

Liceo “Regina Elena” - Acireale

Progetto PON C-1-FSE-2013-2006

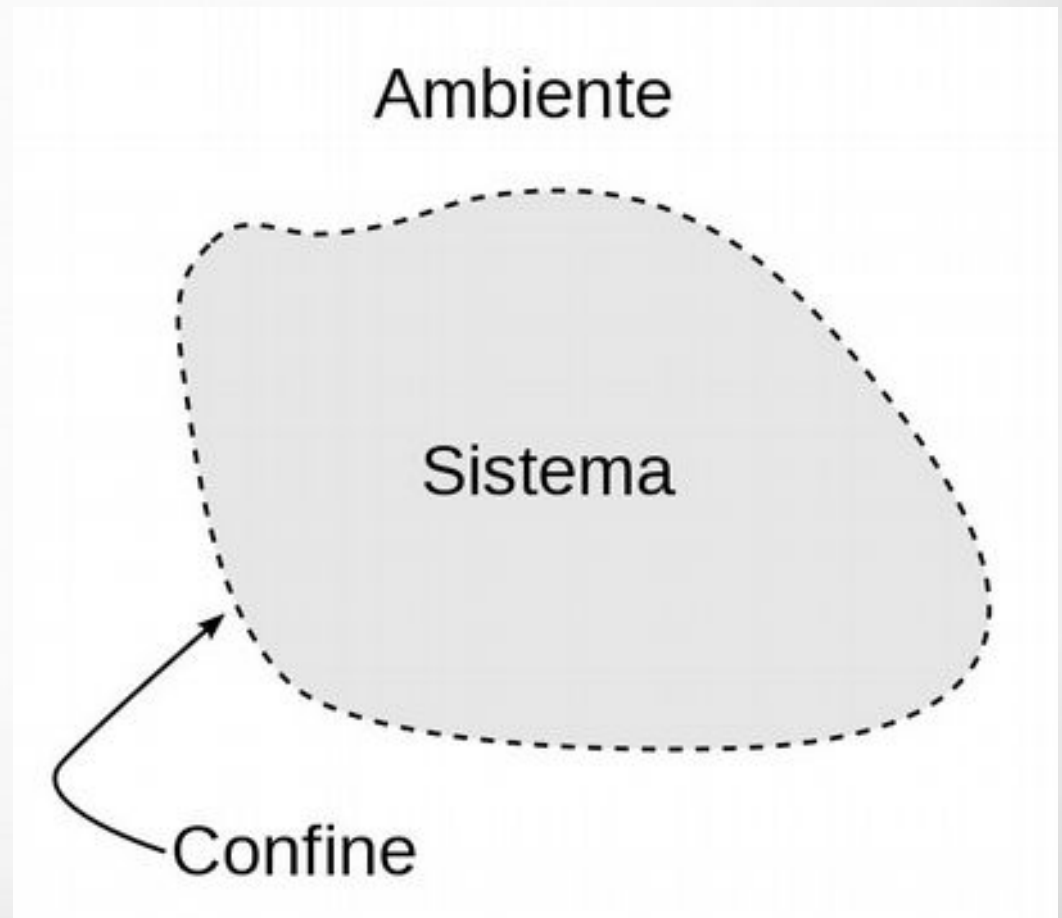
Studio della complessità del mondo che ci circonda

Struttura dei Sistemi Complessi

Prof. Salvatore Lizzio

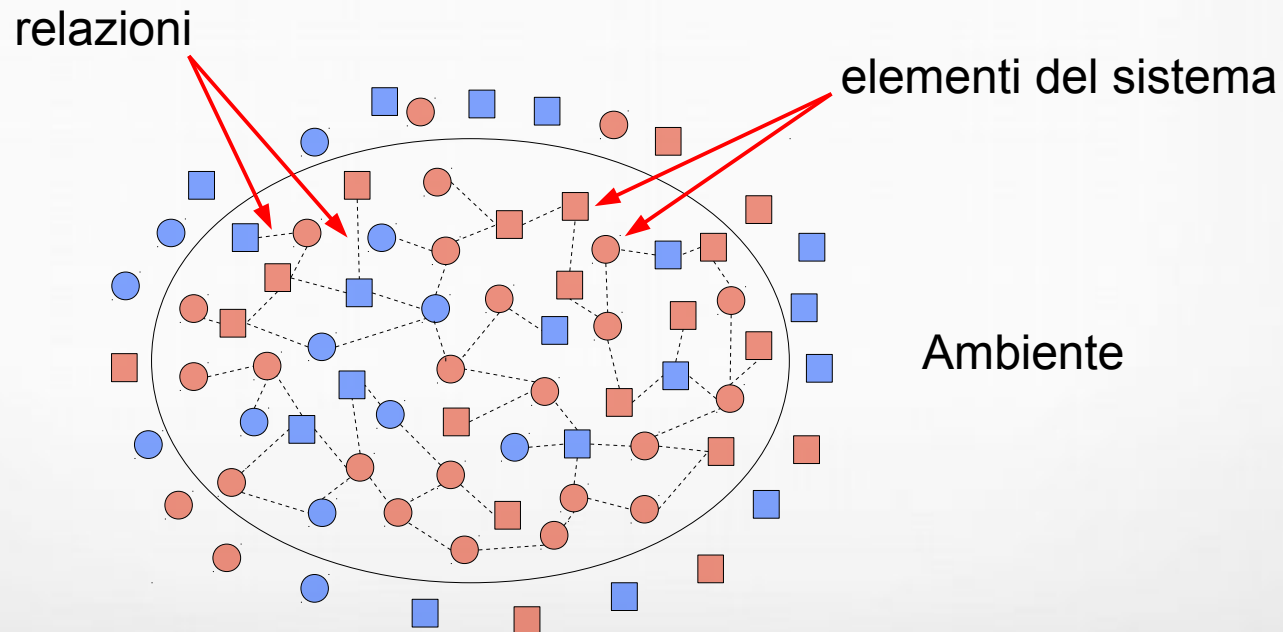
Ambiente e sistema

- Dal greco *synestanaí* (porre insieme)
- In fisica e in chimica per **sistema** si intende una **porzione** di realtà indagata, facente parte di un sistema più grande (**ambiente**)



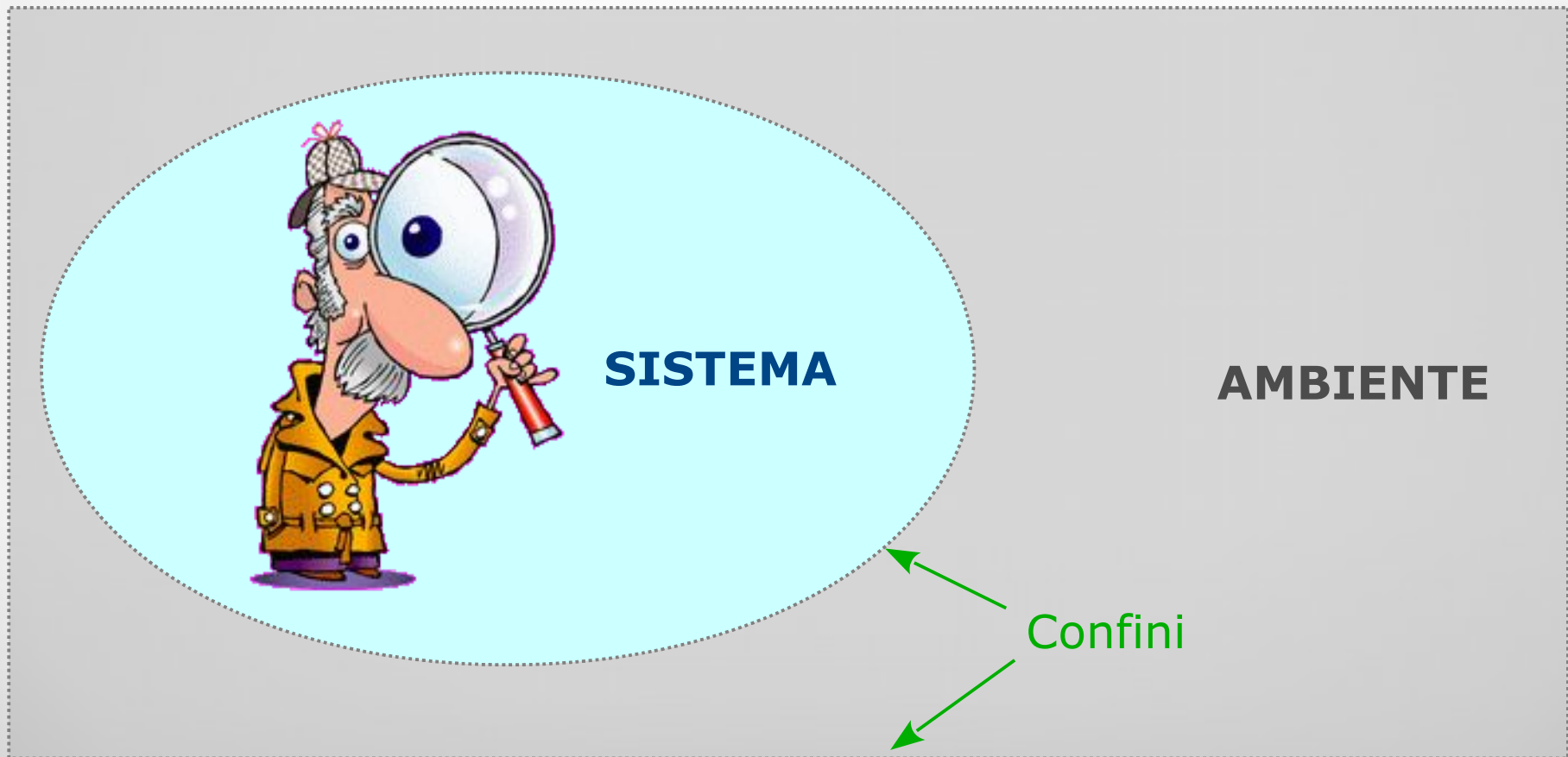
Sistemi complessi

- Un sistema complesso non è solo una porzione dell'ambiente ma un **insieme di elementi interconnessi** da **reciproche relazioni** (*synestanaí* = porre insieme)



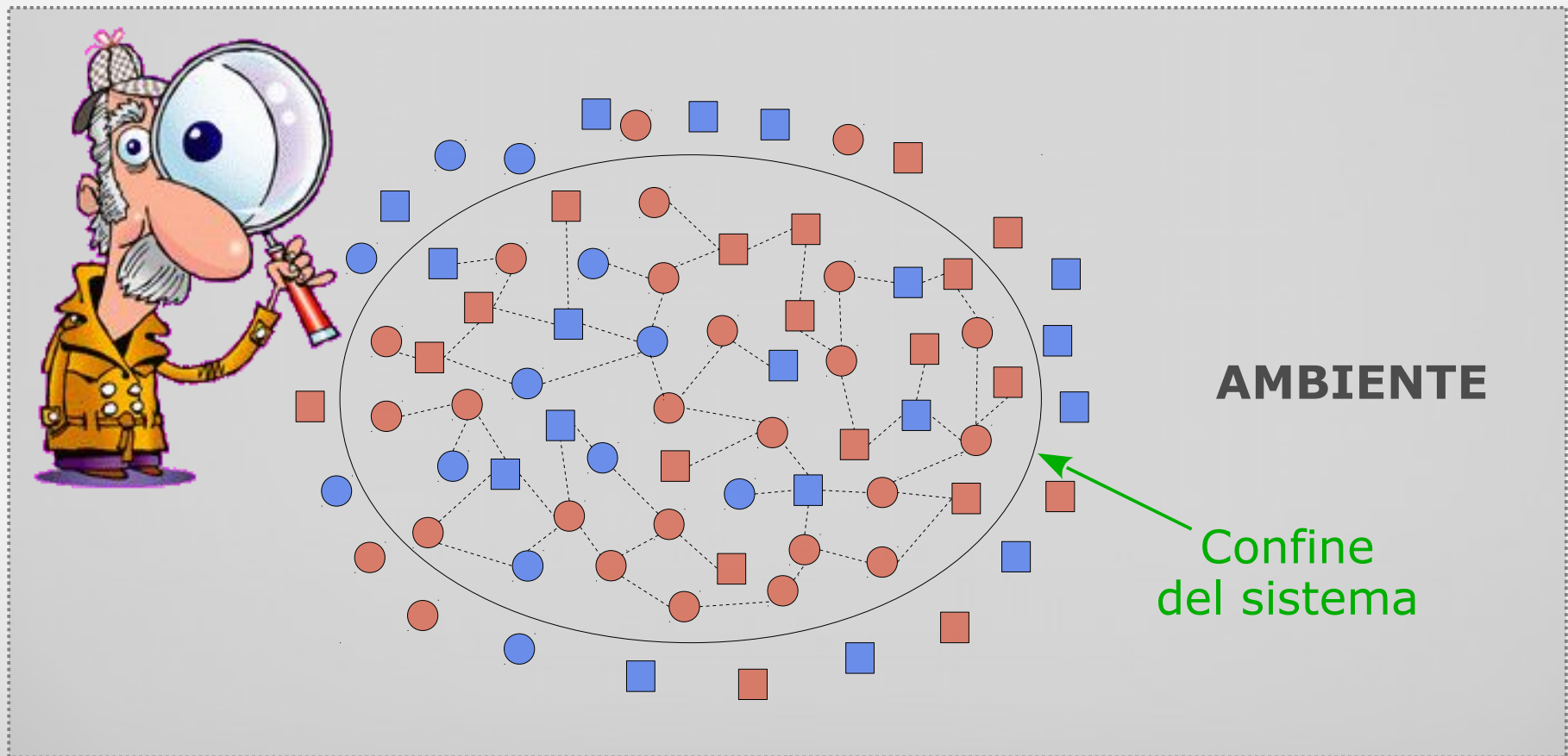
Confini di un sistema

- Cos'è "ambiente" e cos'è "sistema"
è del tutto **ARBITRARIO!**



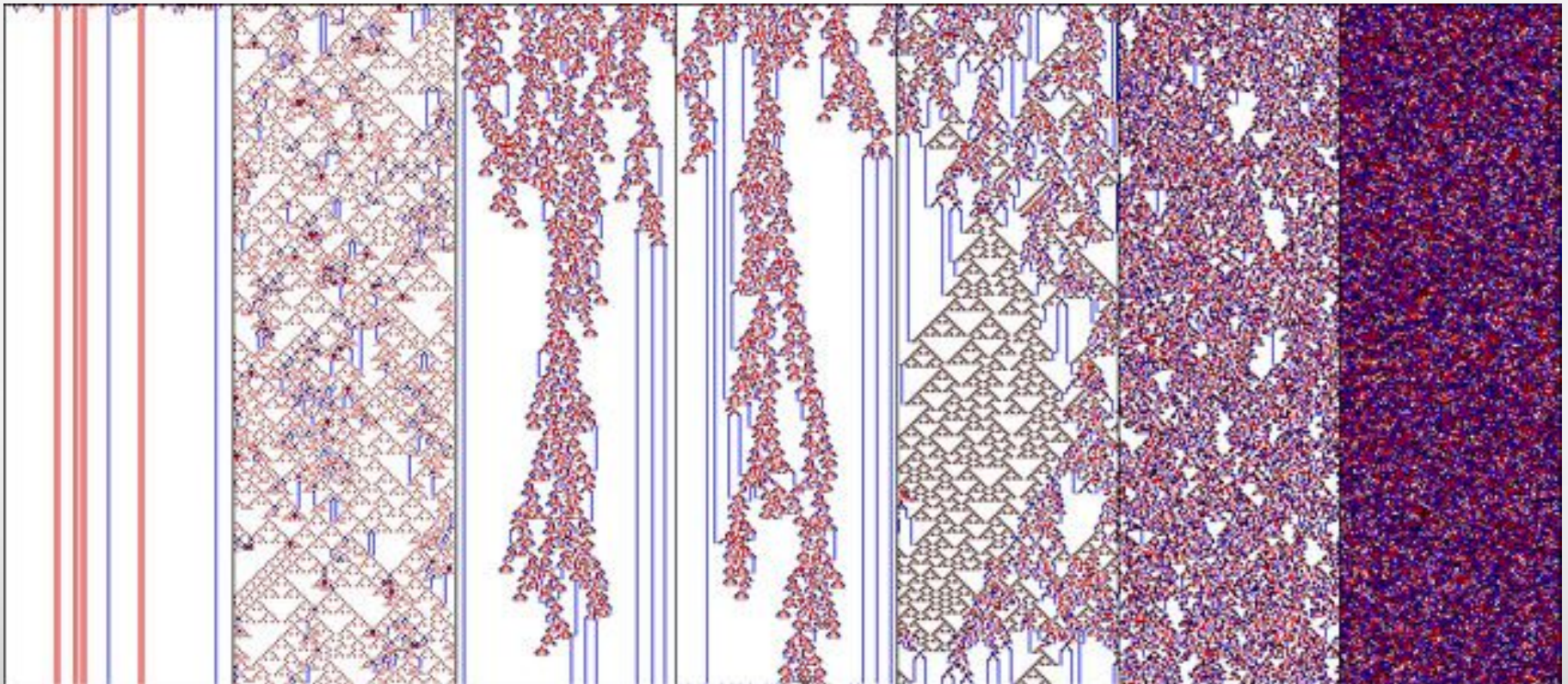
Confini di un sistema

- E' l'**osservatore** a stabilire quali **elementi** e quali **connessioni** considerare..!



Sistemi complessi

- Non è possibile distinguere nettamente il confine che separa i **sistemi complicati** dai **sistemi complessi**



Ripartiamo dalla definizione...

“Un sistema complesso adattativo (SCA) è un sistema aperto, formato da numerosi elementi che interagiscono localmente fra loro in modo non lineare e che costituiscono una realtà unica, organizzata e dinamica, capace di evolvere e adattarsi all’ambiente.”



Sistemi chiusi, aperti, isolati



sistema
aperto



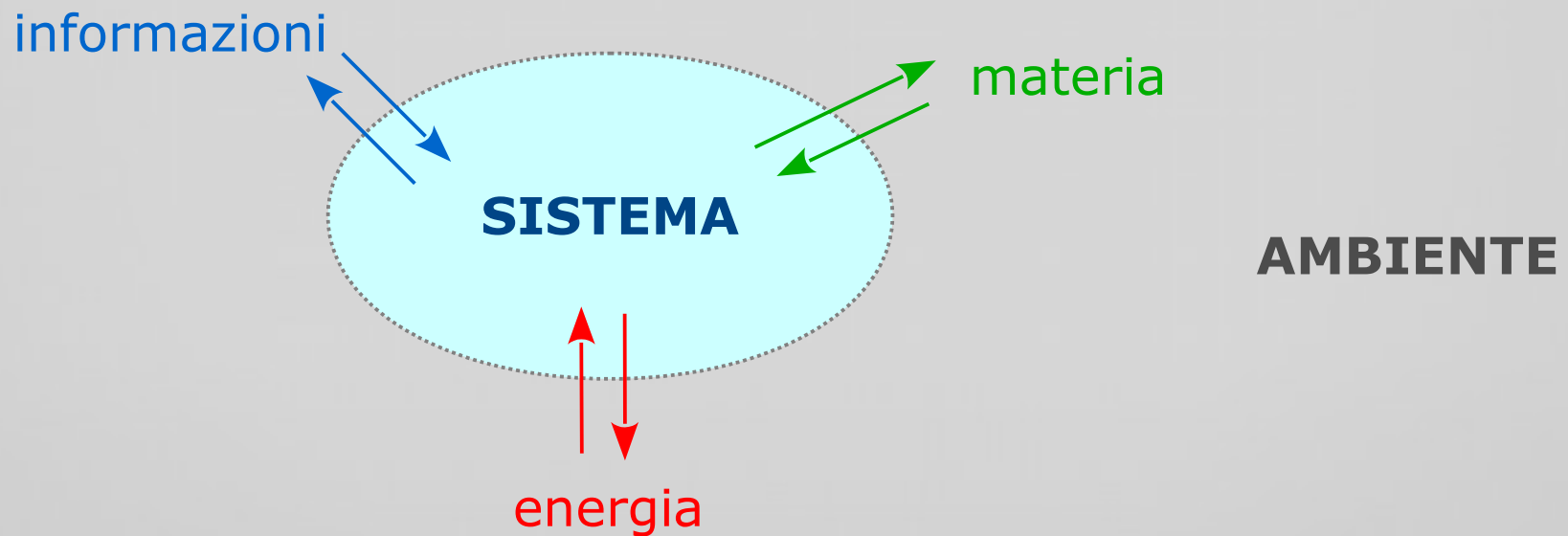
sistema
chiuso



sistema
isolato

Sono sistemi aperti

- Un sistema si dice **aperto** se interagisce con l'ambiente (attraverso lo **scambio** di **materia**, **energia** o **informazioni**)



Sono sistemi aperti

- In natura **non esistono sistemi chiusi**.
- In teoria l'unico sistema chiuso è l'**universo**.



- Sistema chiuso = morte termica (big freeze)

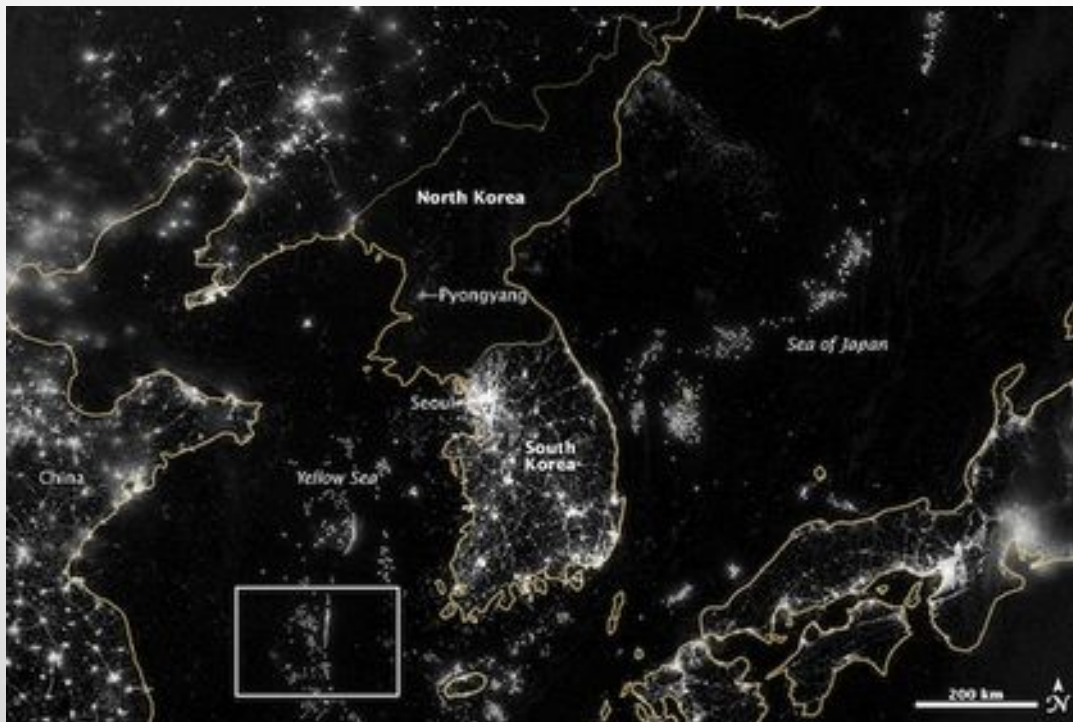
Sono sistemi aperti

- Il **sistema solare** è un esempio di sistema aperto: libera energia, è attraversato da comete, da asteroidi, da polvere interstellare, ...



Sono sistemi aperti

- In pratica, **TUTTI i sistemi sono aperti**; solo alcuni interagiscono così poco o per poco tempo con l'ambiente da essere considerati “**quasi chiusi**”



Sono sistemi aperti

- La chiusura provoca aumento dell'entropia (degrado economico, culturale, politico, ecc.)



Sono sistemi aperti

- Anche una **fabbrica** è un sistema aperto: entrano materie prime, energia, informazioni, escono prodotti finiti, scorie ...



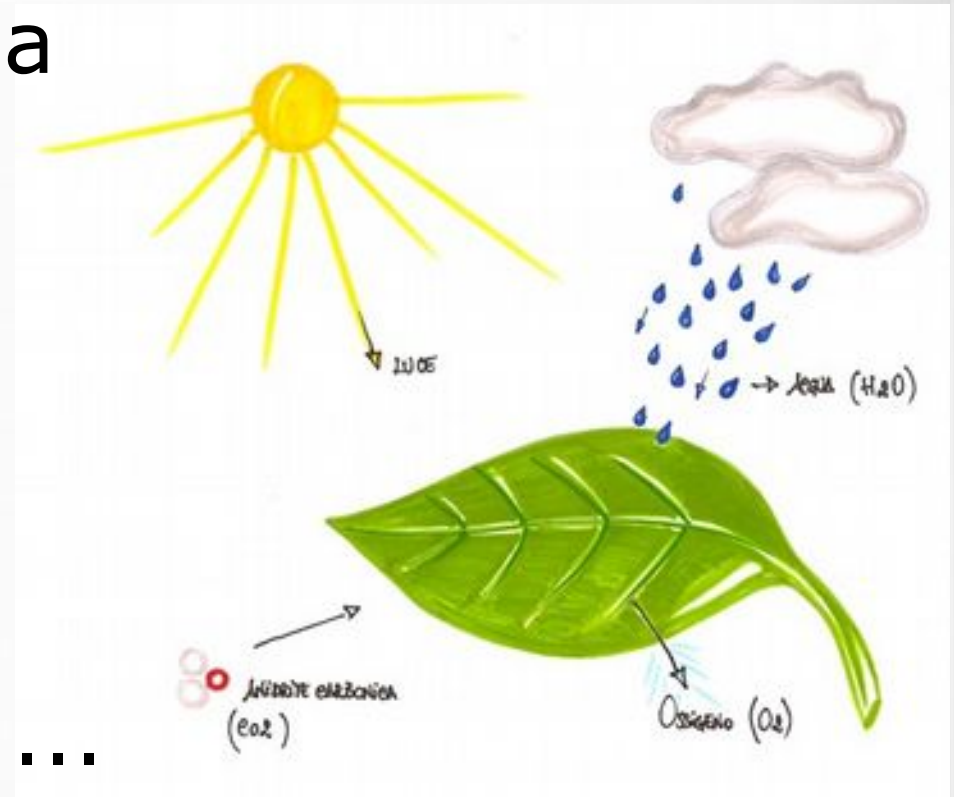
Sono sistemi aperti

- Anche le città sono sistemi aperti: scambiano materia (cibo, rifiuti, materiali, cose, persone) energia ed informazioni ...



Sono sistemi aperti

- Una **foglia** è un sistema aperto:
 - ✓ input:
luce, CO_2 , acqua, sali minerali...
 - ✓ output:
glucosio, O_2 , acqua, ...



Sono sistemi aperti

- Il **cervello** è un sistema aperto:
 - ✓ input:
luce, suoni, impulsi elettrici...
 - ✓ output:
reazioni, pensieri,
parole, sentimenti, ...



