

# Chi ha paura del caos?

divagazioni sul vuoto, sul nulla, sulla causalità

**C. Cosmelli**

**Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma**

**Scuola estiva  
Montecompatri  
9.9.2011**



DIPARTIMENTO DI FISICA

SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

# 0. Cosa

1. Introduzione
2. Il caos & il Cosmo
  - a. Passato remoto
  - b. Passato
  - c. L'altro ieri
    - i. Cosa è (oggi) il caos
    - ii. Il Cosmo: qualcosa che sappiamo di lui
3. Ieri, oggi e domani
  - a. Il Modello Standard. Il Vuoto e il Nulla
  - b. Una sola grandezza: il Tempo, a meno che non esista.

# 1. Introduzione

- ❖ Nella Scienza moderna è l'ultima definizione/formula/teoria che vale
- ❖ Anche per le parole, in ambito scientifico:
  - ❖ Il caso dell'energia: 1800 -1850 -1905...i ciarlatani del XX secolo.
  - ❖ Caos e cosmo(s): esistenti ed utilizzati da più di 2000 anni con vari significati.
- ❖ La fisica del XX secolo:
  - ❖ Attribuisce significato scientifico alla parola “caos” (deterministico).
  - ❖ Arriva ad una descrizione molto attendibile della storia del Cosmo.
  - ❖ Definisce il Nulla ed il Vuoto e le loro proprietà.
  - ❖ Lega il caos allo sviluppo di nuove strutture, alla vita, alla teoria delle catastrofi, ai frattali, alle Reti ed alle strutture emergenti.
  - ❖ Propone un mondo ad N-dimensioni, le brane, la  $\oplus$  del tempo.

## 2a. Passato Remoto -1776

### ❖ Pierre Simon Laplace, 1776, le certezze.

❖ Possiamo considerare lo stato attuale dell'universo come l'effetto del suo passato e la causa del suo futuro. Un intelletto che ad un determinato istante dovesse conoscere tutte le forze che mettono in moto la natura, e tutte le posizioni di tutti gli oggetti di cui la natura è composta, se questo intelletto fosse inoltre sufficientemente ampio da sottoporre questi dati ad analisi, esso racchiuderebbe in un'unica formula i movimenti dei corpi più grandi dell'universo e quelli degli atomi più piccoli; per un tale intelletto nulla sarebbe incerto ed il futuro proprio come il passato sarebbe evidente davanti ai suoi occhi. (da *Essai philosophique sur les probabilités*)

❖ [Ludwig Boltzmann, 1897, l'incertezza 1.](#)

❖ Se per spiegazione meccanica della natura intendiamo quella che poggia sulle leggi della meccanica usuale, dobbiamo allora dichiarare che è del tutto incerta la possibilità che l'atomismo del futuro continui ad essere una spiegazione meccanica della natura.

## 2b. Passato - 1903

### ❖ Henri Poincaré 1903, l'incertezza 2.

❖ Una causa piccolissima che sfugga alla nostra attenzione determina un effetto considerevole che non possiamo mancare di vedere, e allora diciamo che l'effetto è dovuto al caso. Se conoscessimo esattamente le leggi della natura e la situazione dell'universo all'istante iniziale, potremmo prevedere esattamente la situazione dello stesso universo in un istante successivo. Ma se pure accadesse che le leggi naturali non avessero più alcun segreto per noi, anche in questo caso potremmo conoscere la situazione iniziale solo approssimativamente. Se questo ci permettesse di prevedere la situazione successiva con la stessa approssimazione, non ci occorrerebbe di più e dovremmo dire che il fenomeno è stato previsto, che è governato da leggi. Ma non è così, **può accadere che piccole differenze nelle condizioni iniziali ne producano di grandissime nei fenomeni finali. Un piccolo errore nelle prime produce un errore enorme nei secondi. La previsione diventa impossibile e si ha un fenomeno fortuito.** (da *Science et méthode*). <sup>6</sup>

### ❖ Werner Heisenberg, 1927, l'incertezza intrinseca

❖ Il Principio d'Indeterminazione: la realtà microscopica non è definita, di per sé.

❖ Ma riusciamo ugualmente a far partire una macchina girando la chiave d'accensione.

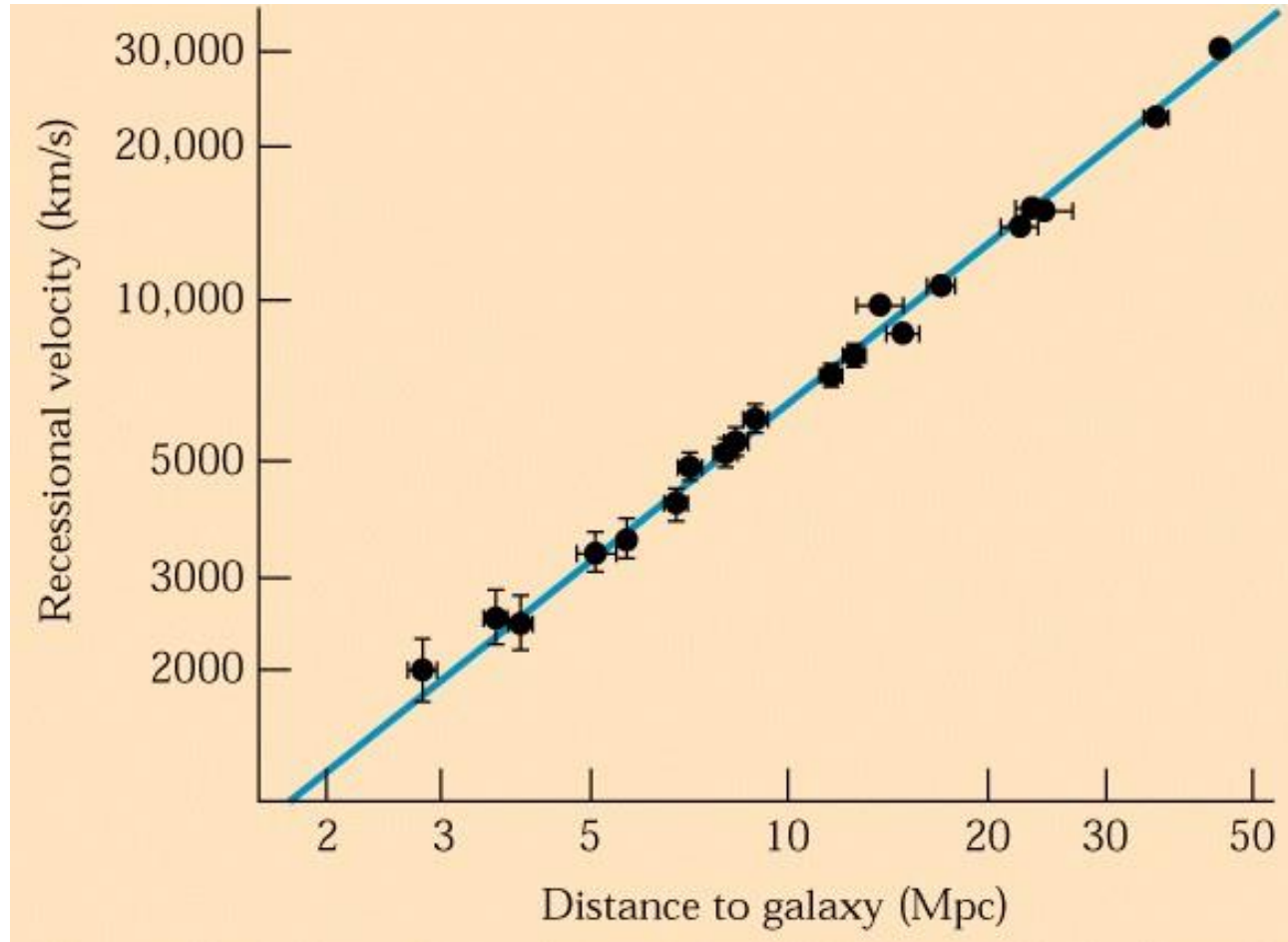
❖ ...e non c'entra nulla con il caos.

