

A.C.A. - Associazione Cernuschese Astrofili

# TRA IL CERTO E L'INCERTO



by Andrea Grieco

# SORGERA' IL SOLE DOMANI?



QUESTIONE POSTA DA P.S. de LAPLACE NEL XVIII SECOLO MA IN REALTA'  
MOLTO PIU' ANTICA



## POSSIBILI RISPOSTE

- LA DIVINITA' DELLA LUCE COMBATTE CONTINUAMENTE CON LA DIVINITA' DEL BUIO E L'ESITO E' SEMPRE INCERTO
  - IL DIO SOLE SI ALTERNA CON LA DEA NOTTE
- OCCORRE SACRIFICARE AGLI DEI PERCHE' FACCIANO SORGERE IL SOLE
  - GLI DEI HANNO STABILITO CHE IL SOLE SORGA OGNI GIORNO
- E' UNA LEGGE DI NATURA ALLA QUALE SOTTOSTANNO ANCHE GLI DEI
  - LA LEGGE DI GRAVITAZIONE UNIVERSALE CI ASSICURA CHE IL SOLE SORGERA' DOMANI
    - E' SEMPRE SORTO IN PASSATO, PERCHE' NON DOMANI?

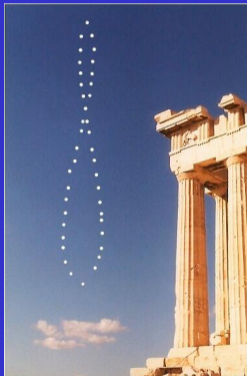


# LA NATURA E' PREVEDIBILE?

- > IL RIPETERSI REGOLARE DI ALCUNI FENOMENI PORTA A RITENERE LA NATURA, ALMENO IN PARTE, PREVEDIBILE



Fasi lunari



Analemma solare con particolare del Partenone - Anthony Ayiomamitis



Eclisse solare 4 aprile 2006  
Antalia TK - Stefan Seip



# I CALENDARI

**I CALENDARI DELL'ANTICHITA' SCANDISCONO LA VITA DEI POPOLI MA SONO ANCHE TABELLE DI PREVISIONE DEI FENOMENI NATURALI**



**CALENDARIO LUNARE GIUDAICO**



**CALENDARIO LUNISOLARE MAYA**

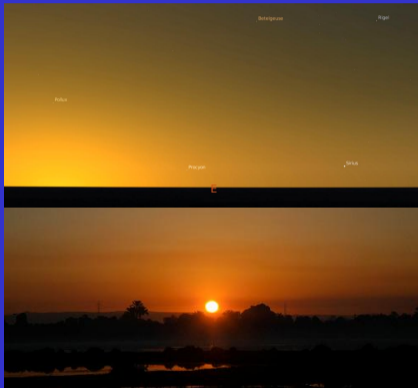


# PREVEDERE LE PIENE

**SORGERE ELIACO DI SIRIO → PIENA DEL NILO**



**ISIDE**



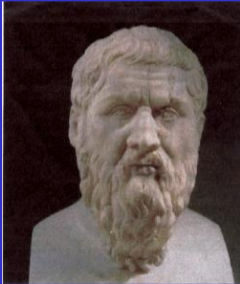
**ALBA SUL NILO E SIMULAZIONE DEL  
SORGERE ELIACO DI SIRIO (STELLARIUM)**



# LA SCUOLA GRECA

INDAGINE DELLA NATURA ATTRAVERSO LA RAGIONE

Φύσις → PHYSIS → PHYSICA → FISICA



PLATONE (~427-347 A.C.)



ARISTOTELE (384-322 A.C.)



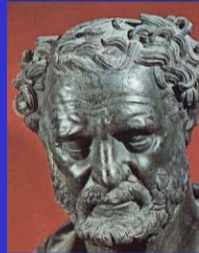
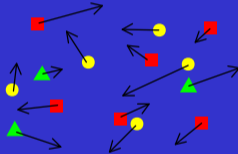
# GLI ATOMISTI

ATOMA SOMATA (ατομα σωματα) CORPI INDIVISIBILI



LEUCIPPO V sec. A.C.

"Nulla avviene per **CASO**, ma tutto per una **RAGIONE** e una **NECESSITÀ**" Leucippo



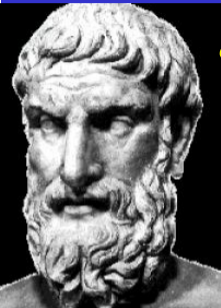
DEMOCRITO 460-370 A.C.