Sono sistemi aperti

- Tutti gli **organismi** sono sistemi aperti: scambiano **materia** (acqua, gas, cibo, frutti, prodotti di scarto,..), **energia** (luce, calore, energia chimica,...) e **informazione** (interazione, comunicazione)



Sono sistemi aperti

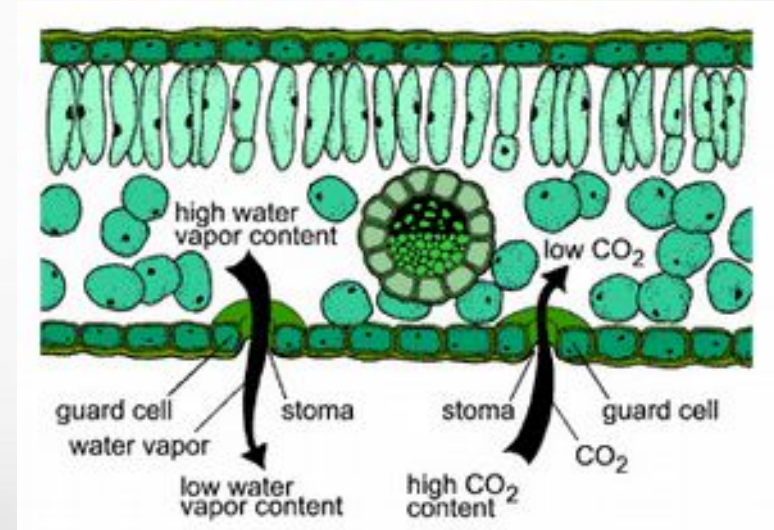
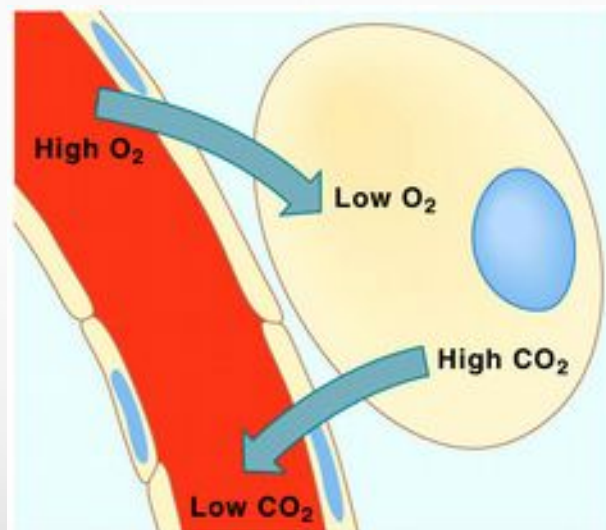
- La **Biosfera** è attraversata da un **flusso continuo di energia solare** che ne assicura l'ordine (entropia costante)



Sono sistemi aperti

- Le strutture dissipative

sono sistemi **lontano dall'equilibrio termodinamico**, che scambiano **materia ed energia** con l'ambiente, così da mantenere un **certo grado di ordine** ed eventualmente **evolvere**



La città come sistema dissipativo



- Fallimento di **Detroit**
- La crisi dell'auto (GM) ha determinato il fallimento economico della città.



Popolazione:

- 2 milioni (anni '50)
- 700.000 (2013)

Elementi del sistema ...

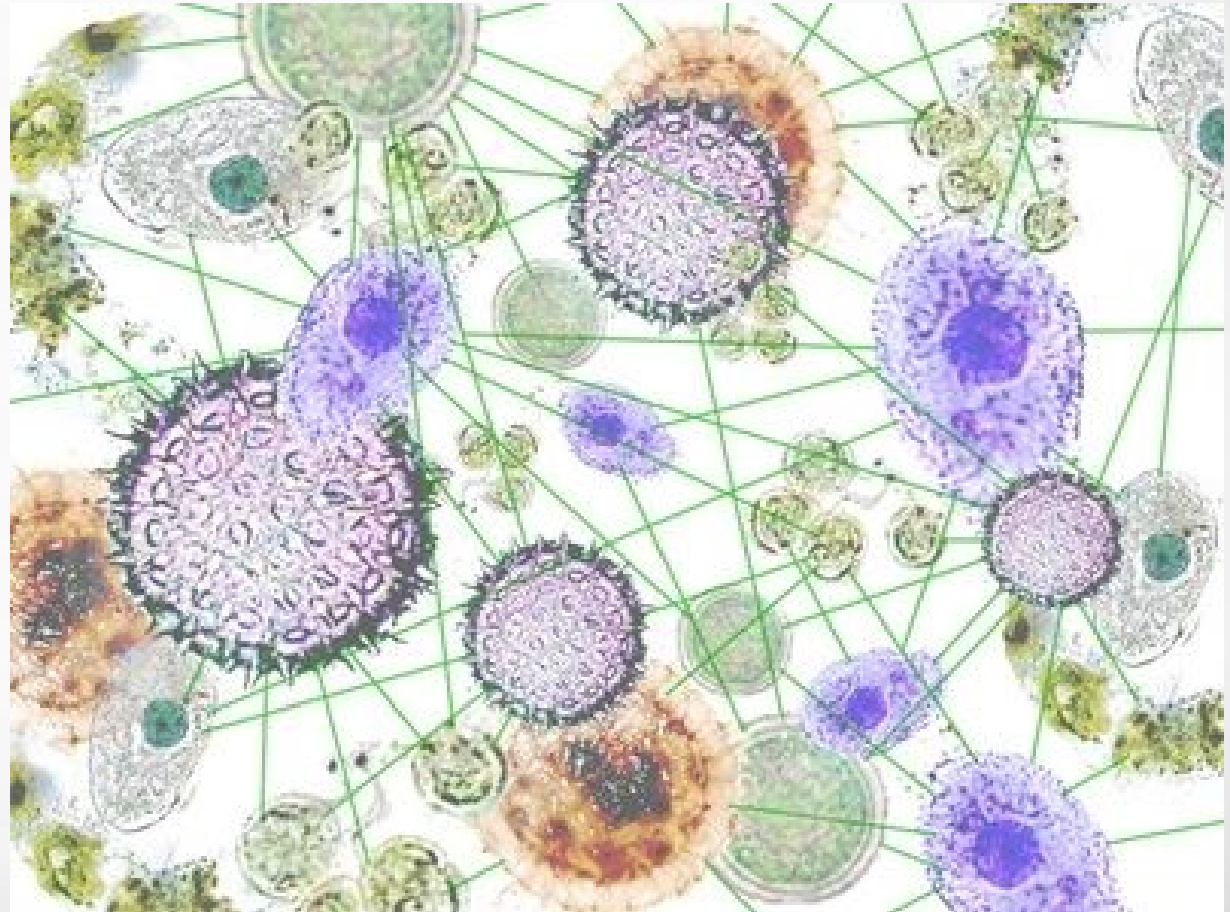
“Un sistema complesso adattativo (SCA) è un sistema aperto, formato da numerosi elementi (più o meno complessi) che interagiscono localmente fra loro in modo non lineare e che costituiscono una realtà unica, organizzata e dinamica, capace di evolvere e adattarsi all'ambiente.”



Elementi del sistema ...

- Gli elementi del sistema possono essere più o meno:

- ✓ numerosi
- ✓ diversi
- ✓ complessi



Elementi del sistema ...

- Sistemi chimico-fisici:

Una massa d'acqua è costituita da **numerosissime** componenti, **quasi tutte uguali** (principalmente molecole di H_2O) e **non complesse**



Elementi del sistema ...

- Sistemi chimico-fisici:

Un ammasso di sabbia è costituito da **numerosissime** componenti, **abbastanza diverse** (vari tipi di minerali) e **non complesse**



Elementi del sistema ...

- Nonostante l'**elevata numerosità** tali sistemi non possono essere complessi perché:
 - ✓ **minima interazione**
 - ✓ **minima organizzazione**
 - ✓ **nessuna comunicazione**
 - ✓ **nessun sottoinsieme**
 - ✓ **intercambiabili**
 - ✓ **removibili**



Elementi del sistema ...

- Personal computer:

- ✓ interazione
- ✓ organizzazione
- ✓ comunicazione
- ✓ relativa numerosità
- ✓ nessun sottoinsieme
- ✓ non intercambiabili
- ✓ non removibili

- Tale sistema non può essere complesso



Elementi del sistema ...

- Satellite artificiale:

- ✓ interazione
- ✓ organizzazione
- ✓ comunicazione
- ✓ elevata numerosità
- ✓ nessun sottoinsieme
- ✓ non intercambiabili
- ✓ non removibili

- Tale sistema non può essere complesso



Elementi del sistema ...

- Sistema di controllo del traffico aereo:

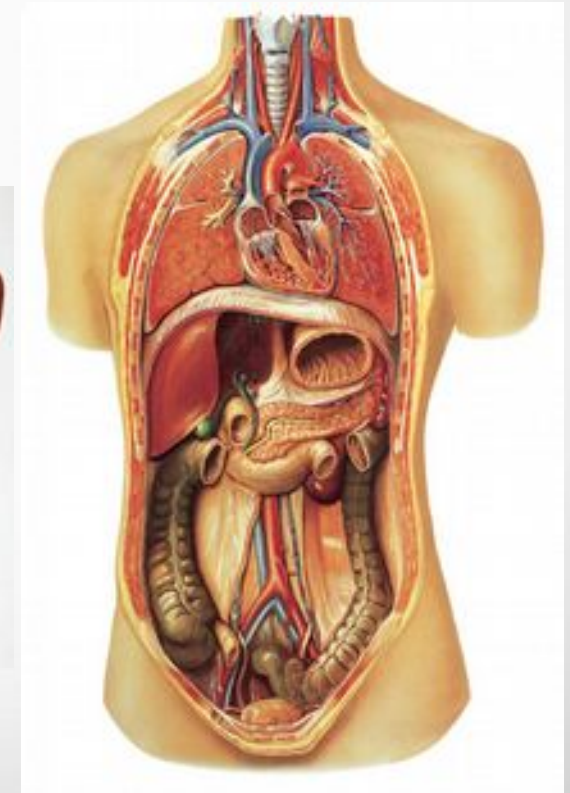
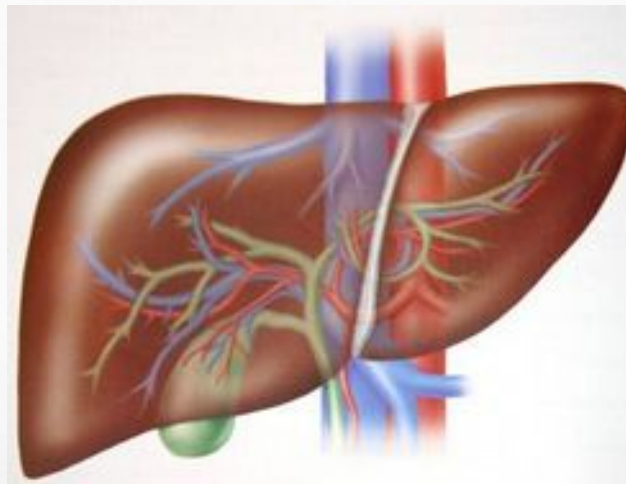
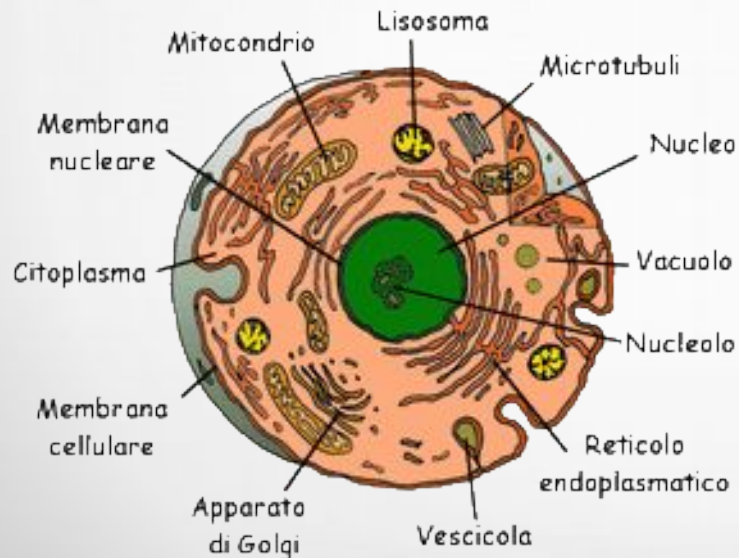
- ✓ interazione
- ✓ organizzazione
- ✓ comunicazione
- ✓ elevata numerosità
- ✓ nessun sottoinsieme
- ✓ non intercambiabili
- ✓ non removibili



- Tale sistema non può essere complesso

Elementi del sistema ...

- Gli **elementi complessi** hanno una **struttura**, cioè sono composti da diverse parti in relazione tra loro, ognuna delle quali ha una parziale autonomia e svolge una funzione specifica

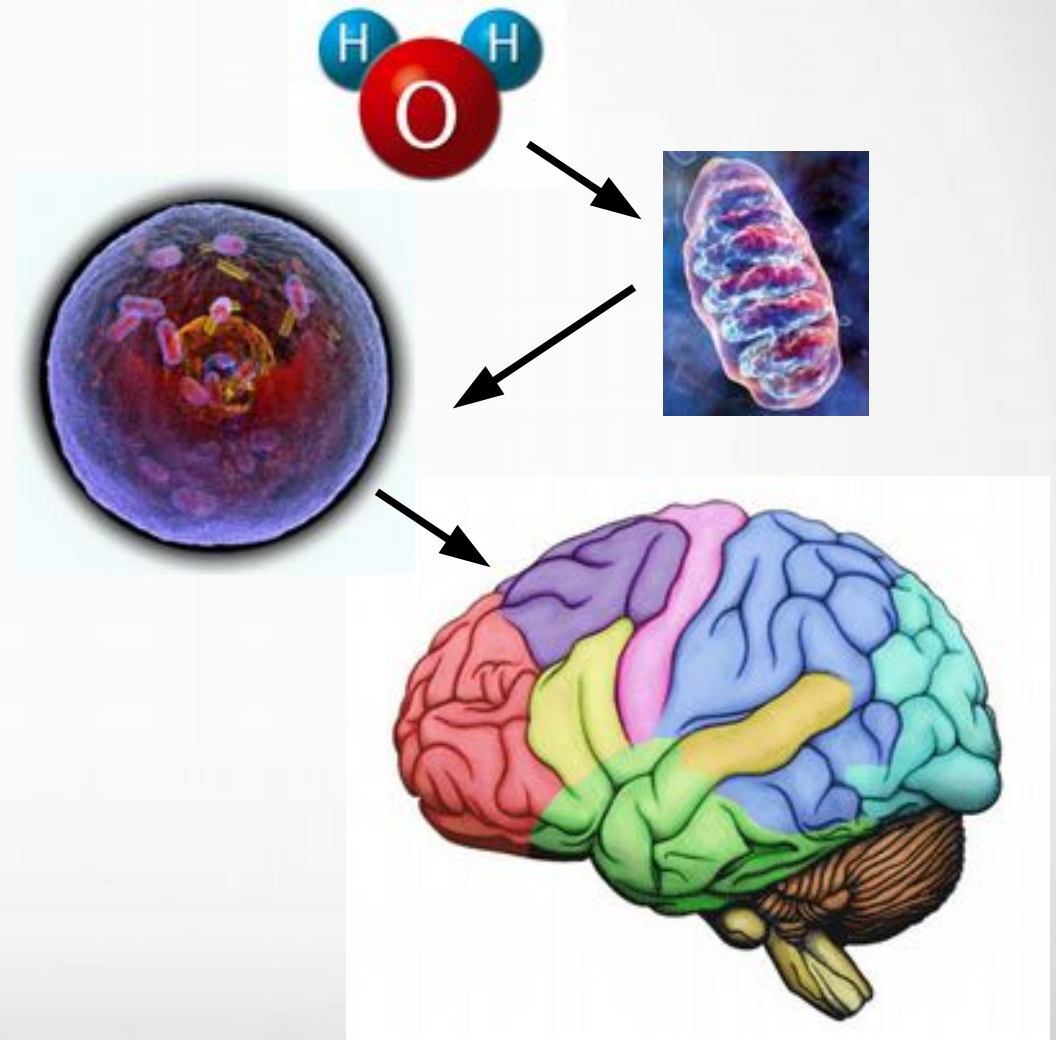


Elementi del sistema ...

- **Complessità degli elementi**

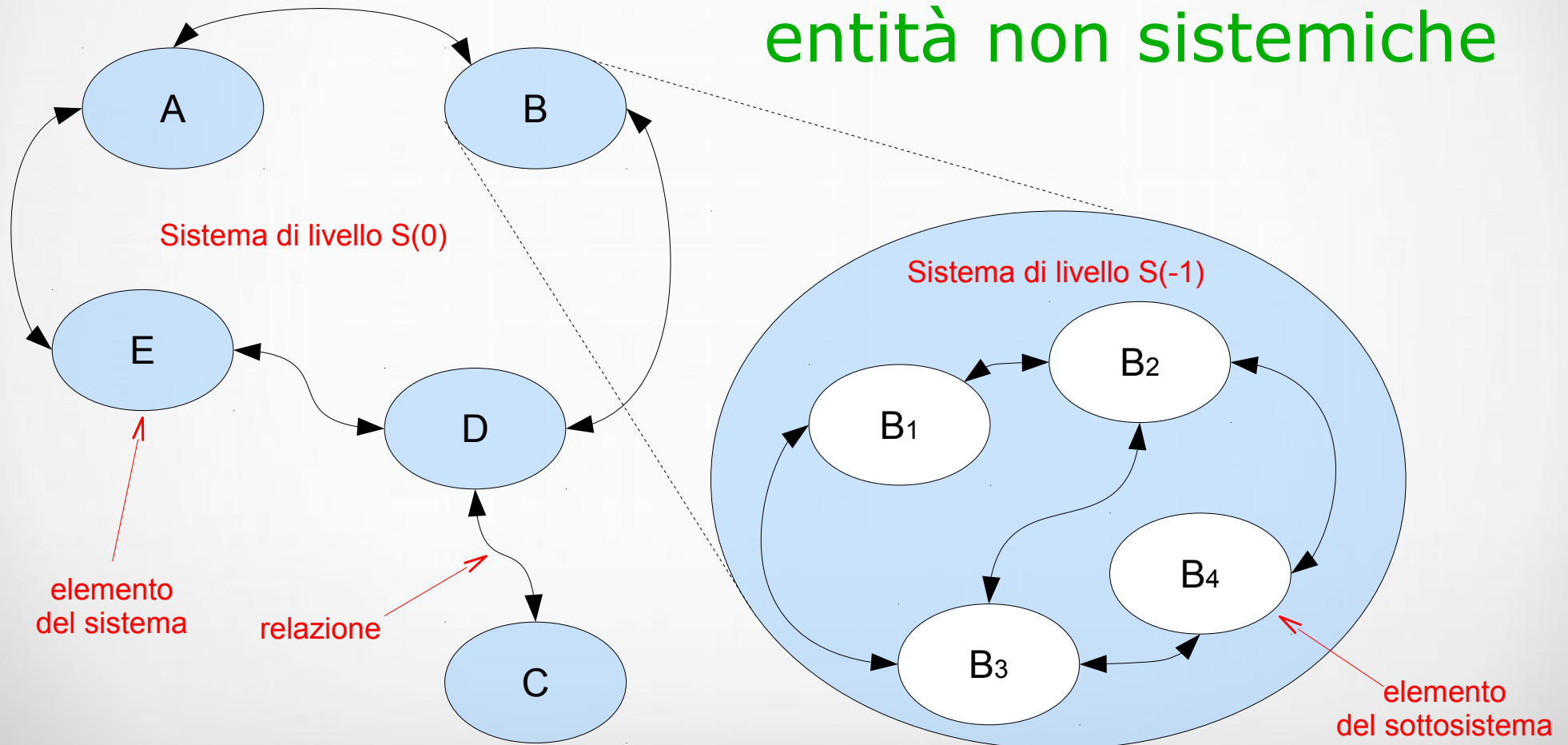
Un elemento del sistema è tanto più complesso quanto più lunga è la sua **descrizione scientifica maggiormente compressa***

* *priva di ridondanze*



Elementi del sistema ...

- Gli elementi possono essere a loro volta **sottosistemi** (struttura gerarchica) oppure **entità non sistemiche**



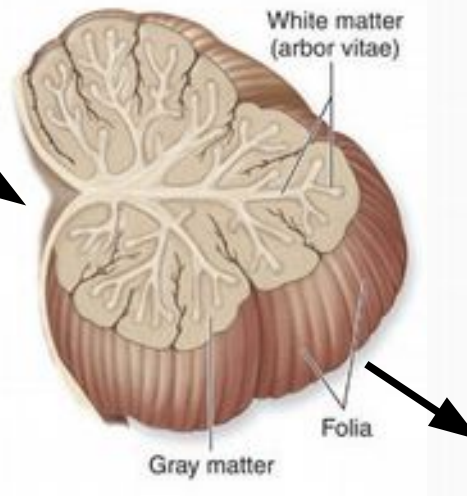
Elementi del sistema ...

Encefalo



Sistema di livello S(0)

Cervelletto

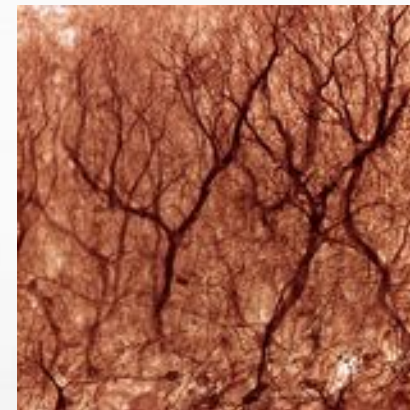


Sistema di livello S(-1)

- Sistemi biologici. Hanno una struttura gerarchica.

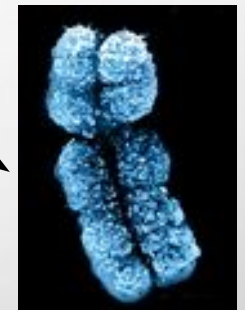
Sistema di livello S(-2)

Cellule di Purkinje



Sistema di livello S(-3)

Cromosoma



Elementi del sistema ...

- Sistemi bio-ecologici.
Hanno una
struttura gerarchica.



Elementi del sistema ...

Sistema di livello S(-2)



- Sistemi bio-sociali.
Hanno una
struttura gerarchica.



Sistema di livello S(-1)



Sistema di livello S(0)



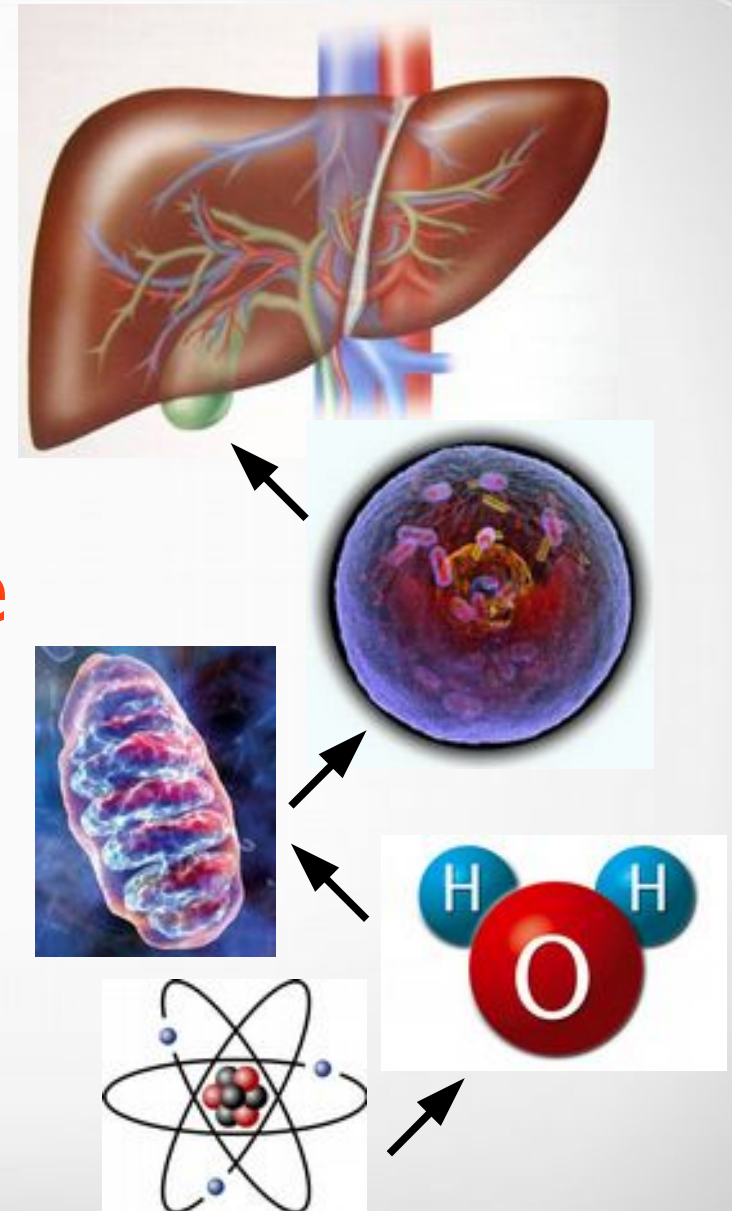
Elementi del sistema ...

- Una città è costituita da **tantissime componenti**, **molto diverse** tra loro, alcune **poco complesse** (strade, edifici, automobili, fogne,...) altre **molto complesse** (microrganismi, animali, piante, persone,...) o **estremamente complesse** (famiglie, aziende, scuole, comunità, società, politica..)



Elementi del sistema ...

- Salendo di livello gerarchico, nel sistema compaiono **proprietà complessive (emergenti)** non possedute dalle singole parti o dalla somma o combinazione di esse (il tutto è maggiore della somma delle parti)



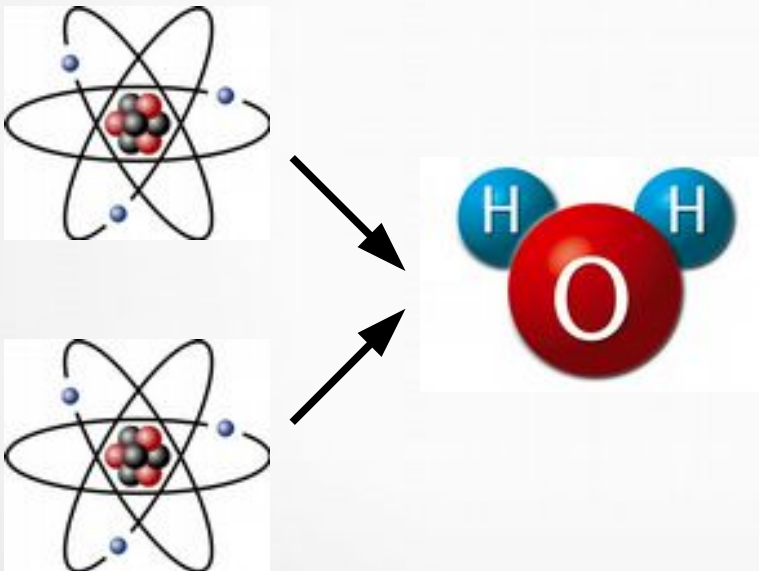
Elementi del sistema ...

- Il sistema può essere contemporaneamente anche **qualcosa in meno della somma delle parti** quando impone **vincoli** che inibiscono le potenzialità o la libertà degli elementi (**asservimento**).