## 2b. Passato 4 - 1929

❖ E. Hubble scopre che le galassie si allontanano da noi, e che la loro velocità è proporzionale alla loro distanza.

$$V = H_0 \cdot D$$

$$H_0 = 15 \text{ km/s/}10^6 \text{ a.l.}$$





## 2c. L'altro ieri - 1963

### ❖ Edward N. Lorenz, 1963, il caos deterministico

❖ Mentre stava preparando una previsione meteorologica che aveva iniziato introducendo nel computer vari parametri quantificati in numeri con **sei cifre decimali**. Riprendendo poi il lavoro dopo un'interruzione pensò bene di abbreviare il compito del computer **riducendo a tre le cifre decimali** dei parametri, considerato che esse erano più che sufficienti per assicurare la precisione scientifica dei risultati; ma quando li ebbe davanti agli occhi non poté che strabiliare constatando **l'abissale difformità riscontrata tra questi e quelli** che si sarebbe ragionevolmente aspettato in base ai parametri impostati. Lorenz si rese allora conto che il tempo atmosferico costituisce un esempio di sistema **non lineare molto complesso** e che quella infinitesima modifica apportata ai parametri meteorologici si era ingigantita a dismisura nel corso del successivo sviluppo fino a sfociare in un **risultato finale del tutto diverso ed imprevedibile**." [da S. Grieco, *La conoscenza scientifica*. 1998].

## 2c. Cosa è il caos

❖ E' caotico un sistema dinamico **non lineare**, in cui piccole differenze nelle condizioni iniziali danno luogo a evoluzioni temporali molto diverse; per esempio una palla lanciata in aria non è un fenomeno caotico.



❖ **Sistema non lineare**:  $f(x+y) \neq f(x)+f(y)$  ,  $f(kx) \neq k f(x)$

❖ raddoppiando le cause non raddoppiano gli effetti. L'evoluzione di un sistema composto non è a priori scomponibile nell'evoluzione dei suoi sottosistemi. Non è riducibile.

❖ Un sistema caotico non è necessariamente un sistema puramente casuale: spesso il caos segue leggi deterministiche →

**caos deterministico**

[casualità o imprevedibilità, deterministica, non caotica =  $\pi$  ]

## 2c. Caratteristiche del caos deterministico

- **Sensibilità alle condizioni iniziali:** a variazioni infinitesime delle condizioni al contorno (o, genericamente, degli **ingressi**) corrispondono variazioni finite in uscita.
- **Imprevedibilità:** non si può prevedere in anticipo l'andamento del sistema **su tempi lunghi** rapportati al tempo caratteristico del sistema a partire da assegnate condizioni al contorno.
- **L'evoluzione** del sistema è descritta, nello spazio delle fasi, da innumerevoli *orbite* ('traiettorie di stato'), diverse tra loro con evidente componente casuale agli occhi di un osservatore esterno, e che restano tutte confinate entro un certo spazio definito: **il sistema cioè non evolve verso l'infinito per nessuna variabile. Gli attrattori strani.**

# 2c. Il caos 1

❖ <http://www.ensta-paristech.fr/~perez/pendule/TriplePendulum.html>

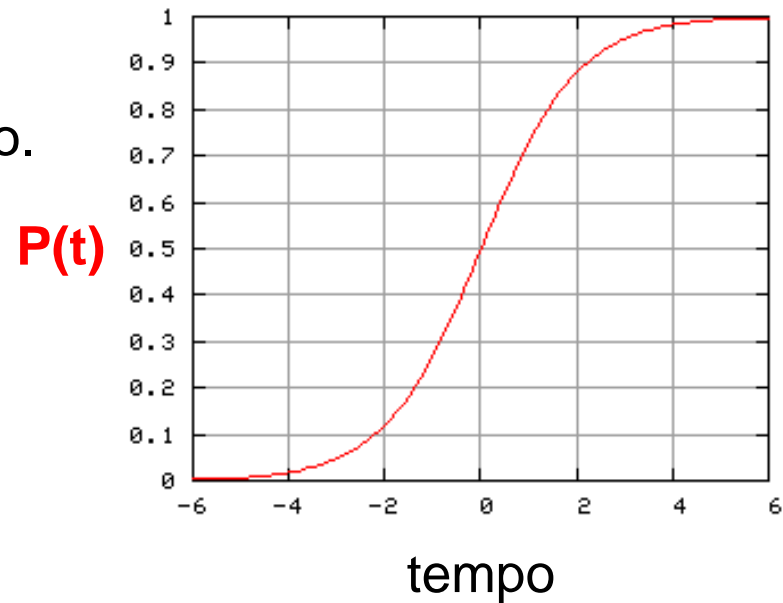


Vediamo cosa succede per un sistema che può diventare caotico.  
Un esempio storico...il primo?