"Tutto ciò che esiste nell'universo è frutto del **CASO** e della **NECESSITÀ**" Democrito

"...gli atomi sono soggetti a un **movimento casuale** e non preordinato e si muovono **incessantemente** e con **velocità grandissima**..." Leucippo

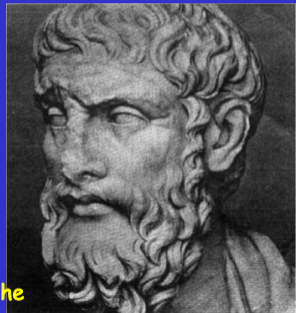
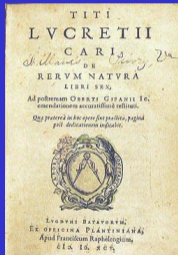


# GLI ATOMISTI



Epicuro 341-271 A.C.

"Necessariamente gli **atomi** hanno la stessa velocità quando si muovono nel **vuoto** senza incontrare alcuna **resistenza**" *Epistème ed ethos Epicuro*



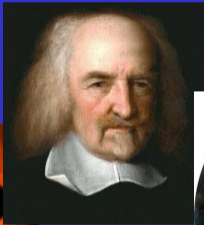
Lucrezio 98-55 A.C.

"...se i **germi primordiali** con l'inclinarsi non determinano un qualche inizio di movimento che infranga le leggi del fato così che da tempo infinito **causa non susseguia a causa...**" *De Rerum Natura Lucrezio*



# L'EMPIRISMO

LE LEGGI DI NATURA DEVONO RICAVARSI DALL'**ESPERIENZA**



T. Hobbes 1588-1679



J. Locke 1632-1704



G. Berkeley 1685-1753



F. Bacon 1561-1626

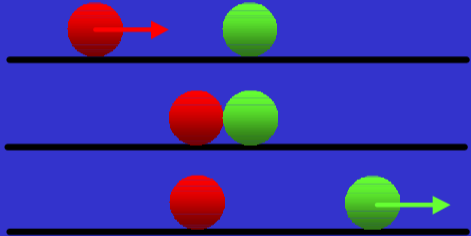


# NULLA E' CERTO

HUME CRITICA IL CONCETTO DI CAUSA-EFFETTO



D. Hume 1711-1776



NON POSSIAMO AFFERMARE CON CERTEZZA CHE L'URTO DELLA  
BIGLIA ROSSA SIA LA CAUSA CHE HA COME EFFETTO IL MOTO  
DELLA BIGLIA VERDE ANCHE SE ABBIAMO OSSERVATO L'EVENTO  
ACCADERE MILIONI DI VOLTE



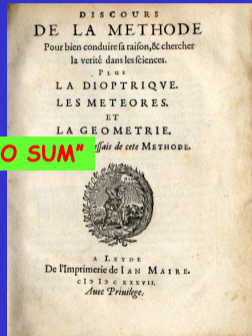
# IL RAZIONALISMO

LA RAGIONE UMANA PUO' CONOSCERE LE LEGGI DI NATURA



"COGITO ERGO SUM"

R. Descartes 1596-1650



1637 "Discorso sul metodo"



# IL METODO GALILEIANO

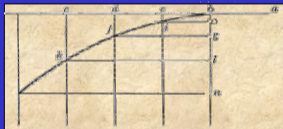
LE LEGGI DI NATURA DEVONO RICAVARSI DALL'ESPERIENZA

**METODO SPERIMENTALE**

- SENSATE ESPERIENZE
- CERTE DIMOSTRAZIONI



G. Galilei 1564-1642



Moto parabolico



Conoscchiali

"La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, né quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto." *Il saggiaiore G. Galilei*



## "CHE NEWTON SIA!"

"La natura e le leggi della natura giacevano nascoste nella notte;  
Dio disse: «Che Newton sia!», e luce fu" A. Pope



I. Newton 1642-1727

### METODO NEWTONIANO

- ANALISI EFFETTI → CAUSE
- SINTESI CAUSE → EFFETTI

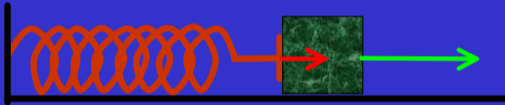
### REGOLE NEWTONIANE

- NO SPIEGAZIONI SUPERFLUE
- UGUALI FENOMENI → UGUALI CAUSE
- QUALITA' UGUALI IN CORPI DIVERSI SONO UNIVERSALI
- PROPOSIZIONI INFERITE PER INDUZIONE DEVONO ESSERE RITENUTE VERE FINO A PROVA CONTRARIA



