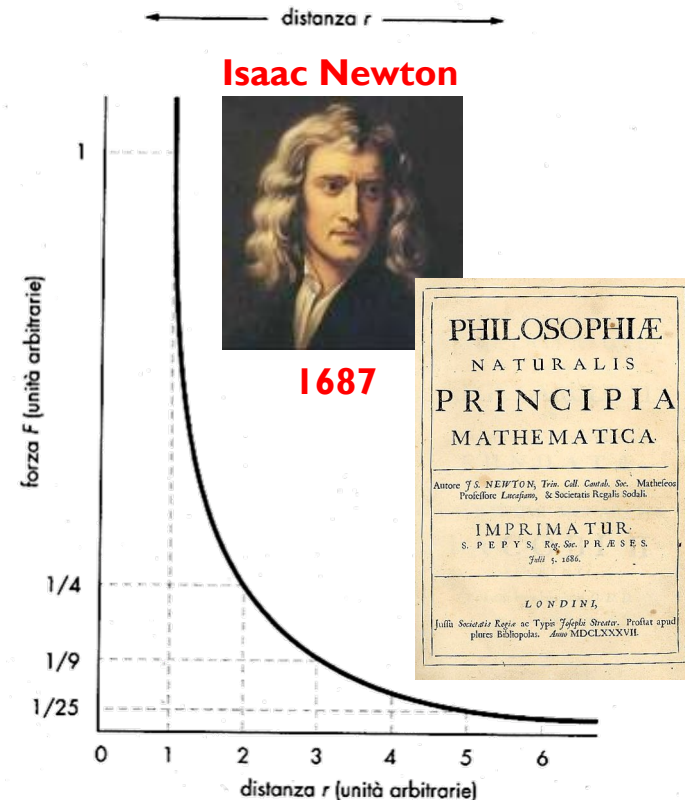
Solo nel 1798, circa 100 anni dopo l'enunciazione della legge di Gravitazione Universale da parte di Newton, il fisico inglese **Henry Cavendish** riuscì a determinare sperimentalmente con sufficiente precisione il valore della costante  $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ .

E' stato Brandon Carter a mostrare quanto il valore estremamente **piccolo** della costante di gravitazione universale sia fondamentale per **l'esistenza della vita**.



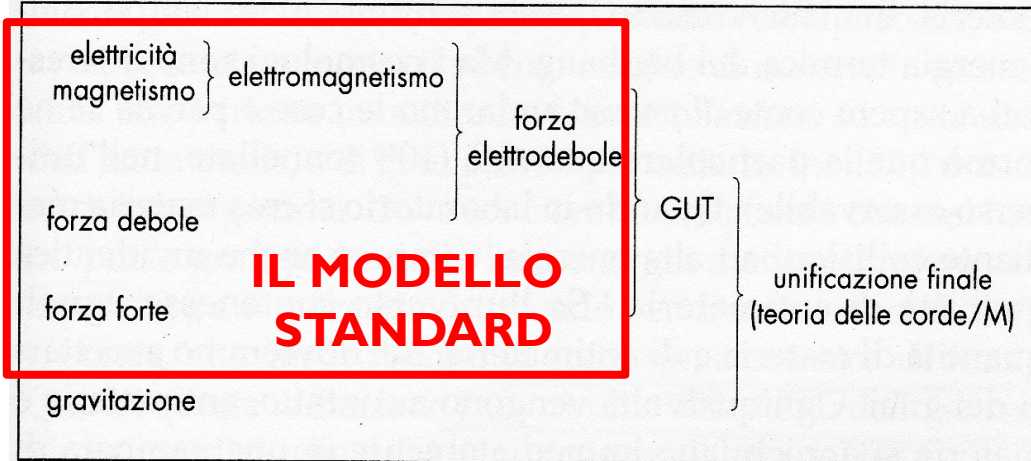
Se la forza di gravità fosse anche di **poco più intensa** tutte le stelle trasferirebbero calore alla superficie per irraggiamento e non per convezione (come accade invece nel Sole) e dunque - si presume - non potrebbero esistere pianeti.

Se la forza di gravità fosse invece di **poco più debole**, tutte le stelle sarebbero convettive e non potrebbero verificarsi esplosioni di supernova, per le quali pare sia importante la trasmissione per irraggiamento.



# 4. Le Costanti di Natura

Il cosiddetto “**modello standard**” della fisica delle particelle elementari contiene circa una **ventina** di **parametri liberi**, tra cui l'intensità delle quattro forze fondamentali e le masse delle particelle, compresa quella del **Bosone di Higgs**.



LEPTONI			
	carica elettrica		carica elettrica
elettrone	-1	neutrino elettronico	0
muone	-1	neutrino muonico	0
tauone	-1	neutrino tauonico	0

QUARK			
	carica elettrica		carica elettrica
down	-1/3	up	+2/3
strange	-1/3	charm	+2/3
bottom	-1/3	top	+2/3

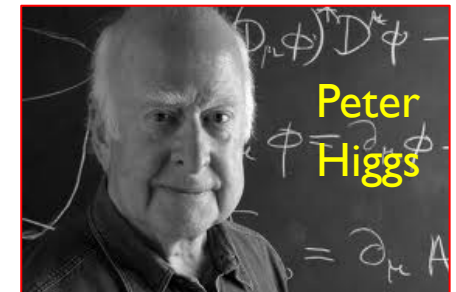
BOSONI		
elettrodeboli unitari		spin = 1
NOME	MASSA GeV/c <sup>2</sup>	CARICA ELETTRICA
fotone ( $\gamma$ )	0	0
W <sup>-</sup>	80,4	-1
W <sup>+</sup>	80,4	+1
Z <sup>0</sup>	91,187	0

forti (di colore)		spin = 1
NOME	MASSA GeV/c <sup>2</sup>	CARICA ELETTRICA
gluone (g)	0	0

gravitazionale		spin = 2
NOME	MASSA GeV/c <sup>2</sup>	CARICA ELETTRICA
gravitone	0	0

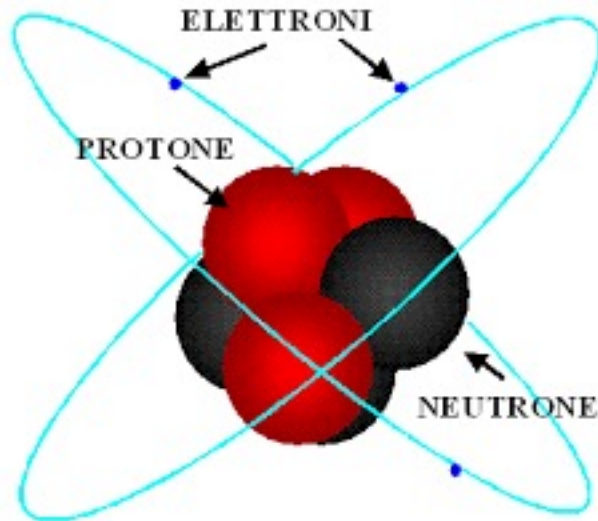


+ il bosone di Higgs

# 4. Le Costanti di Natura

Due dei più importanti parametri liberi del modello standard sono:

- 1) La cosiddetta “costante di struttura fine”
- 2) Il rapporto tra le masse dell’elettrone e del protone



**NEL NOSTRO UNIVERSO:**

**La costante di struttura fine (che regola l'intensità della forza elettromagnetica) vale:**

$$\alpha = \frac{2\pi e^2}{hc} \approx \frac{1}{137}$$

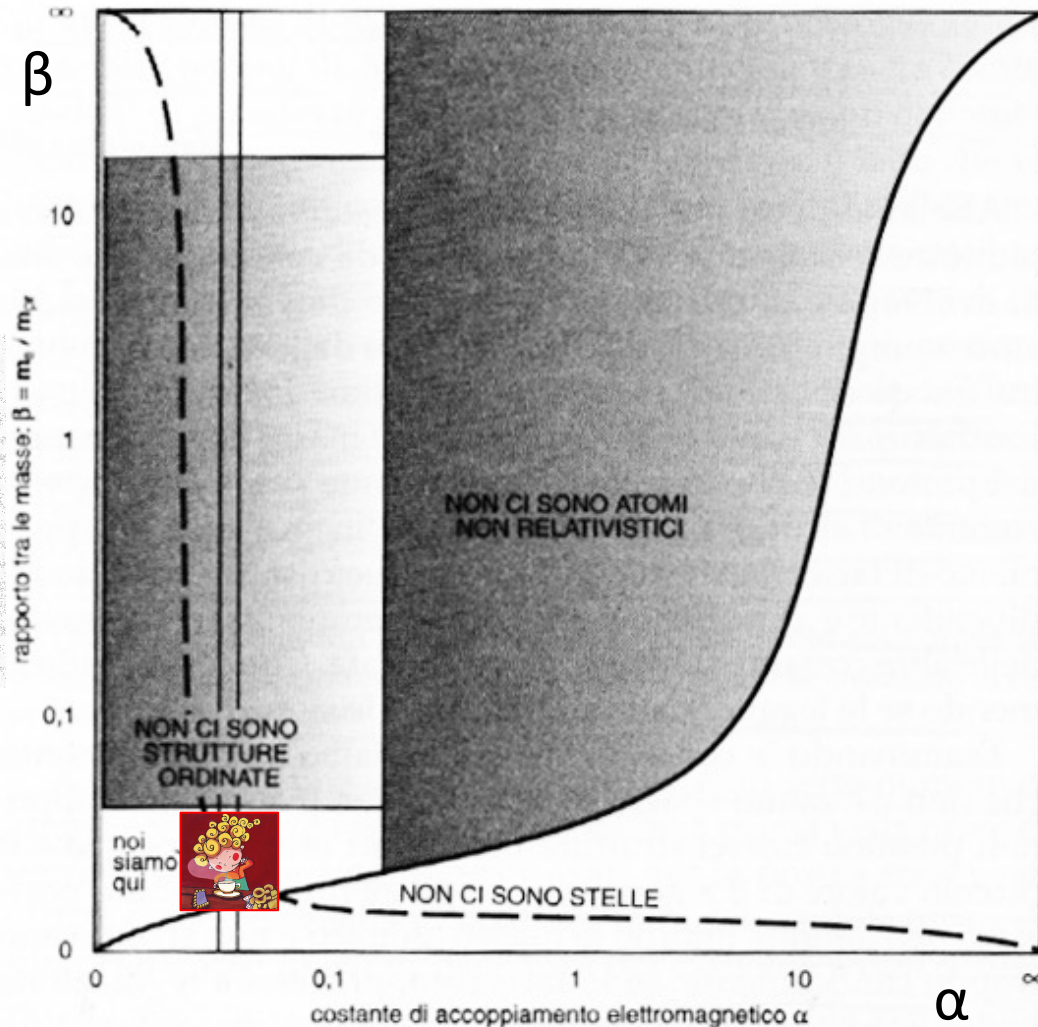
**Il rapporto tra le masse dell'elettrone e del protone vale:**