Proprietà emergenti

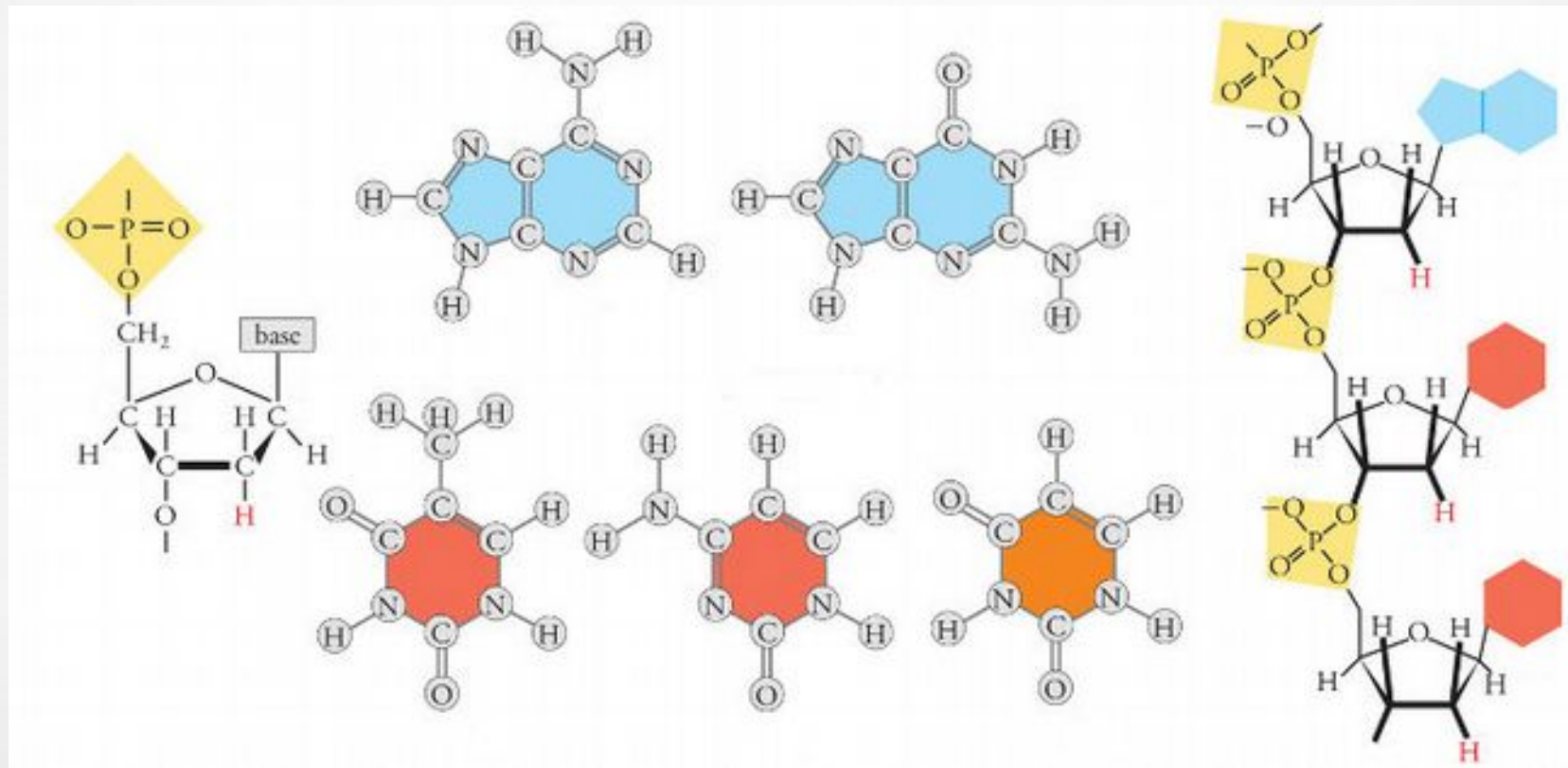
- Passando dal livello atomico al livello molecolare emergono nuove proprietà:



- ✓ stato (gas → liquido)
- ✓ tensione superficiale
- ✓ inerzia termica
- ✓ polarità
- ✓ capacità solvente

Proprietà emergenti

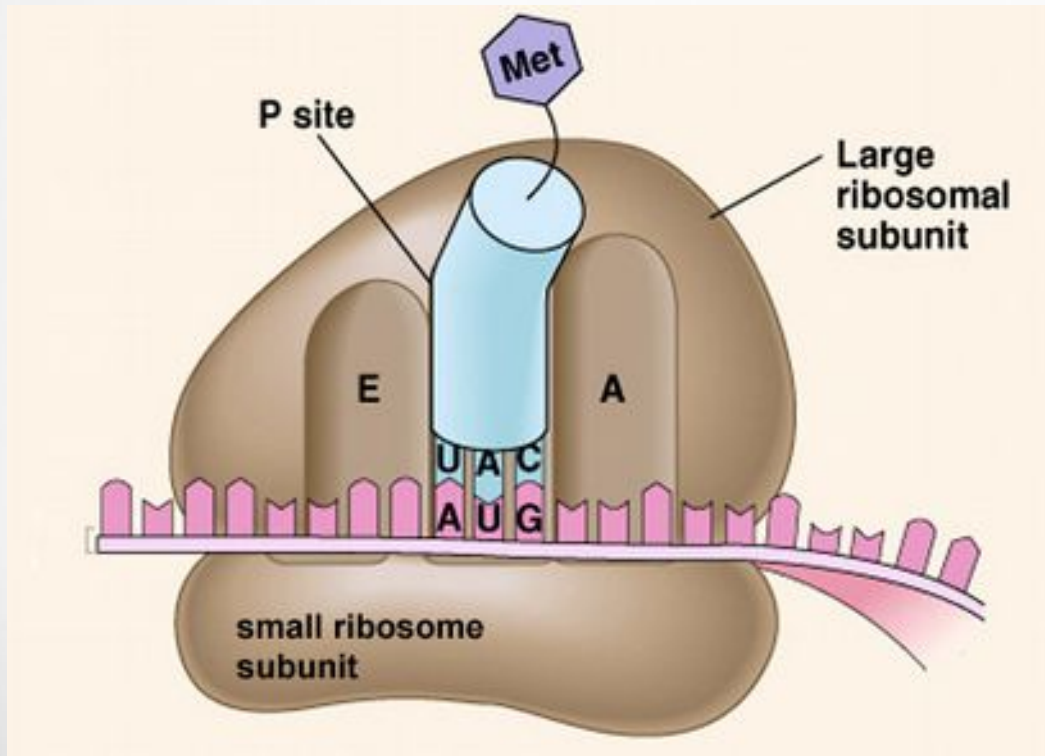
- Nei copolimeri emergono proprietà non presenti nei monomeri:



✓ informazione ✓ variabilità ✓ replicazione

Proprietà emergenti

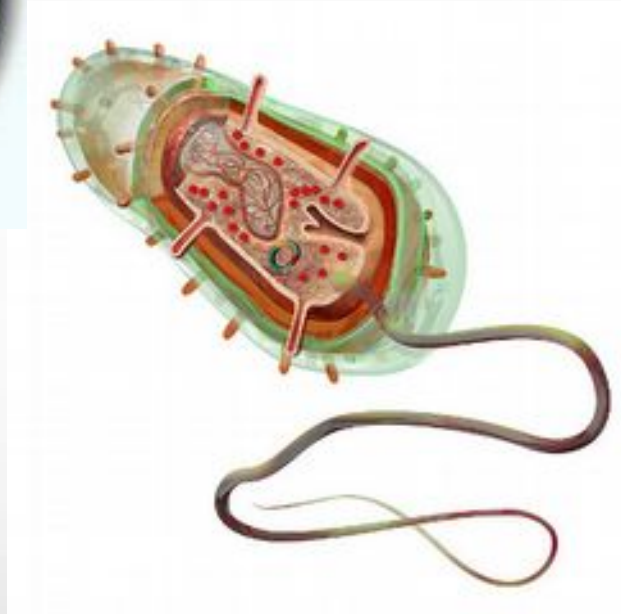
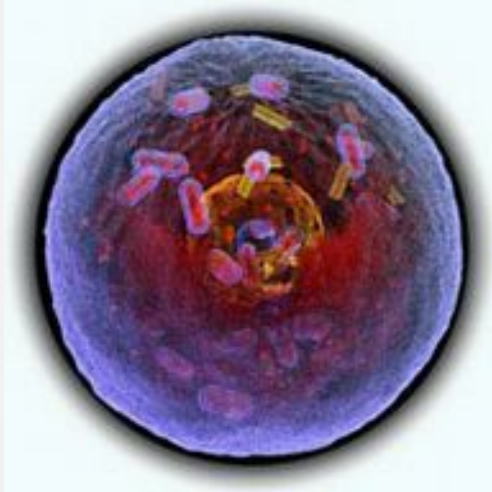
- Negli organuli cellulari emergono proprietà non presenti nelle loro macromolecole:



- ✓ costruzione polipeptidi
- ✓ lettura del codice genetico

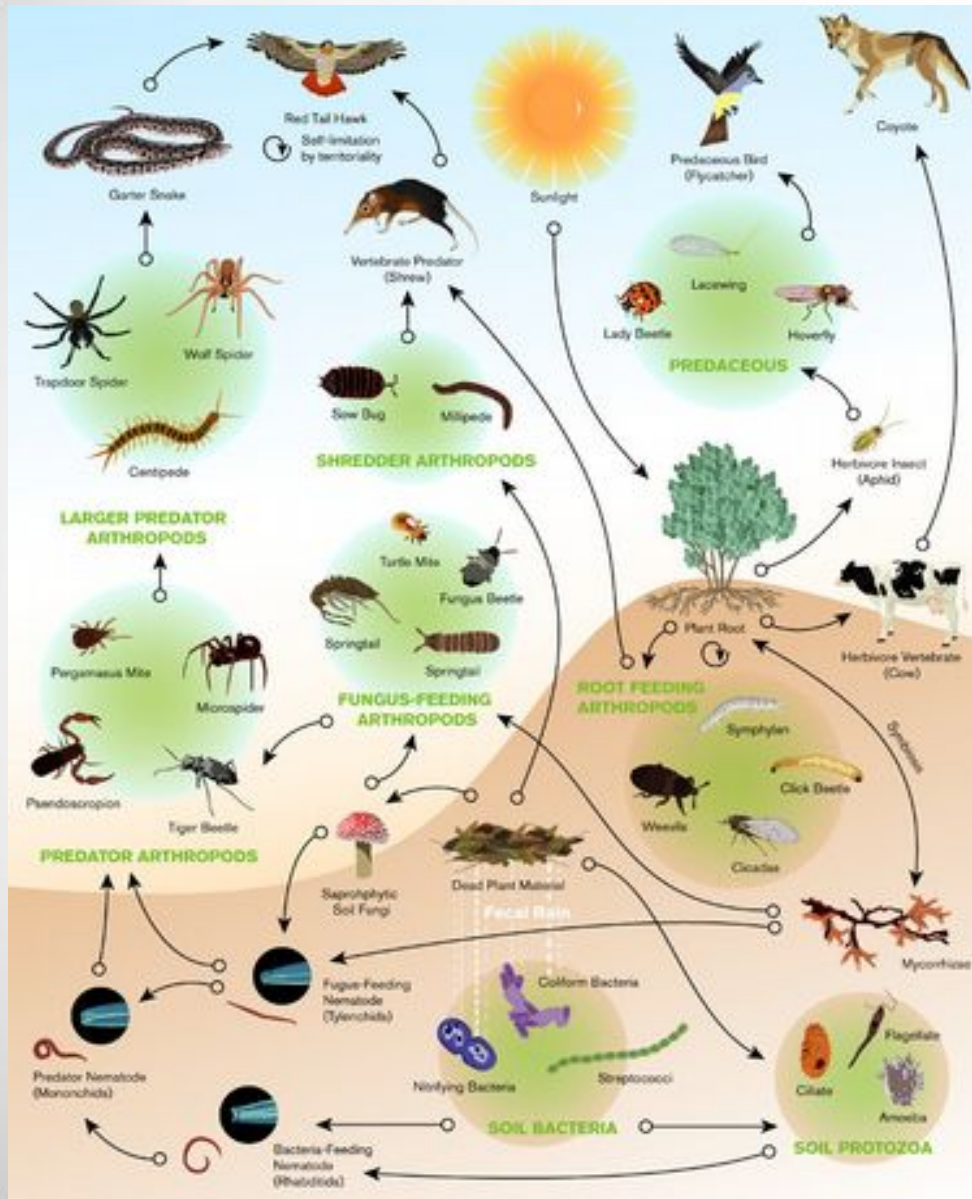
Proprietà emergenti

- Nelle cellule emerge la **vita**, proprietà non presenti negli organuli:



- ✓ crescita
- ✓ metabolismo
- ✓ omeostasi
- ✓ riproduzione
- ✓ evoluzione
- ✓ reattività

Proprietà emergenti



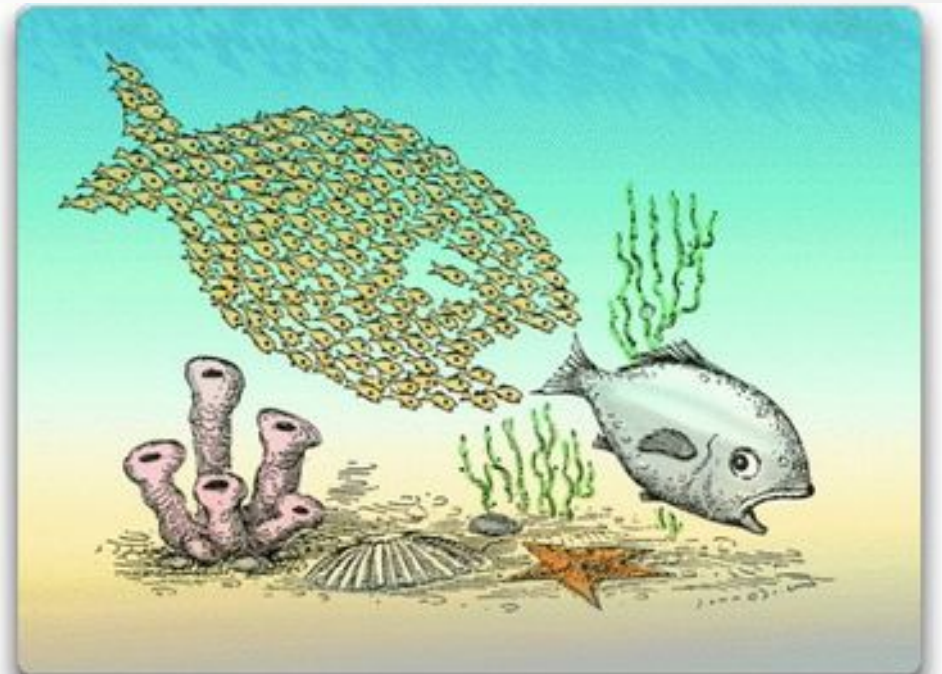
- Si manifestano negli ecosistemi:

✓ equilibrio ambientale
(climax)

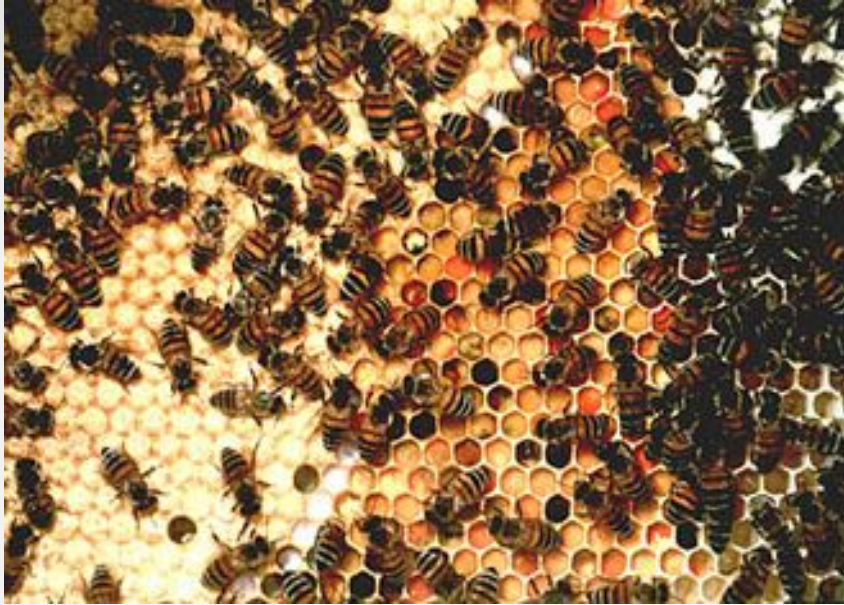
Proprietà emergenti



- Si manifestano nelle società animali:



Proprietà emergenti



- Si manifestano nelle società animali:

✓ pool genici

✓ organizzazione sociale

Proprietà emergenti



- Si manifestano nella società umana:

✓ cultura

✓ mercati

✓ economia

Proprietà emergenti



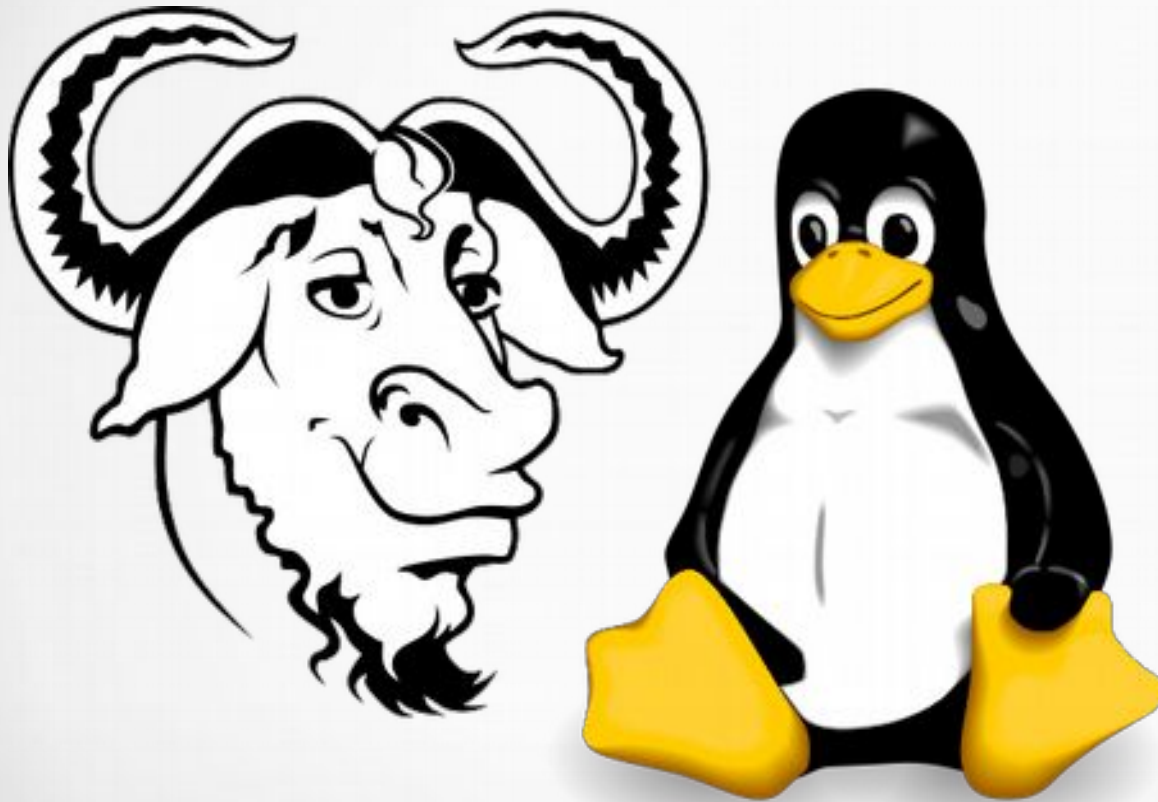
- Si manifestano nella società umana:

✓ Indignados

✓ Occupy Wall Street

Proprietà emergenti

- Si manifestano nella società umana:



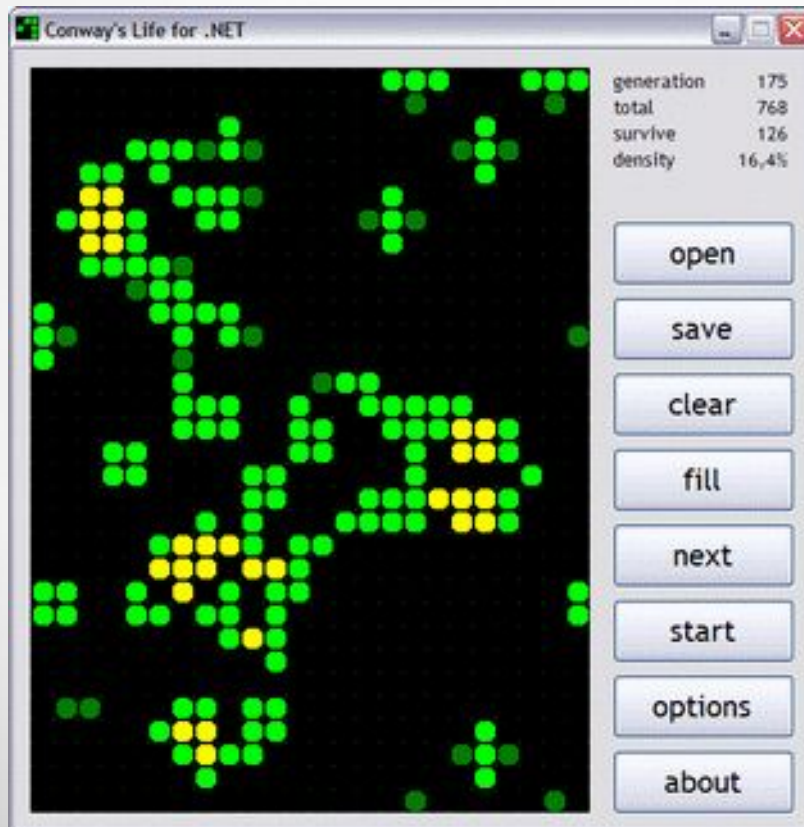
GNU/Linux

✓ software libero



Proprietà emergenti

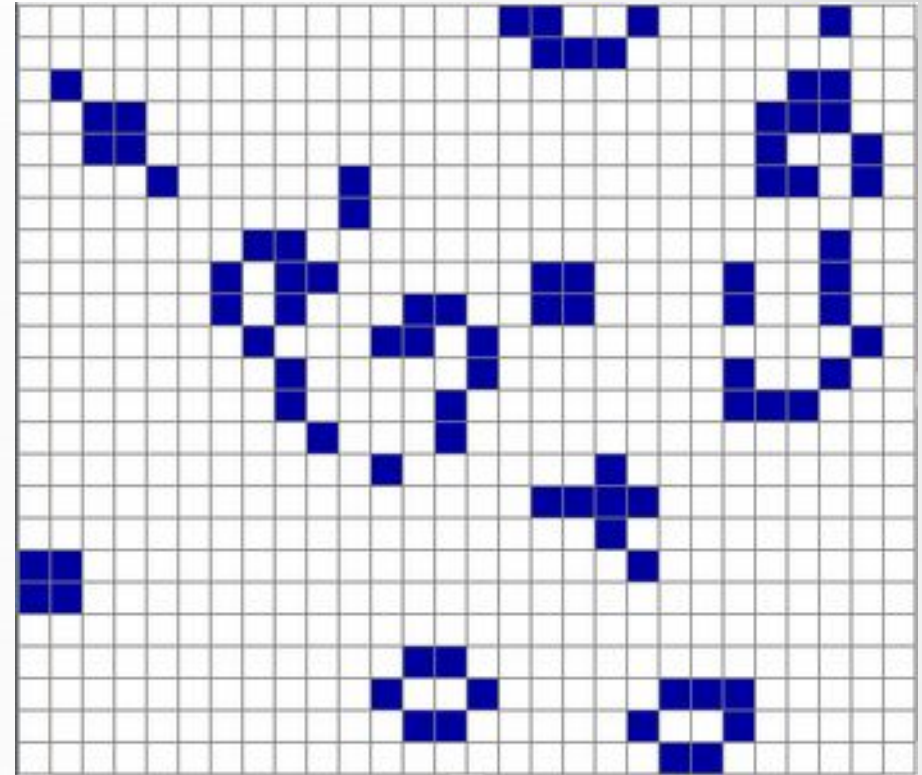
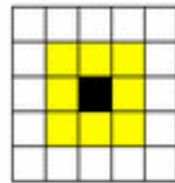
- **Fenomeni complessi** simili alla vita possono emergere **da regole semplici e interazioni a molti corpi**.



- Automa cellulare
“**Gioco della vita**”
(**Game of Life**)
di **J.H. Conway** (1970)
- Esempio di sviluppo e auto-organizzazione

Game of life

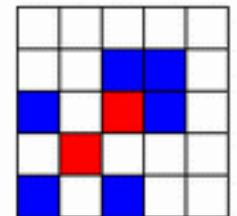
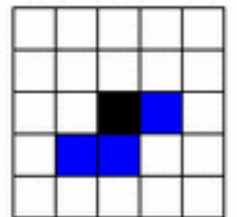
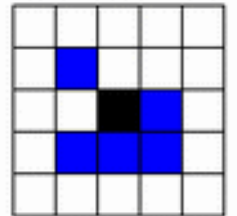
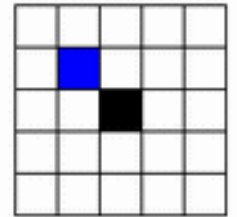
- **Universo:** reticolo ortogonale infinito di **celle quadrate** (tutte uguali)
- **Stati:** ciascuna cella può essere **viva o morta** (0,1)
- **Dinamica:** dipende dallo stato delle celle dell'intorno
- **Tempo discreto:** ad ogni istante, ciascuna cella dell'universo decide quale stato avrà nell'istante successivo



Game of life

- **Regole di transizione:**

- ✓ una cella viva muore se l'intorno contiene meno di due celle vive (**solitudine**)
- ✓ una cella viva muore se l'intorno contiene più di tre celle vive (**sovrappopolazione**)
- ✓ una cella viva rimane viva se l'intorno contiene due o tre celle vive (**mutuo sostegno**)
- ✓ una cella morta con tre celle vive nel suo intorno diventa viva (**genesì**)

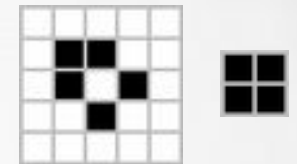


Game of life

- **Configurazioni iniziali:** comportamento determinato dalla configurazione iniziale

- **Configurazioni di base:**

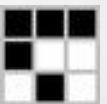
- ✓ **Still lifes:** pattern statici o quasi statici



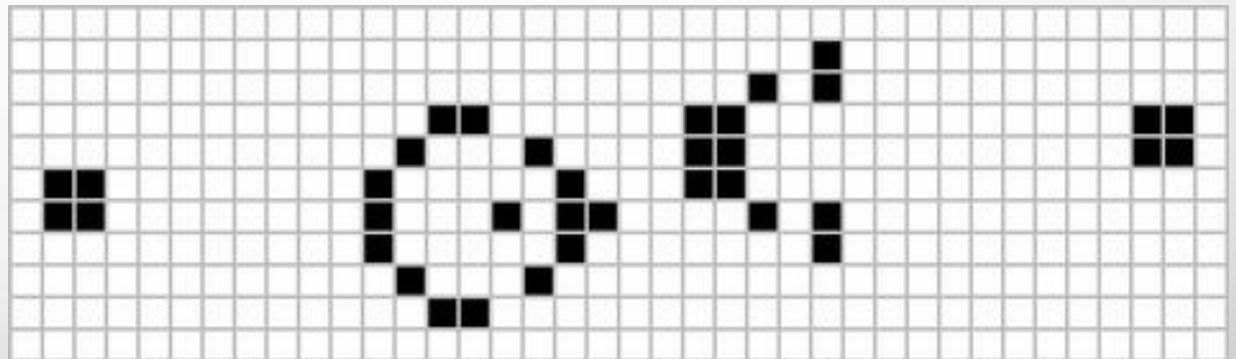
- ✓ **Oscillators:** pattern che si riproducono dopo un certo periodo di tempo



- ✓ **Gliders:** pattern che si 'spostano' nell'universo



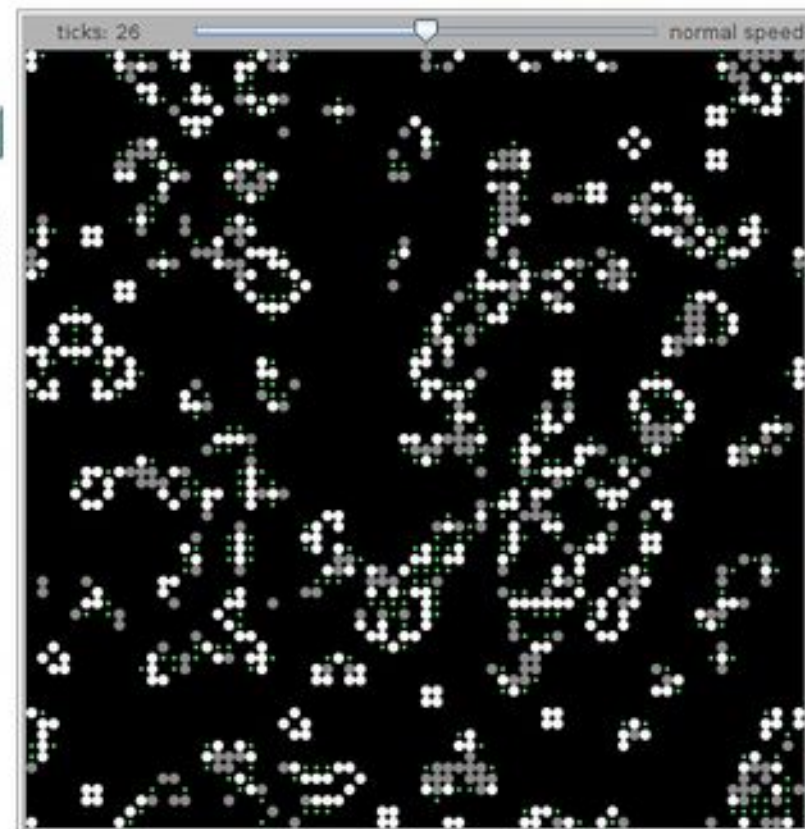
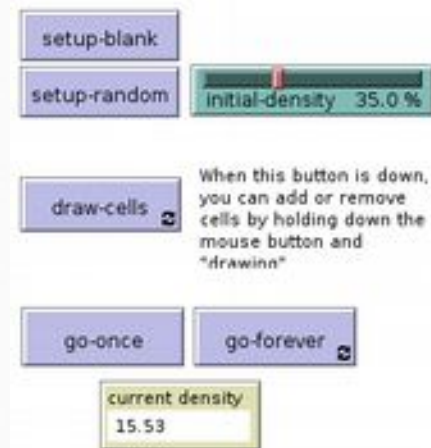
- ✓ **Guns:** pattern che 'emettono' gliders



Game of life

- Da semplici regole d'interazione formali, emerge dunque un'immensa e impreveduta varietà di forme e comportamenti che un po' ricorda le varietà della "vita" reale.