# CAUSALITA'

LA **NECESSITA'** DI UN EVENTO RISPETTO AD UN ALTRO E' DA INTENDERSI COME UNA RELAZIONE DI **CAUSA-EFFETTO** TRA I DUE



**Forza**

RELAZIONE CAUSALE

**Accelerazione**

**F**

RELAZIONE CAUSALE

**$a = F/m$**

**CAUSA**

RELAZIONE CAUSALE

**EFFETTO**



# DETERMINISMO

"Un'intelligenza che, ad un dato istante, conoscesse tutte le forze da cui è animata la natura e la situazione degli esseri rispettivi che la compongono, se per di più fosse abbastanza profonda per sottomettere questi dati all'analisi, abbraccerebbe nella stessa formula i movimenti dei più grandi corpi dell'Universo e dell'atomo più leggero: nulla sarebbe incerto per essa e l'avvenire come il passato sarebbe presente ai suoi occhi" P. S. de Laplace "*Essai philosophique sur le probabilités*"



## TUTTO SI CALCOLA...

**FORZE**

**POSIZIONI E VELOCITA'  
AD UN DATO ISTANTE**

**LEGGI DELLA  
MECCANICA**

**POSIZIONI E VELOCITA'  
AD UN ISTANTE  
QUALSIASI**

**VISIONE MECCANICISTICA DELL'UNIVERSO**



## ...MA SI CALCOLA TUTTO?

PER SISTEMI COSTITUITI DA "MOLTE PARTICELLE" NON E' POSSIBILE IN GENERALE PREVEDERE GLI STATI FUTURI SEBBENE SI CONOSCANO LE EQUAZIONI DI MOTO



PREVEDIBILE

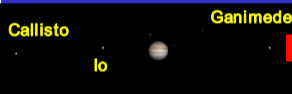
IMPREVEDIBILE

NUMERO PARTICELLE



# IM-PREVEDIBILE

## FENOMENI PREVEDIBILI E IMPREVEDIBILI



06/11/2008 20.30.56 UT

PREVEDIBILE

DETERMINISMO



21/12/2012 20.30.56 UT

RUOTA DI FIRENZE				
3	27	36	56	81

06/11/2008 20.30.56 UT

IMPREVEDIBILE

INDETERMINISMO

RUOTA DI FIRENZE				
?	?	?	?	?

21/12/2012 20.30.56 UT



# CASUALITA'

LA CASUALITA' DI UN EVENTO E' L'IMPOSSIBILITA' DI PREVEDERE IL VERIFICARSI O MENO DELLO STESSO



RELAZIONE CASUALE

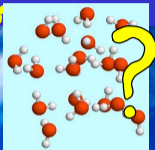
LOTTO		ESTRAZIONE				
MARTEDI'		110				
		08/11/2005				
RUOTA	1° Estratto	2° Estratto	3° Estratto	4° Estratto	5° Estratto	
NAZIONALE	40	61	44	14	84	
BARI	25	14	59	88	5	
CAGLIARI	48	24	67	21	32	
FIRENZE	72	90	70	28	77	
GENOVA	47	64	2	37	73	
MILANO	13	38	58	11	25	
NAPOLI	86	22	17	42	38	
PALERMO	14	84	89	23	30	
ROMA	1	87	67	70	23	
TORINO	63	90	68	53	29	
VENEZIA	4	77	87	60	5	

PROSSIMA ESTRAZIONE GIOVEDI'  
[www.abilo.com](http://www.abilo.com)

IL CASO E' LA NOSTRA IGNORANZA DEL FUTURO?



# DOVE NASCE L'IGNORANZA?



$$\begin{aligned}\ddot{R}_{1x} &= Gm_2 \frac{R_{2x} - R_{1x}}{(d_{12})^3} + Gm_3 \frac{R_{3x} - R_{1x}}{(d_{13})^3} \\ \ddot{R}_{1y} &= Gm_2 \frac{R_{2y} - R_{1y}}{(d_{12})^3} + Gm_3 \frac{R_{3y} - R_{1y}}{(d_{13})^3} \\ \ddot{R}_{1z} &= Gm_2 \frac{R_{2z} - R_{1z}}{(d_{12})^3} + Gm_3 \frac{R_{3z} - R_{1z}}{(d_{13})^3} \\ \ddot{R}_{2x} &= Gm_1 \frac{R_{1x} - R_{2x}}{(d_{21})^3} + Gm_3 \frac{R_{3x} - R_{2x}}{(d_{23})^3} \\ \ddot{R}_{2y} &= Gm_1 \frac{R_{1y} - R_{2y}}{(d_{21})^3} + Gm_3 \frac{R_{3y} - R_{2y}}{(d_{23})^3} \\ \ddot{R}_{2z} &= Gm_1 \frac{R_{1z} - R_{2z}}{(d_{21})^3} + Gm_3 \frac{R_{3z} - R_{2z}}{(d_{23})^3} \\ \ddot{R}_{3x} &= Gm_1 \frac{R_{1x} - R_{3x}}{(d_{31})^3} + Gm_2 \frac{R_{2x} - R_{3x}}{(d_{32})^3} \\ \ddot{R}_{3y} &= Gm_1 \frac{R_{1y} - R_{3y}}{(d_{31})^3} + Gm_2 \frac{R_{2y} - R_{3y}}{(d_{32})^3} \\ \ddot{R}_{3z} &= Gm_1 \frac{R_{1z} - R_{3z}}{(d_{31})^3} + Gm_2 \frac{R_{2z} - R_{3z}}{(d_{32})^3}\end{aligned}$$