P.F. Verhust – 1845: la curva logistica per  
l'andamento di una popolazione con il tempo.

**P(t) = Popolazione**

Dipende da  $P_0$  = Popolazione iniziale  
da  $r$  = Tasso di crescita



Tasso di crescita  $\propto$  Popolazione esistente

Tasso di crescita  $\propto$  ammontare delle risorse disponibili

## 2c. Il caos 2

Qualche esempio numerico  $P(t)$  variando  $r$ , il tasso di crescita.  $P_0=0,1$

1 popolazione

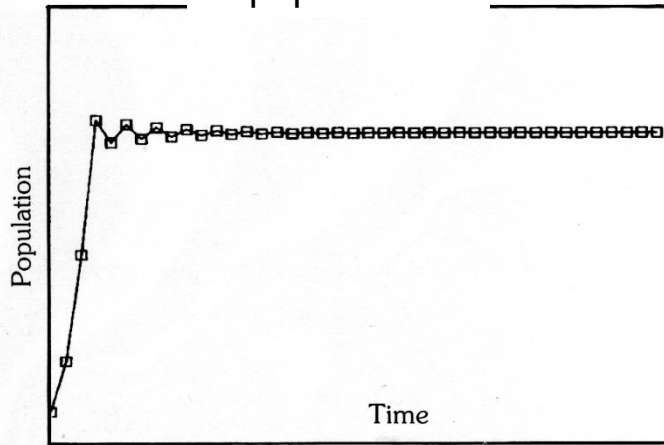


Fig. 17.  $r=1.8$

2 popolazioni

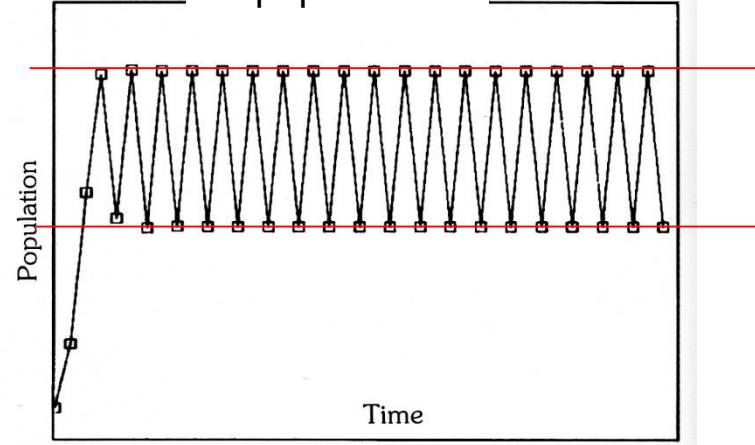


Fig. 18.  $r=2.3$

4 popolazioni

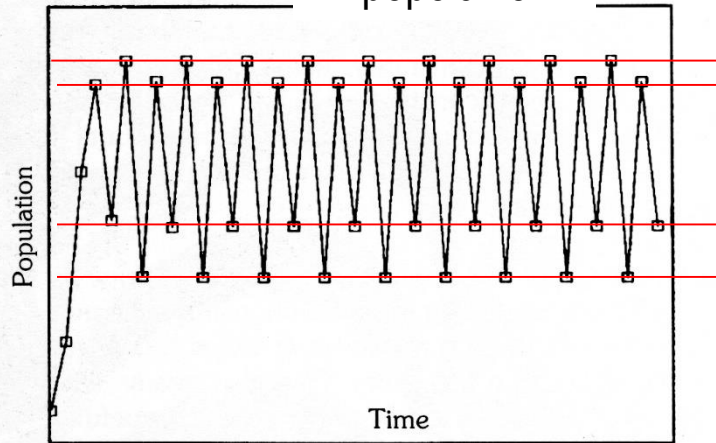


Fig. 19.  $r=2.5$

>8 popolazioni

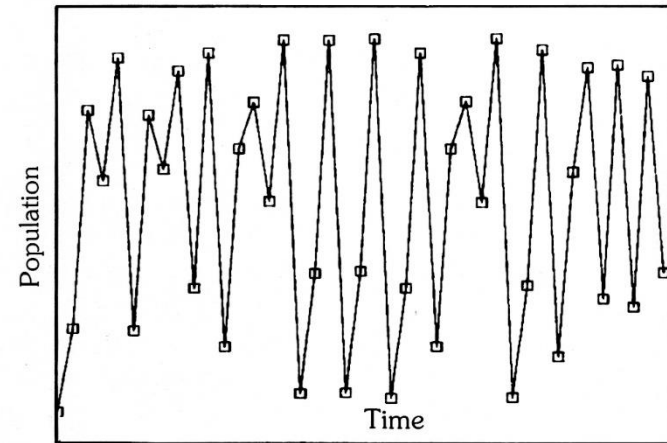
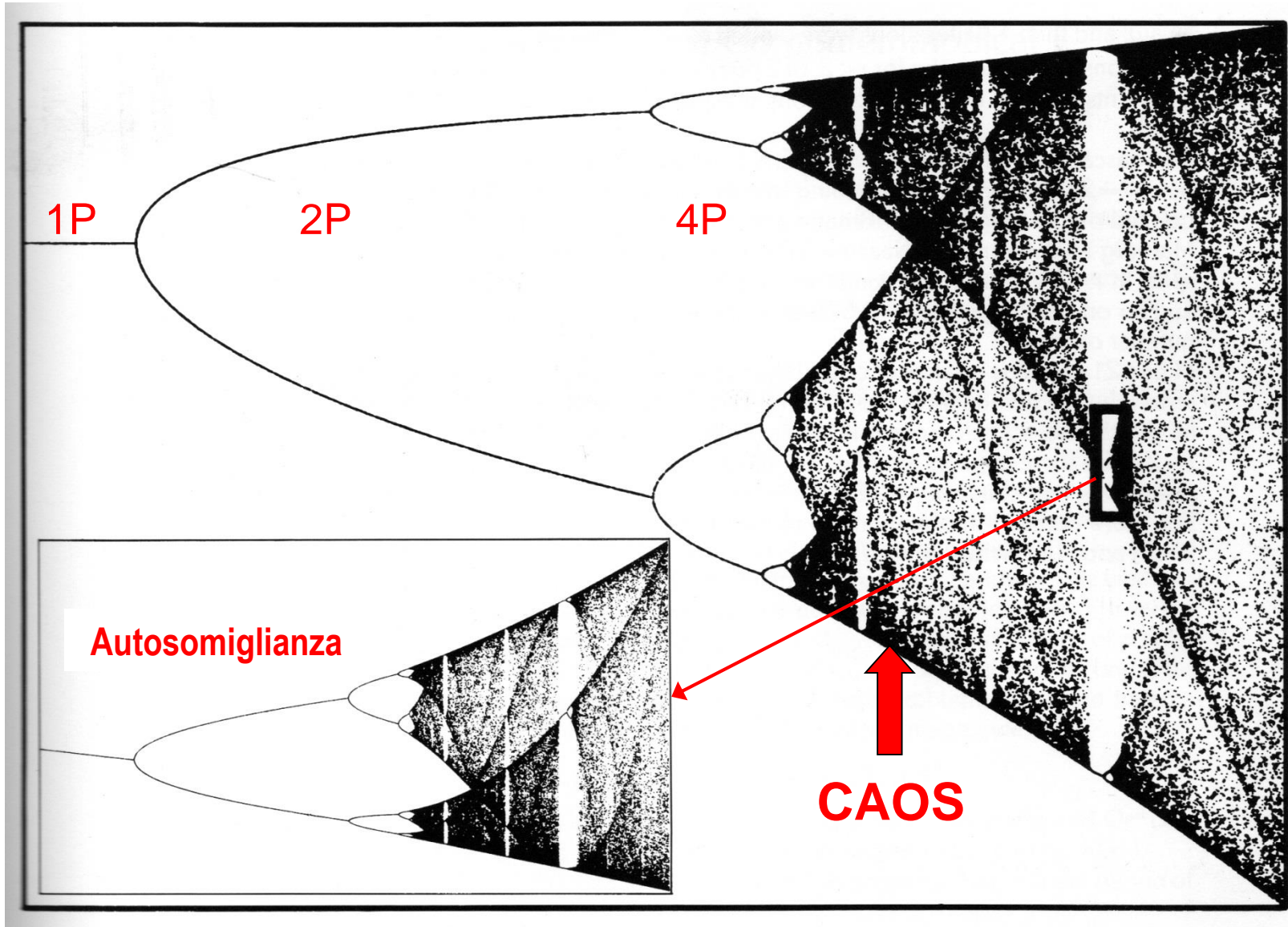