$$\beta = \frac{m_e}{m_p} \approx \frac{1}{1836}$$

# 4. Le Costanti di Natura

La **struttura degli atomi e delle molecole** è controllata quasi esclusivamente da questi due numeri,  $\alpha$  e  $\beta$ . Cosa accadrebbe lasciandoli **liberi di variare** in modo indipendente, ma mantenendo **immutate** le leggi di natura e le altre costanti?

Alessandro Pluchino  
L'Enigma "Riccioli d'Oro"



# 4. Le Costanti di Natura

Accanto alla costante di struttura fine abbiamo **altre tre costanti adimensionali** che regolano l'intensità delle altre tre forze fondamentali:

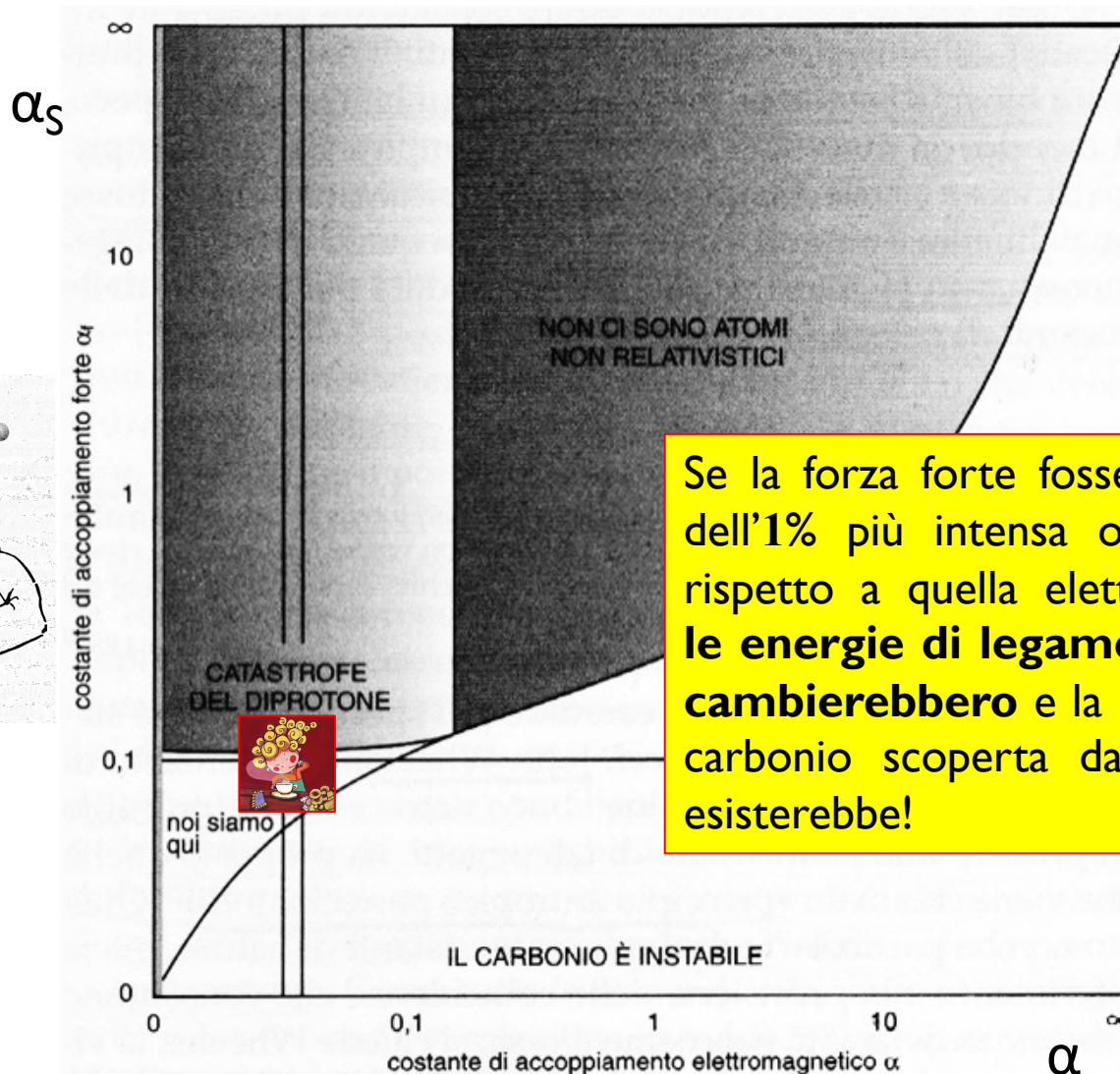
## Costanti di accoppiamento adimensionali

Tipo di forza	Simbolo	Valore
Forte	$\alpha_s$	1
Elettromagnetica	$\alpha$	1/137,04 (costante di struttura fine)
Debole	$\alpha_w$	$10^{-6}$
Gravità	$\alpha_g$	$10^{-39}$



# 4. Le Costanti di Natura

Vediamo cosa succede lasciando variare, ad esempio, le costanti di accoppiamento della **forza nucleare forte** e di quella **elettromagnetica**:



Se la forza forte fosse anche solo dell'1% più intensa o più debole rispetto a quella elettromagnetica, **le energie di legame dei nuclei cambierebbero** e la risonanza del carbonio scoperta da Hoyle non esisterebbe!

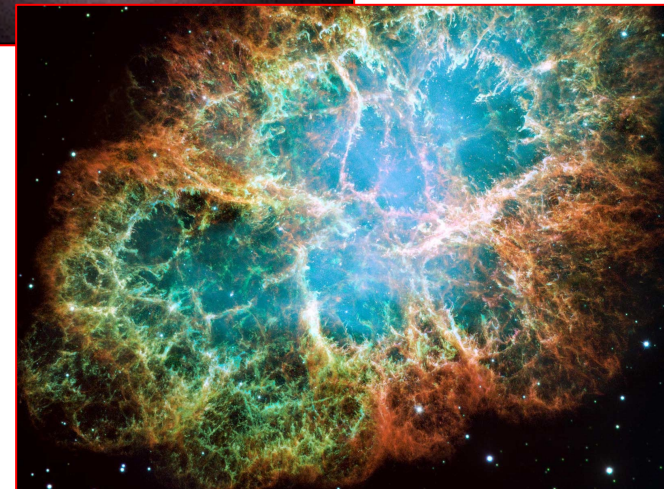


# 4. Le Costanti di Natura

Ma anche l'intensità della **forza debole** non può discostarsi troppo da quella attuale in quanto, tra le altre cose, essa regola il **meccanismo di "rimbalzo"** alla base delle spettacolari esplosioni delle **supernovae** e alla relativa espulsione nello spazio interstellare degli **elementi pesanti** creati durante il processo di nucleosintesi all'interno delle stelle.