**NON CONOSCIAMO POSIZIONE E VELOCITA' DI TUTTE LE MOLECOLE AD UN DATO ISTANTE NE' LE FORZE CHE AGISCONO**

**NON RIUSCIAMO A RISOLVERE UN NUMERO COSI' ELEVATO DI EQUAZIONI DI MOTO**

**IGNORANZA DEL FUTURO**



# LA FORZA DELL'IGNORANZA



AI SISTEMI COSTITUITI DA MOLTE PARTICELLE  
SI POSSONO APPLICARE I METODI DELLA  
STATISTICA RICAVANDO VALORI MEDI DELLE  
GRANDEZZE CHE LI DESCRIVONO

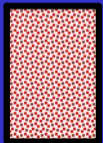
MECCANICA + STATISTICA = MECCANICA  
STATISTICA

INTERPRETAZIONE STATISTICA DELLE  
GRANDEZZE TERMODINAMICHE

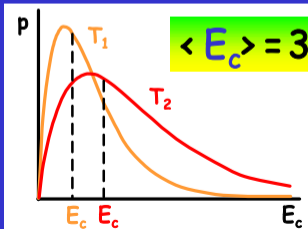
L. BOLTZMANN 1844-1906



$T_1$



$T_2$





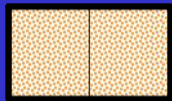
# IL DISORDINE AUMENTA

BOLTZMANN COLLEGA L'ENTROPIA  $S$  AL NUMERO  $W$  DI MICROSTATI DEL SISTEMA CORRISPONDENTI A UN MACROSTATO



$W_A$

$$S = k \ln W$$



$W_B$

PASSATO

FRECCIA TERMODINAMICA

FUTURO

ORDINE

FRECCIA PROBABILISTICA

DISORDINE

*"La lotta generale per l'esistenza degli esseri viventi non è una lotta per l'energia, [...] ma è una lotta per l'entropia" L. Boltzmann*



# CERTEZZE DI FINE SECOLO

## UNIVERSO DETERMINISTICO

MECCANICA  
NEWTONIANA



ELETTROMAGNETISMO  
MAXWELLIANO



- L'EVOLUZIONE FUTURA DI UN SISTEMA E' DETERMINATA CON CERTEZZA DALLO STATO PRESENTE E DALLE LEGGI FISICHE
- IN PRATICA LA CONOSCENZA INCOMPLETA DEL SISTEMA E L'IMPOSSIBILITA' DI RISOLVERE LE EQUAZIONI CHE LO DESCRIVONO PORTANO ALL'INCERTEZZA
- UNA SOLUZIONE E' RICORRERE A METODI STATISTICI





## ...E QUALCHE INCERTEZZA!

DIFFICOLTA' A CONCILIARE **MECCANICA** E **ELETTROMAGNETISMO**

**MECCANICA  
NEWTONIANA**

**ELETTRODINAMICA**

**ELETTROMAGNETISMO  
MAXWELLIANO**



- ESISTENZA DELL'ETERE
- STRUTTURA ATOMICA
- EFFETTO FOTOELETTRICO
- SPETTRO DEL CORPO NERO
- CALORE SPECIFICO DEI SOLIDI