✓ [NetLogo](#)



Game of life

✓ Android App



[The Life](#)



[The game of Life](#)



✓ NetLogo models



Boids

- Simulatore di stormi ([Craig Reynolds](#))
- Le traiettorie si basano su tre regole:



- ✓ **separazione**: il boid sterza al fine di evitare il sovraffollamento locale



- ✓ **allineamento**: il boid sterza al fine di allinearsi alle traiettorie di volo dei boid vicini



- ✓ **coesione**: il boid sterza al fine di muoversi verso la posizione media (baricentro) dei boid vicini

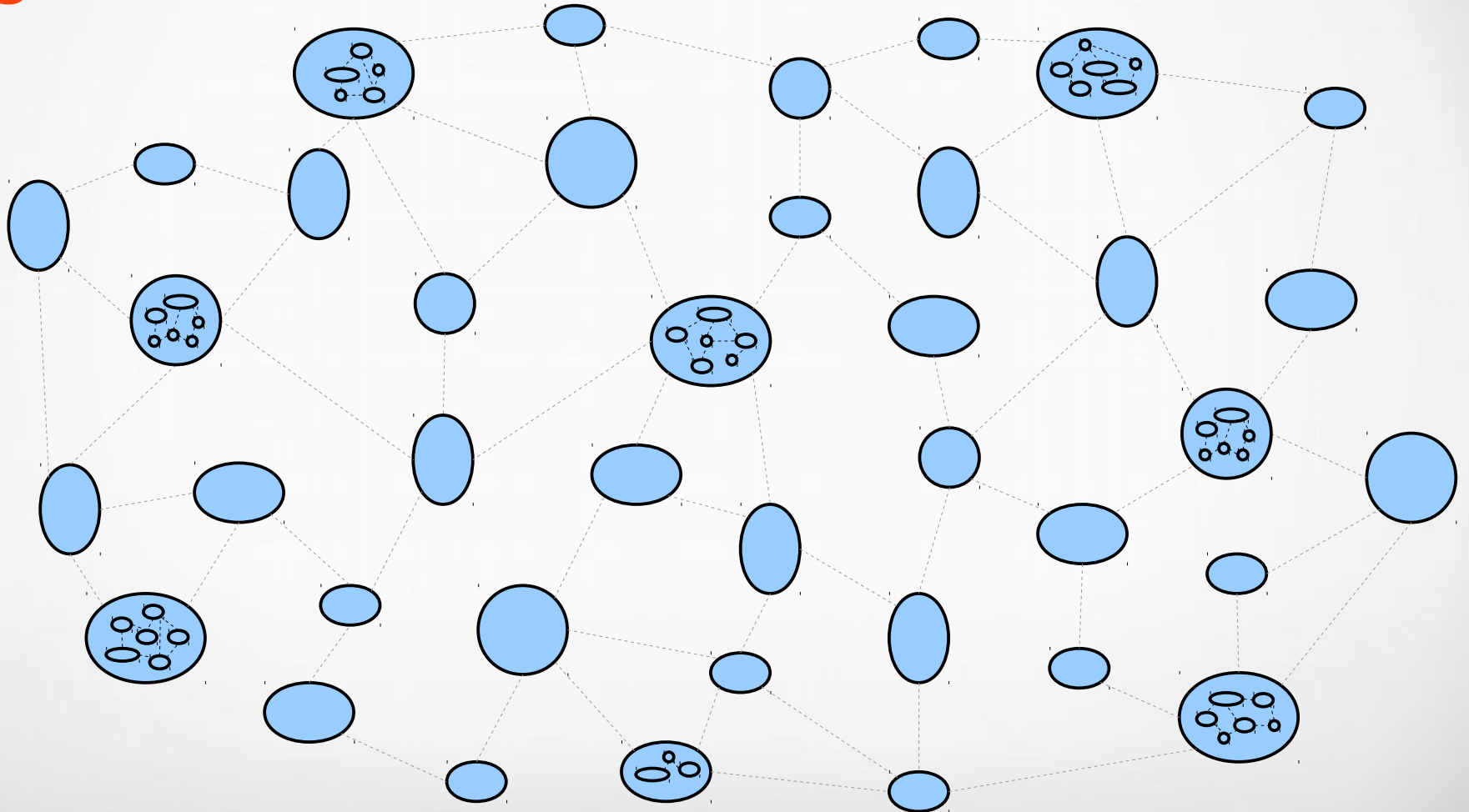
Boids

- Benché Boids sia più complesso di Life, anche stavolta le regole sono semplici
- Ciò nonostante, tali regole sono sufficienti a produrre stormi dal comportamento davvero spettacolare e... verosimile!



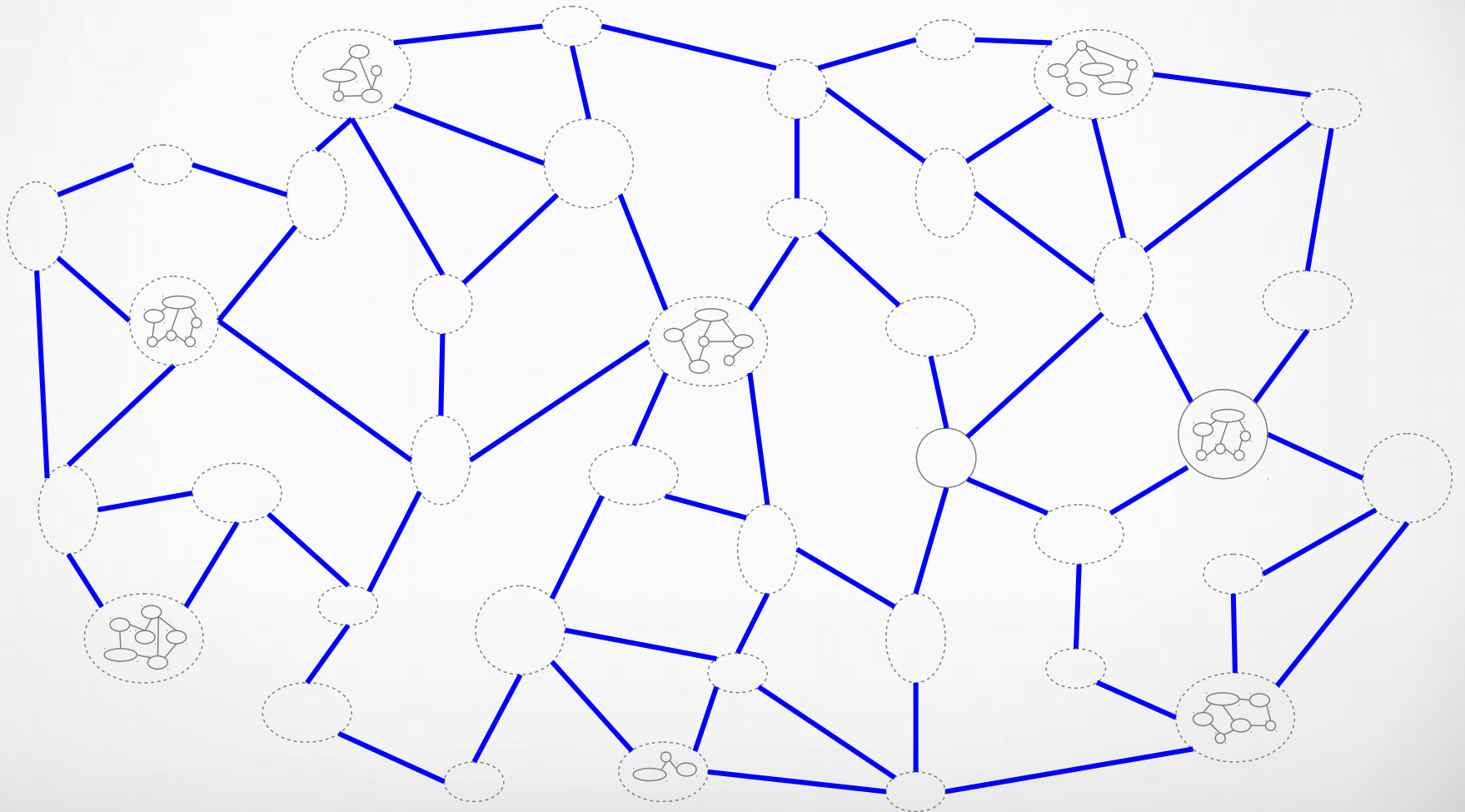
Elementi del sistema ...

- Spostiamo la nostra attenzione dagli elementi...



Relazioni...

- **Alle relazioni** tra gli elementi...



Relazioni...

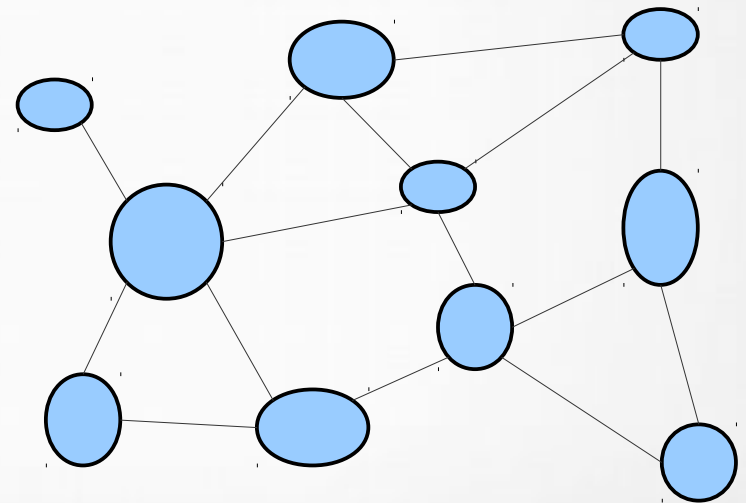
“Un sistema complesso adattativo (SCA) è un sistema aperto, formato da numerosi elementi (più o meno complessi) che interagiscono localmente fra loro

in modo non lineare e che costituiscono una realtà unica, organizzata e dinamica, capace di evolvere e adattarsi all'ambiente.”



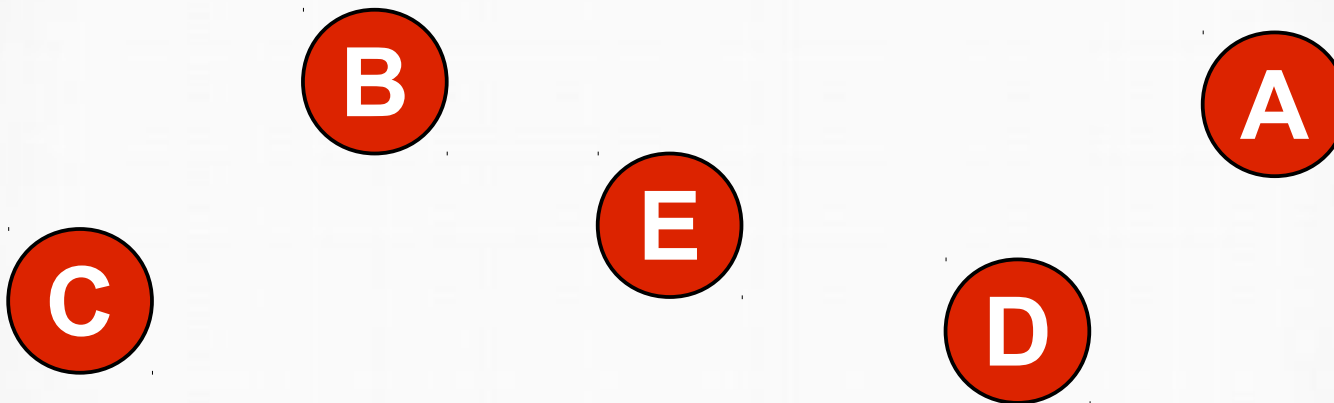
Relazioni...

- **Interazioni locali** =
generalmente ogni componente è
in relazione con quelle più vicine.
- **Non lineari** =
 - ✓ **non in sequenza**
(ma a rete)
 - ✓ **esprresse fa funzioni
matematiche non
lineari**



Relazioni...

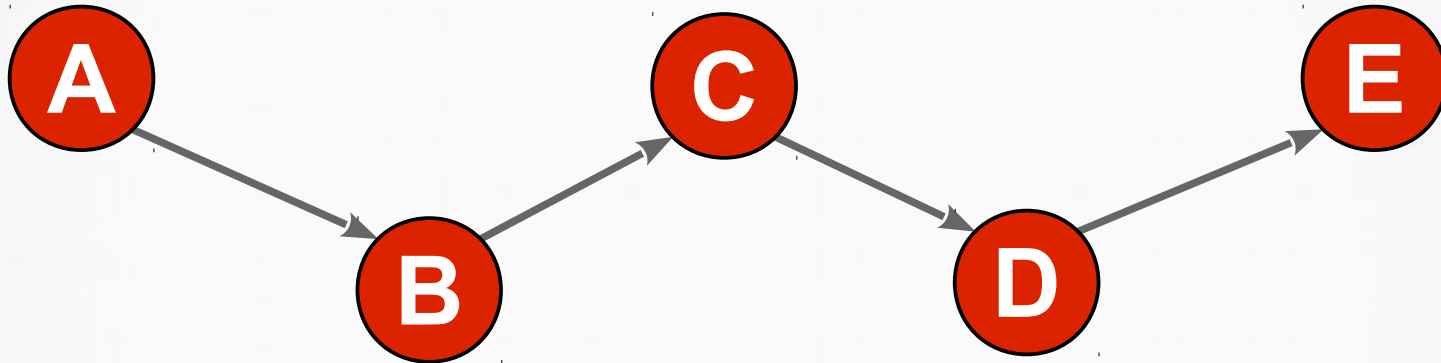
- Consideriamo un sistema composto dalle componenti A, B, C, D, E



Vediamo alcune delle possibili interazioni ...

Relazioni...

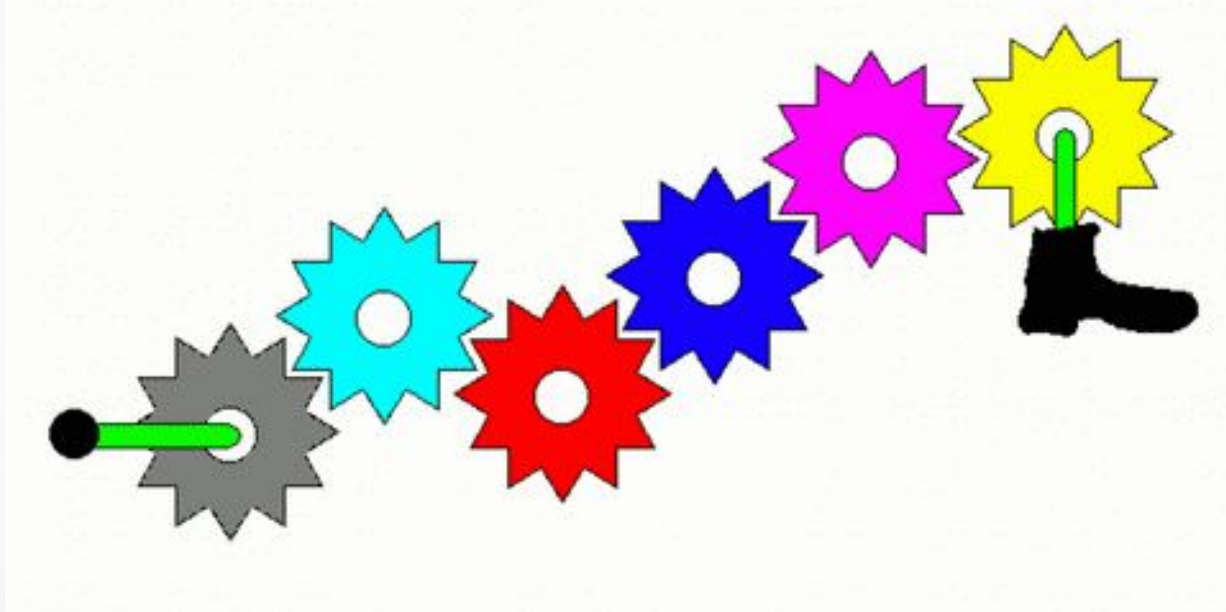
- **Interazioni lineari** (c'è una sequenza)



- ✓ l'output di A diventa l'input di B,
- ✓ l'output di B diventa l'input di C,

Relazioni...

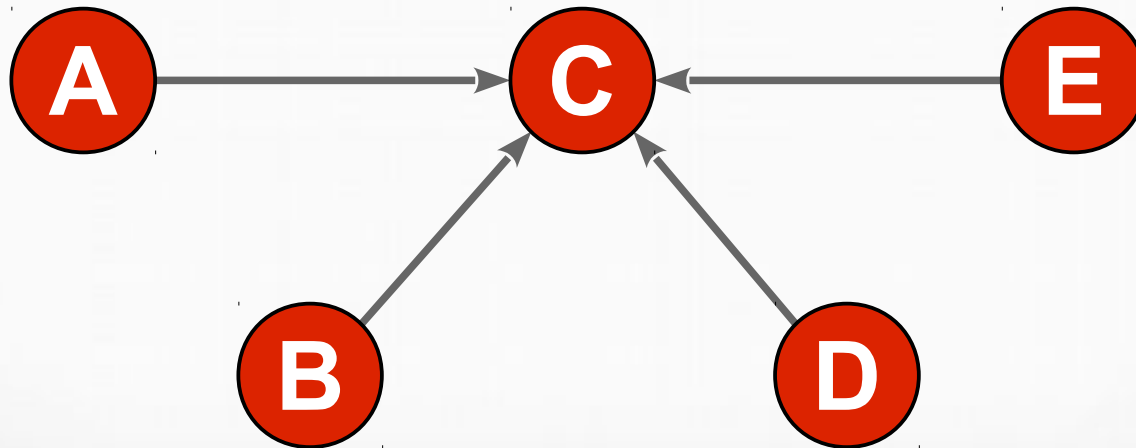
- Il sistema (lineare) risponde in modo direttamente proporzionale alle sollecitazioni ricevute.



- NON può essere un sistema complesso!

Relazioni...

- **Interazioni non locali** (ogni componente non è in relazione con le componenti vicine ma solo con una componente centrale, **hub**)



- **NON può essere un sistema complesso!**

Relazioni...

- I **sistemi sociali con un leader** possono essere complessi oppure “semplicemente” complicati.

Leader = in un sistema gerarchico, la componente con rango più elevato.

Hub = componente con cui interagiscono in modo non locale tutte le altre componenti.



Relazioni...



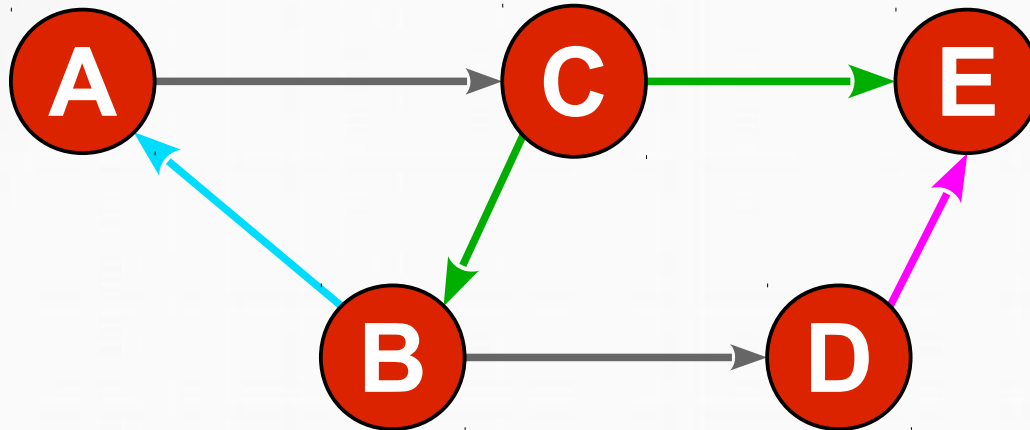
- Se il leader è un **hub**, il sistema può essere **più o meno complicato** ma certamente **non può essere complesso**



- Se il leader **non è un hub**, il sistema può essere **complesso** (più o meno ordinato a seconda di quanto è rigida la gerarchia)

Relazioni...

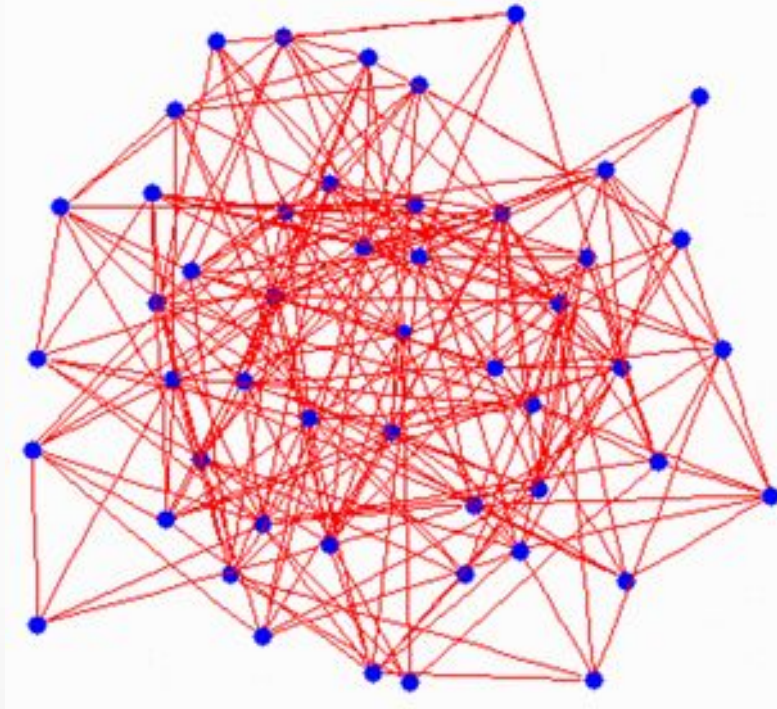
- Interazioni locali non in sequenza



- ✓ l'output di un elemento influenza più elementi (C → B ed E)
- ✓ l'output di un elemento influenza l'elemento di partenza (A → C → B → A)
- ✓ un elemento riceve input da più elementi (C + D → E)

Relazioni...

- In poche parole, le componenti formano relazioni con una struttura a **RETE**

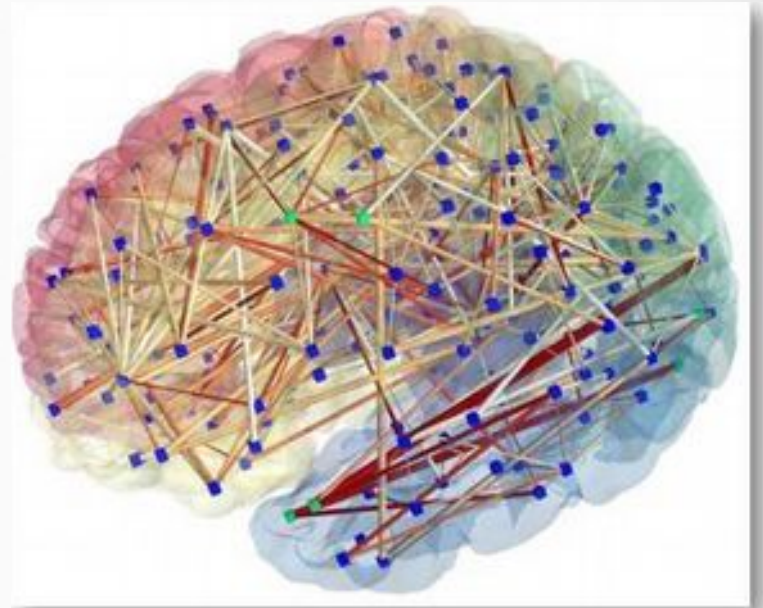


- PUO' essere un sistema complesso!

Relazioni...

L'unica organizzazione capace di **crescita illimitata** e di **apprendimento spontaneo** è la **RETE**.
Qualsiasi altra topologia pone limiti allo sviluppo futuro.

Kewin Kelly



Relazioni...

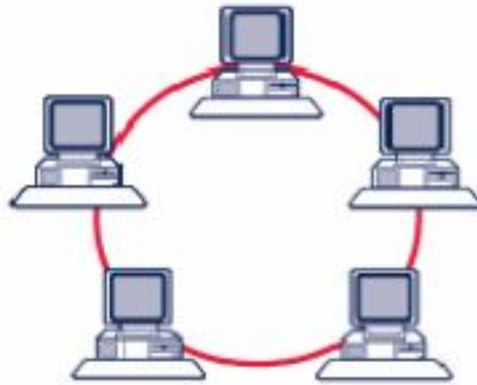
- Rete ferroviaria metropolitana



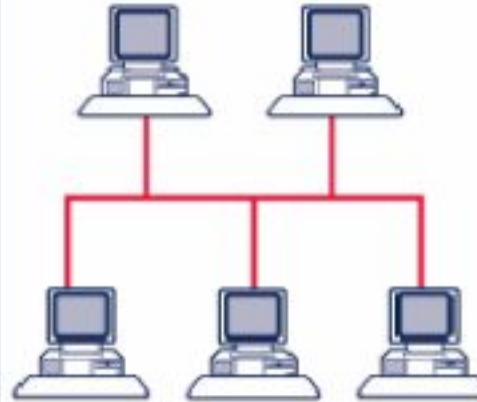
Relazioni...