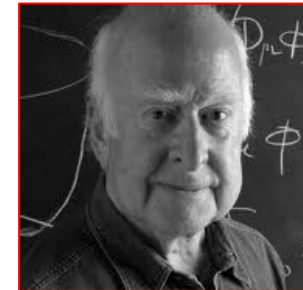
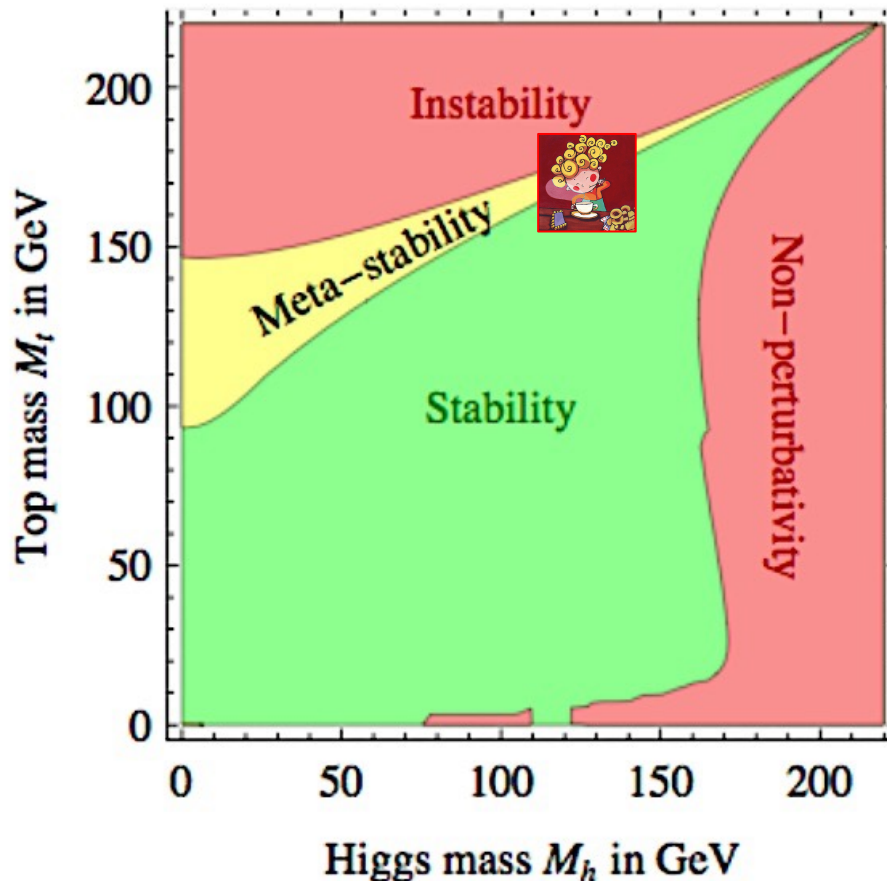
Quando il nucleo di una stella morente subisce il **collasso gravitazionale** viene emessa una enorme quantità di **neutrini**, la cui violenta pressione contribuisce a produrre il **"rimbalzo"** della materia nello spazio.

I neutrini interagiscono con la materia ordinaria attraverso la **forza debole**: una **minore intensità** di questa forza priverebbe i neutrini del "vigore" necessario all'esplosione; una **maggiore intensità** li terrebbe intrappolati nel nucleo iperdensso della stella e non avremmo l'esplosione.



# 4. Le Costanti di Natura

Infine, anche la massa a circa 126 GeV del **bosone di Higgs**, il cui valore è stato recentemente confermato dagli esperimenti del **Large Hadron Collider** (LHC) del CERN di Ginevra, se riportata in un grafico assieme alla massa del quark “top”, appare situata in una **strettissima finestra** tra la stabilità e l’instabilità del vuoto quantistico, che rende il nostro universo “**metastabile**”...



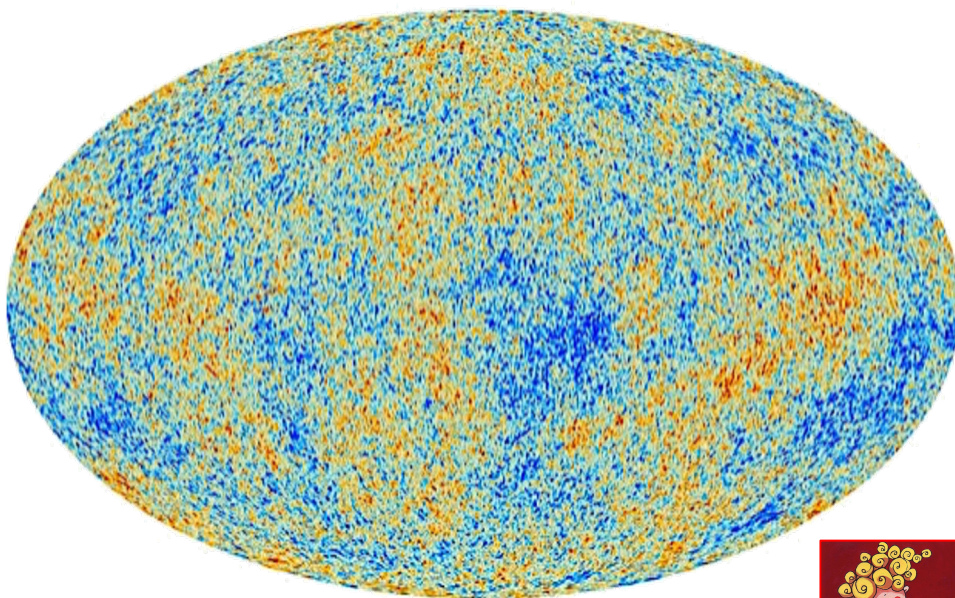
# Altre coincidenze...



## Ancora sulla radiazione cosmica di fondo...

Come si è visto la radiazione cosmica di fondo (CMB) è caratterizzata da cruciali **increspature e perturbazioni**, che sono echi dei “**semi**” da cui si è sviluppata la struttura su larga scala dell’Universo visibile. Queste deviazioni locali dalla completa omogeneità della CMB sono dell’ordine di  $Q=10^{-5}$ .

### La radiazione cosmica di fondo



- Se  $Q$  fosse **minore di una parte su  $10^6$**  sarebbe ostacolata la formazione delle stelle e delle galassie...

- Se  $Q$  fosse **maggiore di una parte su  $10^4$**  le galassie sarebbero più dense e avremmo continue collisioni stellari...

- Se  $Q$  fosse di **molto maggiore** invece di ammassi stellari si formerebbero giganteschi buchi neri...



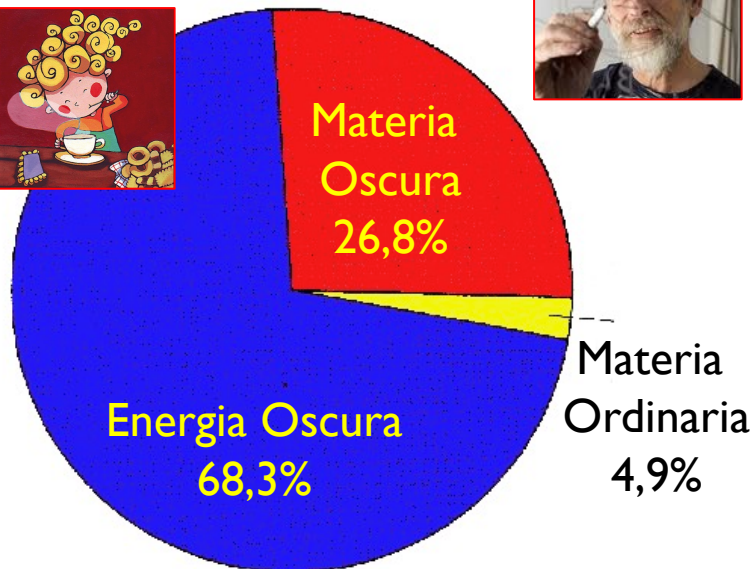
# Altre coincidenze...



## Ancora sull'energia oscura...

Abbiamo visto che quasi il 70% della massa dell'Universo è rappresentato da **Energia Oscura**, la cui densità è di circa  $10^{-28}$  grammi per  $\text{cm}^3$ . Ma se si calcola quanta energia oscura sarebbe fornita da tutte le particelle virtuali che popolano il **vuoto quantistico** (energia di punto zero) si trova una densità di  $10^{93}$  grammi per  $\text{cm}^3$ , un valore incredibilmente maggiore (di un fattore  $10^{120}$  !)

Evidentemente deve esistere un **meccanismo di compensazione**, forse legato alla Supersimmetria, in grado di neutralizzare l'energia oscura con un contributo di energia negativa.



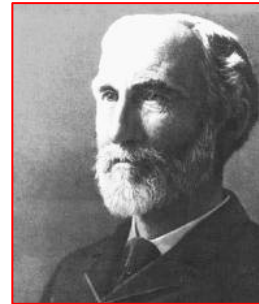
Ma, come osserva il fisico Leonard Susskind, “un **meccanismo che compensa fino a una parte su 120 potenze di dieci**, e poi non riesce a compensare oltre, non è solo strano: è la più straordinaria delle coincidenze!”

Se invece l'energia oscura fosse stata **maggiore di una sola di quelle 120 potenze di dieci**, l'universo si espanderebbe troppo velocemente e non potrebbero esistere le galassie!

# Altre coincidenze...

## Il mistero del Big-Bang a bassa entropia

In Meccanica Statistica la **crescita dell'entropia** prevista dal **Secondo Principio della Termodinamica** per i sistemi isolati è di solito spiegata facendo uso dello **spazio delle fasi di Gibbs**, a  $6N$  dimensioni, in cui ogni punto rappresenta un diverso stato (microstato) dell'Universo.