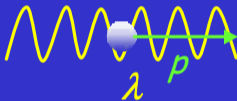


# IL MONDO DEI QUANTI

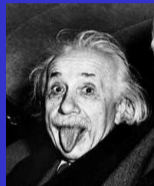


1900 **PLANCK** INTERPRETA LO SPETTRO DI CORPO NERO INTRODUCENDO LA COSTANTE  $h$

1905 **EINSTEIN** INTERPRETA L'EFFETTO FOTOELETTRICO INTRODUCENDO IL FOTONE



$$\lambda = \frac{h}{p}$$



A. EINSTEIN 1879-1955



1913 **BOHR** PROPONE UN MODELLO ATOMICO QUANTIZZATO PER L'ATOMO DI IDROGENO

1926 **SCHRÖDINGER** PROPONE L'EQUAZIONE D'ONDA PER LE PARTICELLE



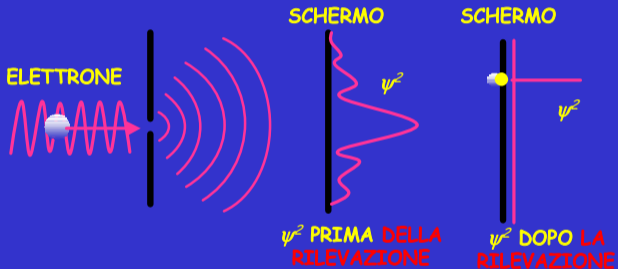
E. SCHRÖDINGER 1887-1961

N. BOHR 1885-1962



## DOV'È L'ELETTRONE?

LA FUNZIONE D'ONDA È CONNESSA ALLA PROBABILITÀ DI OSSERVARE L'ELETTRONE IN UN CERTO PUNTO AD UN CERTO ISTANTE DI TEMPO



L'OSSERVAZIONE DI UNA GRANDEZZA FORNISCE SEMPRE UN VALORE PRECISO SEBBENE ESSA SIA DESCRITTA DA UNA FUNZIONE DI PROBABILITÀ'



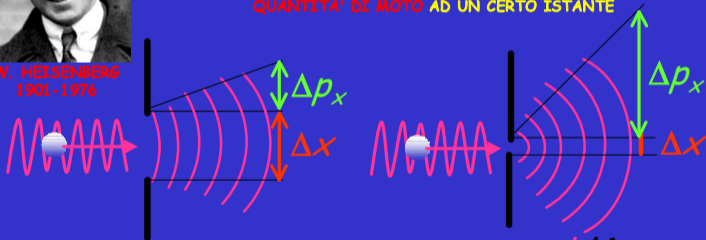
# INDETERMINAZIONE



W. HEISENBERG  
1901-1976

1927 HEISENBERG ENUNCIÒ IL PRINCIPIO DI INDETERMINAZIONE SECONDO CUI ALCUNE COPPIE DI GRANDEZZE FISICHE NON POSSONO ESSERE CONOSCIUTE CON PRECISIONE ARBITRARIA

QUANTO MAGGIORE È LA PRECISIONE CON CUI CONOSCIAMO LA POSIZIONE TANTO MINORE È LA PRECISIONE CON CUI CONOSCIAMO LA QUANTITÀ DI MOTO AD UN CERTO ISTANTE



RELAZIONI  
D'INDETERMINAZIONE  
DI HEISENBERG

$$\Delta p_x \Delta x \geq h/4\pi$$

$$\Delta E \Delta t \geq h/4\pi$$



# UN MONDO IN BALIA DEL CASO?

## MECCANICA CLASSICA



GRANDEZZE FISICHE  
(POSIZIONE, VELOCITA',  
ENERGIA...)  
DETERMINATE AD OGNI  
ISTANTE

EVOLUZIONE  
DETERMINISTICA DEI  
SISTEMI



INCERTEZZA DOVUTA A  
CAUSE CONTINGENTI



$$\underline{F = ma}$$

$$\underline{\hat{H}\psi = i\hbar\partial\psi/\partial t}$$



## MECCANICA QUANTISTICA

GRANDEZZE FISICHE  
(POSIZIONE, VELOCITA',  
ENERGIA, ...) **NON**  
DETERMINATE AD OGNI  
ISTANTE

EVOLUZIONE  
DETERMINISTICA DELLA  
FUNZIONE D'ONDA MA  
NON DEI SISTEMI

INCERTEZZA DOVUTA A  
CAUSE INTRINSECHE





# EINSTEIN PROTESTA!

1935 A. EINSTEIN, B. PODOLSKI, N. ROSEN "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?" *Phys. Rev.*

LA MECCANICA QUANTISTICA E' **INCOMPLETA**, LO STATO DI UN SISTEMA E' DETERMINATO DA **VARIABILI NASCOSTE**

MISURA DELLO STATO DI **SPIN** DI UN ELETTRONE



INTERPRETAZIONE  
DI **BOHR**



INTERPRETAZIONE  
DI **EINSTEIN**



# BELL RISPONDE!



J. Bell 1928-1990

**1964 TEOREMA DI BELL: SE ESISTONO LE VARIABILI NASCOSTE ALLORA DEVONO VALERE ALCUNE DISUGUAGLIANZE**

**1972 J. CLAUSER, S.FREEDMAN: ESEGUONO I PRIMI ESPERIMENTI PER TESTARE LE DISUGUAGLIANZE DI BELL**

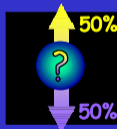
**SINO AD OGGI GLI ESPERIMENTI CONDOTTI CONFERMANO LA VIOLAZIONE DELLE DISUGUAGLIANZE DI BELL**