Fig. 20.  $r=3$

# 2c. Il caos 3 – La popolazione per un tempo...lungo

**P**



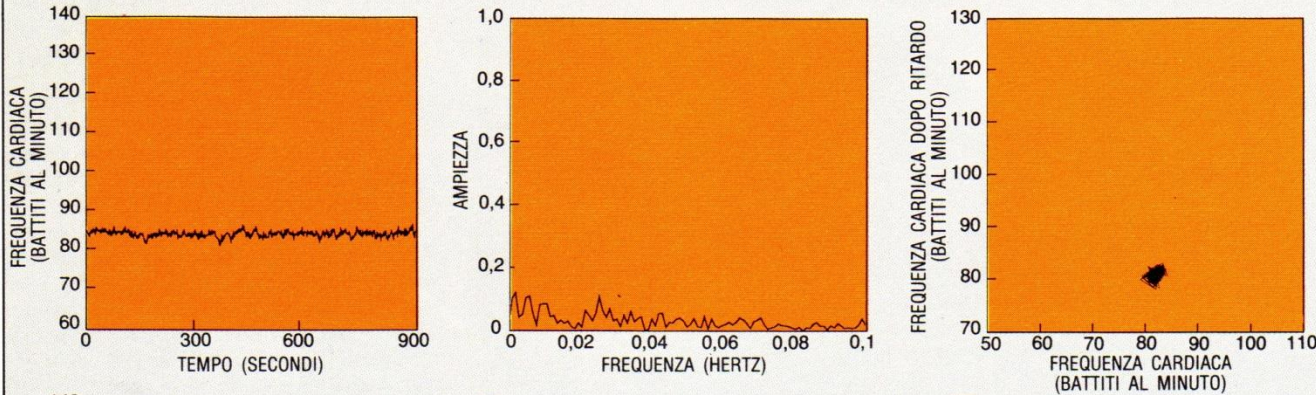
**1,9**

**$r =$  tasso di crescita**

**3** <sup>14</sup>

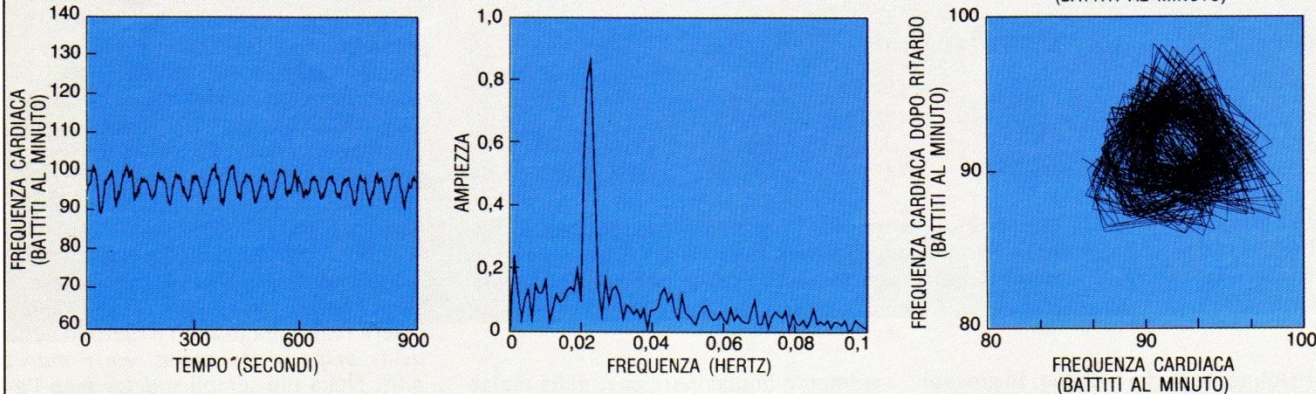
# 2c. Il caos in natura – Il battito del cuore