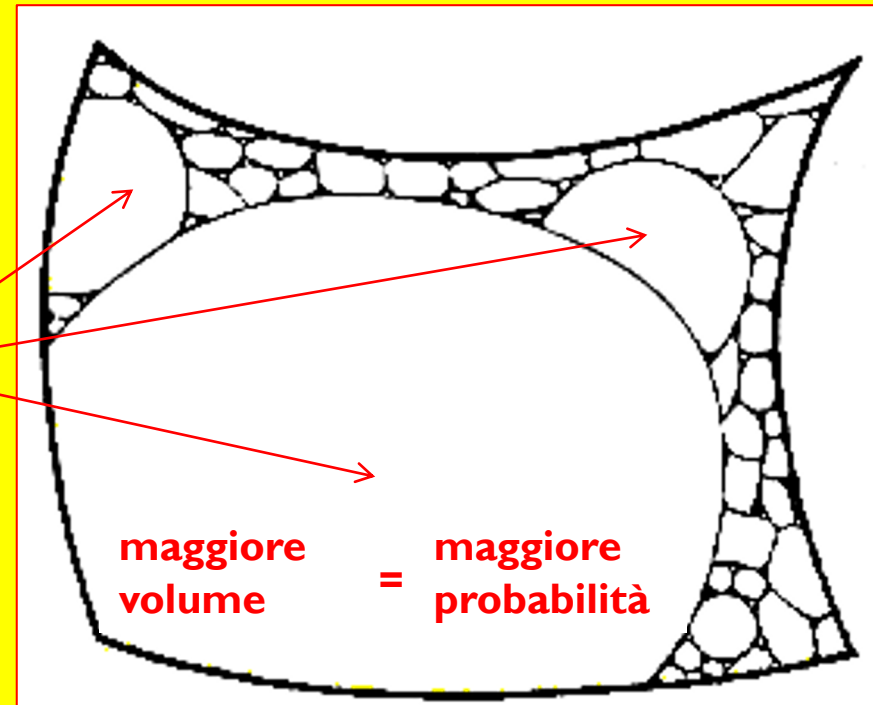


### LA "TEORIA DEGLI ENSEMBLE" DI GIBBS

Lo **spazio delle fasi di Gibbs** può immaginarsi suddiviso in regioni (**macrostati**) corrispondenti a collezioni (**ensemble**) di **microstati** equiprobabili e macroscopicamente indistinguibili l'uno dall'altro:

#### Macrostati

La **dimensione** (il **volume**) di ogni regione sarà proporzionale al numero di possibili **microstati** equivalenti al **macrostato** considerato, i quali, per sistemi isolati ad  $E$  costante, sono considerati equiprobabili (postulato).



# Altre coincidenze...

## Il mistero del Big-Bang a bassa entropia



Definendo, con Boltzmann, l'entropia di un dato macrostato come  $S = k \log W$ , essendo  $W$  il volume del macrostato e  $k$  la costante di Boltzmann, la **crescita dell'entropia** si spiega considerando che la **traiettoria** (assimilabile ad un random-walk) del punto rappresentativo dell'Universo nello spazio di Gibbs attraverserà, nel tempo, regioni di volume (probabilità) crescente, fino a raggiungere la regione (il macrostato) di volume massimo, corrispondente allo stato di **equilibrio termico (massima entropia)**.

**EQUILIBRIO  
TERMICO**



**Spazio  $\Gamma$  di Gibbs  
(6N dim)**

# Altre coincidenze...

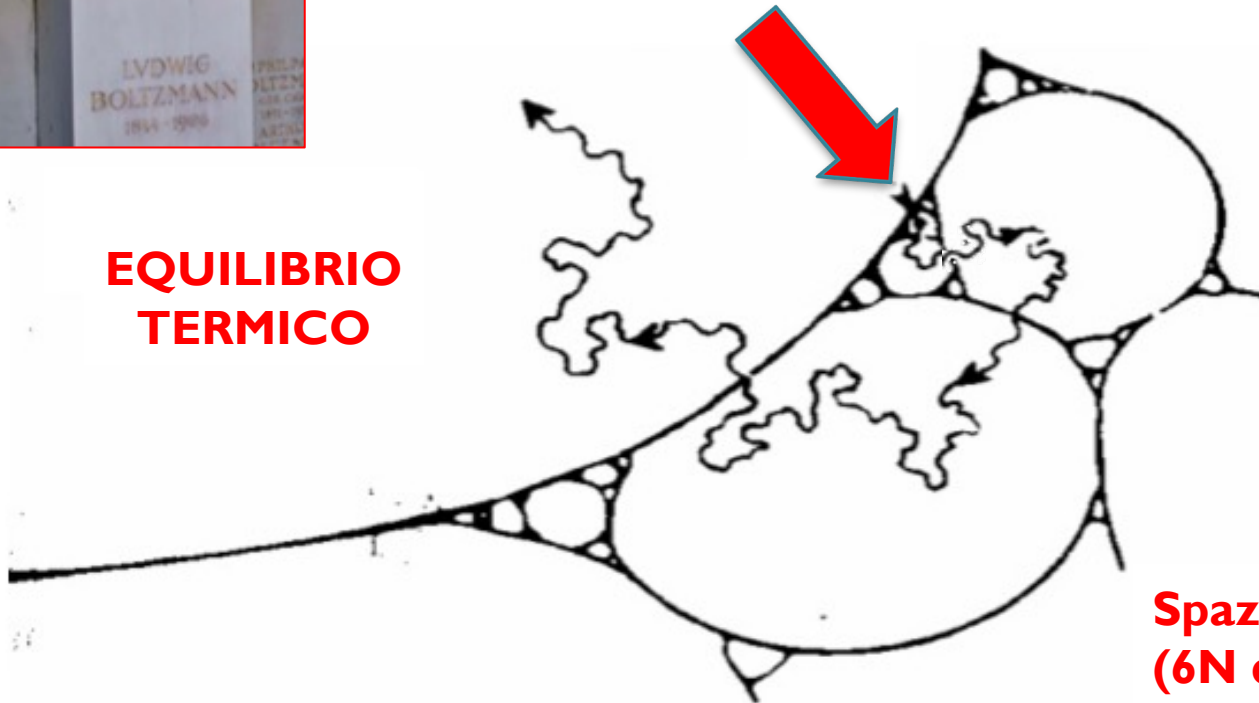


## Il mistero del Big-Bang a bassa entropia



Questo, però, solo a patto che le **condizioni iniziali** dell'Universo, al momento del Big-Bang, collochino il punto rappresentativo all'interno di una regione (macrostato) di **volume estremamente piccolo**. In altre parole, la crescita dell'entropia nel nostro Universo si può spiegare solo assumendo un **Big-Bang a bassissima entropia**, che però corrisponde ad uno stato iniziale assolutamente **improbabile!**

**EQUILIBRIO  
TERMICO**



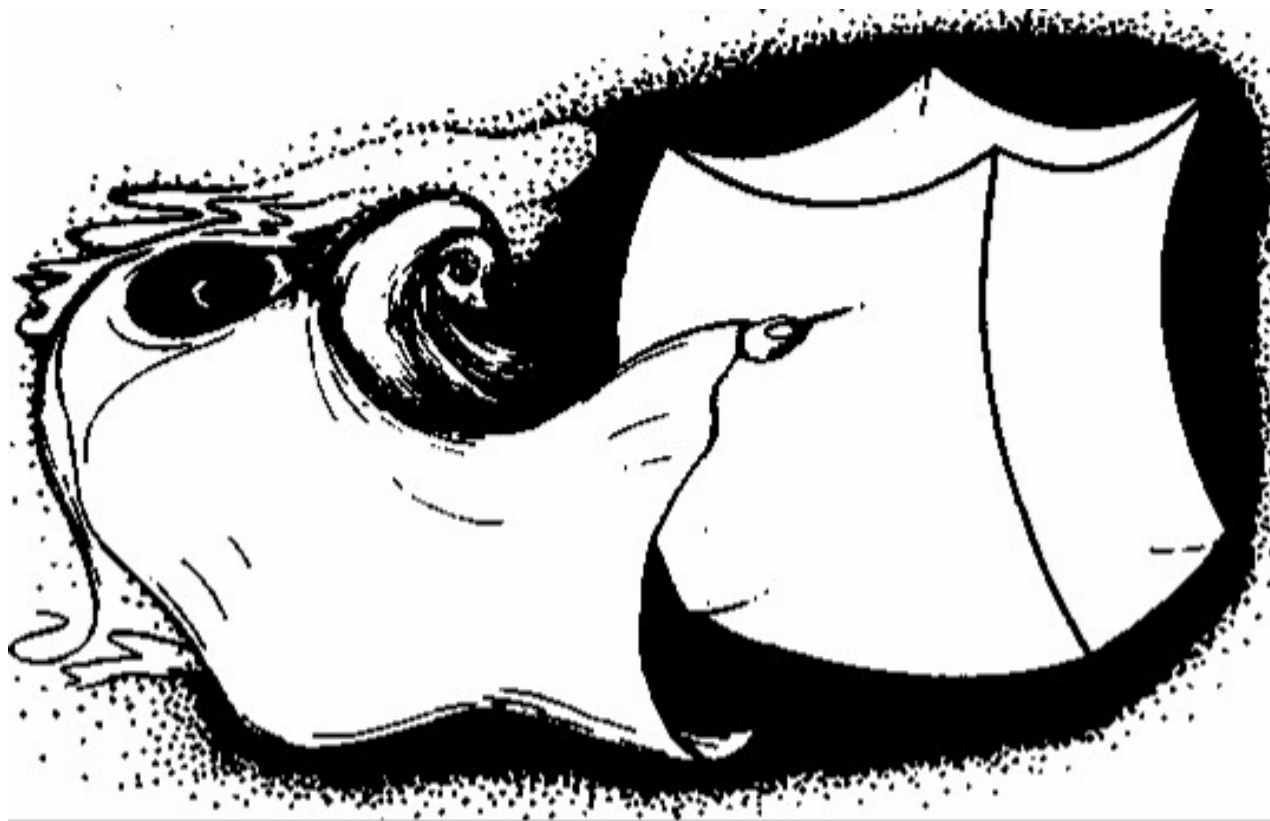
**Spazio  $\Gamma$  di Gibbs  
(6N dim)**

# Altre coincidenze...

## Il mistero del Big-Bang a bassa entropia

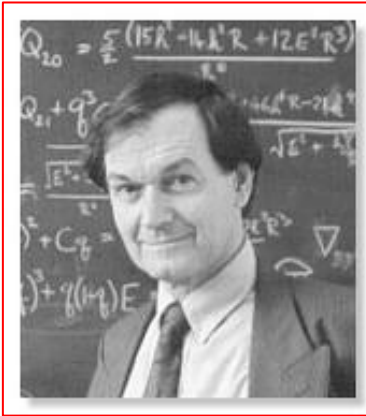


Ma **QUANTO** deve essere stato preciso lo spillo del Progettista Cosmico per centrare esattamente questa particolare regione, di volume  $V_{in}$  estremamente piccolo, all'interno del volume  $V_{tot}$  dello spazio delle fasi potenzialmente disponibile?