S. Hawking 1942



*“Dio non gioca a dadi con l’universo”* **A. Einstein**

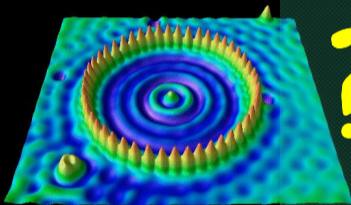


*“Non solo Dio gioca a dadi, ma qualche volta li lancia dove non possiamo vederli!”* **S. Hawking**



# CONFINARE L'INCERTEZZA

FORSE SU SCALA ATOMICA DOMINA L'INDETERMINISMO MA  
SU SCALA MACROSCOPICA VALE IL DETERMINISMO



QUANTUM CORRAL REALIZZATO CON 48  
ATOMI DI RAME SU UNA SUPERFICIE DI  
FERRO (Foto Don Eigler 1993 © IBM)

IL BILIARDO RICHIAMA ALLA MENTE LA  
PREVEDIBILITA' DELLE TRAIETTORIE  
(PoolSharks simulazione freeware)





# IL PREMIO DI RE OSCAR



Oscar II di Svezia  
1829-1907

1887 **OSCAR II DI SVEZIA** PREMIO  
PER CHI RISOLVE IL PROBLEMA DEGLI  
N CORPI

1890 **H. POINCARÉ** *"Sur les équations de la  
dynamique et le problème de trois corps"*



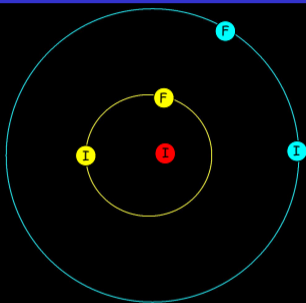
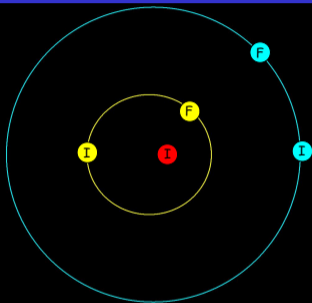
H. Poincaré  
1854-1912



TRIPLO TRAMONTO PER IL SISTEMA HD 188753 Fonte: JPL Caltech NASA



## CONDIZIONI INIZIALI

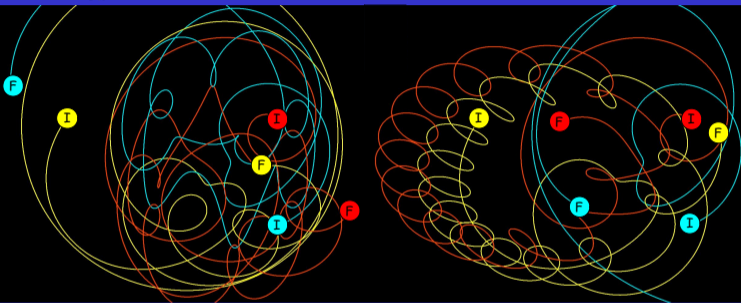


DUE DIVERSE SIMULAZIONI DI UN SISTEMA A TRE CORPI CON VARIAZIONE DELLE CONDIZIONI INIZIALI DELLO 0,3 %

IL SISTEMA SI COMPORTA IN MODO NON CAOTICO (PREVEDIBILE)



## CONDIZIONI INIZIALI



DUE DIVERSE SIMULAZIONI DI UN SISTEMA A TRE CORPI CON VARIAZIONE DELLE CONDIZIONI INIZIALI DELLO 0,3 %

IL SISTEMA SI COMPORTA IN MODO CAOTICO (NON PREVEDIBILE)