**A**



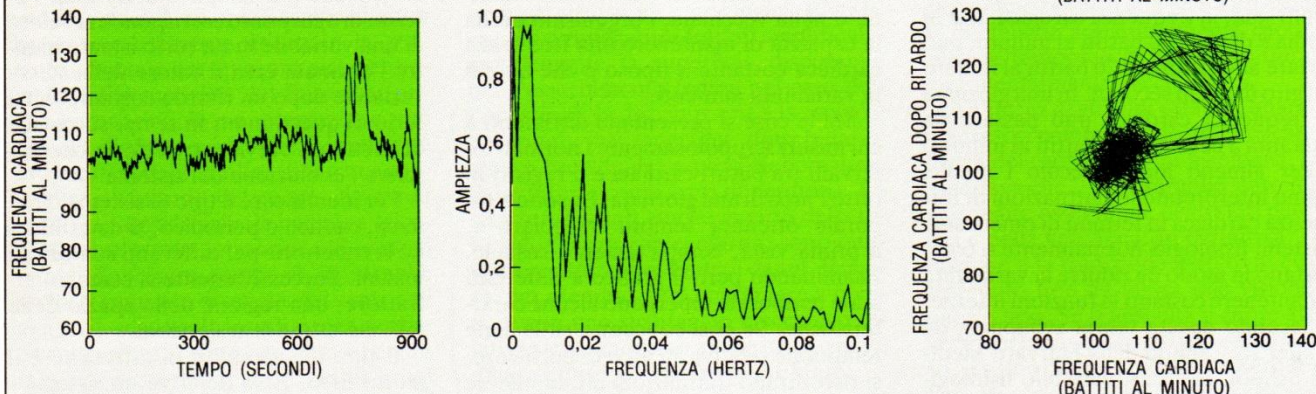
**A:** il paziente ha avuto un infarto dopo circa due ore ed è deceduto

**B**



**B:** Il paziente ha avuto un infarto dopo circa 12 ore

**C**



**C:** Il paziente è sano e non presenta problemi di cuore

## 2c. L'altro ieri - 1964

A. Penzias & R. Wilson – 1964: dirigono il loro telescopio verso il nulla (nel senso di una regione del cielo da cui non proveniva radiazione luminosa, né infrarossa, né ultravioletta)



...e trovano una radiazione cosmica “di fondo” costante equivalente ad un corpo molto freddo =  $3\text{K} = -270\text{ }^{\circ}\text{C}$

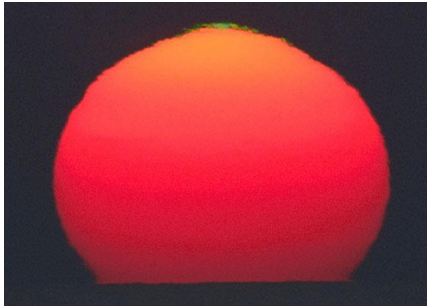


## 2c. L'altro ieri – 1964

### 1. Cosa vuol dire guardare nello spazio

Guardare nello spazio vuol dire guardare indietro nel tempo:

Sole: 8,33 minuti



Raggio Galassia  
50'000 a.l.

Andromeda: 2 milioni a.l.  
(la galassia più vicina)



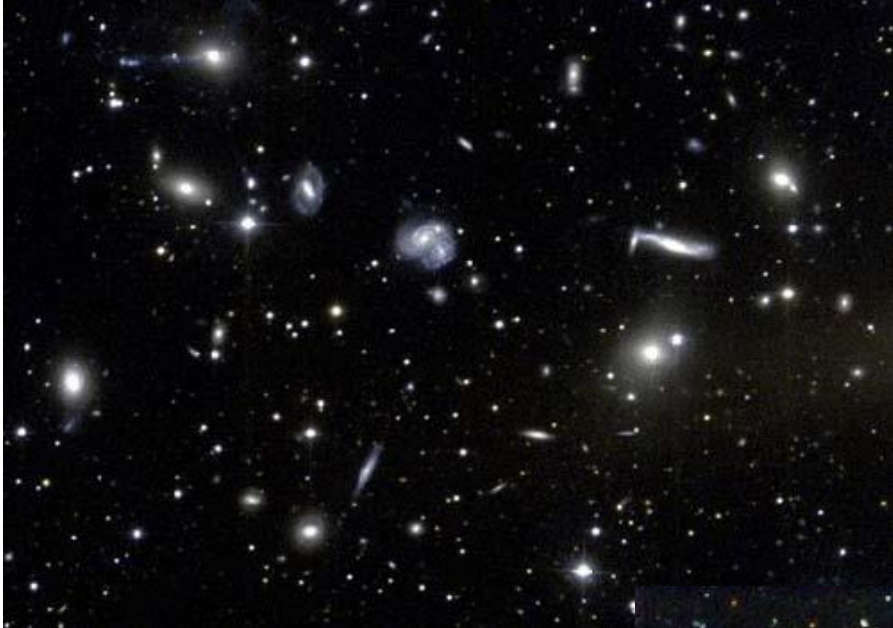
Proxima centauri: 4,22 a.l.

(la stella più vicina)