# Altre coincidenze...

## Il mistero del Big-Bang a bassa entropia



Il fisico e cosmologo **Roger Penrose** si è cimentato in un calcolo approssimativo e ha trovato che, per rendere valido il Secondo Principio della Termodinamica nel nostro Universo, il **rapporto**  $V_{in}/V_{tot}$  deve avere l'incredibile valore di:

$$\frac{1}{10^{10^{123}}}$$

**Si tratta, insomma, di un vero e proprio miracolo!**



**EQUILIBRIO  
TERMICO**



**Spazio  $\Gamma$  di Gibbs  
(6N dim)**

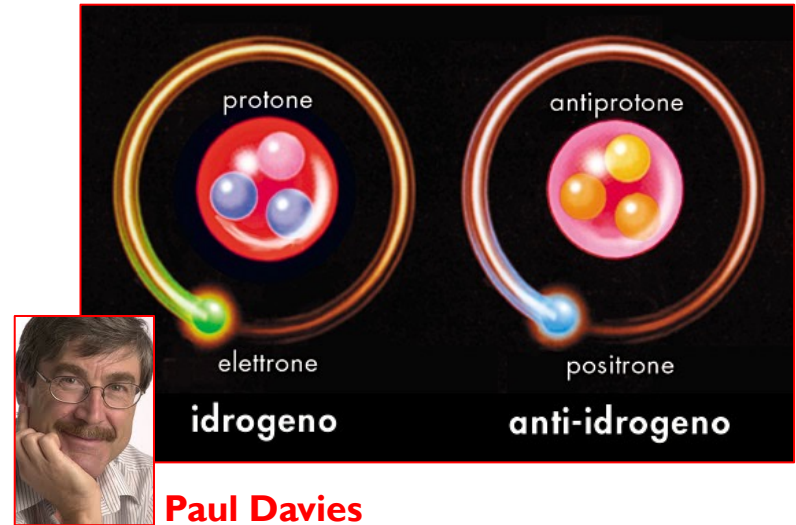


# Altre coincidenze...



## La "fortuita" asimmetria materia-antimateria

Alla estrema regolazione fine delle condizioni iniziali dell'Universo contribuisce anche **l'asimmetria materia-antimateria**: l'energia liberata dal Big-Bang produsse infatti enormi quantità sia di materia che di antimateria, completamente mescolate, ma con una leggerissima prevalenza (di circa **una parte su un miliardo**) della materia sull'antimateria. La successiva **annichilazione** su vasta scala della materia con l'antimateria inondò l'Universo di fotoni gamma, oggi divenuti – a causa dell'espansione successiva – i fotoni a microonde della radiazione cosmica di fondo, ma **lasciò intatto il piccolissimo residuo di materia in eccesso**.



**Paul Davies**

“Pertanto la nostra stessa esistenza, per non parlare dell'esistenza dell'universo visibile, dipende dal minuscolo grado di **rottura della simmetria** tra materia e antimateria, che a sua volta dipende dal modo in cui i quark, i leptoni e le forze che agiscono tra essi sono amalgamati in qualche finora indeterminata teoria di grande unificazione”.

## PARTE TERZA

# Possibili soluzioni dell'enigma “Riccioli d'Oro”



# La Super-Tartaruga Levitante

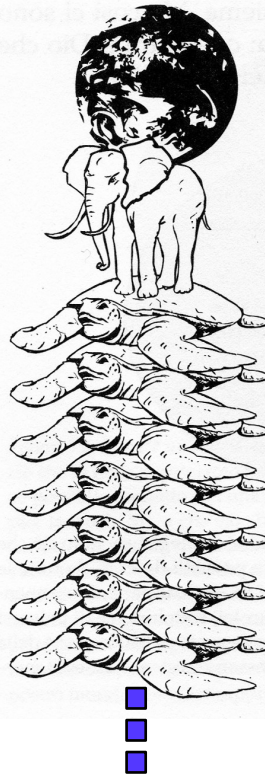
Si racconta che durante una conferenza di **Bertrand Russell** sulla natura dell'Universo, una signora in fondo alla sala a un certo punto si alzò ed inveì contro il relatore sostenendo di sapere come è fatto veramente l'Universo:

**“La Terra – spiegò la signora – poggia sul dorso di un gigantesco elefante che sta sul dorso di una gigantesca tartaruga”.**

Russell, sconcertato, reagì chiedendo su che cosa poggerebbe la tartaruga.

**“Lei sarà anche molto furbo, giovanotto”** rispose la signora **“ma non può farsi beffe di me: è chiaro che sono tutte tartarughe fino in fondo!”**

Catena  
esplicativa  
con  
regresso  
all'infinito...



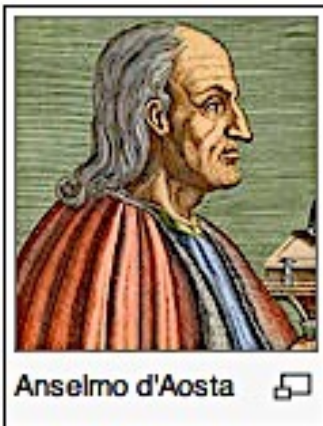
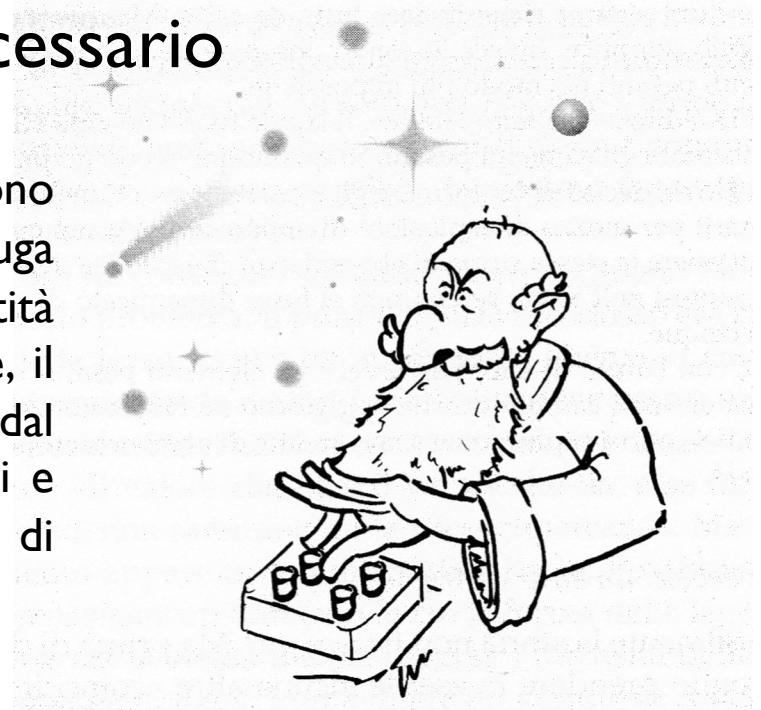
Catena  
esplicativa  
che si conclude  
con una  
**“supertartaruga  
levitante”**  
cioè  
con una Entità  
che si autosostiene  
e si autospiega  
risolvendo anche  
l'enigma  
**“Riccioli d'Oro”**



# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 1. La risposta della Teologia: il Dio Necessario

I teologi monoteisti attribuiscono evidentemente il ruolo della supertartaruga levitante ad un **Dio necessario**, una Entità soprannaturale onnisciente e onnipotente, il **Progettista Cosmico** che avrebbe creato dal nulla il nostro Universo **regolandone** leggi e costanti fisiche per permettere l'esistenza di noi esseri umani.