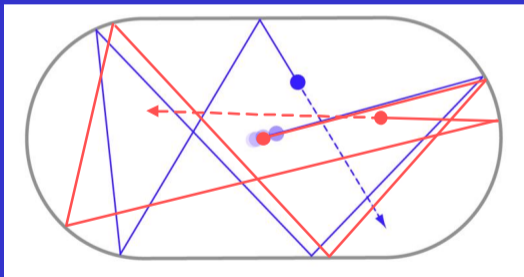


# IL CAOS IN UN BILIARDO



J. Hadamard 1865-1963

1898 **HADAMARD** PROVA CHE IL MOTO SU UNA SUPERFICIE A CURVATURA NEGATIVA E' CAOTICO



BILIARDO DI **BUNIMOVICH** TRAIETTORIE CAOTICHE



## ERRORI DI CALCOLO!



E. Lorenz 1917-2008

1961 **LORENZ** SIMULA L'**EVOLUZIONE METEOROLOGICA** E  
SCOPRE CHE IL SISTEMA E' ESTREMAMENTE **SENSIBILE**  
A PICCOLE **VARIAZIONI DELLE CONDIZIONI INIZIALI**



LSP 30 FROM BYTE COMPUTER HISTORY MUSEUM



## UN BATTITO D'ALI

1961 LORENZ SIMULA L'EVOLUZIONE METEOROLOGICA E SCOPRE CHE IL SISTEMA E' ESTREMAMENTE SENSIBILE A PICCOLE VARIAZIONI DELLE CONDIZIONI INIZIALI



BUTTERFLY EFFECT



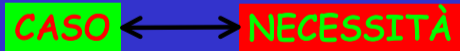
## CASO E NECESSITA'

1970 J. MONOD *"Le Hasard et la Nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne"*



J. Monod 1910-1976

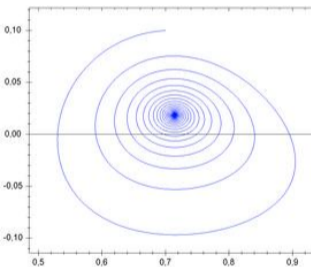
"...l'evoluzione e il progressivo affinamento di strutture sempre più fortemente **teleonomiche** sono dovuti al sopraggiungere di perturbazioni in una struttura *già dotata della proprietà di invarianza*, e quindi capace di "**conservare il caso**" e di subordinarne gli effetti al gioco della selezione naturale..."





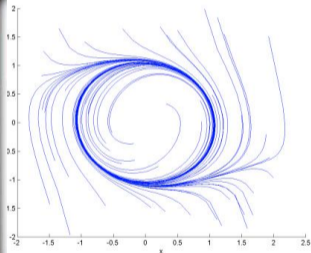
# ATTRATTORI

PENDOLO SMORZATO



PUNTO LIMITE

PENDOLO FORZATO



CICLO LIMITE





# GIOCARE COI PENDOLI 1

SETUP      NEW INITIAL CONDITION      GO

time(sec) 16.984      dt 0.0040      Energy 0.0      pendulum-frequency 3.3

damping strenght      driving strenght      driving frequency

gamma 0.5      kappa 0.0      omega 3.3

**PENDOLO SMORZATO**

**Phase-Space**

momentum p (cm/sec)

**PUNTO LIMITE**

position theta (degree)

Length-of-Pendulum-L 90 cm      initial-angular-displacement 90 deg

Mass-M 51 g      initial-velocity 0 cm/sec



# GIOCARE COI PENDOLI 2

SETUP      NEW INITIAL CONDITION      GO

time(sec) 21.828      dt 0.0040      Energy 16.6      pendulum-frequency 3.3

damping strenght      driving strenght      driving frequency

gamma 0.3      kappa 5.1      omega 3.3

**PENDOLO FORZATO**

**CICLO LIMITE**

momentum p (cm/sec)

position theta (degree)

Lenght-of-Pendulum-L 90 cm      initial-angular-displacement 90 deg

Mass-M 51 g      initial-velocity 0 cm/sec



# GIOCARE COI PENDOLI 3

SETUP      NEW INITIAL CONDITION      GO

time(sec) 36.088      dt 0.0040      Energy 84.0      pendulum-frequency 3.3

damping strenght gamma 0.1      driving strenght kappa 20.0      driving frequency omega 3.3

**PENDOLO FORZATO**

**ATTRATTORE CAOTICO**

Phase-Space      Pens

momentum p (cm/sec)

position theta (degree)