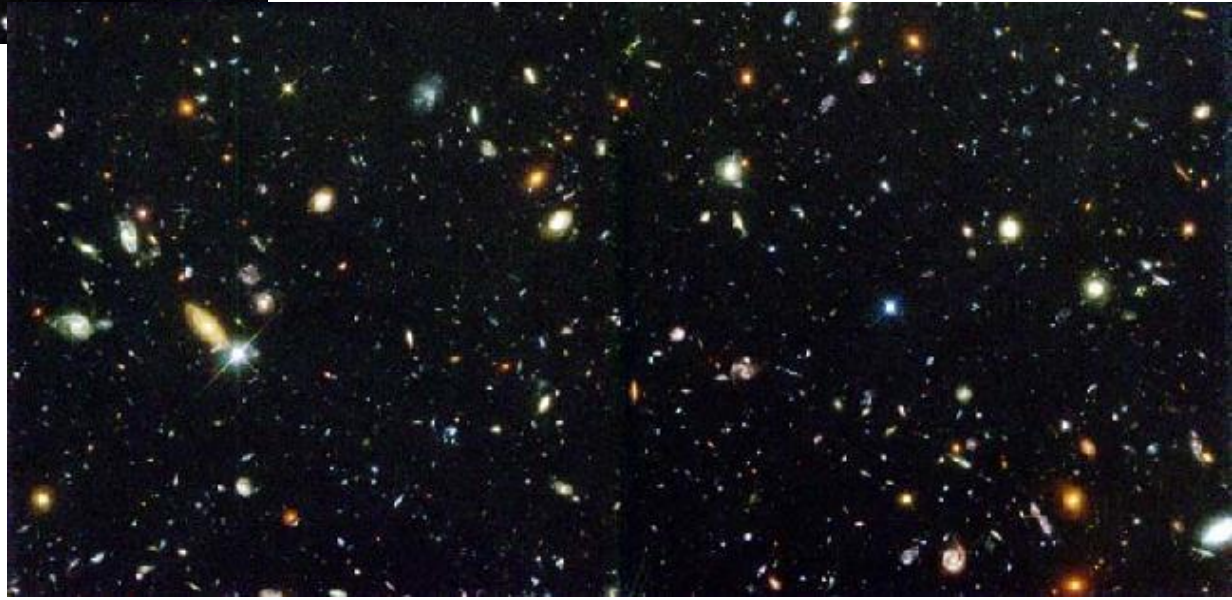


## 2c. Sempre più lontano

Ammasso di Galassie Hercules: 100 milioni di anni luce



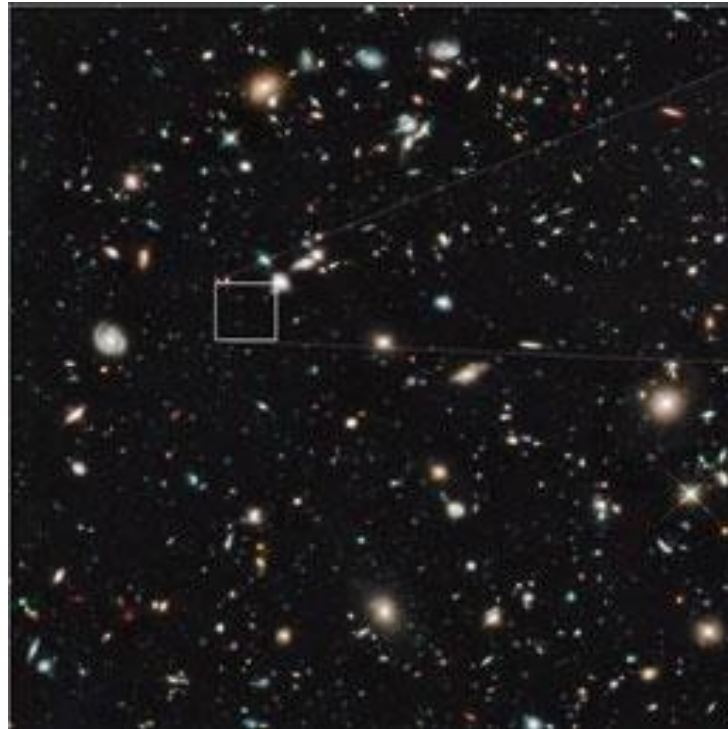
Hubble deep field : 11 miliardi a.l.



## 2c. Sempre più lontano

La galassia più lontana

13,2 miliardi di anni luce



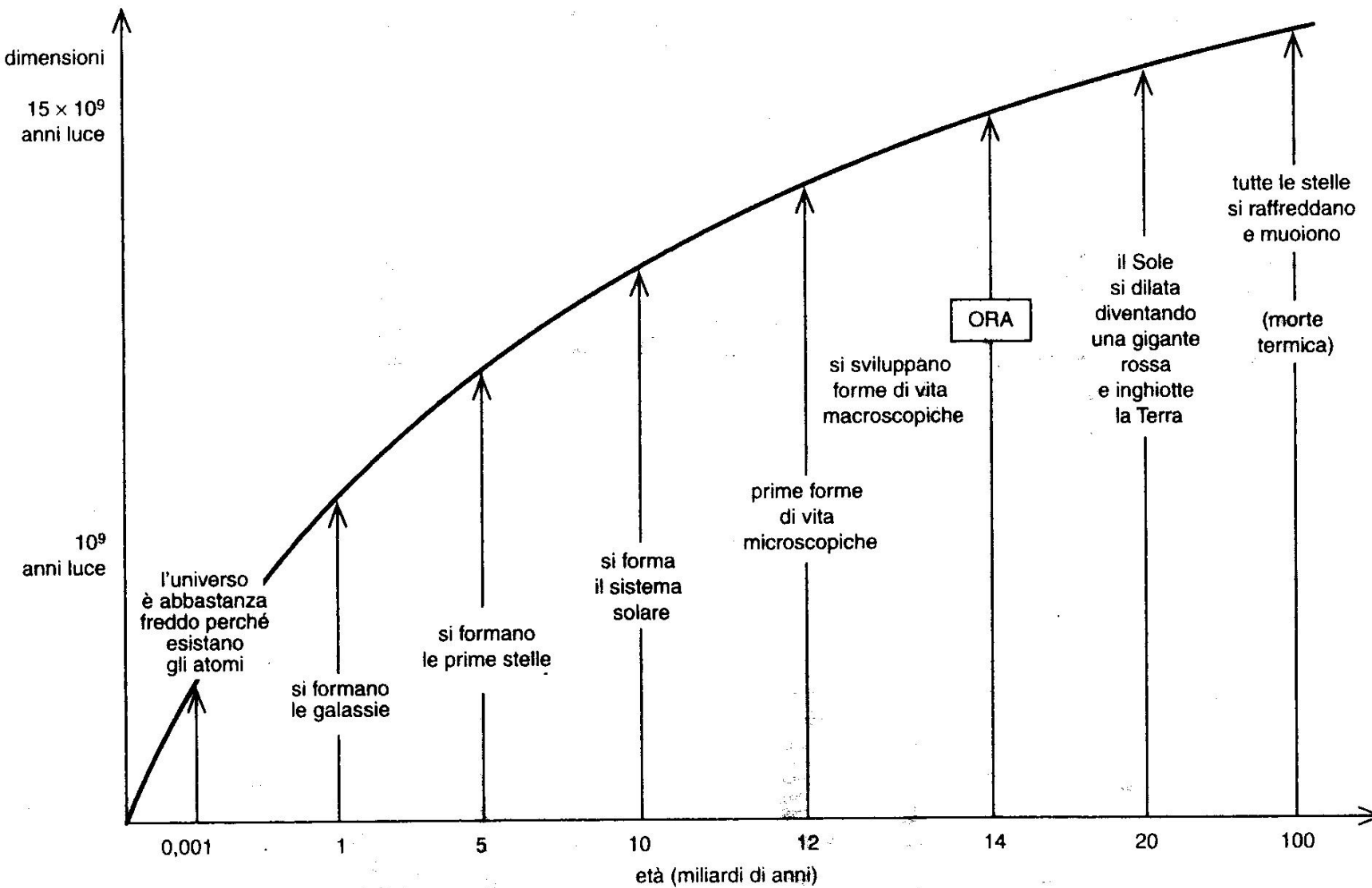
### **E poi cosa c'è? Non c'è nulla**

Dal fondo dell'universo, a 13,8 miliardi di anni luce, arriva la radiazione scoperta da Penzias e Wilson, quella emessa nel Big Bang.