- Architettura "reti" informatiche...

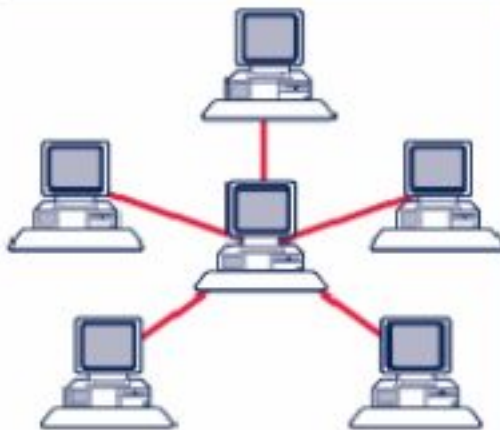
Struttura
ad anello



Struttura
a bus



Struttura
a stella (hub)

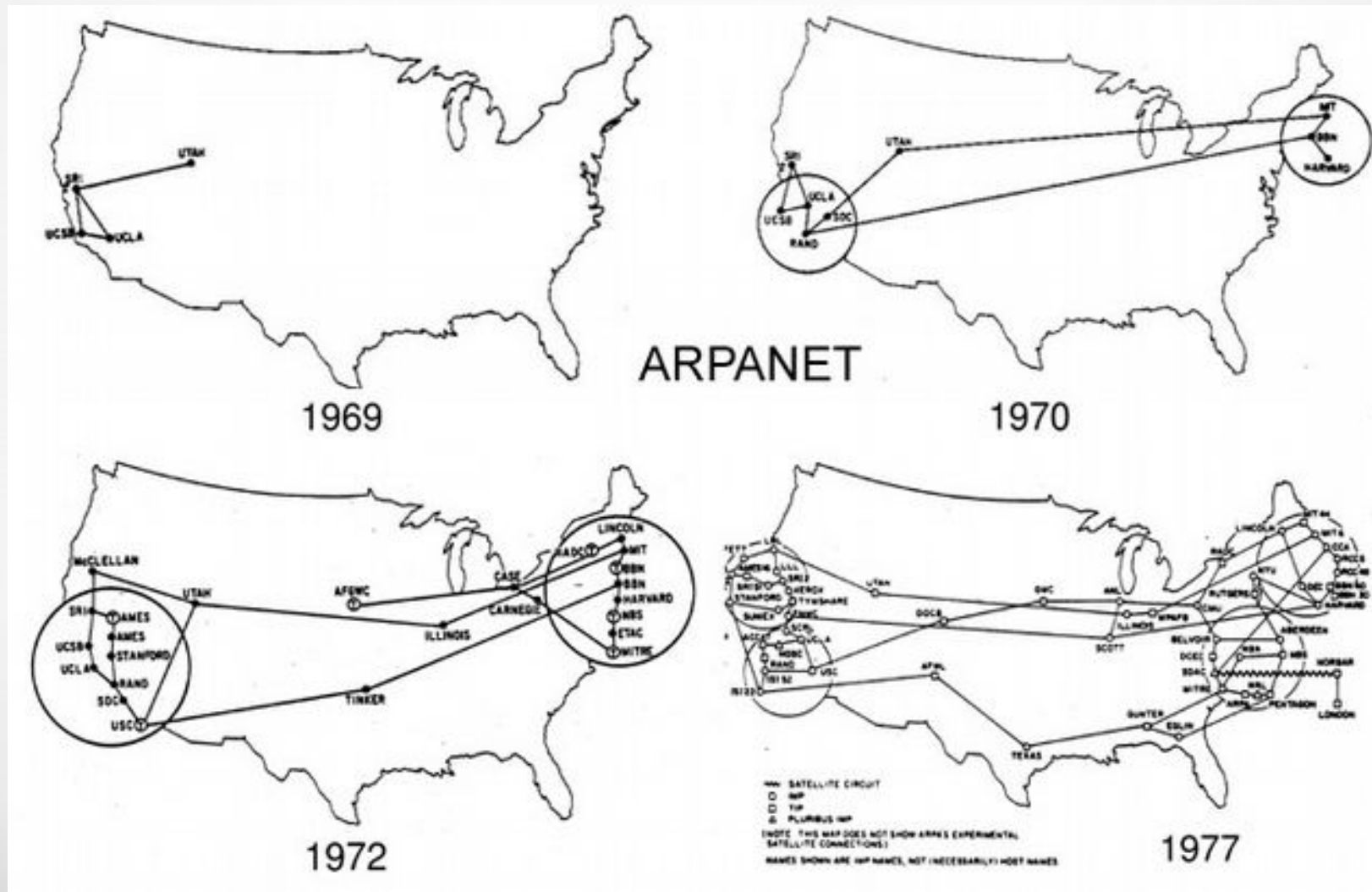


Struttura
a maglia



Relazioni...

- ARPAnet: l'embrione di Internet.



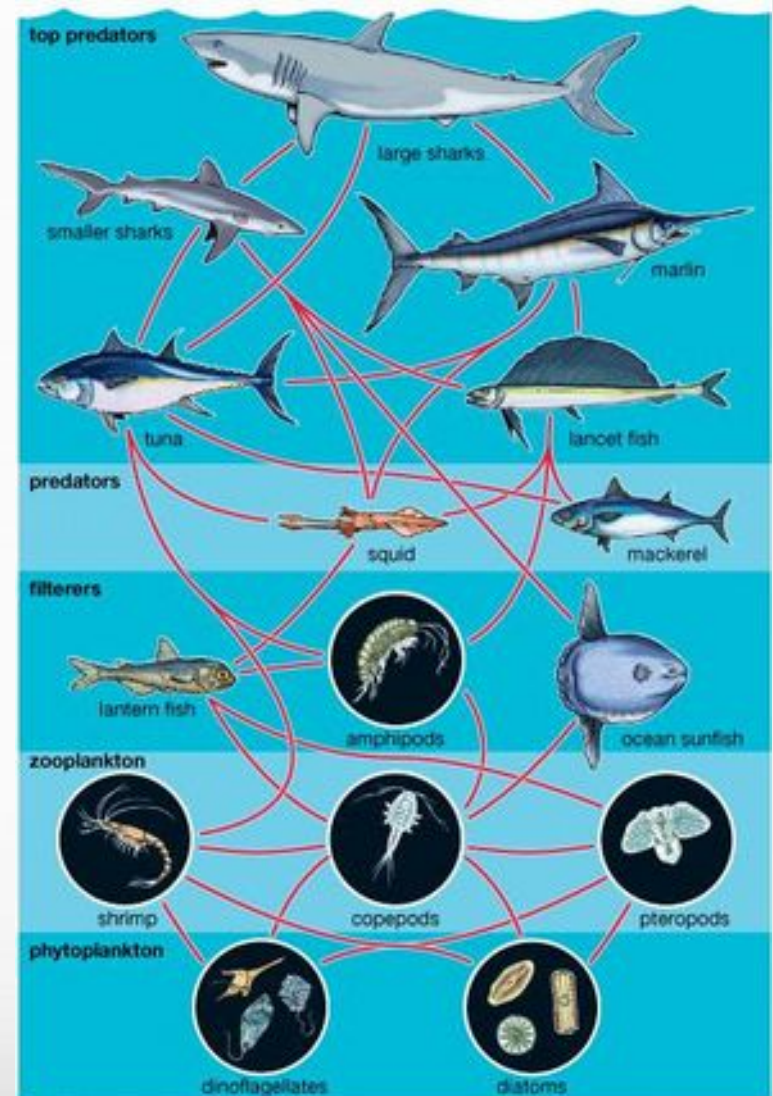
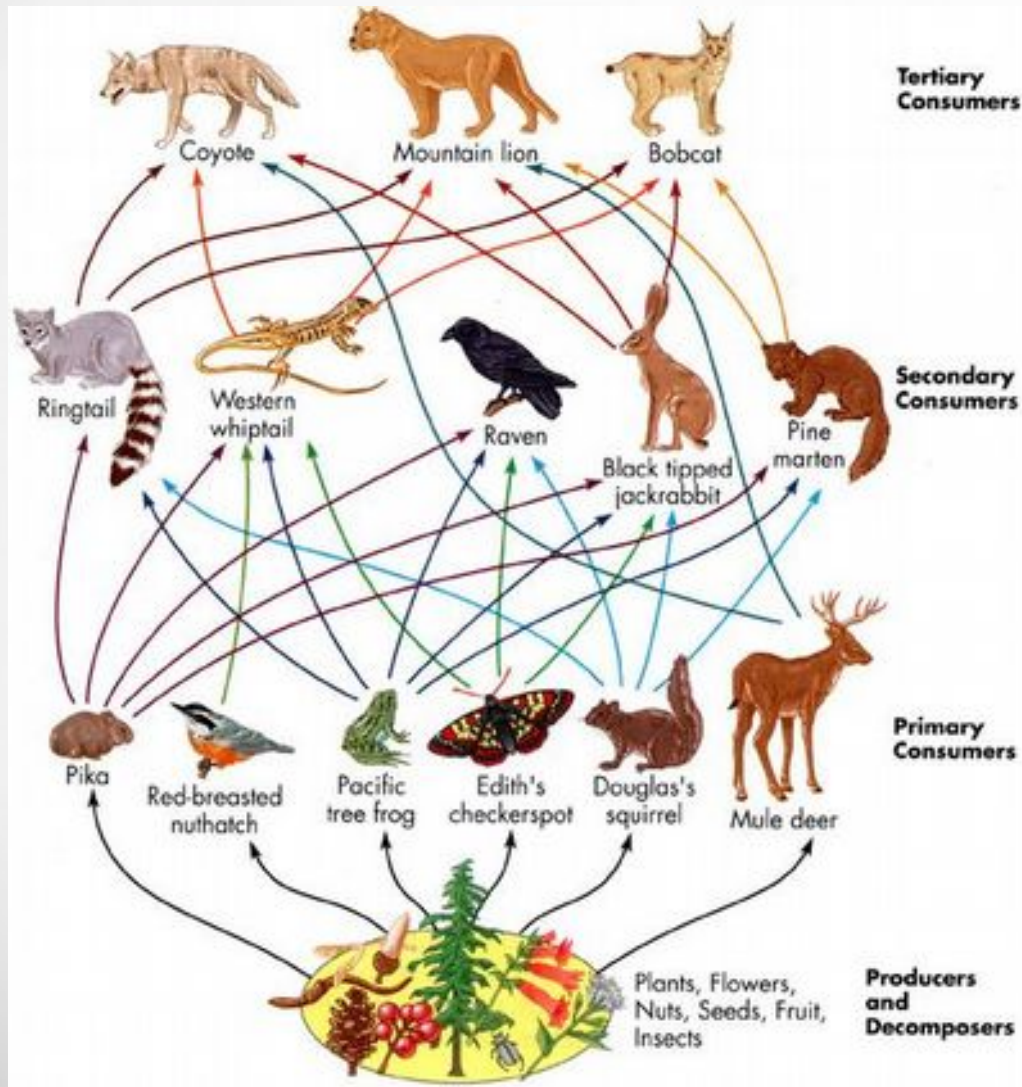
Relazioni...

- Connessioni Internet tramite Facebook



Relazioni...

- Reti ecologiche



Relazioni...

- Rete sociale



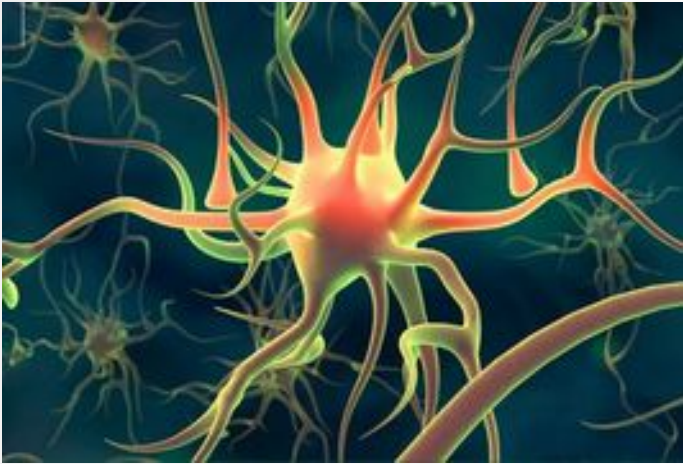
Relazioni...

- Rete sociale complessa

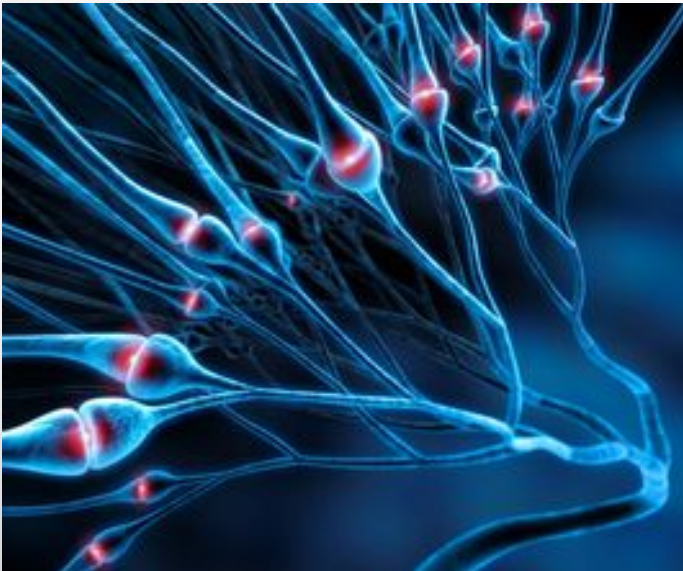


Relazioni...

- Complessità del cervello = n° connessioni



Neuroni 10^{11}



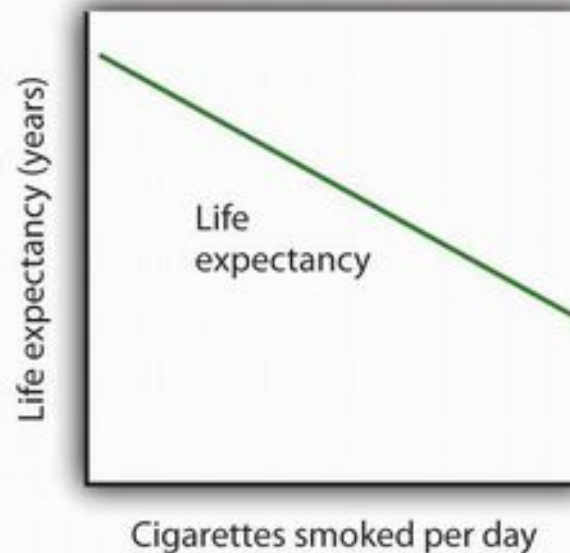
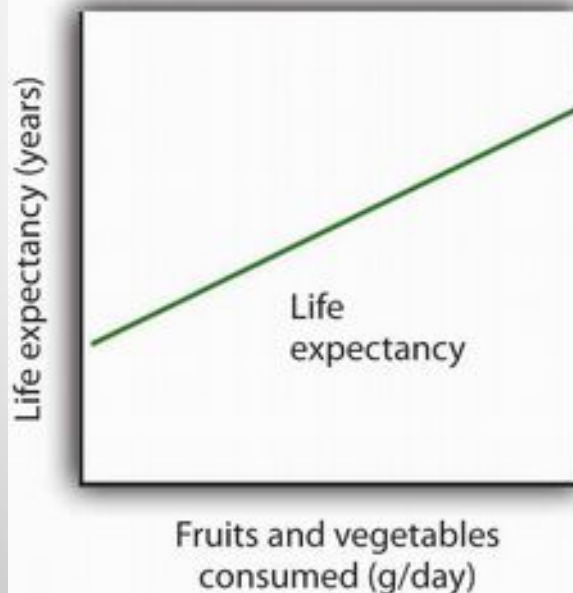
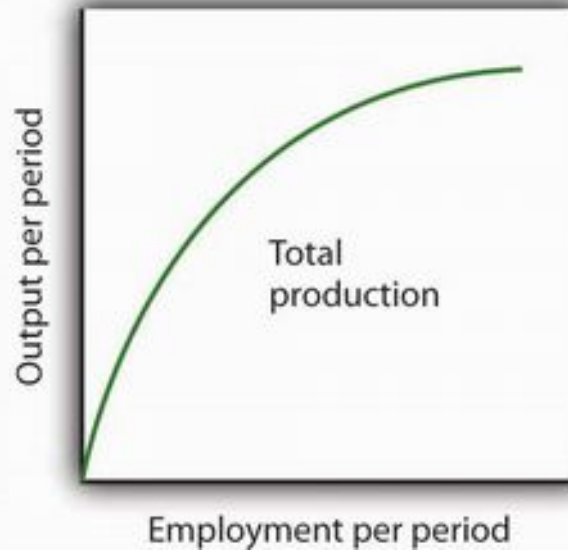
Sinapsi per neurone
5.000 - 100.000



Sinapsi stimate: 10^{13} - 10^{15}

Relazioni espresse da...

funzioni
matematiche
non lineari



relazioni
matematiche
lineari

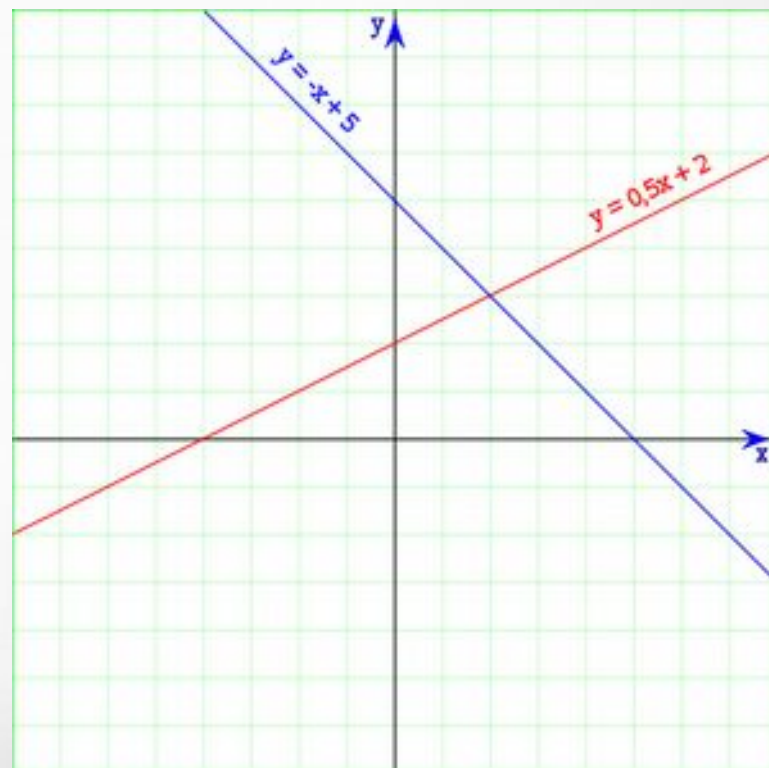
Funzioni lineari

- Si definisce **funzione lineare** la forma:

$$f(x) = mx + c$$

- Queste funzioni vengono visualizzate nel piano cartesiano come rette di equazione:

$$y = mx + c$$



Relazioni lineari

- **Relazione tra due grandezze direttamente proporzionali**

✓ è rappresentata da una retta

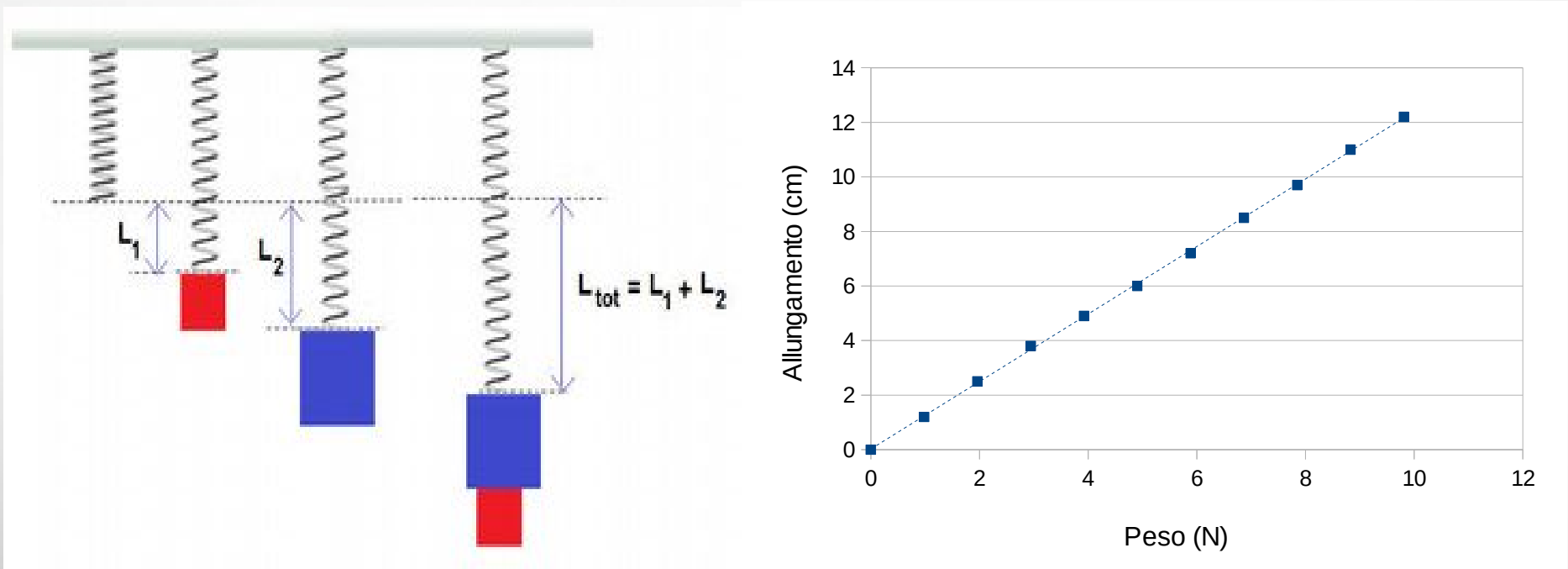
$$y = k x$$

✓ il loro **rapporto è costante**

$$y/x = k$$

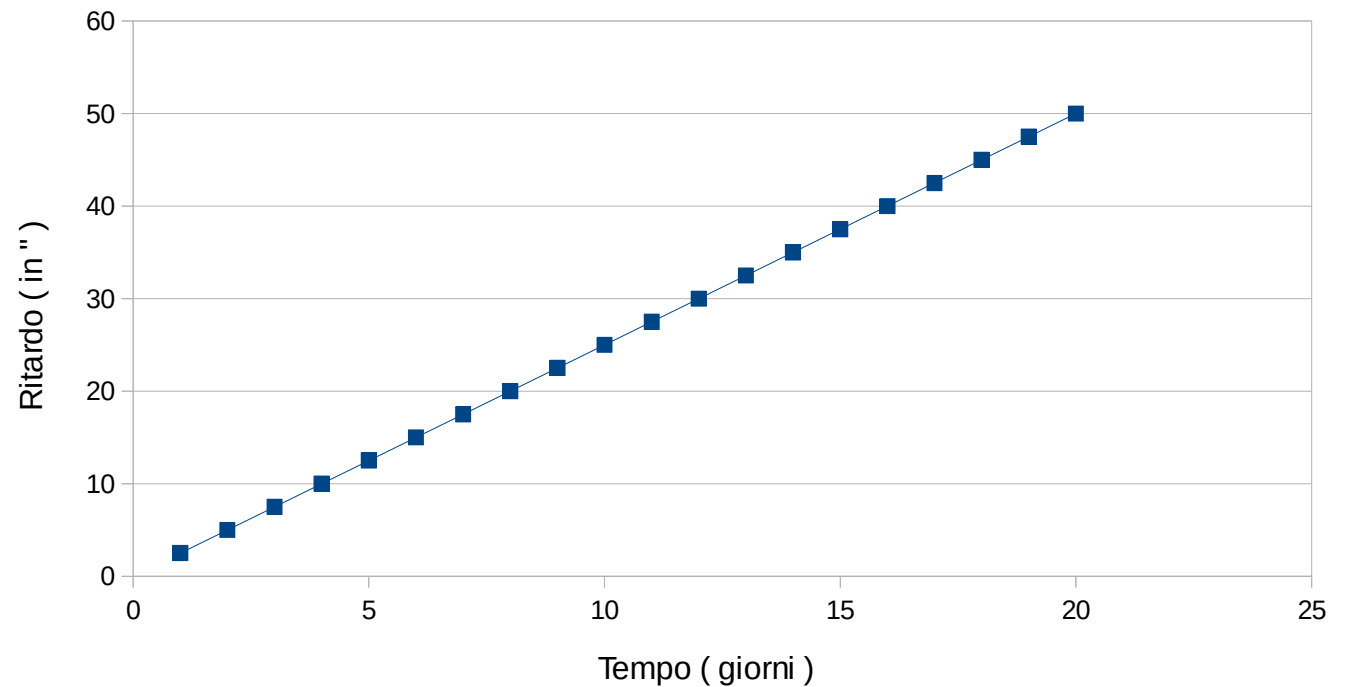
Relazioni lineari

- Allungamento di una molla
- Principio di sovrapposizione degli effetti:
 - ✓ sollecitazione S_1 , risposta L_1
 - ✓ sollecitazione S_2 , risposta L_2
 - ✓ sollecitazione S_1+S_2 , risposta (R_1+R_2)



