

*Liceo “Regina Elena” - Acireale*

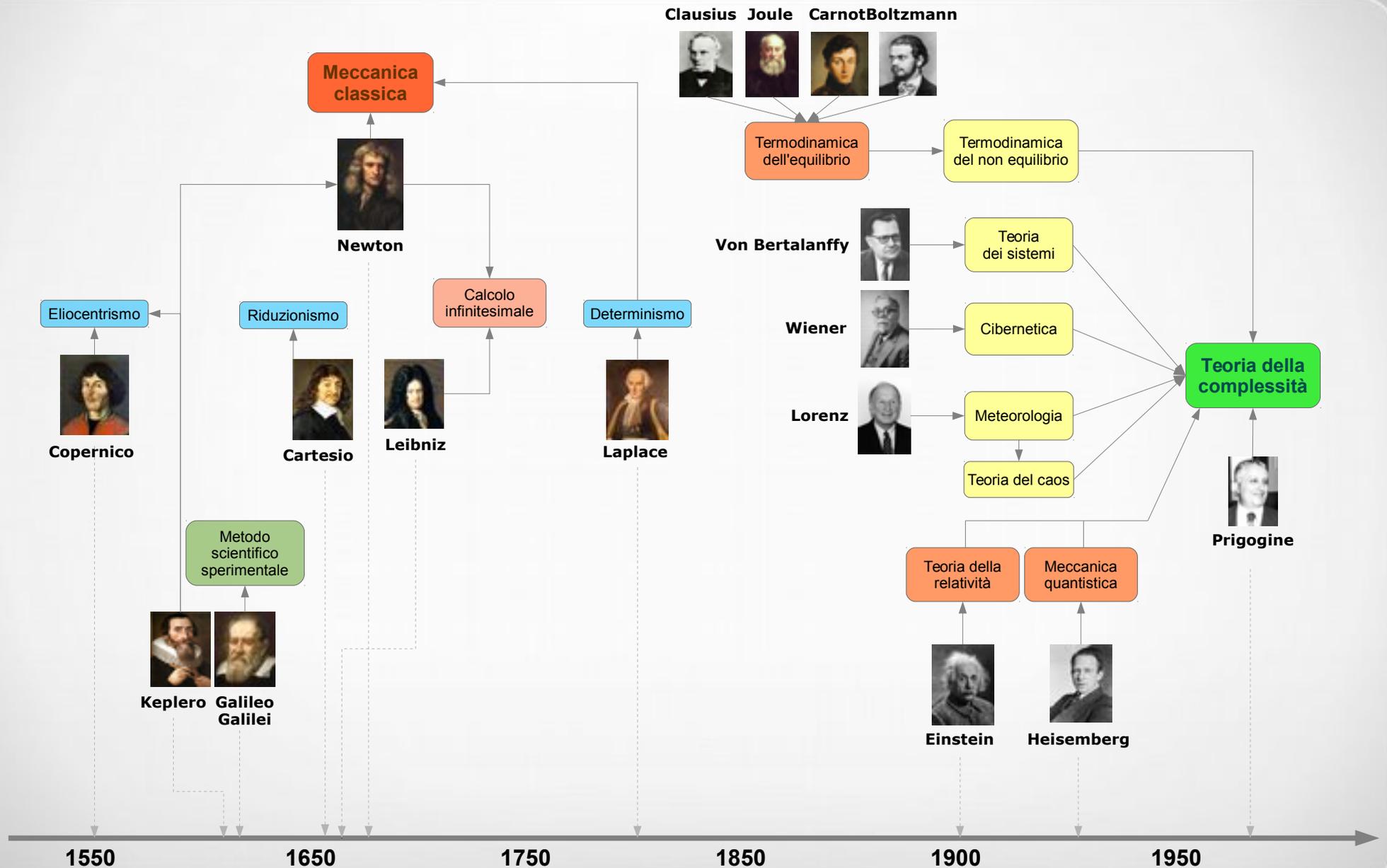
*Progetto PON C-1-FSE-2013-2006*

*Studio della complessità del mondo che ci circonda*

**Dalla scienza classica  
alla sfida della complessità**

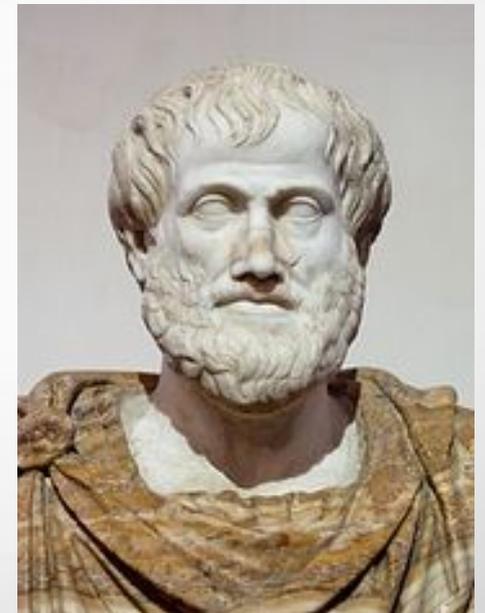
*Prof. Salvatore Lizzio*

# Dalla Scienza classica alla complessità



# Le Scienze nel Medioevo

- La rivoluzione scientifica del XVII secolo avviene grazie a:
  - ✓ **traduzioni** latine dei testi greco-arabi di scienza e di filosofia naturale
  - ✓ la creazione delle **università medievali**
  - ✓ **la filosofia scolastica**  
(fede cristiana-pensiero razionale)



# La rivoluzione Copernicana

- La nascita della scienza moderna ha convenzionalmente inizio nel **1543**, epoca in cui fu stampato *De Revolutionibus Orbium Coelestium* di **Niccolò Copernico**.



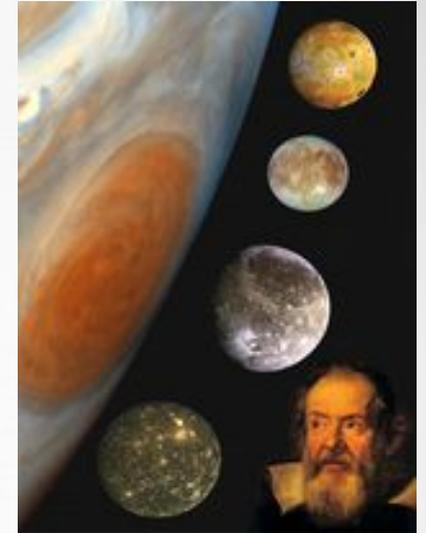
# Giovanni Keplero

- Poco dopo, in *Astronomia nova* (1609) e in *Harmonices mundi libri quinque* (1619) descrive rispettivamente le prime due e la terza legge sul **moto dei pianeti**.

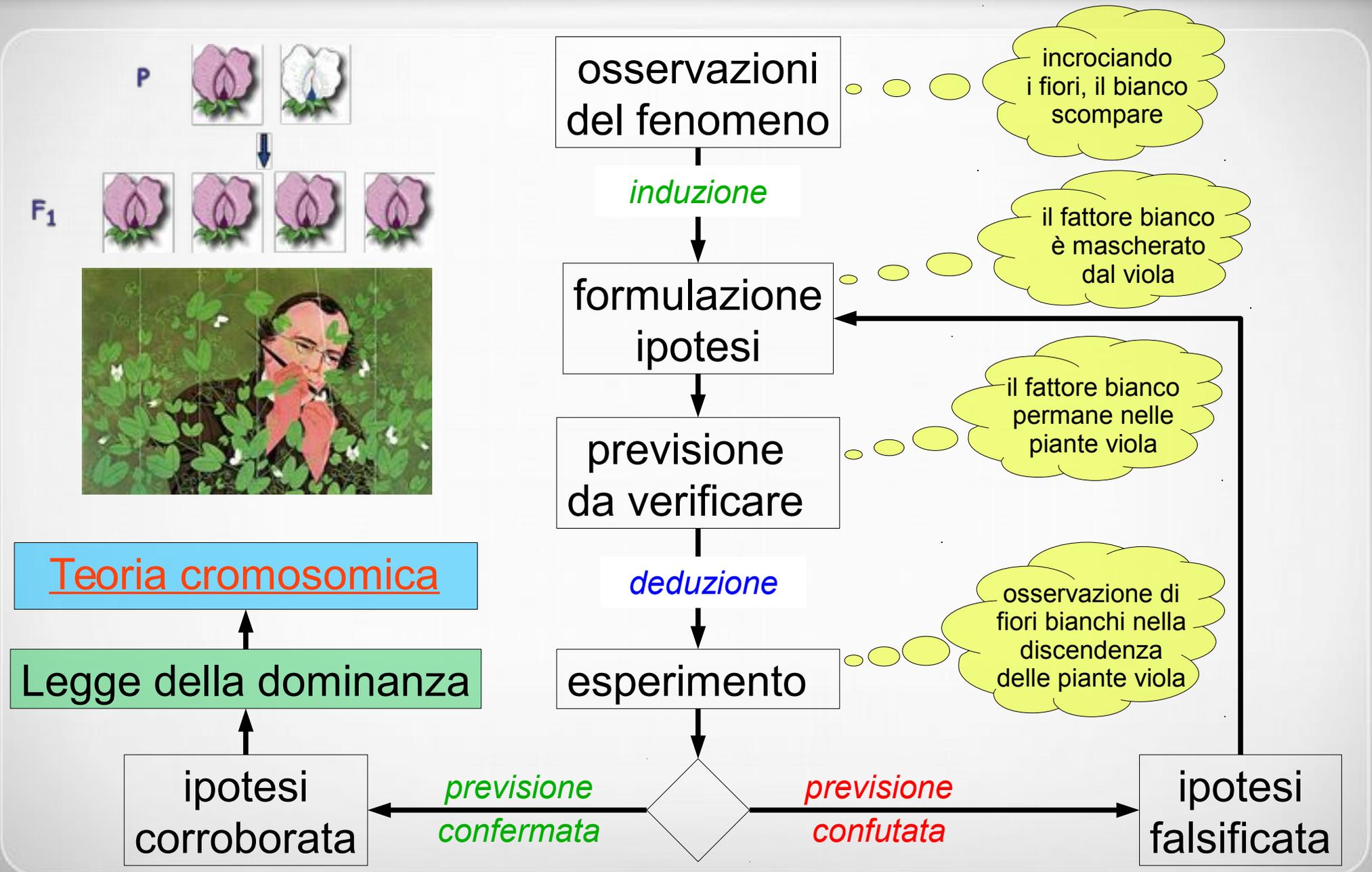


# Galileo Galilei

- Metodo scientifico sperimentale
  - ✓ superamento di ogni riferimento metafisico (non verificabile attraverso l'esperienza) nella conoscenza della natura
  - ✓ fondato sull'oggettività e sulla concretezza (osservazione e misurazione)