# 3. La storia dell'Universo.1

Le 9 Ere	t	$\Phi_{\text{Universo}}$	T(K)	Cosa succede
Era di Planck	<b>NON</b>	<b>CI</b>	<b>SONO</b>	<b>TEORIE</b>
Grande Unificazione	$10^{-43}$ s	?	$10^{30}$	Le forze sono unificate + gravità?
Inflazione	$10^{-35}$ s	$10^{-26}$ m	$10^{27}$	Espansione rapida $E \rightarrow p_a + \bar{p}_a \rightarrow E$
Elettrodebole	$10^{-32}$ s	10 m	$10^{27}$	Forte/e-deb si lasciano
Fine elettrodebole	$10^{-9}$ s	$10^9$ km	$10^{15}$	e.m./d si lasciano
Adroni	$10^{-6}$ s	$100 \cdot 10^9$ km	$10^{13}$	Interazione Forte + quark $\rightarrow$ adroni
Nucleosintesi	100 s	0,1 a.l.	$10^{10}$	$n \rightarrow p+e$ Nuclei di Elio/Deuterio
Opacità	200 s	10-10'000	$10^8$	Atomi, H, H <sub>e</sub> , L <sub>i</sub>
Materia	300'000 a	100 $10^6$ a.l.	3000	Fotoni/Atomi pesanti
Oggi	13,7 Miliardi di anni	13,7 Miliardi a.l.		Lezioni 21

# 3. La storia dell'Universo 2

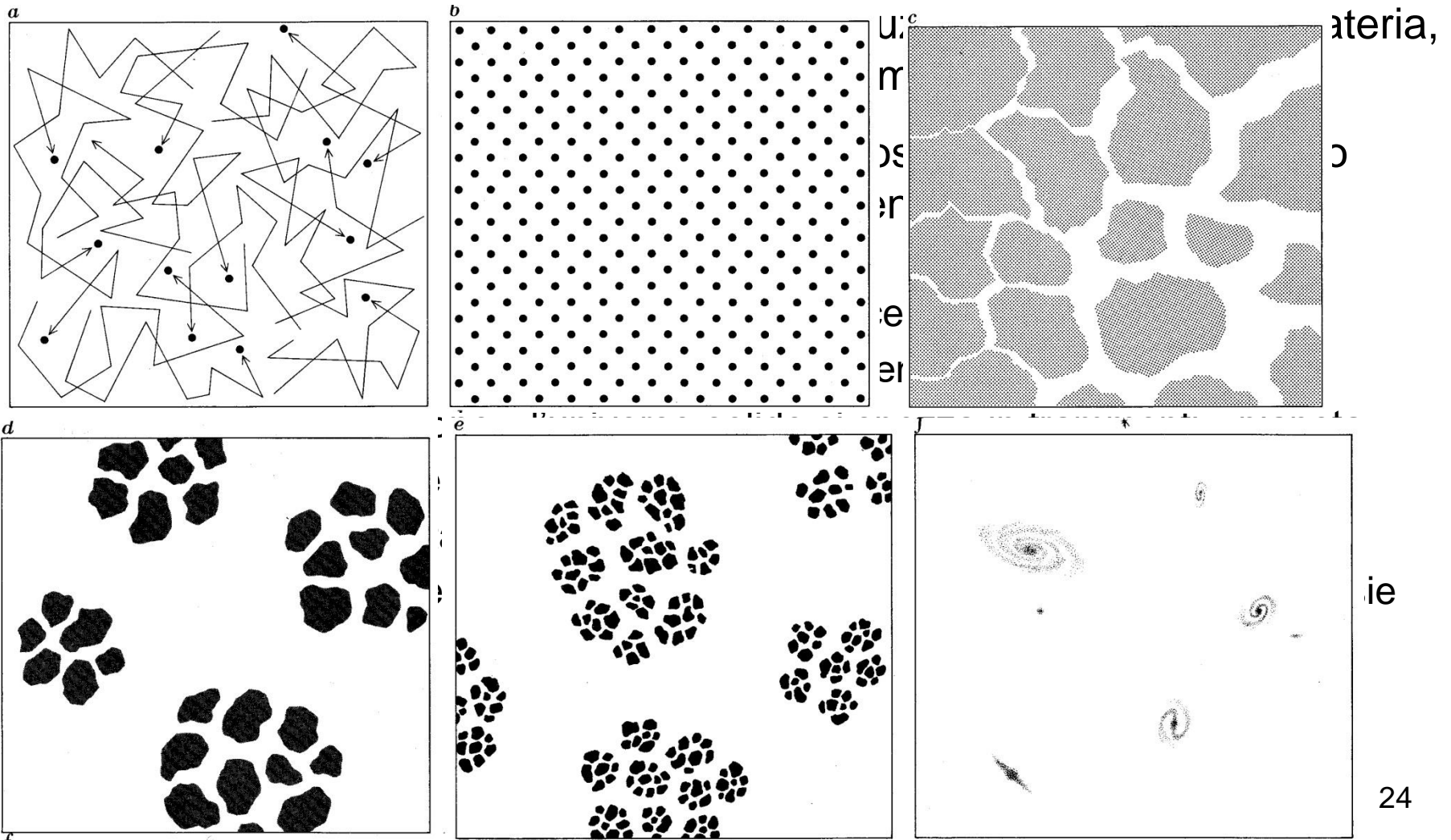


### 3. Il Vuoto e il Nulla



- ❖ Nello spazio intergalattico c'è il vuoto.
- ❖ Il vuoto in meccanica quantistica non è sempre “vuoto”: le fluttuazioni del nulla esistono (Heisenberg)
  - ❖ La luce emessa dalla frontiera dei buchi neri
- ❖ Al di fuori dell'Universo, oltre l'orizzonte a 13,7 Miliardi di anni luce, non c'è nulla.  
Non c'è lo spazio-tempo.