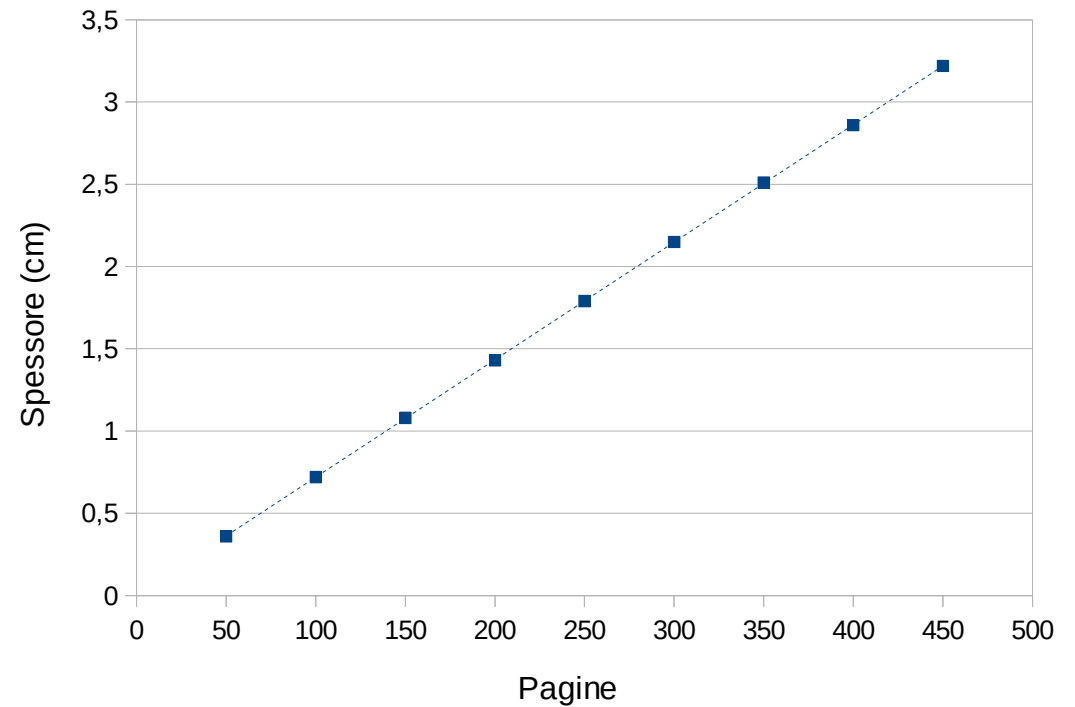
Relazioni lineari

- Ritardo di un orologio



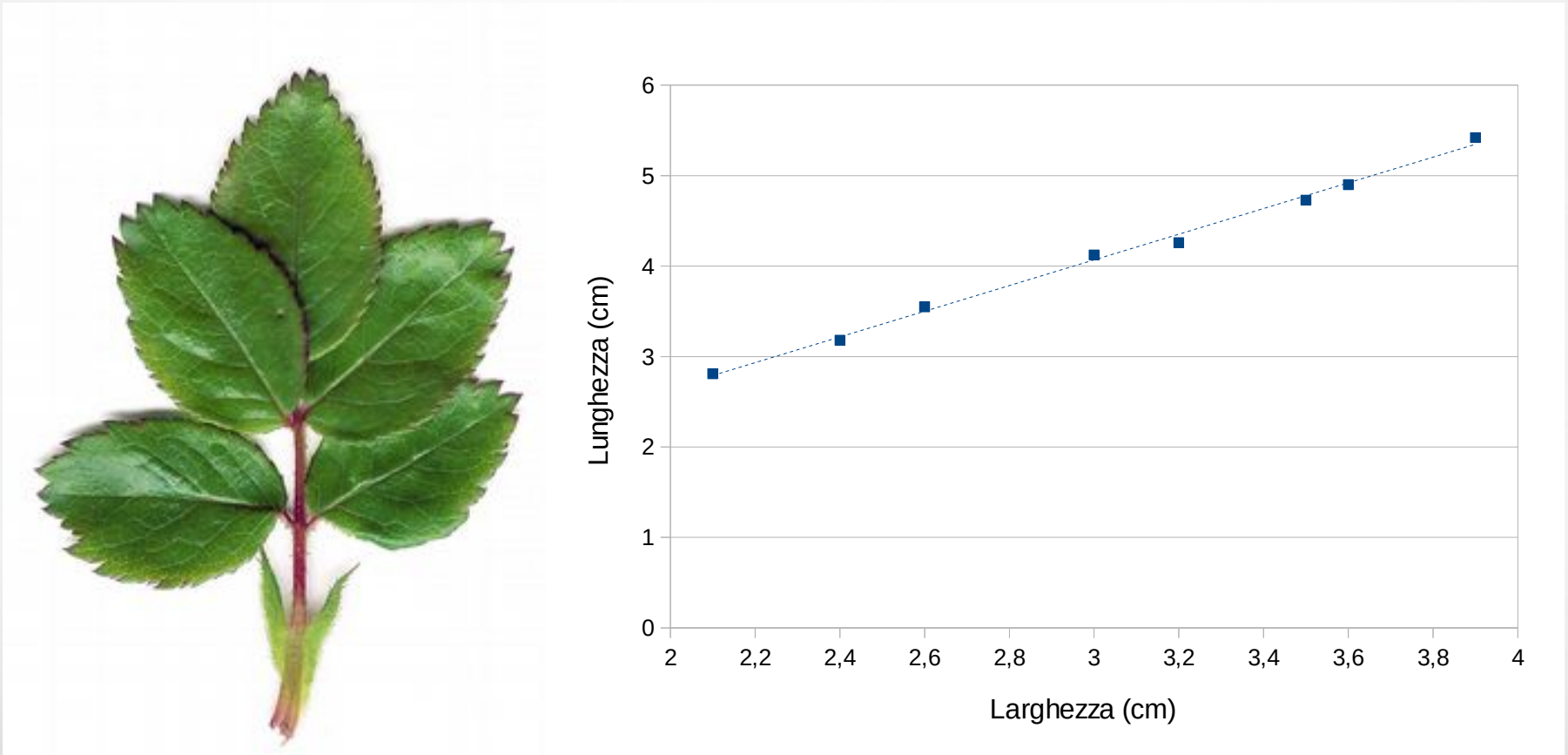
Relazioni lineari

- Spessore pagina e spessore libro



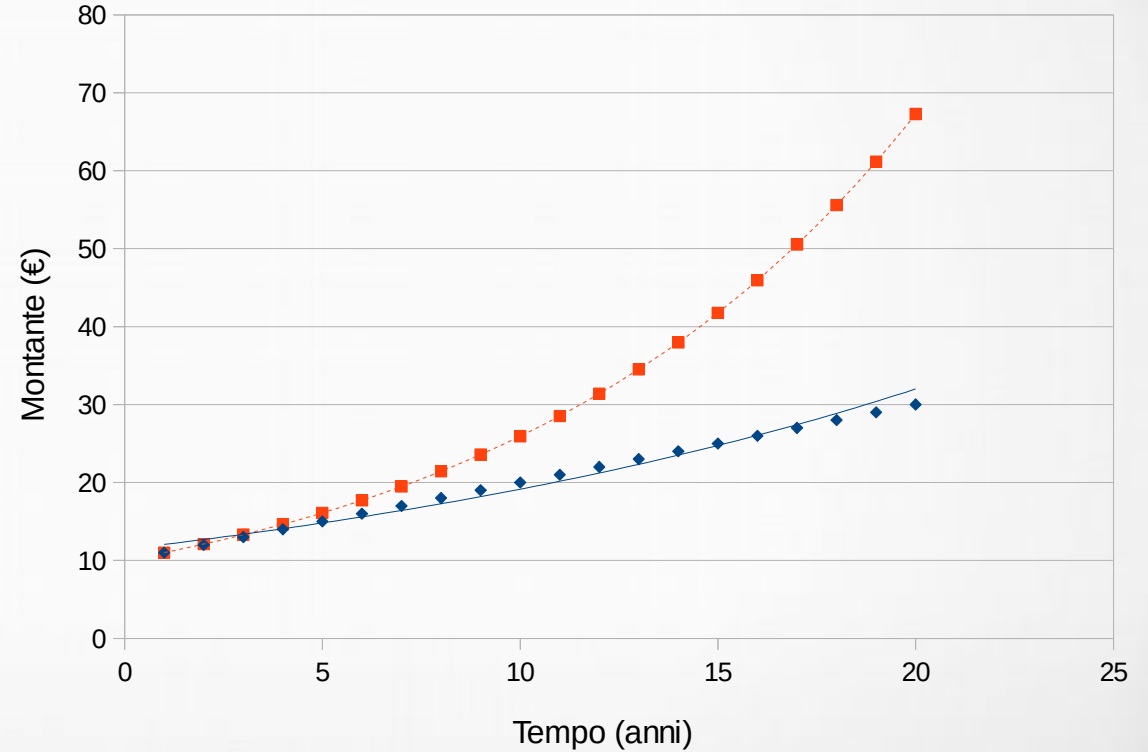
Relazioni lineari

- Accrescimento isometrico di una foglia



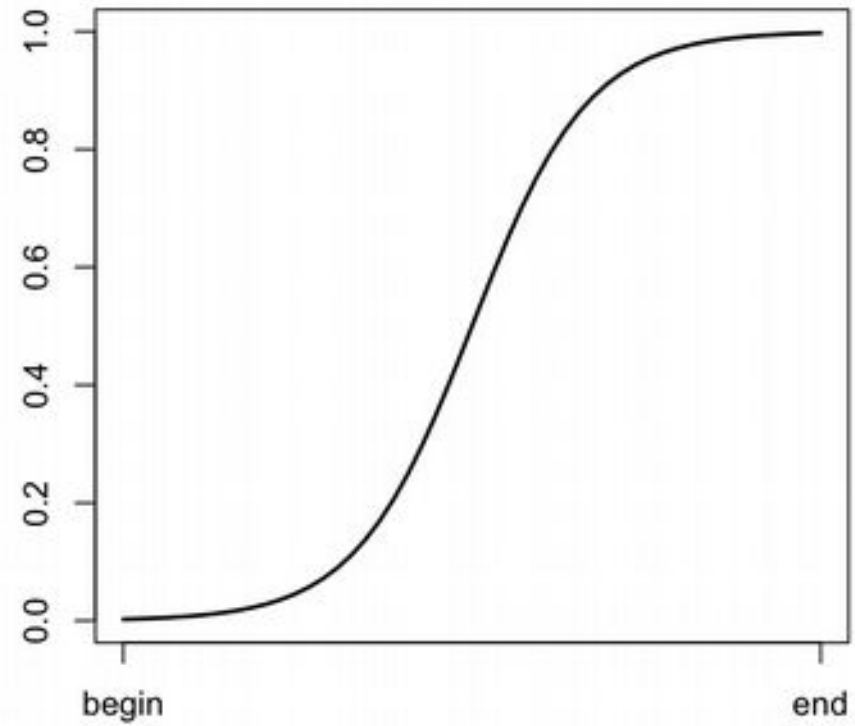
Relazioni lineari

- Interesse semplice e **interesse composto**



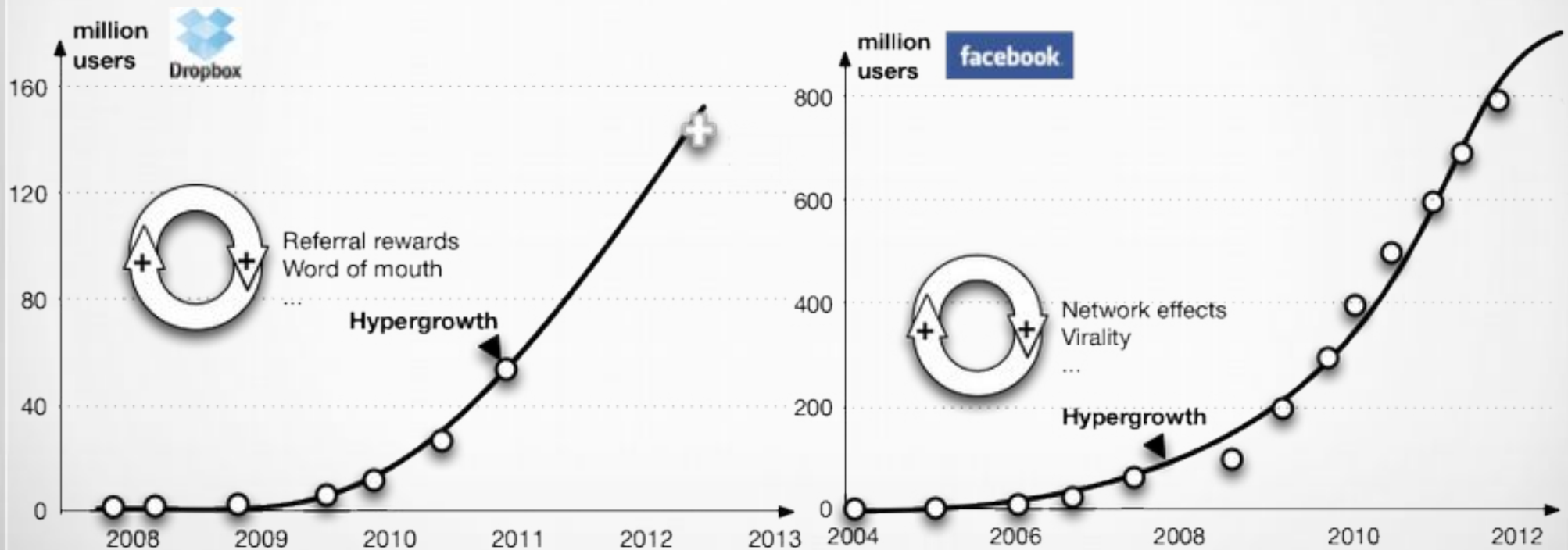
Relazioni non lineari

- La maggior parte dei fenomeni hanno un comportamento non lineare.



Relazioni non lineari

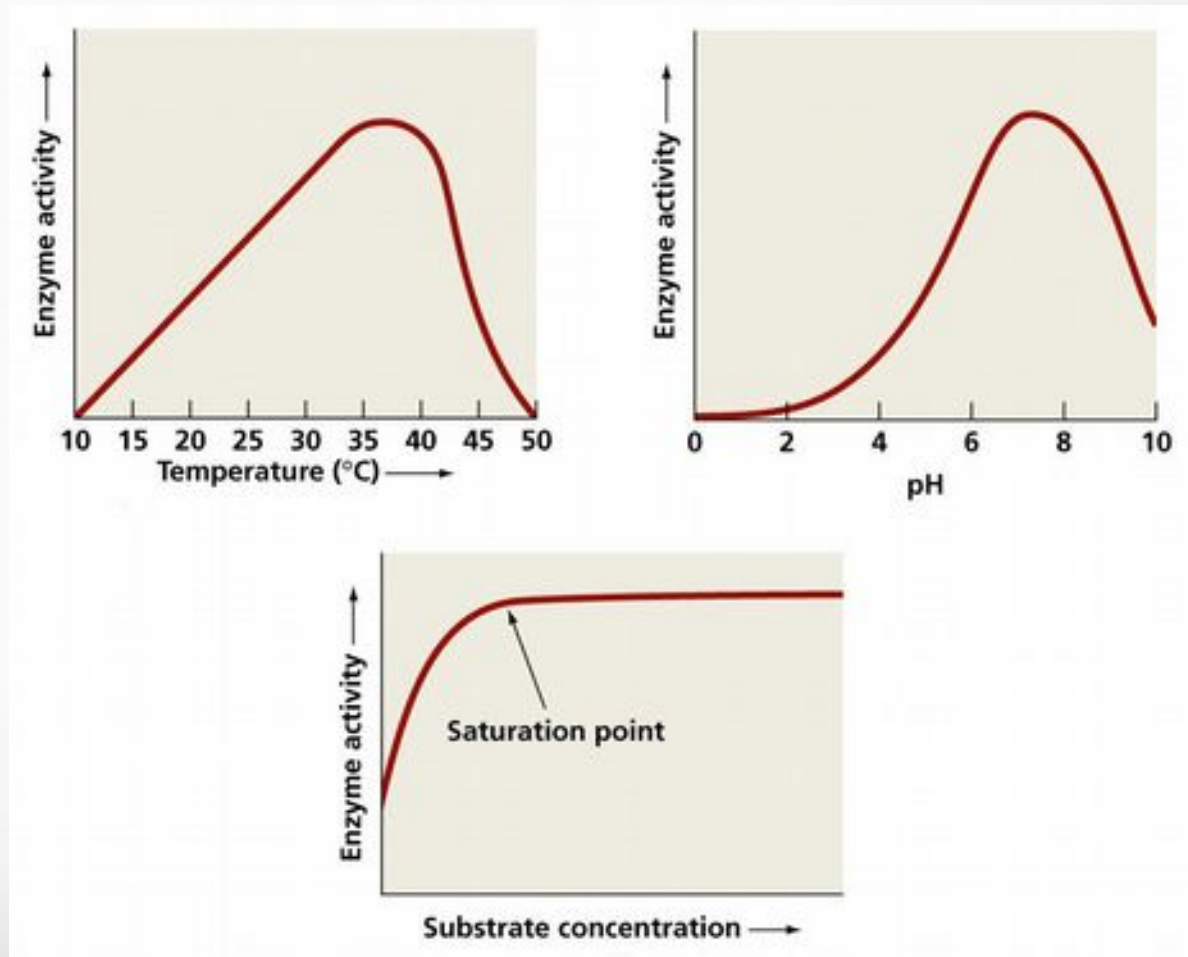
- La maggior parte dei fenomeni hanno un comportamento non lineare.



Relazioni non lineari

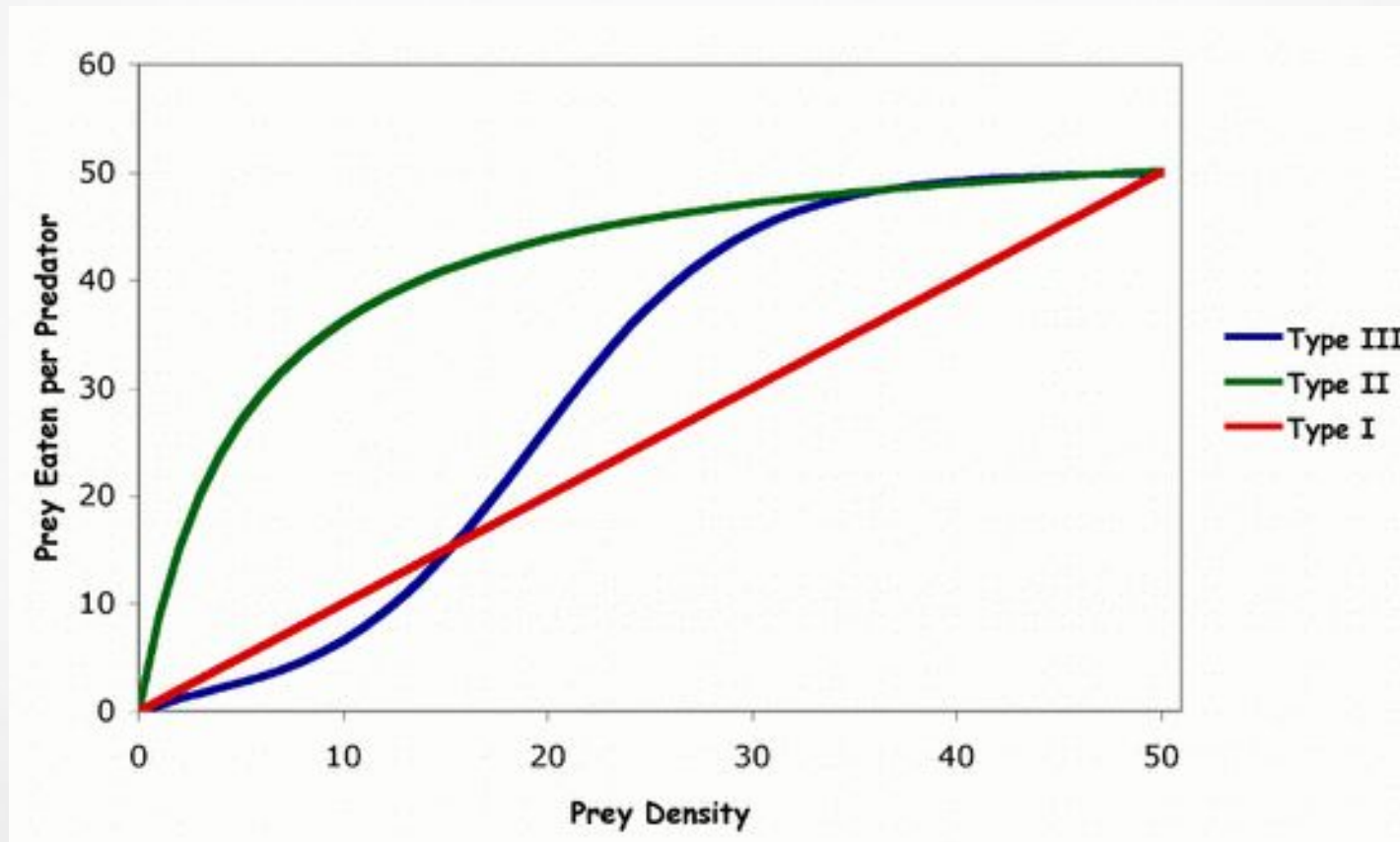
- La maggior parte dei fenomeni hanno un comportamento non lineare.

✓ Attività enzimatica



Relazioni non lineari

- La maggior parte dei fenomeni hanno un comportamento non lineare.



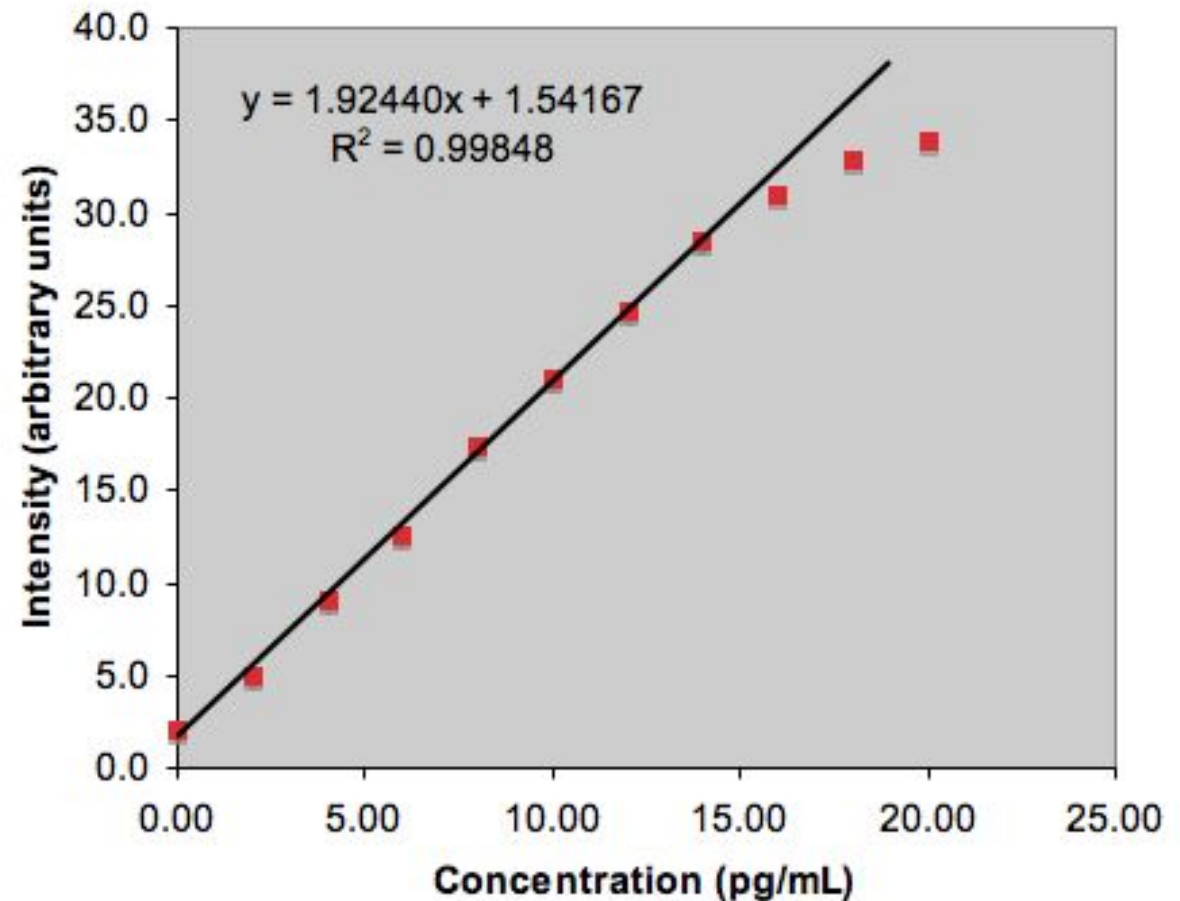
- Risposta funzionale dei predatori

Relazioni non lineari

- Linearizzazione

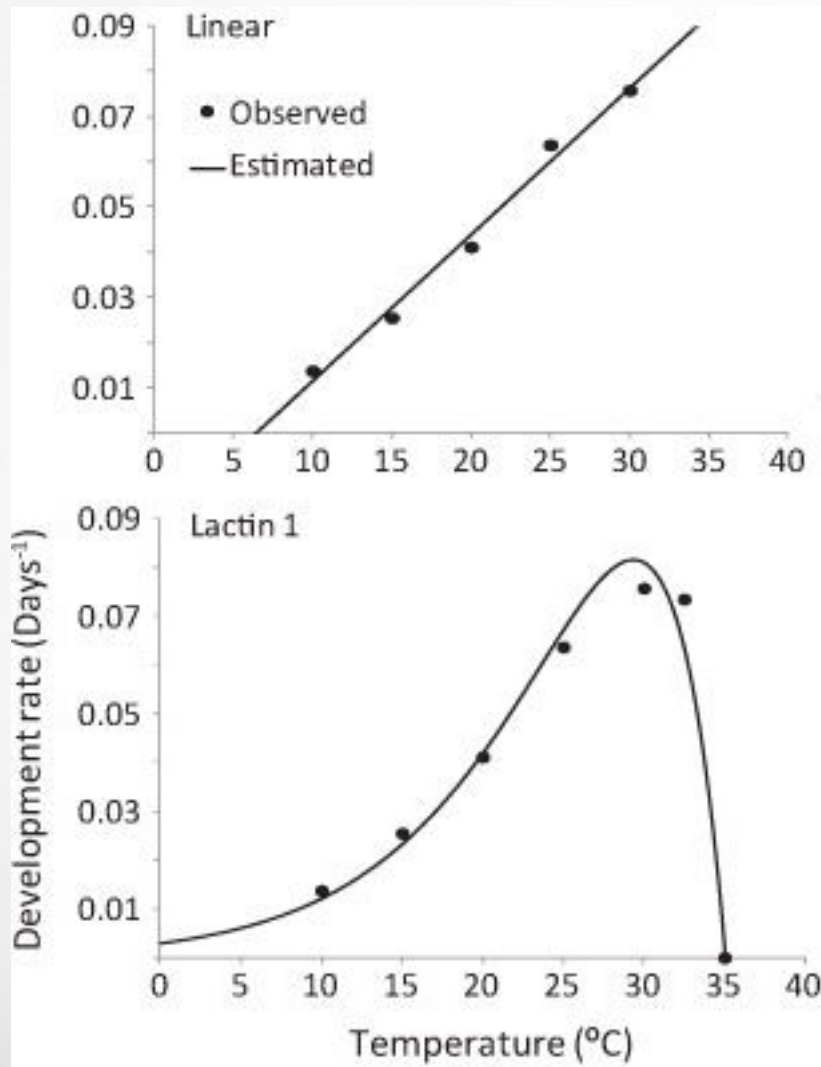
- ✓ utilizzata per semplificare i calcoli
- ✓ utilizzabile entro range limitati

Fluorescence Calibration Graph

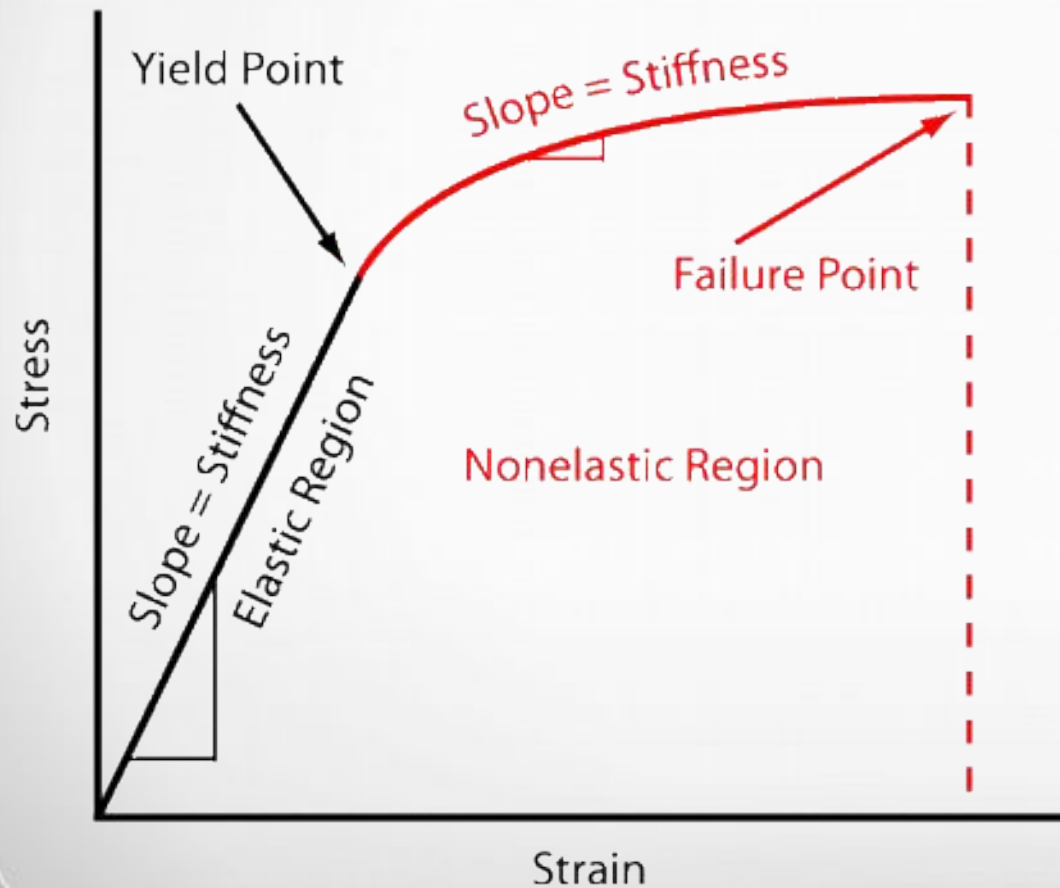


Relazioni non lineari

- Tassi di sviluppo di *Plutella xilostella*



- Vengono progettate macchine e strumenti con determinati range di linearità...