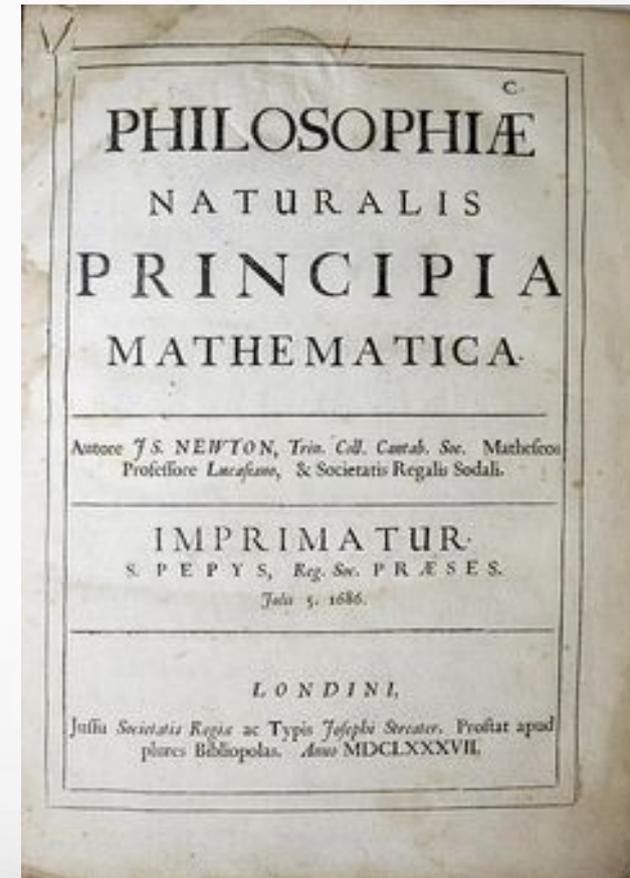
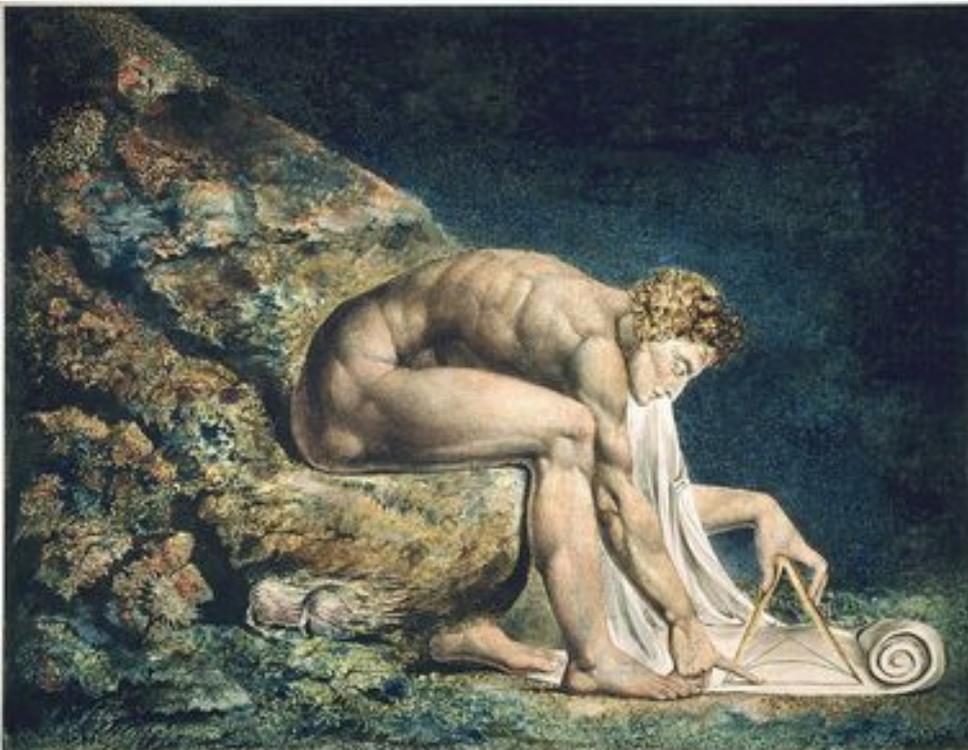


# Metodo scientifico sperimentale



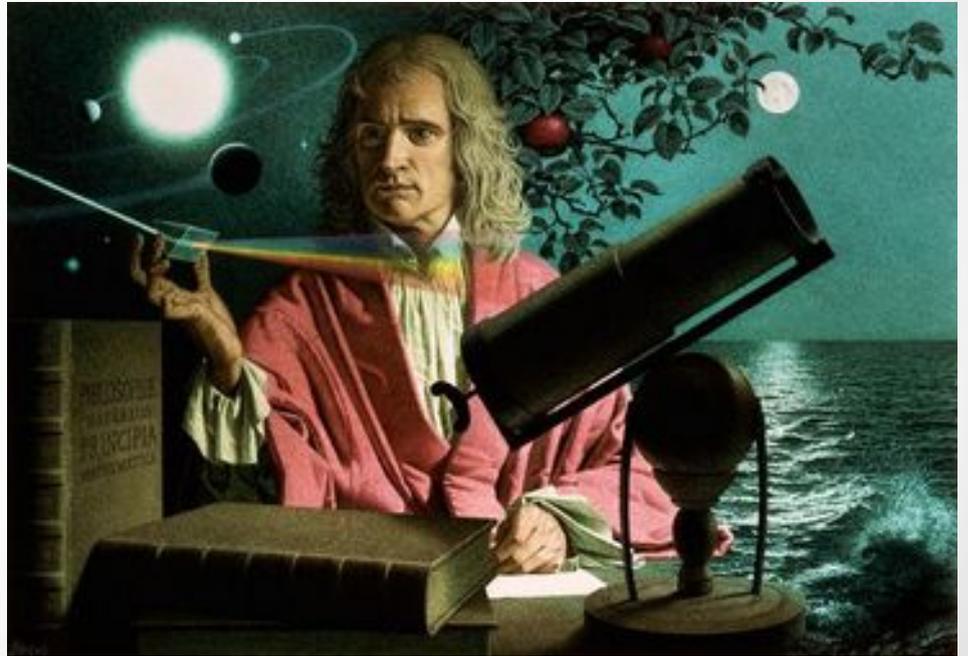
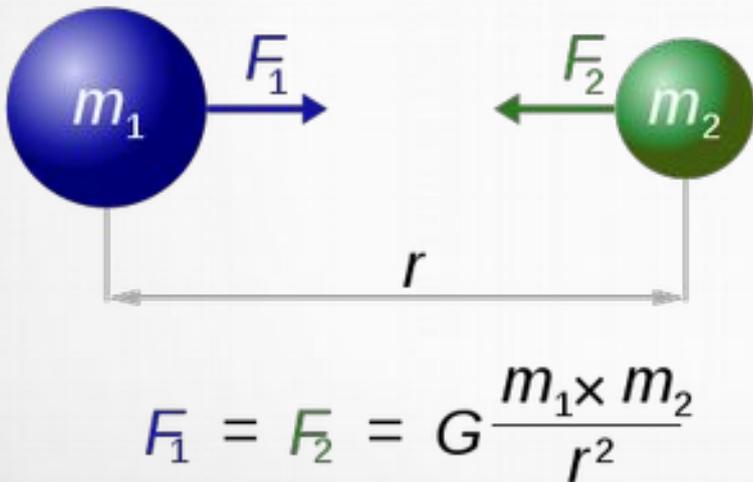
# Isaac Newton

- Nel **1687** viene pubblicato *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* di **Isaac Newton**.



# Isaac Newton

- Descrive la legge di gravitazione universale e, attraverso le sue leggi del moto, stabilisce i fondamenti della meccanica classica.



Meccanica = studio del movimento dei corpi.

# Meccanica classica

- **Principi fondamentali** della meccanica e classica:
  - lo spazio e il tempo sono entità assolute, perpetue e inalterabili;
  - in natura ogni evento è determinato da una causa specifica (**determinismo**) ed è esclusa qualsiasi forma di casualità.

# La metafora del mondo orologio

- **Dio** onnisciente (**orologiaio**) ha creato un mondo perfetto (**mondo orologio**) regolato da **leggi** rigorose e immutabili nello spazio e nel tempo (**ordine**) e formato da meccanismi interconnessi (**meccanicismo**) dotati di moto reversibile (**reversibilità del tempo**).



# Il demone di Laplace

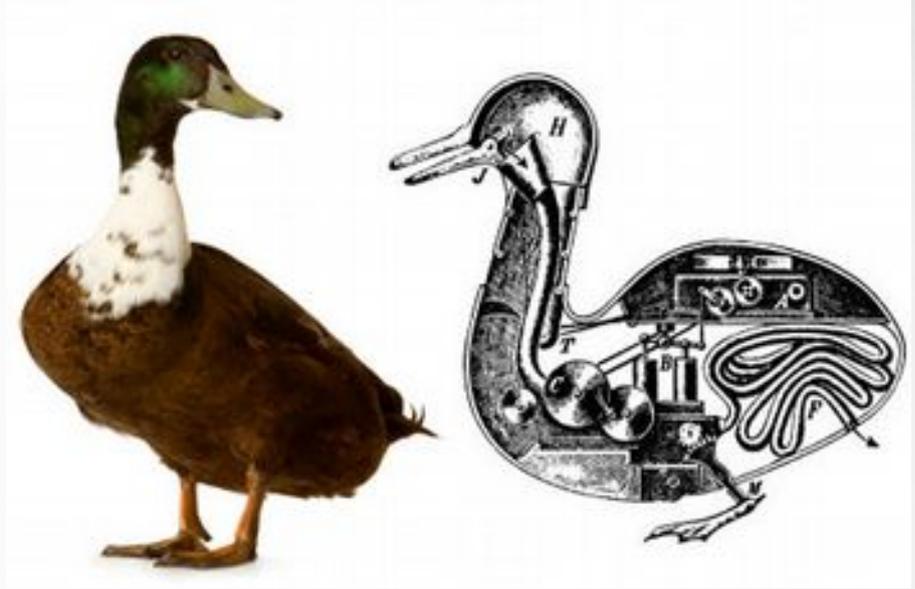
- La visione newtoniana trova riscontro nel sogno laplaciano

“Un'intelligenza che, per un dato istante, conoscesse tutte le forze da cui è animata la natura e la situazione rispettiva degli esseri che la compongano, 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”  
*(Essai philosophique sur les probabilités)*



# Riduzionismo Cartesiano

- Procedimento consistente nel **dividere in pezzi** una **struttura complessa** per comprendere il comportamento del tutto a partire dalle proprietà delle sue parti.



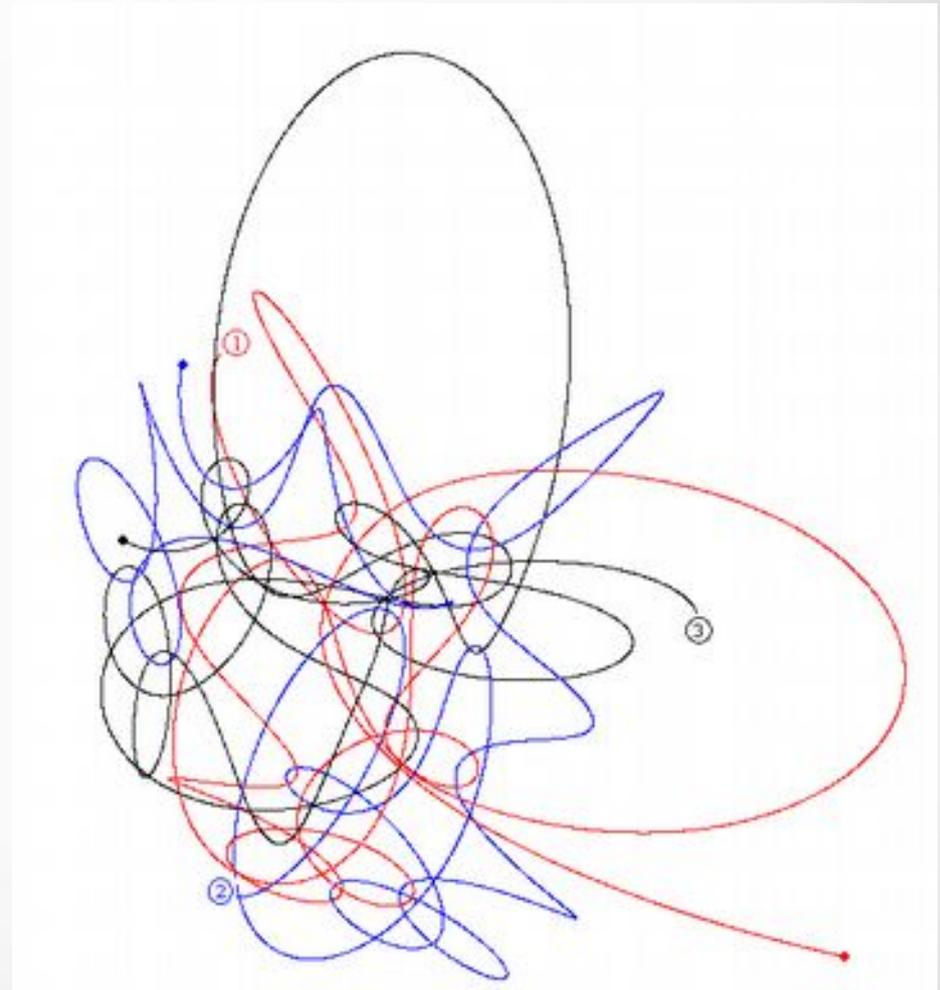
# Riduzionismo Cartesiano

- I concetti di una disciplina vengono tradotti in quelli di un'altra disciplina considerata basilare (biologia → chimica → fisica).
- Conseguenza del riduzionismo è la **specializzazione disciplinare**.
- L'approccio opposto è chiamato **olismo**.