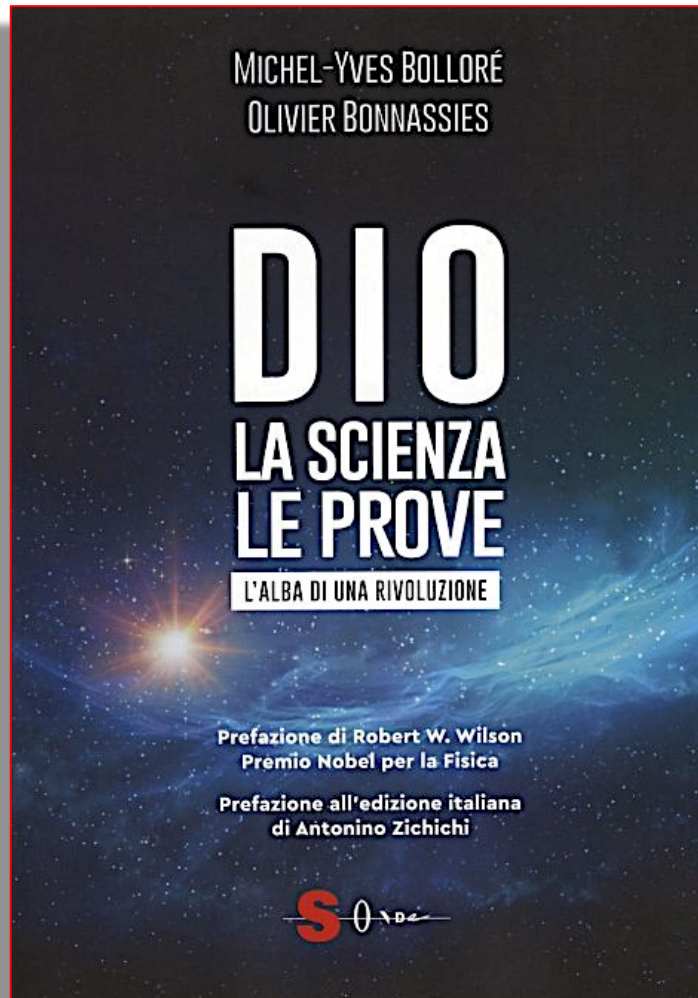
Argomento Ontologico di S. Anselmo

*« O Signore, tu non solo sei **ciò di cui non si può pensare nulla di più grande** (non solum es quo maius cogitari nequit), ma sei più grande di tutto ciò che si possa pensare (quiddam maius quam cogitari possit) [...]. Se tu non fossi tale, si potrebbe pensare qualcosa più grande di te, ma questo è impossibile »*

Proslogion (3,5) del 1077

# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 1. La risposta della Teologia: il Dio Necessario



In realtà anche la **scienza** oggi sta guardando con sempre meno sospetto all'ipotesi del **Progettista Cosmico**...

# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 1. La risposta della Teologia: il Dio Necessario



Il Messaggero

NEWS

### Viviamo in un universo simulato? La nostra realtà «è una simulazione computerizzata»

Venerdì 3 Maggio 2024 Ultimo aggiornamento 11:02



Melvin Vopson, scienziato dell'Università di Portsmouth, sostiene di avere prove a favore della teoria che viviamo in un **universo simulato**. Basandosi sulla sua "Seconda Legge dell'Infodinamica" da lui precedentemente formulata, Vopson sostiene che «l'ipotesi della simulazione è una teoria filosofica, in cui l'intero universo e la nostra realtà oggettiva sono solo costrutti simulati». Nonostante la mancanza di prove, questa idea sta guadagnando terreno negli ambienti scientifici e anche nell'industria dell'intrattenimento. Recenti sviluppi scientifici, come la pubblicazione del principio di equivalenza massa-energia-informazione, sembrano supportare questa possibilità. Nonostante queste affermazioni necessitino di ulteriori investigazioni e di una verifica rigorosa prima di essere accettate dalla comunità scientifica, rappresentano un interessante punto di partenza per ulteriori discussioni e studi sulla possibile realtà digitale del nostro universo. Scoperta vita extraterrestre «imminente» grazie al telescopio James Webb



In realtà anche la **scienza** oggi sta guardando con sempre meno sospetto all'ipotesi del **Progettista Cosmico**...  
...che però potrebbe essere anche un **Grande Informatico**, ossia un'entità che ha progettato il nostro universo come una enorme **simulazione computerizzata**.

# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 1. La risposta della Teologia: il Dio Necessario

### Vantaggi:

E' una spiegazione semplice e comprensibile della “**regolazione fine**” del cosmo e della sua idoneità alla vita, ed è una spiegazione “**naturale**” per coloro che hanno già deciso su altre basi che Dio esiste. Una Entità divina veramente necessaria **risolverebbe** inoltre il problema di “chi ha progettato il progettista”.



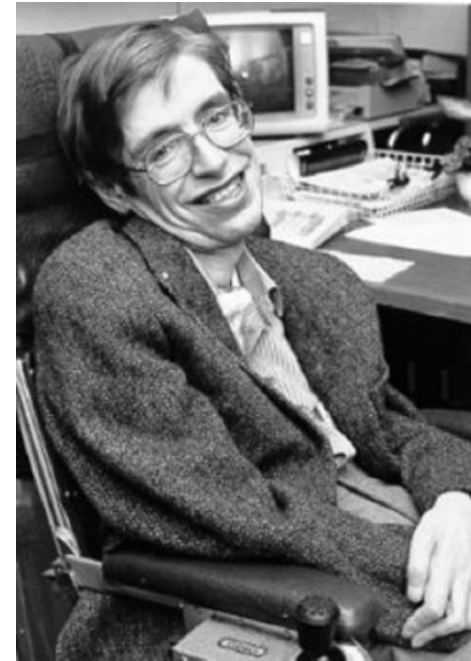
### Svantaggi:

La coerenza logica del concetto di “**essere necessario**” e la sua auto-evidenza non è ancora stata posta su basi sufficientemente solide. In ogni caso il **Progettista Cosmico**, come abbiamo visto, non sembra dover necessariamente avere una qualche relazione con il **Dio-providenza** delle religioni monoteistiche (vedi Deismo vs Teismo).



# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 2. Le risposte della Scienza: la Teoria del Tutto senza parametri liberi



**STEPHEN HAWKING**  
(1942-2018)

# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 2. Le risposte della Scienza:

### la Teoria del Tutto senza parametri liberi



Una concezione plausibile dell'Universo è quella per cui esiste un solo assetto possibile per le costanti e le leggi di natura: **l'Universo è così e non avrebbe potuto essere altrimenti**. In altre parole, come sostiene ad esempio il premio Nobel **David Gross**, i valori delle costanti di natura costituiscono **un puzzle con una sola soluzione** e questa soluzione è completamente specificata dall'unica teoria "vera" della natura": la cosiddetta **"Teoria del Tutto"**, una teoria senza **"parametri liberi"**.

In questa teoria **tutte** le leggi della fisica, i valori dei **parametri** cosmologici e delle **costanti** del modello standard, l'esistenza di uno **spazio-tempo** a 3+1 dimensioni, le **condizioni iniziali** all'origine dell'universo e la possibilità dell'emergere della **vita** e della complessità **conseguiranno** in modo inesorabile dalla **logica interna** della teoria.

#### Principio Antropico "Forte"

*"L'universo (e di conseguenza i parametri fondamentali che lo caratterizzano) dev'essere tale da permettere la creazione di osservatori all'interno di esso ad un dato stadio [della sua esistenza]."*



# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

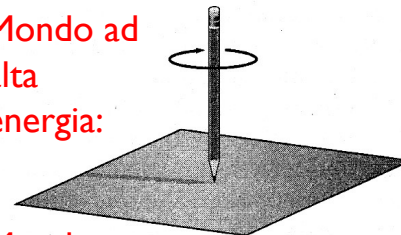
## 2. Le risposte della Scienza: la Teoria del Tutto senza parametri liberi

### Vantaggi:

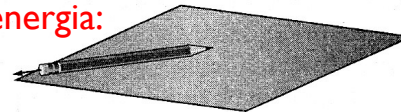
Non richiede l'introduzione di **altri Universi** oltre al nostro. Realizzerebbe inoltre il **sogno** di una comprensione completa dell'esistenza fisica: **nulla rimarrebbe senza spiegazione**, le caratteristiche fondamentali dell'Universo non sarebbero né arbitrarie, né frutto del caso, né opera di un ignoto progettista.



Mondo ad alta energia:



Mondo a bassa energia:



### Svantaggi:

Le più accreditate potenziali teorie del tutto, come le GUT Supersimmetriche, la Gravità Quantistica a Loop o la teoria delle Superstringhe / M, innanzitutto **non hanno ancora prodotto nessuna prova sperimentale** e inoltre prevedono un numero enorme di possibili “**mondi a bassa energia**”, cioè modi diversi di spezzare le simmetrie iniziali o di ‘compattificare’ le dimensioni nascoste.

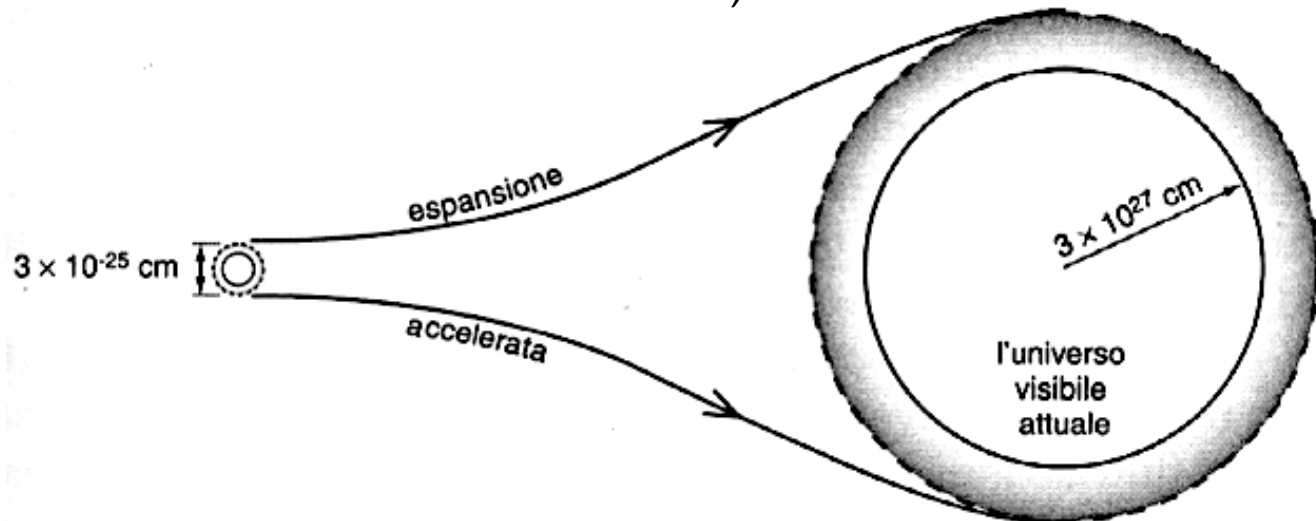
# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 3. Le risposte della Scienza: il Multiverso



Ricorderete che il meccanismo dell'inflazione proposto da Guth prevedeva una **espansione accelerata** dell'Universo immediatamente successiva al Big Bang generata da una **fluttuazione casuale** del campo dell'inflatone.