Range di linearità

- Progettiamo strumenti con un range di linearità variabile...



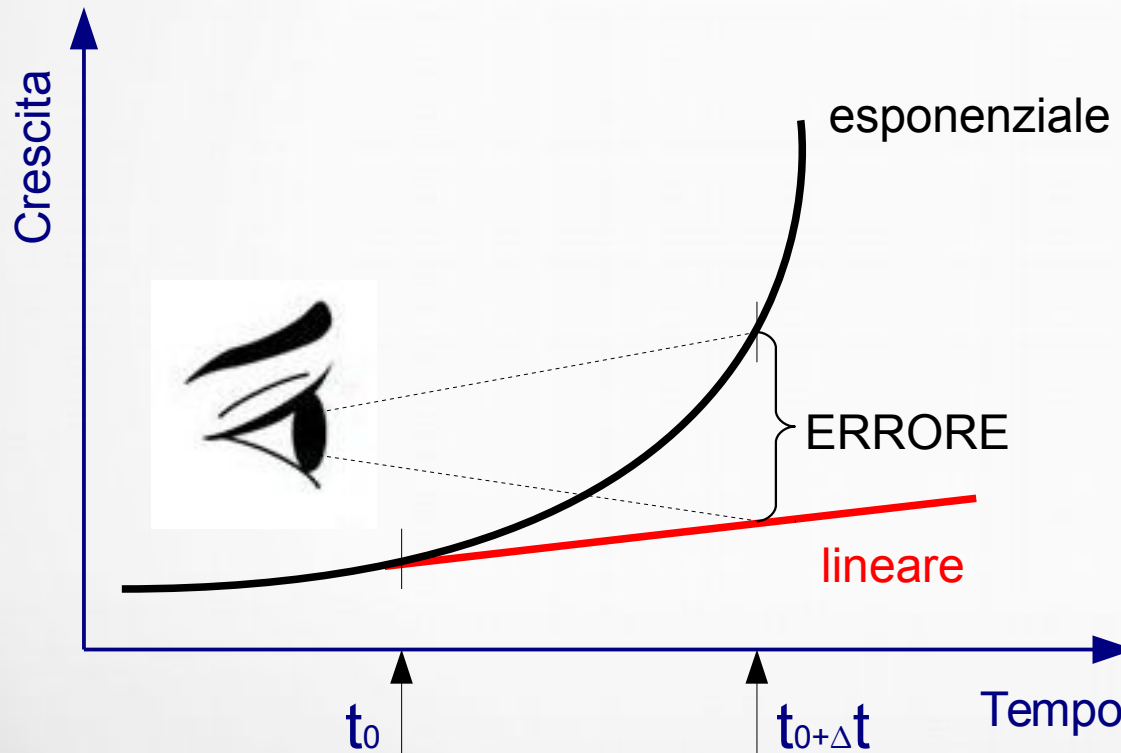
Range di linearità

- Progettiamo macchine con un range di linearità variabile...



Crescita esponenziale

- A piccole variazioni dell'input corrispondono grandi variazioni dell'output.



✓ crescita
batterica

Crescita esponenziale o “a mazza di hockey”

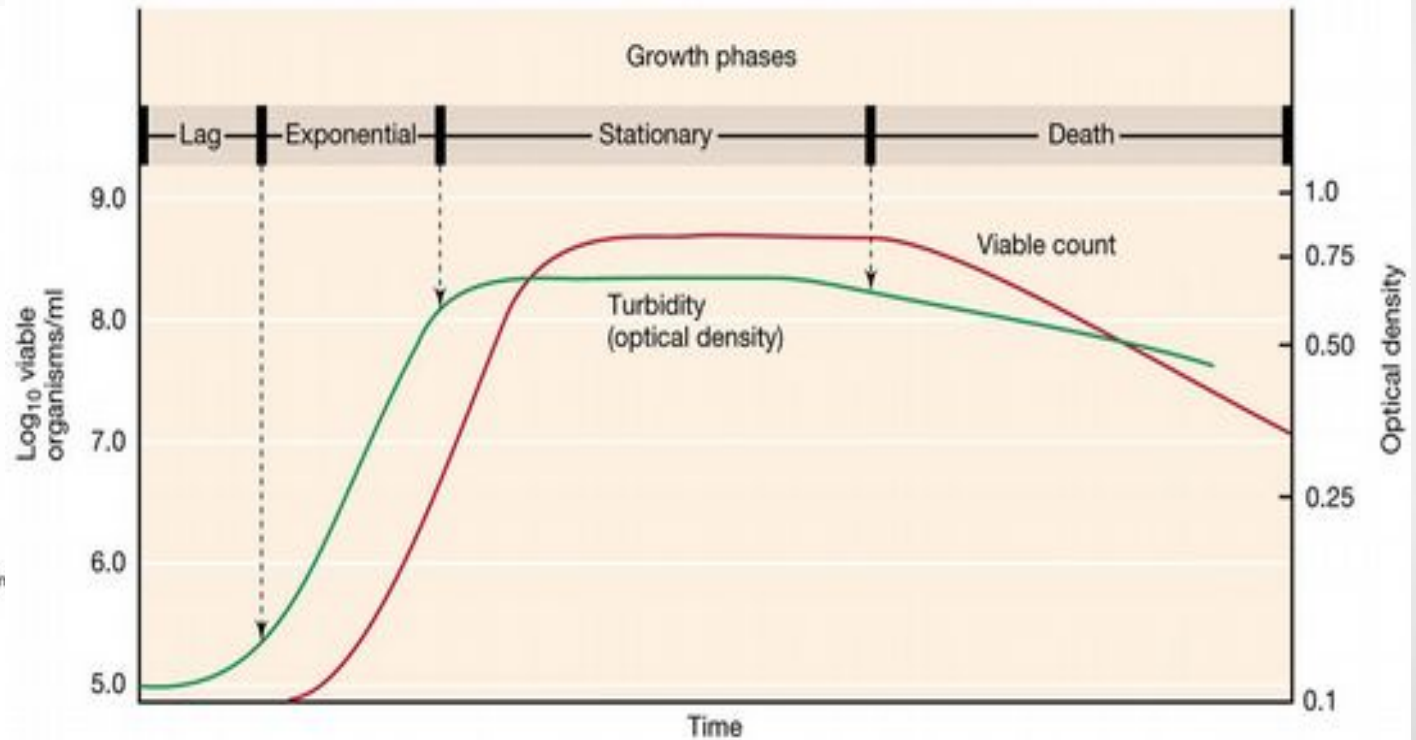
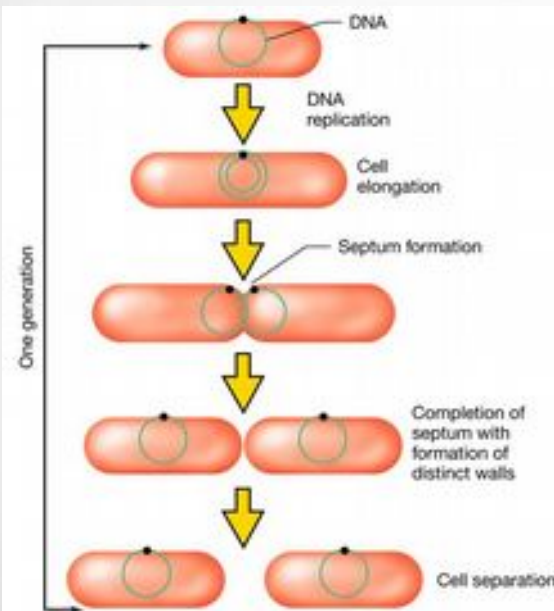
Crescita esponenziale

- È molto difficile rendersi conto della rapidità di crescita di una funzione esponenziale al crescere dell'esponente.



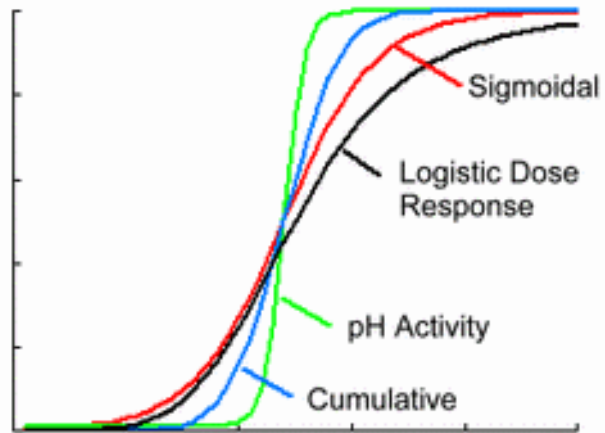
Crescita batterica

- Le curve di crescita microbiche presentano una fase di crescita esponenziale.

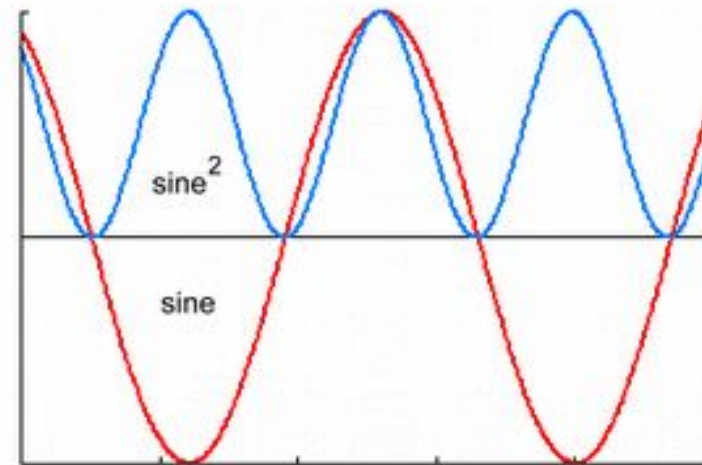


Funzioni matematiche non lineari

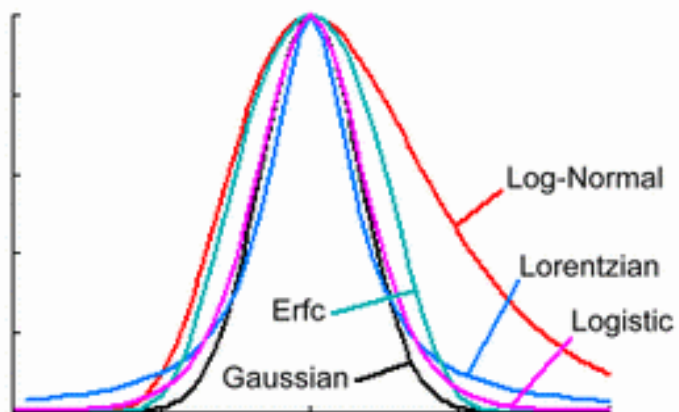
Transition Functions



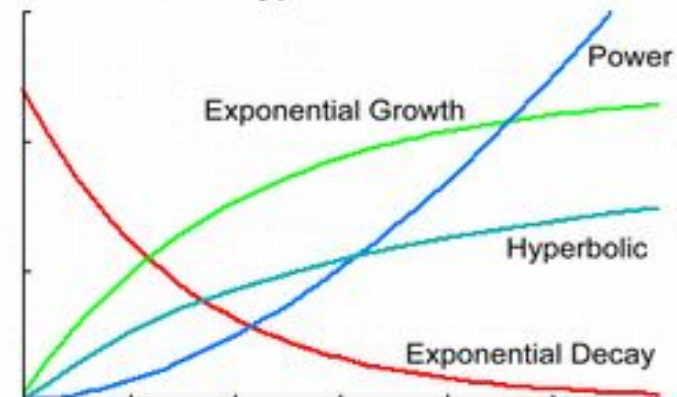
Waveform Functions



Peak Functions



Exponential, Power and Hyperbolic Functions

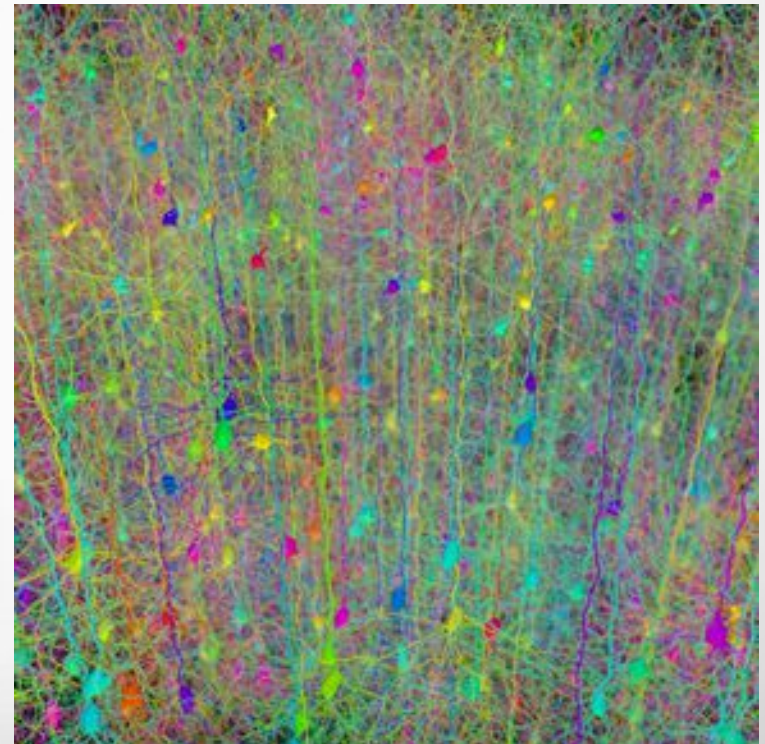


Riassumendo...

- Per valutare se un sistema è “solo” complicato oppure più o meno complesso, possiamo basarci su:
 - ✓ Numero delle componenti
 - ✓ Complessità delle componenti (*struttura gerarchica*)
 - ✓ Relazioni tra le componenti (*interazioni locali, non lineari: rete*)

Riassumendo...

- Esiste un continuum tra sistemi **minimamente** complessi e sistemi **massimamente** complessi.
- Secondo la **Teoria della complessità** il mondo è visto (**Weltanschauung**) come una **gerarchia di sistemi** sempre più complessi.



Quanto complesso?



- ✓ Sistemi super complessi
- ✓ Sistemi molto complessi
- ✓ Sistemi mediamente complessi
- ✓ Sistemi poco complessi

Sistemi poco o per nulla complessi

- ✓ Sistemi naturali fisico-chimici
- Sono sistemi **complicati** (descrivibili usando un linguaggio fisico-matematico)

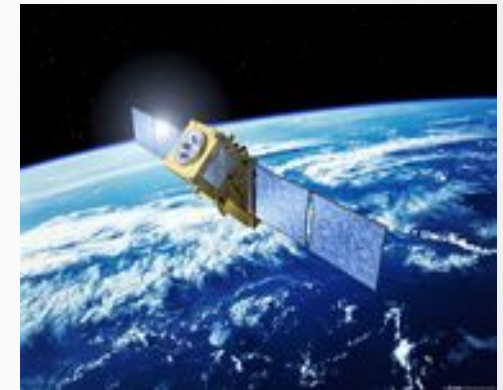


Sistemi mediamente complessi

✓ Sistemi artificiali,
sistemi prebiotici



• Più o meno **complicati**

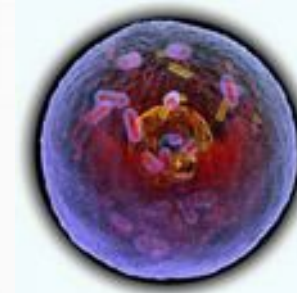


• Alcuni di loro danno luogo
a fenomeni complessi



Sistemi molto complessi

✓ Gli organismi viventi



- Organizzati in **sistemi di sistemi**: cellule, tessuti, organi, apparati, individui, ecc.



- Sono sistemi **complessi adattativi (SCA)**

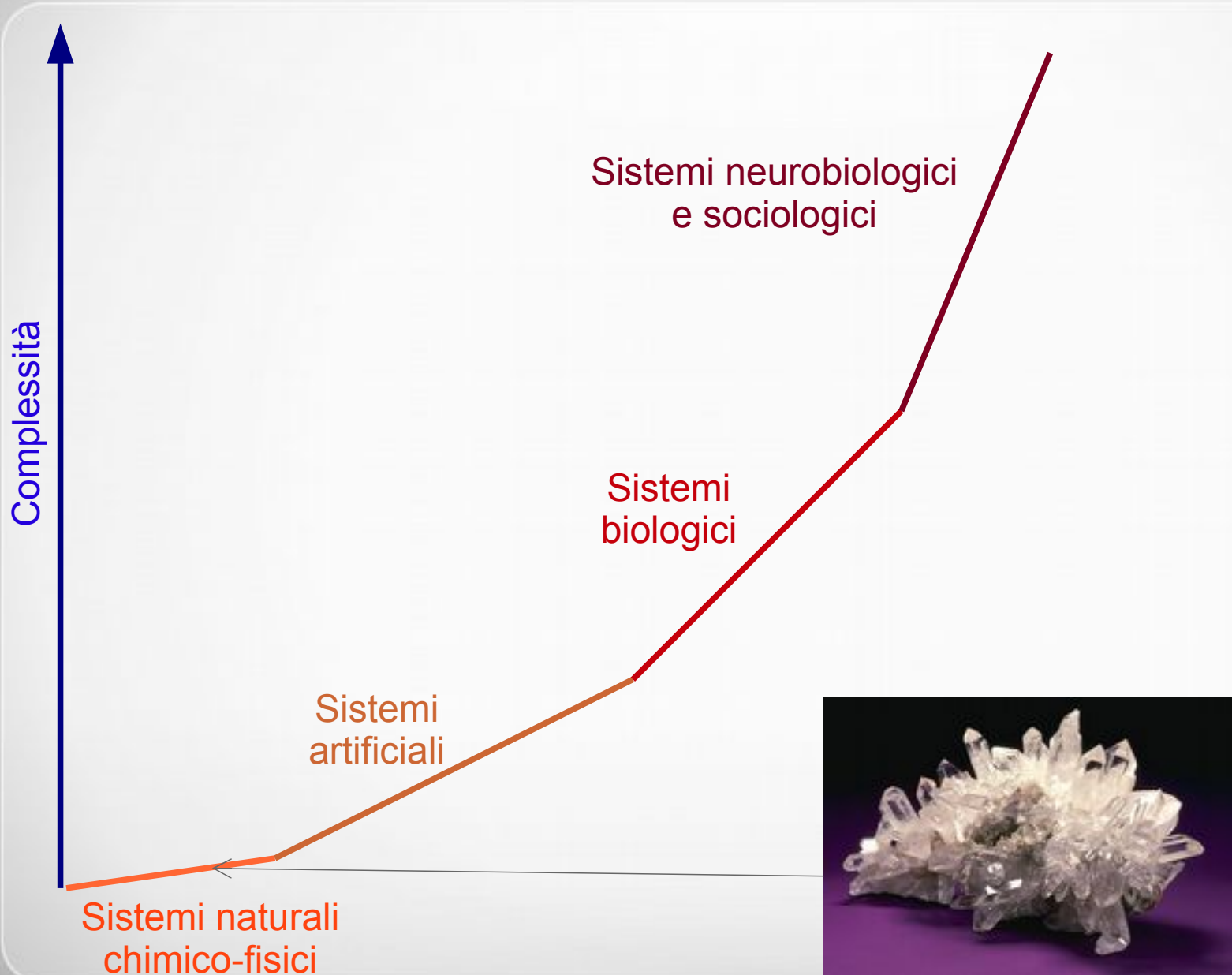


Sistemi super complessi

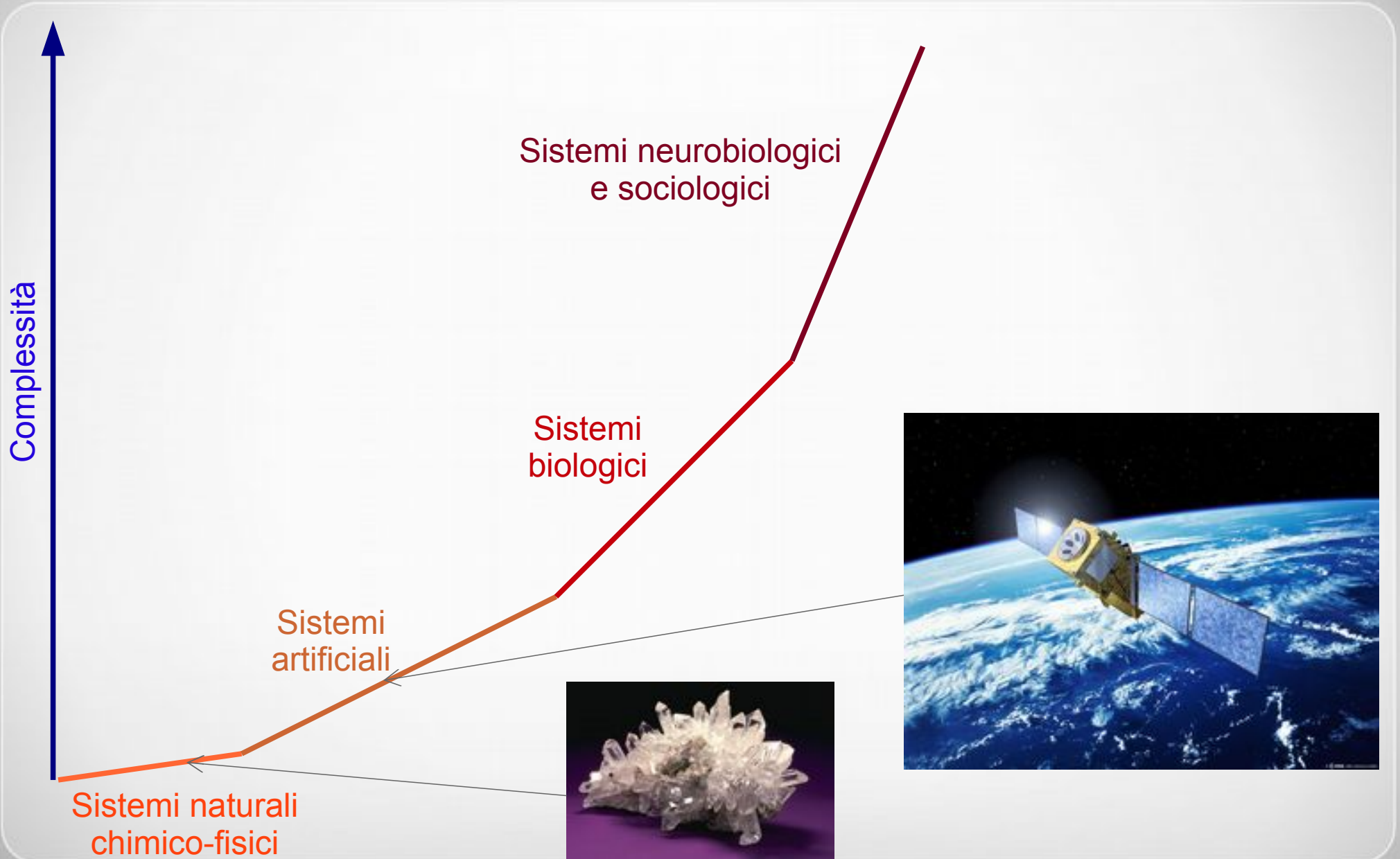
- ✓ Sistemi neurobiologici e sociologici
 - Tutti i viventi con un sistema nervoso
 - Se organizzati in colonie o società la loro complessità aumenta ulteriormente