# Meccanica classica

- Qualsiasi forma di **casualità**, di apparente **disordine** sono considerati come **carenze della nostra conoscenza** o come effetto della nostra provvisoria ignoranza.



*Problema dei tre corpi*

- Presupposto della scienza classica è la separazione netta tra l'oggetto da conoscere e l'oggetto conoscente, il cui atto conoscitivo non influisce in alcun modo sulla struttura della realtà che egli si limita a scoprire.



# Contributo della meccanica classica

- Concetti fondamentali:

- ✓ **universalità delle leggi**

- ✓ **meccanicismo**

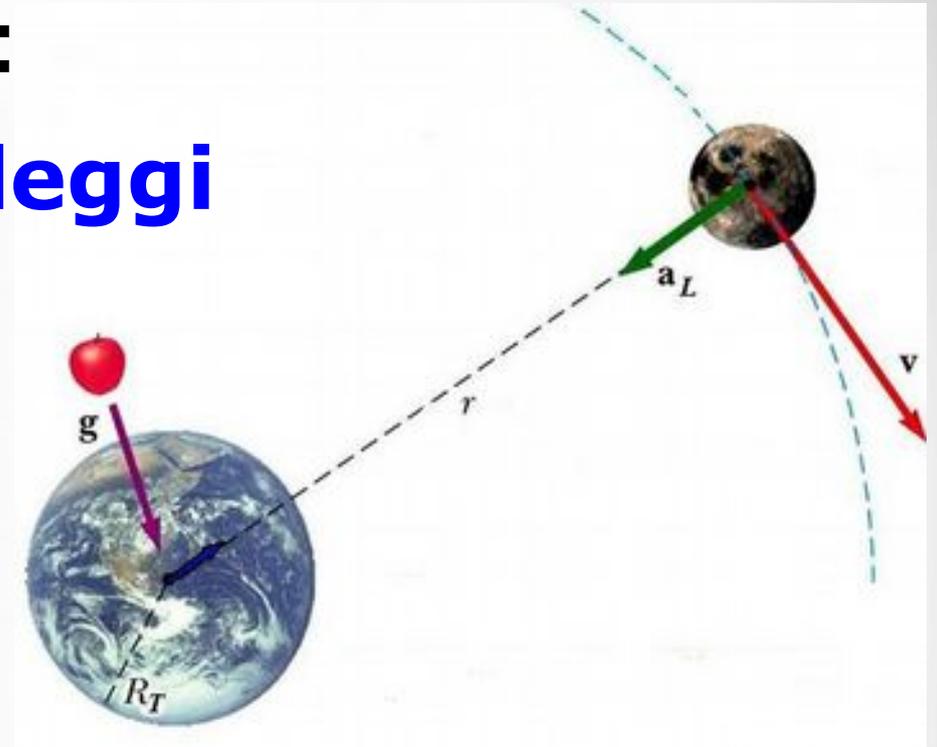
- ✓ **ordine**

- ✓ **reversibilità**

attraverso

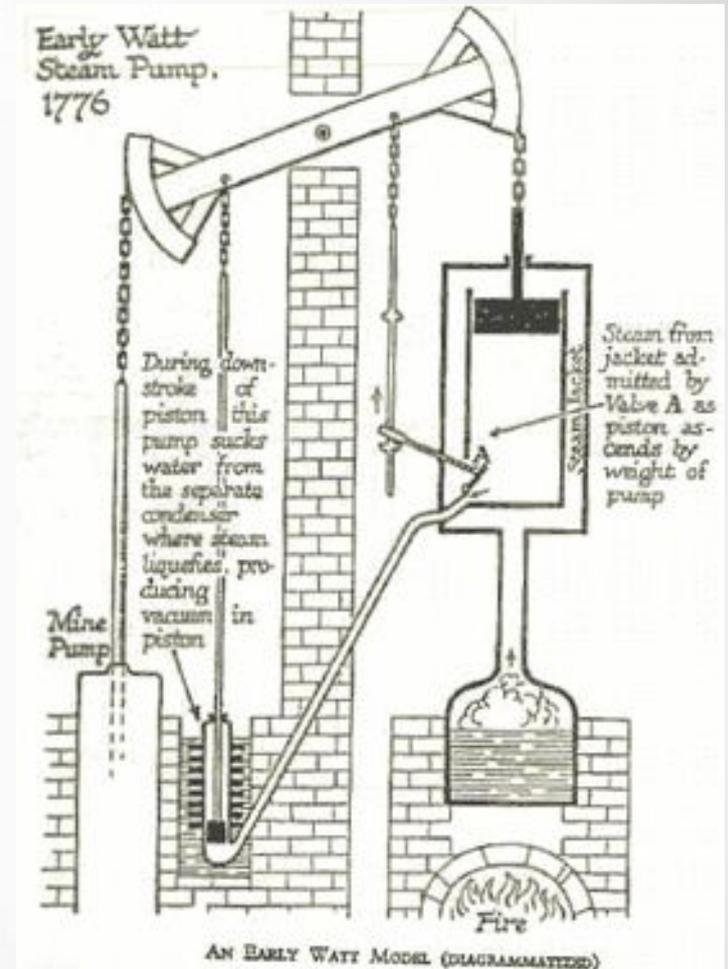
- ✓ **metodo scientifico**

- ✓ **pensiero analitico, riduzionismo**



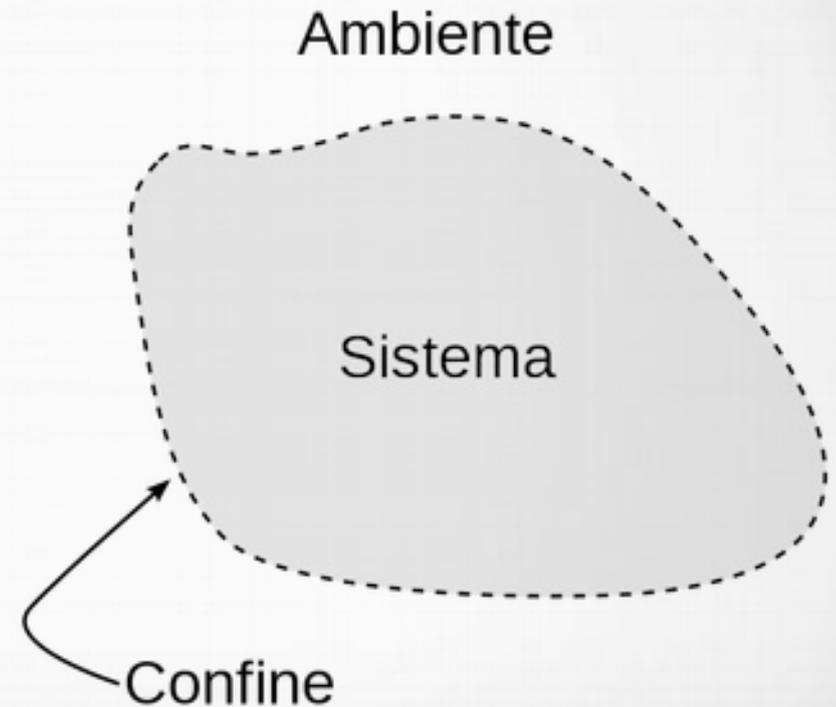
# La Termodinamica

- Branca della fisica che descrive le trasformazioni subite da un sistema in seguito a processi che coinvolgono la **trasformazione di calore in lavoro e viceversa.**



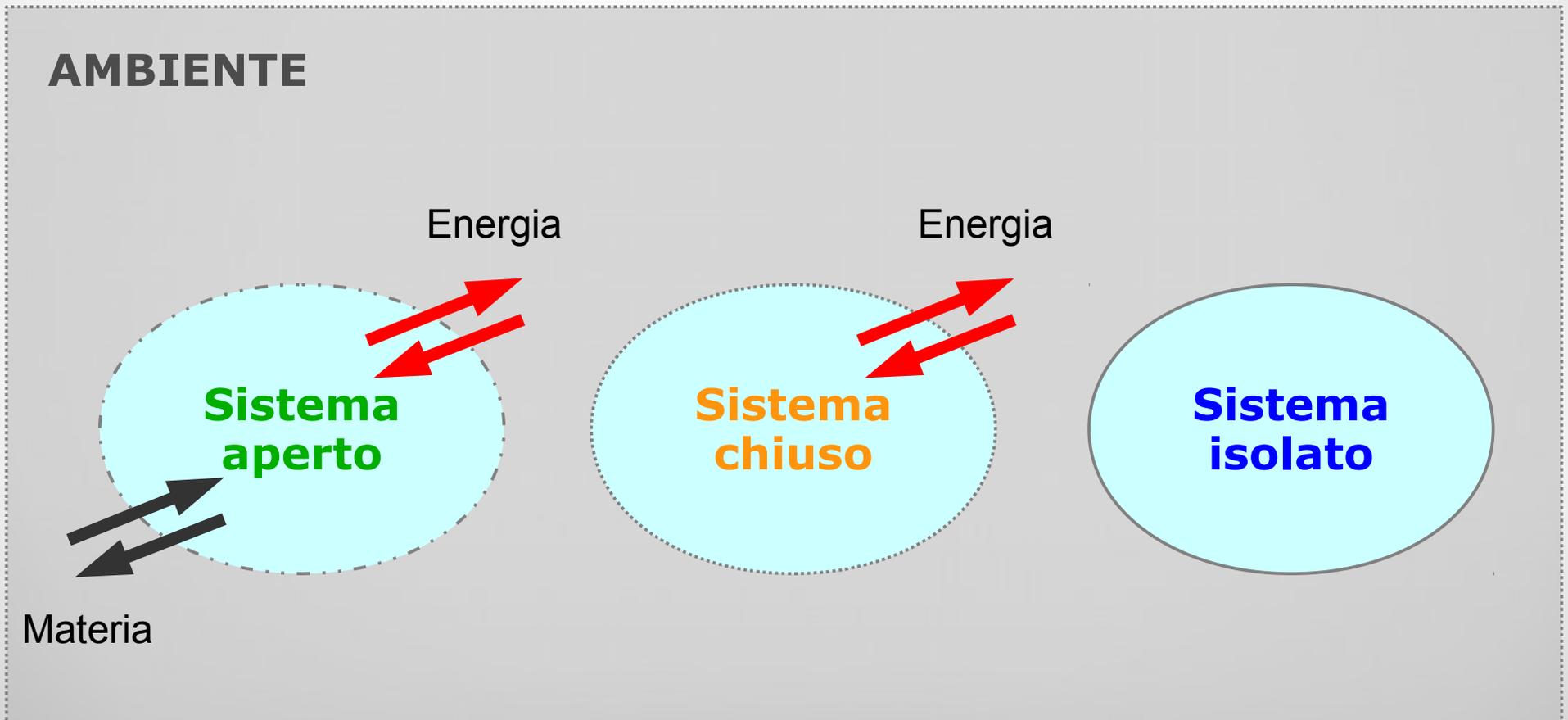
# La Termodinamica

- Si basa sul concetto di **sistema macroscopico**: porzione di materia fisicamente o concettualmente separata dall'ambiente esterno.