Lenght-of-Pendulum-L 90 cm      initial-angular-displacement 90 deg

Mass-M 51 g      initial-velocity 0 cm/sec

Detailed description: The image shows a software interface for a forced pendulum simulation. On the left, a black window displays a yellow pendulum bob and a white pivot point with a string, labeled 'PENDOLO FORZATO'. The main interface is blue and contains various control panels. At the top left are buttons for 'SETUP', 'NEW INITIAL CONDITION', and 'GO'. Below these are sliders for 'damping strenght' (gamma = 0.1), 'driving strenght' (kappa = 20.0), and 'driving frequency' (omega = 3.3). A central 'Phase-Space' plot shows a complex, chaotic trajectory in red, with the y-axis labeled 'momentum p (cm/sec)' ranging from -35 to 35 and the x-axis labeled 'position theta (degree)' ranging from -540 to 540. The plot is titled 'ATTRATTORE CAOTICO'. At the top right, there are input fields for 'time(sec)' (36.088), 'dt' (0.0040), 'Energy' (84.0), and 'pendulum-frequency' (3.3). At the bottom, there are sliders for 'Lenght-of-Pendulum-L' (90 cm), 'Mass-M' (51 g), 'initial-angular-displacement' (90 deg), and 'initial-velocity' (0 cm/sec). A small 'ON/OFF' button is located above the pendulum window.



# ATTRATTORI STRANI



**ATTRATTORE DI  
LORENZ**



**ATTRATTORE STRANO**

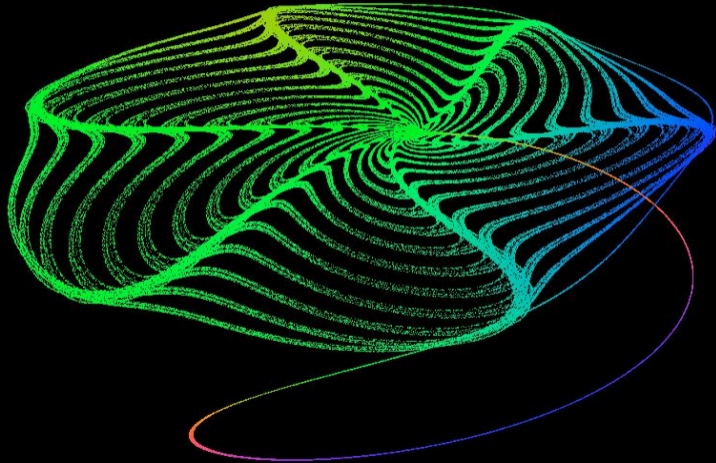


# L'ARTE DEL CAOS

Strange Attractor

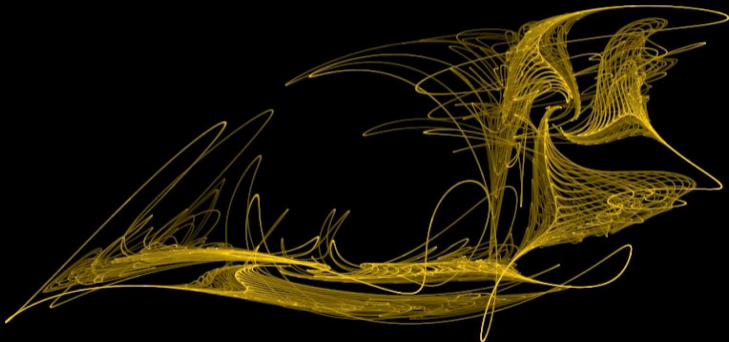
INRRXLCEVLFHWAPFSTPHHJMVRVJFBNM

J. C. Sprott





# L'ARTE DEL CAOS





# L'ARTE DEL CAOS





# FINE DEL DETERMINISMO?



I. Prigogine 1917-2003

1997 I. PRIGOGINE "The End of Certainty"

"PIU' CONOSCIAMO L'UNIVERSO, PIU' DIFFICILE DIVENTA CREDERE AL DETERMINISMO"



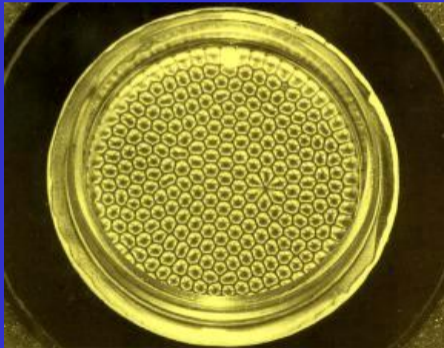
**SISTEMI DISSIPATIVI: SISTEMI  
TERMODINAMICI APERTI LONTANI  
DALL'EQUILIBRIO**





## ORDINE DAL CAOS

I SISTEMI DISSIPATIVI HANNO LA CAPACITA' DI  
AUTOORGANIZZARSI SVILUPPANDO NEGHENTROPIA



CELLE DI RAYLEIGH-BENARD NEL MIELE RISCALDATO

IN BILICO TRA ORDINE E CAOS

*GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE!!!*

*DOMANDE?*