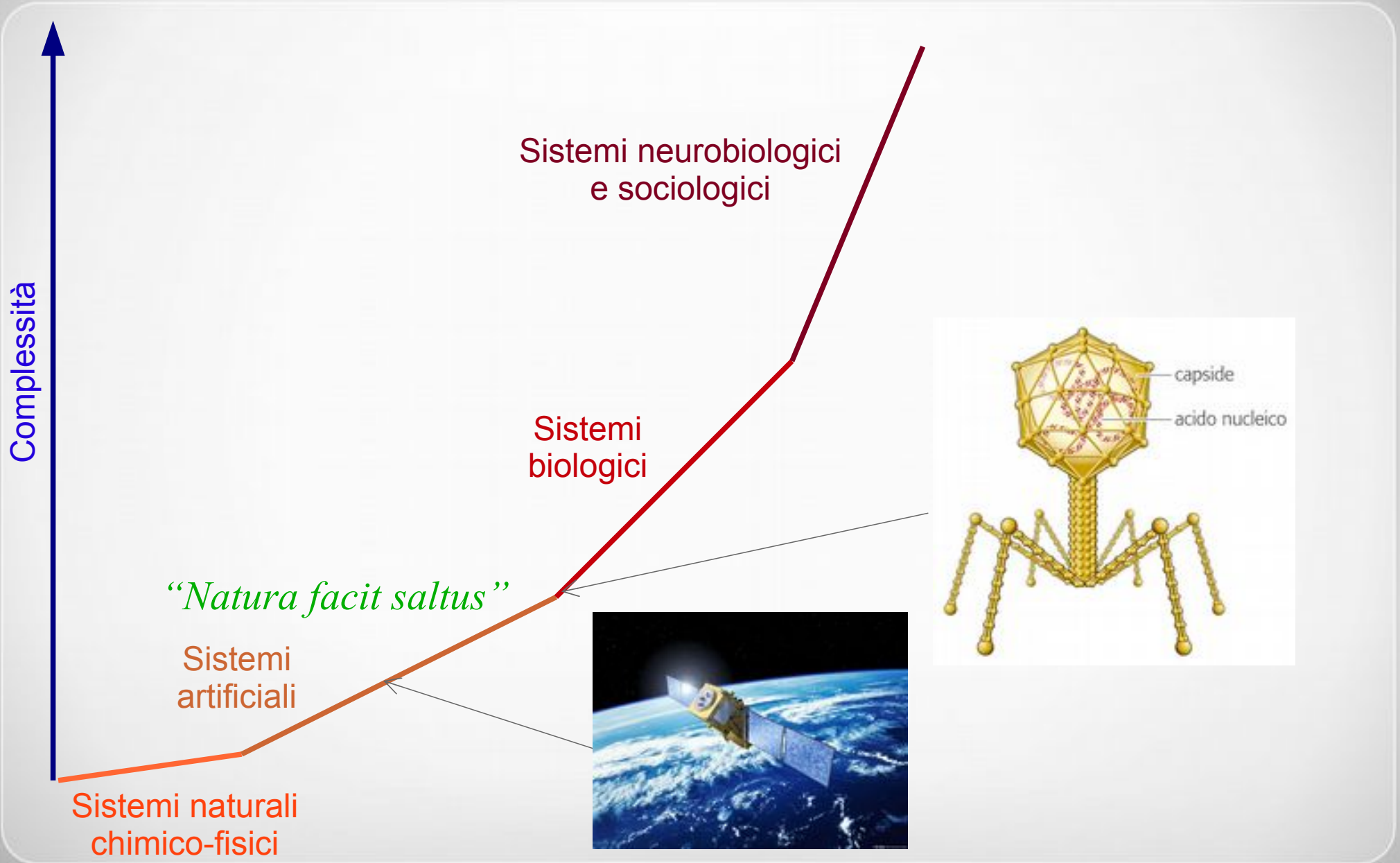
Quanto complesso



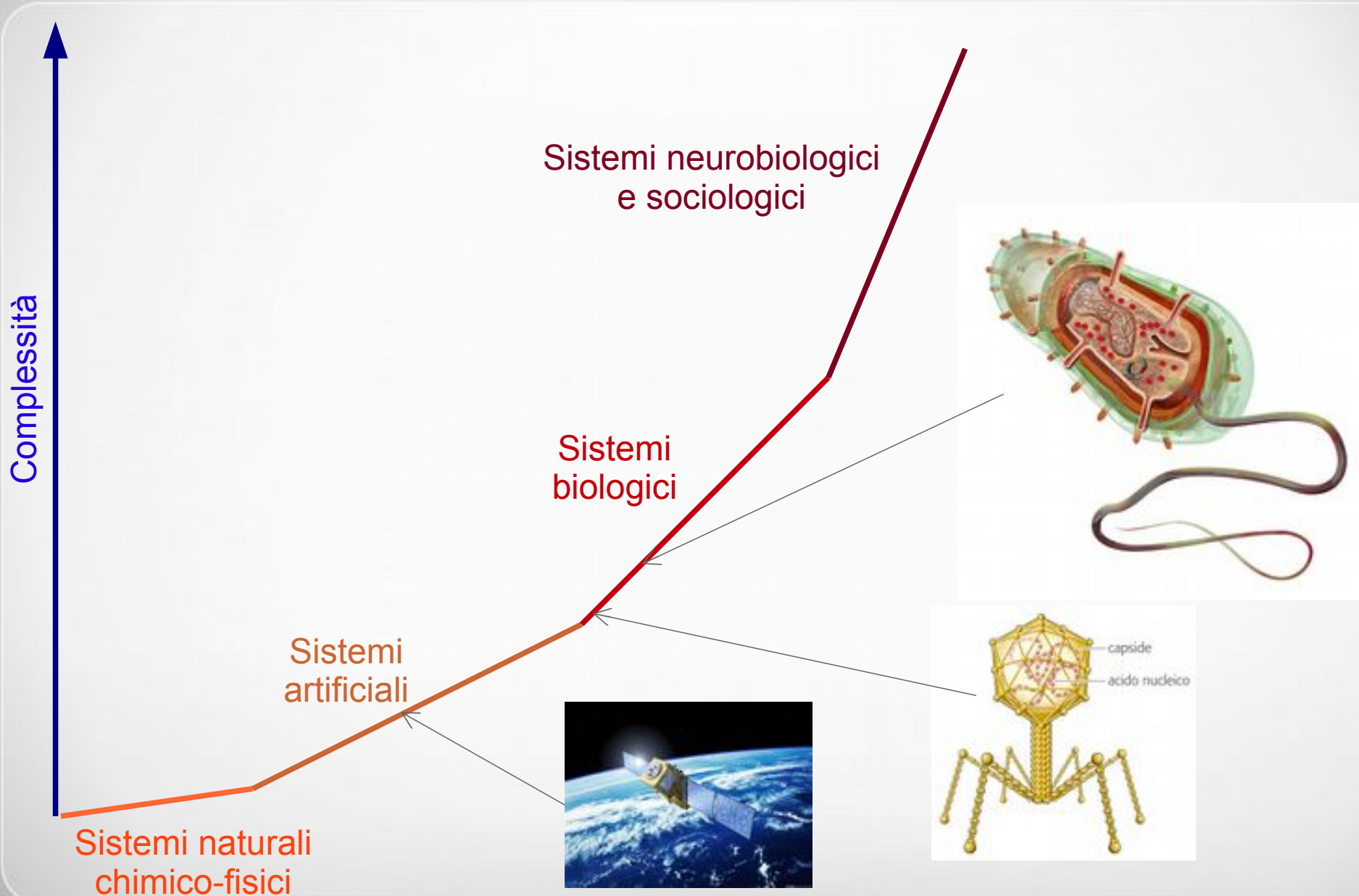
Quanto complesso



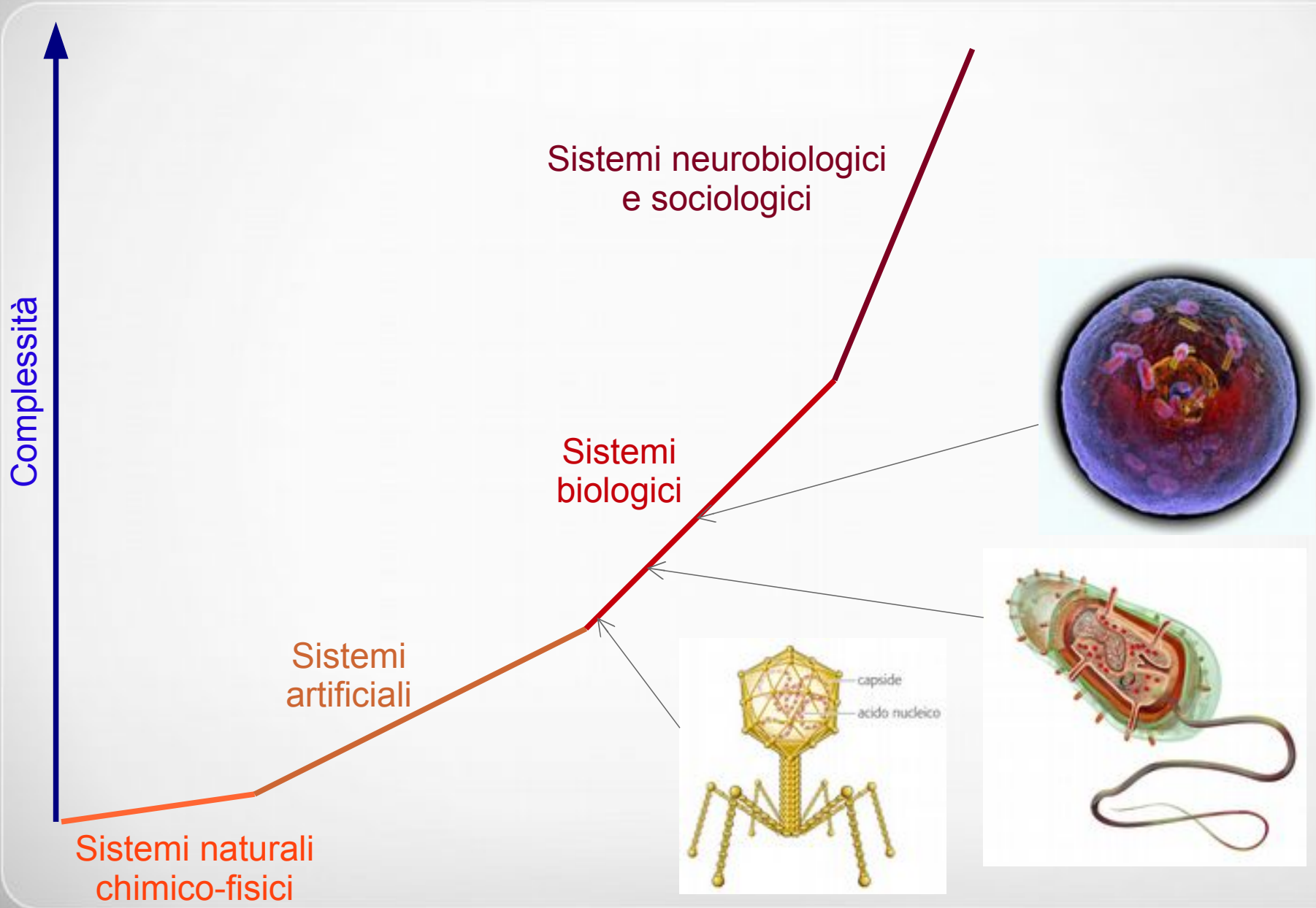
Quanto complesso



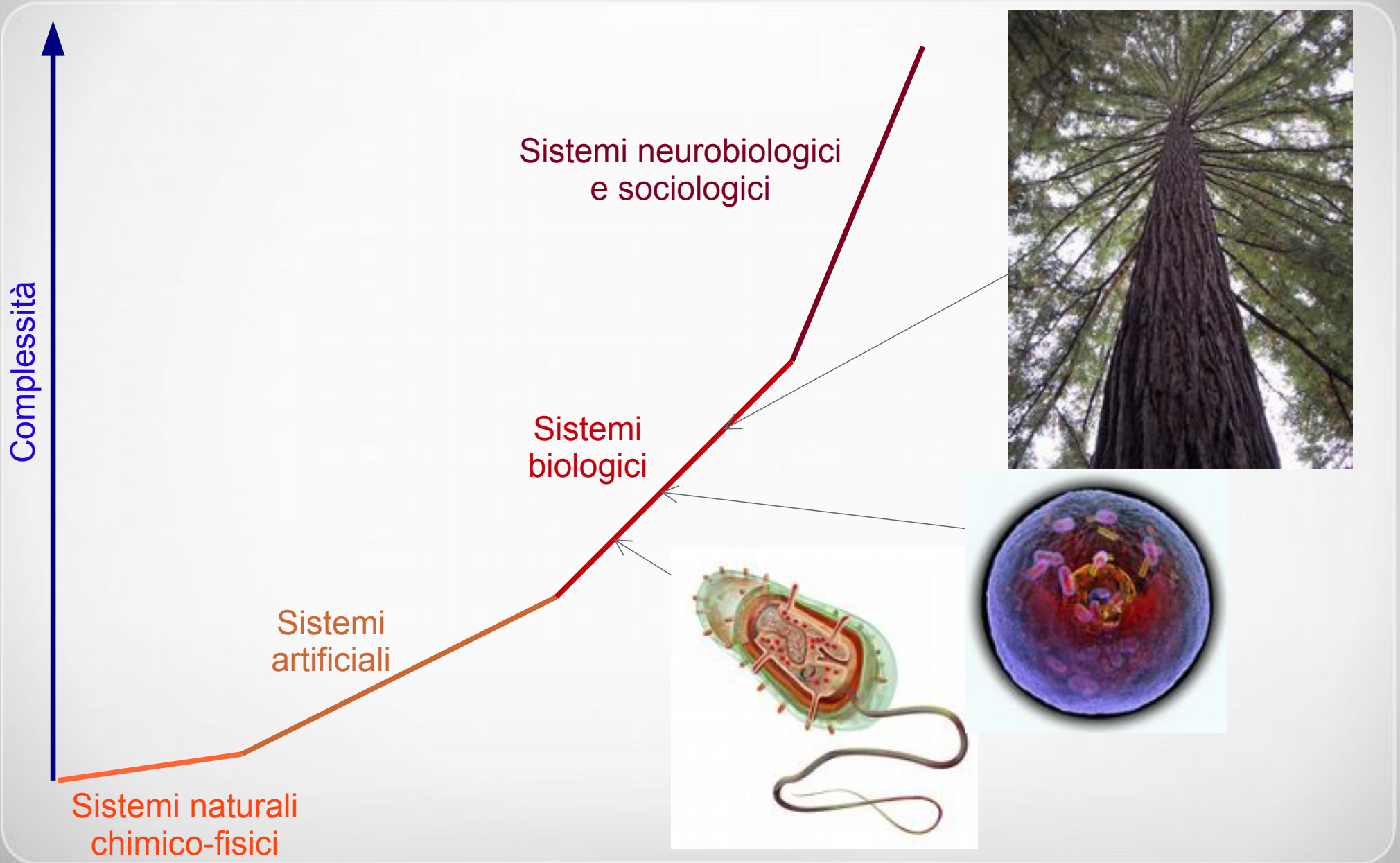
Quanto complesso



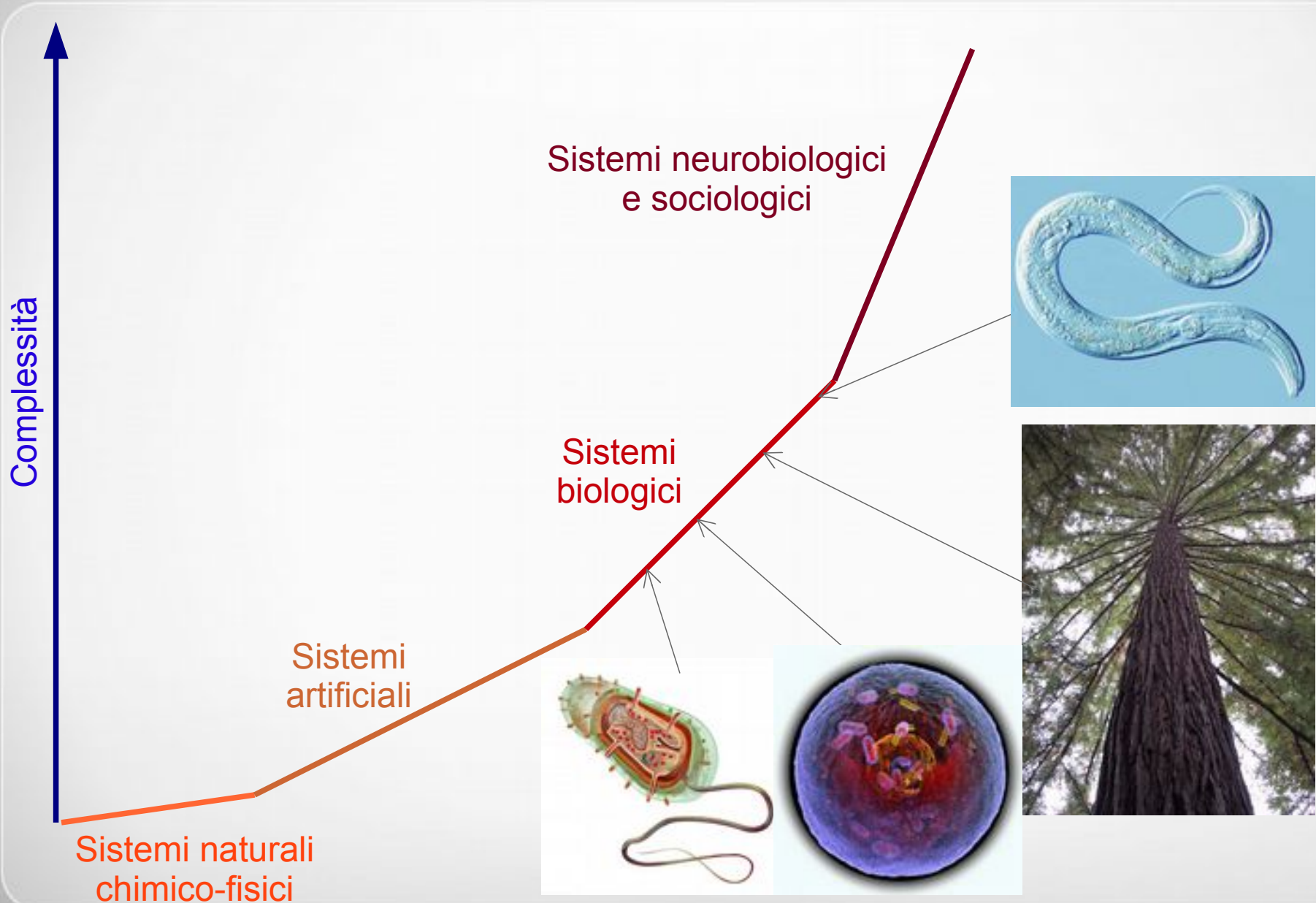
Quanto complesso



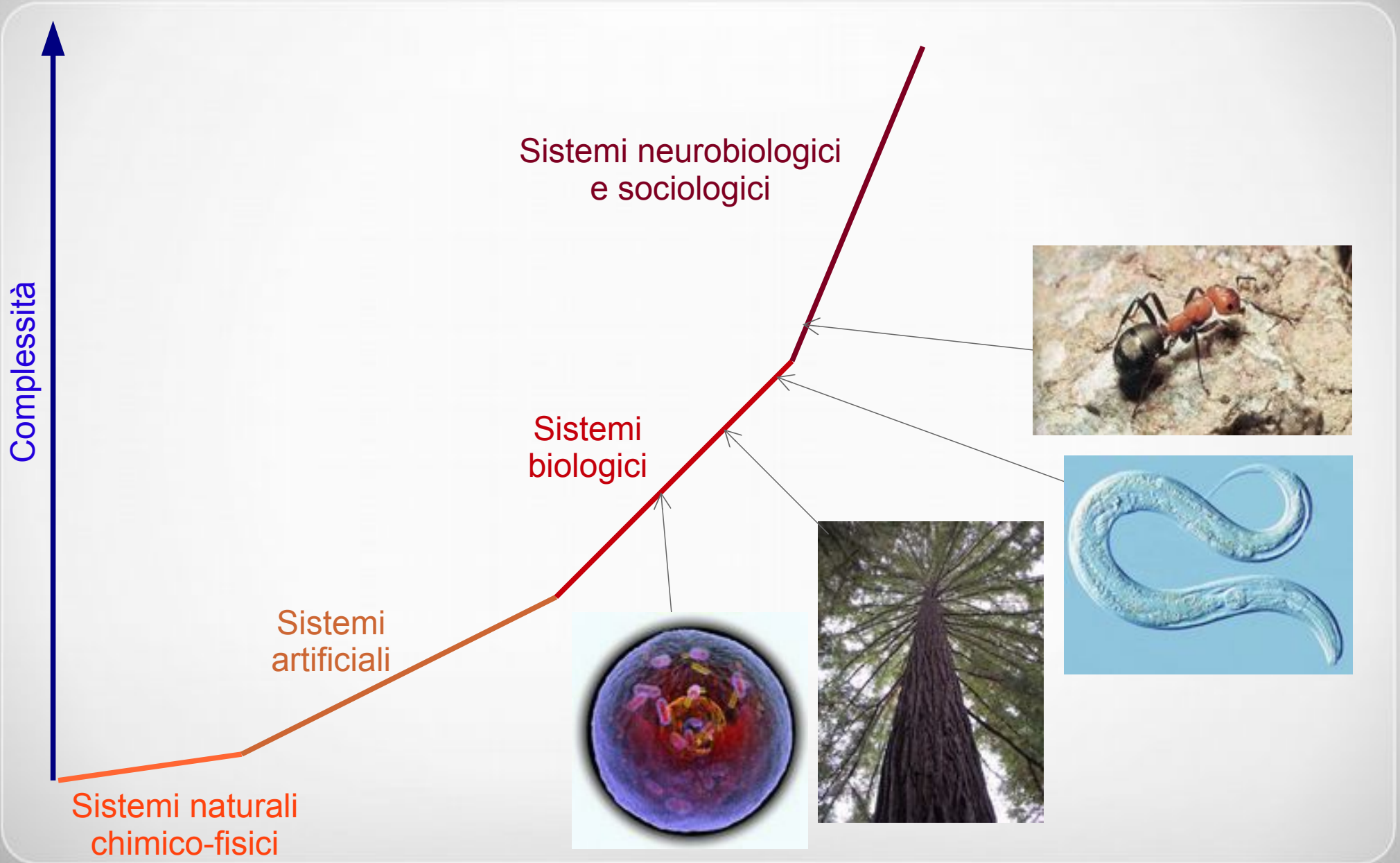
Quanto complesso



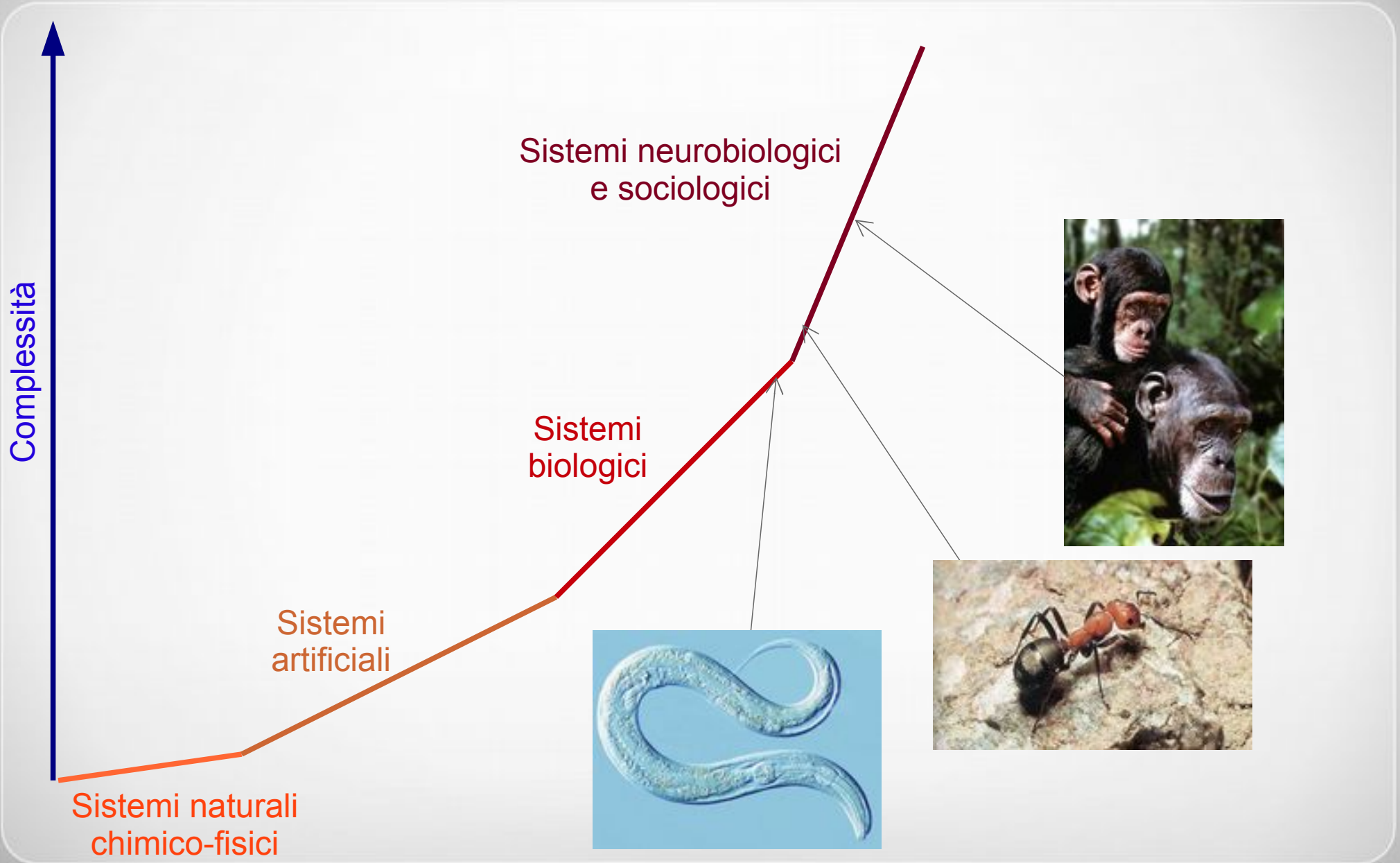
Quanto complesso



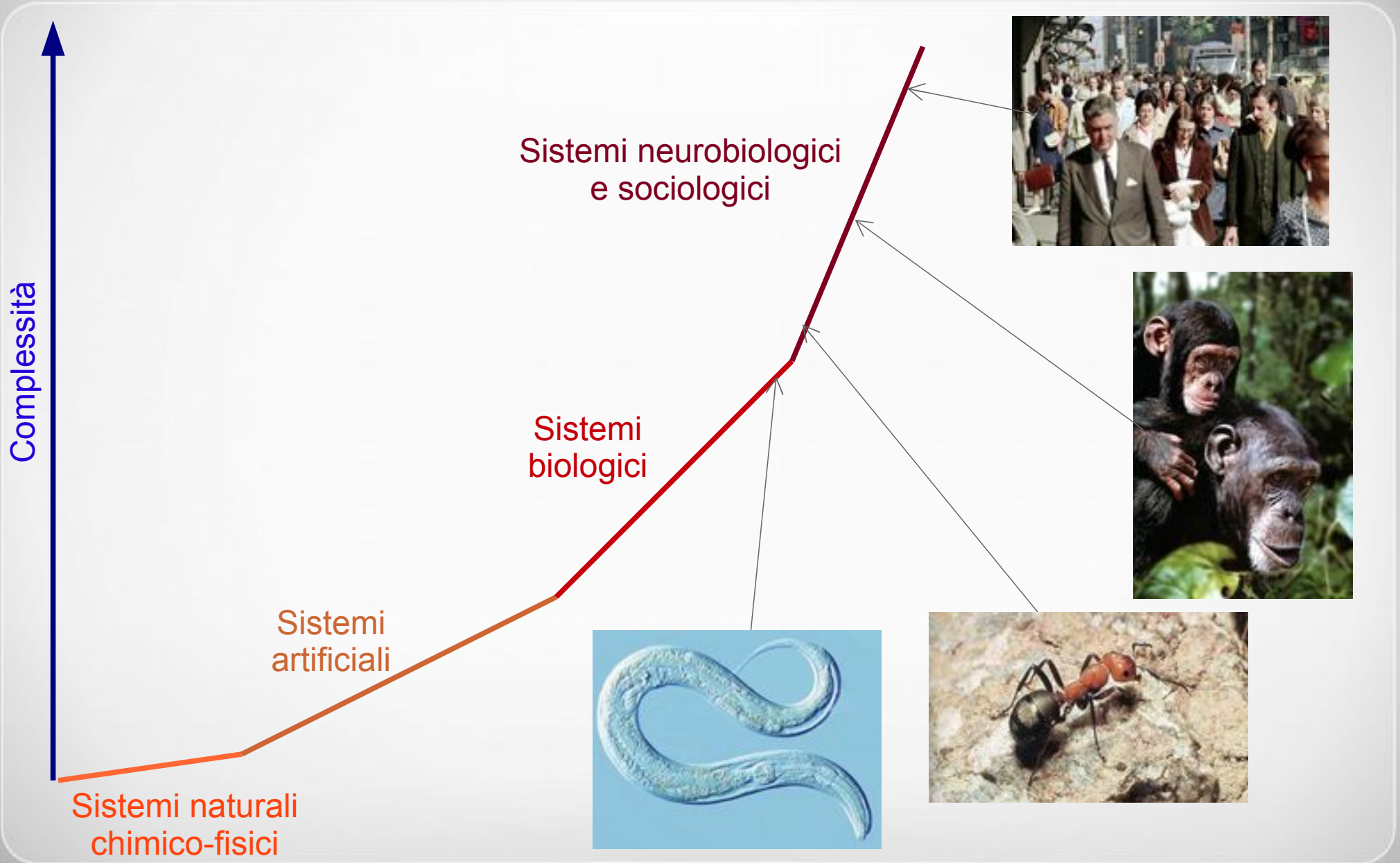
Quanto complesso



Quanto complesso



Quanto complesso



Quanto complesso