# Sistemi chiusi, aperti, isolati

- Dal punto di vista termodinamico un sistema può essere **aperto**, **chiuso** o **isolato**.



# Sistemi chiusi, aperti, isolati



sistema  
aperto



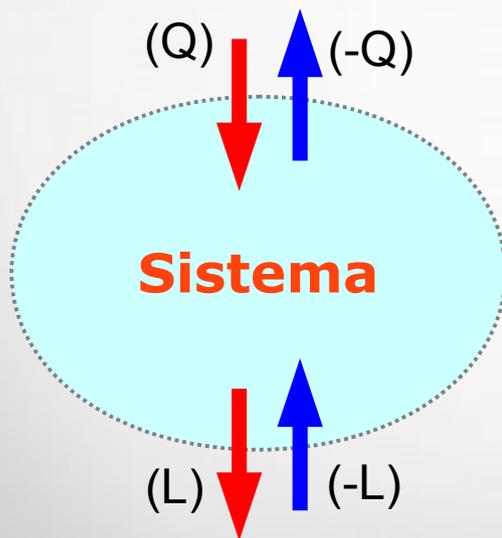
sistema  
chiuso



sistema  
isolato

# Leggi della termodinamica

- **Primo principio, conservazione dell'energia**  
In un sistema isolato, l'energia non si crea nè si distrugge, ma si trasforma, passando da una forma a un'altra (Clausius, 1865).



In un sistema la sua energia interna varia ( $\Delta U$ ) attraverso scambi di calore o di lavoro

$$\Delta U = Q - L$$

# Trasformazioni energetiche

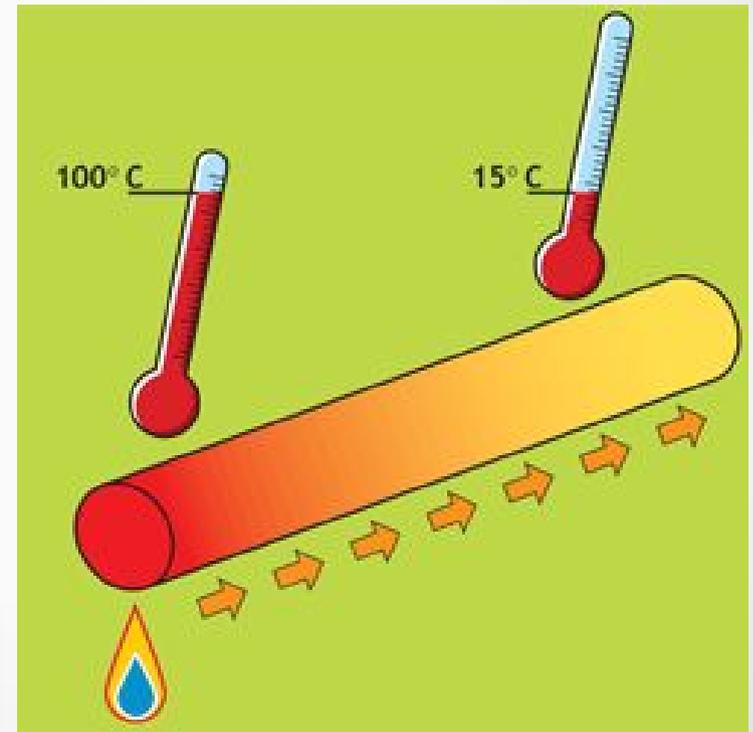


Esistono delle limitazioni  
nelle trasformazioni da  
una forma di energia  
in un'altra

# Leggi della termodinamica

- **Secondo principio**  
(enunciato di Clausius)

Non è possibile che il calore passi spontaneamente da un corpo più freddo ad uno più caldo.



# Leggi della termodinamica

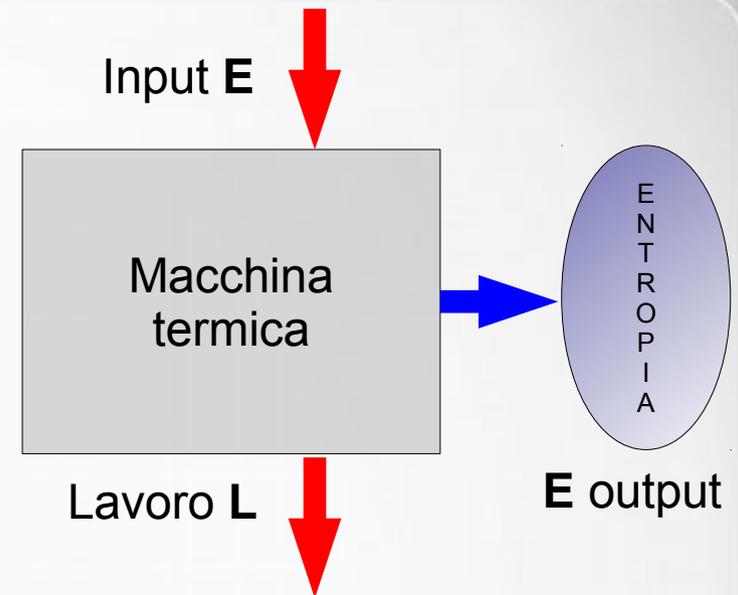
- Secondo principio
- L'equilibrio termico è come un pozzo: una volta scesi sul fondo, non si torna più indietro.
- Non spontaneamente, almeno. È possibile farlo, ma per riuscirci in una limitata porzione di Universo occorre peggiorare la situazione su scala più ampia.



# Leggi della termodinamica

- **Secondo principio**  
(enunciato di Lord Kelvin)

Non è possibile realizzare una trasformazione in cui viene assorbito calore da un'unica sorgente trasformandolo integralmente in lavoro

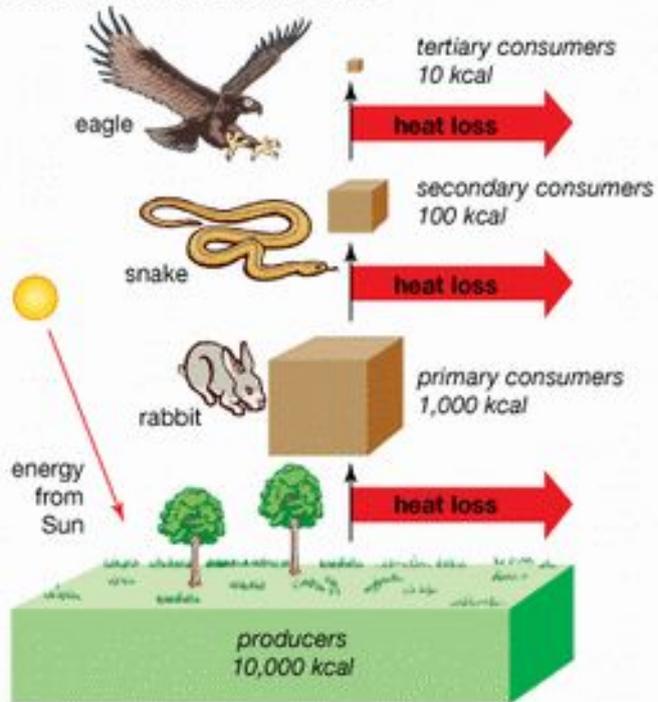


# Irreversibilità

- Durante una trasformazione energetica **una** quota di energia si trasforma in calore non più utilizzabile per compiere lavoro (**energia degradata**)
- A differenza di un sistema meccanico in grado di tornare a un suo qualsiasi stato precedente, il degrado o dissipazione di energia è un **fenomeno irreversibile**.

# L'entropia

Energy flow and trophic levels



© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.

- In tedesco entropie deriva dal greco *en*, “dentro”, e da *tropé*, “cambiamento”, “trasformazione”.

- In un sistema isolato misura la quantità di energia non più disponibile per compiere lavoro .

- **Morte termica (entropica) dell'universo**

In un sistema isolato e con una quantità finita di energia, nel momento in cui la temperatura diventa costante in ogni parte del sistema ha luogo uno stato di equilibrio perenne di morte termica, ossia di massima entropia.

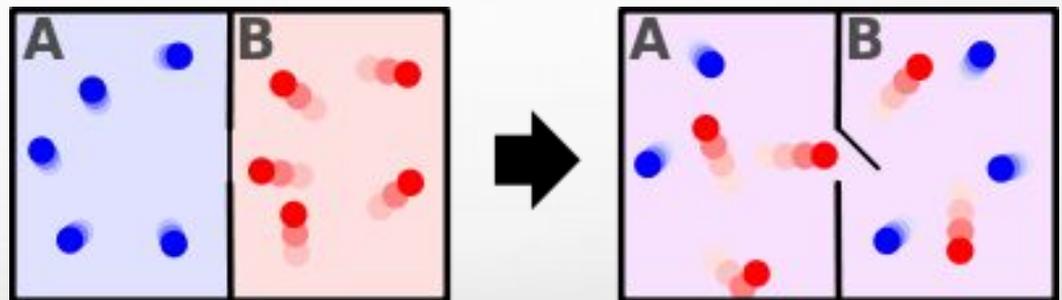


# L'entropia

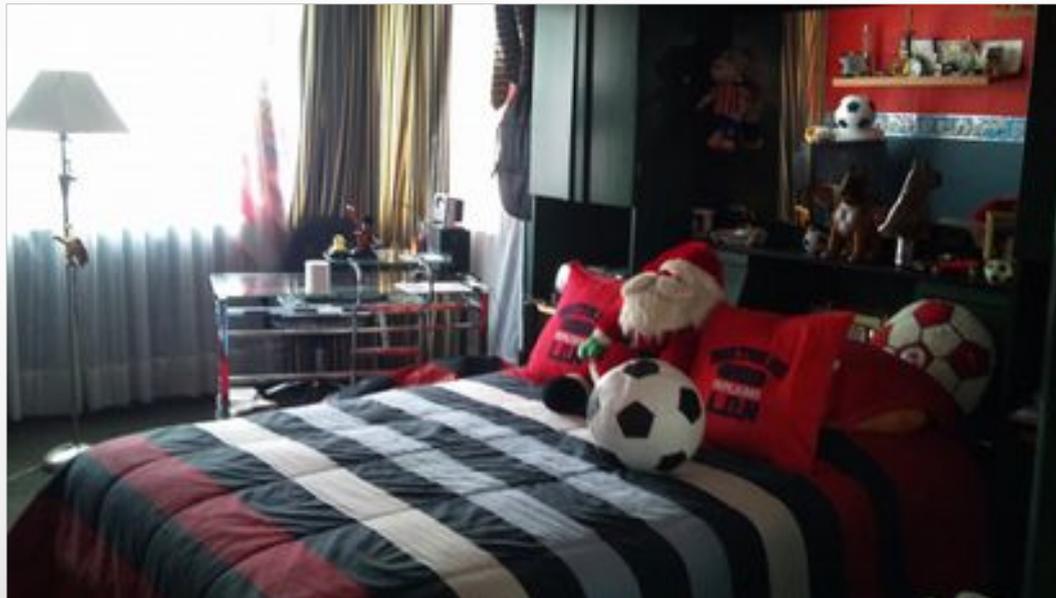


entropia

- Indica la tendenza di una trasformazione del sistema da uno stato più ordinato e meno probabile ad uno stato disordinato e più probabile.