Ma c'era un problema: la teoria originaria dell'inflazione prevedeva delle **condizioni iniziali molto speciali** sia per il Big Bang (doveva essere sufficientemente caldo) che per il campo dell'inflatone (doveva essere inizialmente in uno stato eccitato instabile).



# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 3. Le risposte della Scienza: il Multiverso



Il cosmologo russo **Andrei Linde** risolse il problema nel 1983 mostrando che, **una volta che l'inflazione si mette in moto, è impossibile fermarla**: quando una regione dell'Universo subisce inflazione (e si stabilizza) crea infatti al suo interno le condizioni affinché altre sotto-regioni subiscano **ulteriore inflazione** a partire da fluttuazioni casuali, e così via...

Questo processo può **continuare all'infinito** e generare così infiniti **universi-tasca** o **universi-bolla**, ciascuno dei quali nascerà con una fase inflattiva, che genererà la materia al suo interno ed avrà una sua evoluzione indipendente, forse anche una sua fine. Il **Multiverso** così generato, invece, sarebbe eterno!



**L'inflazione caotica perpetua genera un MULTIVERSO "frattale" che si autoriproduce**

# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 3. Le risposte della Scienza:

### il Multiverso risolve l'enigma di Riccioli d'Oro



In questo schema, il nostro universo sarebbe solo uno dei tanti universi-bolla in cui l'inflazione si è arrestata, uno dei molti possibili “**mondi a bassa energia**”. Se poi, come ipotizzano svariati fisici teorici, tra cui **Susskind e Smolin**, ciascun universo-bolla avesse valori diversi, casuali, delle costanti universali e dei parametri cosmologici, ecco che il gioco è fatto: ovviamente, noi esseri umani non potremo che trovarci in uno dei (pochissimi) **universi favorevoli alla vita...**



# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 3. Le risposte della Scienza: il Multiverso risolve l'enigma di Riccioli d'Oro

Principio Antropico "Debole"

*"Dobbiamo tenere presente il fatto che la nostra posizione [nello spazio e nel tempo] è necessariamente privilegiata, in quanto compatibile con la nostra esistenza di osservatori."*



# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 3. Le risposte della Scienza: il Multiverso risolve l'enigma di Riccioli d'Oro



### Principio Antropico "Debole"

*"Dobbiamo tenere presente il fatto che la nostra posizione [nello spazio e nel tempo] è necessariamente privilegiata, in quanto compatibile con la nostra esistenza di osservatori."*

*Viviamo nel migliore  
dei mondi possibili!*



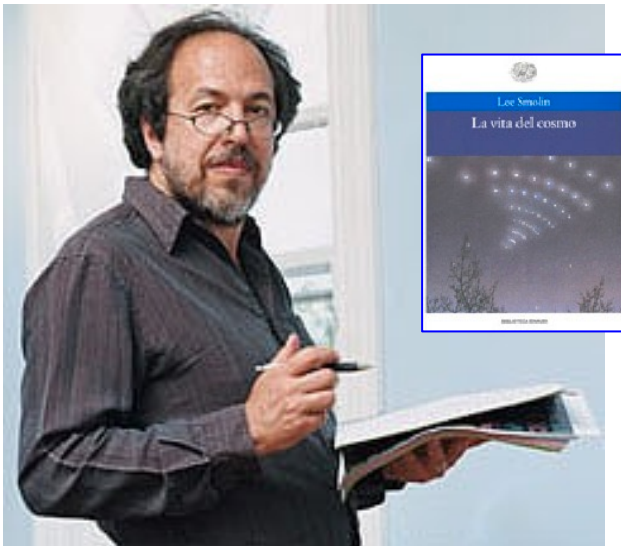
**Gottfried Leibniz**  
(1646-1716)



# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 3. Le risposte della Scienza: il Multiverso evolutivo

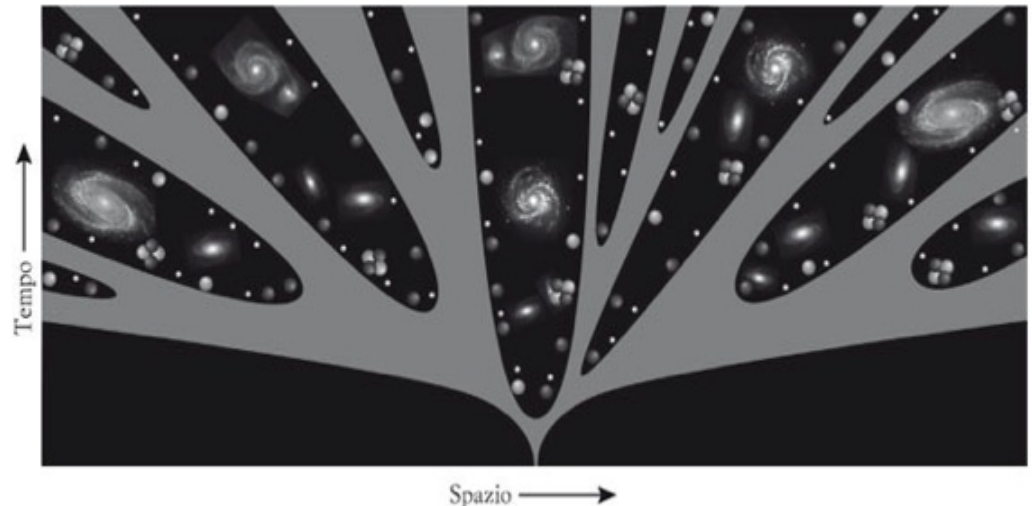
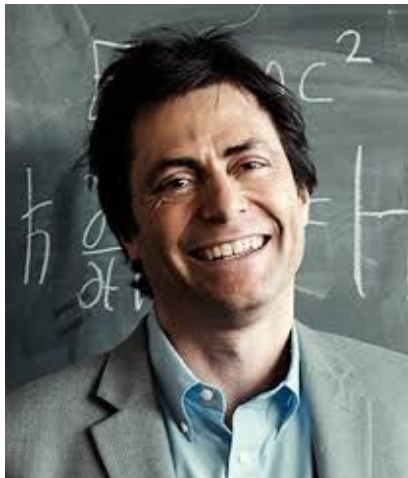
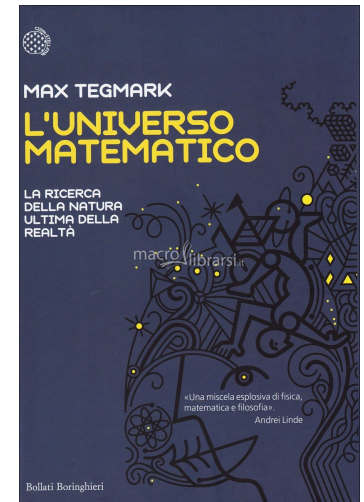
Secondo un'ipotesi del fisico **Lee Smolin** gli universi-bolla nascerebbero per inflazione dalle singolarità dei **buchi neri** e potrebbero addirittura essere soggetti alle **leggi dell'evoluzione e della selezione naturale**, nel senso che quegli universi i cui parametri cosmologici e le cui costanti fisiche favoriscono la generazione di un maggior numero di buchi neri avranno più probabilità di generare universi-figli, e questo processo "**sintonizzerebbe**" le costanti e i parametri su valori favorevoli anche all'emergere di forme di vita complesse.



# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 3. Le risposte della Scienza: 4 livelli di Multiverso

In questo contesto, il cosmologo **Max Tegmark** del MIT ipotizza l'esistenza di **quattro livelli gerarchici di Multiverso**, di cui quello inflazionario di Linde rappresenterebbe il livello 2, mentre quello di **livello 4** conterrebbe addirittura tutte le strutture matematiche concepibili in grado di generare leggi fisiche alla base di qualunque Multiverso dei livelli precedenti e, stranamente, **richiede meno informazioni degli altri per essere descritto...**

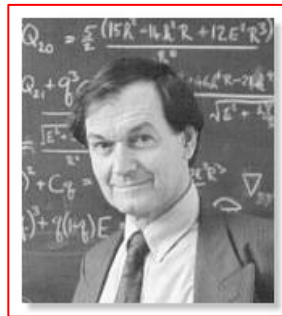
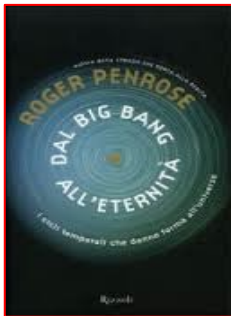
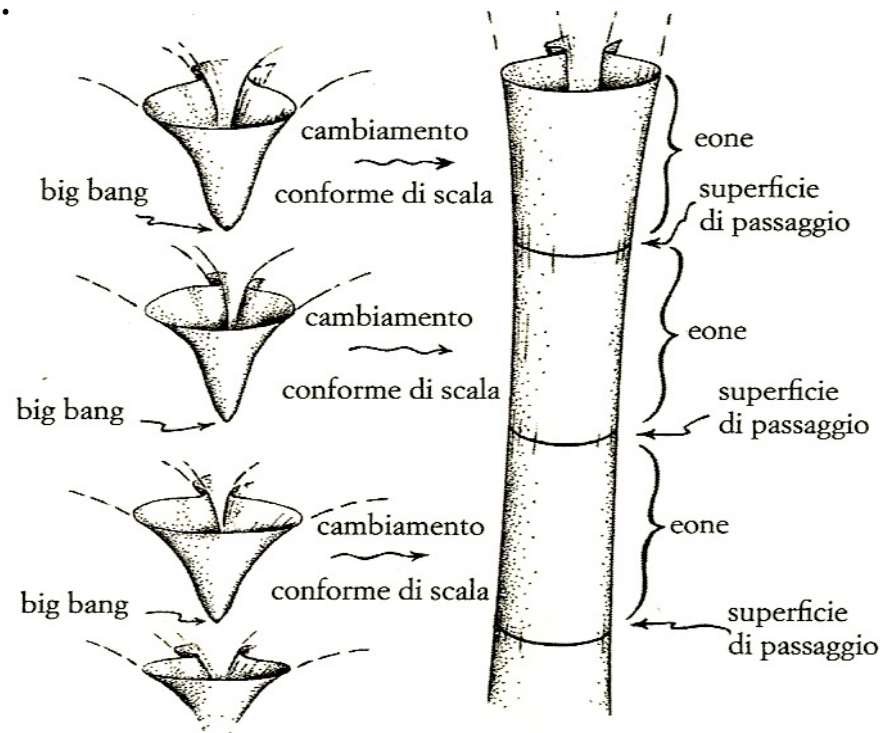


# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 3. Le risposte della Scienza: dal Multiverso spaziale a quello temporale

Un'ipotesi complementare a quella del Multiverso è stata infine elaborata da **Roger Penrose** (che ha raffinato un vecchio modello di universo oscillante di Friedmann e Tolman). Si tratta della cosiddetta "**Cosmologia Ciclica Conforme**" (CCC), che presenta la storia dell'Universo come una (infinita) **successione di eoni** dove la fase finale dell'uno (morte termica) coincide con l'inizio di quello seguente (big-bang).

Secondo lo stesso Penrose, "nel passaggio da un eone al successivo ci potrebbe benissimo essere spazio per dei **cambiamenti delle costanti delle leggi fisiche e dei parametri cosmologici.**"



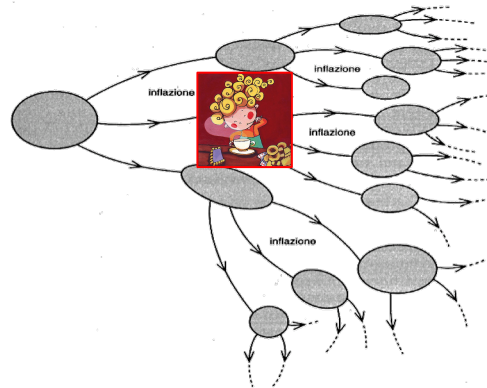
# Alla ricerca della Super-Tartaruga...

## 3. Le risposte della Scienza:

### il Multiverso risolve l'enigma di Riccioli d'Oro

#### Vantaggi:

Fornisce una spiegazione naturale e semplice della misteriosa **regolazione fine** dell'Universo a favore della vita: **osservatori intelligenti** compaiono solo in quegli universi-bolla dove, come per la pappa di Riccioli d'Oro, i parametri sono casualmente "**proprio quelli giusti**". Gli universi ostili alla vita, pur essendo in generale la stragrande maggioranza, rimangono invece, com'è ovvio, inosservati.



#### Svantaggi:

Per spiegare un unico Universo (il nostro) fa appello ad una **sovraabbondanza di entità** (gli innumerevoli – infiniti? – universi-bolla) la cui esistenza è peraltro molto difficile da verificare. La **comprensibilità** dell'Universo rimane comunque inspiegata, così come la stessa **esistenza** di un Multiverso eterno e in inflazione perpetua.

# Qual è la Super-Tartaruga giusta?

Una questione di fede...



Paul Davies

“Questo dibattito non può avere una conclusione univoca perché, in definitiva, l’una o l’altra supertartaruga devono essere accettate (almeno ad oggi) con un **atto di fede**”. Il guaio, invece, è che la super tartaruga di qualcuno è lo zimbello di qualcun altro. [...]



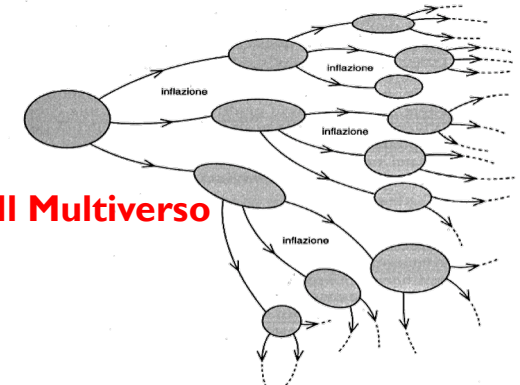
Ed è sbagliato, perché di fatto “non è possibile usare la **scienza** per confutare l’esistenza di un Dio soprannaturale, né si può usare la **religione** per confutare l’esistenza di leggi fisiche che si reggono in modo autonomo.”



Il Progettista  
Cosmico



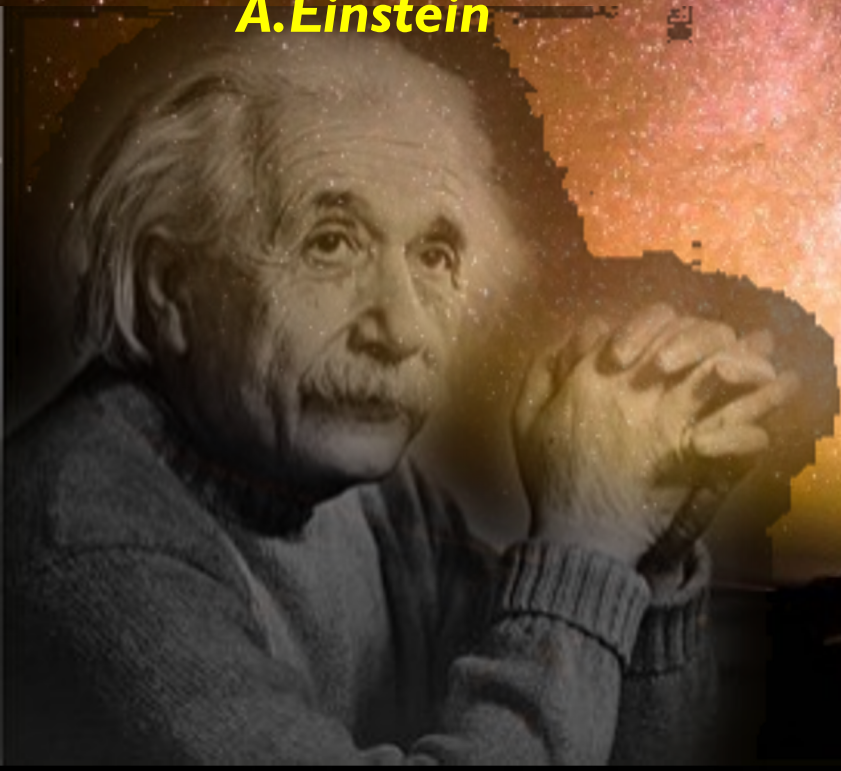
La Teoria del Tutto

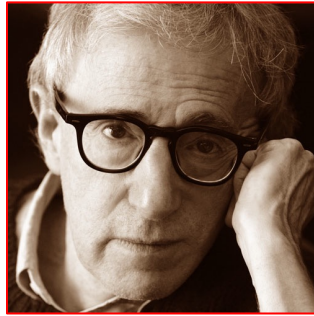


Il Multiverso

**“Percepire che dietro ciò di cui si può fare esperienza vi è qualcosa che la nostra mente non può conseguire e la cui bellezza e sublimità ci raggiungono solo indirettamente e in un debole riflesso: questa è religiosità. In questo senso io sono religioso. Per me è sufficiente meravigliarmi di tali segreti e tentare di cogliere intellettualmente una semplice immagine della possente struttura di tutto ciò che esiste”.**

**A. Einstein**





**“Sono sbalordito dalla gente che vuole conoscere l'universo, quando è già abbastanza difficile non perdersi nel quartiere cinese”.**

**Woody Allen**

Per chi volesse approfondire...



**Paul C.W. Davies**  
**Una fortuna cosmica**  
**Mondadori 2007**



**John D. Barrow**  
**I numeri dell'Universo**  
**Mondadori 2004**