# 3. Caos e Cosmos *à la carte*

- ❖ Cosa serve per far nascere e far evolvere l'universo come lo vediamo?
- ❖ Nulla di "predisegnato", nessuna informazione particolare...



### 3. Dal Caos a tutto il resto

- ❖ La teoria delle catastrofi (l'attacco di un cane – bulimia e anoressia)
- ❖ Strutture frattali (le arterie – le galassie). Molta informazione con formule semplici:  $x_{n+1} = x_n^2 + c$  
- ❖ Il mescolamento, o lo stiramento ed il ripiegamento geometrico (l'eruzione del Krakatoa – la preparazione della pasta sfoglia – la luminosità delle stella, lo stiramento di Poincaré). 
- ❖ Fenomeni emergenti (le reti, Internet, il cervello)
- ❖ Il caos è necessario per l'evoluzione di sistemi molto complessi, per la diminuzione locale dell'entropia, per l'ordine, per l'informazione



- ❖ Strutture del Cosmo dopo il Modello Standard. Il Modello Standard non è elegante. MQR  $\oplus$  Gravità
  - ❖ Universi ad N-dimensioni, M-theories
  - ❖ Specchio delle mie brane chi è la più bella del reame?



# 3. Il tempo

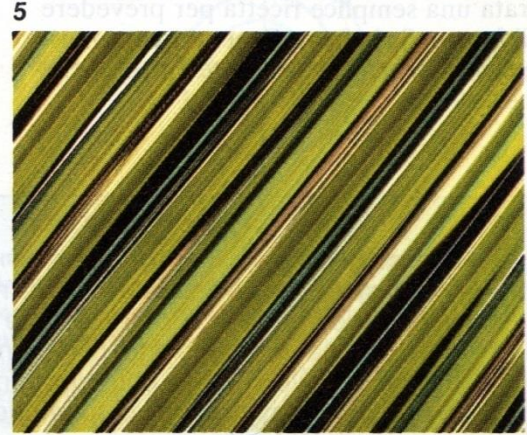
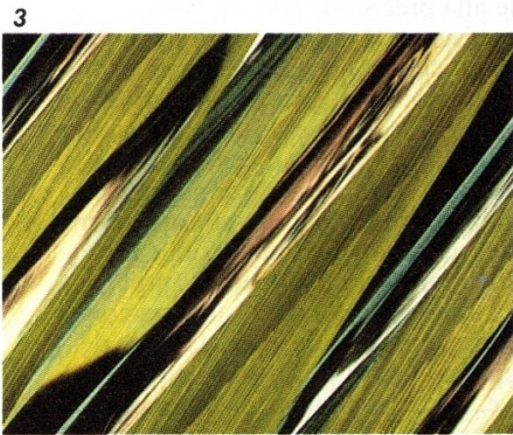
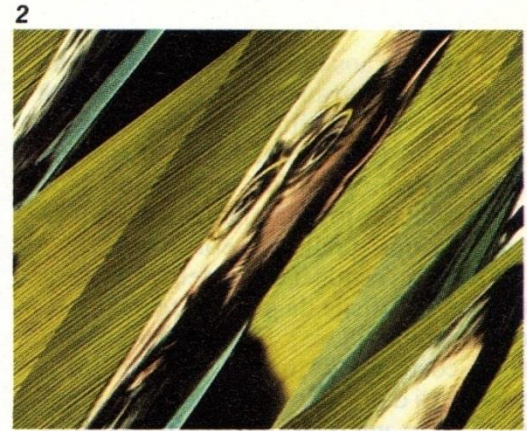
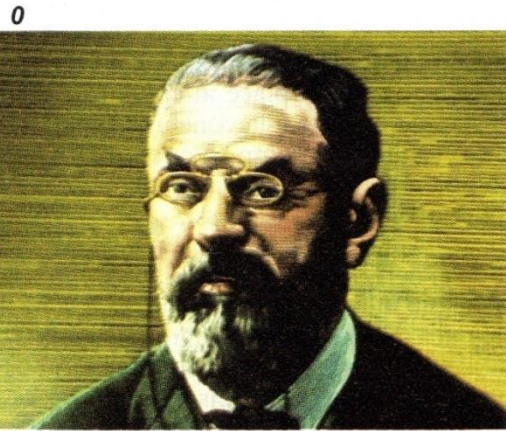
- ❖ Il Caos, l'evoluzione dell'Universo, tutta la nostra vita, sono descritti da una variabile particolare : **IL TEMPO**
- ❖ **Tutte** le teorie prevedono il principio di causalità:
  - ❖ **Prima** viene la causa, **poi** l'effetto
  - ❖ E' il tempo che determina l'ordine.

**Possiamo farne a meno? Si, forse.**

Julian Barbour: una teoria in cui si fa a meno del tempo...

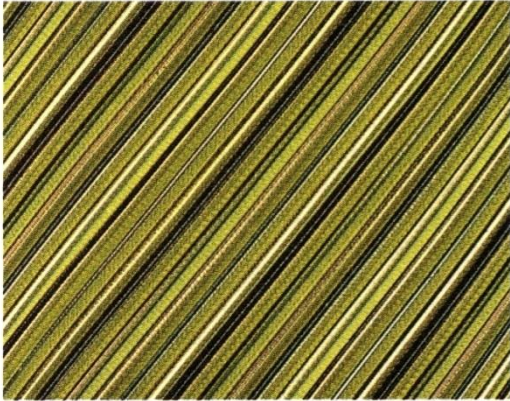


# Stiramento Poincaré 1



# Stiramento Poincaré 2

7



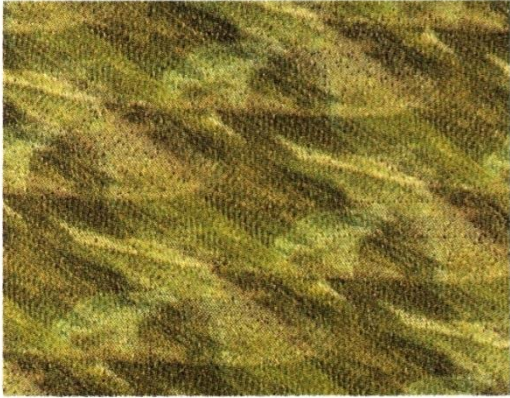
10



18



47



48



237



239



240



241