# Grado di disordine di un sistema



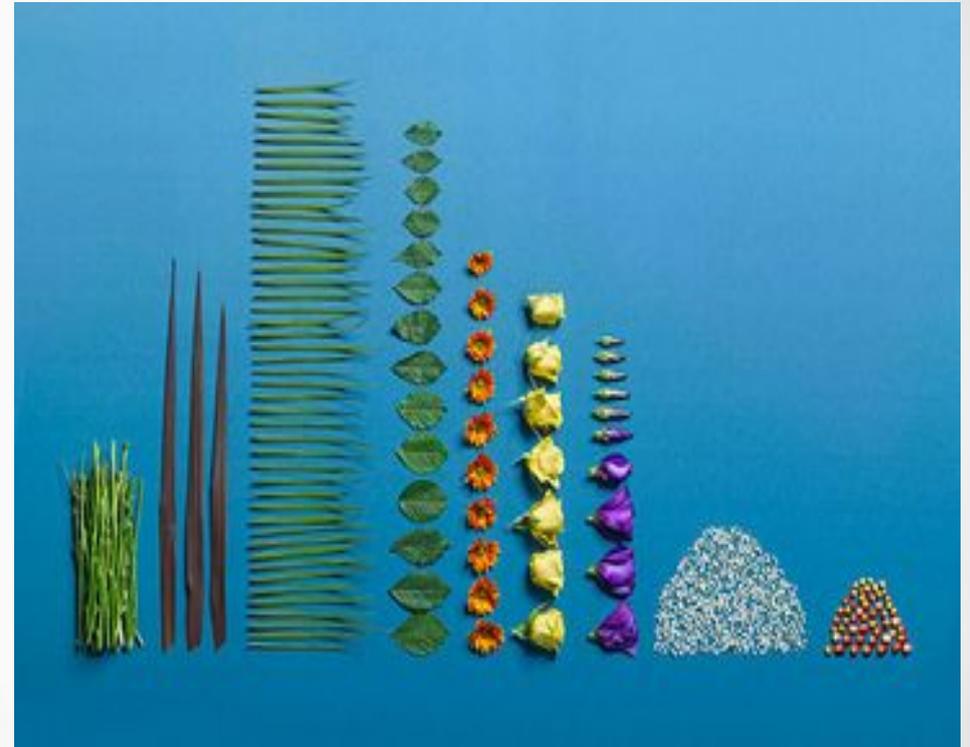
# Grado di disordine di un sistema



# Grado di disordine di un sistema



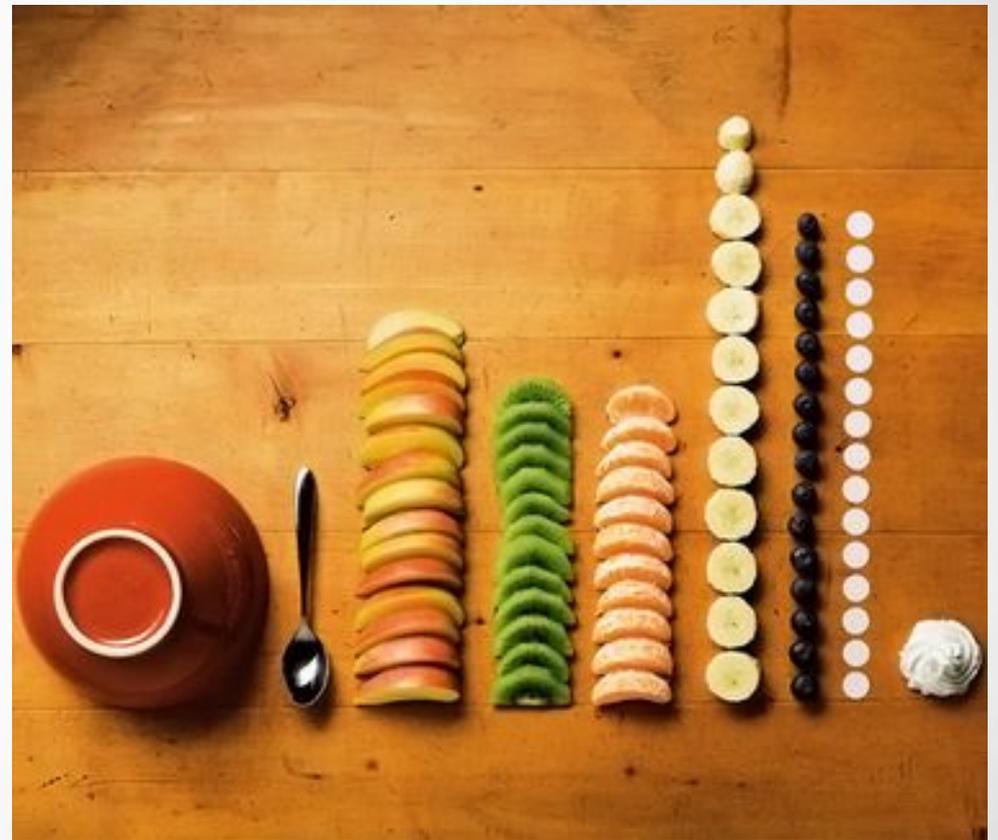
# Grado di disordine di un sistema



# Grado di disordine di un sistema



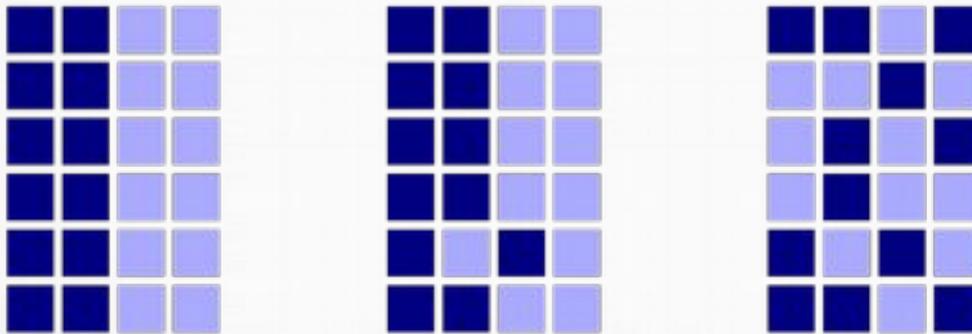
# Grado di disordine di un sistema



# Entropia e probabilità

- Boltzman esprime l'entropia come una **funzione della probabilità termodinamica** dello stato di un sistema:

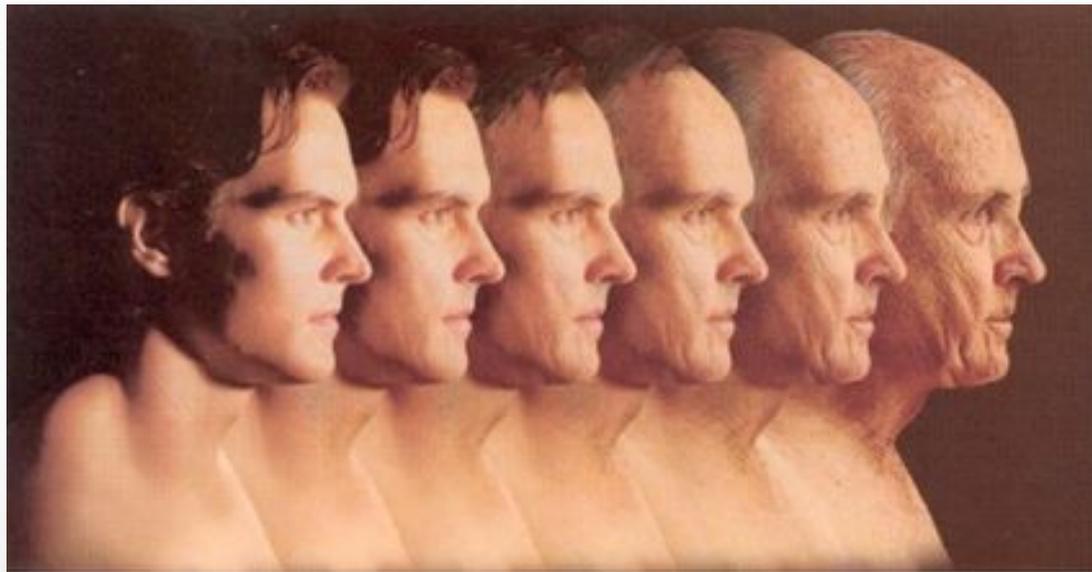
$$S = k \ln P$$



- Boltzman venne fortemente contestato dalla comunità scientifica dell'epoca e morì suicida.

# Entropia nei sistemi viventi

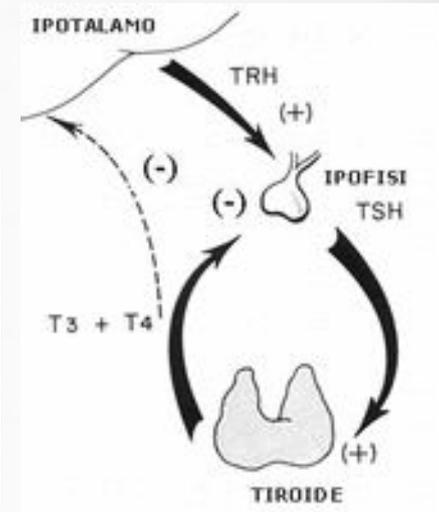
- Negli organismi viventi l'entropia diminuisce a discapito di quella del proprio ambiente in quanto sono sistemi aperti.



- Nonostante ciò l'entropia si accumula ...

# Entropia nei sistemi viventi

- L'invecchiamento è associato ad un inesorabile incremento dell'entropia e alla perdita di complessità ...



- L'unica via di fuga è offerta dalla riproduzione ...



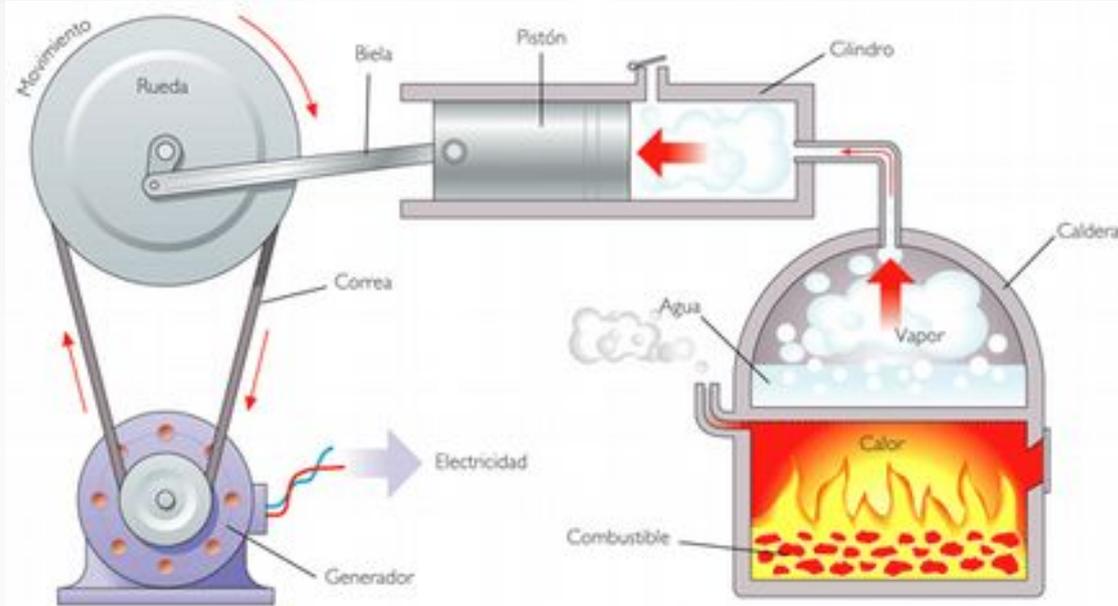
# Freccia del tempo

- Così come il degrado dell'energia



- e il disordine crescono col passare del tempo, allo stesso modo **il tempo è una variabile irreversibile.**
- La fisica classica riteneva invece che un sistema meccanico potesse ritornare in un suo qualsiasi stato precedente.

# Contributo della Termodinamica

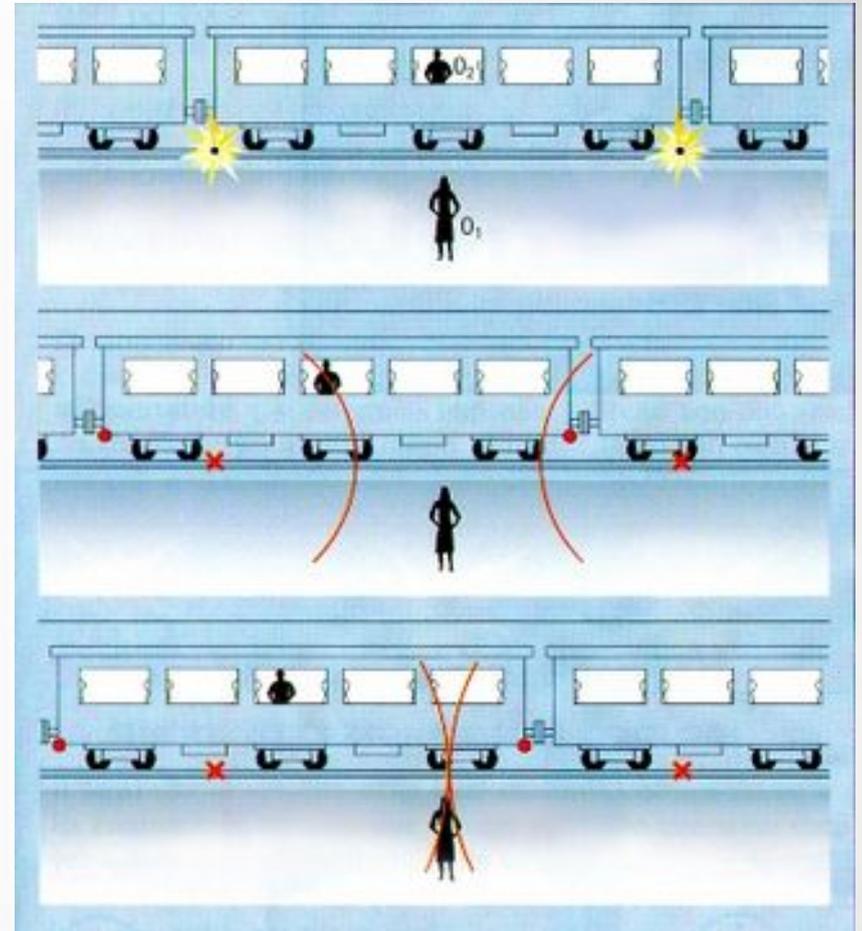


- La termodinamica apporta due concetti fondamentali:
  - ✓ **irreversibilità**
  - ✓ **disordine**

# Contributo della Relatività

- Concetti fondamentali:

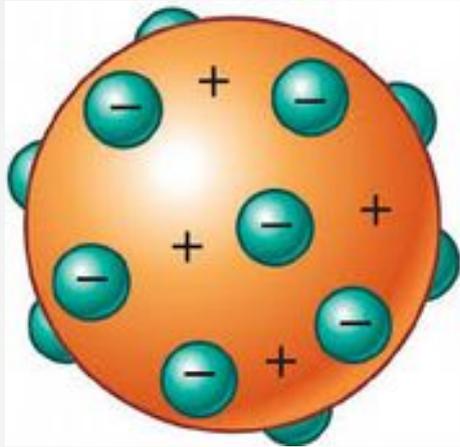
- ✓ **tempo e spazio non sono più grandezze assolute**



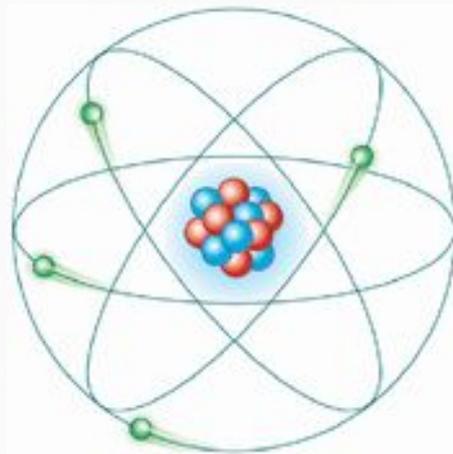
- ✓ **ruolo attivo dell'osservatore**

# Gli studi sull'atomo

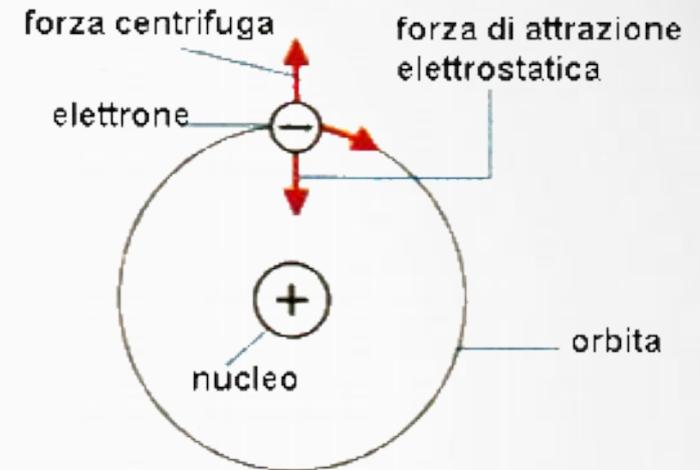
- Scoperte sull'atomo agli inizi del '900.



Thomson, 1904



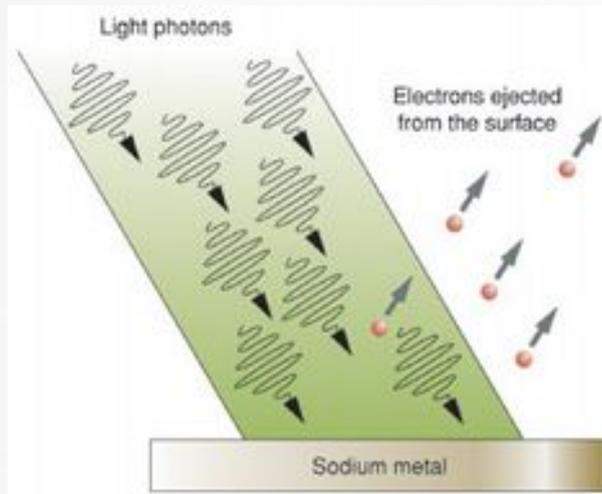
Rutherford, 1909



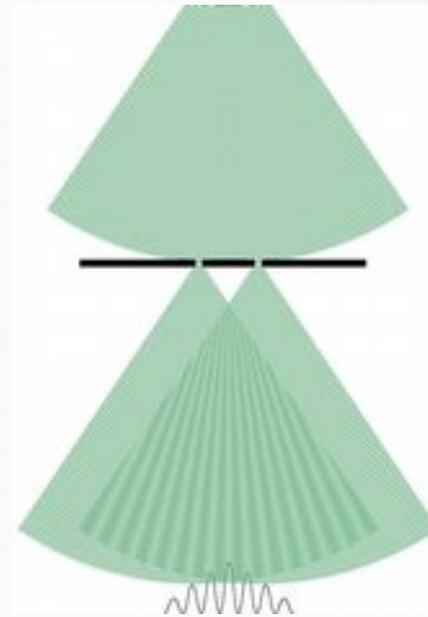
- Evidenziano i **limiti della fisica classica**.
- **Leggi della fisica classica valide solo per corpi di grande massa e a basse velocità.**

# Dualismo onda-particella

- Il paradosso della doppia natura della luce.



Natura corpuscolare  
Newton, Einstein (1905)

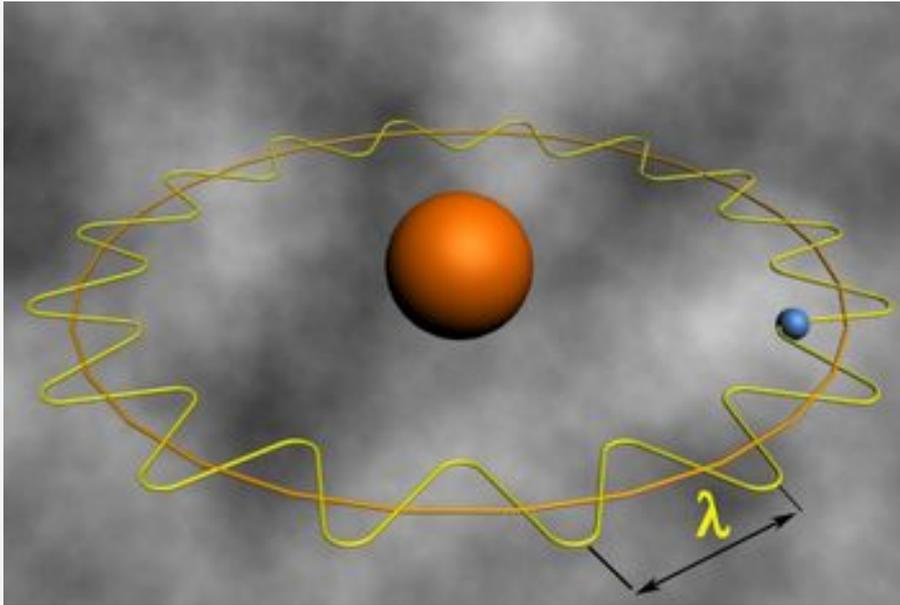


Natura ondulatoria  
Huygens, Young (1801)

- Per la **meccanica classica** la luce è descritta solo come un'**onda**.

# Dualismo onda-particella

- Doppia natura dell'elettrone.
- De Broglie e le onde di materia.

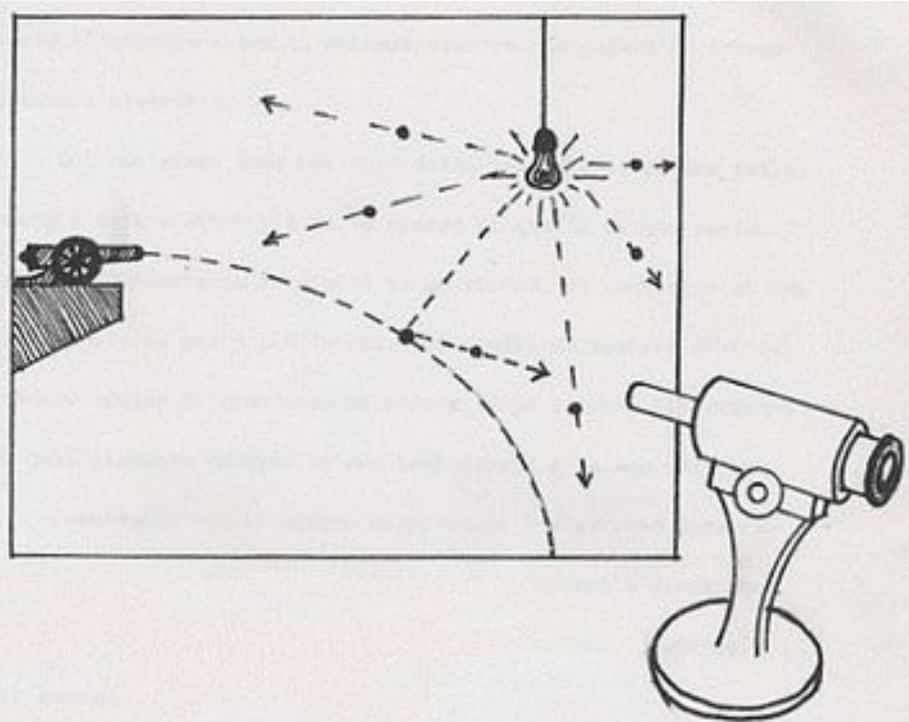


$$\lambda = \frac{h}{m v}$$

- Per la **meccanica classica** l'elettrone è descritto come una **particella**.

# Principio di indeterminazione

- Mette in relazione la natura ondulatoria e corpuscolare dell'elettrone
- Heisenberg (1927)



Impossibilità di determinare contemporaneamente **velocità** e **posizione** dell'elettrone in un dato istante mediante l'**osservazione**.

# Ruolo dell'osservatore

- L'**osservatore** deve scegliere quale misura privilegiare.



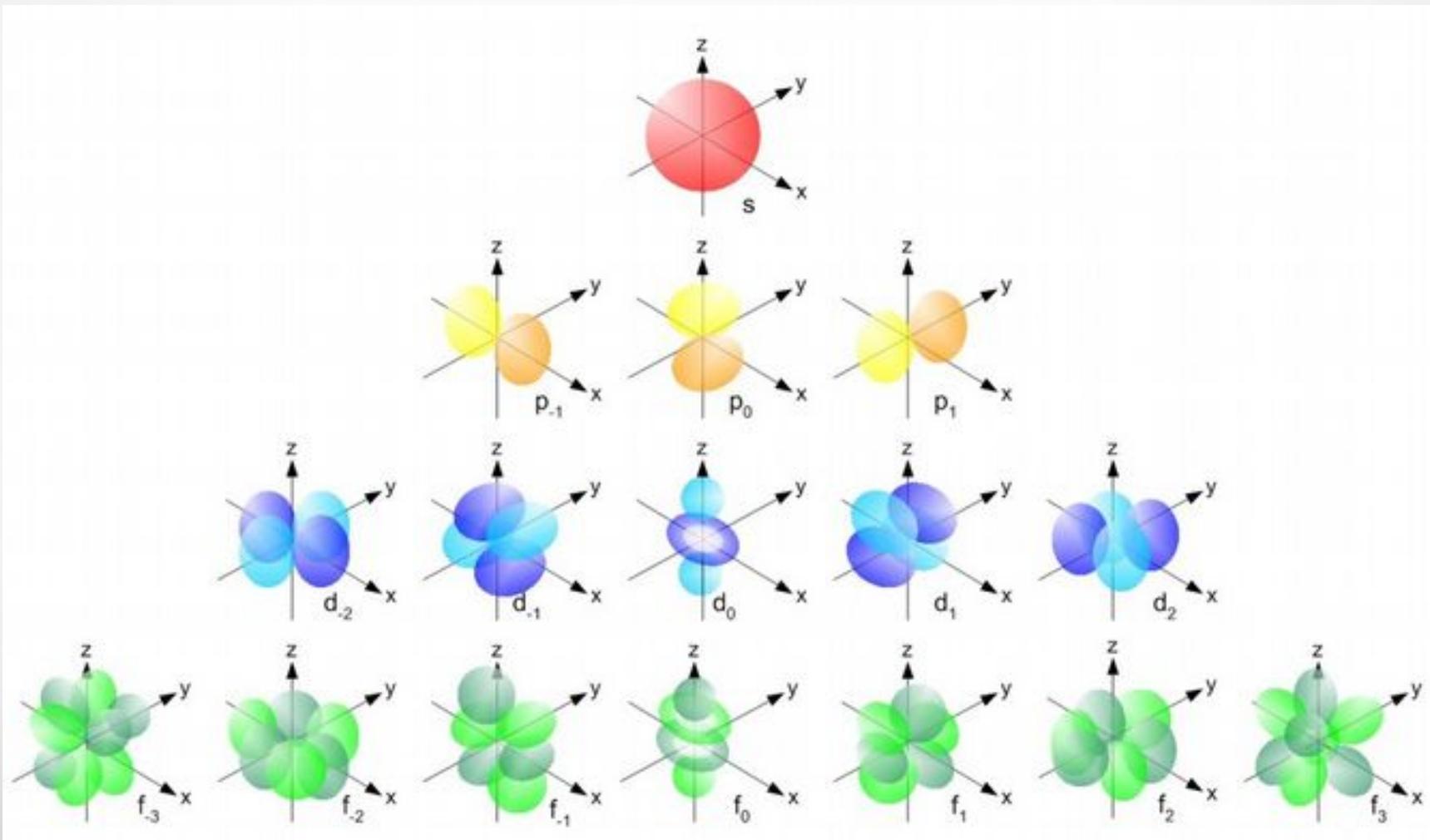
- L'osservatore individua i limiti del sistema.
- L'osservatore diventa parte del sistema...



... la sua presenza altera la realtà.

# Modello quantistico-ondulatorio

- Il concetto **deterministico** di orbita viene sostituito con il concetto **probabilistico** di **orbitale**.

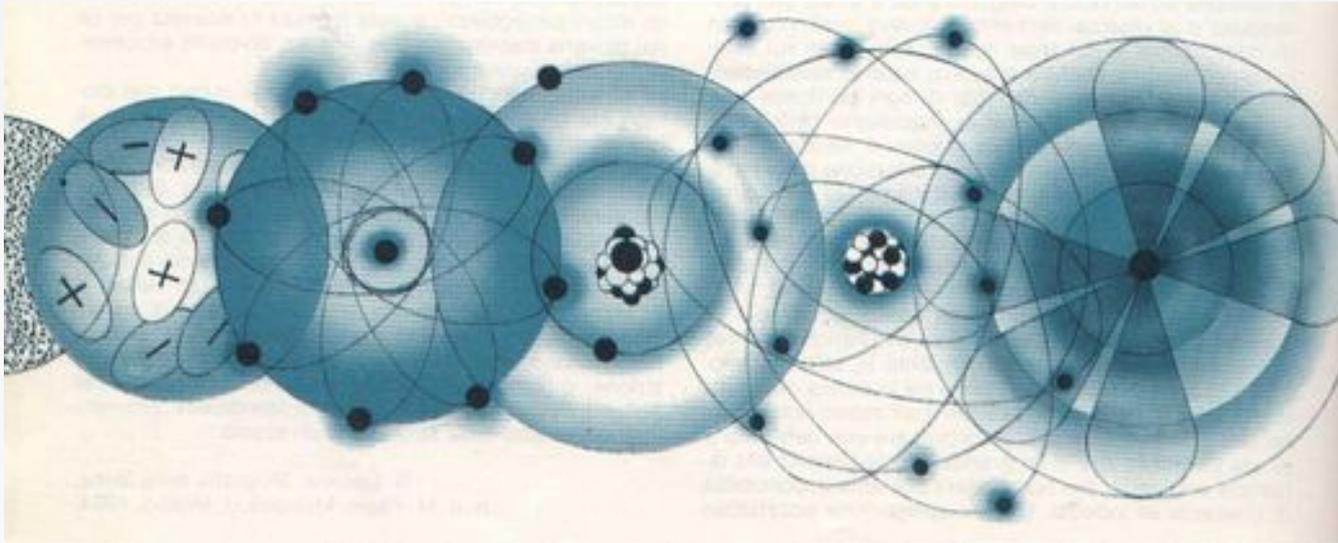


# Il paradosso del gatto di Schrödinger



- Finché la scatola rimane chiusa la sostanza radioattiva (e il gatto) si trova in uno **stato indeterminato**: decaduto e non decaduto (sia vivo sia morto).
- **L'osservatore determina lo stato dell'atomo e del gatto.**  
Il principio applicato al **mondo macroscopico** genera un paradosso.

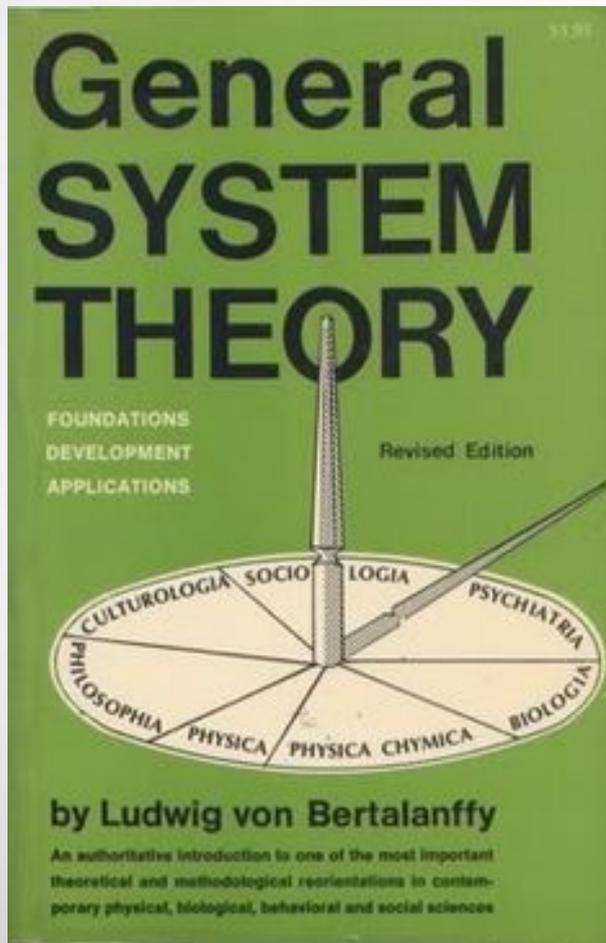
# Contributo della meccanica quantistica



- La meccanica quantistica appporta nuovi concetti fondamentali:
  - ✓ **non universalità delle leggi**
  - ✓ **ruolo dell'osservatore**
  - ✓ **incertezza (probabilistica)**

# La teoria dei sistemi

- Ludwig von Bertalanffy



“Il tutto è maggiore della somma delle parti”

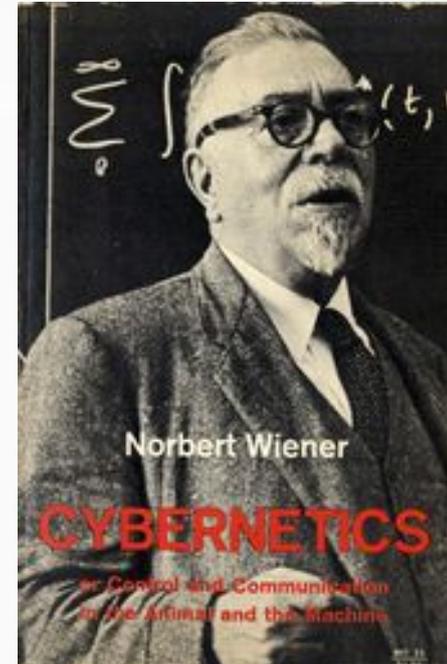


- Implica uno spostamento di attenzione dagli oggetti alle relazioni

# La cibernetica

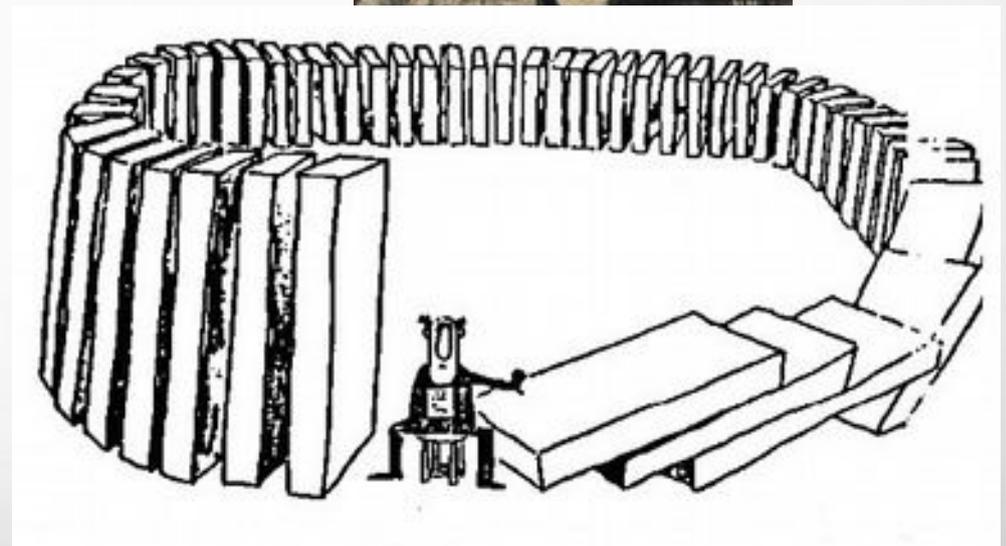
- **Norbert Wiener**

*Cybernetics, or control and communication in the animal and machine (1948)*



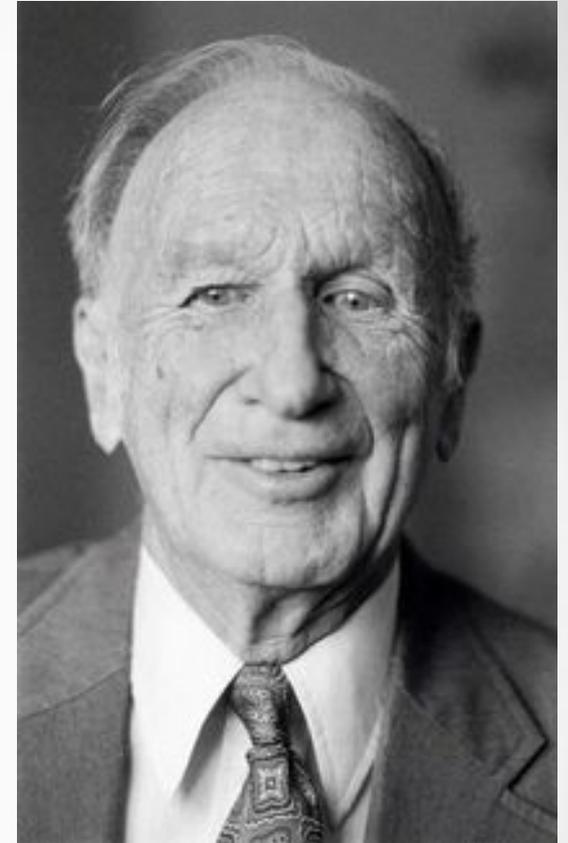
- **Concetti fondamentali:**

**organizzazione,**  
**schemi,**  
**logica circolare,**  
**retroazione,**  
**feedback, loop ...**



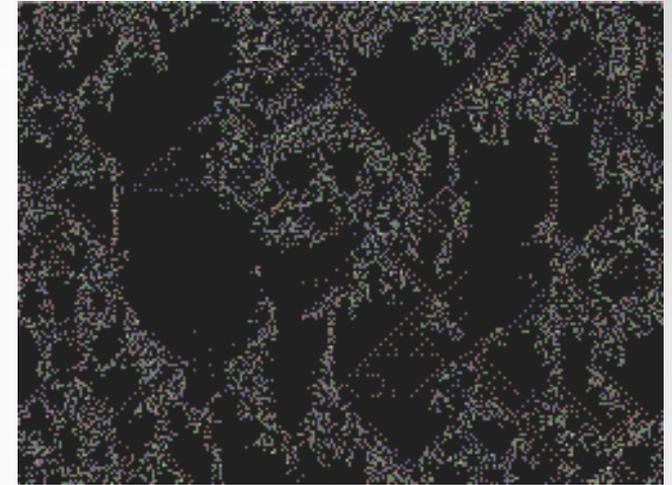
# La meteorologia

- Edward Norton Lorenz
- Attraverso lo studio dei modelli meteorologici viene scoperta l'**estrema sensibilità alle condizioni iniziali** dei sistemi complessi (**butterfly effect**)
- Osserva il **caos deterministico** in un semplice sistema di equazioni.



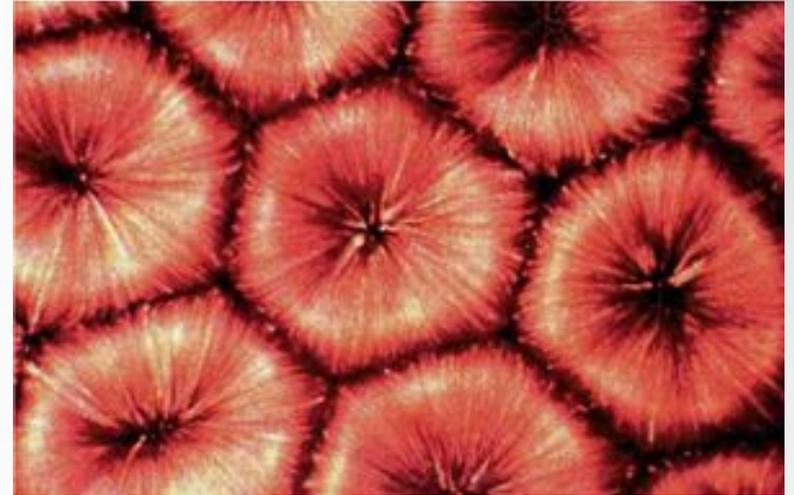
# Teoria del caos

- Comportamento paradossale caratterizzato da una evoluzione imprevedibile, apparentemente casuale, ma governata da leggi (**caos deterministico**).
- Concetti fondamentali: **non linearità, disordine, ordine, caso, determinismo, ...**



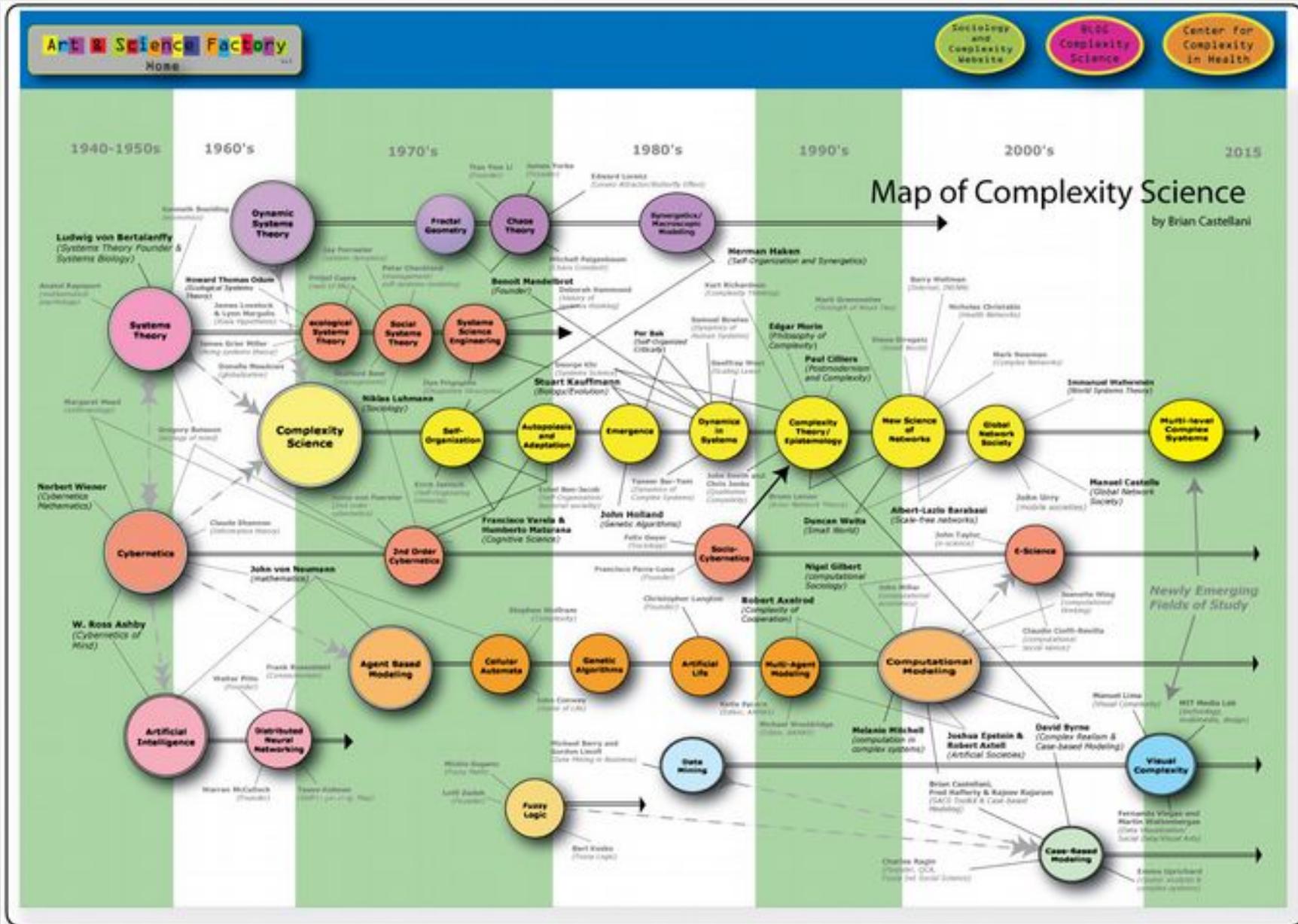
# Strutture dissipative

- [Ilya Prigogine](#)
- Considera concetti contrapposti osservati nella complessità reale (es. [Celle di Bénard](#), [altro](#)).



- Concetti fondamentali:  
sistemi aperti, non linearità, entropia,  
negherontropia, punto critico, evoluzione,  
imprevedibilità, ordine, disordine, caso, ...

# Mappa della complessità



# La sfida della complessità

*La complessità è sfida non soluzione.*

*Morin*

- Non vuole sostituirsi alla scienza classica per sopperire ai suoi limiti o per risolvere i problemi da essa generati.
- Non rifiuta la chiarezza, l'ordine, il determinismo, sa solo che sono insufficienti.
- Sa che è impossibile semplificare

# La sfida della complessità

- Sfida(e):
  - ✓ spostare l'attenzione **dagli elementi singoli alle relazioni** in essi e fra essi
  - ✓ collegare l'elemento, l'evento, l'informazione al **contesto**
  - ✓ alla certezza, alla definitività cartesiana bisogna sostituire l'**incertezza**, aspettandosi l'inaspettato

# La sfida della complessità

*“... sorge (la complessità) là dove l'unità complessa produce le sue emergenze, là dove si perdono le distinzioni e le chiarezze nelle identità e nelle causalità, dove i disordini e le incertezze perturbano i fenomeni, dove il soggetto-osservatore sorprende il suo stesso volto nell'oggetto della sua osservazione, dove le antinomie fanno divagare il corso del ragionamento.”*

**Morin**

# La sfida della complessità

*"L'albero e il bosco, l'ape e l'alveare, l'uomo e la società sono sistemi che fanno sistema. Ogni bosco è un sistema molto complesso. La natura non progetta i boschi. Nessuna mano invisibile ne regola la vita. Nel bosco gli alberi realizzano un loro vivere sociale basato su una continua autoregolazione sistemica che permette loro di vivere uno accanto all'altro. Hanno aria e luce, nonostante la vicinanza di altri. Anzi, proprio questa vicinanza permette loro di crescere come alberi forti ed alti in un bosco rigoglioso, piuttosto che malfermi nell'isolamento. Sono gli alberi che fanno vivere il bosco o il bosco che fa vivere gli alberi? Tutto, o quasi, tutto ciò che ci circonda è complesso. Senza saperlo nuotiamo in un mare di complessità. La complessità riguarda tutto: la ditta in cui lavoriamo, la scuola e l'apprendere, il clima terrestre e la globalizzazione, un batterio e un atomo, l'economia mondiale e la banca di cui ci serviamo, i servizi sanitari, la salute e la malattia, la cultura di un popolo, la politica e la società, la gestione dei beni comuni, la storia e le nostre storie. Noi stessi siamo sistemi complessi, lo sono i nostri organi, le nostre cellule ..... e, senza saperlo, ci portiamo addosso per tutta la vita il sistema più complesso e meraviglioso che si conosca: il cervello umano.*

Depliant "Festival della complessità" di Tarquinia